



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Mejía Herrera, Eliser (orcid.org/0000-0002-8520-6037)

**ASESOR:**

Mg. Benavente Leon, Christian (orcid.org/0000-0003-2416-4301)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Obras Hidráulicas y Saneamiento

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

**CHICLAYO – PERÚ**

2023

## **DEDICATORIA**

*Este trabajo va dedicado a mis padres, el señor Britaldo Mejía G y la señora Juana Edelmira Herrera Idrogo a quienes les debo la crianza, el sustento constante en mi etapa de formación y la corrección bajo principios de bien.*

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios por encima de todo, a mi familia y a la universidad.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	vi
Índice de gráficos y figuras .....	vii
Resumen .....	ix
Abstract .....	x
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>18</b>
3.1. Tipo y diseño de la investigación .....	18
3.2. Variables y operacionalización .....	18
3.3. Población, muestra y muestreo .....	19
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	19
3.5. Procedimientos. ....	21
3.6. Método de análisis de la información.....	23
3.7. Aspectos éticos.....	23
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>24</b>
4.1. Recopilación y producción de información de entrada.....	24
4.1.1. Características geométricas de la Presa Limón. ....	24
4.1.2. Características del material de la Presa Limón.....	26
4.1.3. Capacidad de almacenamiento del embalse Limón. ....	27
4.1.4. Hidrograma de crecida.....	28
4.1.5. Modelos de elevación digital (DEM).....	29
4.1.6. Coeficiente de rugosidad Manning. ....	32
4.2. Modelamiento de la Brecha (Análisis de Rotura) .....	34

4.2.1.	Definición de Escenarios de rotura.....	34
4.2.2.	Predicción de la brecha para el Escenario 01.....	36
4.2.3.	Predicción de la brecha para el Escenario 02 .....	38
4.2.4.	Brecha según métodos paramétricos.....	40
4.3.	Modelamiento hidráulico de la propagación del flujo.....	40
4.3.1.	Configuración del modelo en HEC-RAS. ....	41
4.3.2.	Propagación del caudal pico. ....	48
4.3.3.	Áreas de inundación .....	52
4.3.4.	Poblaciones vulnerables.....	54
4.3.5.	Nivel de afectación de poblados. ....	56
4.3.6.	Mapas de inundación. ....	60
V.	DISCUSIÓN.....	62
VI.	CONCLUSIONES.....	66
VII.	RECOMENDACIONES .....	68
	REFERENCIAS.....	70
	ANEXOS	

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Instrumentos de recolección de datos.....	20
<b>Tabla 2</b> Expertos que evalúan la validez. ....	20
<b>Tabla 3</b> Rangos de validez.....	20
<b>Tabla 4</b> Softwares para la realización de los análisis.....	21
<b>Tabla 5</b> Fuente de información recopilada. ....	24
<b>Tabla 6</b> Características geométricas de la presa Limón .....	25
<b>Tabla 7</b> Características del material de la presa .....	27
<b>Tabla 8</b> Capacidad de almacenamiento del embalse .....	27
<b>Tabla 9</b> Hidrograma de crecida para 1000 años. ....	28
<b>Tabla 10</b> Coeficientes de rugosidad determinados para el área de modelamiento hidráulico.....	33
<b>Tabla 11</b> Escenarios para el análisis de rotura de presa .....	34
<b>Tabla 12</b> Datos para la computación del modelo .....	36
<b>Tabla 13</b> Predicción de la brecha para el escenario 01 .....	36
<b>Tabla 14</b> Hidrograma de rotura para el escenario 01.....	37
<b>Tabla 15</b> Predicción de la brecha para el escenario 02 .....	38
<b>Tabla 16</b> Hidrograma de rotura para el escenario 02.....	39
<b>Tabla 17</b> Predicción de brecha según métodos paramétricos .....	40
<b>Tabla 18</b> Configuración computacional para los planes flujo variable.....	46
<b>Tabla 19</b> Puntos de evaluación de propagación de caudal pico .....	49
<b>Tabla 20</b> Tiempos de propagación del caudal pico (Escenario 01).....	50
<b>Tabla 21</b> Tiempos de propagación del caudal pico (Escenario 02).....	51
<b>Tabla 22</b> Relación de poblados vulnerables a una rotura de presa .....	55

## ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

<b>Figura 1</b> Línea de tiempo que muestra hitos clave en el desarrollo de una brecha típica en una presa.....	13
<b>Figura 2</b> Impacto de la rotura para materiales de diferente erosionabilidad, en la derecha un material menos erosionable. ....	15
<b>Figura 3</b> Presa Limón y Embalse a 1120 msnm (2022).....	25
<b>Figura 4</b> Geometría y zonificación de la presa Limón.....	26
<b>Figura 5</b> Hidrograma de crecida 1000 años .....	29
<b>Figura 6</b> <i>Sitio web de Land Viewer (EOS Data Analytics)</i> .....	30
<b>Figura 7</b> DEM procesado en QGIS, a lo largo del eje del cauce. ....	31
<b>Figura 8</b> Modelo de Elevación Digital (DEM) del Embalse Limón.....	32
<b>Figura 9</b> Ingreso de datos para modelar en EMBREA Lite.....	35
<b>Figura 10</b> Desarrollo de la brecha para el escenario 01 .....	37
<b>Figura 11</b> Desarrollo de la brecha para el escenario 02 .....	39
<b>Figura 12</b> Hidrogramas de Rotura para los escenarios 01 y 02.....	41
<b>Figura 13</b> Importación de eje del río Huancabamba a RAS Mapper .....	42
<b>Figura 14</b> Malla computacional y refinamiento del cauce. ....	43
<b>Figura 15</b> Configuración de las condiciones de contorno .....	44
<b>Figura 16</b> Asociación de Layers: Geometry, Terrain, Manning.....	45
<b>Figura 17</b> Asociación de coeficiente de rugosidad en HEC-RAS .....	45
<b>Figura 18</b> Configuración del flujo variable .....	46
<b>Figura 19</b> Computación o corrida del modelo HEC RAS para determinar la propagación del flujo de rotura. ....	47
<b>Figura 20</b> Resultado de las Velocidades del flujo de descarga visualizados en RAS Mapper.....	48
<b>Figura 21</b> Propagación del caudal pico en puntos de control (Escenario 01) .....	49
<b>Figura 22</b> Propagación del caudal pico en puntos de control (Escenario 02) .....	51
<b>Figura 23</b> Área inundable aguas abajo de la presa Escenario 01 .....	52
<b>Figura 24</b> Área inundable aguas abajo de la presa Escenario 02 .....	53
<b>Figura 25</b> Exportación de WSE en Raster desde HEC-RAS .....	54
<b>Figura 26</b> <i>Afectación del caserío Las Juntas</i> .....	56
<b>Figura 27</b> Área indudable en Pucará .....	57
<b>Figura 28</b> Afectación de caserío Playa Azul .....	57

<b>Figura 29</b> Afectación del caserío San Juan de Chiple .....	58
<b>Figura 30</b> <i>Afectación Puente Chamaya II</i> .....	59
<b>Figura 31</b> <i>Afectación caserío Mesones Muro</i> .....	59
<b>Figura 32</b> <i>Afectación al caserío Chamaya</i> .....	60
<b>Figura 33</b> <i>Mapa de inundación PI-01</i> .....	61

## RESUMEN

Este estudio tiene como objetivo simular la propagación y magnitud del flujo de descarga producida por la rotura de la presa Limón, la presa del tipo CFRD tiene 43 metros de altura, 332 metros de longitud y cresta de 10 metros, el embalse tiene una capacidad de almacenamiento de 14.63 MMC (año 2022). Este estudio se desarrolló en dos partes importantes, primero se realizó un análisis de rotura de presa utilizando el software EMBREA, con ellos se logró predecir las dimensiones de la brecha y el hidrograma de rotura, luego, tomando los hidrogramas de rotura obtenidos se procedió con el modelamiento hidráulico en el software HEC-RAS 6.3.1 para evaluar la propagación de caudales aguas abajo de la presa río Huancabamba. Para el primer escenario se encontró un caudal pico de 15134.88 m<sup>3</sup>/s en el momento de la rotura, una inundación que cubre 29087685.19 m<sup>2</sup>, un tiempo de llegada hasta el último punto de control de 14:10, así mismo para el segundo escenario un caudal pico de 16653.30 m<sup>3</sup>/s en el momento de la rotura, una inundación de 33035546.8 m<sup>2</sup> y un tiempo de llegada al último punto de control de 16:10. Finalmente, para ambos escenarios se cuantificaron 82 localidades afectadas.

**Palabras clave:** Rotura de presa, predicción de brecha, modelamiento hidráulico, HEC-RAS, EMBREA.

## ABSTRACT

This study aims to simulate the propagation and magnitude of the discharge flow produced by the rupture of the Limón dam, the CFRD type dam is 43 meters high, 332 meters long and has a crest of 10 meters, the reservoir has a capacity of storage of 14.63 MMC (year 2022). This study was developed in two important parts, firstly, a dam break analysis was carried out using the EMBREA software, with which it was possible to predict the dimensions of the breach and the break hydrograph, then, taking the break hydrographs obtained, we proceeded with hydraulic modeling in the HEC-RAS 6.3.1 software to evaluate the propagation of flows downstream of the Huancabamba river dam. For the first scenario, a peak flow of 15134.88 m<sup>3</sup>/s was found at the time of the rupture, a flood that covers 29087685.19 m<sup>2</sup>, an arrival time to the last control point of 14:10, likewise for the second scenario a peak flow of 16653.30 m<sup>3</sup>/s at the time of the rupture, a flood of 33035546.8 m<sup>2</sup> and an arrival time at the last control point of 16:10. Finally, for both scenarios, 82 affected localities were quantified.

**Keywords:** Dam failure, breach prediction, hydraulic modeling, HEC-RAS, EMBREA.

## I. INTRODUCCIÓN

A lo largo de la historia conocida y aún hasta la actualidad, ha sido de interés y necesidad el aprovechamiento del agua desde sus diferentes fuentes para atender las necesidades humanas, y propiciar desarrollo, sin embargo, en estos tiempos representa un problema real que la demanda del recurso hídrico se incrementa continuamente, siendo este un recurso limitado.

En las próximas décadas la de demanda de agua se incrementará entre 2% a 3% cada año, frente a estas proyecciones, las presas representan una solución viable, a escala mundial se han construido aproximadamente 58713 presas para atender necesidades que demanda la irrigación (50%), generación de energía (20%), abastecimiento de agua (11%), y control de inundaciones (9%), además de otras con fines de menor demanda (ICOLD, 2020, pág. 1).

En el mundo de la ingeniería se ha aceptado como grande presa a aquellas con una altura mínima de 15 metros o de los 3 a 15 metros, pero con embalse superior a 3 MMC (ICOLD, 2011), este criterio originalmente de ICOLD, ha sido tomado en Perú para elaborar un reglamento que incluye directrices básicas para la seguridad de presas (ANA, 2018, pág. 3)

El Perú cuenta con un potencial de recurso hídrico enorme con un total de 1106.99 m<sup>3</sup>/s de oferta hídrica promedio considerando los 29 principales ríos a nivel nacional (ANA, 2018, pág. 12), además se tiene conocimiento que se ha construido un total de 743 presas, de estas 54 presas se encuentran registradas y reconocidas por ICOLD (ANA, 2015, pág. 179).

Por otro lado, la presencia de una presa representa un peligro asociado al riesgo de inundación, un embalse puede atenuar caudales de crecidas, pero ante una inminente rotura las acciones deben estar orientadas a salvaguardar principalmente la vida de las personas, la falla del barraje provocará una onda de inundación de gran magnitud y causará daños significativos e incluso pérdidas humanas. España, (Dirección General del Agua, 2021, pág. 9)

A nivel mundial se ha gestado roturas de presas, una de las más conocidas es la Presa Teton, finalizada en noviembre del año 1975, falló el 5 de junio de 1976 inundando las ciudades de Sugar y Reburg en los Estados Unidos, este suceso marca un nuevo inicio en materia de seguridad de presas en EE. UU. Escudero Bueno et al. (2014, pág. 23)

ICOLD define rotura de presa como el colapso total o parcial de del cuerpo genera el embalse, de esta importante entidad se conoce que solo ha fallado el 2.2% de las presas construidas hasta 1950, pero ha ido disminuido en el tiempo a 0.5%, así mismo el 70% de fallas han ocurrido durante los 10 primeros años de operación, las causas más frecuentes están asociadas con problemas en la fundación de la presa, erosión interna e insuficiente resistencia al corte en la cimentación, estas causas abarcan un 21 % (ICOLD, 1995, pág. 25).

En relación con normas, Perú tiene un acercamiento con una normativa desde el año 1972 cuando se emite la primera norma para inspección de Presas y Reservorios, luego en 2003, intentó aprobar el Reglamento de seguridad de presas, finalmente en el año 2017 se emite: “Normas y Reglamentos de seguridad de presas en el Perú” (ANA, 2017, pág. 1).

Dado que una rotura producirá una inundación se entiende que es este efecto lo que producirá daños, en Perú una inundación genera pérdidas económicas considerables y un costo social enorme, SENAMHI en la última década (2011-2022) ha registrado 06 eventos de inundaciones a nivel nacional producidas por lluvias intensas y desborde de ríos, la más reciente a causa del Fenómeno del Niño a inicios del año 2017 el cual dejó como saldo un total de 107 víctimas mortales, unos 171 322 damnificados. (Sardon Quispe, Lavado Casimiro, & Felipe Obando, 2022, pág. 26).

La presa de estudio es la Presa Limón de tipo CFRD con 43 metros de altura y un embalse inicial es de 36 MMC, se sitúa en el río Huancabamba en el distrito de San Felipe, la regulación tiene como principal objetivo atender la demanda hídrica de las tierras de Olmos en el marco del proyecto de irrigación e hidro-energético Olmos, la obra tiene un aliviadero de compuertas diseñada para evacuar 1740 m<sup>3</sup>/s, un túnel de trasvase de 20 km. (Concesionaria Trasvase Olmos S.A., 2019, pág. 10).

Un estudio de rotura de presa debe ser abordado teniendo como premisa que un embalse representa un peligro potencial de inundación, la presa Limón se categoriza como grande presa y de categoría A en función de su riesgo potencial (Concesionaria Trasvase Olmos, 2017, pág. 6)

En la operación de presas, si no se realiza un análisis de rotura, no será posible conocer cómo se desarrolla la inundación en términos hidráulicos, ni los efectos que puede producir sobre las áreas vulnerables, por lo tanto, no se podrá

elaborar ningún instrumento de gestión orientado a la planificación e implementación de acciones ante una emergencias y no se podrá garantizar la seguridad de las personas ni la atenuación de daños (ANA, 2017, pág. 22)

En el contexto descrito, esta investigación pretende realizar un análisis de rotura de la presa Limón, para estudiar la propagación y efecto de los caudales de descarga, de ello, el problema de investigación es: ¿De qué forma el análisis de rotura de presa permite simular la propagación e impacto del flujo de descarga?, también de modo específico, se tiene las preguntas relacionadas a esta investigación: ¿De qué forma este análisis permite conocer la magnitud de caudales de descarga?; ¿De qué forma este análisis permite determinar el nivel de inundación producido por una rotura de la presa?; ¿De qué forma el análisis permite conocer el tiempo de propagación del caudal máximo ante una rotura de la presa?; ¿De qué forma el análisis permite conocer el nivel de afectación generado por la inundación?

Este estudio se sustenta en la necesidad de planificar acciones frente a una emergencia, se parte de la necesidad por conocer los efectos que producirá una rotura de presa, para ello existen herramientas informáticas capaces de modelar y simular este tipo de fenómenos. (US Army Corps Of Engineers, 2022, pág. 21). De esta manera se puede conocer el nivel de afectación y se puede delimitar las áreas de inundación, se puede conocer los tiempos de propagación de la onda pico, con lo cual es fácil elaborar planes de acción y prevención ante emergencias (ICOLD - EC, 2017, pág. 22).

En base al problema planteado, se ha trazado el objetivo general: Simular la propagación y magnitud del flujo de descarga producida por la rotura de la presa Limón. Así también, los objetivos específicos: Simular la magnitud de los caudales de descarga producidos por la rotura de presa, simular el nivel de inundación provocado por la descarga de caudales ante la rotura de la presa, simular los tiempos de propagación del caudal máximo para diferentes puntos de interés, determinar el nivel de afectación generado por la inundación. La hipótesis planteada en este proyecto de investigación es: El colapso, o falla de la presa Limón generará la propagación de caudales de gran magnitud que impactará de forma negativa sobre la población vulnerable provocando daños en el ecosistema, pérdidas económicas y posibles consecuencias fatales.

## II. MARCO TEÓRICO

Spero et al. (2022, pág. 2) realizaron un estudio denominado Simulating the Teton Dam Failure using GeoClay and HEC-RAS and comparing with Historical Observations, en donde compararon GeoClay y HEC-RAS, dos modelos hidráulicos bidimensionales, para evaluar el caso de rotura real de la presa Teton, en EE.UU, las evaluaciones realizadas en distintos puntos de medición, la comparación de los registros de las áreas afectadas y tiempos de propagación del caudal máximo generado, los resultados muestran datos cercanos a lo que fue registrado luego del desastre de rotura, esto muestra la eficacia de los modelos para modelar eventos hidráulicos reales.

En Algeria, Gaagai et al. (2022, pág. 1) realizaron un modelamiento y análisis de riesgo de rotura de presa para el caso de estudio de la presa Yabous, en la región nor-oeste de ese país, esta presa es de tipo terraplén con una altura de 43 metros de altura, una cresta de 460 metros de longitud y 10 metros de ancho, un volumen de almacenamiento de 5.7 MMC, se realizó la simulación de rotura utilizando el modelo hidráulico bidimensional HEC-RAS aplicando además un análisis de sensibilidad de brecha para la pendiente, ancho y tiempo de formación, se encontró un caudal que alcanza hasta los 8768 m<sup>3</sup>/s el cual se atenúa a 1972.7 m<sup>3</sup>/s a unos 8.5 km aguas abajo de la presa, se demostró la efectividad del modelo en su versión 1-D para simular la propagación de la inundación.

Un estudio elaborado en Chile por Bello et al. (2022, pág. 1), donde se evalúan la influencia asociada a la configuración de parámetros estadísticos para la rotura de una presa, esto se hizo para los parámetros de mayor relevancia para la predicción del máximo caudal, para tal fin se utilizó McBreach con los cuales determinó los datos de entrada para posteriormente proceder con la simulación mediante HEC-RAS; el análisis demostró que las descargas del modo de falla por desbordamiento son más sensibles al tiempo en que se forma la brecha, seguido por la altura final de la misma brecha y el ancho final de la misma, baso estos escenarios los caudales máximos resultaron con variaciones de hasta 300%, la conclusión demuestra la importancia de definir correctamente los parámetros estadísticos previamente al análisis de una rotura de presa.

Un análisis de rotura de la presa Mulacorral del tipo terraplén con escollera que genera una embalse de 3.5 MMC, ubicada en el río Ambato provincia de

Tungurahua en Ecuador fue realizado por Toapaxi & Acero (2021, pág. 11) quienes elaboraron el estudio con el objetivo de analizar la inundación producida por el colapso de dicha estructura, se encuentra un caudal pico de 1200 m<sup>3</sup>/s alcanzando el puente Jaramillo en 2 horas y 30 minutos además se encuentra que las ecuaciones que plantea Froehlich (2008), Von-Thun & Gillette (1990), tienen mejor eficacia en el momento de predecir el tiempo en que se forma la brecha. Así mismo la ecuación de Xu y Zhang (2009), muestra valores de tiempo significativamente extensos, en este caso el tiempo que tarda la onda en llegar a la ciudad de Ambato.

Por otro lado, en Brasil Quaresma et al. (2021, pág. 14) elaboraron un estudio para evaluar el impacto de contaminación con metales, producto de la descarga de caudales ante la falla de la presa de relaves Fundao, evento que ocurrió en la ciudad de Mariana en 2015. El estudio demuestra que la falla de la represa de Fundão (Mariana, MG) en el sureste Brasil es el mayor desastre ambiental en Brasil relacionado con la industria minera hasta el momento, y uno de los más grandes del mundo, si se considera el volumen de relaves y la distancia recorrida. Además, los resultados revelaron la contaminación de los sedimentos de la plataforma con Zn, Pb, Ni, Cr, Cu y Fe antes del desastre, y un aumento notable en las concentraciones después de la falla de la presa. Esto demuestra que una rotura de presa también puede implicar contaminación ambiental cuando se trata de relaves, además de los demás daños producto de la propia inundación.

Otra investigación relacionada al uso de modelos hidráulicos y de evaluación de riesgos fue realizada en Marruecos por El Bilali et al. (2021, pág. 8) quienes hicieron un análisis haciendo uso de HEC-RAS y Hec-LifeSim con el objetivo de evaluar la inundación producida por una potencial falla de la presa Malleh, y además el software Hec-LifeSim para simular la pérdida de vida y medidas no estructurales como la evacuación de la población vulnerable. Previo al análisis se hizo una calibración del modelo usando datos registrados en el año 2001, donde se presentó un caudal de 140 m<sup>3</sup>/s. La investigación determinó la propagación de caudales de hasta 2465 m<sup>3</sup>/s además en cuanto a vidas humanas se concluye que la gestión del tráfico disminuye de forma significativa la probabilidad de pérdidas humanas.

En Etiopía Mihretab G. & Kyungsoo Jun (2021, pág. 11), elaboran un estudio con el propósito de determinar un mapeo de inundación causada por la rotura de la presa Kasem, para esto acopla un modelo hidrológico para determinar el hidrograma de ingreso y un modelo hidráulico para el hidrograma de salida (HEC-RAS y HEC-HMS) para diferentes periodos de retorno, la investigación encuentra que un caudal de ingreso de 6161.1 m<sup>3</sup>/s (Pr=200 años) inundará 240 km<sup>2</sup> con una profundidades de hasta 31 metros, datos que el mapeo proporciona en 2D, también concluyen que el uso de información hidrometeorológica de alta resolución temporal y datos de alta resolución espacial funcionan bien para el mapeo, por otro lado, la presa es seguro para entradas cuyo periodo de retorno es de 50 años.

En Brasil, Raman & Fei (2019, pág. 13) hicieron un interesante análisis en base al acontecimiento de Falla de la presa Brumadinho ocurrida en el 25 de enero del 2019 que ocasionó pérdidas de más de 2880 millones de dólares, entre las que se cuentan 248 personas fallecidas. Se hace un importante análisis del flujo de lodo ocasionado por el colapso de la presa mediante HEC-RAS, la simulación muestra una asombrosa similitud entre los patrones de inundación que han sido observados con los modelos. La extensión del flujo de lodo de la simulación HEC-RAS coincide con la inundación real debida a la rotura de la presa. Esta técnica de simulación se puede utilizar posteriormente para futuras predicciones de colapso de presas.

Sobre este mismo caso, Silva et al. (2020, pág. 1) realizan un particular estudio con el objetivo de determinar las causas por las cuales la presa de relaves Brumadinho falló catastróficamente, el estudio utiliza el índice de humedad del suelo basado en satélites, imágenes multiespectrales de alta resolución, y además recursos de radar (InSAR) para evaluar las causas directas del colapso. El estudio demuestra que existía una decreciente tendencia de la humedad en la superficie y la disminución del total de agua del embalse (2011-2019) esto sugiere que el agua estaba penetrando en el cuerpo aguas abajo de la presa saturando la presa de relaves, también se observa un hundimiento de hasta 30 centímetros en la presa en los 12 últimos meses antes del colapso, la evidencias encontradas revelan que la causa principal del debilitamiento progresivo y posterior falla de la presa, es la erosión por infiltración (tubificación) y posterior licuefacción interna.

En relación a modelaciones numéricas, los investigadores Hosseinzadeh-Tabrizi et al. (2021, pág. 5) han elaborado un estudio para modelar las inundaciones de la presa Sattarkhan ubicada en la provincia de Azerbaián Oriental en Irán, la investigación toma como herramienta principal el modelo HEC-RAS para realizar la evaluación de falla bajo dos escenarios, el primero de ellos corresponde a falla por tubificación y el segundo una falla por sobrepaso o desbordamiento, los resultados muestran una profundidad máxima de 9.1 metros para el primero escenario y 7.1 metros para el segundo, esto significa un riesgo notable para algunas zonas pobladas ubicadas aguas abajo de la presa, así mismo se calculó los tiempos de llegada y velocidades máximas con el objeto de preparar planes de gestión de riesgos.

Debido que el fenómeno de rotura de presa, también implica el flujo de sedimentos, en forma de lodos en España Sanz R et al, (2019, pág. 8) realizan un estudio con el propósito de proponer una metodología para evaluar la rotura de una presa considerando el fondo móvil (sedimentos) para ello tomaron una presa 5.25 metros de altura ubicada en el río Llobegart en España cuyo nivel de sedimentación está por encima del 75%, para analizar el fenómeno se utilizó el modelo numérico Iber en modo bidimensional en el cual se pudo integrar la formación de la brecha y el cálculo hidráulico y considerando transporte de sedimentos, posteriormente se utilizó los mismos datos de entrada para hacer el modelamiento en HEC-RAS, en ambos modelos se corrió para condiciones de fondo móvil y fondo fijo. El Análisis realizado con la metodología convencional (fondo fijo) mostró resultados inferiores a los obtenidos con la metodología propuesta (fondo móvil) en relación con los niveles de agua y áreas inundables.

Cuando se habla de una presa, se entiende que es una obra hidráulica para retener cuya función es retener o embalsar un volumen de agua, una presa según la Comisión Internacional de Grandes Presas (ICOLD), está definida como aquella estructura que limita de forma total o parcial una sección convexa que se destina a almacenar agua dentro del terreno, por otro lado, una grande presa es aquella cuya altura desde su fundación hasta la cresta tiene por lo menos 15 metros o bien su capacidad de almacenamiento exceda los 3 MMC. (ICOLD, 2011, pág. 3).

En Perú una presa está definida como aquella barrera que ha sido construida para el almacenamiento de agua ubicada comúnmente en los cursos naturales

(ANA, 2018, pág. 1). Definición que ha sido tomada de documentos técnicos producidos por organismos internacionales relacionados a la ingeniería de presas.

Un embalse o reservorio de agua está definido como un complejo trabajo de ingeniería para la gestión o manejo del agua, típicamente sobre los cursos naturales de agua, con capacidades variables y para diferentes propósitos, las presas que hacen posible un represamiento constituyen las más grandes intervenciones de ingeniería dentro de los cauces naturales y en consecuencia alteran el régimen hidrológico e hidráulico de los ríos. (Batuca & Jordaan (Jr), 2000, pág. 11).

También, un embalse de agua es una estructura construida para almacenar gran parte de la escorrentía de un río, para conseguir equilibrar la oferta con la demanda, de manera que el exceso de agua en temporada de lluvias se almacena para ser aprovechada en temporada seca. (H. Hager, J. Schleiss, M. Boes, & Pfister, 2021, pág. 6).

Por otro lado, la falla de una presa es un fenómeno hidrológico, hidráulico y geológico complejo, controlado principalmente por el mecanismo de falla, las características y propiedades de la presa, el caudal máximo de descarga está directamente correlacionado con la energía específica del agua almacenada. Costa & Schuster (1987, pág. 11)

Fell et al. (2015, pág. 378) expresan que la rotura de presa ocurre cuando hay una liberación descontrolada del agua del embalse a través de una sección del terraplén cuya cresta ha descendido por debajo del nivel del embalse, esta situación puede ser causada por: una ampliación brusca de una línea de filtración en el cuerpo de la presa, seguida de un asentamiento o colapso del terraplén; inestabilidad en el talud aguas abajo del terraplén o cimentación que genera asentamiento o desbordamiento, desmoronamiento del talud aguas abajo que también resulta en desbordamiento; y desarrollo progresivo de un sumidero vertical o tubificación en el núcleo, lo que produce asentamiento o desbordamiento de la cresta.(...) se concluye que la erosión interna ha sido la causa de aproximadamente la mitad de las fallas ocurridas en presas de terraplén de casos donde se conoce el modo de falla, de estas, en el mayor número de casos las fallas ocurren en la zona del terraplén y casi la mitad de estos están asociados con conductos que penetran a través del terraplén o

paredes que soportan el terraplén. El proceso de falla por erosión interna y tubificación puede observarse en 4 fases: Inicio de la erosión, continuación de la erosión, progresión de formación de tubificación y finalmente el inicio de la Brecha.

En un hecho que las presas han venido fallando según las estadísticas, Foster determina que las fallas estructurales que involucran inestabilidad de taludes, o tubificación representan alrededor de la mitad de casos, además la incidencia de la tubificación a través del cuerpo de la presa incide 20 veces más que mediante los cimientos, otra causa común de falla es por desbordamiento causada por fallas en la operación y aliviaderos. Foster et al (2000, pág. 22)

Así también Foster et al (1998, pág. 12) Afirman que casi todas las fallas por erosión interna en el terraplén han ocurrido cuando el nivel del embalse se encontraba en su nivel histórico más elevado, o a un metro cerca de ese nivel, sin embargo, para la erosión interna en la cimentación el nivel del embalse no ha sido tan importante.

Por otro lado, el International Journal of Engineering, Technology, Science and Research, estima estadísticamente en relación las fallas de presas, que alrededor del 40% de las fallas tiene que ver con fallas hidráulicas, una categoría de estas fallas es la falla por sobrevertido y así también por tubificación, por otra parte se concluye que alrededor de un 25 % de fallas tiene que ver con fallas estructurales generalmente por corte y deslizamientos Singh. (2018, pág. 9)

La brecha es la abertura que se forma en la presa cuando falla, la mecánica de falla real se comprende sólo parcialmente para las presas de tierra y menos para las presas de hormigón, la presuposición de que la brecha es un proceso instantáneo ha sido tomada por conveniencia para análisis de ondas de inundación generadas por la rotura de presa, sin embargo, esta premisa es válida cuando se trata de presas de arco, de concreto, pero no para presas de tierra. Singh & Fread (1996, pág. 87)

El primer paso para la determinación del hidrograma de rotura es la determinación de la brecha, esta brecha está definida por el modo de falla y la cantidad de volumen almacenado en el embalse, para la determinación del hidrograma de rotura existen modelos hidráulicos que integran estos cálculos previos, tales como HEC-RAS, HEC-HMS. SPANCOLD-CNEGP (2013, pág. 64)

Para analizar el proceso de rotura de una presa o el desarrollo de una brecha, existen actualmente métodos de predicción que van desde ecuaciones paramétricas hasta complejos modelos de erosión multidimensional, estos se dividen en: modelos paramétricos, modelos semi-físicos y modelos basados en física. Los modelos paramétricos son los más sencillos pues no requieren mucha información de entrada, como Froehlich (2016, b) Xu y Zhang (2009) y Von Thun y Guillete (1990) permiten estimar la geometría de la brecha, tiempo de formación y caudal máximo. Por otra parte, HEC-RAS es un modelo semi-físico que toma parámetros de brecha y tasas de erosión del suelo para generar un hidrograma de descarga. Finalmente EMBREA (anteriormente llamado HR-BREACH) realiza la modelación del proceso físico de rotura en base a los parámetros de la presa, se puede predecir las características de la brecha, así como su evolución temporal y finalmente un hidrograma de descarga.

En Reino Unido, West et al. (2018, pág. 23) realizaron un estudio denominado "Guide to Breach Prediction" para evaluar la variedad de modelos disponibles para la predicción de brechas, presentando las ventajas y desventajas que de cada uno, y en otra instancia contar con una guía de ayuda para seleccionar el método de brechas apropiado para un escenario determinado, los métodos van desde simples ecuaciones derivadas empíricamente hasta modelos de erosión complejos y multidimensionales basados en la física, una de las conclusiones muestra que el modelo EMBREA es el más complejo y requiere de cantidad de parámetros de entrada, pero tiene la funcionalidad para modelar de manera competente una variedad mucho mayor de brechas, también es un modelo que no presupone el desarrollo de la geometría de la brecha, sino más bien lo relaciona con el esfuerzo cortante del material de la presa.

En cuanto a modelos paramétricos para determinar brechas en rotura de presas de tierra, para los dos tipos de falla más comunes (piping y overtopping) (Froehlich, 2008, pág. 6) elaboró un estudio denominado "Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties" con el objetivo de desarrollar ecuaciones matemáticas para predecir la geometría de la una brecha de rotura y el tiempo de formación, para ello tomó 74 casos históricos de falla de presas de tierra para su estudio, las ecuaciones obtenidas para la brecha y su tiempo de formación se presentan a continuación.

$$B = 0.27K_0V_w^{1/3}$$

Donde:

*V<sub>w</sub>*: Volumen de almacenamiento

*K<sub>0</sub>*: 1.3 para fallas por sobrepaso y 1.0 para otras fallas.

$$t_f = 63.2 \sqrt{\frac{V_w}{gH_b^2}}$$

Donde:

*V<sub>w</sub>*: Volumen de almacenamiento

*H<sub>b</sub>*: Volumen de la presa.

En España la Dirección General de Aguas (2021, pág. 17) tiene vigente una normativa denominada “Guía Técnica para la Clasificación de Presas” aquí se proponen ecuaciones para la predicción del tamaño de la brecha de rotura de una presa y el tiempo de su formación.

El ancho de la brecha está dado por la siguiente expresión:

$$b = 20(VH)^{0.25}$$

Dónde:

*V*: Volumen de almacenamiento

*H*: Volumen de la presa.

El tiempo de formación está dada por la siguiente expresión:

$$T = 4.8 \frac{\sqrt{V}}{H}$$

Dónde:

*V*: Volumen de almacenamiento

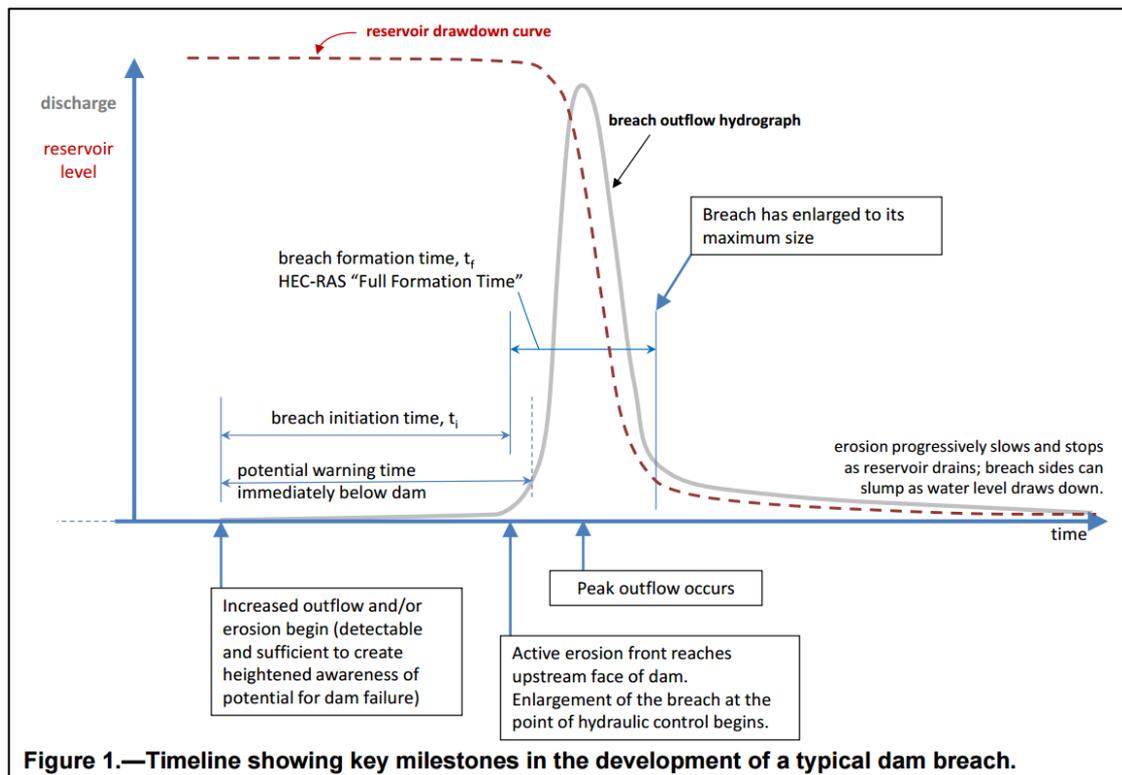
*H*: Volumen de la presa.

La “Bureau of Reclamation” del U.S. Department of the Interior, realizan un estudio para realizar un análisis crítico de las nuevas ecuaciones de predicción de los parámetros de rotura de presas, los métodos paramétricos. La evaluación mostró que el nuevo método produjo estimaciones razonables de las tasas

máximas de flujo de salida de la brecha y los parámetros geométricos de la brecha (profundidad de la brecha, ancho de la brecha, forma de la brecha) para presas de alta y mediana erosionabilidad, sin embargo, no hubo datos para presas de baja erosionabilidad. Por otro lado, los métodos sobreestiman el tiempo de formación de la brecha. Esto es una limitante para los métodos paramétricos. Tony & Wahl (2014, pág. 3)

En Colorado (2017, pág. 61) the Bureau of Reclamation del Department of the Interior de los Estados Unidos, hizo una evaluación denominada “Evaluation of Numerical Models for Simulating Embankment Dam Erosion and Breach Processes” con el propósito de evaluar los modelos numéricos mejorados y compararlos con 5 pruebas de laboratorio a gran escala y 2 fallas reales de presas, se evaluaron los modelos SIMBA, desarrollado por USDA-Agricultural Research Service (USDA-ARS), y HR BREACH, desarrollado en HR Wallingford, se concluye que ambos modelos funcionan bien para 5 casos, además que es crucial una estimación precisa de la erosionabilidad del suelo para lograr un buen rendimiento, además existe la necesidad de investigar para determinar si es probable que los materiales del terraplén se erosionan predominantemente a través de erosión superficial o corte de cabeza (head cut). En la figura 1, se hace una descripción de la evolución temporal de la brecha de rotura.

**Figura 1.** Línea de tiempo que muestra hitos clave en el desarrollo de una brecha típica en una presa.



**Figure 1.—Timeline showing key milestones in the development of a typical dam breach.**

*Nota.* La imagen describe la evolución temporal del caudal de descarga, la iniciación el desarrollo hasta alcanzar el caudal pico y el máximo tamaño alcanzado de la brecha.

*Fuente:* Bureau of Reclamation del Department of the Interior de los Estados Unidos US.

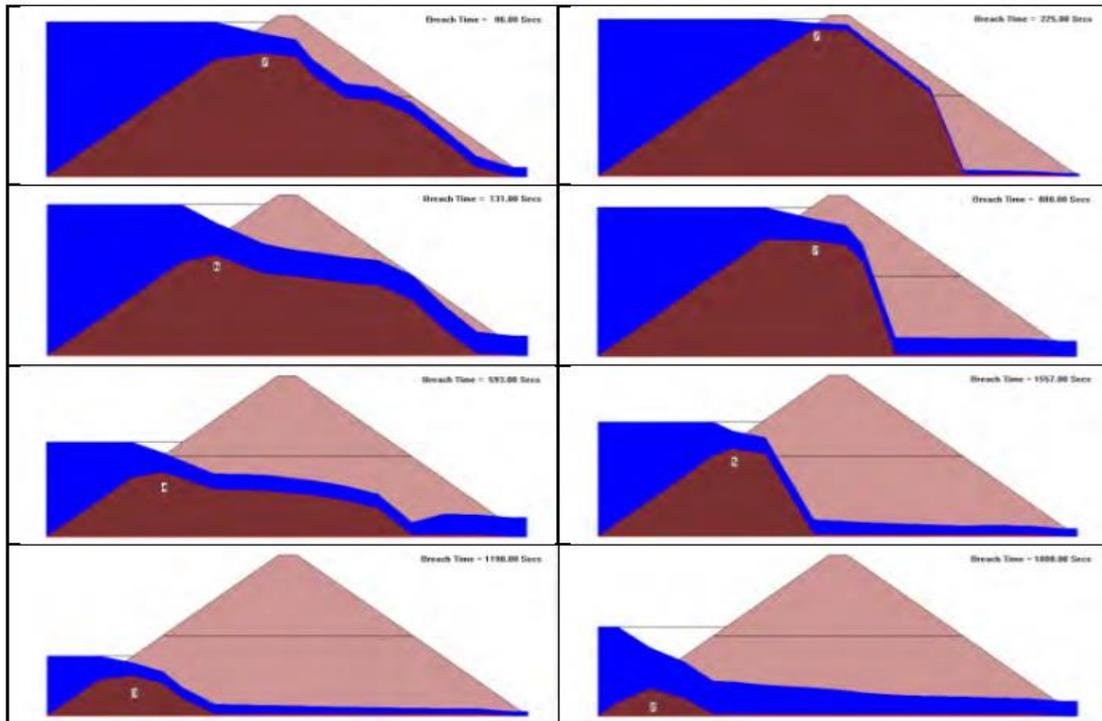
Según the Bureau of Reclamation de los Estados Unidos, el proceso de formación de brecha incluye básicamente 02 fases las cuales se definen a continuación.

- Inicio de la brecha: esta es la fase inicial de la brecha, inicia con el flujo del agua sobre o a través del cuerpo de la presa el cual produce una erosión visible con potencial de incrementarse y provocar una falla, dado que la erosión activa se encuentra aguas abajo esta puede evolucionar a efecto de las condiciones del embalse que ejerce presión en los poros.
- Formación de la brecha: esta fase comienza al final de la fase de iniciación de brechas, cuando la erosión ha provocado un agrandamiento en la sección transversal del canal formado, esta fase continúa hasta que la brecha ha crecido hasta su máxima dimensión, este proceso incluye crecimiento en altura y ancho.

También en relación a la confiabilidad de los modelos y métodos existentes para la predicción de brechas en rotura de presa, Saad Sh et al. (2015) Elaboró un estudio con el propósito de evaluar los modelos existentes para evaluar la rotura de la presa, la incertidumbre se determinó tomando estudios de casos de 140 casos de fallas de presas registradas, se probó la precisión de los métodos paramétricos o ecuaciones matemática y modelos físicos que requieren más información de entrada, y se encontró un error relativo que oscila entre 0.39 hasta 1.05 para la brecha y entre 0.6 y 0.8 para el tiempo de falla. También aquí se expresa que las fallas más comunes son las de sobrepaso o rebase y erosión interna.

Morris et al. (2017, pág. 9) del Bureau of Reclamation, presentan una evaluación de los modelos basados en física para determinar las brechas de presas de tierra, entre ellos HR BREACH y SIMBA/WinDAM ambos modelos son capaces de reproducir simulaciones muy realistas de los terraplenes, así mismo concluyen que un parámetro de entrada relevante para los cálculos es la erosionabilidad de este parámetro depende la tasa de gasto del material ocasionado por el flujo, en la figura 2 se muestra la erosionabilidad de dos presas con diferente erosionabilidad, en la izquierda se muestra la presa con mayor erosionabilidad que el de la derecha.

**Figura 2.** Impacto de la rotura para materiales de diferente erosionabilidad, en la derecha un material menos erosionable.



*Nota.* Las imágenes representan las presas con diferente erosionabilidad, y como estas afectan el desarrollo de la brecha.

*Fuente:* *Evaluation and Development of Physically-Based Embankment Breach Models* (p. 7). Morris et al. 2017.

La eficiencia de los modelos basados en físicas ha sido evaluada y se ha mostrado su eficiencia, Wu (2013, pág. 14) de la Clarkson University presenta un modelo simplificado basado en física para simular procesos de rotura en presas de tierra ha sido puesto a prueba y se ha mostrado su eficacia. El modelo se ha probado con 50 experimentos en laboratorio de donde se determinó que los datos de brecha, es decir las dimensiones y los tiempos tienen buena concordancia con los datos medidos.

Los registros han mostrado que las inundaciones derivadas de una falla de presa, son principalmente causadas por mala operación o deficiencia de las compuertas de alivio, esto termina principalmente en una falla por desbordamiento o sobrepaso, si bien las presas pueden brindar protección ante inundaciones o crecidas, se debe entender que no existe una protección completa ante todo escenario, ante la realidad de la potencial falla de las presas,

en la última década se han derivado algunos criterios de para clasificar presas, algunas basadas en su tamaño, en el “factor de presa”  $HxV$  (altura por volumen) pero gran mayoría de casos, el criterio fundamental está basado en el riesgo aguas abajo. CIGB ICOLD (2003, pág. 189)

Así también ICOLD hace un análisis estadístico para determinar el impacto de las inundaciones producidas por desastres naturales y por roturas de presas, en este boletín muestra que los impactos de las inundaciones asociadas a roturas de presas producen daños de magnitud social, ambiental, económico y hasta pérdidas humanas, esto confirma el impacto negativo que generará un desastre de esta naturaleza cual sea que fuere la causa que lo produce. (2003, pág. 84)

De diferentes estudios se destaca la importancia de determinar el caudal pico de descarga ante una rotura, para esto Verma et al. (2023, pág. 15) Realiza un interesante estudio con el objetivo de analizar resultados obtenidos en dos laboratorios, se ha tomado diferentes modelos para estudiar el desarrollo de la brecha durante un sobrepaso, de este análisis se observó que el caudal pico de salida depende principalmente de los parámetros hidráulicos, geométricos y geotécnicos de la presa.

Desde décadas pasadas, investigadores se ha preocupado en calcular el caudal pico, Costa (1985, pág. 17) estudia el caudal pico producido por la rotura de una rotura de presa puede ser estimado mediante ecuaciones de regresión, el estudio muestra una relación directa entre la altura de la presa, volumen con el caudal pico, para el caso de presas construidas la mejor variable independientes es la altura ( $H$ ) mientras que para las presas de deslizamiento la mejor variable independiente es el factor de presa ( $HxV$ ), finalmente presenta ecuaciones de regresión para el cálculo.

Para realizar una simulación en una dimensión de la inundación producida por una rotura de presa, las soluciones analíticas más conocidas son: Ritter's Solution, Dessler's Solution, Stoker's Solution, Phole's Solution. Recientemente se han desarrollado modelos dinámicos de flujo cuyas soluciones se han basado en las ecuaciones de Saint-Venant resueltas por el método de diferencias finitas. (...) Sin embargo para algunos casos los modelos en una dimensión no son aplicables, para estos casos los modelos de inundación en 2 dimensiones se han convertido en instrumento esencial para

refinar los resultados producidos por los modelos en 1-D, así la ecuación general que gobierna la propagación en 2 dimensiones de una honda dinámica, llamadas “shallow water equations”. ICOLD (1998, pág. 209)

En relación al modelo HEC-RAS para modelamiento hidráulico, este es capaz de modelar la propagación de un caudal sobre una superficie, haciendo uso de las ecuaciones de aguas poco profundas, o Shallow Water Equations, estas ecuaciones son capaces de definir el comportamiento del fluido a determinada profundidad, es decir las velocidades en un plano bidimensional. US Army Corps Of Engineers (2022, pág. 281)

Documentos técnicos de organismos especializados como ICOLD consideran que las herramientas más eficientes para el control de inundaciones son las obras hidráulicas como las presas, diques y canales, estas permiten almacenar el exceso de agua de escorrentía de los ríos y salvaguardar las áreas vulnerables, sin embargo, las inundaciones por eventos extraordinarios no son muy frecuentes por lo que estas obras de ingeniería deberían tener otros usos adicionales. ICOLD (2010, pág. 4)

Sin embargo ante la ocurrencia de una emergencia por la rotura de una presa, las medidas que deben tomarse consideran la necesidad de dos tipos de planes: Un “plan de acción durante emergencias” (PADE) que debe ser desarrollado por la entidad responsable de la operación y un “plan de respuesta o de evacuación y mitigación” a cargo de las entidades gubernamentales, la elaboración del PADE requiere de la confección de mapas de inundación que consideren la crecida de diseño y los escenarios más desfavorables en caso de una rotura de presa. ICOLD (2012).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de la investigación

**Tipo de investigación:** De acuerdo con la naturaleza de esta investigación, esta se tipifica como **Aplicada** puesto que utiliza teorías y conocimiento obtenidos de las investigaciones básicas que han sido aceptadas para su utilización, para proponer la solución a un problema real. Ñaupas P. et al. (2018, pág. 136)

**Diseño de la investigación:** El diseño de esta investigación entra en la categoría de investigación **cuasi experimental**, esto dado que no existe manipulación activa de las variables y la muestra es tomada a juicio del investigador. Hernández Sampieri et al. (2014, pág. 151)

#### 3.2. Variables y operacionalización

**Variable Independiente: Análisis de rotura de presa.**

**Definición Conceptual:** Esta variable se define como rotura al colapso de una parte de la represa quitando la capacidad de retener agua. (ICOLD, 1995, pág. 13)

**Definición Operacional:** Esta variable opera mediante sus características geométricas, estructurales y estadísticas de rotura, entre estas los tipos de presas, sus dimensiones geométricas, y los parámetros que definen la brecha.

**Variable Dependiente: Simulación de la propagación del flujo de descarga.**

**Definición Conceptual:** Es el comportamiento de flujo que depende directamente de la definición de rotura de la presa, además del hidrograma de salida, se debe considerar la hora de llegada de la ola de inundación, la velocidad de aumento del nivel del agua, la elevación del nivel del agua, la velocidad de los escombros flotantes, los sedimentos y el hielo. (ICOLD, 1998, pág. 45)

**Definición Operacional:** Esta variable se define en base a sus características físicas como el área de inundación, caudal máximo

del hidrograma, velocidad de flujo, profundidades de inundación y tiempos de llegada el caudal pico.

### **3.3. Población, muestra y muestreo**

#### **La población**

Es aquel conjunto de casos cuyas especificaciones tienen determinada concordancia. Hernández Sampieri et al. (2014), para este caso la población es el conjunto de presas existentes en el ámbito de estudio, en este caso la población sólo corresponde a la presa Limón.

#### **La muestra**

En cuanto a la muestra esta se considera como un subgrupo de la población, para este estudio la muestra es de tipo no probabilística (muestras dirigidas a criterio del investigador). Hernández Sampieri et al. (2014). Para esta investigación la muestra corresponde a la **presa Limón**, ubicada en la cuenca baja del río Huancabamba, en el kilómetro 87 de la carretera Fernando Belaunde Terry, distrito de San Felipe, provincia de Jaén, departamento de Cajamarca en el norte del Perú.

#### **El muestreo**

Para este estudio, se considera un muestreo no probabilístico puesto que se trata de una muestra dirigida y escogida a criterio.

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

**Técnica:** Se usará la técnica de observación directa de datos, los cuales serán registrados en los formatos o fichas disponibles.

**Instrumentos:** Los instrumentos corresponden a cuadros o formatos elaborados en Excel para organizar de forma conveniente y facilitar el análisis de la información, en la siguiente tabla se muestran las fichas que servirán para la colección de datos.

**Tabla 1.** Instrumentos de recolección de datos

INSTRUMENTO	INDICADOR
Ficha 01	Hidrograma de descarga
Ficha 02	Datos de la simulación

*Fuente: Elaboración propia.*

**Validez:** la validez se demuestra mediante la aprobación de expertos quienes evalúan la funcionalidad de los instrumentos que se pretende utilizar.

**Tabla 2.** Expertos que evalúan la validez.

INGENIERO	Nombre y Apellidos	CIP	VALIDEZ
Ingeniero 01	Efraín Huamán García	173223	0.9
Ingeniero 02	Jose H. Santisteban Farroñan	249083	0.9
Ingeniero 03	Jhonny Mozonbite Díaz	246411	0.9

*Fuente: Elaboración propia.*

Para la evaluación de validez, se utilizó la tabla que sigue a continuación, validez de contenido.

**Tabla 3.** Rangos de validez.

Rango	Magnitud
1	Validez Perfecta
[ 0.72; 0.99]	Excelente validez
[ 0.66; 0.71]	Muy válida
[ 0.60; 0.65]	Válida
[ 0.54; 0.59]	Validez baja
[ 0.00; 0.53]	Validez nula

*Fuente: Herrera 1998*

**Confiabilidad de instrumentos de recolección de datos:** Las fichas y formatos de recolección de datos han sido usadas en investigaciones anteriores de igual naturaleza, por otro lado, la confiabilidad de los datos se asegura mediante el uso de softwares de código abierto.

**Tabla 4.** *Softwares para la realización de los análisis.*

SOFTWARE	Versión	Licencia
HEC-RAS	6.3.1	Libre
QGIS	3.28.5	Libre
EMBREA	Lite	Libre
EXCEL	2019	Si

*Fuente: Elaboración propia.*

### 3.5. Procedimientos.

#### 3.5.1. Recopilación y producción de información de entrada.

Para realizar el estudio será necesario la disposición de especificaciones técnicas de la presa Limón, tales como su tipología, dimensiones geométricas, materiales, capacidad de almacenamiento del embalse, caudal de diseño del aliviadero, entre las más importantes.

Por otro lado, será necesario disponer de data asociada al tramo del río Huancabamba que será material de estudio, en este caso la longitud del cauce del río Huancabamba, modelos de elevación digital de origen satelital que servirá como información topográfica del cauce del río, secciones transversales obtenidas mediante topografía convencional para corregir el perfil longitudinal del río, y otros parámetros derivados de la topografía.

La información espacial será tomada desde EOSDA LandViewer, esta es una herramienta de plataforma web que ofrece imágenes de

observación satelital para buscar, procesar y obtener información de interés y abordar problemas reales. (EOSDA LandViewer, 2023)

Los procesos previos para conformar la información espacial se trabajarán en el software QGIS 3.28.5.

“QGIS es un Sistema de Información Geográfica (SIG) de uso gratuito, licenciado por GNU. QGIS es un proyecto oficial de Open Source Geospatial Foundation (OSGeo).” (QGIS, 2023) El Software permite utilizar varios tipos de información espacial, elaborar y realizar análisis de interés para diferentes disciplinas

### **3.5.2. Modelamiento de la Brecha (Análisis de Rotura)**

EMBREA es un modelo basado en física desarrollado en HR Wallingford (UK), se emplea para predecir la formación de una brecha, cuenta con todas las funciones. Este software muy elaborado es capaz de modelar la rotura de una presa de múltiples zonas de material con diferentes erosionabilidades, lo que permite analizar construcciones de presas más complejas y modernas sin necesidad de simplificaciones” (WALLINGFORD, 2023)

Para predecir la brecha, se cargarán los datos de entrada que caracterizan a la presa Limón y será asociado a un escenario de rotura, para el caso tenemos dos escenarios: Rotura en buen tiempo y Rotura en mal tiempo, se considera buen tiempo al periodo de operación durante los meses soleados y mal tiempo al periodo de operación en los meses lluviosos. Algunos datos adicionales requeridos, serán asumidos a criterio.

Finalmente se obtiene las dimensiones de la brecha y su hidrograma de descarga asociado al escenario de rotura.

### **3.5.3. Modelamiento de la propagación de caudales de descarga**

Del modelamiento de la brecha, la data de entrada para el modelamiento hidráulico corresponde al hidrograma de descarga producido por la rotura.

Se elaborará un modelo en HEC-RAS versión 6.3.1. Este software permite realizar cálculos de flujo estable unidimensional, flujo inestable unidimensional y bidimensional, cálculos de transporte de sedimentos y modelado de calidad del agua. (U.S. Army Corps of Engineers, 2023)

La información espacial correspondiente a la superficie del terreno a lo largo del río aguas abajo de la presa será elaborado a partir de información satelital, es decir modelos de elevación digital que la NASA ha puesto para libre disposición.

El siguiente paso es establecer las condiciones de flujo en el eje del río, los coeficientes de rugosidad, y las condiciones de entrada y salida del flujo y finalmente correr el modelo computacional para obtener los resultados asociados a la inundación.

#### **3.5.4. Análisis de resultados de la propagación del flujo de descarga.**

El análisis de los resultados se realizará evaluando el impacto que la rotura de la presa Limón provocaría, para efectos de este análisis se delimitará el área de inundación, los poblados afectados y los tiempos de propagación del caudal pico.

Para analizar los resultados se usará el software SIG "QGIS".

#### **3.6. Método de análisis de la información**

El análisis se realizará mediante recursos informáticos como Excel, QGIS 3.28.5 y estadística, los gráficos generados y mapas servirán para probar la hipótesis planteada y probar teorías.

#### **3.7. Aspectos éticos.**

Este trabajo de investigación ha sido abordado y elaborado bajo los lineamientos de la universidad, la citación es en base APA 7ma edición, además usando los softwares de libre acceso, y con la herramienta Turnitin para lograr un alto nivel de originalidad de la investigación.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Recopilación y producción de información de entrada.

Se ha recopilado la información de distintas fuentes, la empresa Concesionaria Traslase Olmos S.A., ha puesto a disposición el uso de la información relacionada a las obras, por otro lado, se han tomado información de origen satelital desde una página web, el resto de la información correspondiente a coeficientes o factores se ha tomado de libros y bibliografía confiable, se presenta un resumen la información y su fuente:

**Tabla 5.** Fuente de información recopilada.

INFORMACION	FUENTE
Geometría y materiales de la presa Limón. Volumen de almacenamiento del embalse Caudal de diseño	Concesionaria Traslase Olmos S.A.
Modelos de elevación del terreno en el cauce del río Huancabamba. Coeficiente de rugosidad (n: Manning)	EOS DATA ANALYTICS LANDVIEWER <a href="https://eos.com/landviewer">https://eos.com/landviewer</a> Producido según Cowan (1956)

*Nota.* La información que corresponde a la Concesionaría Traslase Olmos, ha sido previamente autorizada para su utilización y publicación.

*Fuente:* Elaboración propia.

#### 4.1.1. Características geométricas de la Presa Limón.

La presa Limón es una presa de escollera con pantalla de concreto, o CFRD según sus siglas en inglés, esta tipología también corresponde a una presa de material suelto, las características geométricas que la definen se presentan en la tabla 6.

**Tabla 6.** Características geométricas de la presa Limón

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DE LA PRESA LIMON	
Cota de corona de la presa	1,123 m.s.n.m.
Cota de remanso normal	1,120 m.s.n.m.
Caudal de diseño del aliviadero	(Q0.01%=1,740 m3/s)
Longitud de presa en la corona	332 m
Ancho de la corona de presa	10 m
Altura máxima de la presa	43 m
Pendiente del talud de aguas arriba	V:H = 1:1.5
Pendiente del talud de aguas abajo	V:H = 1:1.5
Ancho de las bermas	10 m
Espesor de la losa de concreto	0.55 – 0.42 m
Profundidad del diafragma de concreto	40 m
Volumen total de la presa	830.000 m3

*Fuente: MOM de las obras de trasvase. Concesionaria Trasvase Olmos S.A. 2019.*

**Figura 3.** Presa Limón y Embalse a 1120 msnm (2022)



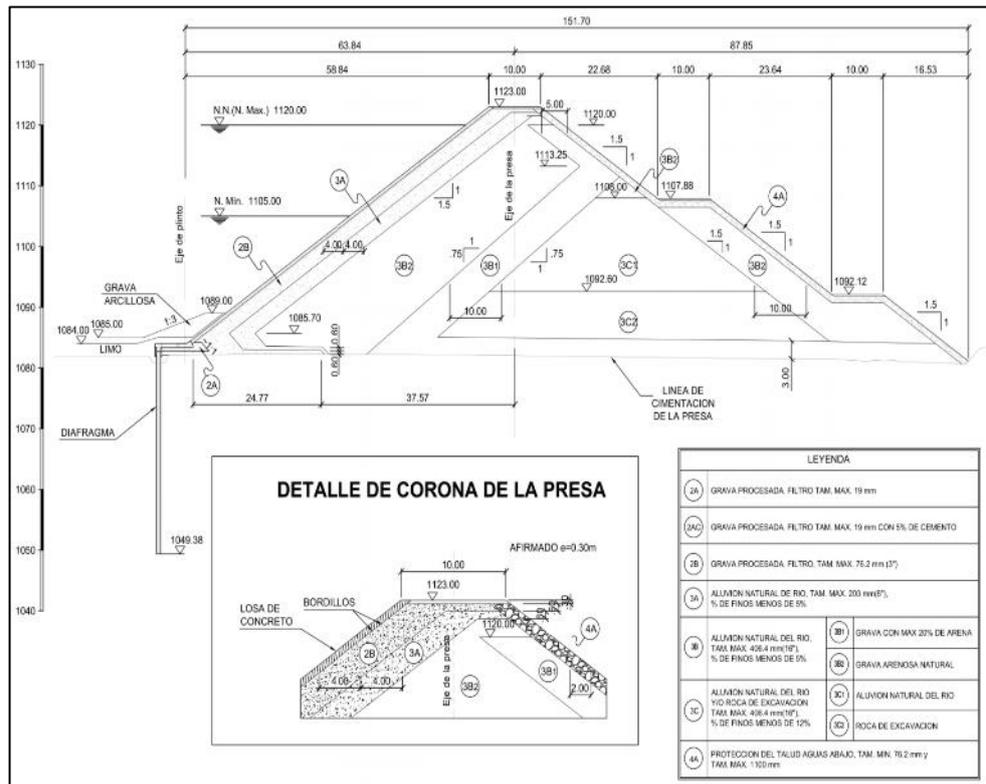
*Nota.* Fotografía de las Presa y Embalse.

*Fuente: Elaboración propia.*

#### 4.1.2. Características del material de la Presa Limón.

En cuanto a las características granulométricas, el cuerpo de la presa Limón está zonificada por materiales que van desde el tipo 2A hasta 4A, lo cual es típico en presas del tipo CFRD.

Figura 4. Geometría y zonificación de la presa Limón.



Nota. La imagen muestra las características geométricas de la presa Limón, así también la zonificación de materiales.

Fuente: Plano Sección Típica Presa Limón - Concesionaria Traslase Olmos S.A.

Se determinó que los materiales del tipo 3B y 3C representan alrededor del 82% del área de la sección transversal de la presa por lo cual para efectos de cálculo se tomó el diámetro medio (D50) de las zonas mencionadas para representar todo el cuerpo de la presa, a partir de las curvas granulométricas.

El peso específico y porosidad se toman del expediente técnico del proyecto.

En la tabla 07 se presentan los parámetros que se consideraron para realizar el modelamiento de la brecha de la presa Limón.

**Tabla 7**

*Características del material de la presa*

MATERIAL DE LA PRESA			
Diámetro medio d50 (mm)	57	Fuerza de Tensión (Kn/m2)	0
Ángulo de fricción (°)	45	Índice de plasticidad	0
Porosidad	0.15	Coefficiente de Erosionabilidad (cm3/N. S)	17.7
Cohesión (kN/m2)	0	Esfuerzo cortante crítico (N/m2)	0
Peso específico seco (kN/M3)	22	Coefficiente de Rugosidad (Ven Te Chow, 1995)	0.03

*Nota.* Estos datos han sido tomados de: "Memoria Descriptiva Presa Limón" La erosionabilidad se ha calculado según Hanson 2007.

*Fuente:* Elaboración propia.

#### 4.1.3. Capacidad de almacenamiento del embalse Limón.

Para los fines del estudio se presentan los datos que caracterizan la capacidad de almacenamiento del embalse Limón.

**Tabla 8.** *Capacidad de almacenamiento del embalse*

Descripción	Elevación (m.s.n.m.)	Volumen (m3)
NAMO	1,120.00	14,631,724.80
NAME	1,113.00	3,493,174.00
NAMI	1,105.00	497,772.30
Fondo	1,080.26	0.70

*Fuente:* Estudio topográfico batimétrico del embalse Limón 2022 – Concesionaria Trasvase Olmos S.A.

#### 4.1.4. Hidrograma de crecida.

Para el diseño de las obras de aliviadero se ha elaborado un estudio hidrológico de máximas avenidas del río Huancabamba en el sector Limón, para un periodo de retorno de 10000 años, el caudal de diseño asciende a 1740 m<sup>3</sup>/s, este caudal máximo representa el pico de una crecida extraordinaria, a partir de este valor se ha conformado un hidrograma usando el hidrograma unitario adimensional del SCS.

**Tabla 9.** Hidrograma de crecida para 1000 años.

TIEMPO (hr)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	TIEMPO (hr)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0.00	0	87.36	186.18
6.72	174	94.08	133.98
13.44	539.4	100.8	95.7
20.16	1148.4	107.52	69.6
26.88	1618.2	114.24	50.46
33.6	1740	120.96	36.54
40.32	1618.2	127.68	26.1
47.04	1357.2	134.4	19.14
53.76	974.4	141.12	17.4
60.48	678.6	147.84	12.18
67.20	487.2	154.56	5.22
73.92	360.18	161.28	2.61
80.64	255.78	168	0

*Nota.* Hidrograma generado mediante el método de hidrograma unitario SCS.

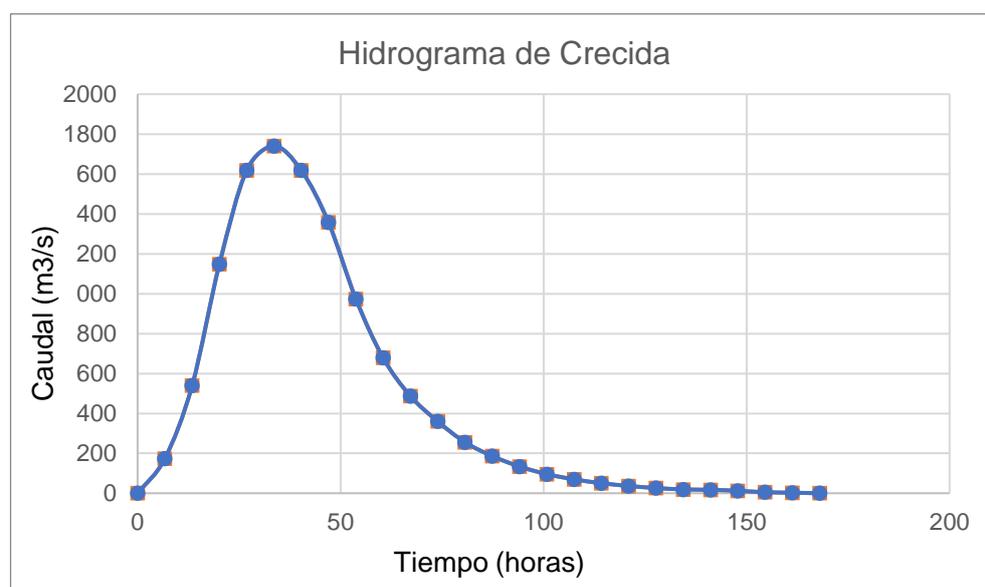
*Fuente:* Elaboración propia.

La figura 5 que se muestra a continuación representa gráficamente el hidrograma de crecida para un caudal decamilenario de 1740.0 m<sup>3</sup>/s, esto servirá como información de entrada para establecer los

escenarios de rotura y conformar los modelos de rotura para la predicción de la brecha.

El escenario más desfavorable para un análisis de rotura de presa debe contemplar una situación de operación del embalse bajo condiciones hidrológicas adversas, tal como crecidas extraordinarias.

**Figura 5.** Hidrograma de crecida 1000 años



*Nota.* Tomado del *Manual del estudio de régimen hidrológico del río Huancabamba*. 2021.

*Fuente:* Elaboración propia.

#### **4.1.5. Modelos de elevación digital (DEM).**

Se han tomado un total de 190 imágenes ráster, descargadas con una resolución de píxel de 10 m por 10 m, desde el sitio web Land Viewer de Eos Data Analytics.

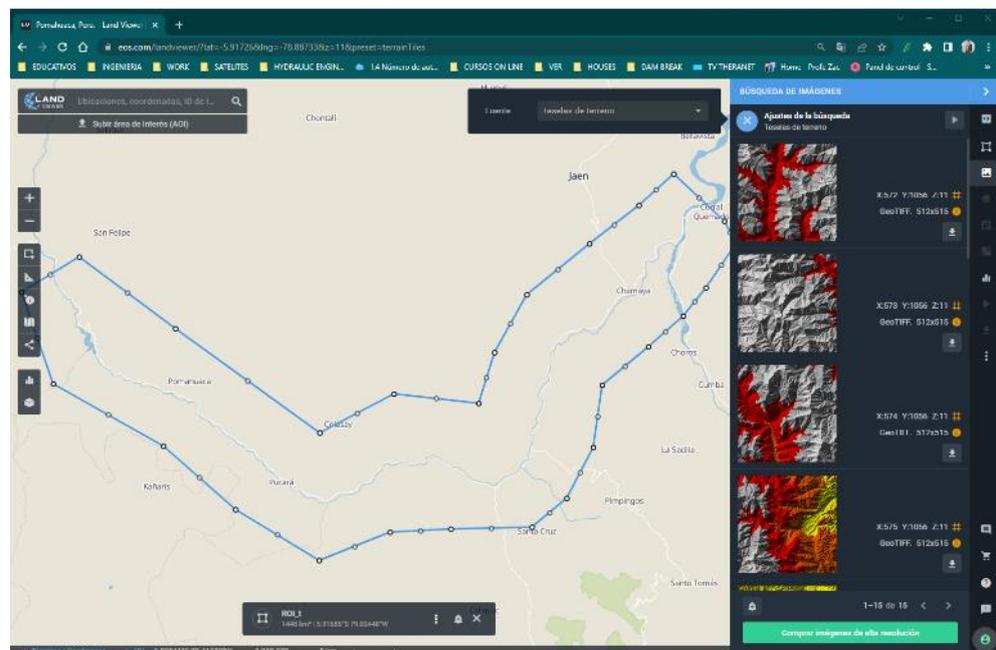
EOS Data Analytics ofrece información geoespacial confiable de todo el planeta, la información se obtiene de diferentes sensores, los datos se van desde píxel hasta herramientas virtuales avanzadas. (EOS DATA ANALYTICS, 2023)

Para la descarga de imágenes en formato TIF del sitio en mención se utilizó un polígono (.kml) para delimitar la información sobre el área de estudio de tal forma que la plataforma selecciones

automáticamente las imágenes de interés, fueron 190 imágenes tomadas para cubrir el área de estudio.

La figura 6 muestra la interfaz de la plataforma web de Land Viewer, fuente de la información geoespacial utilizada.

**Figura 6.** Sitio web de Land Viewer (EOS Data Analytics)



*Nota.* La imagen muestra la interfaz del sitio Web Land Viewer, el polígono cubre todo el tramo del río a estudiar y en la parte derecha se muestran las teselas de terreno disponibles a descargar.

*Fuente:* Elaboración propia.

La información descargada (imágenes en extensión .TIF) fue preparada usando el Software Q.GIS 3.28.5 para su posterior uso en HEC-RAS 6.3.1.

Haciendo uso del Sistema de Información Geográfica mencionado y disponiendo de la data descargada se efectuaron varios procesos de Vectorización y Rasterizado para corregir y habilitar la información geográfica para su uso en modelamiento hidráulico.

- a. Digitalización del eje del río Huancabamba desde el pie de presa hasta la confluencia con el río Marañón, esto abarca un total de 114.5 kilómetros.

- b. Digitalización de 06 secciones de control sobre el eje del río para evaluar la propagación del flujo.
- c. Cargado de las 190 imágenes (TIF) en sistema EPSG:32717 - WGS 84 / UTM zona 17S.
- d. Fusión de las 190 imágenes ráster para obtener una sola imagen TIF.
- e. Rellenado de vacíos o huecos para evitar fugas mediante la herramienta de SAGA que contiene QGIS. La herramienta se denomina **Fill Sinks** y fue desarrollada por *Wang & H. Liu* (2006)
- f. Recortado al área de interés, en este caso una franja longitudinal a lo largo del eje del río, mediante un polígono digitalizado en QGIS.
- g. Exportación del DEM recortado.
- h. Generación de DEM del embalse a partir de las curvas de nivel, solo con fines de visualización.

**Figura 7.** DEM procesado en QGIS, a lo largo del eje del cauce.



*Nota.* La imagen muestra el DEM recortado considerando que el área de inundación no exceda sus límites, las imágenes de satélite son tomadas de *Bing Satellite* dentro de la interfaz de QGIS.

*Fuente:* *Elaboración propia.*

Adicionalmente se tomó las curvas de nivel del área de embalse y presa Limón para generar un DEM de la superficie, esto se realizó sólo con fines de visualizar la ubicación y forma actual de terraplén y el área inundable que genera la presa. Se muestra la Figura 8.

**Figura 8.** Modelo de Elevación Digital (DEM) del Embalse Limón



*Nota.* La imagen muestra el DEM del embalse y presa generado en QGIS, mediante la herramienta “Rasterizar”.

*Fuente:* Elaboración propia.

#### **4.1.6. Coeficiente de rugosidad Manning.**

El coeficiente de rugosidad se ha estimado para la superficie de inundación esto engloba principalmente áreas de cobertura de terreno como el cauce del río, las riberas y las laderas, los usos de suelo son en su mayoría, gravas de distinto tamaño en el cauce del río, cultivos de arroz, zonas arbóreas, y algunos poblados.

Mediante el software QGIS 3.28.5 se ha digitalizado las áreas de uso de suelo para definir un coeficiente de rugosidad para cada uno, el

cálculo de valor “n” se ha realizado mediante el método propuesto por Cowan (1956), la ecuación que propone el mencionado autor se presenta a continuación:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

Dónde:

- no: valor base de “n”.
- n1: valor que representa irregularidades en la superficie.
- n2: valor que define las variaciones de tamaño y forma de una sección transversal
- n3: valor que pondera las obstrucciones en el cauce
- n4: adición para tener en cuenta el efecto de la vegetación en las condiciones de flujo
- m5: factor para tener en cuenta la sinuosidad del canal (serpenteo)

Aplicando la metodología descrita, se han conseguido los valores que se muestran en la tabla 10.

**Tabla 10.** *Coefficientes de rugosidad determinados para el área de modelamiento hidráulico.*

ZONA	Rugosidad (n)
Río Cauce	0.056
Cultivos	0.040
Árboles	0.089
Quebrada	0.086
Poblado	0.110
Carretera	0.020
Laderas	0.060
Presa	0.058

*Nota.* El cálculo se realizó según la metodología propuesta por Cowan (1995) después definir las áreas con diferente cobertura de terreno.

*Fuente: Elaboración propia.*

## 4.2. Modelamiento de la Brecha (Análisis de Rotura)

Para modelar la predicción de la brecha se utilizó el modelo EMBREA Lite.

Los datos requeridos para el modelamiento con EMBREA involucran los datos de geometría de la presa, diámetro medio del material del cuerpo de la presa, capacidad del embalse, un hidrograma de ingreso al embalse y otros parámetros de configuración para la computación de resultados, los datos de la presa se encuentran descritos en el apartado 4.1, para la modelación se ha establecido el escenario de rotura por erosión interna, una falla típica en presas de material suelto.

### 4.2.1. Definición de Escenarios de rotura.

Para efectos de determinación de la brecha y posterior modelamiento hidráulico se han establecido dos escenarios, ambos para un modo de falla por tubificación, falla que según lo revisado representa la falla más recurrente en presas de tierra como la presa Limón.

**Tabla 11.** Escenarios para el análisis de rotura de presa

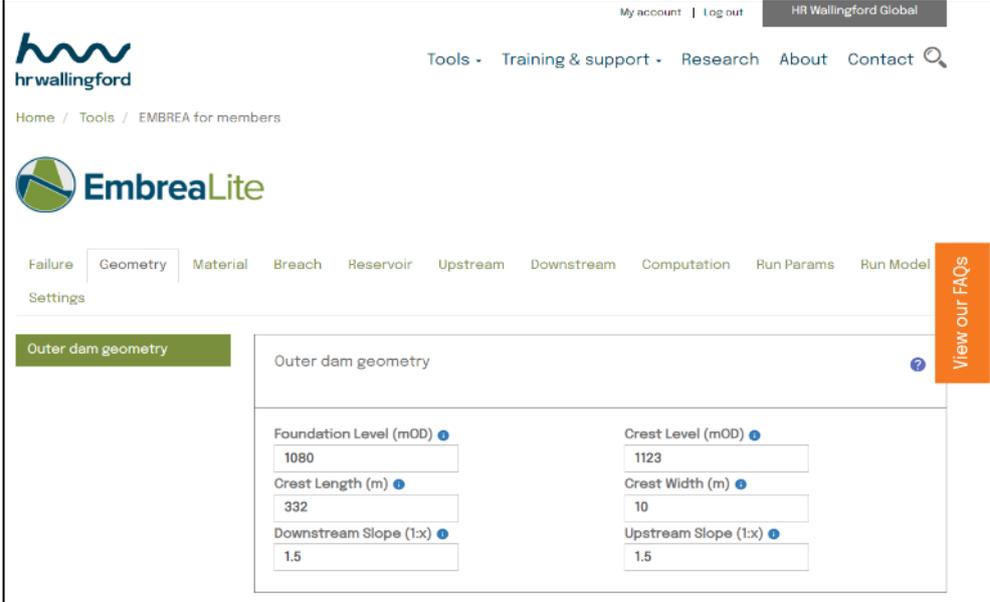
Escenario	Escenario 01	Escenario 02
Tipo de falla	Piping	Piping
Condición hidrológica	Caudal promedio plurianual de 26.88 m <sup>3</sup> /s	Crecida (0.01%), caudal pico de 1740 m <sup>3</sup> /s
Nivel Inicial del Embalse (msnm)	1120.00	1113.00
Nivel Inicial de brecha (msnm)	1100.00	1100.00

Nota. Escenarios definidos bajo el criterio de rotura más recurrente para el tipo de presa.

Fuente: Elaboración propia.

El software EMBREA se ejecuta en una plataforma web, en la Figura 9 se muestra el ingreso los datos de geometría de la Presa Limón, materiales, y demás datos de entrada.

**Figura 9.** Ingreso de datos para modelar en EMBREA Lite.



The screenshot displays the EMBREA Lite web application interface. At the top, there is a navigation bar with the HR Wallingford logo and menu items: 'Tools', 'Training & support', 'Research', 'About', and 'Contact'. Below this, a breadcrumb trail reads 'Home / Tools / EMBREA for members'. The main header features the 'EmbreaLite' logo and a series of tabs: 'Failure', 'Geometry', 'Material', 'Breach', 'Reservoir', 'Upstream', 'Downstream', 'Computation', 'Run Params', and 'Run Model'. The 'Geometry' tab is currently selected. On the right side, there is a vertical orange button labeled 'View our FAQs'. The main content area is titled 'Outer dam geometry' and contains a form with the following input fields:

Parameter	Value
Foundation Level (mOD)	1080
Crest Length (m)	332
Downstream Slope (1:x)	1.5
Crest Level (mOD)	1123
Crest Width (m)	10
Upstream Slope (1:x)	1.5

*Nota.* La imagen muestra una de los módulos de ingreso de datos (datos de geometría).

*Fuente:* Elaboración propia.

Los datos de condiciones de ingreso al embalse se definieron para el escenario 01 como un caudal constante de 26.88 m<sup>3</sup>/s que corresponde al promedio plurianual y para el escenario 02 como una crecida de 1740 m<sup>3</sup>/s correspondiente al caudal para un periodo de retorno de 10000 años, de esta forma se ha simulado para una condición normal y una condición desfavorable para la operación del embalse. Los otros datos requeridos corresponden a las condiciones de operación en el momento de la rotura, en este aspecto, se han establecido los niveles de embalse que se muestra en la tabla 11. Como paso final la configuración requerida para la computación del modelo se estableció los parámetros que se presentan en la tabla 12.

**Tabla 12.** Datos para la computación del modelo

Parámetro	Escenario 01	Escenario 02
Tiempo de Inicio (s)	0	3600
Tiempo de simulación (s)	3600	10800
Intervalo de tiempo (s)	10	10
Espaciamiento inicial de la sección (m)	2.5	205

Nota. La imagen muestra una de los módulos de ingreso de datos (datos de geometría).

Fuente: Elaboración propia.

Luego de correr EMBREA Lite, para los escenarios definidos, se han obtenido las dimensiones y tiempo de formación de la brecha y el hidrograma producto de la rotura.

#### 4.2.2. Predicción de la brecha para el Escenario 01.

Se presentan los resultados de predicción de brecha e hidrograma de rotura para las condiciones establecidas en el escenario 01.

**Tabla 13.** Predicción de la brecha para el escenario 01

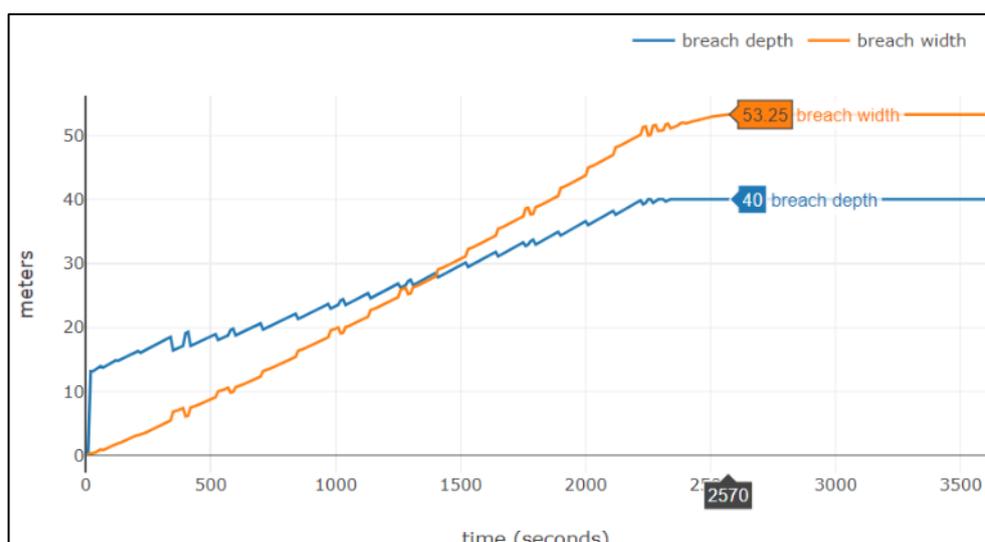
PARÁMETROS DE LA BRECHA (Escenario 01)	
Caudal Pico (m <sup>3</sup> /s)	15134.88
Tiempo de formación de la Brecha al caudal pico (s)	2220.00
Nivel del Embalse en el caudal pico (msnm)	1112.50
Ancho de la Brecha (m)	53.25
Altura de la Brecha (m)	40.00

Nota. Los datos mostrados al final de la simulación.

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de la brecha se ha iniciado inmediatamente desde su iniciación con un nivel de embalse 1120 msnm y se estabilizó en el segundo 2570 unos 330 segundos después de haber alcanzado el caudal pico, ver la figura 10.

**Figura 10.** Desarrollo de la brecha para el escenario 01



*Nota.* La figura 10 muestra el inicio de la brecha y su desarrollo progresivo. Tomado de los resultados del modelo en “*Embrea Lite*”.

*Fuente:* Elaboración propia.

El hidrograma de descarga rotura para este escenario se muestra en la tabla 14.

**Tabla 14.** Hidrograma de rotura para el escenario 01

HIDROGRAMA DE ROTURA					
Tiempo (min)	Caudal (m3/s)	Tiempo (min)	Caudal (m3/s)	Tiempo (min)	Caudal (m3/s)
1	65.06	21	5100.61	41	3733.89
2	140.60	22	5351.38	42	998.65
3	245.28	23	6119.63	43	281.62
4	333.81	24	6504.21	44	93.66
5	500.58	25	7205.42	45	44.39
6	655.03	26	7748.14	46	31.47
7	750.01	27	8523.12	47	28.08
8	940.37	28	9056.13	48	27.20
9	1125.83	29	9896.59	49	26.96
10	1251.26	30	10071.97	50	26.90
11	1503.79	31	10906.02	51	26.89

12	1708.26	32	11560.35	52	26.88
13	2022.38	33	12453.13	53	26.88
14	2381.63	34	13058.63	54	26.88
15	2663.80	35	13934.37	55	26.88
16	3087.42	36	14415.69	56	26.88
17	3387.94	37	15134.88	57	26.88
18	3680.81	38	14625.21	58	26.88
19	4072.46	39	13596.72	59	26.88
20	4596.33	40	10495.53	60	26.88

Nota. La tabla muestra los datos del hidrograma de descarga para una rotura bajo el escenario definido.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3. Predicción de la brecha para el Escenario 02

Se presentan los resultados de predicción de brecha e hidrograma de rotura para las condiciones establecidas en el escenario 02.

**Tabla 15.** Predicción de la brecha para el escenario 02

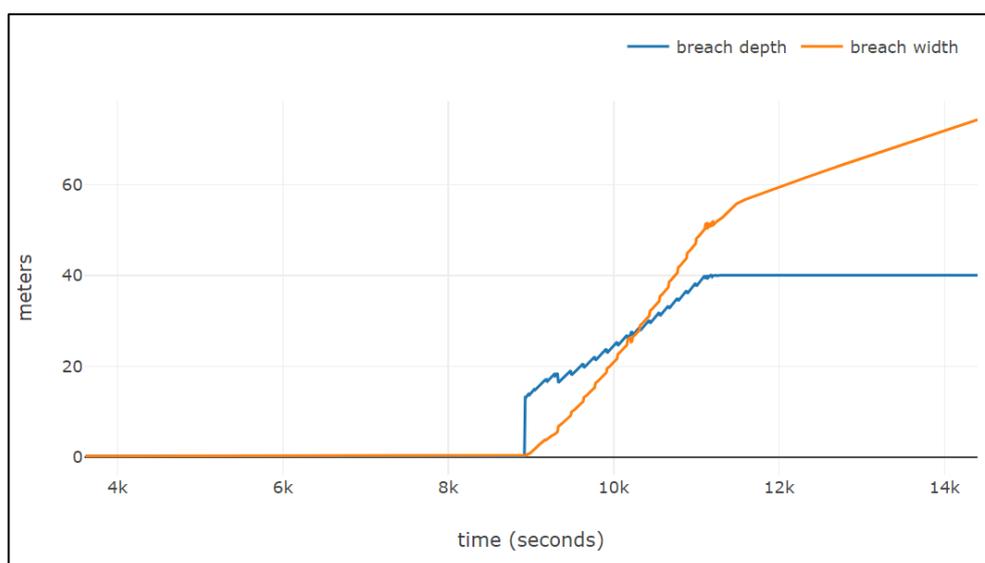
PARÁMETROS DE LA BRECHA (Escenario 02)	
Caudal Pico (m <sup>3</sup> /s)	16653.30
Tiempo de formación de la Brecha al caudal pico (s)	11100.00
Tiempo de formación de la Brecha (s) desde inicio de desarrollo al caudal pico	2220.00
Nivel del Embalse en el caudal pico (msnm)	1114.63
Ancho de la Brecha (m)	63.92
Altura de la Brecha (m)	40.00

Nota. Los datos mostrados al final de la simulación.

Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo de la brecha para este escenario ha iniciado en el segundo 8920 desde su iniciación con un nivel de embalse 1119.06 msnm, la brecha sigue desarrollándose aún después de haber alcanzado el caudal pico en el segundo 11100, esto se debió por la magnitud del caudal de ingreso, ver la figura 11.

**Figura 11.** Desarrollo de la brecha para el escenario 02



*Nota.* La figura 11 muestra el inicio de la brecha y su desarrollo progresivo. Tomado de los resultados del modelo en “Embrea Lite”.

*Fuente:* Elaboración propia.

El hidrograma de rotura generado para este escenario se presenta en la tabla 16.

**Tabla 16.** Hidrograma de rotura para el escenario 02

HIDROGRAMA DE ROTURA					
Tiempo (min)	Caudal (m3/s)	Tiempo (min)	Caudal (m3/s)	Tiempo (min)	Caudal (m3/s)
149	200.1	169	4941.87	189	14531.17
150	200.1	170	5460.22	190	12292.95
151	200.1	171	5770.83	191	7273.89
152	262.64	172	6388.86	192	3155.29
153	355.03	173	7012.25	193	2111.01
154	448.51	174	7593.06	194	1837.26
155	543.16	175	8370.05	195	1765.50
156	662.93	176	9076.37	196	1746.60
157	845.83	177	9805.46	197	1741.75
158	1062.52	178	10529.71	198	1740.25
159	1226.44	179	11484.84	199	1740.00

160	1489.86	180	12199.05	200	1740.00
161	1707.52	181	13216.00	201	1740.00
162	2027.17	182	13887.69	202	1740.00
163	2322.21	183	14931.5	203	1740.00
164	2693.69	184	15530.32	204	1740.00
165	3132.36	185	16543.28	205	1740.00
166	3439.04	186	16207.44	206	1740.00
167	3950.83	187	15717.32	207	1740.00
168	4347.4	188	15203.99	208	1740.00

Nota. La tabla muestra los datos del hidrograma de descarga para una rotura bajo el escenario definido.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4. Brecha según métodos paramétricos.

Se han estimado los parámetros de brecha según dos métodos, los propuestos por el MITECO España y por Froehlich 2008 a modo de comparación.

**Tabla 17.** Predicción de brecha según métodos paramétricos

BRECHA	Guía Técnica para clasificación de presas. 2021	Froehlich, 2008
Tiempo de formación (horas)	0.45	0.52
Ancho (m)	99	66

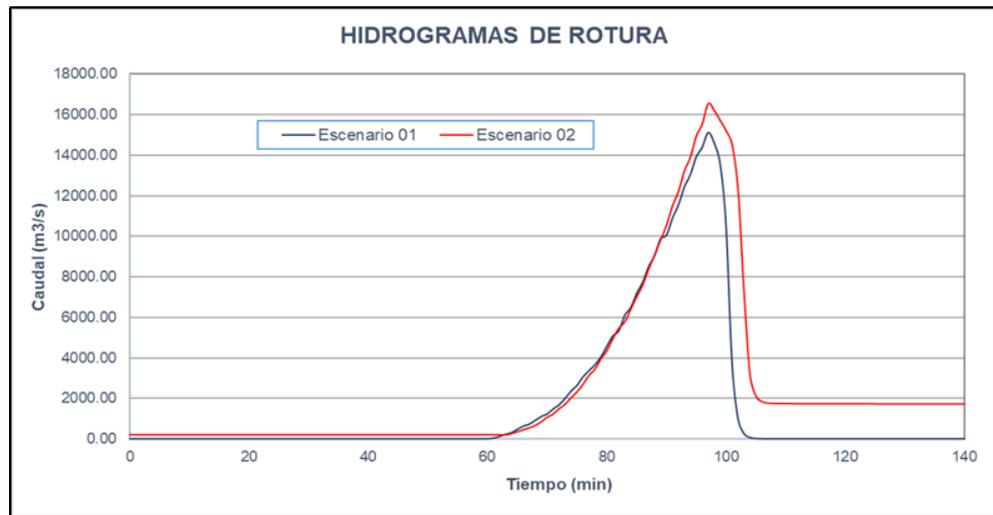
Nota. La tabla muestra el resultado de brecha con la metodología española y de Froehlich.

Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3. Modelamiento hidráulico de la propagación del flujo.

Para el modelamiento hidráulico se ha utilizado el software HEC RAS en su versión 6.3.1.

**Figura 12. Hidrogramas de Rotura para los escenarios 01 y 02**



*Nota.* La línea color azul describe la evolución de la rotura en buen tiempo, la roja en mal tiempo.

*Fuente:* Elaboración propia.

Del análisis de rotura se han obtenido los hidrogramas de rotura para cada escenario, se corrigió el desfase de tiempo, haciendo que coincida el instante donde inicia el desarrollo de la brecha. Este ajuste se realizó para poder elaborar el modelo hidráulico y sea factible la evaluar y comparación de la propagación de caudales.

#### **4.3.1. Configuración del modelo en HEC-RAS.**

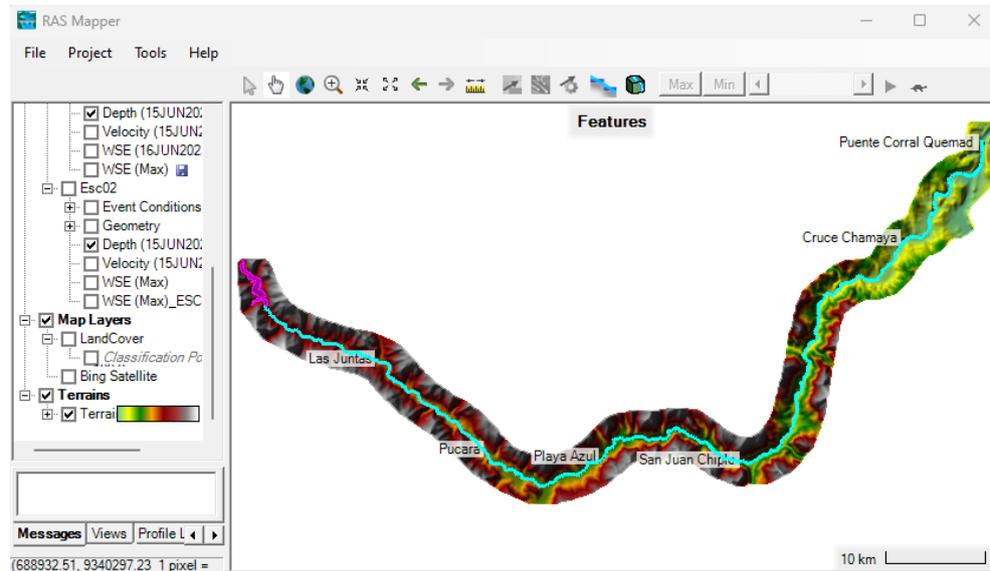
La elaboración del modelo se realizó tomando como datos de entrada, los hidrogramas de rotura, los modelos de elevación digital, las capas de rugosidad y el eje del cauce del río Huancabamba.

El primer paso fue configurar el modelo en unidades métricas, generar una carpeta para archivos del proceso, configurar la proyección geográfica que para este caso fue WGS 84 – 17S.

Posteriormente se creó una geometría para definir el espacio de modelamiento y definir sus características, se cargó el archivo DEM en formato TIF que previamente se procesó en QGIS, con ello se estableció el Terrain que se guardó en formato HDF.

Sobre esta geometría, se importó el eje del río Huancabamba, solo el tramo que será materia de estudio, desde la presa Limón hasta el puente Corral Quemado.

**Figura 13.** *Importación de eje del río Huancabamba a RAS Mapper*



*Nota.* Eje del río en estudio sobre él terrain.

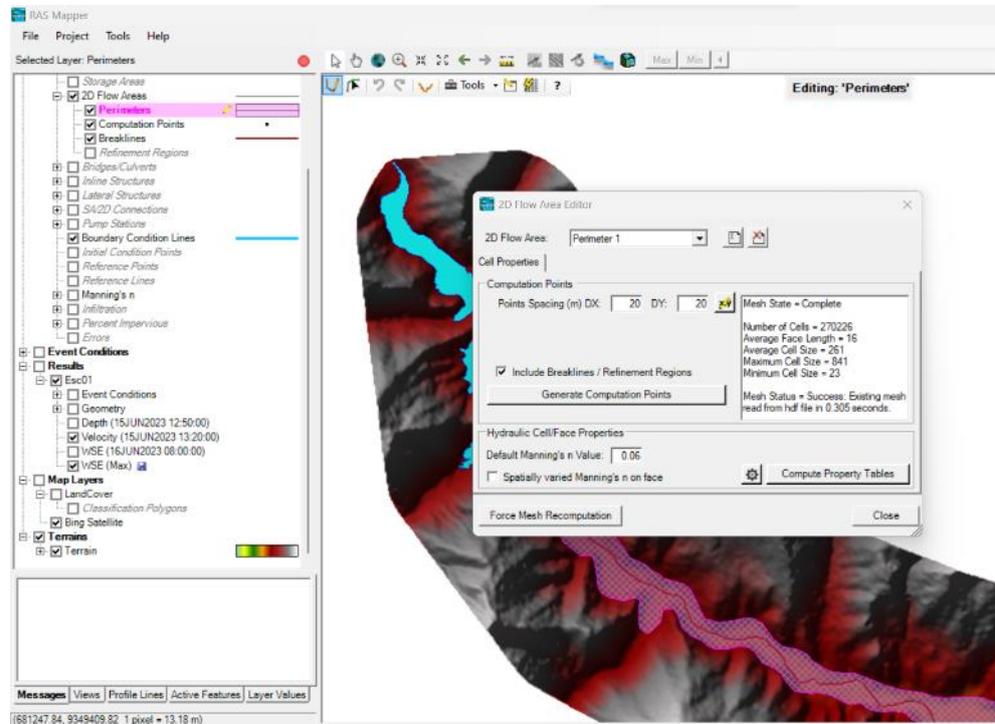
*Fuente:* Elaboración propia.

El paso siguiente fue generar la malla computacional, esto corresponde a un polígono dentro del terreno sobre el cual se ejecutarán los cálculos del modelo, se ejecutó un modelamiento previo para optimizar el polígono, este polígono se digito en QGIS como una capa vectorial y se cargó cuando se definía la geometría del modelo, el tamaño de celda de la malla computacional se estableció en 20 metros.

Habiendo definido la malla computacional, se procedió a refinar una franja paralela al eje del cauce, para ello se tomó un ancho de celda de 10 metros, un total de 5 repeticiones a cada lado y una transición de 15 metros, estas dimensiones van acordes a los tamaños de pixel del terreno, y acordes a la naturaleza de la modelación. Finalmente, se calculó el número de celdas para correr el modelo (270226 celdas).

En la figura 14 se muestra la computación de celdas según la configuración.

**Figura 14.** Malla computacional y refinamiento del cauce.

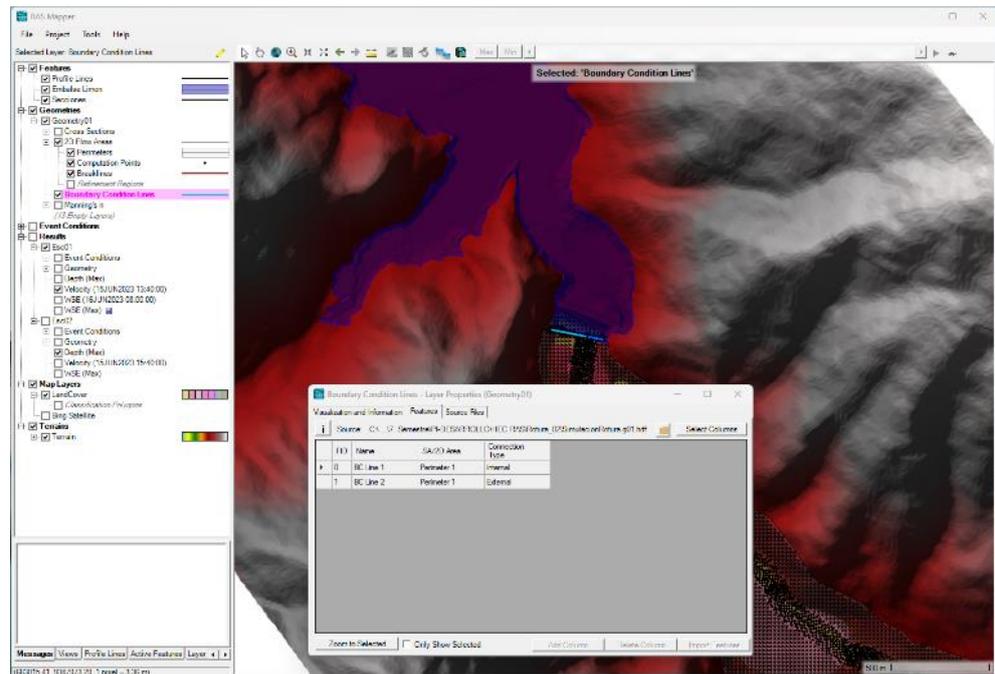


*Nota.* La imagen muestra el proceso de refinamiento de la malla computacional.

*Fuente:* Elaboración propia.

Para definir el lugar de ingreso de los hidrogramas y la salida se ha ingresado las *líneas de condición de contorno*, para ello se trazó la **BC Line 1** como condición de contorno para el ingreso del flujo inmediatamente aguas abajo de la presa, la línea se trazó dentro de la malla computacional cortando el eje del río, también se trazó la **BC Line 2** para definir la condición de contorno de la salida del flujo fuera de la malla computacional, pero cortando el eje del río ubicado en el puente Corral Quemado. La figura 15 muestra la configuración descrita.

**Figura 15.** Configuración de las condiciones de contorno



*Nota.* La imagen muestra el subprograma Ras Mapper donde se ejecuta toda la configuración espacial del modelo, compatible con archivos de información geográfica.

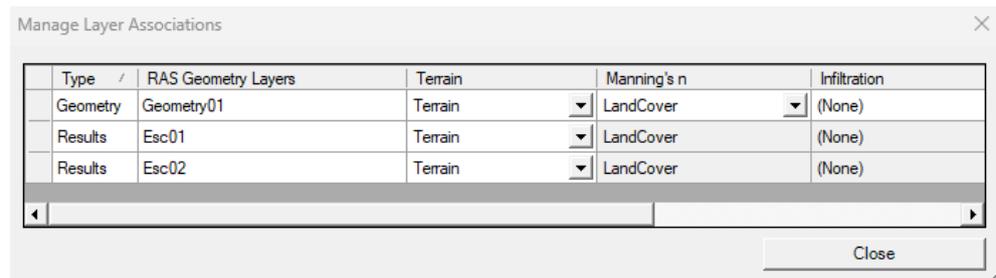
*Fuente:* Elaboración propia.

En la configuración de cobertura del terreno se definió Los coeficientes de rugosidad, esa información fue generada en QGIS como una capa vectorial de polígonos donde se agregó un atributo con la información de número de Manning, se importó esta capa en la sección de LandCover con los valores ya establecidos en el apartado 4.1.6.

Para las áreas que no están consideradas como dentro de las capas de rugosidad, se ha establecido el valor que corresponde a las laderas. Ver Figura 15.

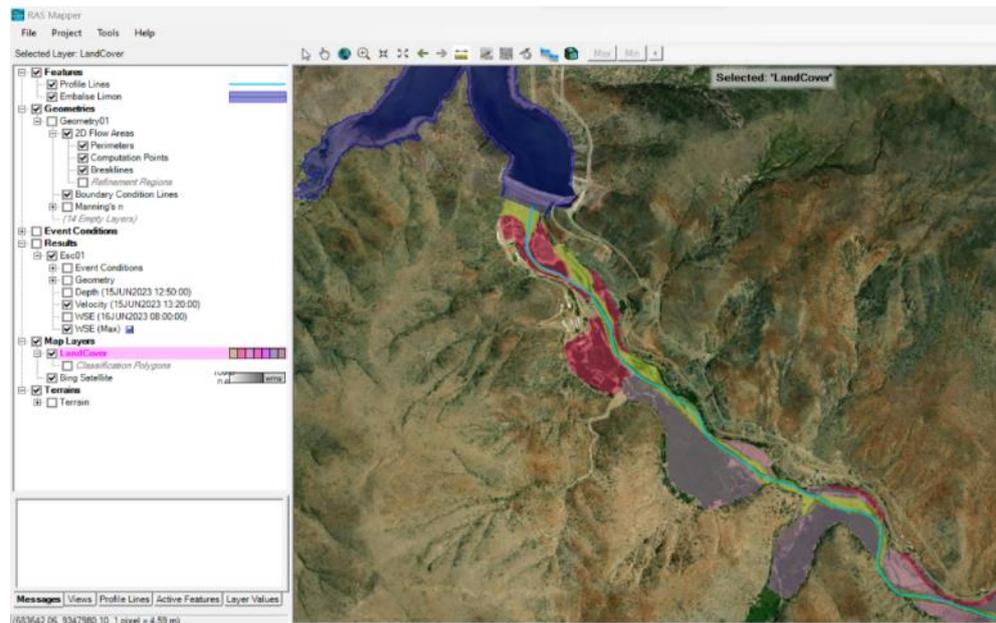
Después de agregar las condiciones de cobertura de terreno, se hizo una verificación de las asociaciones de las capas, de este modo se vinculó la geometría y escenarios al terrain y la capa de rugosidad. Ver Figura 16.

**Figura 16.** Asociación de Layers: Geometry, Terrain, Manning.



Fuente: Tomado desde RAS Mapper.

**Figura 17.** Asociación de coeficiente de rugosidad en HEC-RAS



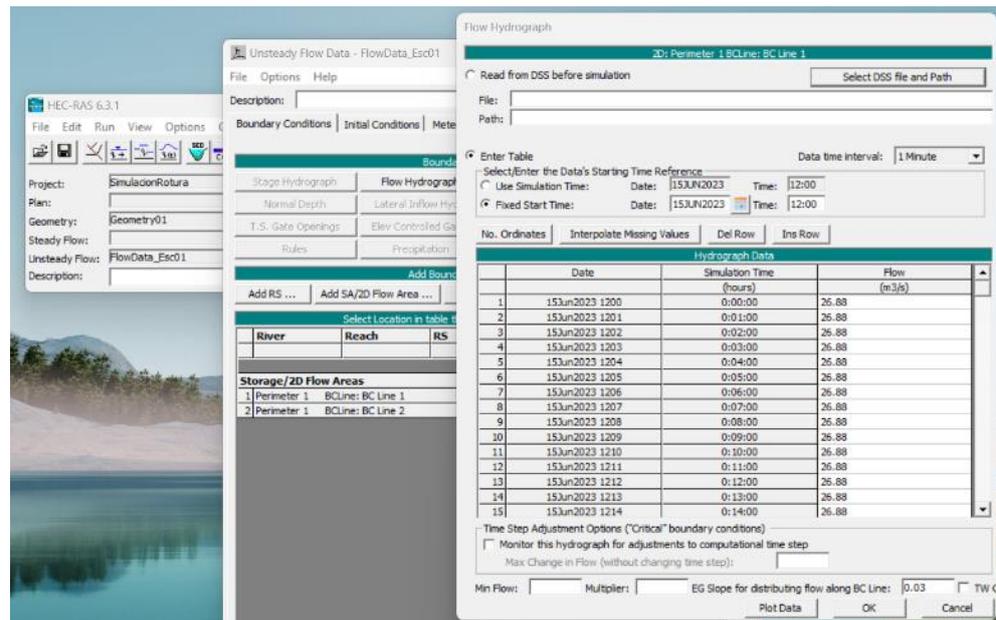
Nota. Se muestra la adición y asociación de capas elaboradas en QGIS 2.28.5.

Fuente: Elaboración propia.

La data del flujo variable se introdujo desde el icono de “Unsteady Flow Data” aquí se agregó el hidrograma de rotura correspondiente para cada escenario además de las pendientes encontradas de 0.03 para el BC Line 01 y 0.0016 para el BC Line 02.

El siguiente paso fue generar plan de flujo variable, desde el ícono “Perform an Unsteady Flow Simulation” en esta parte del proceso se configuró el tiempo de simulación, el tiempo de computación, el tiempo de generación de mapa de resultados y otros.

**Figura 18. Configuración del flujo variable**



*Nota.* Imagen tomada desde Software HEC RAS.

*Fuente:* Elaboración propia.

La configuración del flujo inestable para los planes de simulación, se definieron como se presenta en la tabla 18.

**Tabla 18. Configuración computacional para los planes flujo variable**

Tolerancia de superficie (m)	0.05
Tolerancia de volumen (m)	0.5
Iteraciones	20
Conjunto de Ecuaciones	SWE-ELM (Original/Faster)
Courant	Variable
Fecha inicial de simulación	15-06-2023 12:00
Fecha final de simulación	16-06-2023 08:00
Intervalo de computación (s)	2
Mapeo de resultados (min)	10

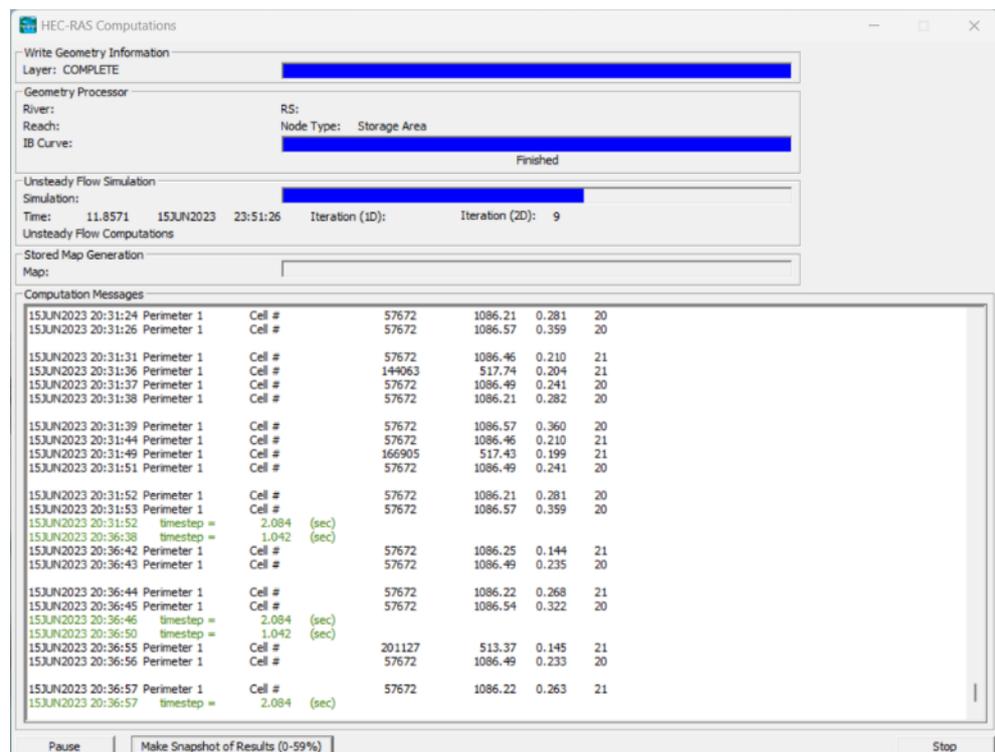
*Nota.* Los datos de fecha corresponden a un periodo de 20 horas de simulación.

*Fuente:* Elaboración propia.

Finalmente se inició con la computación de los planes de flujo inestable para cada escenario, al finalizar con la ejecución del modelamiento se pudieron visualizar y analizar los resultados conformados por profundidades, velocidades y áreas inundadas.

Debido a los numerosos cálculos e iteraciones que ejecuta HEC RAS, el tiempo que tarda es proporcional al número de celdas de la malla computacional, para este modelo de más de 250 mil celdas, el tiempo de computación fue de aproximadamente 8 horas, el ordenador con el cual se ejecutó el modelamiento tiene las siguientes características, Procesador Core I5 de 12va generación, con velocidad de hasta 4.2 GHz, 8 núcleos, 8 GB de memoria RAM y sistema operativo Windows 10.

**Figura 19.** Computación o corrida del modelo HEC RAS para determinar la propagación del flujo de rotura.



*Nota.* La imagen muestra el proceso de computación del modelo en plena ejecución, las iteraciones por cada celda, y el progreso en función del tiempo de computación considerado.

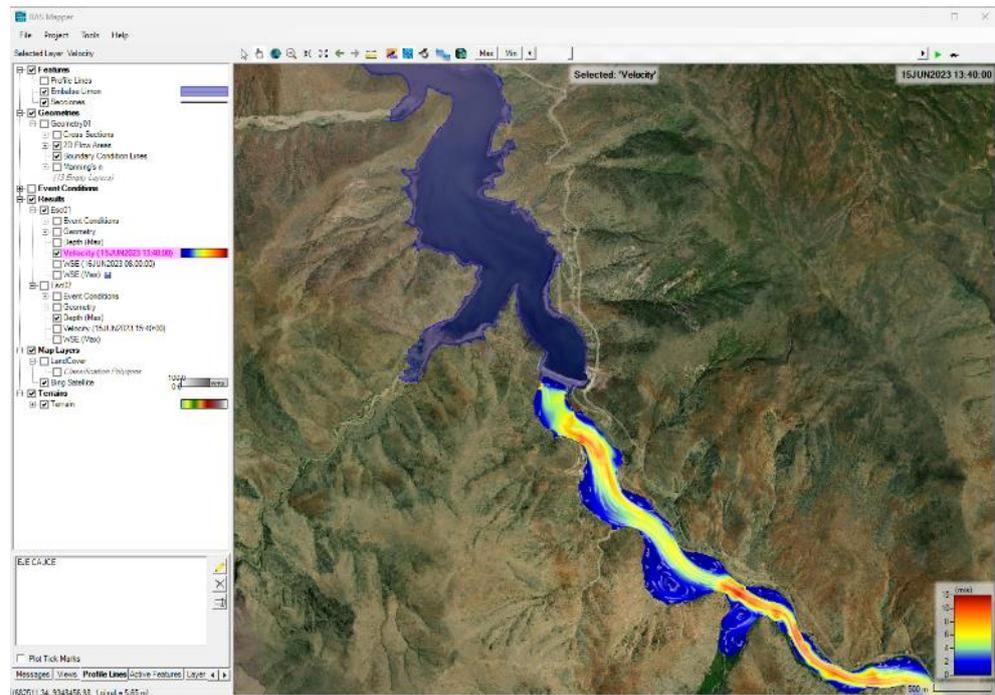
*Fuente:* Elaboración propia.

### 4.3.2. Propagación del caudal pico.

La propagación del caudal pico y todo el flujo en general está directamente asociado a las velocidades producidas en el modelo, en la figura 20 se muestra un mapa de velocidades para el escenario 01, de la misma forma se encontró el mapa de velocidades para el escenario 02.

La evaluación de la propagación del flujo de descarga, considero cinco puntos de interés aguas abajo de la presa Limón, en estos puntos se evaluará la propagación del caudal pico, es decir los tiempos de llegada, las secciones de control establecidas se presentan en la siguiente tabla 19.

**Figura 20.** Resultado de las Velocidades del flujo de descarga visualizados en RAS Mapper.



*Nota.* La imagen muestra en escala de colores la magnitud y dirección de la velocidad del flujo, se visualiza de esa forma para ambos escenarios.  
*Fuente:* Elaboración propia.

**Tabla 19.** Puntos de evaluación de propagación de caudal pico

SECCIÓN CONTROL	UTM WGS 84		UBICACIÓN (Km)
	NORTE	ESTE	
Las Juntas	9341762.67	695533.00	14+033
Pucara	9332704.86	706242.56	30+396
Playa Azul	9331876.54	717987.53	45+520
Cruce Chamaya	9353596.00	747907.97	98+070
Puente C. Quemado	9363320.41	755462.82	114+180

*Nota.* La ubicación indicada está en referencia a la Presa Limón donde se considera el kilómetro 0+000.

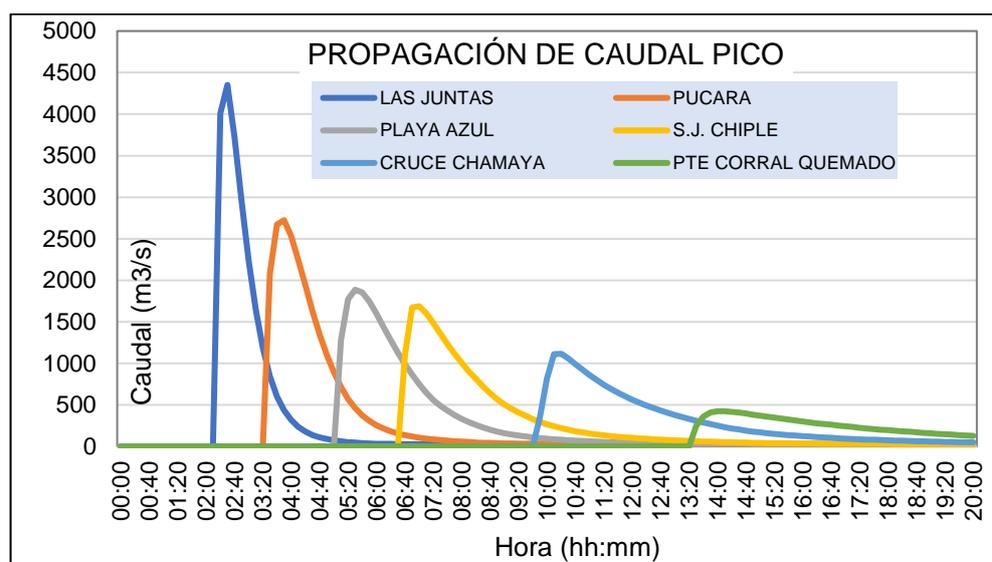
*Fuente:* Elaboración propia.

### A. Propagación del caudal pico para el Escenario 01

Para el escenario 01 la propagación de los caudales de descarga y el caudal pico han evolucionado como se muestra en la figura 21.

Es importante mencionar que este desarrollo inicia desde el momento del modelamiento, es decir desde las 12:00 horas del día.

**Figura 21.** Propagación del caudal pico en puntos de control (Escenario 01)



*Nota.* Se muestra la evolución temporal de los caudales en los puntos definidos para su evaluación.

*Fuente:* Elaboración propia.

El caudal pico se ha atenuado a lo largo de su recorrido, los tiempos y caudales máximos alcanzados para cada punto de control se presentan en la tabla 20.

**Tabla 20.** *Tiempos de propagación del caudal pico (Escenario 01)*

SECCIÓN CONTROL	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Tiempo (hh:mm)
Las Juntas	4351.537	02:30
Pucara	2724.449	03:50
Playa Azul	1887.698	05:30
S.J. Chiple	1688.828	07:00
Cruce Chamaya	1115.375	10:20
Puente C. Quemado	424.805	14:10

*Nota.* Los datos han sido encontrados evaluando el hidrograma en cada punto de control.

*Fuente:* *Elaboración propia.*

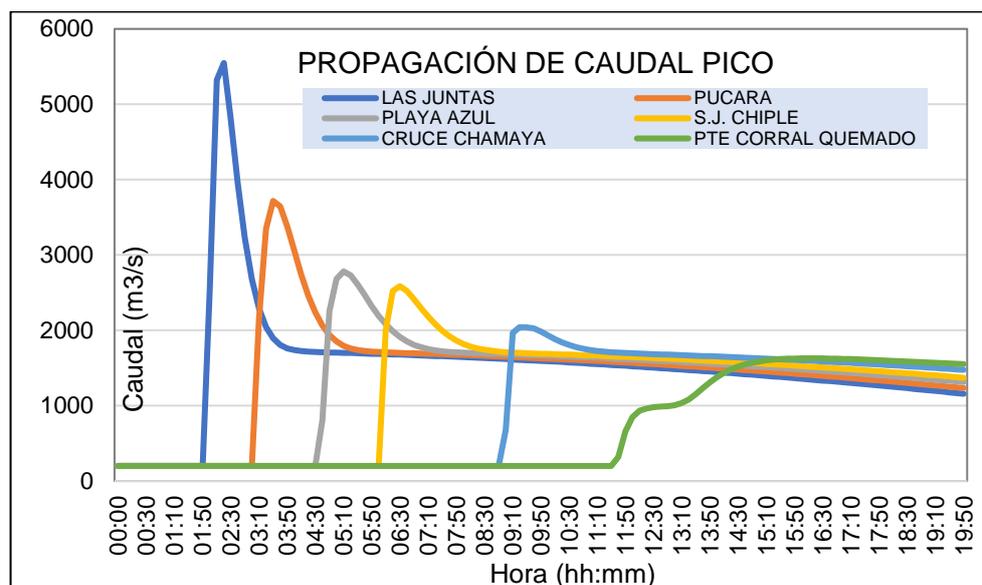
Es importante tener en cuenta que el tiempo que se muestra en la tabla es medido a partir del inicio del modelamiento, es decir una hora antes del inicio de desarrollo de la brecha.

Los datos de las tablas 20 y 21 representan un resumen de la data extraída desde RAS Mapper, en la sección de resultados puede observarse la evolución del flujo tomando como referencia una sección predefinida o ploteada manualmente, lo mismo aplica para el escenario 02.

## **B. Propagación del caudal pico para el Escenario 02**

Para el escenario 02 la propagación de los caudales de descarga y el caudal pico han evolucionado como se muestra en la figura 22.

**Figura 22.** Propagación del caudal pico en puntos de control (Escenario 02)



*Nota.* Se muestra la evolución temporal de los caudales en los puntos definidos para su evaluación.

*Fuente:* Elaboración propia.

Los tiempos y caudales máximos alcanzados para cada punto de control se presentan en la tabla 21.

**Tabla 21.** Tiempos de propagación del caudal pico (Escenario 02)

SECCIÓN CONTROL	Caudal (m3/s)	Tiempo (hh:mm)
Las Juntas	5547.608	02:20
Pucara	3717.389	03:30
Playa Azul	2781.872	05:10
S.J. Chiple	2586.145	06:30
Cruce Chamaya	2042.231	09:20
Puente C. Quemado	1628.594	16:10

*Nota.* Los datos han sido encontrados evaluando el hidrograma en cada punto de control.

*Fuente:* Elaboración propia.

Tal como en el escenario 02, el tiempo que se muestra en la tabla es medido a partir del inicio del modelamiento, es decir una hora antes del inicio de desarrollo de la brecha.

### 4.3.3. Áreas de inundación

El área de inundación producto del modelamiento hidráulico corresponde a todo el terreno que fue cubierto por el paso del flujo de descarga, es términos de HEC-RAS el área inundable se representa por los niveles máximo alcanzados por el paso del caudal pico a lo largo y ancho de la malla computacional.

Para evaluar la delimitación del área de inundación, los resultados de HEC-RAS se exportaron en formato ráster, insumo que se trabajó en QGIS, los resultados obtenidos para los escenarios 01 y 02 se presentan a continuación.

#### A. Áreas de inundación para el escenario 01

Para el tramo de 114 km del río desde la presa Limón hasta el puente Corral Quemado se muestran las áreas de inundación en la figura 23.

**Figura 23.** Área inundable aguas abajo de la presa Escenario 01



*Nota.* La imagen muestra en escala de colores la profundidad máxima del área inundable.

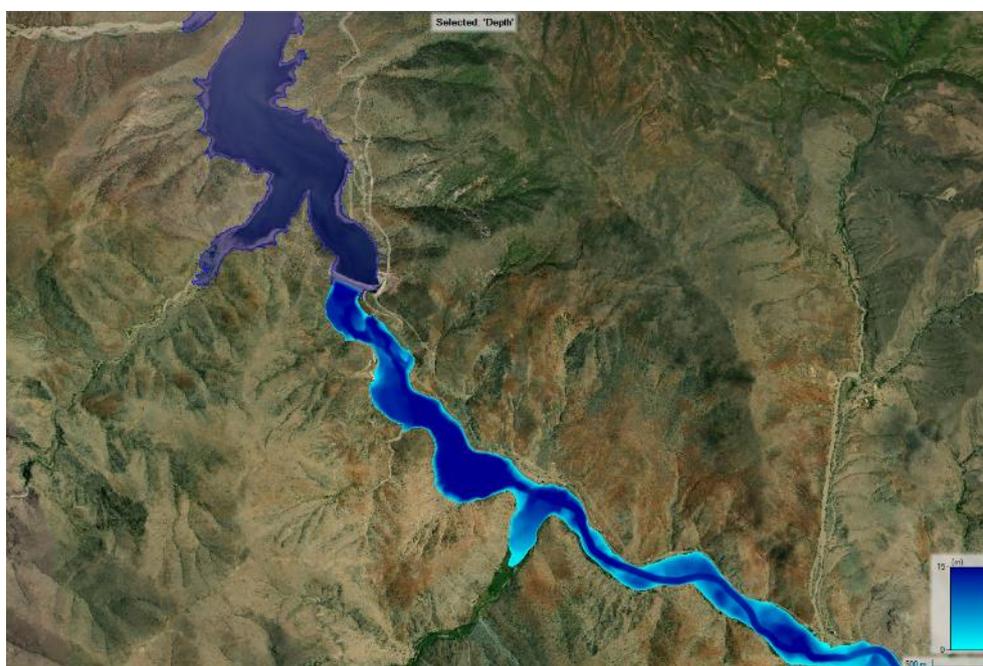
*Fuente:* Elaboración propia.

Para este escenario se determinó un área de inundación que asciende a 29087685.19 metros cuadrados, o 2908.77 hectáreas y profundidades que alcanzan los 18.59 metros como máximo.

### **B. Áreas de inundación para el escenario 02**

Para el mismo tramo de evaluación, se determinó un área de inundación que asciende a 33035546.8 metros cuadrados, o 3303.56 hectáreas y profundidades que alcanzan los 19.63 metros como máximo.

**Figura 24.** Área inundable aguas abajo de la presa Escenario 02

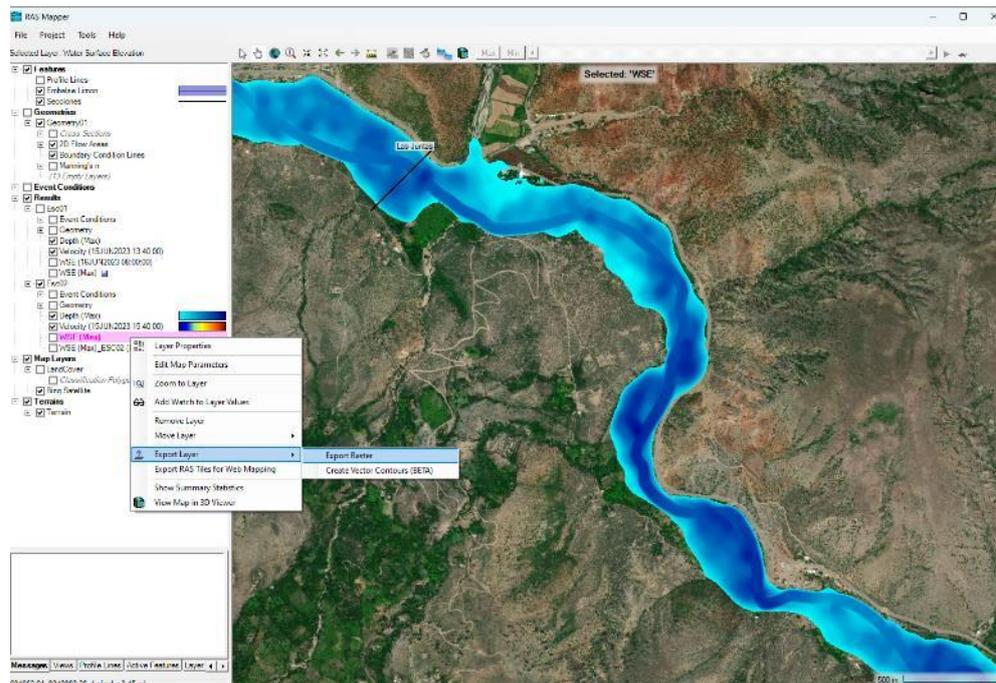


*Nota.* La imagen muestra en escala de colores la profundidad máxima del área inundable.

*Fuente:* Elaboración propia.

Para la cuantificación de áreas inundables, los resultados de WSE (*Water Surface Elevation*) fueron exportados en formato Ráster para ser analizados en QGIS.

**Figura 25.** Exportación de WSE en Raster desde HEC-RAS



*Nota.* Exportación desde RAS Mapper.

*Fuente:* Elaboración propia.

El análisis para determinar las poblaciones afectadas se realizó en la herramienta QGIS 3.28.5, el Ráster obtenido para cada escenario se sometió a diferentes procesos propios del software para conseguir una capa vectorial tipo polígono apta para el análisis de resultados.

#### **4.3.4. Poblaciones vulnerables.**

Para la determinación de las poblaciones vulnerables o con potencial de ser afectadas ante una rotura de presa, se ha tomado en cuenta las áreas de inundación estimadas y delimitadas desde los ráster procesados previamente.

Para fines de este análisis, se toma como premisa que una población vulnerable o con potencial afectación es aquella cuya área urbana o adyacente se encuentra dentro de los límites de inundación.

El procedimiento para la obtención de las poblaciones en estado vulnerable consistió básicamente en 3 pasos.

Primero se cargó en QGIS un archivo un archivo de puntos (.shp) con información de los centros poblados de todo el país, información obtenida del SIGMED.

Luego se extrajo los centros poblados que estaban dentro y alrededor del polígono de inundación, cuyas áreas aledañas se vieron afectadas por las áreas de inundación. Esto se realizó con la Herramienta “Cortar” de la caja de herramientas de QGIS.

Finalmente se obtuvieron los puntos que representan los poblados afectados por la rotura de la presa, de estos se extrajo su denominación, distrito, provincia, departamento y coordenadas UTM en sistema WGS84. En la tabla se presenta un resumen de las poblaciones afectadas, con un total de 81 centros poblados y 1 distrito (Pucará).

**Tabla 22.** *Relación de poblados vulnerables a una rotura de presa*

NÚMERO DE CENTROS POBLADOS			
Cantidad	Distrito	Provincia	Departamento
17	Pomahuaca	Jaen	Cajamarca
23	Pucara	Jaen	Cajamarca
3	Querocotillo	Cutervo	Cajamarca
5	Callayuc	Cutervo	Cajamarca
6	Colasay	Jaen	Cajamarca
1	Santa Cruz	Cutervo	Cajamarca
12	Choros	Cutervo	Cajamarca
2	Pimpingos	Cutervo	Cajamarca
10	Jaen	Jaen	Cajamarca
3	Cumba	Utcubamba	Amazonas

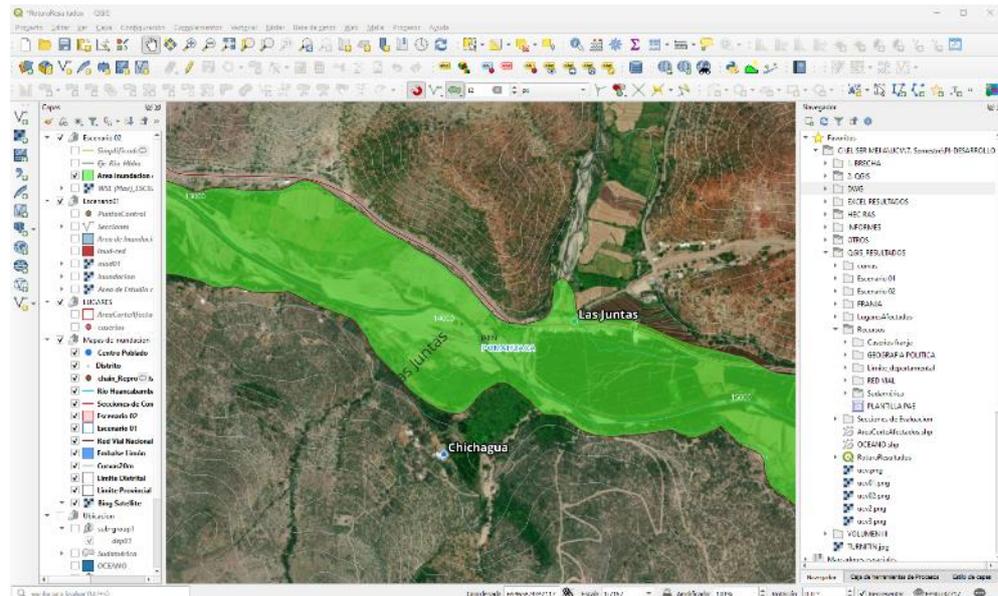
*Nota.* De la relación mostrada todos corresponden a centros poblados afectados, excepto Pucará que es distrito.

*Fuente:* *Elaboración propia.*

#### 4.3.5. Nivel de afectación de poblados.

El área urbana del caserío Las Juntas ubicado a 14 kilómetros río abajo presenta una afectación parcial para el escenario de rotura en buen tiempo, y una afectación completa para el escenario de rotura en mal tiempo.

**Figura 26.** *Afectación del caserío Las Juntas*

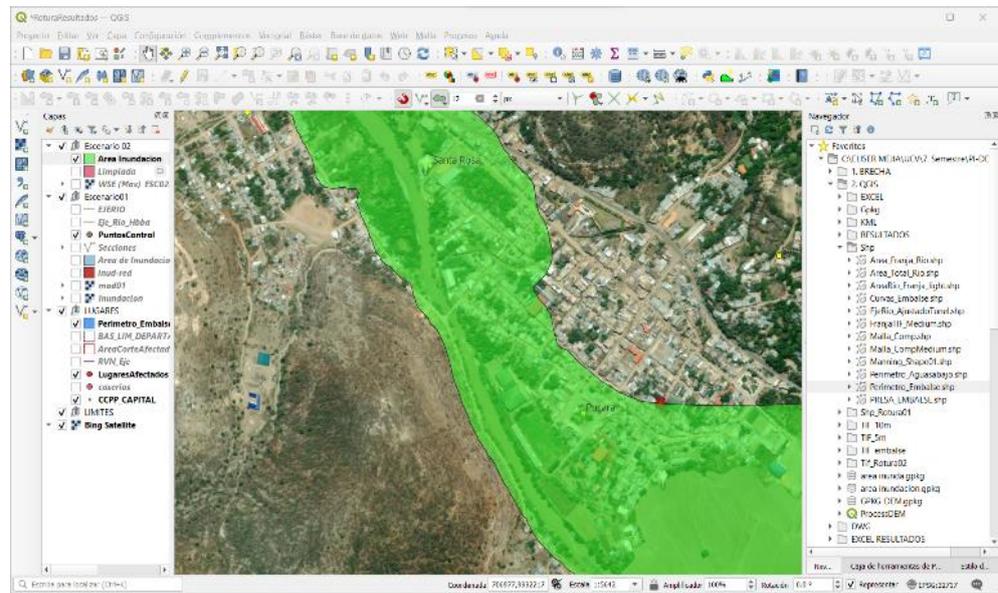


*Nota.* En la imagen se muestra una capa verde transparente que representa el área inundable sobre el área del caserío Las Juntas.

*Fuente:* *Elaboración propia.*

La zona urbana del distrito de Pucará se ubica en las áreas adyacentes al río Huancabamba la afectación se daría de forma parcial para ambos escenarios de rotura, con una ligera superioridad del escenario de rotura en mal tiempo.

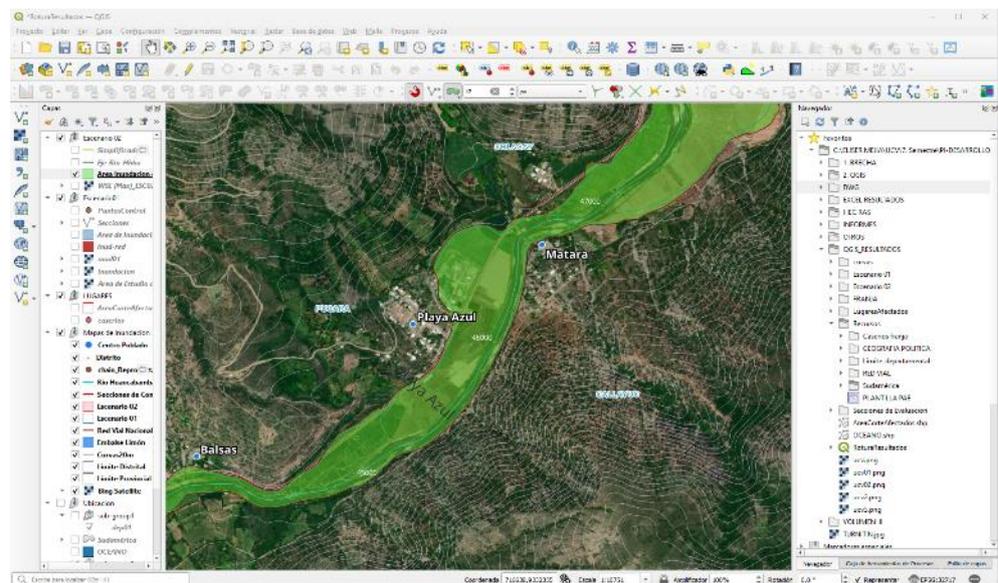
**Figura 27. Área indudable en Pucará**



*Nota.* En la imagen se muestra una capa verde transparente que representa el área inundable sobre el área urbana del distrito de Pucará.  
*Fuente:* Elaboración propia.

En el caserío de Playa Azul el área inundable colinda con la carretera Fernando Belaunde Terry, sin alcance de inundación urbana.

**Figura 28. Afectación de caserío Playa Azul**

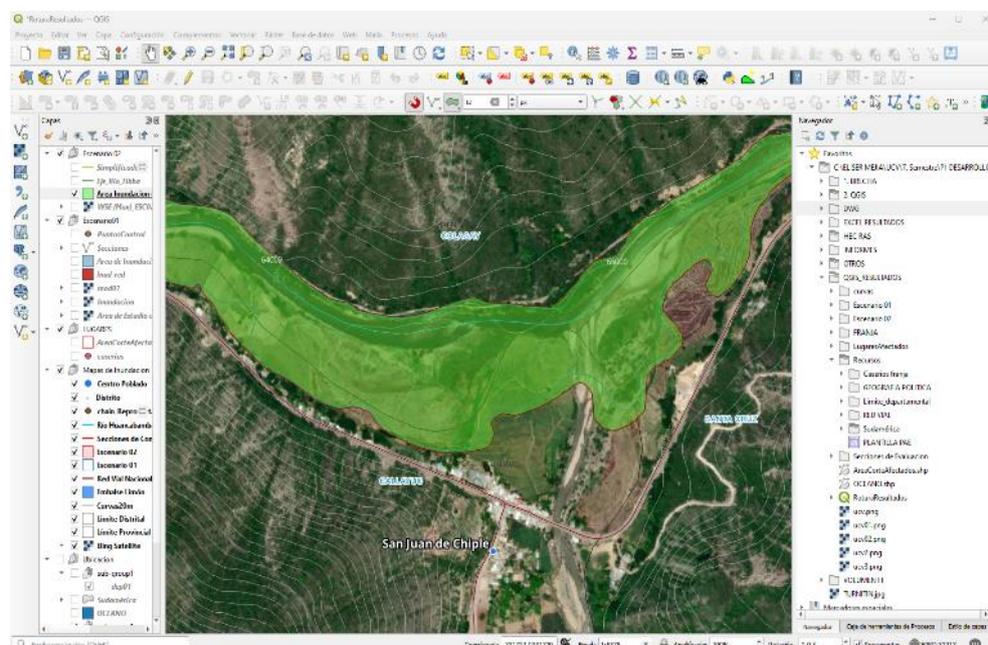


*Nota.* En la imagen se muestra una capa verde transparente que representa el área inundable sobre el caserío Playa Azul.

*Fuente:* Elaboración propia.

El caserío San Juan de Chiple se ubica en ambas márgenes de la carretera Fernando Belaunde Terry, la afectación en esta zona sería nula, pues las áreas de inundación se presentarán fuera de su zona urbana. Véase la figura 29.

**Figura 29.** *Afectación del caserío San Juan de Chiple*



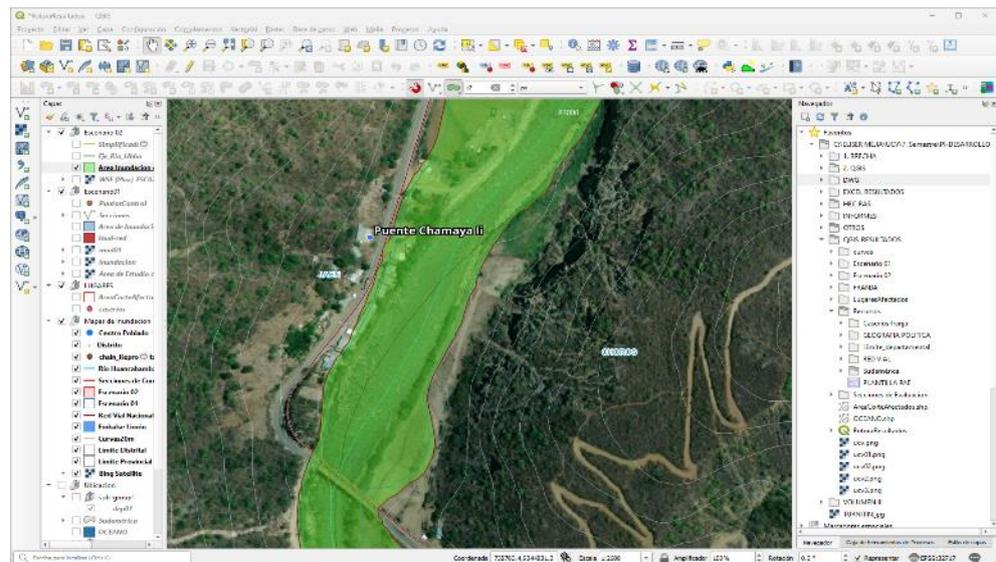
*Nota.* En la imagen se muestra una capa verde transparente que representa el área inundable sobre el área urbana de la localidad.

*Fuente:* *Elaboración propia.*

El caserío Cuica, tendría una afectación parcial de su zona urbana, se vería inundada las viviendas más cercanas al río en sus ambas márgenes.

El caserío Puente Chamaya II se vería afectado en su casco urbano de manera parcial, la inundación para ambos escenarios de rotura podría cubrir más del 50% de las viviendas.

**Figura 30. Afectación Puente Chamaya II**

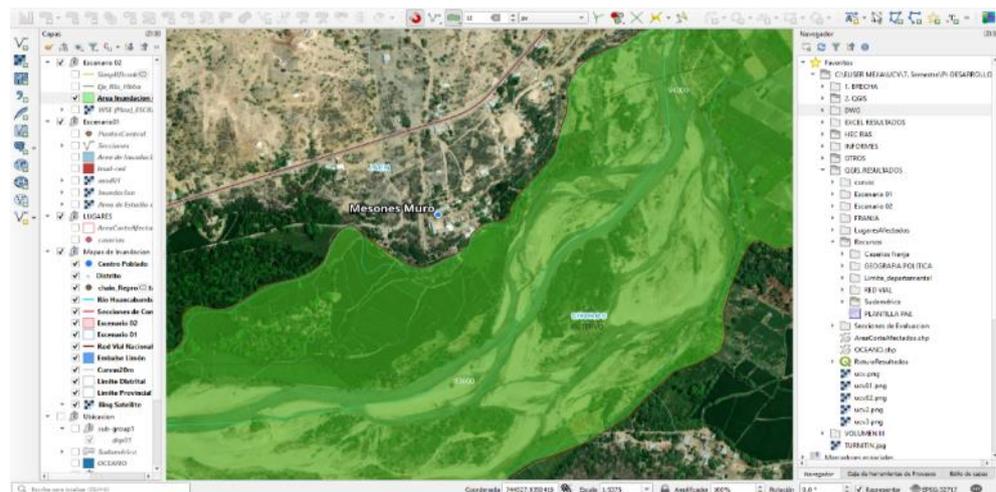


*Nota.* En la imagen se muestra una capa verde transparente que representa el área inundable sobre el área urbana de la localidad.

*Fuente:* Elaboración propia.

El caserío Mesones Muro perteneciente a Jaén, tendría una mínima afectación de su zona urbana ante ambos escenarios de rotura, la inundación podría llegar a afectar las viviendas más cercanas al río.

**Figura 31. Afectación caserío Mesones Muro**

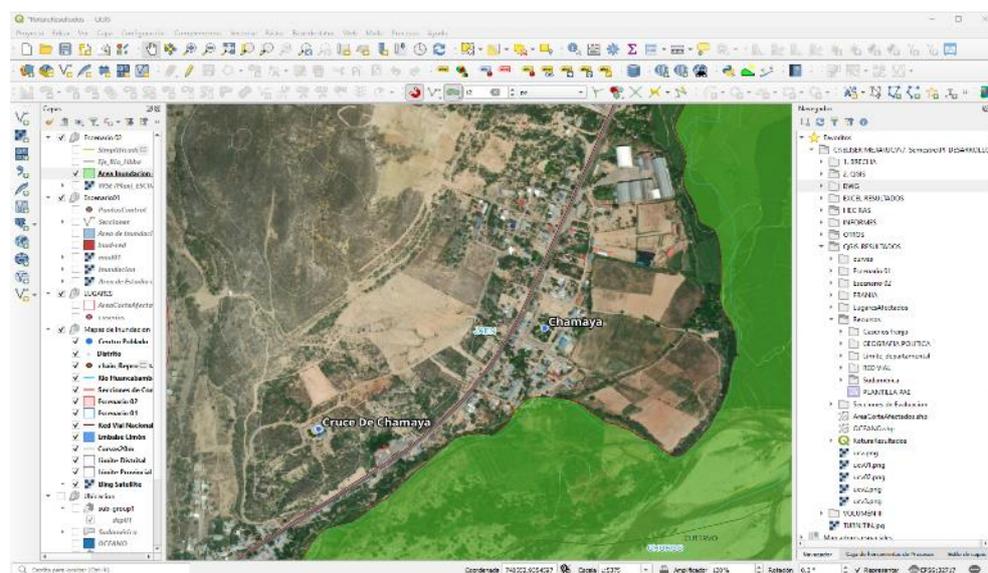


*Nota.* En la imagen se muestra una capa verde transparente que representa el área inundable sobre el área urbana de la localidad.

*Fuente:* Elaboración propia.

El caserío de Chamaya perteneciente al distrito de Jaen, ante los escenarios de rotura descritos presentaría una afectación parcial en su zona urbana, las viviendas afectadas serían las ubicadas en la parte más próxima al río.

**Figura 32. Afectación al caserío Chamaya**



*Nota.* En la imagen se muestra una capa verde transparente que representa el área inundable sobre el área urbana de la localidad.

*Fuente:* Elaboración propia.

#### **4.3.6. Mapas de inundación.**

Los mapas de inundación se han elaborado a partir de la información de WSE (Water Surface Elevation) obtenidos del modelamiento hidráulico y procesados en QGIS.

Para tal efecto se ha considerado el sistema de referencia WGS 84, con una grilla de coordenadas UTM. Se generaron un total de 34 mapas de inundación los cuales muestran las áreas de inundación para los dos escenarios modelados a lo largo de todo el tramo estudiado del río Huancabamba.

Todos los mapas están adjuntados en los anexos.

**Figura 33. Mapa de inundación PI-01**



*Nota.* La imagen muestra el mapa de inundación inicial que comprende desde la Presa Limón hasta el caserío Yerma.

*Fuente:* Elaboración propia.

## V. DISCUSIÓN

El primer objetivo específico consideró simular la magnitud de los caudales de descarga producidos por la rotura de presa, para esto se revisó la teoría propuesta por Costa (1985) quien asocia la magnitud del caudal pico producido por una rotura de presa, con su altura y volumen de embalse, indicando la existencia que ambas son directamente proporcionales. También Verma et al. (2023) observó que el caudal pico generado en una rotura de presa depende principalmente de los parámetros hidráulicos y geométricos y geotécnicos de la presa.

Los resultados obtenidos en este estudio arrojan caudales pico de 15134.88 m<sup>3</sup>/s para el escenario de rotura en buen tiempo y 16653.30 m<sup>3</sup>/s para el escenario de rotura en mal tiempo, una diferencia de solo 1518.42 m<sup>3</sup>/s que significa un 10.03% más de caudal del segundo escenario en relación al primer escenario.

De los estudios de rotura realizados, en Argelia, Gaagai et al. (2022) hicieron un análisis de una presa de terraplén de 43 m de altura, 10 metros de ancho de cresta y una capacidad de almacenamiento de 5.7 MMC, se obtienen resultados de caudal pico que asciende a 8768 m<sup>3</sup>/s el cual tiende a atenuarse a 8.5 km aguas abajo a 1972.7 m<sup>3</sup>/s.

Ambos estudios se han elaborado para presas de características geométricas similares, sin embargo, los resultados entre este estudio y el citado tienen amplia diferencia, esto se explica revisando la capacidad de almacenamiento de ambos embalses, 14.63 MMC para la presa Limón y 5.7 MMC para la presa Yabous, tal como las teorías revisadas dicen que el caudal pico depende en gran parte del volumen de almacenamiento que genera la Presa, la única coincidencia es en cuando al desarrollo del fenómeno de propagación, donde se cumple la atenuación del caudal pico a medida que el flujo avanza aguas abajo de la presa.

También se planteó el objetivo específico: simular el nivel de inundación provocado por la descarga de caudales ante la rotura de la presa, relacionado a este objetivo se revisó la teoría que propone ICOLD (2003) que atribuye las inundaciones producidas por una rotura de presa tienen su origen en fallas de operación o deficiencia de las estructuras de

alivio. Por otro lado, la Dirección General de Aguas en España (2021) indica que la rotura de una presa generará inundaciones de gran magnitud con consecuencias diversas.

En este estudio se determinó un nivel de inundación que alcanza para el primer escenario (buen tiempo) un total de 29087685.19 metros cuadrados y para el segundo escenario un total de 33035546.8 metros cuadrados, una diferencia de 13.57% en base al primer escenario, así mismo se encontró profundidades 18.59 metros y 19.63 metros para los escenarios de rotura 1 y 2 respectivamente.

Los resultados que se obtienen en este estudio difieren de lo encontrado por Mihretab G. & Kyungsoo J. (2021) en Etiopía, cuyo estudio elaborado consideró la rotura de la presa Kasem utilizando HEC-RAS en versión 2D y para un caudal de ingreso de 6161.1 m<sup>3</sup>/s (PR=200 años), los autores encuentran un área inundable de 240 km<sup>2</sup>.

Las diferencias entre los resultados encontrados por los autores mencionados y los encontrados por el estudio presente, tienen su origen en la distinción entre las dimensiones de la presa y el volumen de embalse, además de las diferentes condiciones topográficas aguas abajo de la presa de lo cual depende el desarrollo del fenómeno de inundación.

Otro objetivo establecido en este estudio es: simular los tiempos de propagación del caudal máximo para diferentes puntos de interés, para tal fin se revisó las teorías relacionadas a la propagación de las ondas de flujo, se encontró las ecuaciones de aguas poco profundas (WSE) recomendadas por ICOLD (1998) para el cálculo de propagación del flujo, estas ecuaciones también the US Army Corps Of Engineers quienes desarrollaron el modelo HEC-RAS han incluido las mencionadas ecuaciones para la modelación hidráulica.

Esta investigación que utilizó el modelo HEC-RAS para la modelación hidráulica, se ha encontrado los tiempos de propagación del caudal pico en distintos puntos de interés aguas debajo de la presa, los tiempos encontrados para los escenarios 1 y 2 ascienden a 14 horas con 10 minutos y 16 horas con 10 minutos respectivamente hasta el punto de control final en puente Corral Quemado.

Los resultados encontrados muestran diferencia en comparación con el estudio de rotura realizados en Ecuador por Toapaxi y Acero (2021) quienes han elaborado un estudio de rotura de una presa de terraplén con escollera que genera un embalse de 3.5 MMC, como resultado de ese estudio encuentran un tiempo de 2 horas y 30 minutos para una longitud de 36.2 kilómetros río abajo de la presa Mulacorral, en el caso del estudio presente se trata de una longitud de 114.5 kilómetros de longitud.

Como se ha descrito el estudio de rotura elaborado por los autores Toapaxi y Acero (2021) en Ecuador toma una presa de diferentes características y zonas de interés ubicadas a criterio para tal propósito, además de las condiciones del río objeto de la simulación no pueden ser las mismas a pesar de usar el mismo modelo hidráulico, por esta razón, aunque el análisis es el mismo, los resultados tienden a variar.

El último objetivo específico que se plantea en este estudio es determinar el nivel de afectación generado por la inundación, para ello se revisó las teorías de ICOLD 82003) y la DGA (2021) España, estas proponen que la existencia de una presa está ligada un potencial desastre, en el caso que se produzca una rotura de presa, se producirán daños de magnitud social, ambiental, económico y hasta pérdidas humanas, esto confirma el impacto negativo que generará un desastre de esta naturaleza cual sea que fuere la causa que lo produce.

Este estudio presente analiza el nivel de afectación producido la rotura de la presa Limón, se encuentra un total de 81 centros poblados y 1 distrito (Pucará) con afectación de inundación, la mayoría solo tiene afectación en su zona rural y otros como el distrito de Pucara con afectación parcial de su área urbana, así mismo se observa en los mapas de inundación la afectación de áreas agrícolas, viviendas, y zonas de crianza de animales domésticos, todas estas afectaciones tienen una costo económico y social pero que no ha sido objeto de análisis en este estudio.

El tipo de resultados del presente estudio tienen semejanza con lo encontrado por Cuaresma et al. (2021) en Brasil, quienes evaluaron el impacto producido por la rotura de la presa Fundao en 2015, una presa de relaves, encontraron que los sedimentos y lodos que fueron descargados

produjeron un aumento considerable de elementos contaminantes en el área de afectación, también con los los resultados encontrados por Bilali et al. (2021) en Marruecos donde evaluaron la propagación de una caudal de 140 m<sup>3</sup>/s y así también las pérdidas humanas que este caudal puede producir, los autores concluyen que la gestión del tráfico disminuye la probabilidad de pérdidas humanas, sin embargo los valores difieren.

La semejanza del tipo de resultados de los estudios comparados se entiende dado que se trata del mismo fenómeno (inundación) donde el agua que lo produce impacta directamente sobre áreas donde se desarrollan sociedades, sin embargo, los valores que cuantifican los daños difieren puesto que los análisis se realizan en un escenario de tiempo y espacio distinto.

## VI. CONCLUSIONES

El análisis de rotura realizado de la presa Limón bajo la premisa de una rotura por erosión interna que propicia un proceso de tubificación, permitió eficazmente obtener la información necesaria para realizar un modelamiento hidráulico con lo cual se pudo evaluar el desarrollo y la propagación del flujo de descarga para el tramo estudiado y así también los efectos que podría generar este evento.

Para efectos de este estudio donde se busca conocer la magnitud de caudales de descarga, se partió realizando un análisis de rotura con el modelo EMBREA en su versión gratuita, con este elaborado software para predecir brechas de rotura, se determinó las dimensiones de la brecha ante los dos escenarios planteados y se logró predecir los hidrogramas de rotura de la presa Limón, se encontró un caudal pico de 15134.88 m<sup>3</sup>/s y 16653.30 m<sup>3</sup>/s para los escenarios 1 y 2 respectivamente.

El análisis de rotura de la presa Limón permitió analizar las magnitudes de caudal de descarga, la simulación seguida del fenómeno hidráulico que produce este evento mostró conocer las características de la inundación que podría materializarse, se encontró que la inundación que abarca áreas de 29087685.19 metros cuadrados y 33035546.8 metros cuadrados para los escenarios 1 y 2 respectivamente, la diferencia es de solo 13.57% en base al escenario 1, en relación con las profundidades, éstas están en el orden de 18.59 metros y 19.63 metros como máximo para los escenarios de rotura 1 y 2 respectivamente, esto muestra que la inundación producida en el escenario 2 es superior que la producida en el escenario 1, tanto en área como en profundidad, se encuentra también que las inundaciones se dan en ambos márgenes del tramo estudiado del río Huancabamba.

La propagación de los caudales máximos se logró determinar mediante el modelamiento hidráulico en HEC-RAS usando los hidrogramas de rotura, se establecieron 5 secciones de control en Las Juntas, Pucara, Playa Azul, Cruce Chamaya y Puente C. Quemado. En estos puntos de interés se estimaron los tiempos de llegada del caudal más alto encontrándose los tiempos de 02:30, 03:50, 05:30, 07:00, 10:20, 14:10 para el primer

escenario de rotura y 02:20, 03:30, 05:10, 06:30, 09:20, 16:10 para el segundo escenario, se encuentra una diferencia de dos horas para el último punto considerado entre ambos escenarios, concluyendo que la propagación de caudales es más rápida en el segundo escenario.

Este estudio contempló un breve análisis del nivel de afectación producido una rotura de la presa Limón, dado que la diferencia en cuanto a inundación para ambos escenarios es de solo 13.57%, tal afectación es la misma, se pudo determinar un total de 81 centros poblados y además el distrito de Pucará que son afectados por efectos del tránsito de caudales de gran magnitud ante la rotura de la presa Limón, se observó que la mayoría de lugares solo tiene afectación en su zona rural y otros como el distrito de Pucara con afectación parcial de su área urbana, la afectación también se da en áreas agrícolas, viviendas, y zonas de crianza de animales domésticos, se concluye que existe afectación negativa sobre las poblaciones vulnerables aguas debajo de la presa, se puede inferir que también podría haber consecuencias fatales si no se hace una adecuada gestión de los riesgos asociados.

## VII. RECOMENDACIONES

Realizar el análisis de rotura de presa haciendo uso de otros escenarios, tales como el tipo de rotura y la capacidad de almacenamiento que tiende a ser variable en un embalse, de tal manera que se consiga evaluar los impactos en otras condiciones.

Realizar el análisis de rotura con otros modelos, pueden usarse desde los más básicos como los paramétricos, hasta los modelos basados en física, el modelo usado es uno de los más complejos, sin embargo, EMBREA en su versión full, requiere muchos más parámetros de entrada que pueden proporcionar un acercamiento más preciso en la predicción de la brecha e hidrograma de rotura.

Utilizar modelos de elevación digital de mayor precisión y resolución, pueden ser producidos mediante topografía o fotogrametría, con ello podrá realizarse un modelamiento hidráulico cuyos resultados pueden mejorar considerablemente puesto que se estaría trabajando en una superficie con mayor representación del área de estudio, aun cuando estamos trabajando caudales altos, se puede hacer este tipo de experimentos si se cuenta con los recursos.

Hacer pruebas de erosionabilidad en materiales que conforman las presas que se pretenden estudiar, el parámetro mencionado es uno de los más sensibles para el modelamiento de rotura con EMBREA, de ser posible se recomienda utilizar un dato medido.

Difundir los resultados de este tipo de estudios, con el propósito de sensibilizar a las partes interesadas y/o vulnerables, a esto se puede añadir la necesidad elaborar instrumentos de gestión de riesgos como planes de contingencia o planes de acción ante emergencias, cabe señalar que en países vecinos existe una cultura de prevención más desarrollada en cuanto a presas, lo cual es necesario imitar.

Gestionar los mapas de inundación que se presentan en los resultados para poder hacer una evaluación más detallada respecto de la afectación hipotética en caso de una rotura de la presa Limón.

## REFERENCIAS

- Hosseinzadeh-Tabrizi, S. A., Ghaeini-Hessaroeeyeh, M., & Ziaadini-Dashtekhaki, M. (2021). *Numerical simulation of dam-breach flood waves*. Iraq.
- ANA. (2015). *INVENTARIO DE PRESAS EN EL PERU - Primera parte*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego.
- ANA. (2017). *NORMAS Y REGLAMENTO DE SEGURIDAD DE PRESAS EN EL PERU*. LIMA: Ministerio de Agricultura y Riego - PERU.
- ANA. (2018). *Compendio Nacional de Estadísticas de Recursos Hídricos 2018*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego - PERU. Obtenido de <https://sinia.minam.gob.pe/documentos/compendio-nacional-estadisticas-recursos-hidricos-2018>
- ANA. (10 de Septiembre de 2018). *REGLAMENTO DE SEGURIDAD DE PRESAS PÚBLICAS DE EMBALSES DE AGUA*. Lima: Ministerio de Agricultura y Riego - PERU.
- Batuca, D., & Jordaan (Jr), J. (2000). *Silting and Desilting of Reservoirs*. Ntherlands, United States: A.A. Balkema Publishers.  
doi:<https://doi.org/10.1201/9781003210993>
- Bello, D., Alcayaga, H., Caamaño, D., & Pizarro, A. (2022). *Influence of Dam Breach Parameter Statistical Definition on Resulting Rupture Maximum Discharge*. CHILE.
- CIGB ICOLD. (2003). *Bulletin 125 - Dams and Floods*. Paris: ICOLD.
- Concesionaria Traslase Olmos. (2017). *INFORME DE CLASIFICACIÓN DE LA PRESA LIMON*. Jaen: CTO.
- Concesionaria Traslase Olmos S.A. (2019). *MANUAL DE MANTENIMIENTO DE LAS OBRAS CIVILES EN LAS OBRAS DE TRASVASE DEL PROYECTO OLMOS*. JAEN: CTO.
- Costa, J. (1985). *FLOODS FROM DAM FAILURES*. USGS - US Geological Survey. Colorado: Open-File Services Section - USGS.

- Costa, J., & Schuster, R. (1987). *THE FORMATION AND FAILURE OF NATURAL DAMS*. USGS - US Geological Survey. Washington: USGS.
- Dirección General del Agua. (2021). *Guía Técnica para la Clasificación de Presas*. MITECO. Madrid: Gobierno de España - Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- El Bilali, A., Abdeslam, T., & Imane, B. (2021). *Application of HEC-RAS and HEC-LifeSim models for flood risk assessment*. Canada.
- Engineers, U. A. (2022). *HEC-RAS User's Manual*.
- EOS DATA ANALYTICS. (15 de Abril de 2023). *EOS DATA ANALYTICS*.  
Obtenido de <https://eos.com/products/>
- EOSDA LandViewer. (15 de Abril de 2023). *EOSDA LandViewer: Tackling global changes with satellite data*. Obtenido de <https://eos.com/products/landviewer/>
- Escudero Bueno, I., Gonzáles Pérez, J., Altarejos García, L., Ardiles López, L., Castillo Rodríguez, J., Chacon Cano, M., . . . Serrano Lombillo, A. (2014). *METODOLOGIA PARA LA EVALUACIÓN DEL RIESGO HIDROLÓGICO DE PRESAS Y PRIORIZACIÓN DE MEDIDAS CORRECTORAS*. Valencia, España.
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., Bell, G., & Foster, M. (2015). *Geotechnical Engineering of Dams* (2 ed.). London, United Kingdom: Taylor and Francis Group.
- Foster, M., Fell, R., & Spannagle, M. (2000). *The statistics of embankment dam failures and accidents*. Australia.
- Foster, M., Spannagle, M., & Fell, R. (1998). *Report on the analysis of embankment dam incidents*. The University of New South Wales, School of Civil and Environmental Engineering. UNICIV Report No. R-374.
- Froehlich, D. C. (2008). *Embankment Dam Breach Parameters and Their Uncertainties*. Journal of Water Resources Planning and Management. ASCE. doi:10.1061/(asce)0733-9496(1995)121:1(90)

- Gaagai, A., Amir Aouissi, H., Krauklis, A., Burlakovs, J., Athamena, A., Zekker, I., . . . Chenchouni, H. (2022). *Modeling and Risk Analysis of Dam-Break Flooding in a Semi-Arid Montane Watershed: A Case Study of the Yabous Dam, Northeastern Algeria*. Algeria.
- H. Hager, W., J. Schleiss, A., M. Boes, R., & Pfister, M. (2021). *Hydraulic Engineering of Dams*. New York: CRC Press.
- Hamad, H., Meric Yilmaz, M., & Olewi Sulaiman, S. (2021). *Simulation of the flood wave caused by hypothetical failure of the Haditha Dam*. Turquia.
- Hernández Sampieri, R., Fernandez Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL.
- ICOLD - Comité de Seguridad de Presas. (2012). *Gestion de Seguridad de Presas: Etapa Operativa del Ciclo de Vida de la Presa*. Paris: ICOLD.
- ICOLD - EC. (2017). *MANAGEMENT OF DAM INCIDENTS*. EUROPEAN CLUB, ITALY.
- ICOLD. (1995). *Bulletin 99 - Dam Failures Statical Analysis*. Paris: Imprimerie de Montligeon.
- ICOLD. (1998). *Bulletin 111 - DAM BREAK FLOOD ANALYSIS*. Montliegeon - Francia: Imprimerie de Montligeon.
- ICOLD. (2010). *Bulletin 141 - CONCRETE FACE ROCKFILL DAMS: Concepts for design and construction*. Paris: ICOLD.
- ICOLD. (2010). *Bulletin 156 - Integrated Flood Risk Management - DAMS AND FLOODS COMMITTEE*. Paris: ICOLD.
- ICOLD. (2011). *CONSTITUTION STATUS*. Paris: ICOLD. Obtenido de [https://www.icold-cigb.org/userfiles/files/CIGB/INSTITUTIONAL\\_FILES/Constitution2011.pdf](https://www.icold-cigb.org/userfiles/files/CIGB/INSTITUTIONAL_FILES/Constitution2011.pdf)
- ICOLD. (2020). *World Register Dams - General Synthesis*. Obtenido de [https://www.icold-cigb.org/GB/world\\_register/general\\_synthesis.asp](https://www.icold-cigb.org/GB/world_register/general_synthesis.asp)
- Merchán-Sanmartín, B., Aucapeña-Parrales, J., Alcívar-Redrován, R., Carrión-Mero, P., Jaya-Montalvo, M., & Arias-Hidalgo, M. (2022). *Earth Dam*

- Design for Drinking Water Management and Flood Control - A Case Study.*  
Ecuador.
- Mihretab G., T., & Kyungsoo Jun, Y. C. (2021). *Flood Mapping from Dam Break Due to Peak Inflow: A Coupled Rainfall–Runoff and Hydraulic Models Approach.* Etiopia.
- Morris, M., Wahl, T., Tejral, R., Hanson, G., & Temple, D. (2017). *Evaluation and Development of the Physically-Based Embankment Breach Models.* Bureau of Reclamation U.S. Department of the Interior, Hydraulic Investigations and Laboratory Services Group. Colorado: U.S. Department of the Interior.
- Ñaupas Paitán, H., Valdivia Dueñas, M., Palacios Vilela, J., & Romero Delgado, H. (2018). *Metodología de la Investigación* (Vol. 5). Bogotá: Ediciones de la U.
- Psomiadis, E., Tomanis, L., Kavadias, I., Soulis, K., Charizopoulos, N., & Michas, S. (2020). *Potential Dam Breach Analysis and Flood Wave Risk Assessment Using HEC-RAS and Remote Sensing Data: A Multicriteria Approach.* Grecia.
- QGIS. (16 de 05 de 2023). QGIS. Obtenido de <https://www.qgis.org/es/site/index.html>
- Quaresma, V., Aguiar, V., Bastos, K., Oliveira, F., Vieira, F., & Baptista Neto, J. (2021). *The impact of trace metals in marine sediments after a tailing dam failure: the Fundão dam case (Brazil).* Brasil.
- Raman, A., & Fei, L. (2019). *An investigation of the Brumadinho Dam Break with.* USA.
- Saad Sh, S., TA, M., AH, G., LM, S., & A.El, S. (2015). *An evaluation of existent methods for estimation of embankment dam breach parameters.* doi:DOI 10.1007/s11069-017-2764-z
- SAGA GIS. (17 de 04 de 2023). *SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.2.0).* Obtenido de [https://saga-gis.sourceforge.io/saga\\_tool\\_doc/2.2.0/ta\\_preprocessor\\_4.html](https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/2.2.0/ta_preprocessor_4.html)

- Sanz Ramos, M., Olivares Cerpa, G., & Blade i Castellet, E. (2019). *Metodología para el análisis de rotura de presas con aterramiento mediante simulación con fondo móvil*. España.
- Sardon Quispe, H. M., Lavado Casimiro, W. S., & Felipe Obando, O. G. (2022). *Inventario de Datos de Eventos de Inundaciones del Peru*. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI, Lima. Obtenido de <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/1786>
- Silva Rottaa, L., Alcântarab, E., Parkc, E., Galante Negrib, R., Nina Lind, Y., Bernardoa, N., . . . Souza Filhoe, C. R. (2020). *The 2019 Brumadinho tailings dam collapse: Possible cause and impacts of the worst human and environmental disaster in Brazil*. Brasil.
- Singh Saluja, I., Athar, M., & Ansari, S. A. (2018). *Causes of Failure of Earthen Dams and suggested Remedial and Measures*. International Journal of Engineering Technology Science and Research, India.
- Singh, V., & Fread, D. (1996). *HYDROLOGY OF DISASTERS*. Baton Rouge: Springer Science+Business Media Dordrecht.
- SPANCOLD-CNEGP. (2013). *Análisis de Riesgos Aplicado a la Seguridad de Presas y Embalses (Guía Técnica)*. COMITE NACIONAL ESPAÑOL DE GRANDES PRESAS. Madrid: Exce Consulting Group.
- Spero, H., Calhoun, D., & Schubert, M. (2022). *Simulating the 1976 Teton Dam Failure using Geoclaw and HEC-RAS and comparing with Historical Observations*. USA.
- Technical Service Center Bureau of Reclamation U.S. (2017). *Evaluation of Numerical Models for Simulating Embankment Dam Erosion and Breach Processes*. Colorado, Estados Unidos.
- Toapaxi Alvarez, J., & Acero Quilumbaquin, A. (2021). *Análisis de Inundación por Rotura de Presa Utilizando el Modelo HEC-RAS 2D: Caso de Estudio de la Presa Mulacorral, Provincia de Tungurahua, Ecuador*. Ecuador.

- Tony, L., & Wahl, P. (2014). *Evaluation of Erodibility-Based Embankment Dam Breach Equations*. Bureau of Reclamation - U.S. Department of the Interior, Colorado.
- U.S. Army Corps of Engineers. (25 de Mayo de 2023). *US Army Corps of Engineers*. Obtenido de Hydrologic Engineering Center: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>
- US Army Corps Of Engineers. (2022). *HEC-RAS User's Manual*. EE.UU.
- Verma, D., Berwal, P., Amir Khan, M., Raied Saad, A., Alfaisal, F., & Rathnayake, U. (2023). *Design for the Prediction of Peak Outflow of Embankment Breaching Due to Overtopping by Regression Technique and Modelling*. India. doi:<https://doi.org/10.3390/w15061224>
- WALLINGFORD, H. (16 de 05 de 2023). *HR WALLINGFORD*. Obtenido de <https://www.dambreach.org/tools/embrea>
- Wang, L., & H. Liu. (2006). *An efficient method for identifying and filling surface depressions in digital elevation models for hydrologic analysis and modelling*.
- West, m., Morris, M., & Hassan, M. (2018). *A guide to breach prediction*. Reino Unido: HR-Wallingford.
- Wu, W. (2013). *Simplified Physically Based Model of Earthen Simplified Physically Based Model of Earthen*. Dept. of Civil and Environmental Engineering, Clarkson University, New York.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de operacionalización de Variables.

Título: Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis General</b>	VI: Análisis de Rotura de Presa	Escenarios de rotura de presa	Rotura en buen tiempo	Software EMBREA LITE
¿De qué forma el análisis de rotura de presa permite simular la propagación e impacto del flujo de descarga?	Simular la propagación y magnitud del flujo de descarga producida por la rotura de la presa Limón	La falla de la presa Limón generará un impacto negativo sobre la población vulnerable provocando daños en el ecosistema, pérdidas económicas y posibles consecuencias fatales			Rotura en mal tiempo	
<b>Problemas específicos:</b>	<b>Objetivos Específicos:</b>	<b>Hipótesis Específicas</b>	VD: Simulación de la propagación e impacto del flujo de descarga	D1: Hidrograma de descarga	I1: Caudal pico (m <sup>3</sup> /s)	Software HEC-RAS
¿De qué forma este análisis permite conocer la magnitud de caudales de descarga?	Simular la magnitud de los caudales de descarga producidos por la rotura de presa	Los caudales propagados afectan negativamente a las poblaciones vulnerables.			I2: Profundidad de inundación máxima (m)	Software HEC-RAS
¿De qué forma este análisis permite determinar el nivel de inundación producido por una rotura de la presa?	simular el nivel de inundación provocado por la descarga de caudales ante la rotura de la presa	La inundación generada por la rotura afecta negativamente las poblaciones vulnerables		D2: Modelamiento y simulación del flujo	I3: Tiempos de propagación de caudal pico (Hr)	Software HEC-RAS
¿De qué forma el análisis permite conocer el tiempo de propagación del caudal máximo ante una rotura de la presa?	simular los tiempos de propagación del caudal máximo para diferentes puntos de interés	Los tiempos de propagación de caudales son claves para determinar el tiempo de actuación ante un escenario de emergencia.			I4: Poblados inundados (unidades)	Software QGIS
¿De qué forma el análisis permite conocer el nivel de afectación generado por la inundación?	determinar el nivel de afectación generado por la inundación.	Se producirá un alto nivel de afectación producido por la rotura de la presa.				

## Anexo 2. Operacionalización de las variables.

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
VI: Análisis de rotura de presa	Esta variable se define como rotura al colapso de una parte de la represa quitando la capacidad de retener agua. (ICOLD, 1995)	Esta variable opera mediante sus características geométricas, estructurales y estadísticas de rotura, entre estas los tipos de presas, sus dimensiones geométricas, y los parámetros que definen la brecha	D1: Escenarios de rotura de presa	I2: Rotura en buen tiempo I3: Rotura en mal tiempo	DE RAZON
VD: Simulación de la propagación e impacto del flujo de descarga	Es el comportamiento de flujo que depende directamente de la definición de rotura de la presa, además del hidrograma de salida, se debe considerar la hora de llegada de la ola de inundación, la velocidad de aumento del nivel del agua, la elevación del nivel del agua, la velocidad de los escombros flotantes, los sedimentos y el hielo. (ICOLD, 1998)	Esta variable se define en base a sus características físicas como el área de inundación, caudal máximo del hidrograma, velocidad de flujo, profundidades de inundación y tiempos de llegada el caudal pico.	D1: Hidrograma de descarga D2: Modelamiento y simulación del flujo	I1: Caudal pico (m <sup>3</sup> /s) I2: Profundidad de inundación máxima (m) I3: Tiempos de propagación de caudal pico (Hr) I4: Poblados inundados (unidades)	DE RAZON DE RAZON

### Anexo 3. CARTA DE AUTORIZACIÓN EMITIDA POR LA EMPRESA (recibida)



CTO-VAR-120-2023

Lima, 20 de junio de 2023

Señor

**ELISER MEJIA HERRERA**

Chiclayo.-

Asunto : Solicitud de autorización de uso de información para elaborar Proyecto de Investigación

Referencia : Carta S/N, de fecha 17 de mayo de 2023

Estimado Señor Mejía,

Mediante la presente nos dirigimos a usted para saludarlo y a su vez, en atención a la carta de la referencia, mediante la cual solicita autorización para el uso de información respecto de la Presa Limón para la elaboración de un Proyecto de Investigación; le comunicamos que su solicitud resulta procedente.

En tal sentido, considerando que la información proporcionada será para uso exclusivo del proyecto de investigación, informamos que podrá hacer uso de la siguiente información:

1. Geometría y tipología de la presa Limón.
2. Caudal promedio plurianual del Río Huancabamba en Limón.
3. Volúmenes de almacenamiento de la Presa Limón.

Sin otro particular nos despedimos.

Atentamente,

**ALFONSO PINILLOS MONCLOY**  
Gerente General

## Anexo 4. CARTA DE AUTORIZACIÓN EMITIDA POR LA EMPRESA (Cargo)



CTO-VAR-120-2023

Lima, 20 de junio de 2023

Señor  
**ELISER MEJIA HERRERA**  
Chiclayo.-

Asunto : Solicitud de autorización de uso de información para elaborar Proyecto de Investigación

Referencia : Carta S/N, de fecha 17 de mayo de 2023

Estimado Señor Mejía,

Mediante la presente nos dirigimos a usted para saludarlo y a su vez, en atención a la carta de la referencia, mediante la cual solicita autorización para el uso de información respecto de la Presa Limón para la elaboración de un Proyecto de Investigación; le comunicamos que su solicitud resulta procedente.

En tal sentido, considerando que la información proporcionada será para uso exclusivo del proyecto de investigación, informamos que podrá hacer uso de la siguiente información:

1. Geometría y tipología de la presa Limón.
2. Caudal promedio plurianual del Río Huancabamba en Limón.
3. Volúmenes de almacenamiento de la Presa Limón.

Sin otro particular nos despedimos.

Atentamente,

**ALFONSO PINILLOS MONCLOA**  
Gerente General

**CARGO**

*Eliser Mejía Herrera*

DNI: 46453936

20-06-2023 - 15:54

## Anexo 5. AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA

### AUTORIZACIÓN DE USO DE INFORMACIÓN DE EMPRESA

Yo ...**ALFONSO DANIEL ALFREDO CARLOS PINILLOS MONCLOA** .....,  
*(Nombre del representante legal o persona facultada en permitir el uso de datos)*  
identificado con DNI **09398493**, en mi calidad de **Gerente General** .....  
*(Nombre del puesto del representante legal o persona facultada en permitir el uso de datos)*  
del área de ...**Dirección de Inversiones**.....  
*(Nombre del área de la empresa)*  
de la empresa .....**CONCESIONARIA TRASVASE OLMOS S.A.** .....  
*(Nombre de la empresa)*  
con R.U.C N°...**20509093521**....., ubicada en la ciudad de ...**Cajamarca**.....

#### OTORGO LA AUTORIZACIÓN,

Al señor (a, ita,): **ELISER MEJIA HERRERA**,  
Identificado(s) con **DNI N° 46453936**, de la Carrera profesional Ingeniería Civil, para que utilice  
la siguiente información de la empresa:

- Geometría y tipología de la presa Limon.
- Caudal promedio plurianual del Rio Huancabamba en Limon
- Volúmenes de almacenamiento de la Presa Limon

con la finalidad de que pueda desarrollar su ( ) Informe estadístico, ( ) Trabajo de Investigación,  
(X) Tesis para optar el Título Profesional.

(X) Publique los resultados de la investigación en el repositorio institucional de la UCV.  
( ) Mantener en reserva el nombre o cualquier distintivo de la empresa; o  
(X) Mencionar el nombre de la empresa.



Firma y sello del Representante Legal

DNI: 09398493

El Estudiante declara que los datos emitidos en esta carta y en el Trabajo de Investigación, en la Tesis son auténticos. En caso de comprobarse la falsedad de datos, el Estudiante será sometido al inicio del procedimiento disciplinario correspondiente; asimismo, asumirá toda la responsabilidad ante posibles acciones legales que la empresa, otorgante de información, pueda ejecutar.



Firma del Estudiante

DNI: 46453936

## Anexo 6. Curva Granulométrica de materiales 3B Y 3C

(Tomado de memoria descriptiva de la Presa Limon)

### 5.2 Materiales de la presa

Como se observa en la Figura 5.2, el cuerpo de la presa está constituido por una serie de materiales clasificados desde el 2A hasta el 4A, descritos en la leyenda de la misma figura. En la Figura 5.3 y la Figura 5.4 se presentan las curvas granulométricas promedio de los materiales que constituyen la Presa Limón para diferentes etapas de construcción de la misma, extraídas de los informes trimestrales emitidos por Odebrech sobre los controles de calidad.

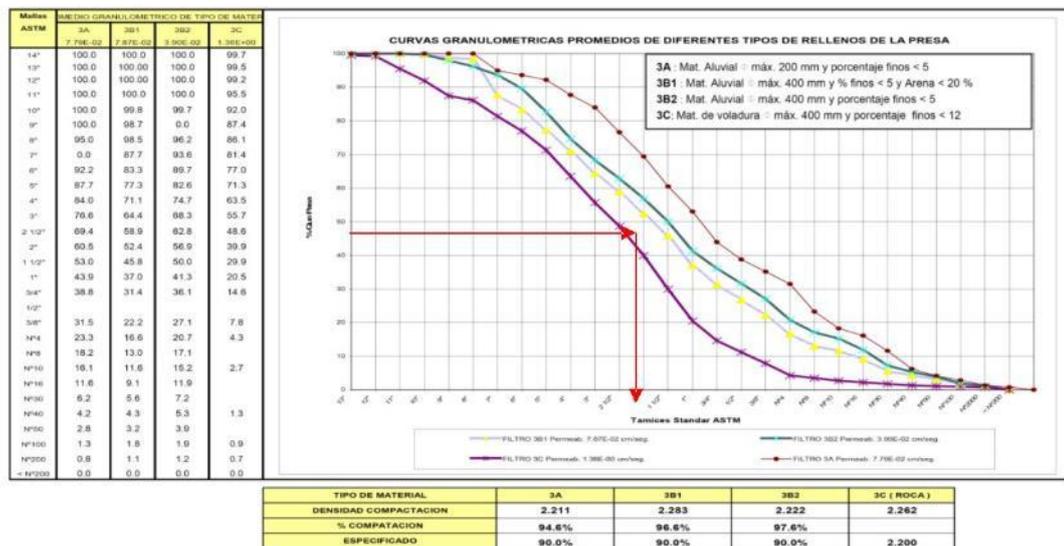
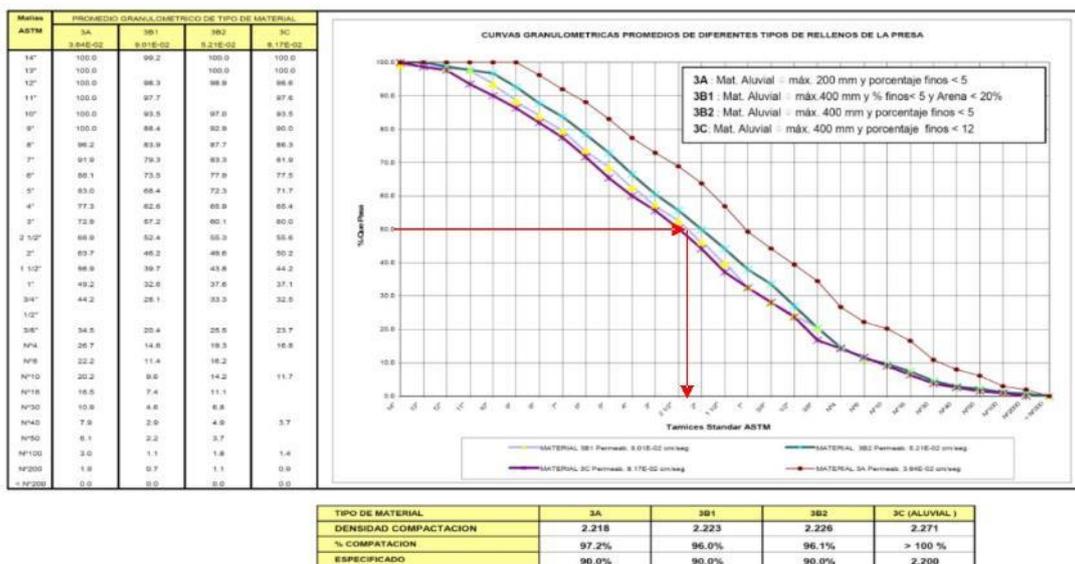
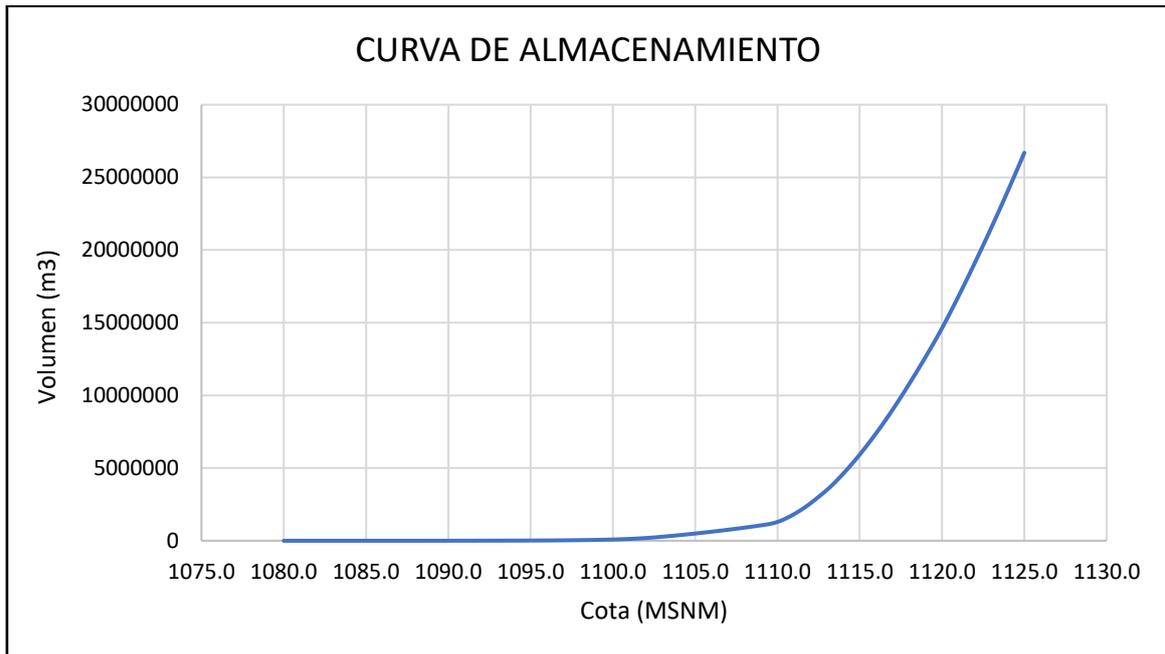


Figura 5.3: Curvas granulométricas promedio de los materiales 3A, 3B1, 3B2 y 3C2 colocados hasta el 12/10/2006 (Cota alcanzada 1092.60)



## Anexo 7. Capacidad de almacenamiento Embalse



## Anexo 8. Calculo de Erosionabilidad para la presa Limón.

Estimación de  $K_d$  ((ft /h)/(lb/ft<sup>2</sup>)) en función del % de arcilla y compactación  
(Hanson, 2007)

% arcilla	bien compactado		mal compactado	
	Óptimo	Seco	Óptimo	Seco
> 25	0.1	1	1	10
10 - 25	0.5	5	5	20
5 - 10	2	10	10	50
0 - 5	10	20	20	100

Tenga en cuenta que el factor para la conversión de  $K_d$  de (ft /h)/(lb/ft<sup>2</sup>) a (cm<sup>3</sup>/Ns) es multiplicar por 1,76819.

Para la presa Limón, se considera un contenido de arcilla de 0 a 5 % y su compactación, bien compactado y Óptimo. Se obtiene un valor de erosionabilidad de 10 en unidades americanas, para convertirlo en unidades métricas multiplicamos por 1.76819 y obtenemos 17.7 CM<sup>3</sup>/Ns.

## Anexo 9. Reporte de resultados de la Brecha (Escenario 01 – Buen Tiempo).



View our FAQs

Date and time run was undertaken: Sun May 28 2023 11:17

Description

Buen Tiempo

Breach Run Summary

Breach peak outflow	15134.88 m <sup>3</sup> /s
Time to breach peak outflow	2220 secs
Water level at breach peak outflow	1112.5 m
Total peak outflow	15134.88 m <sup>3</sup> /s
Time to total peak outflow	2220 secs

View our FAQs

Water level at peak outflow	1112.5 m
Final breach width	53.25 m
Final breach depth	40.00 m

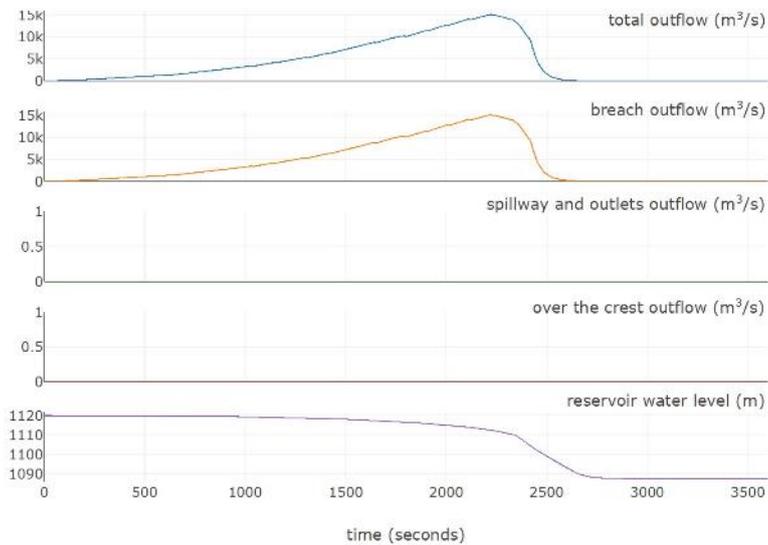
[View our FAQs](#)

For expert advice or consulting relating to the EMBREA model, please contact [breach@hrwallingford.com](mailto:breach@hrwallingford.com)

The EMBREA model (the Model) has been developed through a combination of research initiatives and funding sources, including HR Wallingford Company Research and the European Community 4th, 5th and 6th Framework Programme projects CADAM (ENV4-CT97-0555), IMPACT (EVG1-CT2001-0037) and FLOODsite (GOCE-CT-2004-505420). The European Commission, HR Wallingford, their research project partners and the individuals involved in the development of the Model do not accept liability for loss or damage suffered by any third party as a result of any errors or inaccuracies in the Model or predictions made by the Model. The Model, and predictions made by the Model, are provided 'as is' and no guarantee or warranty is given that the information provided or generated is fit for any particular purpose. The user of the Model therefore does so at its sole risk.

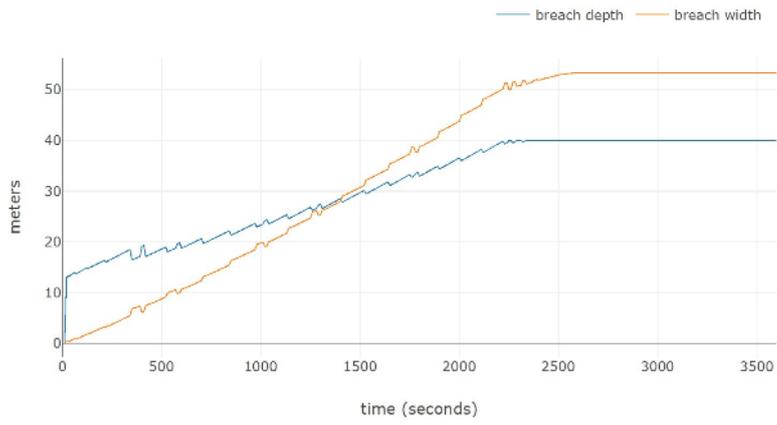
**EMBREA Breach Run Report**

**Outflow plots**



**Breach growth plot**

[View our FAQs](#)



[View our FAQs](#)

## Need more ?

If you would like a detailed output or run a Monte Carlo simulation, you will need to [get EMBREA PRO](#)

## Anexo 10. Reporte de resultados de la Brecha (Escenario 02 – Mal tiempo).



EMBREA Breach Run Report

Date and time run was undertaken: Sun May 28 2023 11:40



[View our FAQs](#)

Description

Escenario de rotura: Mal Tiempo

Breach Run Summary

Breach peak outflow	16543.28 m <sup>3</sup> /s
Time to breach peak outflow	11100 secs
Water level at breach peak outflow	1114.18 m
Total peak outflow	16543.28 m <sup>3</sup> /s
Time to total peak outflow	11100 secs

[View our FAQs](#)

Water level at peak outflow	1114.18 m
Final breach width	74.21 m
Final breach depth	40.00 m

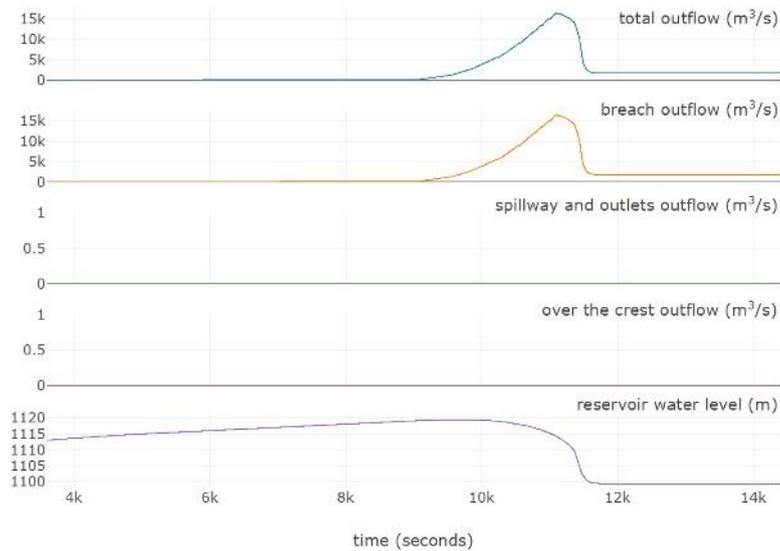
View our FAQs

For expert advice or consulting relating to the EMBREA model, please contact [breach@hrwallingford.com](mailto:breach@hrwallingford.com)

The EMBREA model (the Model) has been developed through a combination of research initiatives and funding sources, including HR Wallingford Company Research and the European Community 4th, 5th and 6th Framework Programme projects CADAM (ENV4-CT97-0555), IMPACT (EVG1-CT2001-0037) and FLOODsite (GOCE-CT-2004-505420). The European Commission, HR Wallingford, their research project partners and the individuals involved in the development of the Model do not accept liability for loss or damage suffered by any third party as a result of any errors or inaccuracies in the Model or predictions made by the Model. The Model, and predictions made by the Model, are provided 'as is' and no guarantee or warranty is given that the information provided or generated is fit for any particular purpose. The user of the Model therefore does so at its sole risk.

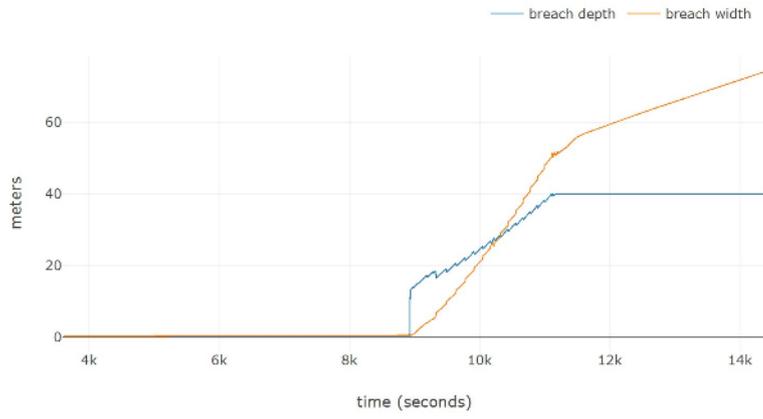
#### EMBREA Breach Run Report

##### Outflow plots



View our FAQs

##### Breach growth plot



[View our FAQs](#)

## Need more ?

If you would like a detailed output or run a Monte Carlo simulation, you will need to [get EMBREA PRO](#)

## Anexo 11. Determinación de Rugosidad.

CACULO DE RUGOSIDAD SEGÚN COWAN								
Id	Tipo	n0	n1	n2	n3	n4	m5	n
1	Rio	0.024	0.005	0.005	0.010	0.005	1.15	0.056
2	Cultivo Arroz	0.020	0.000	0.000	0.010	0.010	1.00	0.040
3	Arboles	0.024	0.005	0.000	0.010	0.050	1.00	0.089
4	Quebrada	0.028	0.010	0.005	0.025	0.018	1.00	0.086
5	Poblado	0.020	0.010	0.015	0.060	0.005	1.00	0.110
6	Carretera	0.020	0.000	0.000	0.000	0.000	1.00	0.020
7	Laderas	0.025	0.005	0.000	0.015	0.015	1.00	0.060
8	Presa	0.028	0.005	0.010	0.010	0.005	1.00	0.058

Cowan (1956) has developed a rational methodology for estimating Manning's  $n$ . Cowan's equation is:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \quad (5-28)$$

where:

- $n_0$  = basic  $n$  value for a straight, uniform, smooth channel
- $n_1$  = addition to account for surface irregularities
- $n_2$  = addition to account for variations in the size and shape of the cross section
- $n_3$  = addition to account for obstructions
- $n_4$  = addition to account for the effect of vegetation on flow conditions
- $m_5$  = factor to account for channel sinuosity (meandering).

Table 5-3 lists the appropriate values to be used in Eq. 5-28.

Table 5-3 Corrections to Manning's $n$ (Eq. 5-21).				
Channel conditions			Values	
Type of material on channel boundary	Earth	Sand, silt and clay boundary	$n_0$	0.020
	Rock cut	Rock outcrop or rock boundary		0.025
	Fine gravel	Gravel up to 8 mm diameter		0.024
	Coarse gravel	Gravel of more than 8 mm diameter		0.028
Degree of surface irregularities	Smooth	Best regular condition	$n_1$	0.000
	Minor	Good dredged channels, slightly eroded side slopes		0.005
	Moderate	Fair to poor dredged channels, moderately eroded side slopes		0.010

	Severe	Badly eroded canals and channels, highly irregular or jagged surfaces of channels excavated in rock		0.020
Variations in shape and size of channel cross section	Gradual	Smooth, or small variations	$n_2$	0.000
	Alternating occasionally	Large and small sections alternate occasionally, occasional shifting of main flow from side to side		0.005
	Alternating frequently	Large and small sections alternate frequently, frequent shifting of main flow from side to side		0.010-0.015
Effect of obstructions	Negligible	(a) The extent to which the obstructions occupy or reduce the flow area, (b) the character of the obstructions (sharp-edged or angular objects induce greater turbulence than curved, smooth-surface objects), and (c) the positioning and spacing of the obstructions, transversally and longitudinally, in the channel reach under consideration	$n_3$	0.000
	Minor			0.010-0.015
	Appreciable			0.015-0.030
	Severe			0.030-0.060
Effect of vegetation	Low	Turf grasses or weeds, where the flow depth is 2 to 3 times the height of the vegetation	$n_4$	0.005-0.010
	Medium	Turf grasses or weeds, where the flow depth is 1 to 2 times the height of the vegetation		0.010-0.025
	High	Turf grasses or weeds, where the flow depth is about equal to the height of the vegetation		0.025-0.050
	Very high	Turf grasses or weeds, where the flow depth is less than one-half (1/2) the height of the vegetation		0.050-0.100
Channel sinuosity	Low	Sinuosity less than 1.2	$m_5$	1.00
	Medium	Sinuosity between 1.2 and 1.5		1.15
	High	Sinuosity greater than 1.5		1.30

## Anexo 12. Propagación de caudales para los escenarios 01.

PROPAGACION DE CAUDALES PARA EL ESCENARIO 01

TIEMPO		LAS JUNTAS	PUCARA	PLAYA AZUL	S.J. CHIPLE	CRUCE CHAMAYA	PTE CORRAL QUEMADO
FECHA	HORA	Caudal (m3/s)					
15Jun.2023	12:00:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	12:10:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	12:20:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	12:30:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	12:40:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	12:50:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	13:00:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	13:10:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	13:20:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	13:30:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	13:40:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	13:50:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	14:00:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	14:10:00	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	14:20:00	4009.36	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	14:30:00	4351.54	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	14:40:00	3724.19	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	14:50:00	2950.99	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	15:00:00	2239.40	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	15:10:00	1648.73	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	15:20:00	1187.23	26.88	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	15:30:00	842.18	2082.76	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	15:40:00	600.16	2672.33	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	15:50:00	435.13	2724.45	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	16:00:00	319.00	2535.09	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	16:10:00	236.07	2246.99	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	16:20:00	177.00	1930.19	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	16:30:00	137.56	1620.30	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	16:40:00	110.15	1341.43	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	16:50:00	90.10	1098.83	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	17:00:00	74.90	893.92	26.88	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	17:10:00	62.43	717.33	1285.42	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	17:20:00	52.97	569.89	1772.40	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	17:30:00	45.74	460.69	1887.70	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	17:40:00	40.29	375.90	1855.47	26.88	26.88	26.88

PROPAGACION DE CAUDALES PARA EL ESCENARIO 01

TIEMPO		LAS JUNTAS	PUCARA	PLAYA AZUL	S.J. CHIPLE	CRUCE CHAMAYA	PTE CORRAL QUEMADO
FECHA	HORA	Caudal (m3/s)					
15Jun.2023	17:50:00	36.42	309.97	1744.31	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	18:00:00	33.78	256.56	1598.93	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	18:10:00	31.98	214.86	1440.02	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	18:20:00	30.75	181.57	1277.31	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	18:30:00	29.91	156.54	1125.84	26.88	26.88	26.88
15Jun.2023	18:40:00	29.34	136.60	988.84	1109.95	26.88	26.88
15Jun.2023	18:50:00	28.95	119.82	867.85	1672.48	26.88	26.88
15Jun.2023	19:00:00	28.68	106.19	752.58	1688.83	26.88	26.88
15Jun.2023	19:10:00	28.49	94.74	648.10	1603.88	26.88	26.88
15Jun.2023	19:20:00	28.34	85.26	560.08	1485.65	26.88	26.88
15Jun.2023	19:30:00	28.22	77.21	489.58	1357.38	26.88	26.88
15Jun.2023	19:40:00	28.12	70.26	430.45	1232.22	26.88	26.88
15Jun.2023	19:50:00	28.03	64.05	378.37	1114.40	26.88	26.88
15Jun.2023	20:00:00	27.95	58.52	333.24	1006.57	26.88	26.88
15Jun.2023	20:10:00	27.88	53.61	292.89	906.05	26.88	26.88
15Jun.2023	20:20:00	27.81	49.21	257.70	810.49	26.88	26.88
15Jun.2023	20:30:00	27.73	45.36	227.24	721.50	26.88	26.88
15Jun.2023	20:40:00	27.66	42.07	201.35	640.20	26.88	26.88
15Jun.2023	20:50:00	27.59	39.28	179.31	567.87	26.88	26.88
15Jun.2023	21:00:00	27.54	36.95	160.61	506.70	26.88	26.88
15Jun.2023	21:10:00	27.50	35.08	144.90	454.21	26.88	26.88
15Jun.2023	21:20:00	27.46	33.57	131.50	409.58	26.88	26.88
15Jun.2023	21:30:00	27.43	32.41	120.14	368.50	26.88	26.88
15Jun.2023	21:40:00	27.40	31.50	110.52	329.97	26.88	26.88
15Jun.2023	21:50:00	27.37	30.79	102.13	295.73	347.62	26.88
15Jun.2023	22:00:00	27.35	30.24	94.62	266.71	814.71	26.88
15Jun.2023	22:10:00	27.34	29.82	87.77	241.90	1110.35	26.88
15Jun.2023	22:20:00	27.34	29.50	81.43	219.63	1115.38	26.88
15Jun.2023	22:30:00	27.36	29.24	75.49	200.27	1058.76	26.88
15Jun.2023	22:40:00	27.37	29.04	70.16	183.64	990.76	26.88
15Jun.2023	22:50:00	27.38	28.87	65.48	168.72	922.72	26.88
15Jun.2023	23:00:00	27.38	28.72	61.30	155.49	858.09	26.88
15Jun.2023	23:10:00	27.38	28.59	57.56	144.00	799.00	26.88
15Jun.2023	23:20:00	27.37	28.46	54.24	134.12	743.65	26.88
15Jun.2023	23:30:00	27.36	28.35	51.22	125.41	692.58	26.88

PROPAGACION DE CAUDALES PARA EL ESCENARIO 01

TIEMPO		LAS JUNTAS	PUCARA	PLAYA AZUL	S.J. CHIPLE	CRUCE CHAMAYA	PTE CORRAL QUEMADO
FECHA	HORA	Caudal (m3/s)					
15Jun.2023	23:40:00	27.36	28.25	48.48	117.44	645.80	26.88
15Jun.2023	23:50:00	27.35	28.15	46.00	110.33	603.13	26.88
16Jun.2023	00:00:00	27.34	28.07	43.75	103.86	564.24	26.88
16Jun.2023	00:10:00	27.33	27.99	41.75	97.92	528.03	26.88
16Jun.2023	00:20:00	27.33	27.92	39.97	92.45	494.70	26.88
16Jun.2023	00:30:00	27.32	27.86	38.41	87.38	463.21	26.88
16Jun.2023	00:40:00	27.31	27.81	37.07	82.66	433.64	26.88
16Jun.2023	00:50:00	27.31	27.76	35.88	78.22	405.67	26.88
16Jun.2023	01:00:00	27.30	27.73	34.86	74.10	378.89	26.88
16Jun.2023	01:10:00	27.29	27.69	33.98	70.30	353.96	26.88
16Jun.2023	01:20:00	27.28	27.66	33.24	66.78	330.41	26.88
16Jun.2023	01:30:00	27.28	27.65	32.62	63.54	308.58	246.69
16Jun.2023	01:40:00	27.27	27.64	32.10	60.58	288.35	357.31
16Jun.2023	01:50:00	27.27	27.64	31.66	57.82	268.93	407.71
16Jun.2023	02:00:00	27.26	27.64	31.30	55.28	250.54	424.52
16Jun.2023	02:10:00	27.26	27.63	30.98	52.90	233.69	424.81
16Jun.2023	02:20:00	27.25	27.63	30.71	50.69	218.13	417.99
16Jun.2023	02:30:00	27.24	27.61	30.47	48.62	203.66	407.95
16Jun.2023	02:40:00	27.23	27.60	30.26	46.70	190.68	396.18
16Jun.2023	02:50:00	27.23	27.58	30.07	44.92	179.27	383.71
16Jun.2023	03:00:00	27.21	27.57	29.89	43.28	169.32	371.16
16Jun.2023	03:10:00	27.21	27.55	29.73	41.78	160.12	358.74
16Jun.2023	03:20:00	27.21	27.54	29.58	40.41	151.80	346.58
16Jun.2023	03:30:00	27.21	27.53	29.44	39.15	144.15	334.57
16Jun.2023	03:40:00	27.21	27.51	29.31	38.01	136.99	322.96
16Jun.2023	03:50:00	27.21	27.50	29.20	36.96	130.36	311.68
16Jun.2023	04:00:00	27.21	27.49	29.09	36.02	124.33	300.65
16Jun.2023	04:10:00	27.21	27.48	29.00	35.16	118.74	290.02
16Jun.2023	04:20:00	27.21	27.47	28.91	34.40	113.42	279.88
16Jun.2023	04:30:00	27.21	27.45	28.83	33.72	108.45	270.30
16Jun.2023	04:40:00	27.20	27.44	28.76	33.13	103.72	260.93
16Jun.2023	04:50:00	27.20	27.43	28.71	32.61	99.29	251.75
16Jun.2023	05:00:00	27.20	27.42	28.65	32.16	95.18	242.79
16Jun.2023	05:10:00	27.20	27.41	28.61	31.77	91.29	234.16
16Jun.2023	05:20:00	27.20	27.40	28.57	31.43	87.59	225.85

PROPAGACION DE CAUDALES PARA EL ESCENARIO 01

TIEMPO		LAS JUNTAS	PUCARA	PLAYA AZUL	S.J. CHIPLE	CRUCE CHAMAYA	PTE CORRAL QUEMADO
FECHA	HORA	Caudal (m3/s)					
16Jun.2023	17:30	27.19	27.39	28.53	31.14	84.04	217.84
16Jun.2023	17:40	27.19	27.38	28.50	30.87	80.63	210.15
16Jun.2023	17:50	27.19	27.37	28.46	30.64	77.41	202.90
16Jun.2023	18:00	27.19	27.36	28.42	30.43	74.38	195.94
16Jun.2023	18:10	27.19	27.35	28.39	30.23	71.53	189.24
16Jun.2023	18:20	27.18	27.34	28.35	30.06	68.88	182.78
16Jun.2023	18:30	27.18	27.34	28.32	29.89	66.43	176.52
16Jun.2023	18:40	27.18	27.33	28.28	29.74	64.12	170.40
16Jun.2023	18:50	27.18	27.33	28.25	29.60	61.94	164.40
16Jun.2023	19:00	27.18	27.33	28.22	29.47	59.90	158.57
16Jun.2023	19:10	27.17	27.33	28.19	29.36	57.97	152.88
16Jun.2023	19:20	27.17	27.32	28.16	29.25	56.13	147.34
16Jun.2023	19:30	27.17	27.32	28.12	29.15	54.39	141.95
16Jun.2023	19:40	27.17	27.31	28.10	29.06	52.74	136.76
16Jun.2023	19:50	27.17	27.31	28.07	28.98	51.19	131.79
16Jun.2023	20:00	27.17	27.30	28.04	28.90	49.71	127.02

## Anexo 13. Propagación de caudales para los escenarios 02.

PROPAGACION DE CAUDALES PARA EL ESCENARIO 02

TIEMPO		LAS JUNTAS	PUCARA	PLAYA AZUL	S.J. CHIPLE	CRUCE CHAMAYA	PTE CORRAL QUEMADO
FECHA	HORA	Caudal (m3/s)					
15Jun.2023	12:00:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	12:10:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	12:20:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	12:30:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	12:40:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	12:50:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	13:00:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	13:10:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	13:20:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	13:30:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	13:40:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	13:50:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	14:00:00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	14:10:00	2537.05	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	14:20:00	5321.88	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	14:30:00	5547.61	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	14:40:00	4815.72	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	14:50:00	3952.40	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	15:00:00	3224.22	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	15:10:00	2679.88	200.00	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	15:20:00	2292.67	2143.20	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	15:30:00	2044.93	3347.67	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	15:40:00	1894.56	3717.39	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	15:50:00	1807.99	3646.21	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	16:00:00	1761.37	3379.27	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	16:10:00	1737.73	3056.94	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	16:20:00	1725.29	2742.97	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	16:30:00	1717.94	2464.16	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	16:40:00	1713.29	2238.18	200.00	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	16:50:00	1710.66	2063.96	801.41	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	17:00:00	1706.53	1936.48	2254.26	200.00	200.00	200.00

PROPAGACION DE CAUDALES PARA EL ESCENARIO 02

TIEMPO		LAS JUNTAS	PUCARA	PLAYA AZUL	S.J. CHIPLE	CRUCE CHAMAYA	PTE CORRAL QUEMADO
FECHA	HORA	Caudal (m3/s)					
15Jun.2023	17:10:00	1704.10	1851.04	2682.07	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	17:20:00	1701.16	1795.06	2781.87	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	17:30:00	1698.61	1760.70	2729.16	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	17:40:00	1695.82	1739.46	2608.86	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	17:50:00	1692.62	1725.99	2466.50	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	18:00:00	1689.62	1717.28	2322.63	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	18:10:00	1686.69	1711.42	2192.95	200.00	200.00	200.00
15Jun.2023	18:20:00	1683.06	1707.23	2081.29	1999.64	200.00	200.00
15Jun.2023	18:30:00	1680.60	1703.83	1987.21	2522.94	200.00	200.00
15Jun.2023	18:40:00	1677.41	1700.67	1910.85	2586.15	200.00	200.00
15Jun.2023	18:50:00	1674.13	1697.58	1851.78	2521.97	200.00	200.00
15Jun.2023	19:00:00	1670.73	1694.59	1807.28	2411.68	200.00	200.00
15Jun.2023	19:10:00	1667.22	1691.64	1774.57	2294.05	200.00	200.00
15Jun.2023	19:20:00	1663.63	1688.65	1751.07	2185.04	200.00	200.00
15Jun.2023	19:30:00	1659.96	1685.62	1734.54	2082.48	200.00	200.00
15Jun.2023	19:40:00	1656.21	1682.54	1722.97	1994.77	200.00	200.00
15Jun.2023	19:50:00	1651.84	1679.42	1714.32	1924.17	200.00	200.00
15Jun.2023	20:00:00	1648.35	1676.24	1708.52	1865.84	200.00	200.00
15Jun.2023	20:10:00	1644.38	1672.85	1703.55	1819.24	200.00	200.00
15Jun.2023	20:20:00	1640.46	1669.35	1699.54	1785.49	200.00	200.00
15Jun.2023	20:30:00	1636.22	1665.98	1695.79	1757.81	200.00	200.00
15Jun.2023	20:40:00	1631.99	1662.40	1692.35	1741.05	200.00	200.00
15Jun.2023	20:50:00	1627.54	1658.68	1689.23	1728.23	200.00	200.00
15Jun.2023	21:00:00	1622.98	1654.78	1685.64	1715.51	200.00	200.00
15Jun.2023	21:10:00	1617.97	1650.83	1682.36	1710.08	674.06	200.00
15Jun.2023	21:20:00	1613.46	1647.21	1679.56	1705.29	1967.73	200.00
15Jun.2023	21:30:00	1608.65	1643.14	1676.29	1700.16	2042.23	200.00
15Jun.2023	21:40:00	1603.80	1638.76	1672.57	1695.55	2039.38	200.00
15Jun.2023	21:50:00	1600.02	1634.44	1669.81	1693.61	2025.99	200.00
15Jun.2023	22:00:00	1595.06	1630.25	1665.79	1688.03	1983.57	200.00
15Jun.2023	22:10:00	1590.50	1626.08	1662.58	1687.23	1931.57	200.00

PROPAGACION DE CAUDALES PARA EL ESCENARIO 02

TIEMPO		LAS JUNTAS	PUCARA	PLAYA AZUL	S.J. CHIPLE	CRUCE CHAMAYA	PTE CORRAL QUEMADO
FECHA	HORA	Caudal (m3/s)					
15Jun.2023	22:20:00	1585.41	1621.78	1658.74	1683.82	1882.21	200.00
15Jun.2023	22:30:00	1580.27	1617.21	1655.22	1679.17	1839.54	200.00
15Jun.2023	22:40:00	1574.93	1612.66	1651.21	1677.55	1804.65	200.00
15Jun.2023	22:50:00	1569.51	1608.07	1647.33	1674.03	1776.93	200.00
15Jun.2023	23:00:00	1563.29	1603.30	1642.58	1668.35	1754.99	200.00
15Jun.2023	23:10:00	1558.41	1598.64	1639.12	1665.98	1738.22	200.00
15Jun.2023	23:20:00	1552.28	1593.88	1634.81	1664.49	1725.51	200.00
15Jun.2023	23:30:00	1546.81	1588.90	1630.76	1660.04	1716.13	200.00
15Jun.2023	23:40:00	1540.84	1583.73	1626.14	1654.33	1708.87	200.00
15Jun.2023	23:50:00	1535.21	1578.60	1621.95	1651.28	1703.36	317.93
16Jun.2023	00:00:00	1529.24	1573.41	1617.58	1647.52	1698.73	657.35
16Jun.2023	00:10:00	1523.36	1567.98	1613.07	1643.23	1694.64	850.21
16Jun.2023	00:20:00	1517.43	1562.41	1608.48	1639.31	1690.93	931.65
16Jun.2023	00:30:00	1511.42	1556.86	1603.82	1635.28	1687.63	965.18
16Jun.2023	00:40:00	1505.32	1551.28	1599.11	1631.15	1684.42	980.52
16Jun.2023	00:50:00	1499.10	1545.72	1594.32	1627.00	1681.09	988.07
16Jun.2023	01:00:00	1492.78	1540.05	1589.38	1622.76	1677.67	993.33
16Jun.2023	01:10:00	1486.32	1534.28	1584.35	1618.45	1674.25	1004.81
16Jun.2023	01:20:00	1479.79	1528.43	1579.23	1614.03	1670.81	1033.78
16Jun.2023	01:30:00	1473.25	1522.60	1573.98	1609.48	1667.30	1082.56
16Jun.2023	01:40:00	1466.69	1516.71	1568.66	1604.37	1663.67	1152.88
16Jun.2023	01:50:00	1460.03	1510.72	1563.29	1600.26	1659.99	1234.08
16Jun.2023	02:00:00	1453.24	1504.59	1557.90	1595.79	1656.29	1311.25
16Jun.2023	02:10:00	1446.50	1498.34	1552.30	1590.69	1652.54	1380.23
16Jun.2023	02:20:00	1439.44	1492.01	1546.73	1585.89	1648.75	1436.94
16Jun.2023	02:30:00	1432.37	1485.65	1541.09	1580.82	1644.86	1482.90
16Jun.2023	02:40:00	1425.21	1479.21	1535.41	1575.52	1640.91	1519.28
16Jun.2023	02:50:00	1417.98	1472.67	1529.67	1570.30	1636.94	1548.20
16Jun.2023	03:00:00	1410.70	1466.07	1523.93	1564.64	1632.92	1570.64
16Jun.2023	03:10:00	1403.37	1459.38	1518.03	1559.49	1628.82	1587.85
16Jun.2023	03:20:00	1395.93	1452.65	1511.99	1554.07	1624.60	1600.94

PROPAGACION DE CAUDALES PARA EL ESCENARIO 02

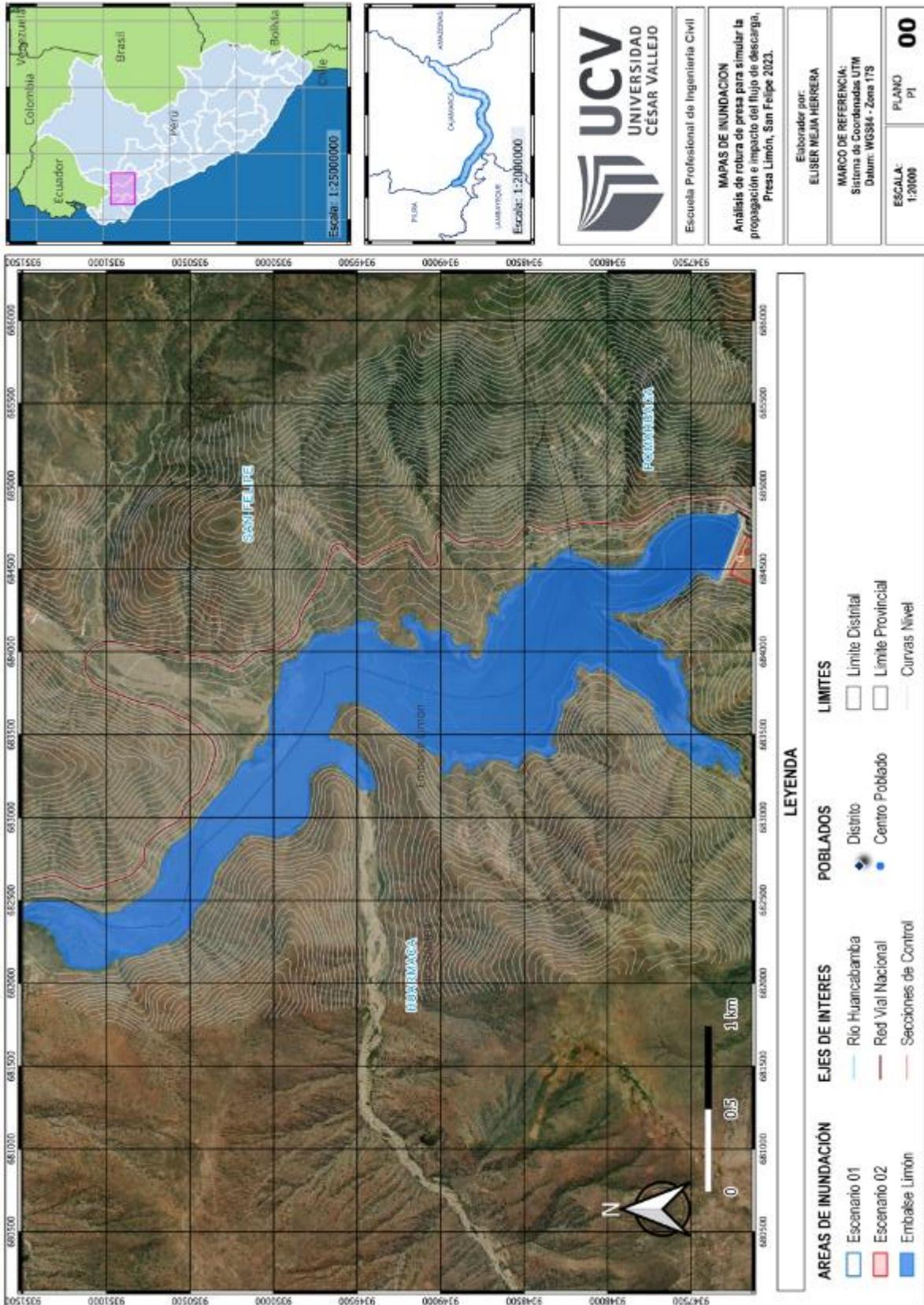
TIEMPO		LAS JUNTAS	PUCARA	PLAYA AZUL	S.J. CHIPLE	CRUCE CHAMAYA	PTE CORRAL QUEMADO
FECHA	HORA	Caudal (m3/s)					
16Jun.2023	03:30:00	1388.44	1445.87	1505.96	1548.59	1620.30	1610.69
16Jun.2023	03:40:00	1380.87	1438.96	1499.81	1543.00	1615.90	1617.80
16Jun.2023	03:50:00	1373.20	1431.96	1493.57	1537.38	1611.42	1622.76
16Jun.2023	04:00:00	1365.45	1424.88	1487.23	1531.76	1606.90	1626.01
16Jun.2023	04:10:00	1357.65	1417.70	1480.91	1526.03	1602.32	1627.86
16Jun.2023	04:20:00	1349.75	1410.45	1474.47	1520.28	1597.67	1628.59
16Jun.2023	04:30:00	1341.82	1403.12	1467.96	1514.41	1592.91	1628.48
16Jun.2023	04:40:00	1333.86	1395.72	1461.37	1508.44	1588.04	1627.61
16Jun.2023	04:50:00	1325.81	1388.26	1454.69	1502.38	1583.05	1626.10
16Jun.2023	05:00:00	1317.68	1380.71	1447.96	1496.15	1577.94	1624.09
16Jun.2023	05:10:00	1309.44	1373.08	1441.11	1489.82	1572.77	1621.68
16Jun.2023	05:20:00	1301.12	1365.41	1434.22	1483.42	1567.53	1618.85
16Jun.2023	05:30:00	1292.68	1357.67	1427.21	1477.02	1562.23	1615.62
16Jun.2023	05:40:00	1284.19	1349.87	1420.13	1470.60	1556.88	1612.01
16Jun.2023	05:50:00	1275.61	1341.99	1412.97	1464.04	1551.46	1608.25
16Jun.2023	06:00:00	1266.94	1334.04	1405.73	1457.38	1546.01	1604.38
16Jun.2023	06:10:00	1258.20	1326.03	1398.40	1450.67	1540.52	1600.38
16Jun.2023	06:20:00	1250.10	1318.00	1391.01	1443.94	1534.99	1596.28
16Jun.2023	06:30:00	1241.45	1309.86	1383.54	1437.16	1529.40	1592.07
16Jun.2023	06:40:00	1232.33	1301.65	1376.04	1430.04	1523.71	1587.75
16Jun.2023	06:50:00	1223.22	1293.36	1368.48	1423.21	1517.93	1583.35
16Jun.2023	07:00:00	1213.71	1284.97	1360.83	1416.19	1512.04	1578.86
16Jun.2023	07:10:00	1203.63	1276.54	1353.10	1409.04	1506.05	1574.27
16Jun.2023	07:20:00	1195.28	1268.12	1345.37	1401.79	1499.97	1569.61
16Jun.2023	07:30:00	1186.70	1259.70	1337.56	1394.44	1493.80	1564.86
16Jun.2023	07:40:00	1176.51	1251.21	1329.66	1387.03	1487.55	1560.05
16Jun.2023	07:50:00	1167.43	1242.61	1321.68	1379.53	1481.23	1555.17
16Jun.2023	08:00:00	1158.12	1233.79	1313.71	1371.99	1474.85	1550.21

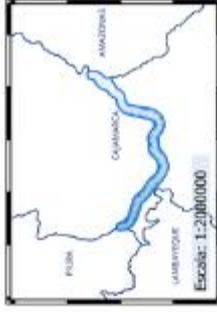
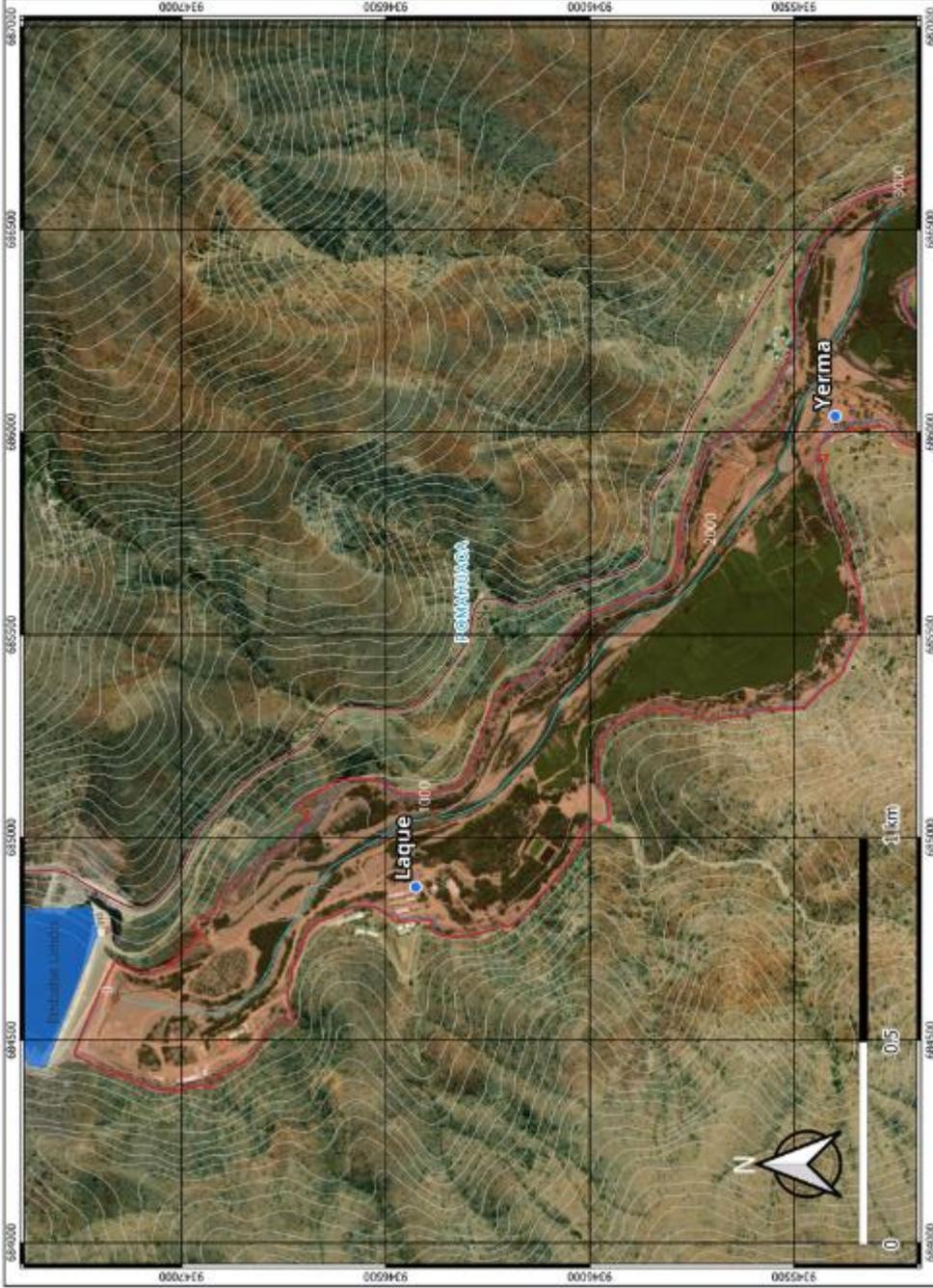
## Anexo 14. Poblaciones afectadas ante una rotura de la presa Limón.

N°	Centro Poblado	Distrito	Provincia	Departamento	WGS 84 - UTM 17S		
					NORTE	ESTE	COTA
1	LAQUE	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9346426.5	684877.6	1083
2	YERMA	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9345398.8	686039.4	1080
3	CAMPAMENTO LIMON	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9345051.0	686765.0	1079
4	ARABISCA	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9344156.4	688704.6	1063
5	ARENAL	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9343872.0	690028.0	1056
6	CAÑARIACO	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9342856.2	692033.9	1036
7	PATACON	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9343187.9	692178.2	1029
8	CHICHAGUA	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9341351.2	695467.5	1028
9	RUMPILCA	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9339157.3	697734.2	1013
10	PIEDRA GRANDE	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9339662.8	697413.3	1009
11	LAS JUNTAS	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9341785.9	695890.4	1007
12	SAN ANTONIO	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9338979.5	698981.7	997
13	PASCAPAMPA	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9338315.0	699293.9	985
14	SAN LORENZO	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9337189.5	701010.9	956
15	CHAHUARPAMPA	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9337963.4	699902.5	954
16	SARANGUINA	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9334204.3	705158.8	946
17	SAN MARTIN	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9332145.1	707381.6	944
18	CHAUPE	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9335795.7	703141.5	932
19	TUMANQUE	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9335459.8	703878.9	931
20	EL ALVARADO	POMAHUACA	JAEN	CAJAMARCA	9336237.3	702538.7	930
21	LA VEGA	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9333626.7	705614.0	922
22	AGOPAMPA	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9334558.0	704676.6	918
23	CABUYAS	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9329818.5	708303.6	918
24	PANCHO VIEJO	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9331033.4	708613.5	913
25	LISHINAS	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9332443.3	706239.2	911
26	INGATAMBO	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9332805.0	705796.2	897
27	SAN JUAN	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9332855.0	706205.3	897
28	REMOLINO	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9332461.7	706690.2	896
29	PUCARA	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9331819.3	706961.1	894
30	SANTA ROSA	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9332332.4	706631.8	890
31	CHINGUE	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9330908.1	707789.1	889
32	PALO BLANCO	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9331747.9	707751.2	887
33	SAN JOSE	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9330849.2	708561.4	884
34	HUERTAS	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9329481.5	709662.6	877
35	LIMONAL	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9330416.1	713793.6	860
36	LAMPARAN	QUEROCOTILLO	CUTERVO	CAJAMARCA	9329147.0	712957.5	854
37	PUENTE TECHIN	QUEROCOTILLO	CUTERVO	CAJAMARCA	9330226.0	715179.0	854
38	BARRANCO	QUEROCOTILLO	CUTERVO	CAJAMARCA	9330195.4	714551.8	853
39	RUMISQUI	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9328889.6	712140.1	850
40	PUENTE TECHIN	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9330520.8	715148.3	847
41	BALSAS	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9331699.2	716787.2	841
42	SAN ANDRES	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9330747.8	715732.4	841
43	PLAYA AZUL	PUCARA	JAEN	CAJAMARCA	9332369.2	717846.4	830
44	MATARA	CALLAYUC	CUTERVO	CAJAMARCA	9332769.0	718476.0	815
45	LIVINTO	CALLAYUC	CUTERVO	CAJAMARCA	9334326.6	724559.5	808
46	NIVINTOS	COLASAY	JAEN	CAJAMARCA	9334017.4	724035.5	772
47	PICSE	COLASAY	JAEN	CAJAMARCA	9331837.1	731599.9	744
48	CABRAMAYO	COLASAY	JAEN	CAJAMARCA	9333682.8	727711.3	743
49	NUEVO PORVENIR	CALLAYUC	CUTERVO	CAJAMARCA	9333376.0	727975.9	731
50	BUENOS AIRES	CALLAYUC	CUTERVO	CAJAMARCA	9331773.6	730333.0	708

N°	Centro Poblado	Distrito	Provincia	Departamento	WGS 84 - UTM 17S		
					NORTE	ESTE	COTA
51	SAN JUAN DE CHIPLE	CALLAYUC	CUTERVO	CAJAMARCA	9330941.0	732570.0	701
52	CUICA	COLASAY	JAEN	CAJAMARCA	9335202.2	736566.9	672
53	NUEVO CAVICO	SANTA CRUZ	CUTERVO	CAJAMARCA	9333010.0	735583.0	669
54	PUERTO BLANCO	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9335315.3	736904.2	652
55	PUERTO CAVICO	PIMPINGOS	CUTERVO	CAJAMARCA	9333793.6	735892.4	651
56	CUYCA	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9335301.0	736918.0	651
57	SAN JUAN DE CAVICO	PIMPINGOS	CUTERVO	CAJAMARCA	9334895.5	736876.1	650
58	SAN ISIDRO	COLASAY	JAEN	CAJAMARCA	9338493.8	737260.2	629
59	PUENTE BLANCO	COLASAY	JAEN	CAJAMARCA	9342696.0	737225.7	596
60	PUENTE SONANGA	JAEN	JAEN	CAJAMARCA	9348856.5	740308.0	572
61	PUENTE CHAMAYA II	JAEN	JAEN	CAJAMARCA	9344934.8	739018.7	568
62	PALO BLANCO	JAEN	JAEN	CAJAMARCA	9353022.9	746872.4	518
63	CRUCE DE CHAMAYA	JAEN	JAEN	CAJAMARCA	9354510.0	748848.2	514
64	BUENA ESPERANZA	JAEN	JAEN	CAJAMARCA	9349898.1	744161.1	509
65	MESONES MURO	JAEN	JAEN	CAJAMARCA	9350180.5	745080.0	509
66	FUNDO EL ALGARROBO	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9349938.8	743242.1	508
67	EL ALGARROBO	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9349682.9	743748.1	505
68	LA PERLA	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9349468.8	745843.0	501
69	PLAYA GRANDE	JAEN	JAEN	CAJAMARCA	9354074.7	747889.7	500
70	EL PUERTO	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9350781.9	746080.0	491
71	PUERTO EL SAUCE	CUMBA	UTCUBAMBA	AMAZONAS	9357915.7	754450.6	477
72	MOJON	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9352829.8	747268.9	476
73	CHAMAYA	JAEN	JAEN	CAJAMARCA	9354769.7	749401.5	473
74	PANAMA	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9353592.7	748305.9	471
75	MOLINO CHAMAYA	JAEN	JAEN	CAJAMARCA	9355939.0	749738.2	471
76	EL PARCO	JAEN	JAEN	CAJAMARCA	9356321.4	749950.8	463
77	SALADO	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9354036.2	749518.8	461
78	PAN DE AZUCAR	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9354463.6	750275.3	460
79	CHAHUARPAMPA	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9358186.0	752049.1	443
80	EL ALMENDRAL	CHOROS	CUTERVO	CAJAMARCA	9359778.4	753235.1	443
81	FUNDO SAN FRANCISCO	CUMBA	UTCUBAMBA	AMAZONAS	9360171.6	754879.7	437
82	CORRAL QUEMADO	CUMBA	UTCUBAMBA	AMAZONAS	9363297.6	755722.0	429

## Anexo 15. Planos de Inundación (Plano PI 00 – Plano PI 32)





Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

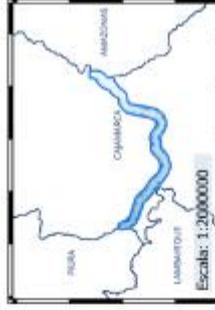
**ESCALA:**  
1:10000

**PLANO**  
PI

**01**

**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACION	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Río Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embatee Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
 Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
 ELISER MEJIA HERRERA

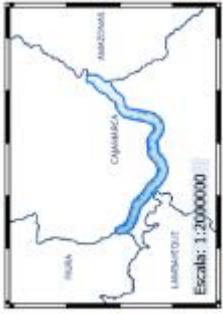
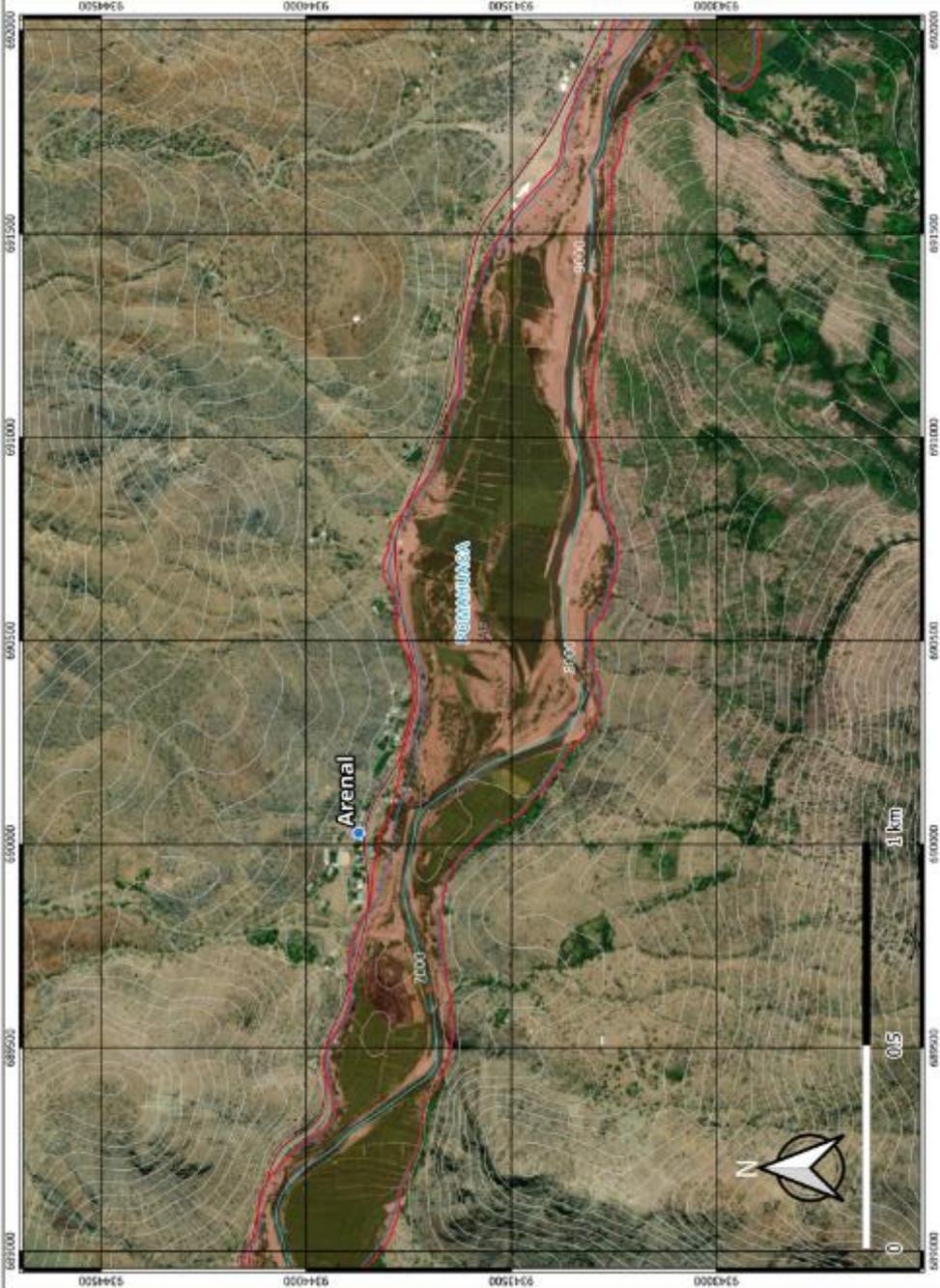
**MARCO DE REFERENCIA:**  
 Sistema de Coordenadas UTM  
 Datum: WGS84 - Zona 17S

**ESCALA:**  
 1:10000

**PLANO**  
 02

**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Río Huancabamba	Districto	Limite Districtal
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

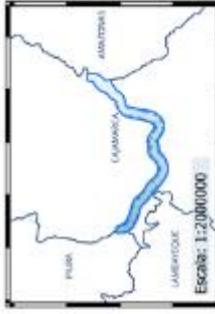
Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA: 1:10000  
PLANO: **03**  
PI

**LEYENDA**

- |                            |                        |                 |                   |
|----------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>AREAS DE INUNDACION</b> | <b>EJES DE INTERES</b> | <b>POBLADOS</b> | <b>LIMITES</b>    |
| Escenario 01               | Rio Huancabamba        | Distrito        | Limite Distrital  |
| Escenario 02               | Red Vial Nacional      | Centro Poblado  | Limite Provincial |
| Embalse Limón              | Secciones de Control   |                 | Curvas Nivel      |



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

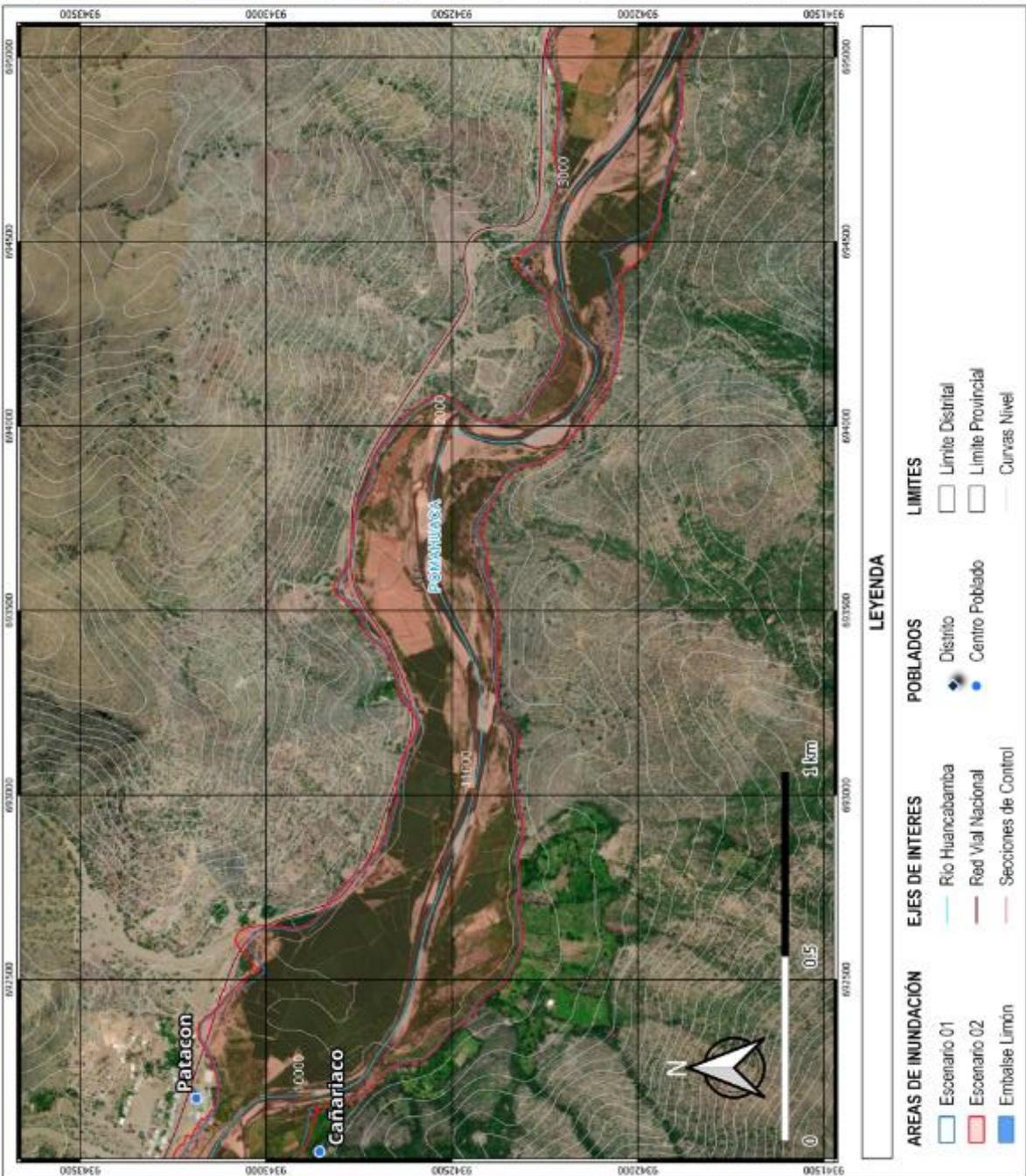
Elaborador por:  
ELSER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
1:10000

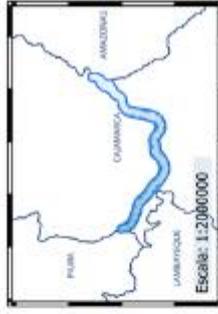
PLANO  
PI

**04**



**LEYENDA**

- |                            |                        |                 |                   |
|----------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>AREAS DE INUNDACION</b> | <b>EJES DE INTERES</b> | <b>POBLADOS</b> | <b>LIMITES</b>    |
| Escenario 01               | Rio Huancabamba        | Distrito        | Limite Distrital  |
| Escenario 02               | Red Vial Nacional      | Centro Poblado  | Limite Provincial |
| Embalse Limón              | Secciones de Control   |                 | Curvas Nivel      |



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

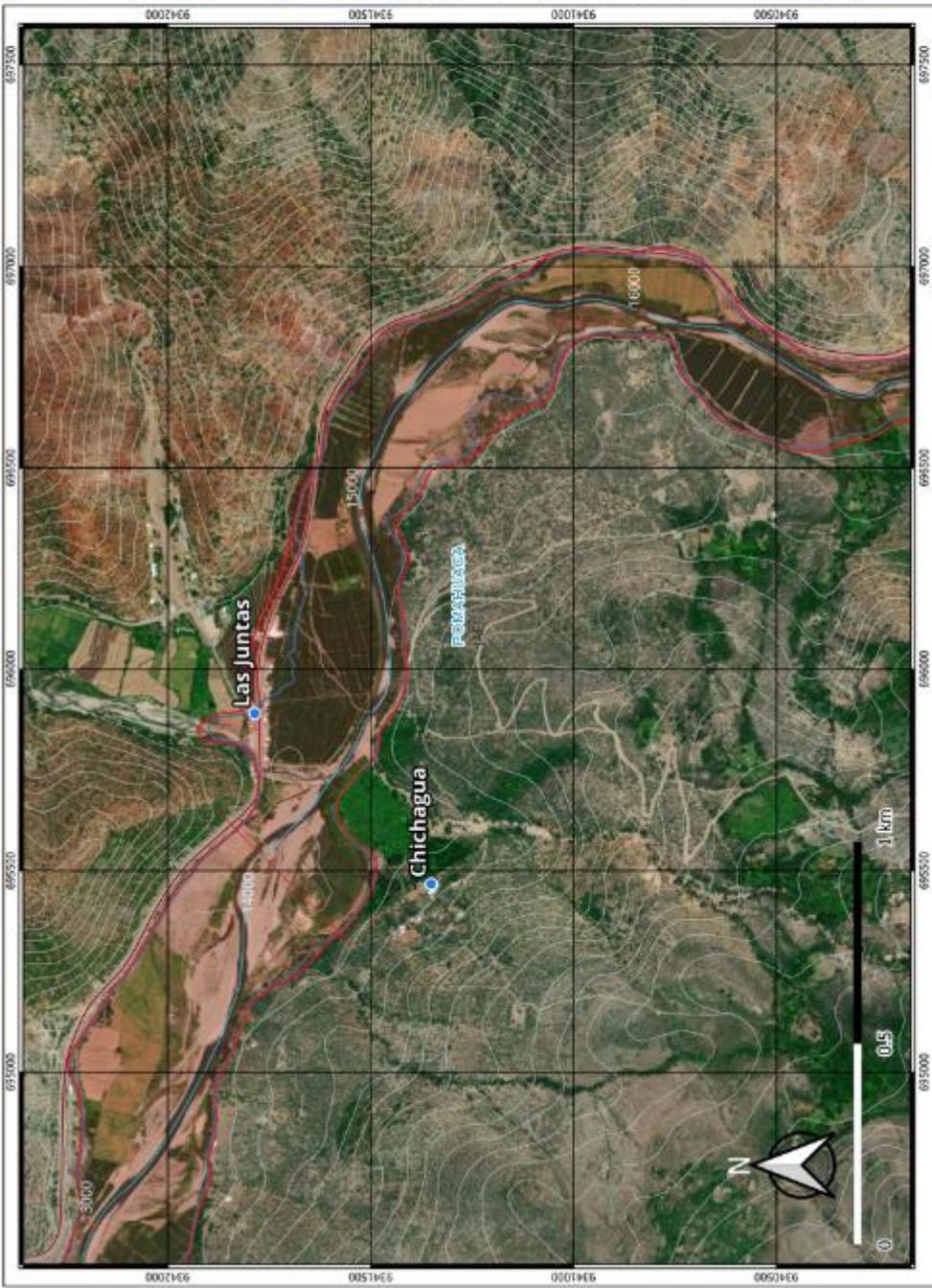
Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

**ESCALA:**  
1:10000

**PLANO**  
PI

**05**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACION	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

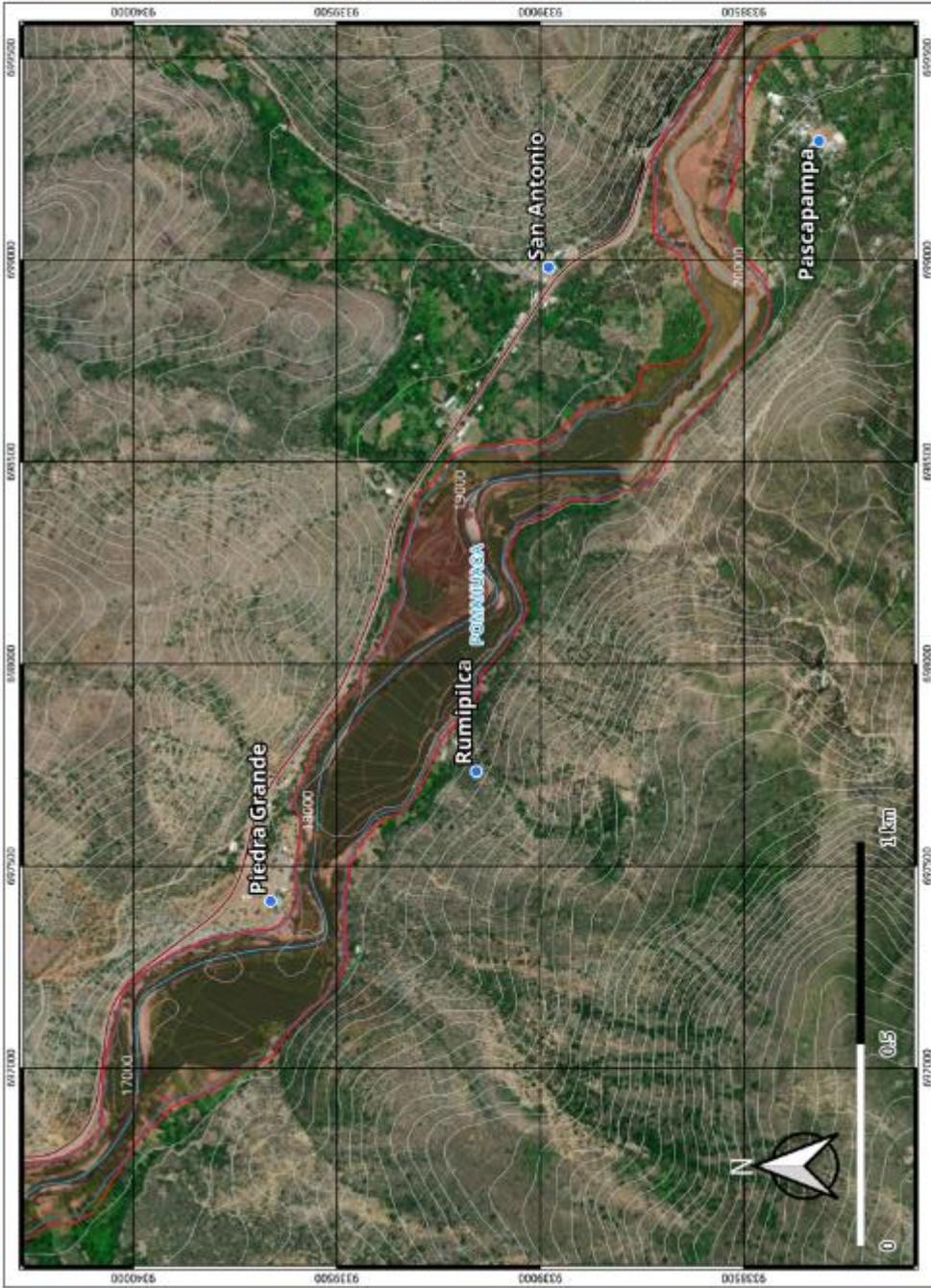
Elaborador por:  
ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
1:10000

PLANO  
PI

**06**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

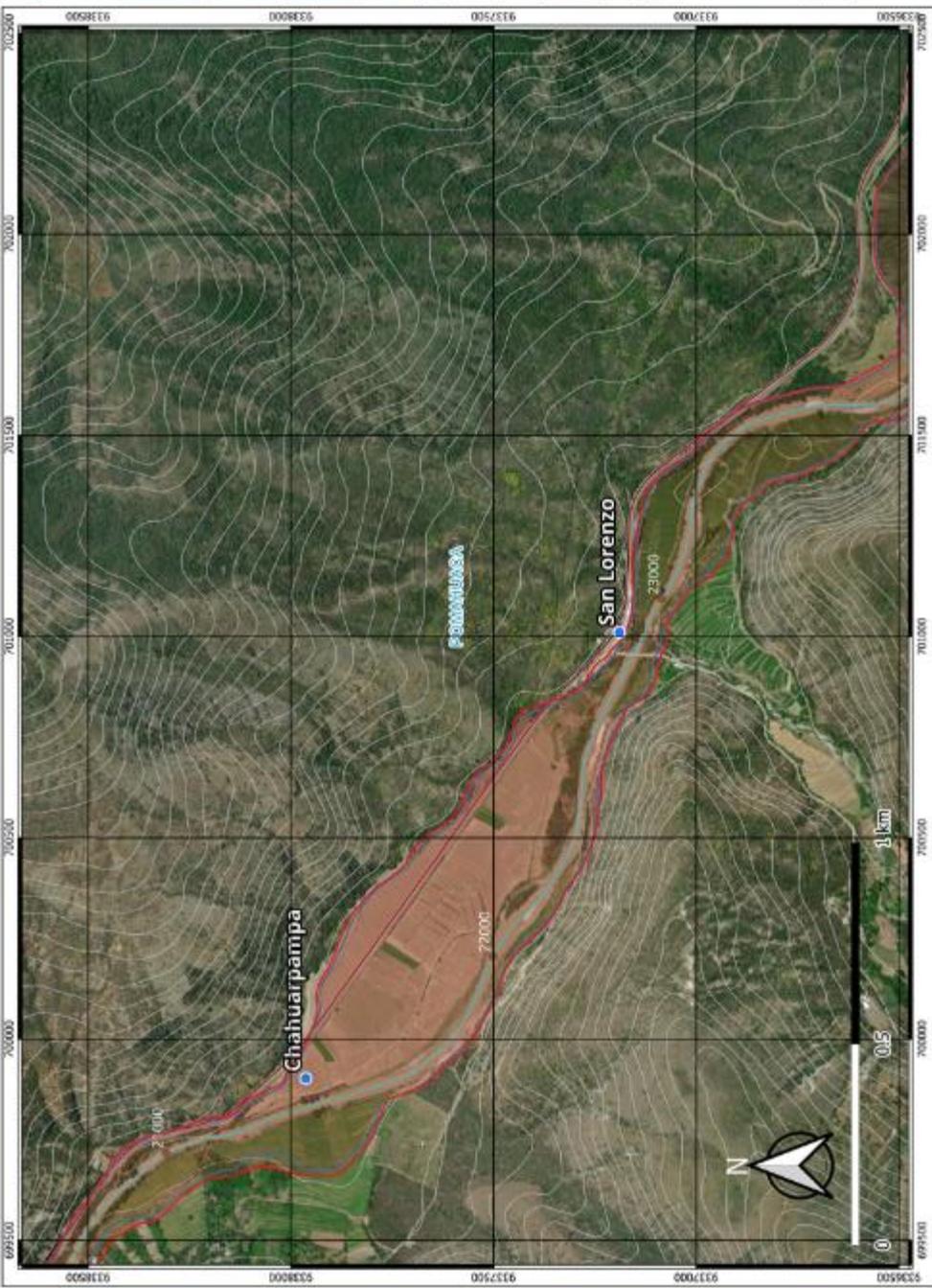
Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

MARCO DE REFERENCIA:  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
1:10000

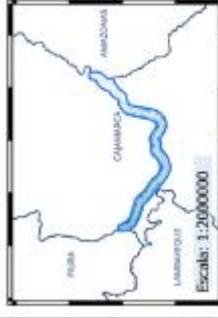
PLANO  
PI

**07**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Río Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACIÓN**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
1:10000

PLANO  
PT **08**

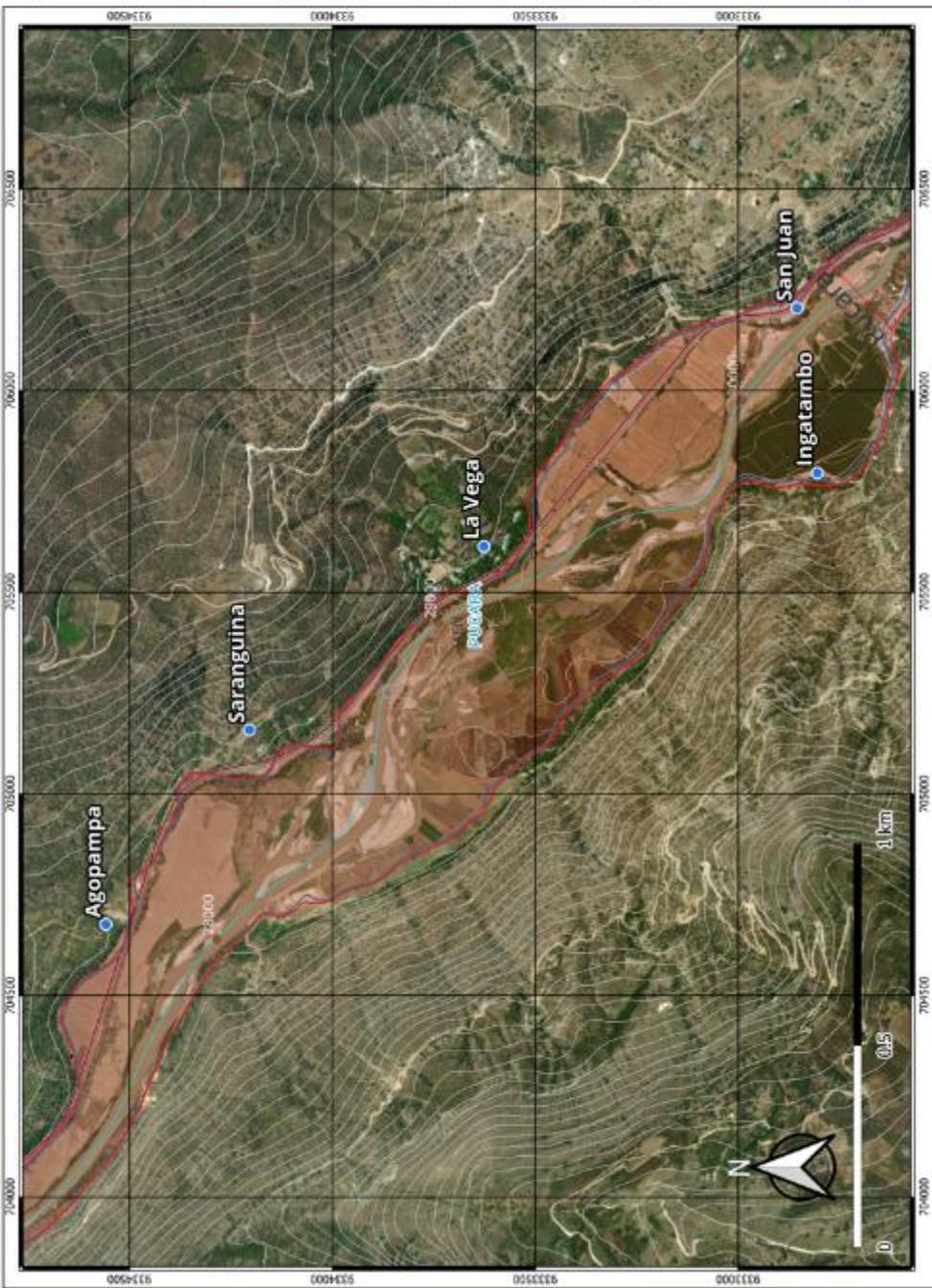
**LEYENDA**

- AREAS DE INUNDACIÓN**
- Escenario 01
  - Escenario 02
  - Embalse Limón

- EJES DE INTERES**
- Río Huancabamba
  - Red Vial Nacional
  - Secciones de Control

- POBLADOS**
- Distrito
  - Centro Poblado

- LIMITES**
- Limite Distrital
  - Limite Provincial
  - Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

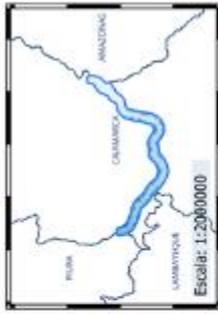
**ESCALA:**  
1:10000

**PLANO**  
PT

**09**

**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Río Huancabamba	Districto	Limite Districtal
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control	Curvas Nivel	



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

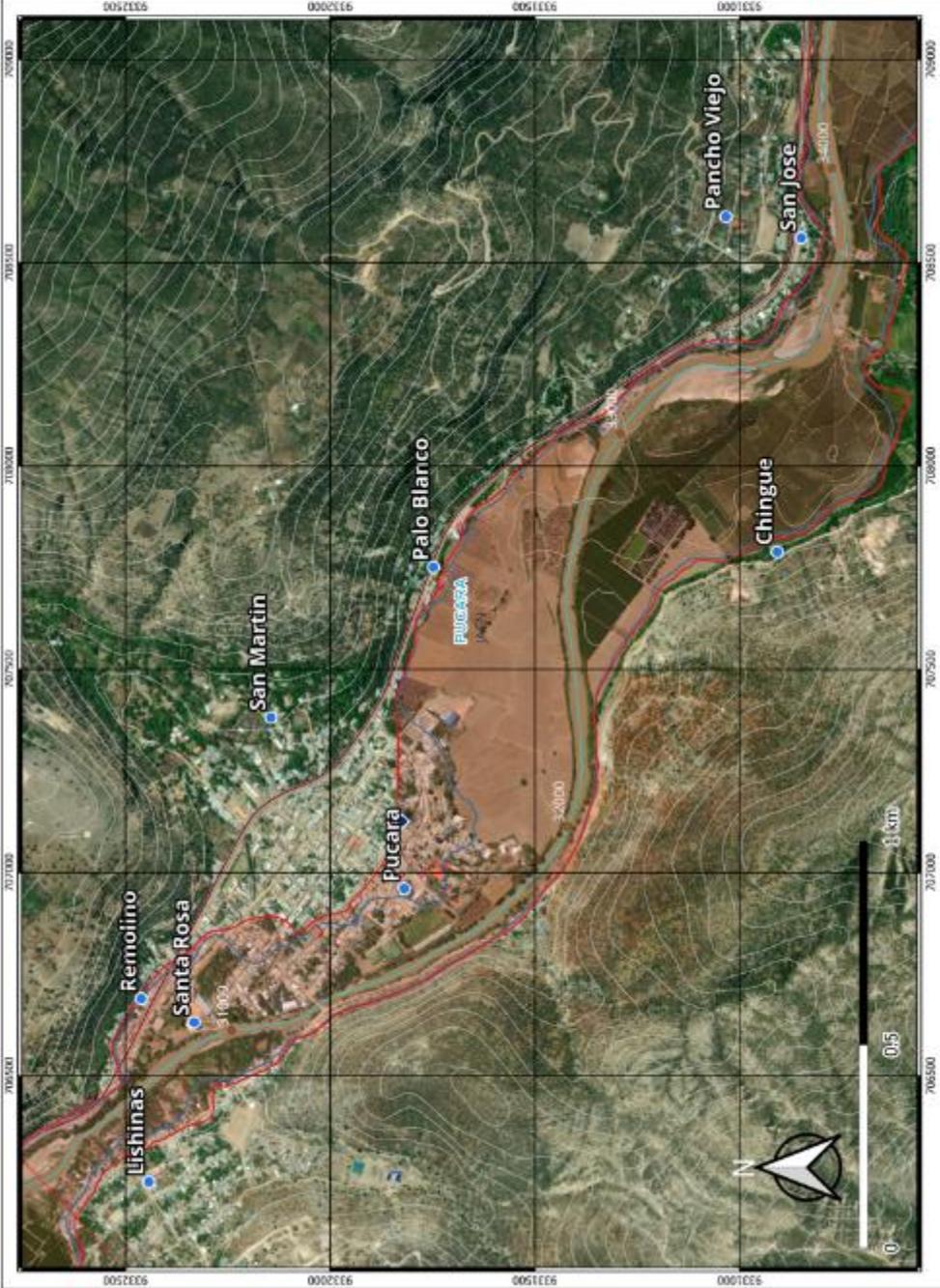
Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

**ESCALA:**  
1:10000

**PLANO**  
PI

**10**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACION	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

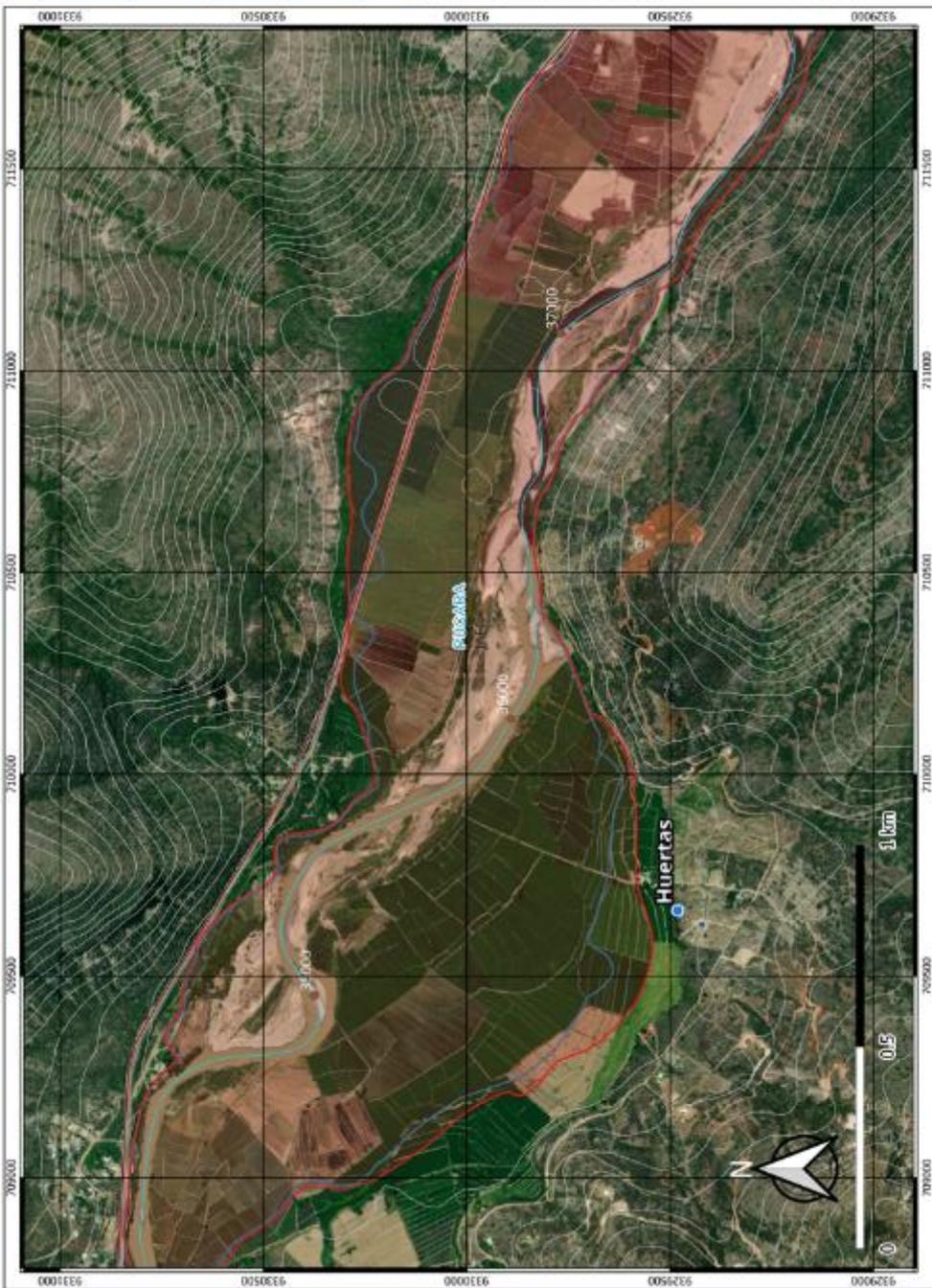
**MAPAS DE INUNDACION**  
 Analisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
 ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
 Sistema de Coordenadas UTM  
 Datum: WGS84 - Zona 17S

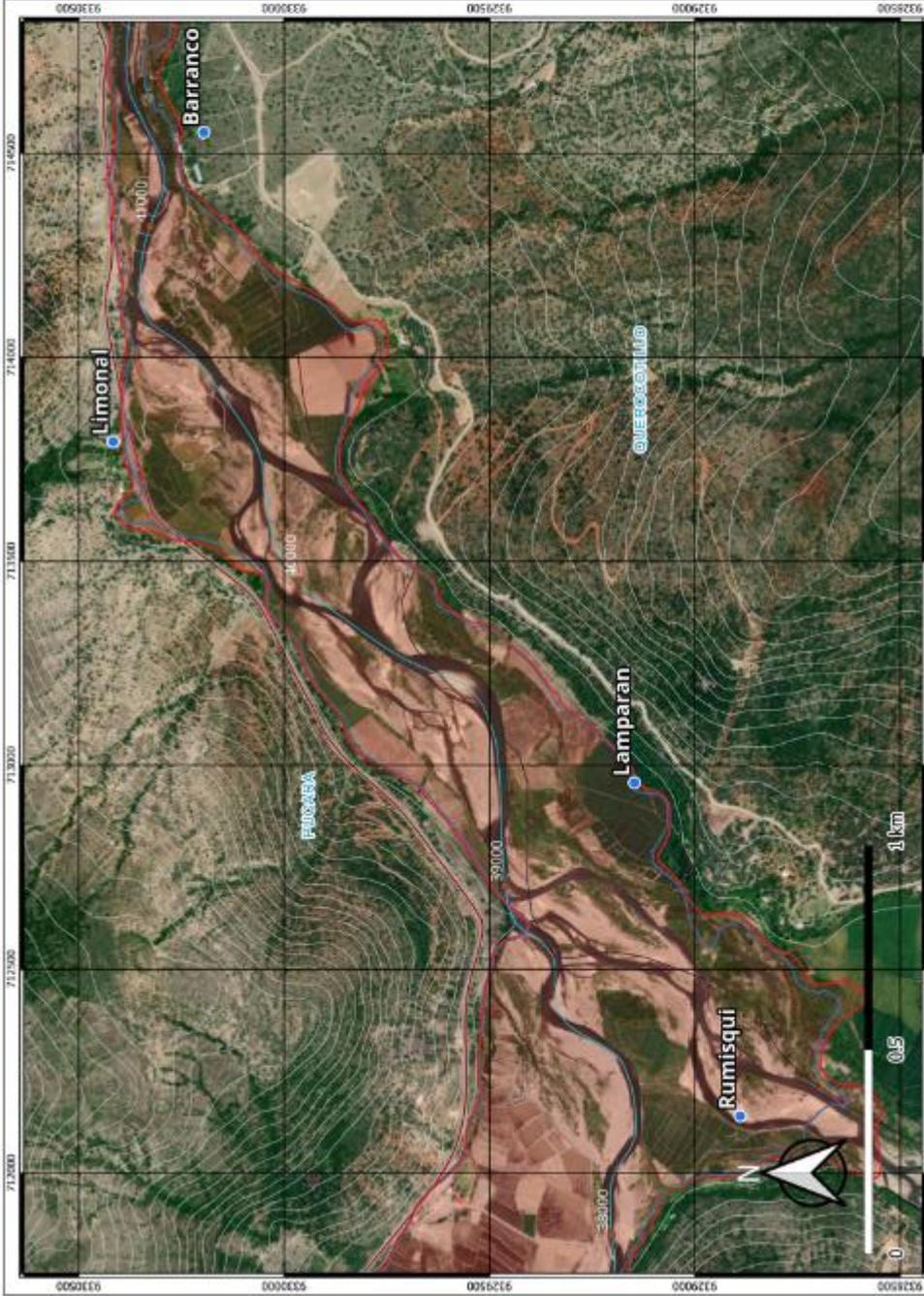
ESCALA:  
 1:10000

PLANO  
 11



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACION	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Límite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Límite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
1:1000

PLANO  
PI

**12**

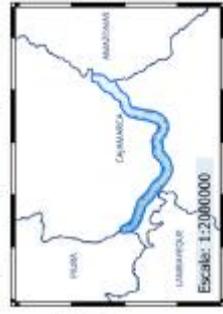
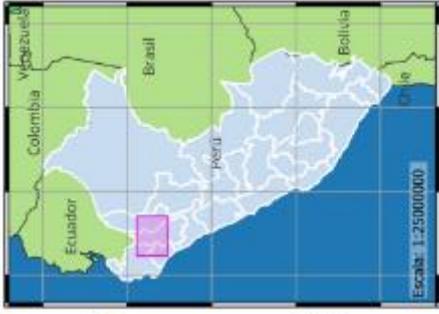
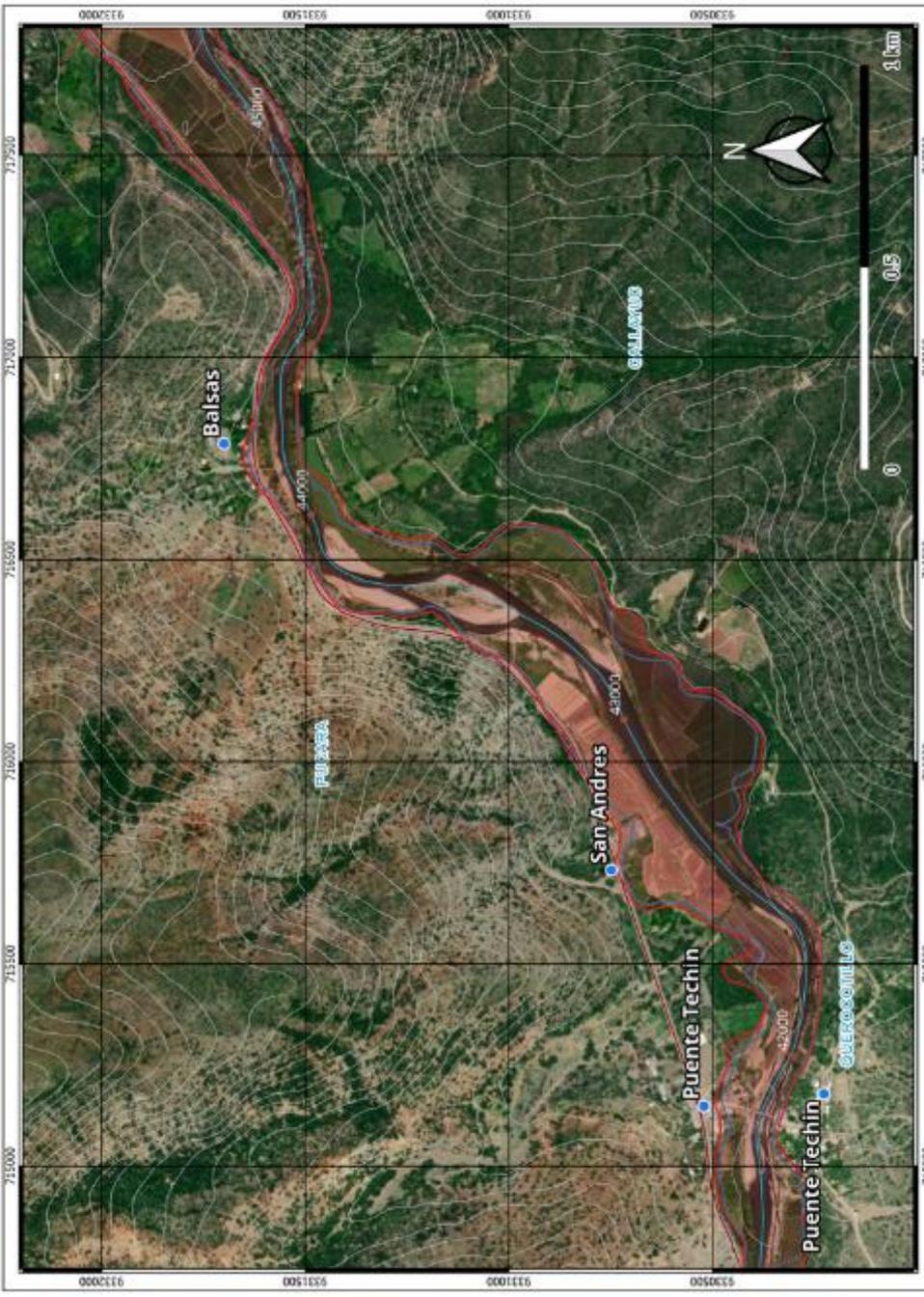
**LEYENDA**

- AREAS DE INUNDACIÓN**
- Escenario 01
  - Escenario 02
  - Embalse Limón

- EJES DE INTERES**
- Río Huancahamba
  - Red Vial Nacional
  - Secciones de Control

- POBLADOS**
- Distrito
  - Centro Poblado

- LIMITES**
- Limite Distrital
  - Limite Provincial
  - Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
 Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2022.

Elaborador por:  
 ELISER NEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
 Sistema de Coordenadas UTM  
 Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
 1:10000

PLANO  
 P1

**13**

**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Districto	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vital Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



AREAS DE INUNDACIÓN		EJES DE INTERES		POBLADOS		LIMITES	
	Escenario 01		Río Huancabamba		Distrito		Limite Distrital
	Escenario 02		Red Vial Nacional		Centro Poblado		Limite Provincial
	Embalse Limón		Secciones de Control				Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de escorrentía, Presa Limón, San Felipe 2023.

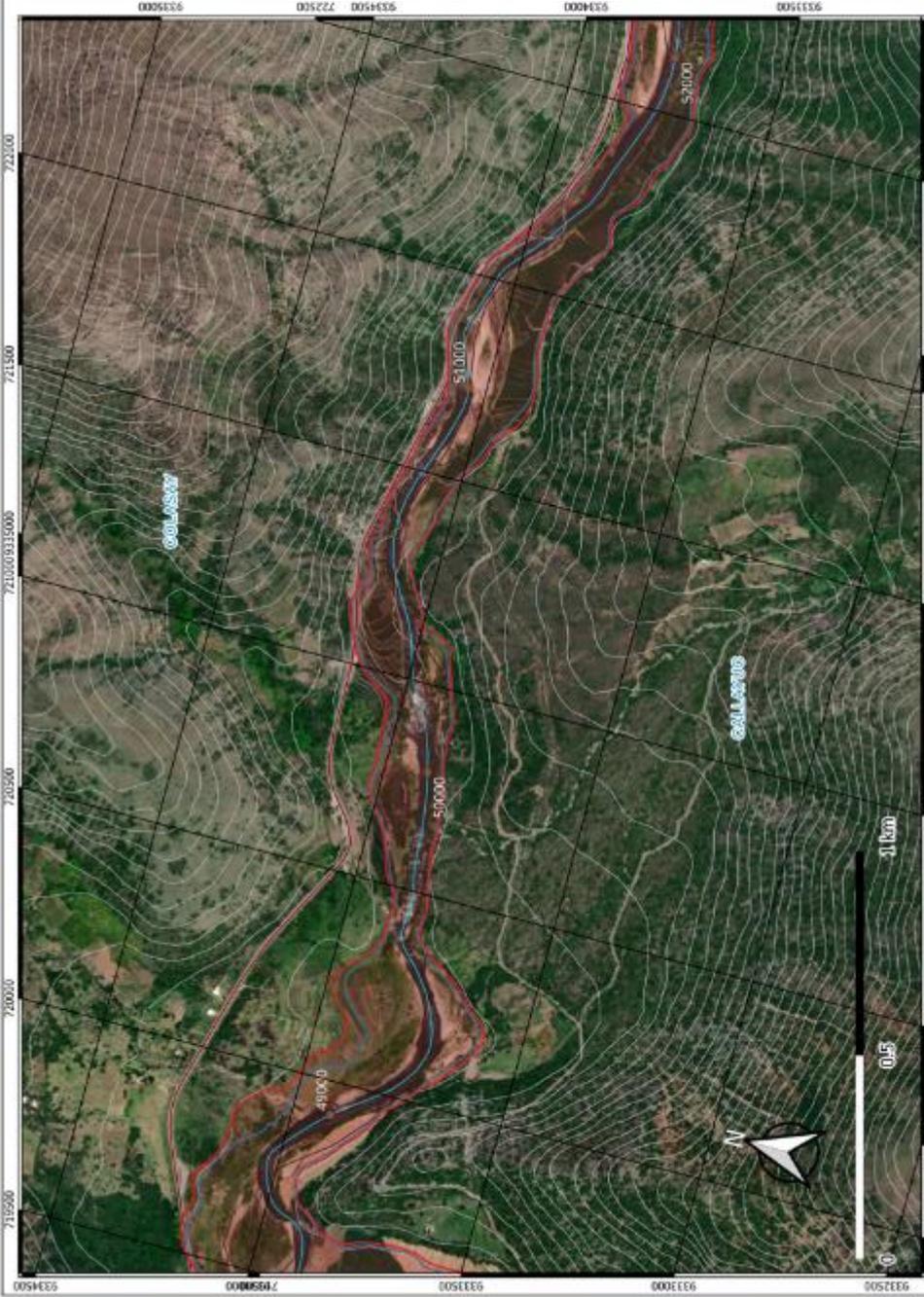
Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
1:10000

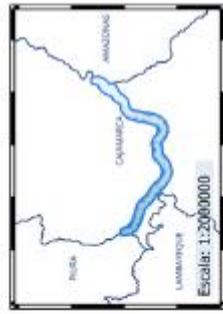
PLANO  
PI

**14**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACION	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Cortina		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

MARCO DE REFERENCIA:  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
1:10000

PLANO  
PI

**15**



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

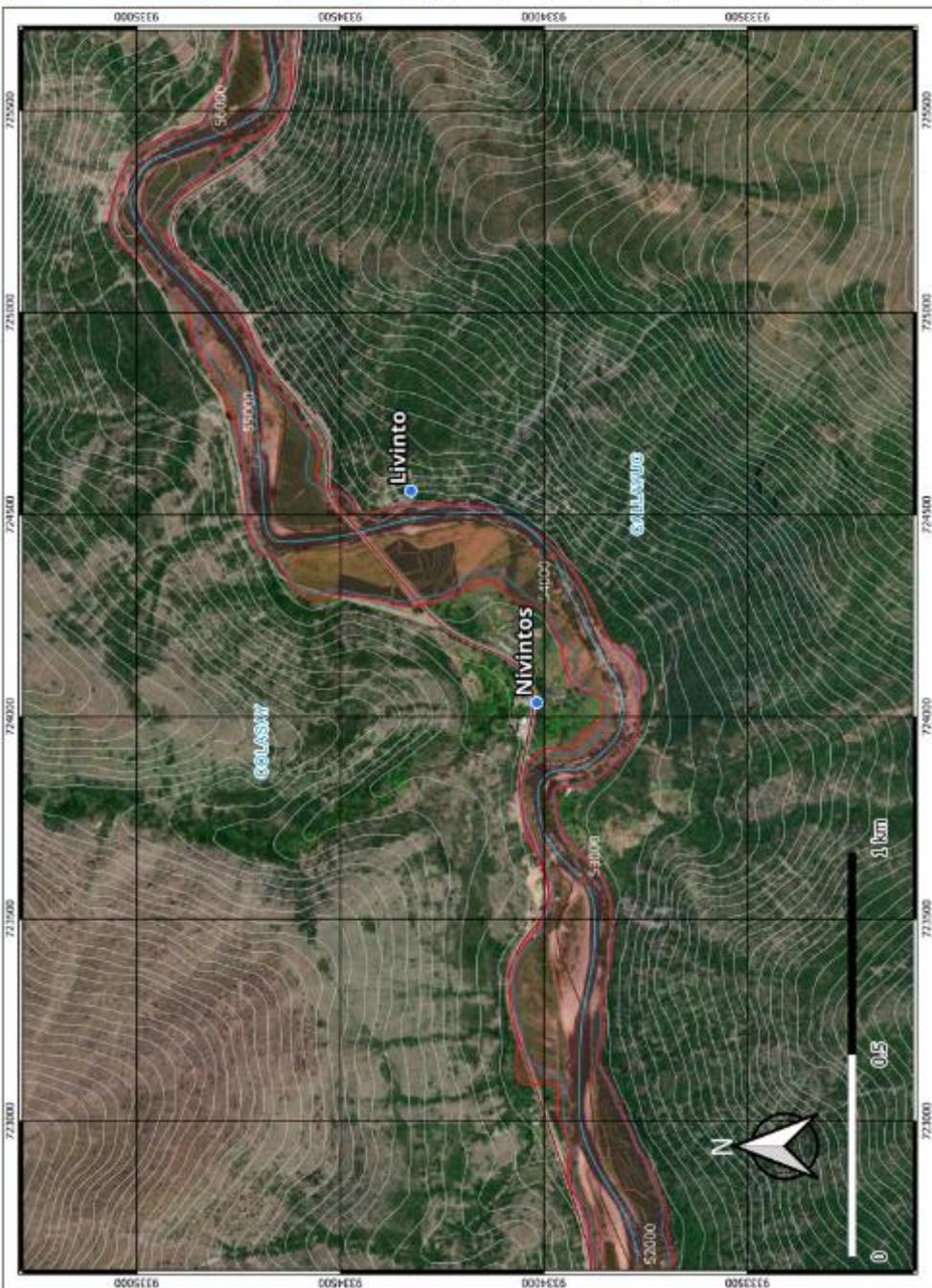
Elaborador por:  
ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
1:16000

PLANO  
PI

**16**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
 Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

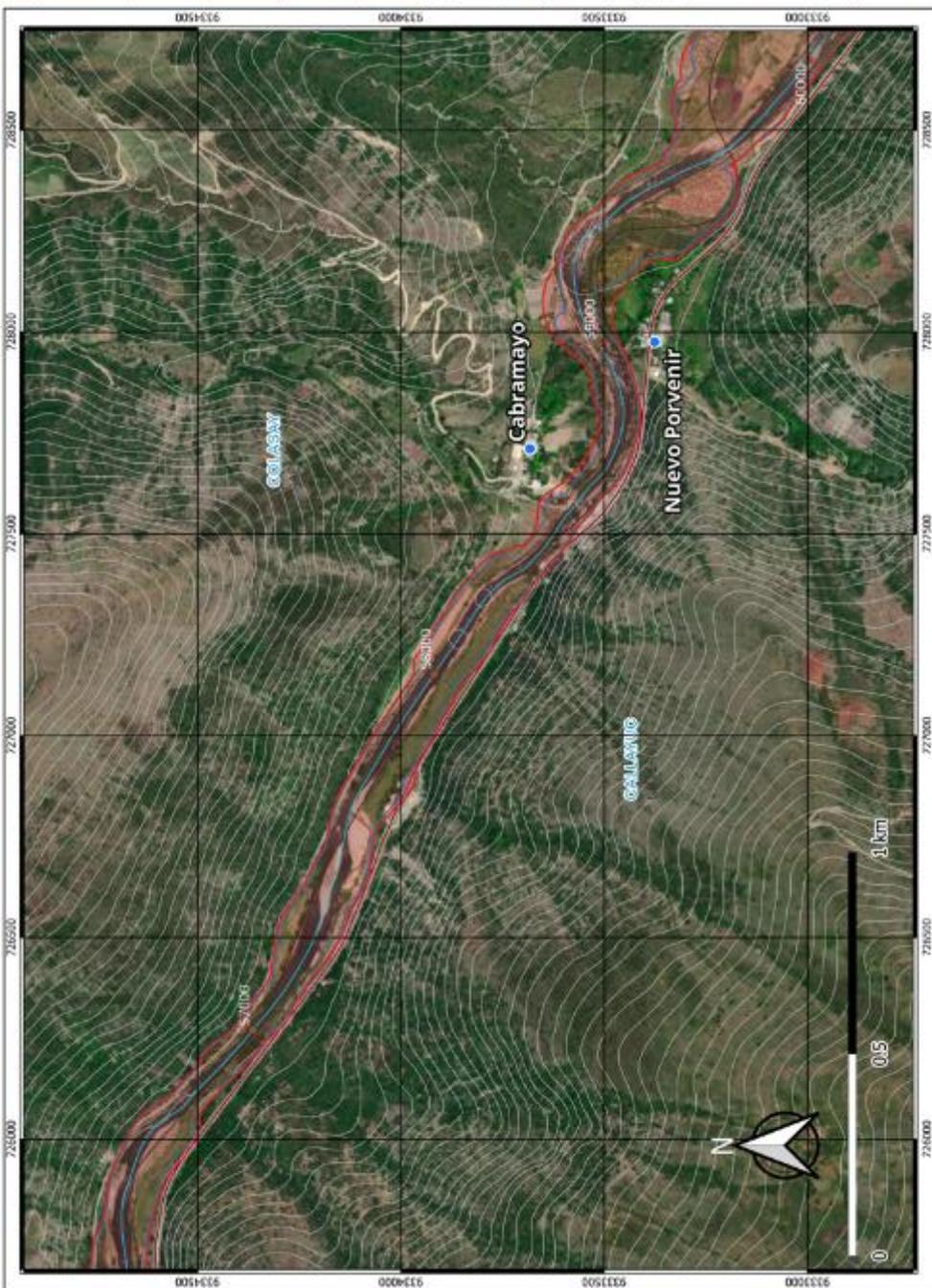
Elaborador por:  
 ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
 Sistema de Coordenadas UTM  
 Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
 1:10000

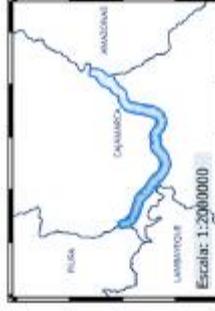
PLANO  
 P1

**17**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

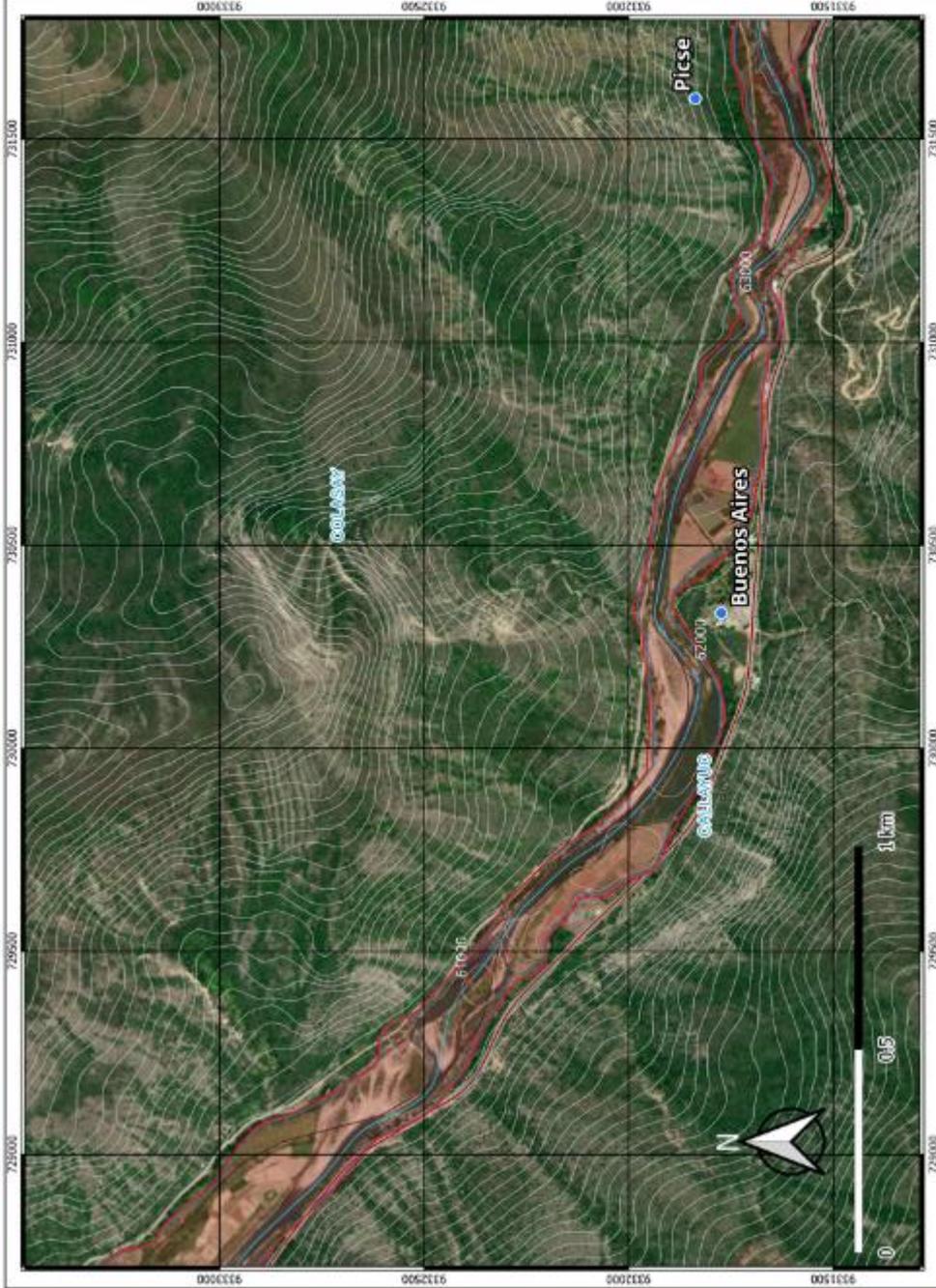
Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

**ESCALA:**  
1:10000

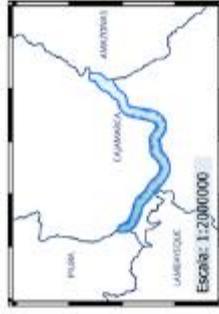
**PLANO**  
PI

**18**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Río Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

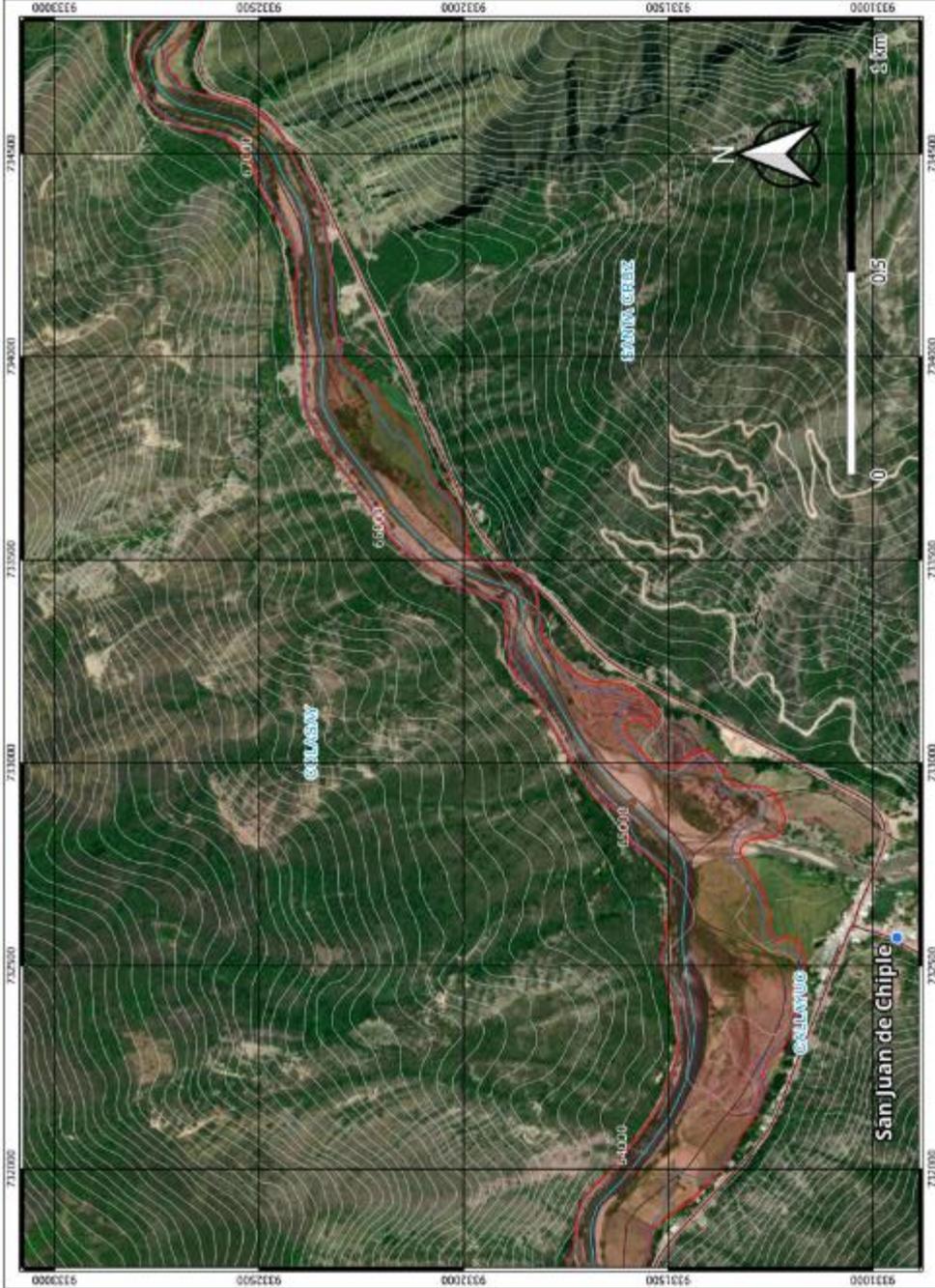
Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

**ESCALA:**  
1:10000

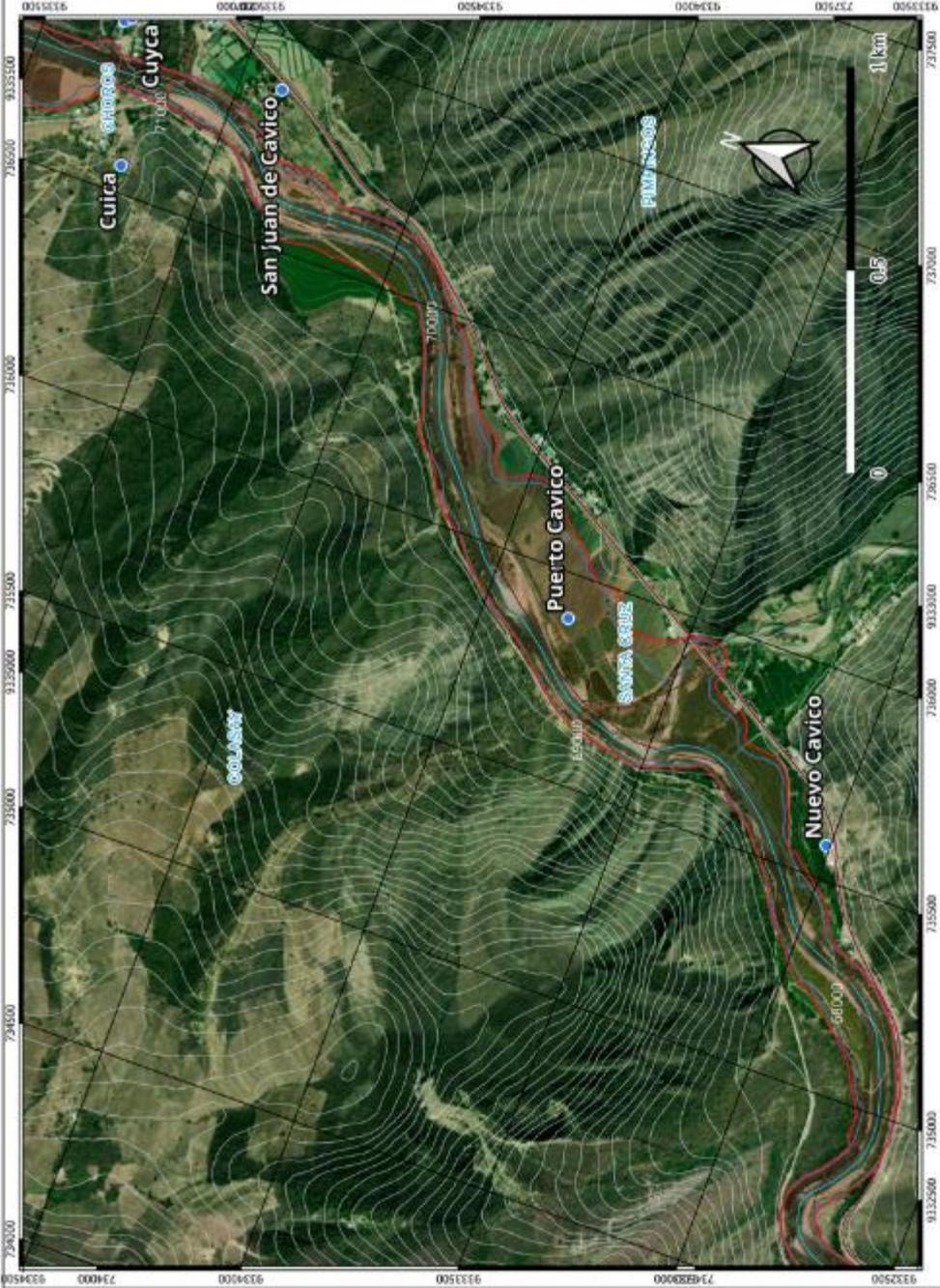
**PLANO**  
PI

**19**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACION	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
 Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, Saa Felipe 2023.

Elaborador por:  
 ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
 Sistema de Coordenadas UTM  
 Datum: WGS84 - Zona 17S

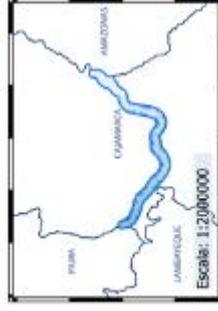
ESCALA:  
 1:10000

PLANO  
 PI

**20**

**LEYENDA**

- |                            |                        |                 |                   |
|----------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>AREAS DE INUNDACIÓN</b> | <b>EJES DE INTERES</b> | <b>POBLADOS</b> | <b>LIMITES</b>    |
| Escenario 01               | Rio Huancabamba        | Distrito        | Limite Distrital  |
| Escenario 02               | Red Vial Nacional      | Centro Poblado  | Limite Provincial |
| Embalse Limón              | Secciones de Control   |                 | Curvas Nivel      |



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

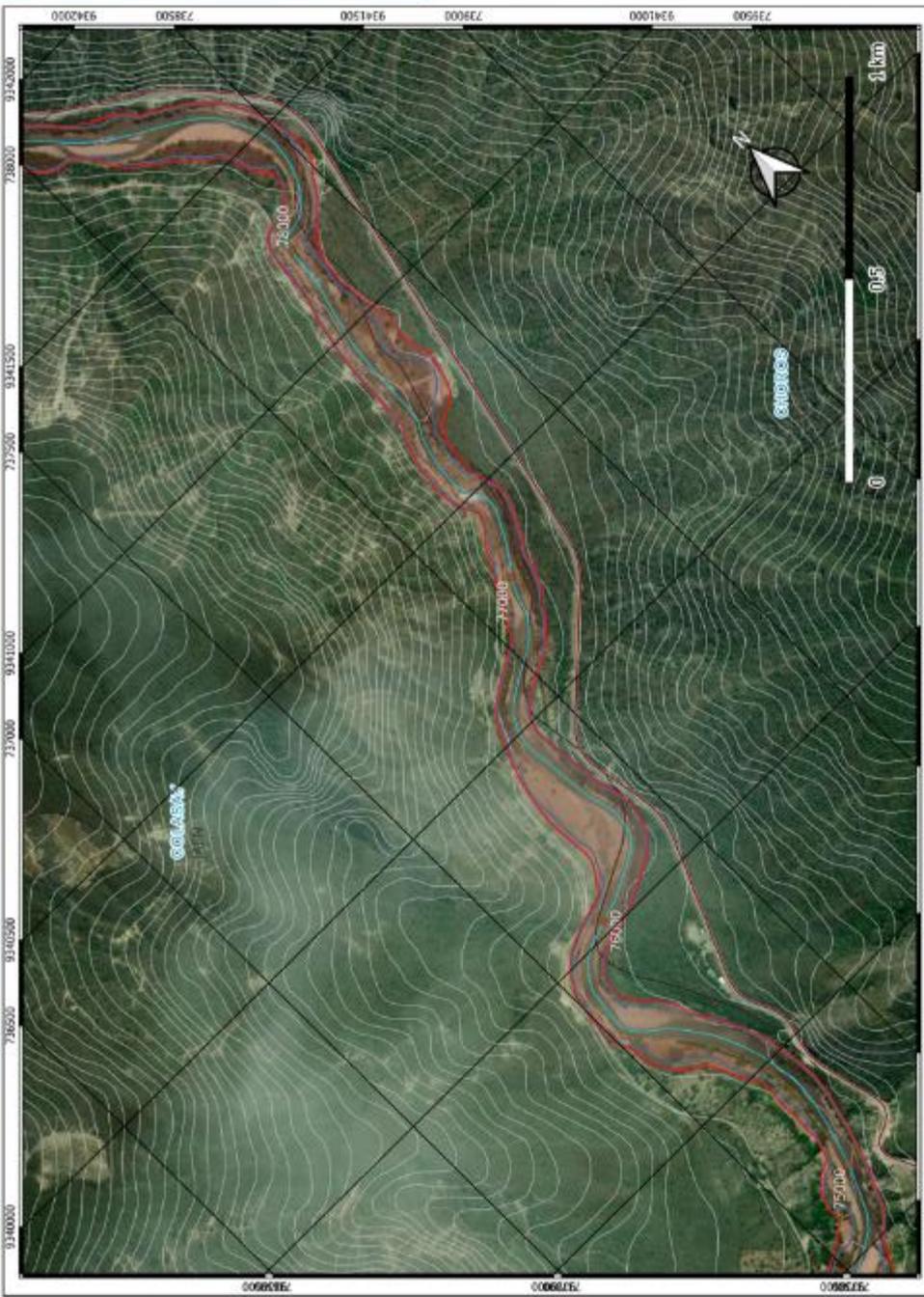
**ESCALA:**  
1:10000

**PLANO**  
PI

**21**

**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACION	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERÉS	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Río Huancabamba	Distrito	Limite Distrial
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



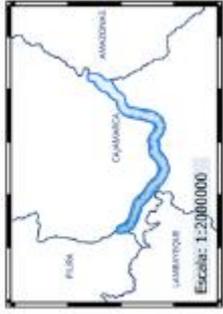
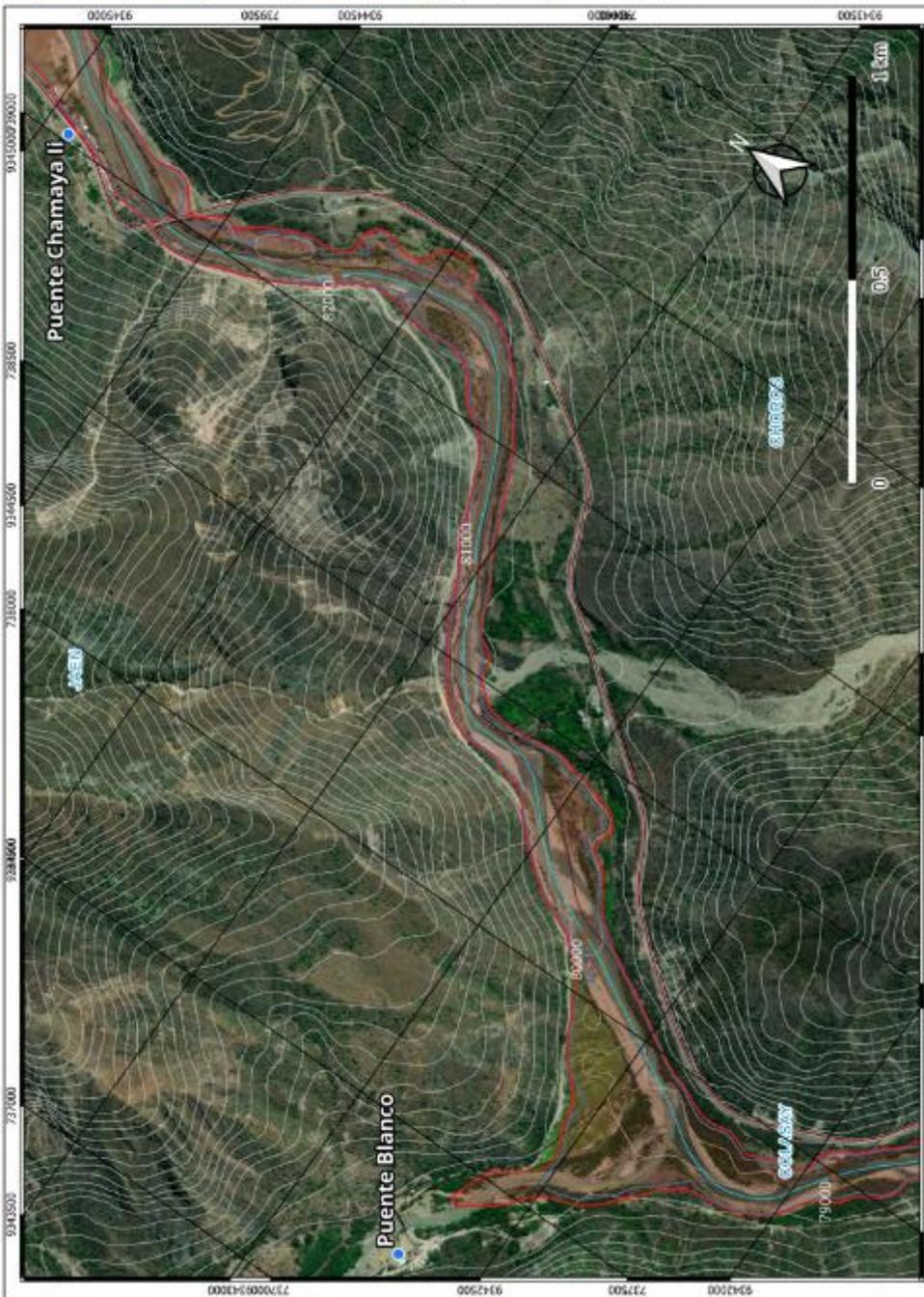
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
 Analisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
 ELISER MEJIA HERRERA

**MARCO DE REFERENCIA:**  
 Sistema de Coordenadas UTM  
 Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA: 1:10000  
 PLANO PT **22**



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
 Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

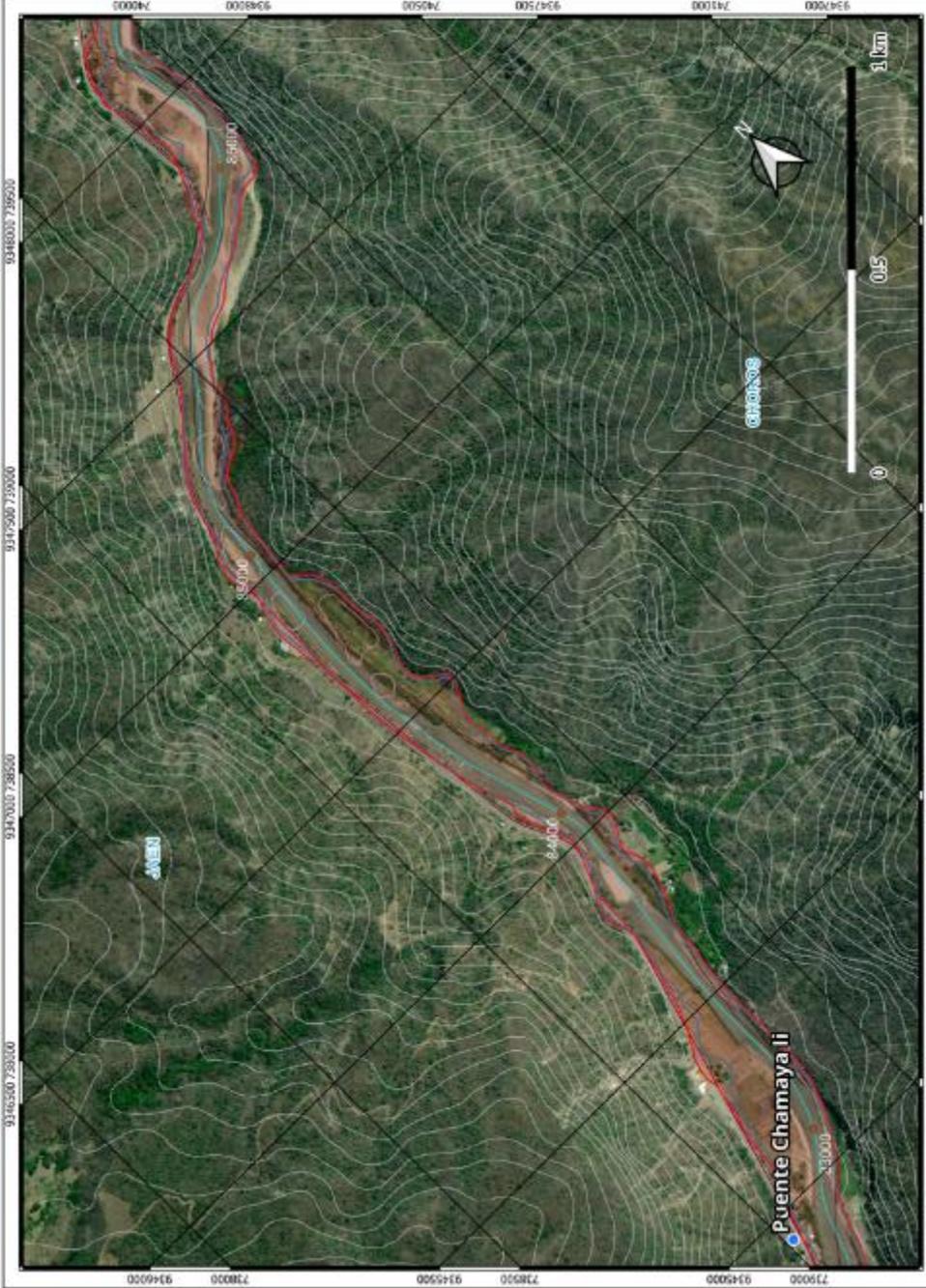
Elaborador por:  
 ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
 Sistema de Coordenadas UTM  
 Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA: 1:10000 PLANO PI **23**

**LEYENDA**

- | AREAS DE INUNDACIÓN | EJES DE INTERES      | POBLADOS       | LIMITES           |
|---------------------|----------------------|----------------|-------------------|
| Escenario 01        | Río Huancabamba      | Distrito       | Limite Distrital  |
| Escenario 02        | Red Vial Nacional    | Centro Poblado | Limite Provincial |
| Embalse Limón       | Secciones de Control |                | Curvas Nivel      |



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

**ESCALA:**  
1:10000

**PLANO**  
PT

**24**

**LEYENDA**

- | AREAS DE INUNDACIÓN | EJES DE INTERES      | POBLADOS       | LIMITES           |
|---------------------|----------------------|----------------|-------------------|
| Escenario 01        | Río Huancabamba      | Districto      | Limite Distrital  |
| Escenario 02        | Red Vial Nacional    | Centro Poblado | Limite Provincial |
| Embalse Limón       | Secciones de Control |                | Curvas Nivel      |



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

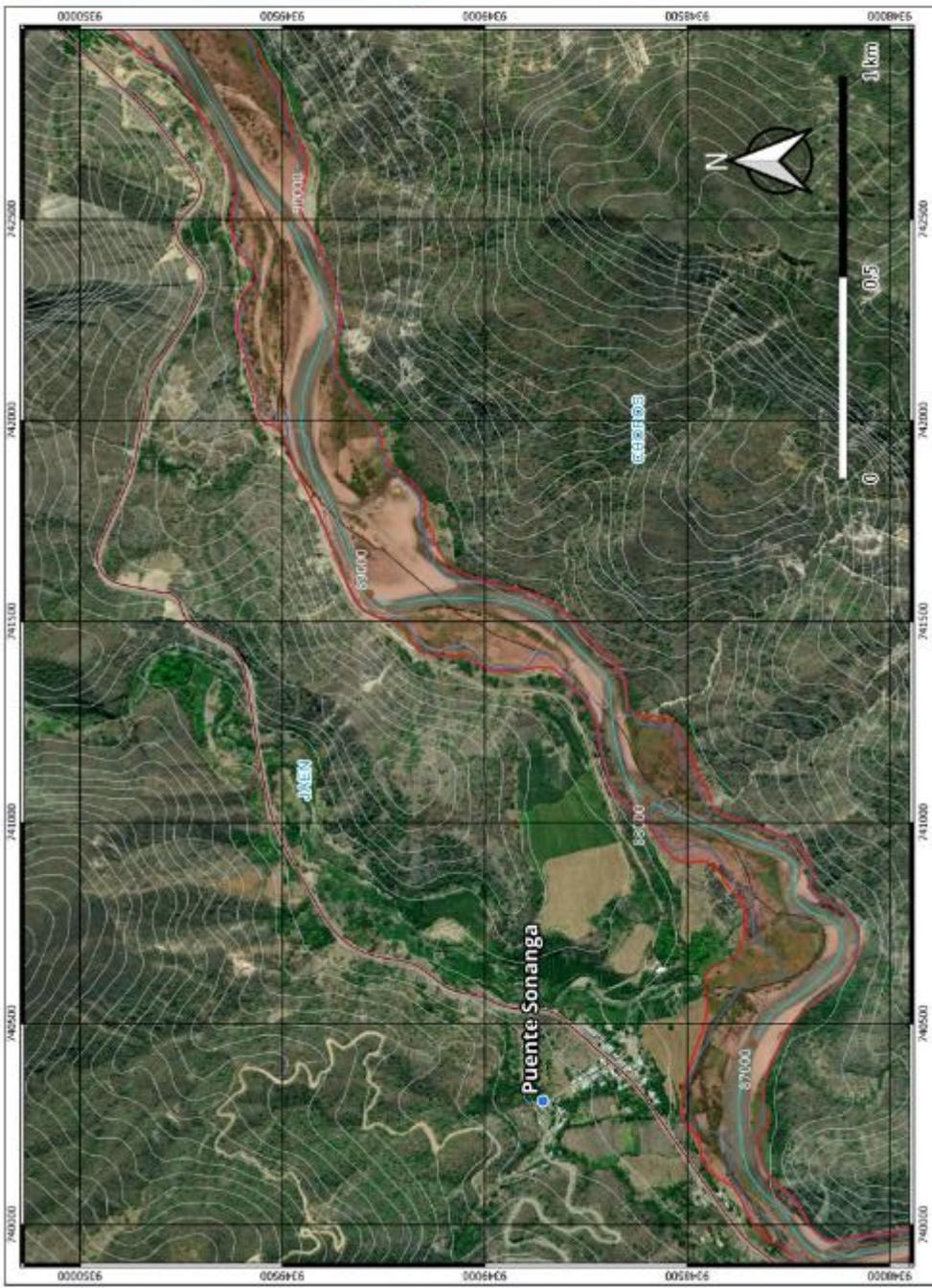
**MAPAS DE INUNDACION**  
 Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
 ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
 Sistema de Coordenadas UTM  
 Datum: WGS84 - Zona 17S

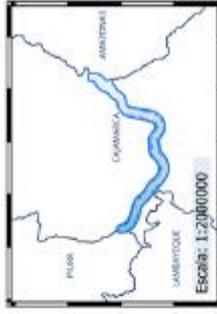
ESCALA:  
 1:10000

PLANO  
 PI **25**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Río Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embatee Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

**ESCALA:**  
1:10000

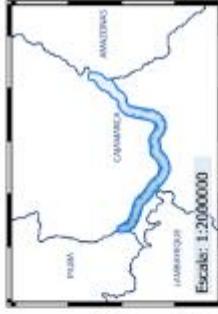
**PLANO**  
PI

**26**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Río Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

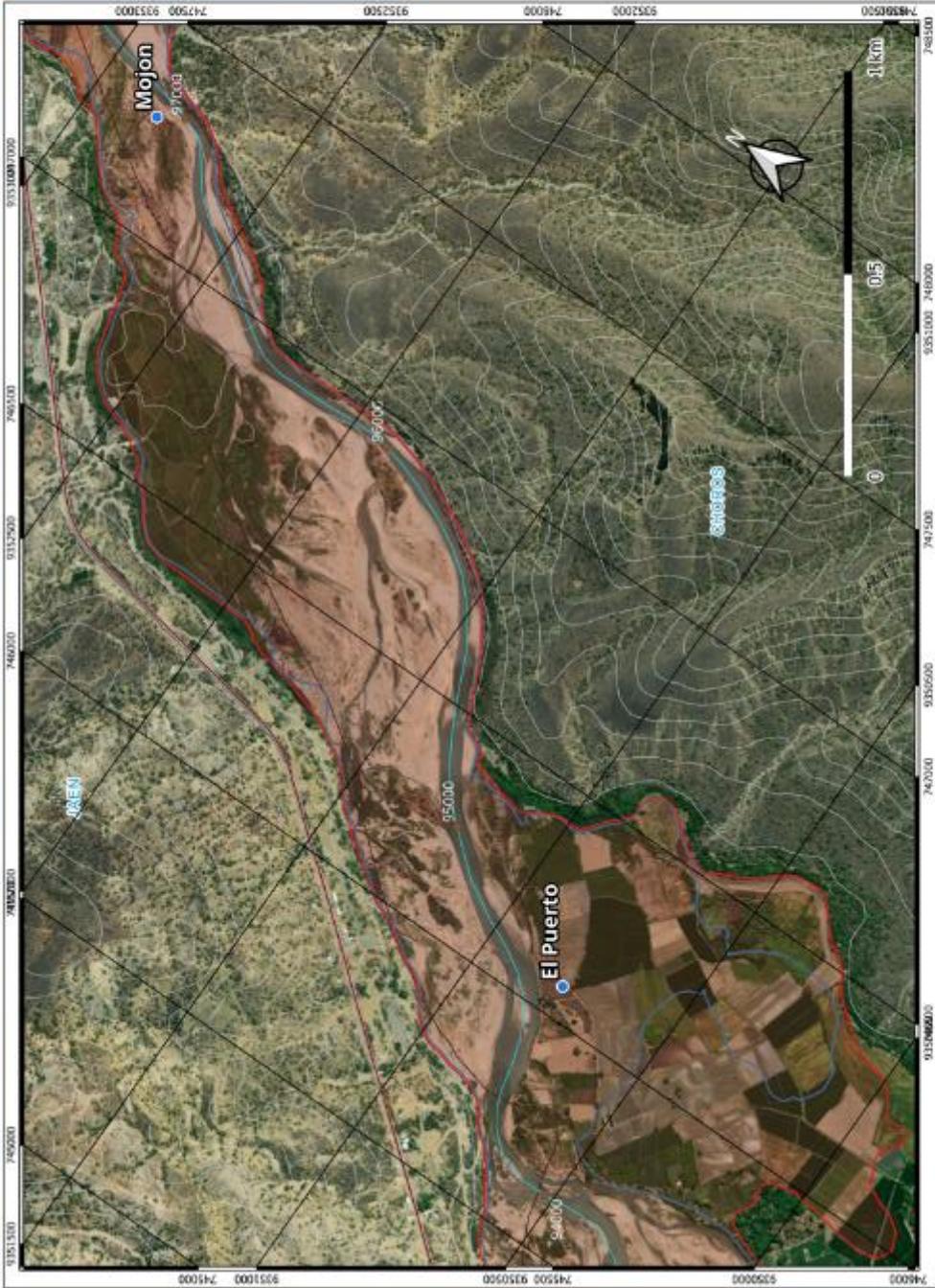
Elaborador por:  
ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
1:10000

**27**

PLANO  
PI



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACION	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
 Analisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

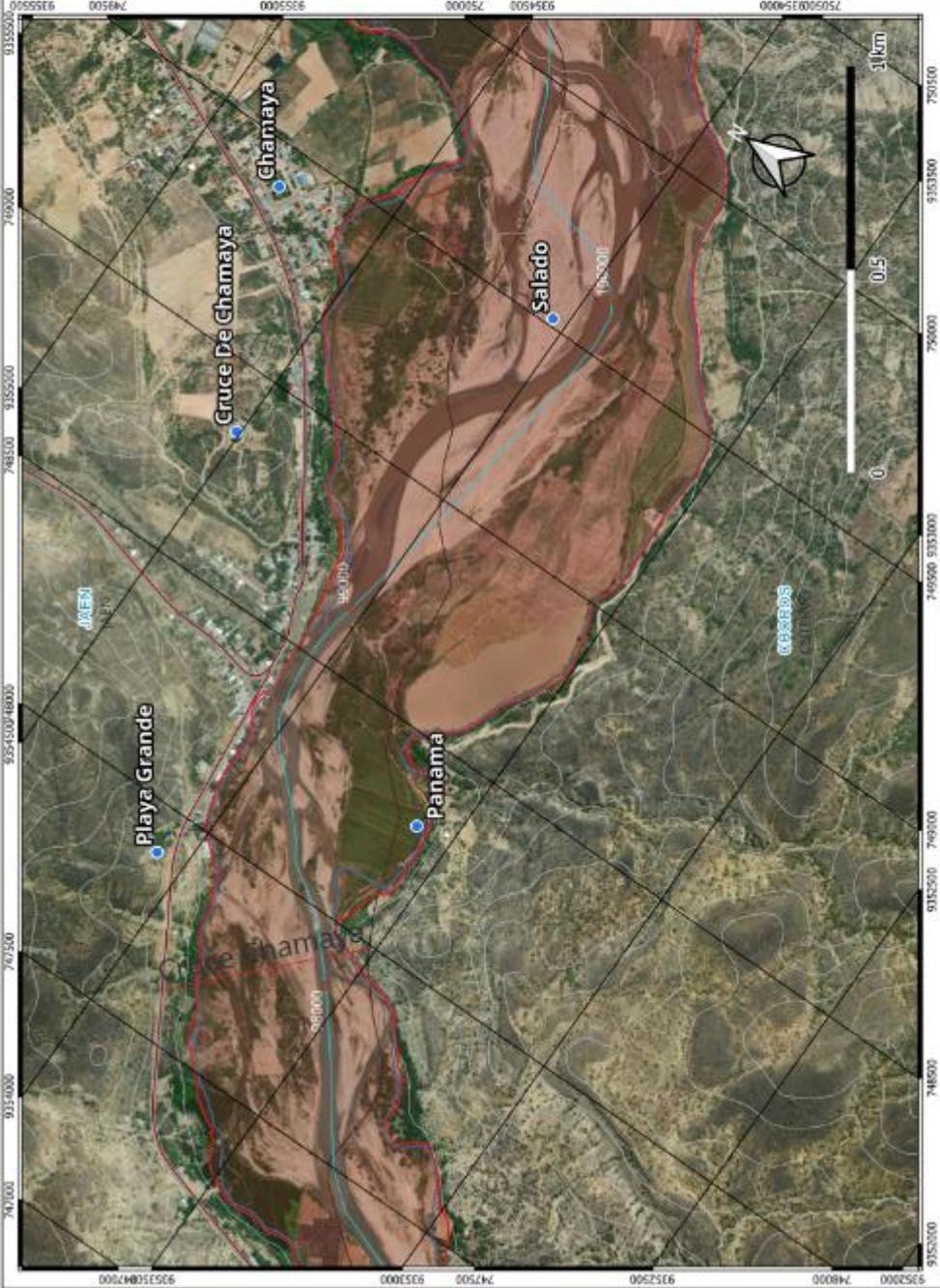
Elaborador por:  
 ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
 Sistema de Coordenadas UTM  
 Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
 1:10000

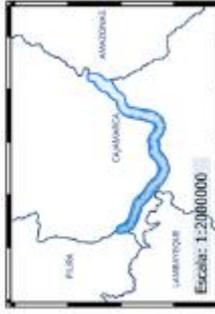
PLANO  
 PT

**28**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Esenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Esenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

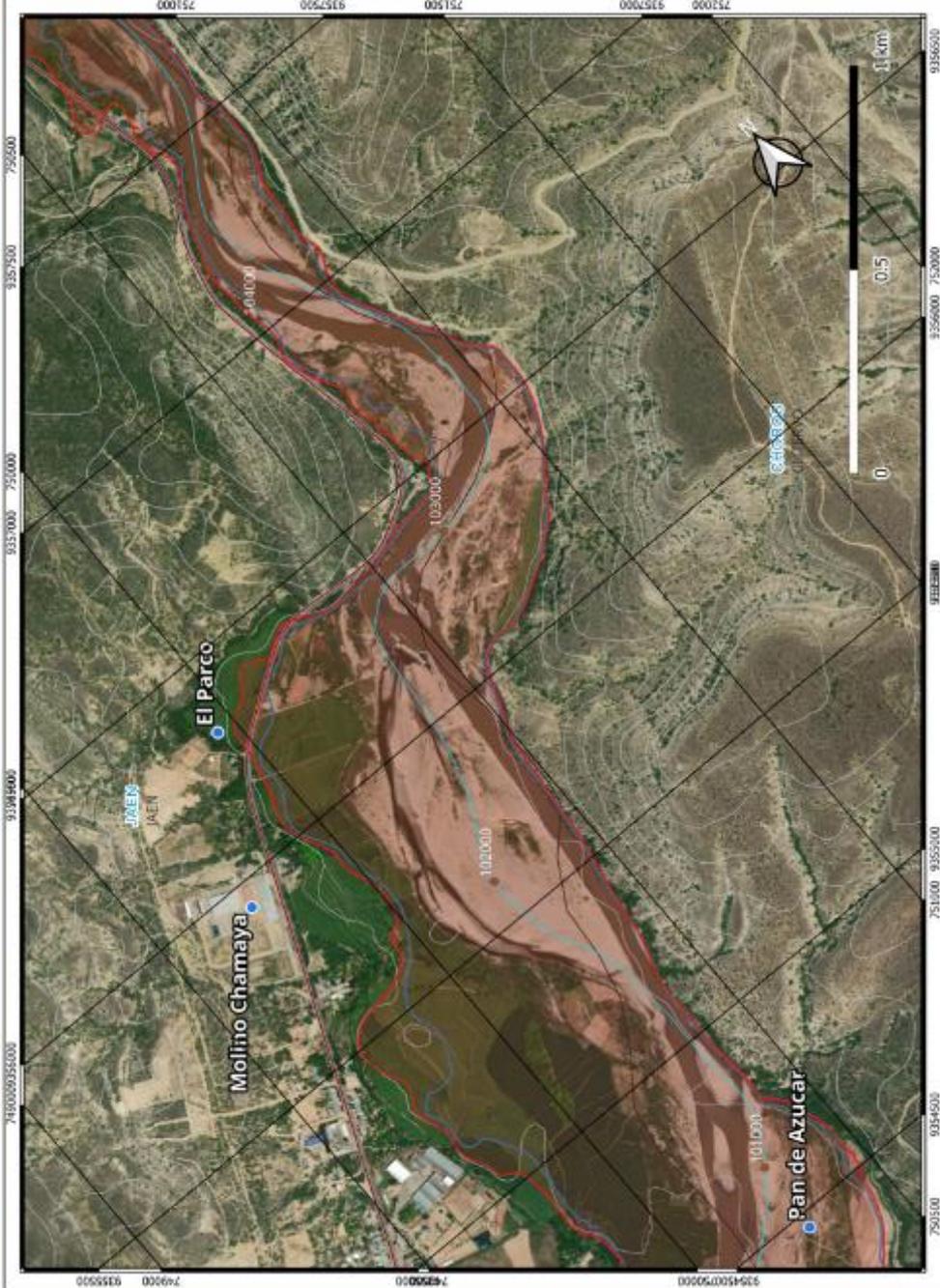
Elaborador por:  
ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
1:10000

PLANO  
PI

**29**



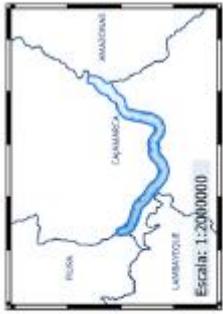
**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Río Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACION	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
 Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

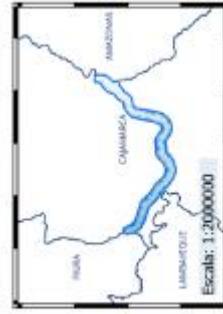
Elaborador por:  
 ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
 Sistema de Coordenadas UTM  
 Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA:  
 1:10000

PLANO  
 P1

**30**



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2022.

Elaborador por:  
ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA: 1:10000  
PLANO: **31**



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACION	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

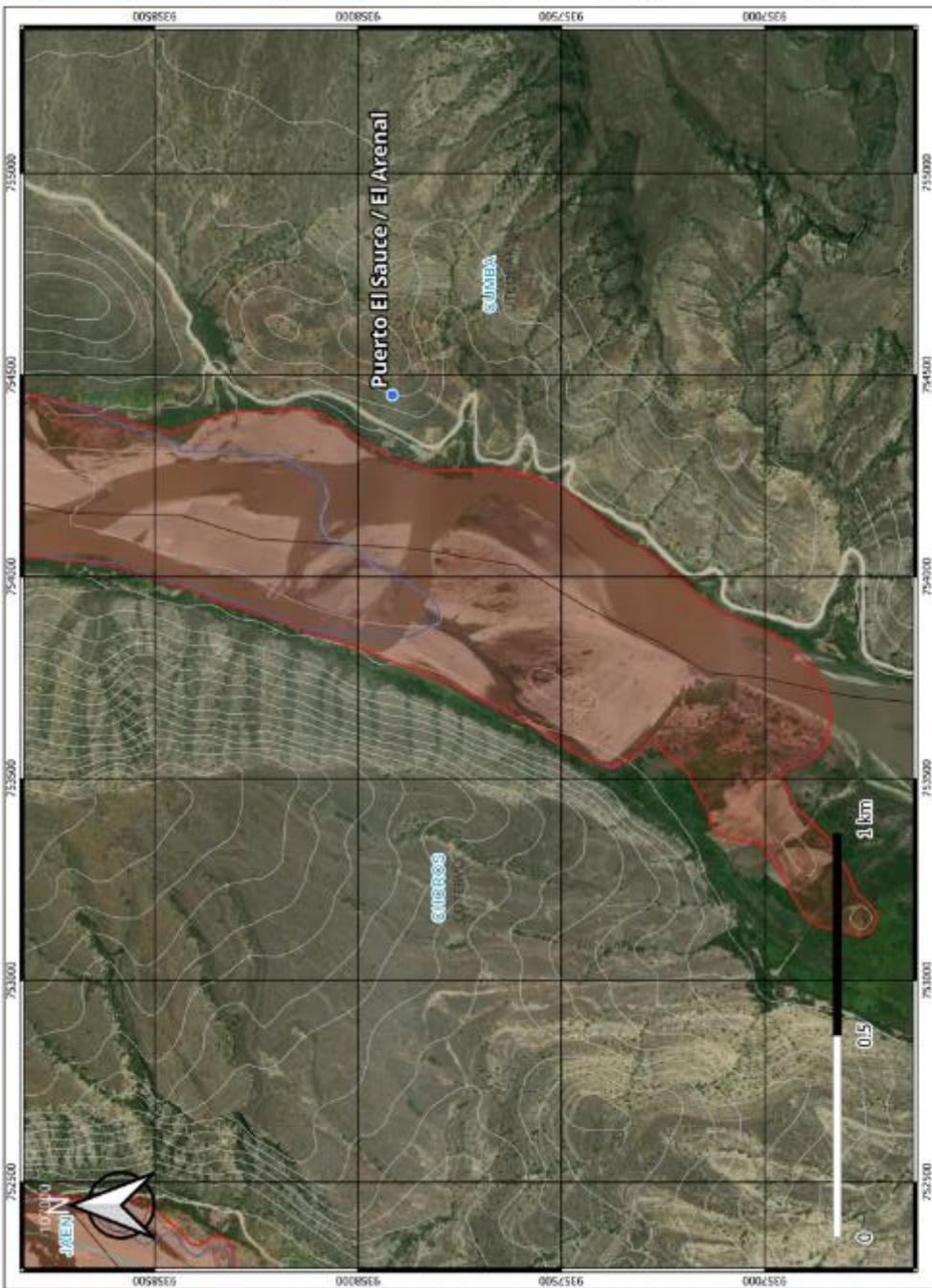
**MAPAS DE INUNDACIÓN**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
ELISER MEJIA HERRERA

MARCO DE REFERENCIA:  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

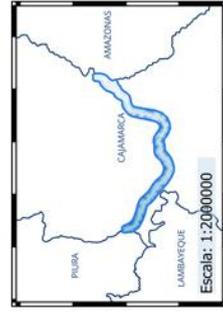
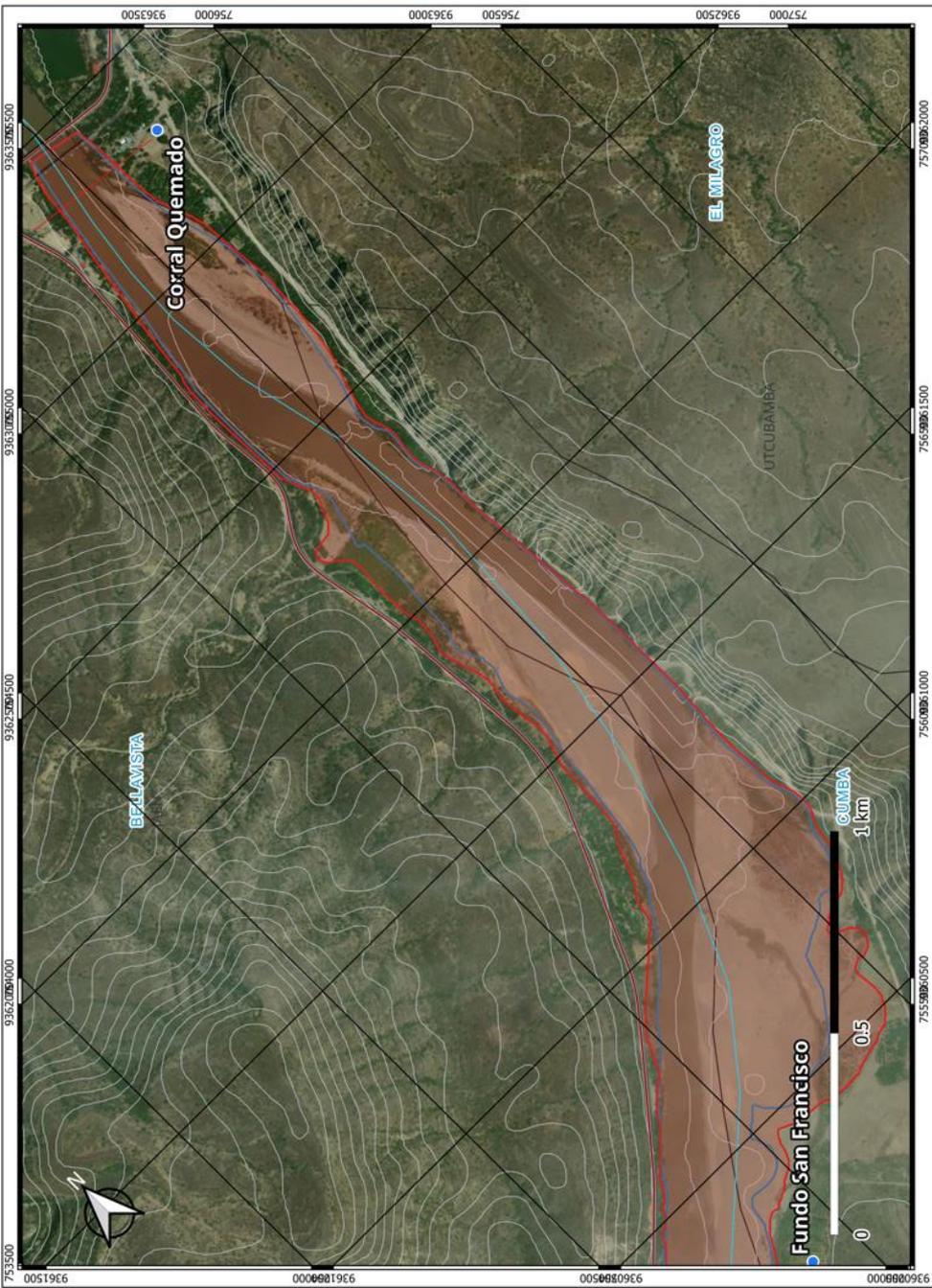
ESCALA:  
1:10000

PLANO  
PI31\_01



**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Rio Huancabamba	Distrito	Límite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Límite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel



Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**MAPAS DE INUNDACION**  
Análisis de rotura de presa para simular la propagación e impacto del flujo de descarga, Presa Limón, San Felipe 2023.

Elaborador por:  
**ELISER MEJIA HERRERA**

**MARCO DE REFERENCIA:**  
Sistema de Coordenadas UTM  
Datum: WGS84 - Zona 17S

ESCALA: 1:10000  
PLANO PI **32**

**LEYENDA**

AREAS DE INUNDACIÓN	EJES DE INTERES	POBLADOS	LIMITES
Escenario 01	Río Huancabamba	Distrito	Limite Distrital
Escenario 02	Red Vial Nacional	Centro Poblado	Limite Provincial
Embalse Limón	Secciones de Control		Curvas Nivel