

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Evaluación del análisis técnico-financiero del área inundable utilizando el modelamiento hidráulico en base al uso de imágenes satelitales frente al sistema fotogramétrico con RPA en la micro cuenca Cansas, provincia de Ica, 2020

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniería Civil

Autores:

Bach. José Aaron Quispe Iporra
Bach. Saily Margoth Santa Cruz Marín

Asesor:

Ing. Miguel Ángel Galarreta Chávez

Lima, abril de 2021

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DE TESIS


Ing. Miguel Ángel Galarreta Chávez, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“EVALUACIÓN DEL ANÁLISIS TÉCNICO-FINANCIERO DEL ÁREA INUNDABLE UTILIZANDO EL MODELAMIENTO HIDRÁULICO EN BASE AL USO DE IMÁGENES SATELITALES FRENTE AL SISTEMA FOTOGRAMÉTRICO CON RPA EN LA MICRO CUENCA CANSAS, PROVINCIA DE ICA, 2020”** constituye la memoria que presenta los Bachilleres José Aaron Quispe Iporra y Saidy Margoth Santa Cruz Marín para obtener el título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los quince días del mes de abril del 2021.


Ing. Miguel Ángel Galarreta Chávez

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los **15 días día(s)** del mes de **abril** del año 2021 siendo las **14:00 horas**, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: **Ing. Roberto Roland Yoctún Ríos**, el secretario: **Ing. David Díaz Garamendi** y los demás miembros: **Ing. Ferrer Canaza Rojas** y el asesor: **Ing. Miguel Ángel Galarreta Chávez**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Evaluación del análisis técnico -financiero del área inundable utilizando el modelamiento hidráulico en base al uso de imágenes satelitales frente al sistema fotogramétrico con RPA en la micro cuenca Cansas, provincia de Ica, 2020"

de los bachilleres:..... a).....**SAIDY MARGOTH SANTA CRUZ MARÍN**.....

.....b).....**JOSÉ AARÓN QUISPE IPORRA**.....

Conducente a la obtención del título profesional de.....

.....**INGENIERO CIVIL**.....

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando a los candidatos hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por las candidatas. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): **SAIDY MARGOTH SANTA CRUZ MARÍN**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
16	16	B	Con nominación Bueno	Muy Bueno

Candidato (b): **JOSÉ AARÓN QUISPE IPORRA**.....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
16	16	B	Con nominación Bueno	Muy Bueno

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó a los candidatos a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente
 Ing. Roberto
 Roland Yoctún
 Ríos



 Secretario
 Ing. David Díaz
 Garamendi

 Asesor
 Ing. Miguel Ángel
 Galarreta Chávez

 Miembro
 Ing. Ferrer Canaza
 Rojas

 Miembro

 Candidato/a (a)
 Saidy Margoth
 Santa Cruz Marín

 Candidato/a (b)
 José Aaron Quispe
 Iporra

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	7
ÍNDICE DE ANEXOS	8
RESUMEN	9
Capítulo I. El problema.....	10
1.1. Identificación del Problema	10
1.2. Objetivos de investigación	13
1.2.1. Objetivo general	13
1.2.2. Objetivos específicos	13
1.3. Hipótesis.....	14
1.3.1. Hipótesis general	14
1.3.2. Hipótesis específicas	14
1.4. Justificación de la investigación	15
1.5. Presuposición filosófica	16
Capítulo II. Marco teórico	17
2.1. Antecedentes	17
2.1.1. Antecedentes Internacionales.....	17
2.1.2. Antecedentes nacionales	20
2.2. Marco legal.....	20
2.2.1. Marco legal en el uso del sistema fotogramétrico con RPA.....	20
2.3. Bases teóricas y científicas.....	24
2.3.1. Inundaciones	24
2.3.2. Clasificación de Inundación.....	26
2.3.3. Modelización hidrológica	26
2.3.4. Modelos de flujo.....	34
2.3.4.1. MIKE SHE.....	34
2.3.4.2. HEC-HMS	35
2.3.4.3. TETIS	36
2.3.4.4. Modelos de transporte	38
2.3.5. Tiempo de concentración.....	38
2.3.6. Imágenes Satelitales	39
2.3.7. Bases de datos para Imágenes Satelitales	41
2.3.8. Tipos de softwares que permiten procesar imágenes satelitales	41
2.3.9. Sistema fotogramétrico con RPA.....	42
2.3.10. Fundamento de la fotogrametría	43
2.3.11. Aplicación de fotogrametría	43
2.3.12. Tipos de softwares que permiten el plan de vuelo	44
2.3.13. Tipos de softwares para procesamiento de Imágenes	45
2.3.14. Precisión del levantamiento	45
2.3.15. Modelamiento hidráulico.....	46
2.3.16. HEC-RAS	47
2.4. Definición de términos básicos	49
Capítulo III. Materiales y métodos.....	51
3.1. Datos Generales.....	51
3.1.1. Población	51
3.1.2. Muestra	52
3.1.3. Tipo de muestreo.....	52
3.2. Área de Estudio	52
3.2.1. Ubicación: Política, Geográfica e Hidrológica	53
3.2.2. Vías de acceso	54

3.2.3.	Clima	54
3.3.	Topografía del área de Estudio.....	54
3.3.1.	Topografía con Drone.....	55
3.3.2.	Topografía con Imágenes Satelitales	59
3.4.	Análisis de Máximas Avenidas	60
3.4.1.	Selección del método para determinación de máximas avenidas	60
3.5.	Modelamiento Hidráulico	63
3.5.1.	Metodología del modelamiento con HEC-RAS.....	66
Capítulo IV. Resultados y Discusión.....		74
4.1.	Análisis de Resultado.....	74
4.2.	Discusión de resultados.....	83
Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones		85
5.1.	Conclusiones	85
5.2.	Recomendaciones	86
Referencias.....		87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Clasificación de las inundaciones	25
Tabla 2 Coordenadas UTM - Puntos Geodésicos en Orden “C” ubicados en la zona	58
Tabla 3 Análisis de caudales máximos en 24 horas	61
Tabla 4 Caudales máximos de la distribución Gumbel. (en diferentes Periodos de Retorno)	62
Tabla 5 Caudal Instantáneo.....	62
Tabla 6 Valores del coeficiente de rugosidad para cauces naturales.	71
Tabla 7 Coeficientes de contracción y expansión para flujo subcrítico.	72
Tabla 8. Comparación de costos entre ambas herramientas	73
Tabla 9. Estimación de las pérdidas ocasionadas por la inundación (soles) con drone	76
Tabla 10. Estimación de las pérdidas ocasionadas por la inundación (soles) con satélite	76
Tabla 11. Niveles máximos de tirantes o calados con topografía de Drone.....	79
Tabla 12. Niveles máximos de tirantes o calados con topografía de Satélite	79
Tabla 13. Velocidades del flujo con topografía de Drone	80
Tabla 14. Velocidades del flujo con topografía de Satélite	80
Tabla 15. Número de Froude con topografía de Drone.....	80
Tabla 16. Número de Froude con topografía de Satélite.....	80
Tabla 17. <i>Comparación de Secciones Transversales para la Topografía con Drone y Satélite</i>	81
Tabla 18. Sección transversal 0+700 con data topográfica de Drone	81

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características de modelos de clasificación y tipología	28
Figura 2. Modelos de tipo agregado (A), semi distribuido (B) y distribuido (C)	29
Figura 3. Esquema de pasos según el proceso de desarrollo	30
Figura 4. Estructuración modular de modelos distribuidos (a) Mike-She (B) HBV.96.....	32
Figura 5. Esquema conceptual de tanques a nivel de celda a modelo TETIS	37
Figura 6. Los componentes de un sistema de Teledetección	40
Figura 7. Comparación Terra Aster vs. Landsat ETM	40
Figura 8. Banda espectral del sensor	41
Figura 9. Proceso de obtención de información.....	44
Figura 10. Delimitación de la micro cuenca Cansas	52
Figura 11. Ubicación hidrográfica de la Cuenca Ica	53
Figura 12. DJI GS PRO	55
Figura 13. Metashape Agisoft 1.5	56
Figura 14. Área de trabajo - Software ArcGis	57
Figura 15. Software Hec-Ras	58
Figura 16. Plataforma “Scihub Copernicus” para la obtención de imágenes satelitales	59
Figura 17. Delimitación del flujo	59
Figura 18. Metodologías para determinar el Caudal Máximo de diseño.....	60
Figura 19. Representación del balance de energía.	64
Figura 20. Enfoque de seccionamiento en HEC-RAS.....	65
Figura 21. Acondicionamiento de la geometría del Sector Chanchajalla con la topografía del Drone	67
Figura 22. Acondicionamiento de la geometría del Sector Chanchajalla con la topografía de satélite.	67
Figura 23. Simulación hidráulica con HEC RAS Qbda Cansas con data Topográfica de Drone.....	70
Figura 24. Simulación hidráulica con HEC RAS Qbda Cansas con data Topográfica de Satélite.....	70
Figura 25. Perfil de beneficiarios y costos en una unidad productora de servicio	75
Figura 26. Flujos incrementales de beneficios y costos sociales en la situación con proyecto	75
Figura 27. Progresiva comparativa entre Drone y Satélite	77
Figura 28. Intervalo de confianza para la altura de secciones transversales de drones y satélites.....	78
Figura 29. Sección Transversal 0+700 con data topográfica de Drone	81
Figura 30. Sección Transversal 0+700 con data topográfica de Satélite.....	81
Figura 31. Llanura de inundación para T=100 años Sector Chanchajalla Topografía con data de satélite.	82
Figura 32. Llanura de inundación para T=100 años Sector Chanchajalla Topografía con data de satélite. 83	83

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1. Licencia de Operador de RPA	94
ANEXO 2 Metodología para el desarrollo del modelamiento hidráulico en el uso de imágenes con RPA	95
ANEXO 3. Metodología para el desarrollo del modelamiento hidráulico en el uso de imágenes con satélites	96
ANEXO 4. Procedimiento metodológico para el desarrollo del modelamiento hidráulico	97
ANEXO 5. Plan de vuelo para el drone.....	98
ANEXO 6. Mapa de inundaciones con data de satélite.....	99
ANEXO 7 Mapa de inundación con data de drone	102
ANEXO 8 Perfil de flujo topografía con drones.....	105
ANEXO 9 Perfil de flujo topografía con imágenes satelitales	106
ANEXO 10 Perfil de velocidad topografía con drones	107
ANEXO 11 Perfil de velocidad topografía de Satélite.....	108
ANEXO 12 Numero de Froude topografía con drones	109
ANEXO 13 Numero de Froude topografía de satélite	110
ANEXO 14 Características Hidráulicas Topografía Con Drones	111
ANEXO 15 Características Hidráulicas Topografía De Satélite	118

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo “*Evaluar el análisis comparativo técnico-financiero del área inundable utilizando el modelamiento hidráulico en base al uso de imágenes satelitales frente al sistema fotogramétrico con RPA de la micro cuenca Cansas, provincia de ICA, 2020*”.

La metodología de investigación es cuantitativa, con una muestra 30 unidades de recorrido por todo el proceso del río. Se consideró un muestreo sistemático con diseño probabilístico. Entre los resultados se obtuvieron que existe una precisión en las distancias de los contornos del río, adicionalmente se ha analizado el simulador, donde se determinó que la Quebrada Cansas es delimitada por la faja terminal. El uso de topografía con drones da una aproximación exacta a la realidad del terreno, a su vez proporciona una ortofoto del terreno, gracias a la misma se puede llevar a su culminación los trabajos de logística en la zona. El modelamiento hidráulico usando la topografía con drones da resultados más cercanos a la realidad, estos resultados pueden medirse en campo, con secciones de control para la calibración del modelamiento hidráulico. El uso de topografía con satélite no es útil al momento de realizar un modelamiento hidráulico, ya que este solo presenta el relieve de la cuenca, mas no de la zona en estudio, lo que ocasiona que, al momento de realizar el modelamiento hidráulico, todo el terreno se inunde. Al realizar un estudio a nivel de proyecto de protección de ribera de río, la data topografía con drones proporcionará la información suficiente para poder llevar acabo el modelamiento hidráulico y los trabajos en gabinete para el diseño de estructuras de protección y movimiento de tierras.

Se recomienda el uso de topografía con drones en la realidad del terreno, donde la ortofoto del terreno, a través la cual se pueden realizar los trabajos de logística en la zona, donde el modelamiento hidráulico y la topografía con drones da resultados cercanos a la realidad, estos resultados se pueden medir en campo, con secciones de control para la calibración del modelamiento hidráulico.

Palabras clave: Análisis, técnico-financiero, área inundable, fotogramétrico, RPA, micro cuenca, Cansas.

Capítulo I. El problema

1.1. Identificación del Problema

A nivel Internacional, de acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU, 2018) dice que el cambio climático ha reducido las reservas de agua, teniendo en consecuencia que alrededor del 40% de la población sufra de escasez (es decir que, en el 2030, tres de cada diez personas tendrían insuficiencia de agua potable segura).

Por este motivo, el cambio climático ha creado una mayor demanda del líquido, con problemas asociados a: cortes de suministros, falta de agua potable, escases de alimentos y la degradación de suelo. Sin embargo, uno de los problemas del cambio climático, es el deshielo de los polos, lo cual provoca la formación de lluvias torrenciales, haciendo que áreas que tradicionalmente estaban libres, se formen avalanchas no habituales. Por ello, la cantidad de inundaciones relacionadas al agua representan el 70% de muertes tanto de animales como de personas (desastres naturales).

También, la existencia de estudios sugiere que el cambio climático afecte el ciclo hidrológico, con las existencias de crecidas, donde pueden alterar la presencia del mismo, en ese sentido, el incremento o decremento se encuentra en función a la lluvia o inundación que exista. Por este motivo, la mitigación a este problema, se desarrolla a través de una planificación, donde se establece un manejo de riesgo de acuerdo a los mapas de inundaciones que se crean y tanto en periodos de retorno como en épocas de escases.

Si bien, la delimitación y la aplicación se desarrolla de forma sustentable, la función a opciones se encuentra en la reducción de la vulnerabilidad; tanto en la recuperación de la clasificación de acciones tales como diques, reservorios, trasvases, la cual se rige bajo ordenanzas, códigos de construcción, reubicación de actividades humanas, entre otros.

Según el Informe Mundial de las Naciones Unidas para el desarrollo hídrico (ONU, 2019), y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación (UNESCO, 2019) mencionan que más del 80% de las fincas en el mundo constituyen el suministro de alimentos, en ese sentido la mitad de la producción agrícola, se basa en la población rural, situación donde las probabilidades de inseguridad alimentaria son altas y la falta de infraestructura de agua no garantiza el saneamiento de cobertura.

En ese sentido, se ha visto que existen diferentes formas de crear una planificación ante dichos eventos. Estas soluciones son a través del modelamiento hidráulico, la cual permite crear una serie de escenarios que permitan controlar mejor el recurso hídrico escaso y usarlo en beneficio de una población específica.

El uso de tecnologías, reduce las probabilidades de muertes, mejora la calidad de vida y permite administrar el recurso escaso, teniendo en consecuencia el beneficio que pueda tener una población es directa.

A nivel regional, conforme con el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2017) menciona que en algunos casos los eventos de inundaciones asociadas a ocurrencias de fenómenos naturales, ha caracterizado en países caribeños, la falta de una gestión de riesgos que se encuentran asociadas a una mala planificación, por ello, los sistemas de gestión deben encontrarse interconectados, con el fin de prevenir desastres naturales.

Se puede referir que García *et al.* (2013) donde considera que las inundaciones son los eventos naturales que han causado más pérdidas de vidas humanas e incalculables daños materiales, económicos y ambientales a nivel mundial.

Aunque estos fenómenos, obedecen principalmente a la dinámica propia de los cauces o redes hídricas en el recorrido, es el crecimiento urbano, la tala de bosques y el aprovechamiento acelerado de los recursos mineros, entre otros, quienes han modificado la dinámica hídrica alterando simultáneamente las condiciones del medio natural de las cuencas hídricas.

Por otro lado, las inundaciones se pueden caracterizar según su causa, duración, área de afectación o extensión del daño, caudal medio, máximo, daños causados, tipo de material de arrastre, pendiente del área, cubierta vegetal, elementos expuestos, periodicidad de ocurrencia, fecha, entre otros. Así mismo, se puede distinguir dos enfoques comunes en la definición de inundaciones: aquella generada por la cuenca con determinadas condiciones de esorrentía, ante una tormenta previamente definida; y dos, aquella que tiene una determinada probabilidad de no ser superada, es decir, la que se presenta en un periodo de retorno en años específicos o determinados periodos de tiempo (Polo, 1993)

A nivel nacional, el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI, 2006) menciona que el Perú al encontrarse en el cinturón del fuego del océano pacífico, presenta una serie de problemas debido a la corriente peruana, ya que a la proximidad de la línea ecuatorial y por la influencia de la Amazonía, la topografía es accidentada, tratándose de una cordillera con una geomorfología diversa, presentando una longitud expuesta a peligros, como sismos, deslizamientos, derrumbes,

erosiones e inundaciones. Este tipo de problemas están determinadas por los cambios climáticos. Si bien, la complejidad de la naturaleza se da por los criterios de prevención que cada individuo puede tenerla.

Por otro lado, según Senamhi (2020) define como un evento relacionado con el calentamiento del Pacífico oriental ecuatorial, donde se manifiesta en un periodo de tiempo, donde existe un patrón de acciones que se encuentran afectados principalmente por el sureste asiático y Australia. Si bien, este fenómeno se repite cada periodo, el evento trae consigo una serie de problemas en las riveras de los ríos, haciendo que cada quebrada se llene de agua con materiales que se encuentren alrededor donde se encuentre.

Sin embargo, el Ministerio de Agricultura, alimentación y Medio Ambiente (MINANG, 2019) continuando con las nociones de esta directiva, impulsó el “Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables” (SNCZI, 2019), un instrumento de soporte a la gestión del área fluvial, la prevención de riesgos, la planificación del territorio y la transparencia administrativa; y que compila los trabajos sobre inundaciones realizados hasta la fecha y los que se tienen planificados elaborar, e instaura una aplicación que hace accesible su consulta y gestión a través de Internet. La escala de trabajo que fue escogida es 1:5.000 y un plazo temporal de tres años (Yagüe, 2007). El eje central del SNCZI es el visor cartográfico de áreas propensas a ser inundadas, una aplicación informática que hace posible a los usuarios visualizar, sobre mapas catastrales y fotografías aéreas, entre otras opciones, los estudios de delimitación del Dominio Público Hidráulico (DPH) y los mapas que muestran las zonas con riesgos de inundaciones de todo el territorio nacional.

Acerca de los progresos en los estudios del riesgo de inundación mediante Sistemas de Información Geográfica, la mayor parte de las innovaciones en el análisis de las zonas con riesgo de inundación que se han dado en los últimos quince años en el Perú han tenido como actores a los Sistemas de Información Geográfica. Resultan ser progresos relevantes tanto en la disponibilidad de los datos de inicio en el análisis hidrológico de avenidas, como en la modelización cada vez más perfecta de la superficie terrestre mediante “Modelos Digitales de Elevaciones” (MDE) conseguidos a través de sensores LIDAR y orto fotografía de alta resolución procedentes de “Plan Nacional de Orto fotografía Aérea” (PNOA). Es, también, de notable significancia el impulso dado por la Directiva INSPIRE (2007) y su transposición a la legislación española mediante la Ley LISIGE (2010) con la creación de las “Infraestructuras de Datos Espaciales” (IDE) que dan libertad de acceso a esta información de manera inmediata y gratuita a través de servidores OGC y servicios web (WMS, WFS, CSW, WCS, OLS, WTS o W3DS).

Ante los eventos ocurridos en el verano del 2017, el Perú fue sufrió los estragos ocasionados por el Fenómeno El Niño Costero, situación climática originada a raíz de un extraño calentamiento del mar debido al debilitamiento de las corrientes de aire frías, las cuales ocurren de sur a norte de la costa del Perú, ocasionando movimiento de masas (huaicos, derrumbes y deslizamientos) de gran intensidad, dañando infraestructuras del orden público y como privado establecidas en las cercanías de los cauces o zonas inmediatas superiores a las riberas riverañas.

Las actividades y obras de prevención deben estar orientadas a aminorar el riesgo ante inundaciones pluviales (aquellas originadas por lluvias extremas), inundaciones fluviales (las que son causadas por desbordes de ríos) y movimiento de masas (ocasionadas principalmente por activaciones de quebradas).

La quebrada de Cansas se encuentra localizada en la margen izquierdo del valle de Ica, al lado este del río Ica, a 4.5 km de la ciudad del mismo nombre y cuenta con un área de 176 km² (INRENA 1996). En el tramo comprendido entre la desembocadura con el río Ica (denominado sector Chanchajalla) hasta unos 16.10 km aguas arriba de la quebrada, en varias oportunidades se han presentado eventos extremos (huaicos) ha ocasionado daños en diversas infraestructuras públicas y privadas que se han instalado dentro del área de influencia de la quebrada Cansas, dejando a la quebrada un estrecho cauce artificial (efectuado por el Gobierno Regional de Ica en el año 2009) a fin de que las posibles descargas que se presenten en épocas de eventos climáticos, sean evacuadas por ese encauzamiento artificial de unos 4.5km hacia el río Ica.

En ese sentido, es necesario establece las dimensiones reales de la faja marginal de la quebrada Cansas, que permita definir las zonas que han sido ocupadas y garantizar a futuro mediante un planeamiento hidráulico adecuado la conservación, protección de la población y conocer la intangibilidad de áreas de dominio público hidráulico.

1.2. Objetivos de investigación

1.2.1. Objetivo general

Evaluación del análisis comparativo técnico-financiero del área inundable utilizando el modelamiento hidráulico en base al uso de imágenes satelitales frente al sistema fotogramétrico con RPA de la micro cuenca Cansas, provincia de ICA, 2020.

1.2.2. Objetivos específicos

- Determinar la topografía del área de estudio a través del uso de imágenes satelitales y sistema fotogramétrico con RPA en un tramo de 2.7 km de la micro cuenca Cansas, provincia de Ica, 2020.

- Realizar el modelamiento hidráulico para la fase de retorno de 50 a 100 años basado en la topografía de imágenes satelitales y sistema fotogramétrico con RPA en un tramo de 2.7 km de la micro cuenca Cansas, provincia de Ica, 2020.
- Determinar las áreas afectadas por cada tipo de modelamiento hidráulico según la topografía en base a imágenes satelitales frente al sistema fotogramétrico con RPA de la micro cuenca Cansas, provincia de Ica, 2020.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

- Ho. Según la evaluación realizada al análisis comparativo técnico-financiero del área inundable no existe diferencia al usar el modelamiento hidráulico en base al uso de imágenes satelitales y el sistema fotogramétrico con RPA en la micro cuenca Cansas, provincia de Ica, 2020.
- Ha. Según la evaluación realizada al análisis comparativo técnico-financiero del área inundable existe diferencia al usar el modelamiento hidráulico en base al uso de imágenes satelitales y el sistema fotogramétrico con RPA en la micro cuenca Cansas, provincia de Ica, 2020.

1.3.2. Hipótesis específicas

Hipótesis específica 1

- Ho. No existe diferencia entre la topografía del área de estudio a través del uso de imágenes satelitales y el sistema fotogramétrico con RPA en un tramo de 2.7 km de la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.
- Ha. Existe diferencia en la topografía del área de estudio a través del uso de imágenes satelitales y el sistema fotogramétrico con RPA en un tramo de 2.7 km de la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.

Hipótesis específica 2

- Ho. No existe diferencia entre el modelamiento hidráulico basado en la topografía de imágenes satelitales y sistema fotogramétrico con RPA para un periodo de retorno de 50 a 100 años, en un tramo de 2.7 km de la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.
- Ha. Existe diferencia entre el modelamiento hidráulico basado en la topografía de imágenes satelitales y sistema fotogramétrico con RPA para un periodo de retorno de 50 a 100 años, en un tramo de 2.7 km de la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.

1.6.3. Hipótesis específica 3

- Ho. No existe diferencia significativa entre la comparación de áreas afectadas por cada tipo de simulaciones según topografía en base a imágenes satelitales frente al sistema fotogramétrico en la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.
- Ha. Existe diferencia significativa entre la comparación de áreas afectadas por cada tipo de simulaciones según topografía en base a imágenes satelitales frente al sistema fotogramétrico en la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.

1.4. Justificación de la investigación

De acuerdo con el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED, 2019) se ha presentado una serie de inundaciones, las cuales han afectado algunas haciendas coloniales de la Tinguña, donde las amenazas son debido a la peligrosidad de los huaycos, la cual traen como consecuencia la interrupción del canal de achirana. Si bien, los cálculos en las inundaciones se encuentran básicamente en la destrucción de los campos de cultivos, además de las viviendas, desde hace 82 años de historia, las frecuencias de huaycos en cansas se han registrado de dos a tres años, llegando hasta la zona de Parcona, Santa Rosa y los Romanes, por este motivo es importante realizar una planificación en el desarrollo de la zona inundable con la finalidad de encontrar un nivel intermedio para la solución de este problema.

Partiendo desde el marco teórico, la investigación toma forma debido a la aplicación y comparación de dos herramientas tecnológicas, las cuales son insumos para el modelamiento hidráulico, permiten mejorar sus procesos de implementación, ya que esta planificación permite que la aplicación del recurso hídrico pueda encausarse en la inundación de terrenos agrícolas, de esta manera, los cálculos de las distancias pueden mejorar o empeorar la precisión hidráulica (diques naturales).

Desde el punto de vista práctico, la tecnología ha permitido realizar modelamientos matemáticos, la cual ha tenido mayor impacto en la información topográfica, donde la utilidad se encuentra por la alta resolución en el modelamiento de hidrodinámicas y una limitación en el uso correcto del modelamiento (Burgos, 2012).

Desde el año 2003 la Dirección Regional de Agricultura de Ica, por medio del programa de Encausamiento de Ríos y Protección de Estructuras de Captación (PERPEC), viene construyendo diques enrocados escalonados con la finalidad de aminorar la energía de los huaicos que discurren constantemente por la quebrada Cansas durante los meses de verano y disminuir la velocidad de

escurrimiento y caudal neto instantáneo de los huaicos. Por el crecimiento de la Tinguña y Chanchajalla, el encauzamiento de un ancho aproximado de 20 a 25 metros debe soportar los caudales extremos de lo que se logre captar aguas arriba de la quebrada, pero la población, sin tener previsión de que es un cauce artificial sea basado en ese ancho de cauce y ha invadido o posesionado de las áreas alternadas en ese cauce artificial. Con la finalidad de definir la zona intangible de la quebrada Cansas el año 2017 se logró delimitar la quebrada en base a huellas máximas de avenidas, sin embargo, en la actualidad con el continuo crecimiento poblacional es preciso determinar las zonas de riesgo con mayor exactitud.

Según lo señalado con antelación, los beneficiarios son los pobladores del distrito de la Tinguña, ya que el proyecto mejora los niveles de abastecimiento e irrigación de agua a la población, teniendo como principal objetivo evitar los huaycos que se originan debido al desborde del río. El huayco ocasiona pérdidas económicas que no pueden ser calculadas, tales como la destrucción de casas y las cosechas. Desde el punto de vista social, la pérdida de vidas humanas significa problemas en la reducción de la población. Según una perspectiva ambiental, el huayco puede significar un impacto en el ecosistema, ya que destruye a la flora y fauna que se halla alrededor.

Los altos niveles de precisión, pueden depender de las coordenadas en que cada elemento sea analizado. El punto cartográfico (imágenes) estudia errores sistemáticos debido a que estos pueden ser aleatorios, dependiendo de la precisión del profesional a cargo. Por este motivo, las imágenes (insumo) tienen un alto nivel de apoyo en el modelamiento, debido a que permite mejorar la precisión en el nivel de inundación.

1.5. Presuposición filosófica

Dios es el principal gestor en la restauración del mundo a su estado perfección original; ergo, tenemos una responsabilidad moral que llevar a cabo haciendo lo posible para mejorar la sociedad. Lo que se debe cuidar y no olvidar que la tierra en la que vivimos inculcando valores no solo culturales, sociales si no también ambientales. En ese sentido, los recursos naturales, se encuentran a disposición hasta el punto de ser infértil e inútil para la plantación de cultivos. El proceso de aprendizaje parte desde la niñez, pero nunca es tarde para seguir aprendiendo, para mejorar actitudes y sentirnos identificados a través del uso responsable de los recursos, tratando de minimizar la contaminación de los mismos y evitando el consumismo descontrolado; Dios quiere que el ser humano viva en un ambiente óptimo, saludable y productivo. En ese sentido, se requiere que todos investiguemos, para que Dios nos brinde el camino de la esperanza. De esta manera, hemos encontrado una serie de alternativas en las cuales, el humano puede optar por el uso de herramientas tecnológicas para mejorar su calidad de vida.

Capítulo II. Marco teórico

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Internacionales

Según (Claros, 2018) con la investigación acerca de la Aplicación de la fotogrametría aérea en levantamiento topografía mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados, de la Universidad de El Salvador, para optar el grado de Ingeniero Civil, ha tenido como modernización, diferentes técnicas topográficas donde el avance tecnológico, ha permitido optimizar procesos (tiempos, costos, y precisión). Si bien, la adaptación de nuevos equipos como métodos de medición, han permitido que los sistemas de posicionamiento satelital, referencien la toma de información de campo, la precisión en la información recolectada crea planos con determinadas zonas geográficas, con necesidades específicas de cada proyecto. En ese sentido, la aplicación de tecnología como los drones, han permitido encontrar una aplicación directa en la comprensión del levantamiento de datos topográfica en el terreno de estudio. En sus conclusiones, pudo sustentar que las informaciones adquiridas en los programas han creado una planificación de proyectos tanto en su resultado digital como en la fotointerpretación. Algunos sistemas de información geográfica llamadas SIG o GIS, han permitido plantear mejor la autenticación de los puntos de referencia, como es el caso de los GPS, la cual mejora la precisión del proyecto.

Podemos también mencionar el estudio realizado por (Soria, 2014) titulado Metodología para la ejecución y control de calidad para ortofotos, mediante combinación de sensor digital con LIDAR en zonas rurales, para optar el grado de Doctor en la Universidad Politécnica de Madrid, ha tenido como utilidad, la cámara fotogramétrica digital, la cual se encuentra en calidad de radiométrica, en relación a la señal / ruido, con 12 bits, de resolución radiométrica por cada pixel. Tanto el uso de esta tecnología, permite el ahorro en tiempo y costos, ya que elimina muchas fases de revelado, así como el escaneado de una película y el aumento en horas de cada vuelo. Si bien, el sistema laser, aerotransportado (LIDAR) es un sistema que eleva el rendimiento en el posicionamiento global (GPS), la orientación IMU, permite reducir el apoyo en campo hacia la orientación de los datos efemérides de los satélites. Las combinaciones de ambas tecnologías permiten generar ortofotos, analizando la precisión en el Plan Nacional de orto fotografía aérea.

Asimismo, en la investigación realizada por (Pérez, 2008), respecto al análisis de los fallos de los modelos digitales de elevación conseguidos a través de cuatro métodos de interpolación, del Instituto Geografía UNAM, tiene como evaluación el análisis de los errores, en los modelamientos digitales de elevación, dados por diferentes métodos de interpolación, (ARC, INFO, IDRISIL, NEW, MIEL, ILWIS), la cual tiene por finalidad, de representar un relieve con mayor precisión. Esta evaluación,

sirve de método de interpolación, haciendo que la superficie terrestre sea más efectiva, debido a la morfología del terreno. Estas curvas de nivel, permiten que la cantidad de errores generados en el MDE, sean en base a 50 m en áreas montañosas, y en zonas normales en 30 metros. Si bien, el error cuadrático es de 7.3 metros, con el software AR/INFO, y MIEL o ILWIS; permiten tener errores con 10 metros.

A su vez podemos mencionar el estudio de (Domingos, Escartin, & Jimenéz, 2014) titulado “Modelo digital de elevaciones de una zona urbana para la simulación hidrológica”, donde se busca mejorar el procedimiento y resultados en la construcción de un modelamiento digital con elevaciones, en la cual corresponde al barrio de Marzal, teniendo como alcance fuentes y escalas donde se cumplen requisitos en el modelamiento de simulación. El estudio de topografía permitió trabajar con una escala topográfica de 1:25000 en el sector, y con una imagen satelital en el ámbito de la geomática.

Cabe resaltar que (Cango, 2017) menciona en su investigación titulada acerca de la evaluación de modelos digitales de elevación usando LIDAR e imágenes satelitales, en la Universidad técnica particular de Loja, donde estos modelos son necesarios para desarrollar proyectos con la administración de los recursos naturales. La alta resolución de los MDE, es limitada debido a los diferentes datos satelitales, lo cual el modelo de producción similar, es específicamente con el Sensor LIDAR. Los parámetros de evaluación, se encuentran en características morfológicas en la cuenca de san Francisco, ubicado al sur de Ecuador, en la provincia de Loja y Zamora. Estas características se derivan atributos con redes de drenaje. La geometría fractal, permite que el análisis multi fractal Sandbox una mejor calidad en las redes y mejor resolución espacial.

También podemos mencionar el estudio realizado por (Lluén, 2015) con el título “Aplicación de la nueva herramienta HEC-RAS 5.0 para cálculos bidimensionales del flujo de agua en ríos”, donde se tuvo como objetivo determinar la aplicación de modelos para el comportamiento de un flujo de agua, lo cual se convierte en una herramienta debido a que existe la necesidad de pronosticar fenómenos naturales para anticipar ciertas medidas de prevención y corrección del área de influencia al paso del agua. Los modelos sustentan su aplicación en que el flujo imitado sea unidimensional (1D), solo se toma en cuenta el componente de la velocidad en la dirección del flujo.

Los modelos con la capacidad de procesamiento de los ordenadores, hacen posible acomodarse a un esbozo en dos dimensiones (2D), donde prevalecen las dimensiones horizontales sobre la vertical, y de ese modo, se conoce con una óptima exactitud las variables hidráulicas cuantificables (calado, velocidad, caudal) sobre el llano de influencia al paso del agua. HEC-RAS es una herramienta que ha ido mejorando y que actualmente, en su versión 5.0 (versión beta), tiene con una extensión que hace posible representar el flujo de agua adoptando modelos 1D/2D, así como enteramente 2D. Su

aplicación se fundamenta en las ecuaciones de Onda Difusiva y Sant Venant (a criterio del usuario), las cuales solucionan a través del algoritmo de Volúmenes Finitos Implícitos.

De la misma manera (Ochoa, Reyna & García, 2018) con el título de Investigación “Modelación Hidrodinámica Unidimensional Y Bidimensional Del Tramo Medio Del Río Ctalamochita, Provincia De Córdoba”, menciona que la modelación hidráulica de ríos es una herramienta para áreas inundables en épocas de crecidas. La modelización hidrodinámica en dimensiones espaciales (1D, 2D y 3D), pueden manejar las hipótesis necesarias para la prevención de catástrofes y la toma de decisiones ingenieriles acertadas en caso de que las zonas de riesgo por avenidas en el flujo de un cauce natural se llegasen a inundar. Todo esto por medio del modelo hidrodinámico unidimensional HEC-RAS (Cuerpo de Ingenieros Civiles de la Armada Norteamericana) y el modelo hidrodinámico bidimensional IBER (Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente del Gobierno de España).

El sistema fluvial del río Tercero (Ctalamochita) es uno de los más importantes cursos de agua que pertenece de la red hidrográfica del río Carcarañá en la Provincia de Córdoba que al mismo tiempo es uno de los principales afluentes del río Paraná en la Provincia de Santa Fe. La cuenca del río Tercero está regulada por una red de embalses que abastece a las poblaciones aledañas con agua potable, con una importante generación hidroeléctrica (Complejo Río Grande y Sistema Río Tercero) y que presenta una importante zona turística en la Provincia de Córdoba. La morfología que se encuentra en el río Tercero en su paso por la cuenca baja hace que las características de flujo sean de tipo meandriforme, teniendo un complejo comportamiento que justifica su estudio con diferentes herramientas numéricas y experimentales. Es así que, por el comportamiento hidrológico e hidráulico que presenta este cauce natural, es muy importante para la prevención de riesgos por inundaciones, su caracterización en las zonas vulnerables; con esto se busca la correcta regulación de caudales en los embalses de la cuenca alta. Es así que, se cuenta con datos de campo de las principales variables para la calibración y validación de los modelos numéricos implementados.

(Martinez, 2018) con el título “*Modelo de Inundación mediante el Uso de Vehículos aéreos No Tripulados En La Cuenca Media Del Río Magdalena, En El Municipio De La Dorada, Caldas*” tuvo por objetivo analizar el curso del río cuando supera la cuota de inundación del municipio. La metodología de investigación fue cualitativa, donde se tuvo como metodología, comparar la metodología convencional y usando los drones. El modelo de inundación, permitió observar la dinámica del río, la cual hace posible evaluar sectores donde se afecte más evidenciando donde empieza el ingreso al municipio. Si bien, el dron determina el curso, al generar la metodología de vehículos aéreos con algunas desventajas como la ausencia de información en la toma de decisiones batimétricos y una alta probabilidad de pérdidas de equipos.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Según (Sanchez, 2017) con la investigación acerca de la determinación del grado de confiabilidad en el levantamiento topográfica con DRON en la plaza San Luis, 2017, en la Universidad Cesar Vallejo, Chimbote, donde se tuvo como resultados que el Norte, Este y Oeste son puntos que necesitan (puntos de control) para la realización de un levantamiento topográfica, con resultado a la estación total, sin embargo, la comparación se evaluó en función a tolerancias que confluyen como fuentes confiables.

Por otro lado (Meza, 2006) con su investigación “Modelamiento SIG para identificar los cambios del Río Ucayali y su influencia ambiental (sector Pucallpa)”, de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, donde el modelo icónico, permite representar el esqueleto de las funciones, es decir delinear los polígonos para el modelo análogo. Entre las conclusiones se pudo determinar que el área de zonificación fue de 108,377.75 hectáreas, donde los mapas de peligros son muy altos (20.39%), alto (57.41%), medio (14.42%) y bajo (7.78%). Esta clasificación, es por la deforestación tanto en los ollares como en el depósito fluvial, donde se socaba al depósito fluvial Qh-al2. La identificación de riesgos de superposición se encuentra en los cambios del cauce.

Asimismo (Cajahuanca, 2015) con la investigación titulada “Identificación de zonas con riesgo a inundación en el tramo entre el Puente Las Balsas y la Breña”, donde se analiza los niveles de inundación a través de un modelo hidráulico con el programa ArGIS 10.1 Hec-ras y Hec GeoRAS 10.1. Esta investigación concluye que Las Balsas, del puente La Breña se identificaron 218.22 hectáreas de amenaza de inundación, en ese sentido se considera un nivel de amenaza de 108.82 hectáreas. El 73.67% de los riesgos de inundación se encuentran al margen del río Mantaro, en ese sentido el 26.33%. El empleo de sistemas de información en el manejo es muy útil debido a la gestión que se tiene al modelar la investigación a la sociedad.

2.2. Marco legal

2.2.1. Marco legal en el uso del sistema fotogramétrico con RPA

En el Perú se encuentra regulado el empleo de aeronaves tripuladas a distancia mediante la Norma Técnica Complementaria N° 001 – 2015, norma aprobada con Resolución Directoral N° 501-2015-MTC/12 el 03 de noviembre 2015 publicada en el Diario El Peruano Lunes 28 de diciembre 2015 y la Ley N° 30740 que regulariza el uso y operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), publicada en el Diario El Peruano, el 22 de marzo 2018, según indica el artículo 1: “La presente ley desarrolla el artículo 8 del Convenio sobre Aviación Civil Internacional, conocido como Convenio de Chicago, y regula el uso y operaciones de las aeronaves sin piloto o aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), con el objeto de garantizar la seguridad operacional de todos los demás usuarios del espacio aéreo, así como la seguridad de las personas y bienes en la superficie terrestre y acuática”. (Congreso de la República del Perú- Diario El Peruano, 2018).

La Ley N° 30740 (Congreso de la República del Perú- Diario El Peruano, 2018), señala en su artículo 2, en el punto 2.4: “Los procedimientos de las referidas licencias, requisitos y limitaciones, así como las condiciones, características y otras especificaciones técnicas para la operación de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia, (RPAS) son elaboradas por la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, aplicándose para este efecto y de forma complementaria las disposiciones contenidas en la Norma Técnica Complementaria NTC 001-2015, aprobada mediante Resolución Directoral 501-2015-MTC/12”.

Por lo tanto, es la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) la instancia que ejerce la autoridad aeronáutica civil en el Perú y, en tal cualidad, regula, supervisa, controla, fiscaliza y sanciona todas las actividades aeronáuticas civiles, se entiende, las actividades vinculadas al empleo de aeronaves civiles. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Aeronautica Civil, 2015)

En la NTC:001-2015 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Aeronautica Civil, 2015) se señala que la composición segura de los RPAS en el dominio aéreo no segregado será un objetivo de largo plazo considerando los problemas que aún hay en la actualidad para crear un sistema de certificación para la autorización de licencias, la evaluación médica de la tripulación RPAS, la certificación de los equipos que forman parte de dicho sistema (aeronave y equipos de control) y la certificación de la operación, de tal manera que queda garantizada la seguridad cuando estas aeronaves trabajen en el espacio aéreo que en nuestros días está reservado solo a las aeronaves tripuladas. La NTC solo intenta fijar límites que hagan posible una manipulación restringida de las aeronaves pilotadas a distancia instaurando en la medida de lo posible una distinción en el ámbito de operación entre las aeronaves tripuladas, en aras de certificar la seguridad operacional de los demás usuarios del espacio aéreo, tanto como reducir los factores que puedan causar daños a las personas y a la propiedad.

El ingreso de aeronaves no tripuladas a nuestro país desde el 2015 al 2017 (octubre) ha sido de 30,188 RPAS (Dirección General de Concesiones en Comunicaciones - Viceministerio de Comunicaciones, Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2017), han sido registradas hasta el mes de junio 2018, 570 RPAS en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2017).

La Organización de aviación civil (OACI, 2011) a través del Manual de Sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS) manifiestan la importancia de la gestión de seguridad operacional en la vigilancia de las aeronaves que operan sin piloto a bordo, por lo tanto, muestran una vasta escala de peligro para el sistema de aviación civil. Estos peligros deben ser reconocidos y amortiguados los riesgos para la seguridad operacional, del mismo modo que cuando se estrena un nuevo diseño del espacio aéreo, nuevos equipos o procedimientos.

La gestión de la seguridad operacional trata dos conceptos primordiales. Primeramente, el concepto de un programa estatal de seguridad operacional (SSP), el cual es un conjunto integrado de estatutos y tareas dirigido a optimizar la seguridad operacional. Seguidamente, el concepto de sistema de gestión de la seguridad operacional (SMS) que compone una visión sistemática a la gestión de la seguridad operacional, conteniendo las necesarias estructuras de la organización, responsabilidades, políticas y procedimientos. La OACI pone énfasis en que los Estados que instituyan un SSP deben contener la elaboración de normas de seguridad operacional, impulso de políticas y vigilancia, formulando reglas de seguridad operacional basándose en el análisis del sistema aeronáutico del Estado.

Las “Aeronaves Pilotadas a Distancia” (RPA) y los “Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia” (RPAS) se rigen según la legislación aeronáutica actual en el país, por lo tanto, la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) de acuerdo con el artículo 8 de la Ley de Aeronáutica Civil N.º 27261 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC, 2000) es la que despliega la Autoridad Aeronáutica Civil en el Perú y tiene como misión fomentar, regular y administrar la ejecución de las actividades del transporte aéreo así como la navegación aérea civil dentro de territorio peruano, con autonomía técnica, administrativa y financiera necesaria para el desempeño de sus funciones, así mismo lo señala en la Ley N° 30740 “Ley que regula el uso y las operaciones de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS)” (Congreso de la República del Perú- Diario El Peruano, 2018) y la Norma Técnica Complementaria NTC:001-2015: “Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Aeronautica Civil, 2015).

La Ley N° 30740 “Ley que regula el uso y las operaciones de los Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia (RPAS)” (Congreso de la República del Perú- Diario El Peruano, 2018) señala en el Artículo 2: Licencias, requisitos y limitaciones, así como la aplicabilidad en base a la NTC:001-2015. La NTC:001-2015 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Aeronautica Civil, 2015) establece los requerimientos y restricciones para la ejercicio de RPAS de uso civil, en aras de garantizar la seguridad operacional de todos los demás usuarios del espacio aéreo, del mismo modo la seguridad de las personas y bienes en tierra. Como indica en la Ley N° 30740 Artículo 3. Exclusiones (Congreso de la República del Perú- Diario El Peruano, 2018): “Están excluidas de los alcances de la presente ley, las aeronaves del Estado pilotadas a distancia que sean para uso en servicios militares, policiales y aduaneros, así como las aeronaves pilotadas a distancia que sean de uso recreativo y Aero deportivo con un peso inferior a los dos (2) kilogramos”.

Sin embargo, por la seguridad operacional en el espacio aéreo es necesario que se cumplan las limitaciones de operación que indican en la NTC:001-2015 (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Aeronautica Civil, 2015), RPAS para tipo de uso Aero deportiva o recreativa y para usos diferentes a ella. Ninguna persona podrá operar un RPAS:

- Si la masa máxima de despegue del RPA es mayor a los 25 Kg.
- Sobre áreas pobladas, con excepción de los casos que faculte la DGAC.
- En zonas de aglomeración de personas.
- Sin tener el manual del fabricante del RPAS.
- Cuando no se practiquen todas las disposiciones señaladas en dicho manual relativos al mantenimiento y manipulación del RPAS.
- Sin antes haber ejecutado una evaluación de pre-vuelo para establecer que el RPAS se halla en condiciones seguras para manejar y haber registrado y firmado dicha inspección.
- Sin haber mostrado plan de vuelo al ATC correspondiente en los casos que sea aplicable.
- Sobre personas no implicadas en la operación.
- En la cercanía de personas u obstáculos, estando obligado a conservar una separación vertical del RPA por encima de los 20 metros y horizontal por encima de los 30 metros, en relación a cualquier obstáculo. Dichos márgenes aplican al arranque/expulsión, descenso/recuperación y durante todas los períodos del vuelo y en aditamento a las limitaciones operacionales propias de cada modelo de RPA determinadas en el correspondiente manual.
- Arriba de los 500 pies (152.4 m) de altura sobre el terreno.
- Por encima de los 100 mph (87 Kt) de velocidad aérea.
- Fuera de condiciones de una operación con visibilidad directa visual.
- En la noche.
- Durante más de una hora seguida.
- Durante más del 80% de la autonomía dada por el fabricante.
- Con un piloto que no haya sido debidamente acreditado y/o que no haya sido autorizado.
- Desatendiendo el cuidado exclusivo al control de la operación del RPAS. Está prohibido ceder el control a otro piloto/operador mientras el RPA está en vuelo y dirigir dos RPA simultáneamente.
- Manipular un RPAS bajo el influjo de las drogas o el alcohol.
- A menos de 4 km de un aeródromo, a menos que sea para fines de prevención de impactos con aves.
- Sobre vías de comunicación, incluyendo toda infraestructura vial (viaductos, carreteras, caminos, senderos, puentes), infraestructura de transmisión eléctrica y de

telecomunicaciones (postes, torres, cables y antenas), cursos de agua navegables y ductos para transporte de hidrocarburos. Sin perjuicio de ello, los RPA podrán volar próximos a estas vías, manteniendo una separación horizontal mayor de 30 metros, del margen o extremo de las mismas.

- No se podrá dejar caer ni lanzar objetos, material o fluidos desde el RPAS con excepción en los casos en que se cuente con autorización expresa de la DGAC sobre el fundamento de informes técnicos de impacto ambiental dados por la autoridad competente.
- En zonas peligrosas, zonas prohibidas y zonas restringidas publicadas en la AIP-PERÚ o en los NOTAM incluidos en el sitio web de CORPAC. Una decisión diversa a esta prohibición estará sujeta a la autorización escrita por parte de la Entidad responsable de la reserva de la zona en materia.
- En una navegación aérea internacional o en alta mar, a no ser que cuente con una autorización apropiada de la DGAC y conforme a lo que se establece en el Apéndice M de la RAP 91.
- En caso de incumplimiento a la Ley N° 30740 y a la NTC: 001-2015, será sancionado según lo indicado por la Junta de Infracciones de la DGAC. (Congreso de la República del Perú- Diario El Peruano, 2018)
- Es por ello que al maniobrar RPAS no autorizados ya sea en zonas urbanas o cerca de aeródromos, afectaría la seguridad del vuelo durante su operación, en detrimento de las alturas mínimas que resulten de aplicación acorde a la normativa concreta que regule las distintas actividades aeronáuticas y de las dispensas para operaciones especiales. (NTC: 001-2015)

2.3. Bases teóricas y científicas

2.3.1. Inundaciones

Es aquella, que es ocupado por el agua donde las zonas son habitualmente se encuentran con desbordamiento de ríos, o ramblas por desbordamiento con un azote, a menos el elemento por el desagüe de canales de pueblos con el líquido, en tanto las nubes se dispersen con inundaciones, con la ocupación de la tierra, en los valles y ríos. La humanidad se vuelve cada vez más sedentaria, para evitar inundaciones, donde se deben proteger, cosechas y desviarse a través de diques (Burgos, 2012).

Si bien, (IDEAM, 2017) define como inundación, a la acción y efecto de inundar, es decir, cubrir los terrenos con líquidos, este glosario hídrico internacional, se basa en la OMN N° 385, - 2012, la cual menciona como el “desbordamiento del agua fuera de los confines normales”. En muchas veces, el agua es planificada para cubrir zonas agrícolas como abastecimiento natural, pero existen

sumersión temporal como es en el caso de la Selva, la cual es de manera natural. Por su parte, la inundación normalmente, no se encuentra cubierto, para la realización de las actividades humanas, el desastre de una inundación puede provocar altos niveles de problemas medioambientales, como también sociales. El sistema hídrico en que se utiliza este elemento, es básicamente para el manejo en zonas donde existen amenazas, donde se está compuesto por plataformas las cuales representan como una protección (diques de protección). En segundo lugar, permite la productividad agrícola, mejorando la eficiencia. Si bien, el sistema hídrico puede cubrir entre 500,000 a 150,000 hectáreas, según el tipo de cuenca, el sistema de control de aguas se encuentra como un sistema muy antiguo desde los 800 A.C. Por este motivo, existe una serie de clasificaciones para las inundaciones:

Tabla 1 *Clasificación de las inundaciones*

TIPOS DE INUNDACIONES						
ANTROPICAS	INDUCIDAS	NATURALES				
<ul style="list-style-type: none"> • Gestiones inadecuadas de obras hidráulicas – Desembalses • Roturas y fugas 	<ul style="list-style-type: none"> • Obstáculos al flujo 	LITORALES	No red fluvial		Red Fluvial	
		<ul style="list-style-type: none"> • Mareadas • Olas y ondas 	Hidrogeológicas	Endorreismo	Torrenciales	Súbitas
			<ul style="list-style-type: none"> • Surgencias • variaciones del nivel freático 	<ul style="list-style-type: none"> • Precipitación in situ 	<ul style="list-style-type: none"> • Crecientes lentos • Ruptura de presas • Obstrucción de cauces 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento lento del agua • Lagos represas naturales • Movimiento del terreno

Fuente: Leyva (2012)

Los desbordamientos con corrientes fluviales se encuentran vinculados a una red fluvial, tanto en la acumulación en la precipitación en la superficie terrestre (precipitación in situ) donde le origen hidrogeológico, asociado a una elevación de la superficie, esta puede variar en función al tipo de inundación que se requiere. Existen algunos manuales, en los cuales las zonas con ciertas características físicas y en cada región se tienen en función a una componente: Estimación del riesgo. Si bien, el funcionamiento es causada por un peligro se da de forma natural, o inducido por el hombre, el peligro natural es un fenómeno natural en la cual se brinda a través de terremotos, maremotos, inundación, deslizamientos, aluviones, sequias, entre otros. En ese sentido, la estimación del riesgo, se tienen en función a actividades que identifican los peligros naturales (probabilidades de daño), tanto en condiciones de vulnerabilidad como de peligro. (Leyva, 2012)

2.3.2. Clasificación de Inundación

Según (INETER/CONSUDE, 2005) y (INDECI, 2011), podemos clasificar las inundaciones de las siguientes maneras:

Por su duración:

- **Inundaciones rápidas o dinámicas:** Se originan en ríos de montaña o en ríos cuyas cuencas presentan inclinadas pendientes, a causa de las lluvias torrenciales. Las crecidas se producen de forma súbita y son de corta duración. Este tipo de inundaciones son las que suelen provocar las mayores desgracias en la población, ante todo debido a que prácticamente no da cabida para la reacción
- **Inundaciones lentas o estáticas:** Se ocasiona cuando lluvias persistentes y generalizadas, originando un aumento paulatino del caudal del río hasta que llega a superar su capacidad máxima de transporte. Entonces el río desborda su propio cauce, inundando áreas planas y cercanas al mismo tiempo. Las áreas que usualmente suelen quedar inundadas reciben el nombre de Llanuras de Inundación.

Por su origen:

- **Inundaciones pluviales:** Es la que se acontece por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica, en forma de depresión sin que este fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Este tipo de inundación se forma cuando las precipitaciones son intensas o persistentes, quiere decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un dilatado lapso de tiempo además de estar en suelos poco permeables.
- **Inundaciones fluviales:** Ocasionadas por el desbordamiento de los ríos y los arroyos, es atribuida al acrecentamiento violento del volumen de agua por encima de lo que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse, durante lo que se denomina como crecida.
- **Inundaciones por rotura:** Es la originada por rotura de una obra hidráulica de represamiento de agua. Este tipo de inundación puede llegar a producir una serie de estragos no sólo a la población sino también a sus bienes, a las infraestructuras y al medioambiente. La expansión de la onda de agua estriba en el caudal formado y el tiempo de difusión.

2.3.3. Modelización hidrológica

Según Hernández – Uribe (2017) se define el modelo como una simplificación del mundo real, donde se buscan representar procesos que ocurren en un principio, es decir que se incorpora nuevas tecnologías, teniendo los siguientes flujos de información:

- **Variable:** Características de un sistema con valores que se pueden medir de diferentes formas: Precipitación, escorrentía, evaporación, temperatura, infiltración. Existen tres tipos de variables:
 - **Variable de entrada:** Componente inicial del sistema sobre el que se construye un modelo hidrológico.
 - **Variables de estado:** Es la cantidad de materia o energía almacenada en cada uno de los componentes (subsistemas).
 - **Variables de salida:** Componente final considerada en el proceso de modelado.

- **Abstracciones:** Son pérdidas (o almacenamientos) del flujo del agua desde que esta entra en la cuenca hasta que sale como caudal.
- **Parámetros:** Valores numéricos que se asignan a los distintos componentes del modelo hidrológico.
- **Flujos:** indican el proceso de transmisión entre los distintos subsistemas hidrológicos que establece el modelo por medio de la cantidad de materia o energía que viaja de un componente a otro en un intervalo determinado de tiempo.
- **Condiciones iniciales:** valores iniciales de las variables a partir de los cuales se forma el proceso de modelado y los flujos entre subsistemas.

Tipo y clasificación de los modelos

La clasificación de los modelos hidrológicos se da con criterios tales como el enfoque matemático que realizan y el grado de representación espacial de sus componentes. En la mayoría de los casos los modelos se narran por la forma o detalle que tienen de representar la superficie de la cuenca (agregados, semi distribuidos y distribuidos), el enfoque matemático (deterministas y estocásticos) y la forma de bosquejar los procesos hidrológicos que analiza (de base física o empírica). A continuación, se procederá a describir las características que se pueden dar en los modelos de acuerdo con la clasificación y tipología interrelacionada:

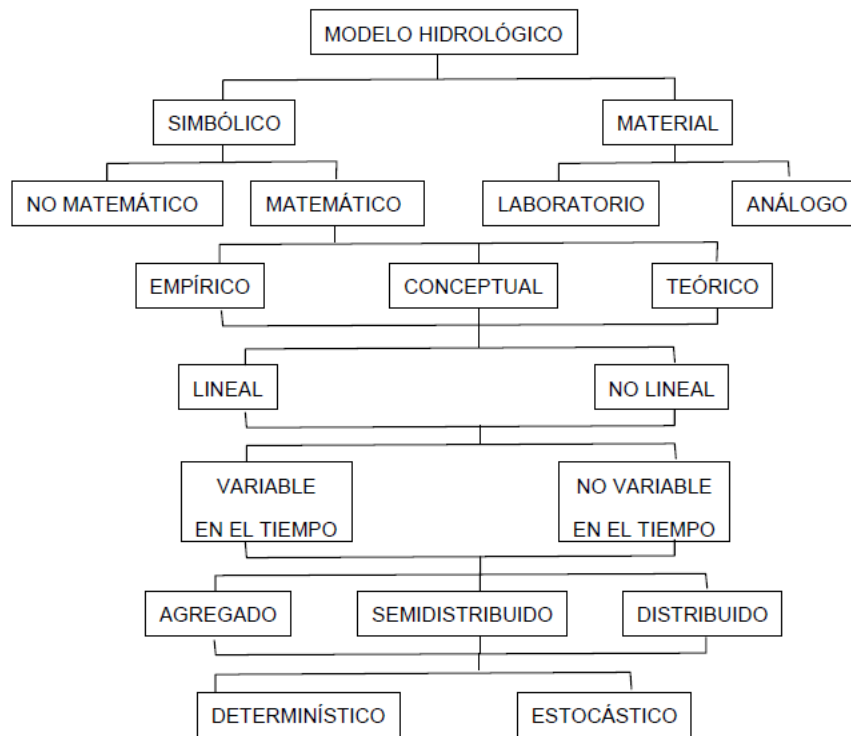


Figura 1. Características de modelos de clasificación y tipología
Fuente. Adaptado de Sing (1988) referido por Xu (2002)

- **Modelos materiales.** Un modelo material que se caracteriza para trabajar. Porque se cambia de escala a un tamaño asequible o porque se usa otro sistema físico con propiedades similares a las del prototipo (modelo análogo).
- **Modelos simbólicos.** Son las propiedades estructurales del sistema original. Si bien, es no matemática (un diagrama esquemático de flujos y componentes), los modelos de naturaleza matemática son los que presentan mayor interés y los que se han desarrollado a lo largo de la historia del modelado en hidrología.
- **Modelos teóricos, conceptuales y empíricos.** Según el planteamiento matemático del modelo se diferencia entre:
 - **Modelos teóricos:** modelos basados en las leyes de la física. Un modelo teórico tiene una estructura lógica similar al sistema del mundo real y puede ser útil en circunstancias cambiantes.
 - **Los modelos empíricos.** Se basan en cálculos matemáticos fruto de la experimentación. Por tanto, contienen parámetros que pueden tener poco significado físico directo y pueden estimarse sólo mediante mediciones simultáneas de entrada y salida.
 - **Modelos conceptuales.** Son modelos intermedios entre los modelos teóricos y los empíricos.

- **Modelos lineales y modelos no lineales.** Un modelo se puede organizar en términos de ecuaciones y procesos lineales y procesos no lineales. Un ejemplo típico de un modelo lineal es el Hidrograma Unitario en el que la simplificación de los procesos se realiza por medio de una secuencia lineal entre las entradas, los procesos intermedios y las salidas.
- **Modelos variables en el tiempo y modelos temporalmente no variables.** Se considera al modelo como no variable en el tiempo cuando su relación entre entradas y salidas no cambia con el tiempo. La forma de la salida depende solamente de la forma de la entrada y no en el momento en el cual se aplica la entrada. Los modelos que no presentan esta propiedad se consideran que son variables en el tiempo.
- **Modelos agregados, semi distribuidos y distribuidos.** Un modelo es agregado cuando, independientemente de los procesos que considere, los parametriza como valores únicos para el conjunto de la cuenca, sin tener en cuenta su diversidad espacial. Se considera distribuido al modelo que intenta representar con el mayor detalle dichos procesos y parámetros. El modelo semi distribuido es aquel que da una representación intermedia de la diversidad espacial, utilizando zonas de comportamiento teóricamente similar que se consideran como agregadas.

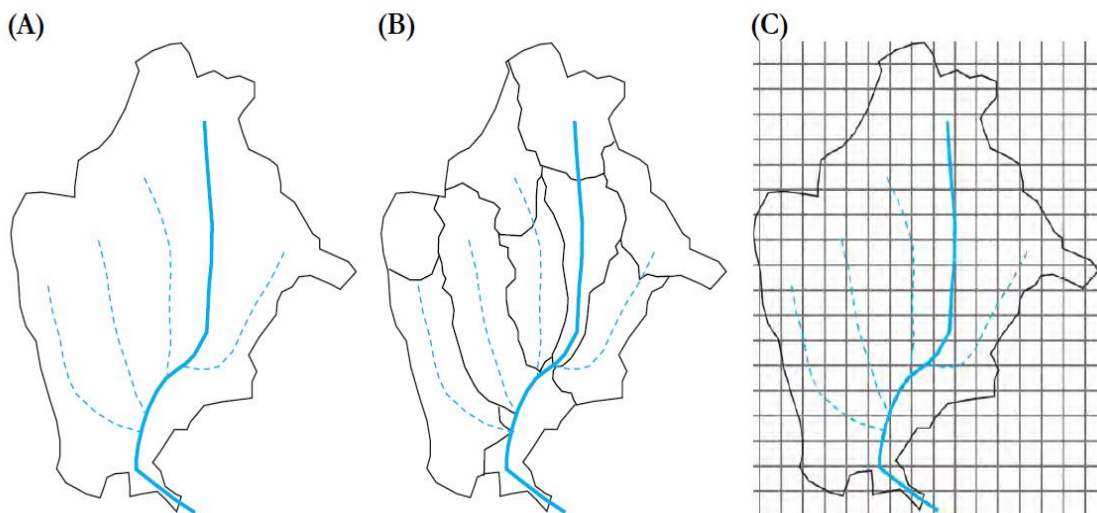


Figura 2. Modelos de tipo agregado (A), semi distribuido (B) y distribuido (C)

Fuente. Propio.

- **Modelos estocásticos y determinísticos.** Los determinísticos no consideran aleatoriedad: en la formulación matemática una entrada dada produce siempre una misma salida.

Desarrollo y procedimiento de aplicación

El objetivo es el desarrollo de un modelo hidrológico, o la intervención en la construcción de uno de sus componentes.

El desarrollo de un modelo lleva implícitas una serie de fases que, aunque secuenciales, no son totalmente independientes, pues deben ser comprobadas, y el modelo verificado hasta que finalmente se considere apto para las simulaciones:

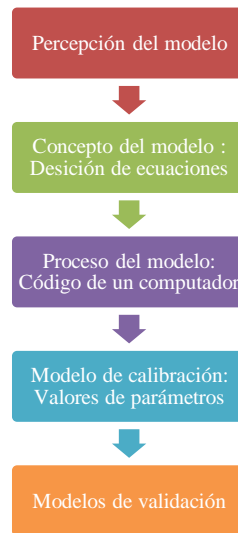


Figura 3. Esquema de pasos según el proceso de desarrollo
Fuente. Beven (2012, p 4)

En la primera etapa de construcción es el **modelo perceptual**. La comprensión se va a trabajar sobre la unidad hidrológica a representar, como la experiencia del modelador y su interacción con el sistema hidrológico.

- **Modelo conceptual.** El funcionamiento según los componentes del sistema por medio del modelo perceptual, el conceptual y la base del desarrollo de un modelo hidrológico.
- **El modelo procedural.** La fase construye el modelo: (1) traducción matemática para que se formulen las entradas, procesos intermedios y salidas y (2) ensamblaje por medio de código de programación informático.
- **Calibración del modelo.** El proceso de calibración consiste en la mejora selectiva de los parámetros iniciales.
- **Validación del modelo.** La fase de validación consiste en la comprobación, una vez calibrado, por medio de simulaciones.

Protocolo de modelado

El proceso de modelado está sujeto al seguimiento en la elección del modelo que se considera idóneo para los análisis hidrológicos hasta la evaluación de la herramienta útil y simulaciones de valoraciones realizadas en los pasos intermediados:

- **Identificación del modelo.** La necesidad de un análisis hidrológico donde se identifica el modelo que se considera apropiado.

- **Introducción de datos al modelo.** La identificación de datos se demanda y la recopilación para el modelo con exigencias y formatos de incorporación.
- **Calibración.** Es un proceso de ensayo error que se ajustan a valores de algunos parámetros para que el hidrograma resultante. Determinar el conjunto de parámetros representados en el modelo que reflejan con mayor exactitud el comportamiento de la cuenca.
- **Validación.** La validación de la calibración es certificar la confianza en el modelo.
- **Uso generalizado del modelo.** Es posible que el modelo sea utilizado en la cuenca de forma confiable, lo que permite su aplicación ante distintos escenarios de simulación.

Modelos de Flujo (Escorrentía)

La aproximación de características de los modelos de flujo, los modelos hidrológicos más convencionales, se ha dividido en tres apartados con los que se cubre (1) los aspectos técnicos y de modelado, (2) la enumeración de ejemplos con trabajos realizados con modelos hidrológicos y (3) la descripción de algunos modelos extensamente divulgados. Los modelos a los que se hará referencia son los de naturaleza semi distribuida y distribuida, los de mayor potencial y desarrollo actual.

Características de los modelos de flujo

Las características de los modelos se analizan, en primer lugar, teniendo en cuenta la arquitectura o forma de estructurar el proceso de modelado, normalmente por componentes del ciclo hidrológico, y, en segundo, por los enfoques de modelado.

- **Estructura:** La estructura que adquiere un modelo es independiente del detalle de representación, del número de parámetros y de la definición temporal que utilice el modelo hidrológico en cuestión. En la actualidad los de naturaleza distribuida y/o semi distribuida abordan el proceso de modelado construyendo una estructura modular. La conceptualización en componentes prácticamente obliga a que los modelos deban ser construidos utilizando esa arquitectura modular; es decir, dividiendo el modelo en distintos submodelos interconectados entre sí.

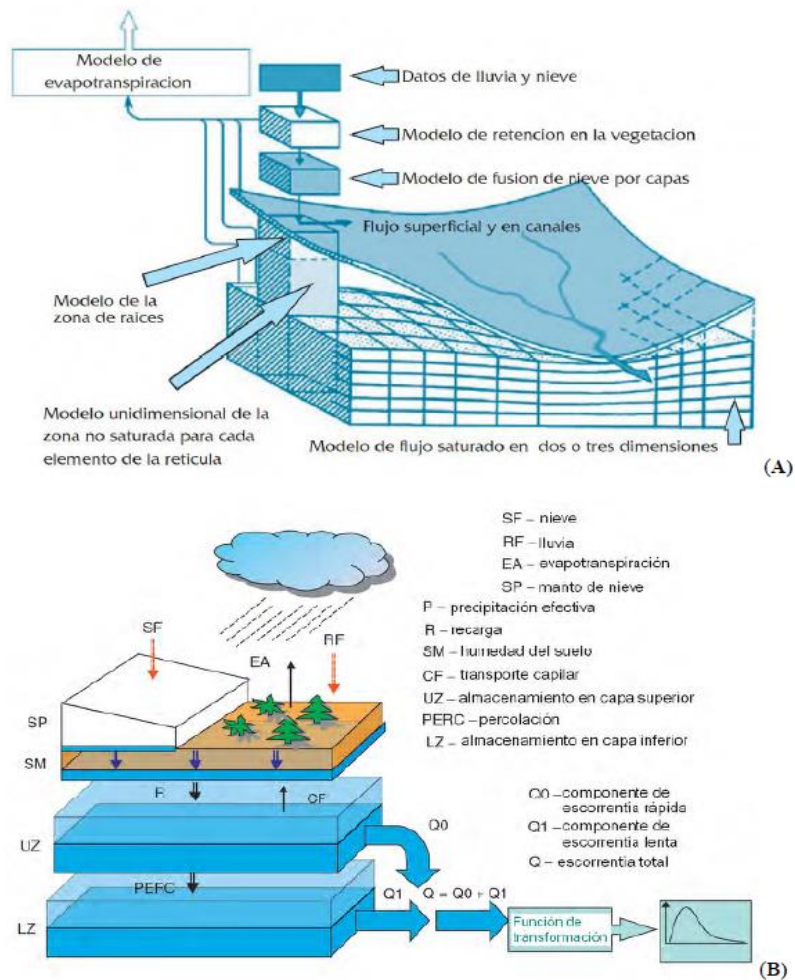


Figura 4. Estructuración modular de modelos distribuidos (a) Mike-She (B) HBV.96
Fuente. (A) Vásquez et al (2004) (B) Solomatine and Wagener (2011, p 437)

Los modelos más exigentes en la arquitectura, se ofrecen un alto nivel de detalle y complejidad en sus componentes y módulos, imponen la obtención de un número considerable de parámetros, frente a los más sencillos que se limitan a calcular los principales parámetros. Sin embargo, la mayoría de ellos abordan el modelado siguiendo una división convencional de los procesos y flujos hidrológicos que ocurren en la cuenca. En primer lugar, resuelven la entrada de precipitación (sea con una componente de lluvia únicamente o incorporando también un modelo de nieve), el almacenamiento y pérdidas en la fase aérea del ciclo hidrológico.

En segundo lugar, atienden a los procesos de generación de escorrentía superficial y transmisión de flujos en la zona del suelo en los distintos planos que éstos pueden dirigirse (vertical, horizontal o permanecer estacionario en el suelo como almacenamiento); finalmente, consideran la dinámica de la circulación del agua en las capas más profundas.

Todos los modelos necesitan la incorporación de la situación inicial de la cuenca, sobre todo cuando se modela un evento. Sin embargo, cuando estamos ante cuencas de drenaje en las que se

dispone de escasas mediciones reales y, también, de pocas capacidades para obtenerlas, en ese caso puede ser más conveniente y realista el recurrir a modelos que, aun concibiendo el modelado de manera que separa en los principales componentes expuestos con anterioridad (fase aérea, dinámica de los flujos en los suelos y circulación del agua a capas profundas) los integra y facilita el trabajo.

- **Modelado.** Se da una gran diversidad de diseño de los modelos hidrológicos que relacionan únicamente la precipitación con la escorrentía, o que relacionan los flujos del agua desde que entran en la cuenca hasta que salen de ella como caudal.
- **Modelado de sucesos versus modelado de flujo continuo.** Simulación al flujo y otras funciones de la cuenca durante largos períodos de tiempo.
- **Tamaño de la cuenca y dimensión temporal del proceso de modelado.** Los procesos a modelar y su representación en el modelo son sensibles a las dimensiones de la cuenca. Algunos modelos se utilizan para predecir los totales mensuales de escorrentía, mientras que otros están diseñados para analizar las tormentas individuales.
- **Modelos de flujo urbano.** Los modelos de cuenca, normalmente conceptualizadas con baja o nula presencia de construcciones y, por tanto, ante condiciones de dinámica de flujos en canales naturales.
- **Conexión con otros sistemas.** Algunos modelos hidrológicos se diseñan teniendo en cuenta la posibilidad de ser conectados (o asociados) a otros sistemas con la vinculación a modelos atmosféricos.

Aplicaciones de los modelos de flujo

El uso y la aplicabilidad de los modelos hidrológicos distribuidos (semi distribuidos) ha ido ampliándose considerablemente. En la práctica, la cantidad de aplicaciones en las que se recurre a los modelos es muy extensa, máxime cuando pueden integrarse con otras técnicas espaciales como la teledetección, otros modelos ambientales y sistemas de gestión territorial.

Desarrollo de modelos.

Los modelos hidrológicos siguen desarrollándose tanto con la creación de nuevos como en la ampliación de los ya existentes. Ello lleva consigo, de acuerdo al esquema general de desarrollo de un modelo, donde el planteamiento de construcción (Bertens et al., 2000), y también la valoración de sus componentes en las fases de calibración y validación (Weber et al., 2010) y en el análisis de sensibilidad de parámetros (Vázquez et al., 2004).

Gestión de cuencas

El desarrollo de modelos hidrológicos para evaluar y hacer un seguimiento a las cuencas hidrográficas es una de las áreas de aplicación fundamentales de los modelos hidrológicos, y de distribuidos, en particular. Los aspectos de su aplicación y uso son muy variados y va desde la puesta a punto de un modelo determinado para poder evaluar el régimen de cuenca (Re et al. 2008) hasta análisis específicos para la cuantificación de las aguas superficiales como recurso hidrológico (Kiptala et al. 2014).

2.3.4. Modelos de flujo

Existe una gran cantidad de modelos hidrológicos con la síntesis de modelos realizada por Kampf y Burges (2007). Los más extendidos abordan una amplia gama de escenarios de simulación, desde cuencas pequeñas y sucesos individualizados hasta grandes áreas de drenajes y flujo continuo; desde la estimación de la escorrentía superficial hasta la combinación de ésta con transporte de partículas y su interconexión con las aguas subterráneas. Con respecto a la descripción de algunos modelos de flujo, se han seleccionado tres por su distinta naturaleza, accesibilidad al usuario y por estructura y complejidad de uso: MIKE-SHE, HEC-HMS y TETIS.

2.3.4.1. MIKE SHE

Desarrollador/Institución: El actual modelo está desarrollado por el instituto danés de hidráulica (Danish Hydraulic Institute -DHI).

Tipo de modelo: Es un modelo de naturaleza física que incorpora una gran cantidad de parámetros. Realiza una representación espacial de tipo distribuido basada en una malla regular con estructura de datos ráster y tamaño de celda (pixel) cuadrada. El modelo, actualmente comercializado por el DHI, no es de libre acceso, por lo que hay que pagar una cantidad considerable por su licencia.

Descripción: MIKE SHE es un modelo que ha evolucionado a partir de su antecesor el “System Hydrologique European” (SHE), inicialmente desarrollado como proyecto conjunto entre tres organizaciones de Francia, Reino Unido y Dinamarca. Simula los flujos del agua en la totalidad de la fase terrestre del ciclo hidrológico.

A pesar de su complejidad, tiene una estructura de modelado flexible que incluye un amplio rango de métodos numéricos para cada proceso. Tanto los procesos hidrológicos que se simulan como los métodos numéricos que se utilizan pueden combinarse según los requerimientos de aplicación y la disponibilidad de datos.

Precipitación y evapo transpiración. Se consideran los elementos de mayores dimensiones en el ajuste del balance hídrico que realiza. El cálculo de la evapotranspiración actual está basado en el consumo de la vegetación, para lo que también se utilizan parámetros de interceptación, de

suelos, de agua almacenada en superficie, de la zona de raíces y las transmisiones hídricas como agua sup superficial.

Precipitación de nieve. El módulo permite trabajar con almacenamientos de nieve. Una vez establecido el almacenamiento y el tipo de nieve (seca o húmeda), el modelo posee una serie de algoritmos para convertirla en escorrentía superficial, los cuales incluyen correcciones de temperatura según la altitud, de radicación solar y de precipitación sobre nieve.

Escorrentía superficial. El cálculo de la escorrentía superficial se realiza por medio de una doble alternativa: (1) un método simple de estimación basado en criterios de semi distribución de la escorrentía superficial y (2) un método de diferencias finitas para la estimación detallada de la precipitación y el escurrimiento.

Flujo concentrado. El caudal se simula por medio de cálculos hidrodinámicos que incluyen también operaciones sobre estructuras hidráulicas tales como compuertas, bombeos y presas. El módulo también posee un conjunto de algoritmos de circulación del flujo menos exigentes en información que son apropiados para su aplicación a grandes redes.

Zona no saturada. El módulo realiza los cálculos relacionados con el flujo vertical no saturado. Para ello incluye un modelo de capas de la zona de raíces con el que se estima el balance hídrico en la zona no saturada. Para la infiltración en suelos secos utiliza el modelo de Green y Ampt.

2.3.4.2. HEC-HMS

Desarrollador/Institución: Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center-HEC) del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos (U.S. Army Corps of Engineers-USACE) (Centro de Ingeniería Hidrológica HEC, 2020).

Tipo de modelo: Es un modelo conceptual (de base física y empírica), con representación espacial semi distribuida por medio de la división de la cuenca en unidades menores de subcuencas. La licencia del modelo es de dominio público (de libre acceso), por lo que su descarga, así como una cantidad considerable de información, incluyendo los manuales de usuario de las distintas versiones, se puede realizar directamente desde su página WEB.

Descripción: El modelo HEC-HMS ha seguido una larga tradición en su desarrollo, pues es la evolución directa del conocido y ampliamente utilizado HEC-1. El programa está diseñado para simular los procesos de conversión de la precipitación en escorrentía en cuencas dendríticas, tanto en condiciones naturales como intervenidas. Las nuevas versiones HEC-HMS presentan mejoras con respecto al antiguo HEC-1, incluyendo una mayor operatividad en el proceso de modelado distribuido, la simulación continua (no sólo de suceso) y, la interfaz gráfica de usuario que facilita las labores de entrada de datos antes del inicio del proceso de modelado y la gestión de la información generada después del modelado. Se ha desarrollado una aplicación (HEC Geo HMS)

que facilita la incorporación de información espacial al modelo HEC-HMS. HEC-Geo HMS es una utilidad desarrollada para el Sistema de Información Geográfica ArcGIS y principalmente está pensado para el desarrollo de los submodelos de cuenca de HEC-HMS. El programa trabaja con cuatro módulos básicos que definen en su conjunto la entrada de datos y la estructura de simulación de la cuenca:

Datos de entrada. El programa presenta un sistema de entrada de datos. Datos que serán posteriormente tratados de acuerdo a los distintos submódulos de modelado para los que se requieren.

Modelo de cuenca. El modelo de cuenca es utilizado para representar la parte física de la cuenca. El usuario desarrolla un modelo de cuenca agregando y conectando elementos hidrológicos. Los elementos hidrológicos usan modelos matemáticos para describir los procesos físicos en la cuenca.

Modelo de precipitación. Calcula la precipitación requerida en una subcuenca. Se puede utilizar información puntual de precipitación o distribuida espacialmente. El módulo puede modelar precipitación sólida y líquida y, también, evapotranspiración. El cálculo de la evapotranspiración sólo es requerido cuando se modelan respuestas hidrológicas en largos períodos de tiempo.

Módulo de control. Las especificaciones de control fijan el tiempo de duración de cada ejecución de una simulación. Las especificaciones de control deben incluir la fecha de inicio, la fecha de finalización y el intervalo de tiempo (minutos, horas, días) de la simulación.

2.3.4.3. TETIS

Desarrollador/Institución: Grupo de Investigación de Modelación Hidrológica y Ambiental (GIMHA) del Área de Investigación de Hidráulica e Hidrología del Instituto de Ingeniería del Agua y el Medio Ambiente (IIAMA), de la Universidad Politécnica de Valencia (España).

Tipo de modelo: Es un modelo conceptual (de base física y empírica), con representación espacial distribuida basada en una estructura *raster* de malla regular cuadrada. La licencia del modelo es de dominio público. Su descarga se hace directamente desde la página WEB en la que está alojado el modelo, previo la cumplimentación de un formulario de usuario.

Descripción: TETIS es un modelo global, es decir, con un mismo modelo se pueden resolver problemas tanto de crecidas y erosión (discretización temporal de minutos y horas) como de Recursos Hídricos (discretización temporal diaria). Además, tiene un potente algoritmo de calibración automática de sus parámetros efectivos y de los valores iniciales de todas las variables de estado, que facilita su implementación práctica.

El modelo se basa en una entrada de datos inicial que facilita su posterior ejecución y simulación de hidrogramas.

Pero no posee ninguna facilidad para incorporar directamente datos espaciales creados con Sistemas de Información Geográfica, ni conexiones a ellos que facilite la entrada de información espacial.

Sin embargo, estos documentos iniciales están contruidos en formato ASCII (de texto) con una estructura similar a los formatos de exportación de ArcGIS, por lo que es posible producirlos en ese o cualquier otro Sistema de Información Geográfica y posteriormente adaptarlos a los requerimientos de TETIS. Para cada celda de la cuenca, el modelo efectúa un balance de agua siguiendo una conceptualización de tipo tanques. La simulación de la producción de escorrentía para cada celda se basa en describir las interacciones atmósfera – vegetación – suelo – acuífero a través de cinco tanques interconectados entre sí. Los flujos de agua entre cada tanque representan los procesos más significativos en el ciclo hidrológico: precipitación (lluvia o nieve), evapotranspiración, infiltración, percolación y pérdidas subterráneas.

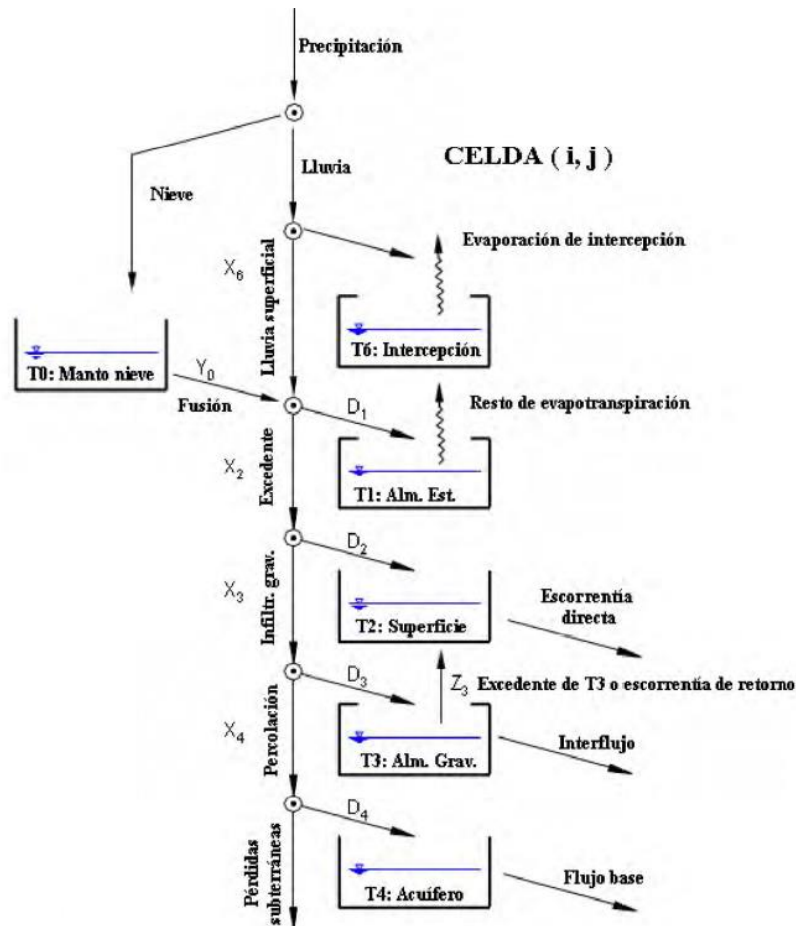


Figura 5. Esquema conceptual de tanques a nivel de celda a modelo TETIS

Fuente. García et al (2014)

2.3.4.4. Modelos de transporte

En paralelo con el progreso de los modelos hidrológicos distribuidos y semi distribuidos se ha ido desarrollando también una serie de modelos hidrológicos cuyo objetivo es la estimación de las cargas de sustancias que pueden ser arrastradas por los flujos. A estos modelos se les da el nombre general de modelos de transporte, existiendo una gran variedad de ellos. Este apartado sobre modelos de transporte se centrará en los modelos hidrológicos de cuenca y exclusivamente en aquellos que, aunque también puedan simular el flujo, tienen la habilidad de estimar las concentraciones de otras sustancias como contaminantes de origen agrícola y sedimentos. Al igual que para los modelos de flujo, esta parte se ha dividido en tres apartados en los que se exponen (1) los aspectos técnicos y de modelado, (2) el comentario de ejemplos con trabajos realizados con modelos hidrológicos de transporte y (3) la descripción de algunos de ellos.

2.3.5. Tiempo de concentración

Para la estimación del tiempo de concentración se pueden emplear diferentes tipos de parámetros, a través de la recomendación con cuencas hidrográficas:

$$T_e = 5 * \left(\frac{L_m}{\sqrt{S}}\right)^{0.5} \text{ Jhonstone Cross}$$

$$t_e = 0.0078 * L_p^{0.77} - S^{-0.385} \text{ Kirpich}$$

$$t_e = 60 * \left[\frac{0.87075 * L^3}{H}\right]^{-0.385} \text{ California Culvert}$$

$$T_e = 0,76 * A^{0.38} \text{ Pilgrim}$$

Siendo, T el tiempo de concentración (horas) y L es la longitud del cauce (km), donde L_m es la pendiente del canal promedio de la cuenca (pies/mi).

A través de ello, se desarrollan las curvas de intensidad, con la duración – frecuencias (IDF), donde el análisis de registros pluviógrafos o pluviométricos electrónicos (pluviograma), donde la metodología se ajusta a la más usada:

$$i = \frac{k * T^m}{(c + d)^n}$$

Luego de esto, se estima el caudal con los siguientes métodos:

Método Racional. Se atribuye según Kuicling en 1888, y Llyoyd y Davis en 1906, se tiene la siguiente formula:

$$Q_p = 0.278 * C * I * A$$

Donde Q es el caudal máximo m³/s para el periodo de retorno T, con un coeficiente de escorrentía, I es intensidad en mm/h, A es el área que esta dado en km².

2.3.6. Imágenes Satelitales

Teledetección

Es “la ciencia y la tecnología por la cual se pueden identificar las características de los objetos de interés, medir o analizar las características sin contacto directo” (JARS, 1993). Por lo general, la teledetección es la medición de la energía que se emanó de la superficie de la Tierra. Si la fuente de la energía medida es el sol, entonces se llama la teledetección pasiva, y el resultado de esta medición puede ser una imagen digital (RICHARDS y JIA, 2006). Si la energía medida no es emitida por el Sol, pero desde la plataforma de sensor, entonces se define como la teledetección activa, tales como sensores de radar que funcionan en el rango de microondas (RICHARDS y JIA, 2006). Un sistema de teledetección incluye los siguientes elementos: (Según CHUVIECO, 1996).

Fuente de Energía: Es originado de la radiación electromagnética que el sensor va a captar. Puede tratarse de una fuente pasiva como la luz solar o activa cuando es emitida por el sensor que luego capta el reflejo (como el radar).

Cubierta terrestre: Son los rasgos naturales o realizados por el hombre (vegetación, suelo, rocas, construcción, entre otros) que refleja la señal hacia el sensor.

Sistema sensor: Compuesto por el sensor propiamente dicho (cámaras, radar, etc.) y la plataforma que lo alberga (satélite, avión, globo). Tiene la misión de captar la energía proveniente de la cubierta terrestre y almacenarla o enviarla directamente al sistema de recepción.

Sistema de recepción-comercialización: Es el que recibe la información del sistema sensor, la guarda en formato apropiado y la distribuye a los usuarios.

Interprete: quien convierte los datos en información temática de interés (agricultura, forestal, geografía, catastro, medio ambiente, militar, entre otros) ya sea mediante procedimientos y técnicas visuales o digitales.

Usuario final: Es el beneficiario del documento fruto de la interpretación, así como de decidir sobre las consecuencias que de él deriven.

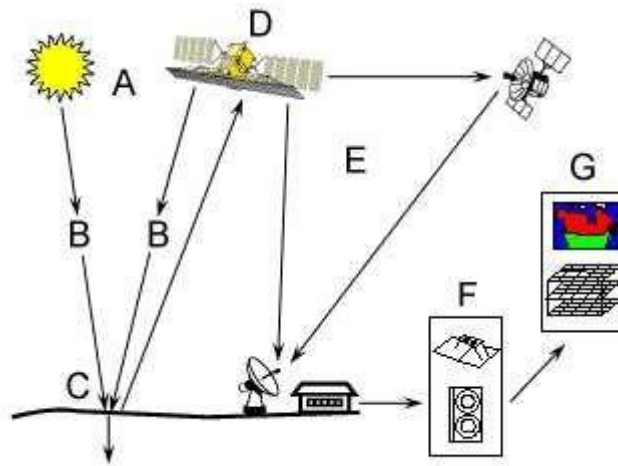


Figura 6. Los componentes de un sistema de Teledetección

Fuente. Tomado de (INGEMMET, 2019)

Según (INGEMMET, 2019) donde menciona que existen diferentes sensores en los cuales las aplicaciones geológicas son usadas con Terra-Aster, Landsat TM, y ETM, donde se cuenta con imágenes que cubren la mayor parte del territorio peruano.

Utilizando Aster (advanced space borne thermal emission), con un sensor con imágenes ópticas de alta resolución espacial, y radiométrica que se encuentran a bordo del satélite Terra.

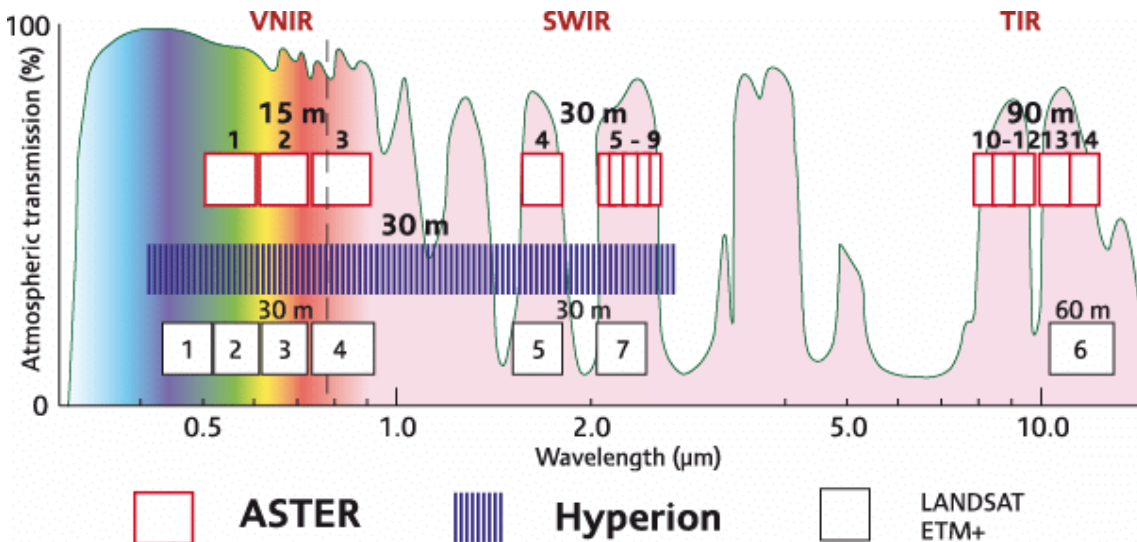


Figura 7. Comparación Terra Aster vs. Landesat ETM

Fuente. Tomado de (INGEMMET, 2019)

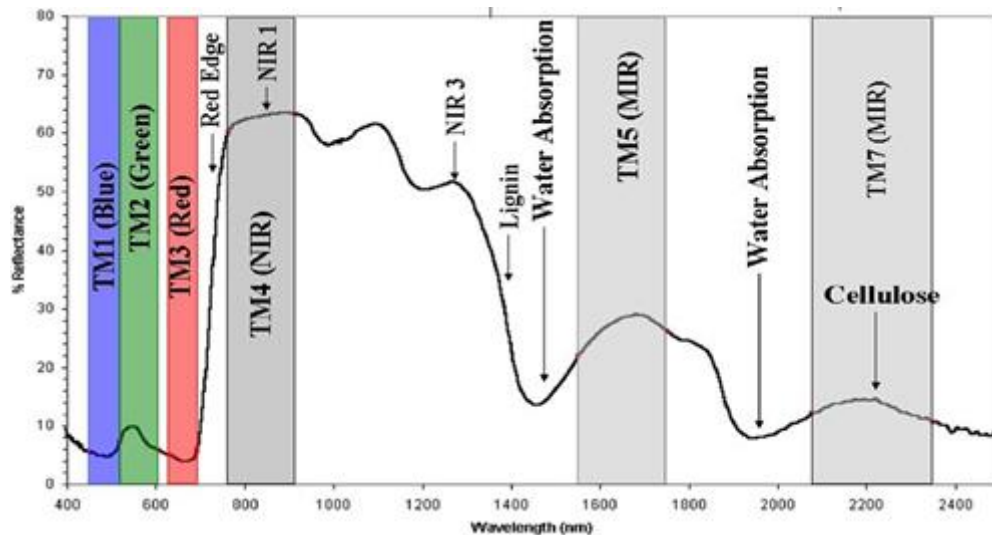


Figura 8. Banda espectral del sensor
Fuente. Tomado de (INGEMMET, 2019)

El rango de 14 bandas distribuidas con 3 sub sistemas independientes, visibles e infrarrojo (VNIR), infrarrojo medio o de onda corta (SWIR), e infrarrojo termal (TIR).

Todos estos procedimientos son herramientas, los cuales son estudios geológicos, con la capacidad de modelos de elevación y generar productos geométricos, y radiométricas las cuales permiten ser usados en el sector minero.

2.3.7. Bases de datos para Imágenes Satelitales

Menciona (INGEMMET, 2019) que existen diferentes sensores en los cuales las aplicaciones geológicas son usadas con Terra-Aster, Landsat TM, y ETM, donde se cuenta con imágenes que cubren la mayor parte del territorio peruano.

Según (SETINEL, 2019) es un centro de acopio de imágenes satelitales, donde está diseñada para académicos, como expertos en la manipulación de datos geoespaciales, donde se tiene técnicas de gestión en el acceso a documentación espacial. Esta documentación, se basa en fotos guiadas por satélites a través de un haz de antena de una banda, la cual tiene como misión crear en un corto tiempo el procesamiento de información del planeta tierra a través de una resolución obtenida como SAR (apertura del radar sintetizado), la cual tiene la longitud real de la antena. Los diferentes productos que ofrece esta empresa, pueden ser usado de manera académica (no experto) sin costo, y de manera especializada (experto).

2.3.8. Tipos de softwares que permiten procesar imágenes satelitales

Según (MappingGIS, 2019) existen nuevas técnicas las cuales permiten avanzar con el conocimiento, la cual son imágenes satelitales, en respuesta a los diferentes problemas de cambios climáticos que pueden ser afectadas por incendios forestales, control de caídas de agua, desborde

de aguas, entre otros. Estas aplicaciones se encuentran a Sentinel o MODIS y Landsat. Si bien, las herramientas más conocidas en el mercado son: E-foto, Grass GIS, gvSIG; Interimage, ILWIS Open, Optickis, ORFEO, OSSIM; PolSARPRO, QGIS, SAGA GIS, Semi-automatic classification, sentinel HUB QGIS, SOPI, Whitebox.

QGIS. Según (Q, 2019) menciona que el uso de procesadores de textos donde la aplicación SIG, se denota como información espacial la cual es sinónimo de Sistemas de información Geográfica, la cual su aplicación es en mapas digitales a través de necesidades para trabajar con información espacial. Las diferentes imágenes que pueden ser usadas para el tratamiento de enfermos, o patrones de enfermedades, puede ser analizadas con información SIG. Si bien, este programa es gratuito (software libre y código abierto), este permite tener una serie de configuraciones tales como Linux, Unix, Mac, OSX, Windows, Android, y otros. Esta particularidad a otros programas, es que se puede gestionar, editar y analizar una serie de características propias.

2.3.9. Sistema fotogramétrico con RPA

Fotogrametría

Según la Sociedad Internacional de Fotogrametría y Teledetección (ISPRS,2010) define a la fotogrametría como: “Photogrammetry and Remote Sensing is the art, science, and technology of obtaining reliable information from noncontact imaging and other sensor systems about Earth and its environment, and other physical objects and processes through recording, measuring, analyzing and representation”. [La fotogrametría y sensor a distancia es el arte, ciencia y tecnología de obtener información relevante de toma de imágenes sin contacto, de sistemas de sensores acerca de la tierra y de su ambiente, y de otros objetos físicos y procedimientos a través de grabaciones, mediciones, análisis y representaciones].

La Sociedad Americana de Fotogrametría y Teledetección – ASPRS (Thomson y Gruner,1980) de forma más actualizada y sólida, define como “la ciencia, arte y tecnología que obtiene información fiable de objetos y su entorno mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas y de datos obtenidos a partir de energía electromagnética radiante o de fenómenos magnéticos”.

Según el experto fotogramétrico H. Bonneval (1972) la define como “la técnica cuyo objeto es estudiar y definir con precisión la forma, dimensiones y posición en el espacio de un objeto cualquiera utilizando esencialmente medidas hechas sobre una o varias fotografías de ese objeto” (p. 22).

Para Jacinto S. y Teófilo S. (2011), la fotogrametría es un “conjunto de métodos y procedimientos mediante los cuales podemos deducir de la fotogrametría de un objeto, la forma y dimensiones del mismo” (p.9).

Según Corredor (2015), asegura que la fotogrametría es la técnica que permite establecer las dimensiones y posición de objetos en el espacio a partir de fotografías aéreas, lográndolo a partir de la intersección de dos o más fotos, obteniendo así modelos digitales de terreno que sirven para múltiples usos en la rama de la ingeniería.

De acuerdo a Coder (2013), considera que la fotogrametría nace a partir de la necesidad de información precisa, es por esto que la precisión de los parámetros internos de la cámara, como es el ajuste, se lo debe hacer por determinados métodos matemáticos, de igual forma la posición de la cámara en la toma de fotografías, siendo todo esto solventado tras la era digital que ha contribuido a la precisión de la fotogrametría aérea UAV.

La palabra fotogrametría (Photos Gramma Metron) etimológicamente proviene de tres palabras griegas: "photos" que significa luz, "gramma" que significa dibujo o escritura y "metrón" que significa medir, en conclusión, su traducción literal significa "la métrica de lo escrito con luz", por lo cual se puede definir como una ciencia que emplea fotografías como medio de información para la realización de medidas, contribuyendo a la elaboración de planos y mapas con mayor exactitud. Bannister, Raymond y Baker (2002) mencionan que "Se define como el método para determinar forma, tamaño y posición de objetos mediante fotografías tomadas con cámaras métricas, y, por tanto, es un método de medición indirecto, ya que se utiliza imágenes fotográficas y no los objetos mismos".

Para Jauregui (2010), "La fotogrametría es una disciplina que crea modelos en 3D a partir de imágenes 2D, para de esta manera obtener características geométricas de los objetos que representan, mediante el uso de relaciones matemáticas establecidas en la geometría proyectiva, y de la visión estereoscópica que posee en forma natural el ser humano. Ya que las imágenes de los objetos son obtenidas por medios fotográfica, la medición se realiza a distancia, sin que exista contacto físico con el objeto" (p.1).

2.3.10. Fundamento de la fotogrametría

La fotogrametría se basa en principios y procedimientos, donde consiste en proyectar en forma ortogonal sobre un plano de referencia, la imagen registrada en una fotografía, donde ha sido proyectada sobre el negativo mediante la proyección central. En fotogrametría se asume que la proyección central es perfecta, lo cual implica que: No existe desviación de los rayos de luz que atraviesan los lentes de la cámara, La imagen se proyecta sobre una superficie perfectamente plana, la relación matemática que relaciona el objeto y su imagen se conoce con el nombre de principio de colinealidad.

2.3.11. Aplicación de fotogrametría

Por su parte, la fotometría digital con elevaciones, tiene una serie de ventajas, ya que tiene en el mapa topográfica la infraestructura básica, donde equivale a un MDT, es decir, el desempeño de

la altimetría, zona donde mediante un conjunto de cotas, sigue una analogía cartográfica, donde se construye características morfológicas, sea a través de (pendiente, orientaciones), y la información auxiliar del terreno, a través de simulaciones de procesos físicos.

Si bien, las aplicaciones informáticas han tenido un protagonismo en la aplicación de lo digital (SIG), la información topográfica ha creado softwares, tipo SYMAP, o SYMAP. El proceso de información espacial se tiene en función a imágenes, donde el método es el caso de la fotogrametría digital:

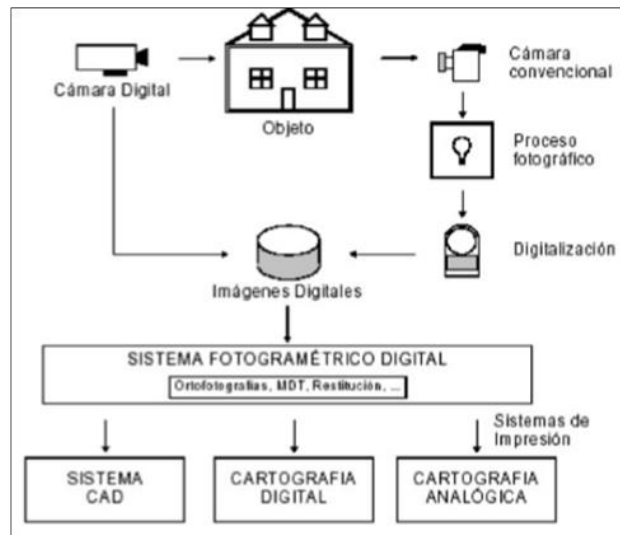


Figura 9. Proceso de obtención de información
Fuente: Dronersudio

Según (DRONERSTUDIO, 2019) dice que la planificación de vuelo requiere de fijar un objetivo, es decir ¿Cómo se resuelve el problema?, la cual pueden existir diferentes formas de crear un mapa NDVI, la cual debe sobre volar para crear un modelo 3D, la cual las imágenes deben estar a cargo de un cliente o usuario. Si bien, la localización es importante este se debe realizar con el objetivo cubierto, menor tiempo posible y cero incidencias de vuelo. Existen una serie de herramientas para planificar el vuelo, una de ellas, es el Google Earth, donde se centra en el mapa y en imágenes 3D de la tierra. También, se debe dentro del itinerario, considerar las zonas prohibidas donde no se pueden realizar los vuelos como las fotos. Al familiarizarse con la zona geográfica, este debe tenerse en cuenta el riesgo de perder el objetivo, sea a través del despegue como del aterrizaje. Si bien, el manual, menciona las condiciones en que este debe realizarse, el lugar es muy importante para el resto del vuelo.

2.3.12. Tipos de softwares que permiten el plan de vuelo

Menciona (ACG, 2017) que existe diferentes trabajos y de agricultura las cuales intervienen un dron con la capacidad de levantar información topográfica. Entre las más usadas son: Free flight, Breeze cam app, DJI Go, Pix4D capture, eMotion sensefly, GS, DJI GS Pro, Mission Planner,

Mdcockpit, UGCS de los cuales el Pix4Dcapture, es el que se va a usar debido a es compatible con las Phantom.

Según (DJI PRO, 2019) menciona DJI GS PRO que es una aplicación para misiones de vuelos automatizadas, las cuales administran los proyectos de fotogrametría para drones, teniendo como información clave, distancia, precisión, flujos de trabajo, misiones, configuración de altímetros, condiciones de vuelo, entre otros.

2.3.13. Tipos de softwares para procesamiento de Imágenes

Para el caso de (PIX4D, 2019) dice que este sistema permite desarrollar una serie de fotometría para mapeo de drones, la cual ayuda a científicos a enfrentar la crisis climática. Entre la versatilidad del programa, se encuentra a desarrollar opinión pública, construcción, educación, agricultura, seguridad pública, minería, entre otros.

Según (Agisoft, 2019) dice que es una plataforma de fotogrametría digital donde se procesa imágenes en 3D, teniendo como efecto visual la producción indirecta de objetos. La implementación ofrece un cálculo de los resultados en procesamiento y administración de la fotogrametría con varios tipos de calidades.

2.3.14. Precisión del levantamiento

Burill & Rodríguez (2008) afirman: Cualquier levantamiento está sujeto a errores, los cuales pueden ser inherentes a la medida por el método o instrumento utilizado (error accidental), pueden deberse a un error en el mismo sentido y constante para un periodo de tiempo (error sistemático) o estar motivados simplemente por una equivocación (error grosero). Además, conviene no confundir precisión y exactitud de un levantamiento. La precisión se puede entender como el número de cifras decimales con las que se representa una determinada magnitud. La exactitud es la fidelidad en la ejecución de una medida, es decir, la diferencia entre el valor medio y el valor real o valor verdadero de la magnitud medida. Por otra parte, las características de un documento Figura varían mucho según la utilización para la que se efectuó el levantamiento. Inclusive cuando se trata de documentos de una misma categoría, la escala de trabajo condiciona el detalle mínimo a representar y su precisión. No existe que una representación gráfica tiene generalmente una tolerancia establecida que no puede ser sobrepasada en el levantamiento en un determinado porcentaje (generalmente 90% de todos los elementos representados) (p.16).

2.3.15. Modelamiento hidráulico

Según (Felices, 2003), es una representación simplificada de un aspecto de la Naturaleza y, en muchos casos, de las obras construidas en ella. La construcción de modelos no sólo es un método admitido, sino que es el que ha permitido el progreso de la ciencia.

La unidad básica de información en un MDE (Modelo digital de elevaciones), en un punto acotado, con valores, en evidencias tanto en vertederos, canales, tuberías, y presas la cual en escala real se tienen construidas sobre un terreno geográfica.

La modelación matemática del flujo de agua en un río consiste en intentar conocer los valores que toman las variables hidráulicas (tirante hidráulico, velocidades, caudal, entre otros) a partir de la resolución por métodos numéricos de unas ecuaciones obtenidas con una serie de hipótesis. La modelación matemática es siempre una aproximación a la realidad, tanto mejor cuanto más se adapten las ecuaciones de partida y el esquema numérico para su resolución al fenómeno real que se está estudiando (Bernat, 2012).

Para (Cea, 2014) con la resolución por métodos numéricos de unas ecuaciones obtenidas con una serie de hipótesis, se puede modelar matemáticamente el flujo de un río y predecir los valores de las variables hidráulicas (calado, velocidad, caudal, entre otros).

El procedimiento tanto en el movimiento como en la dinámica del flujo se encuentra en el análisis dimensional, ya que se diseñan una estructura hidráulica, situación en que el prototipo, ya que, bajo condiciones normales, los problemas de conexión pueden presentar una serie de problemas, tanto en el diseño como factores de disipación de energía.

Los diseños que se presentan en un flujo de agua, se encuentran en la pérdida de cargas, como los métodos de capacidad hidráulica, tanto en la reducción de filtraciones como también en tramos del transporte en sedimentaciones. Las resoluciones de problemas se encuentran en las entradas tanto en los canales como en las tuberías, donde los métodos eficaces se encuentran en el cauce del río.

Los diferentes modelos que se elaboran se tienen en la regulación de ríos, los cuales las vicinidades de los huecos excavados pueden ser fundadas en estudios o modelos, donde el cálculo teórico puede aumentar o disminuir la precisión en función al diseño del flujo.

Si bien, el riesgo de un diseño en obra se puede tener en función a la cantidad de información que esta posea, al momento del levantamiento de información, la poca resistencia a vidas humanas, reduce la posibilidad de un sobredimensionamiento teniendo una optimización en el diseño de las obras hidráulicas.

Ahora existe los llamados modelos cuasi bidimensionales que resuelven las ecuaciones de Saint Venant en una dimensión y usan técnicas simplificadas para tener en cuenta la inundación de las llanuras adyacentes al cauce (Szymkiewicz, 2010)

El modelamiento unidimensional es el más usado en simulaciones de ríos y canales por su simplicidad al ingreso de datos y resultados que permiten saber los niveles a lo largo de un sistema fluvial o de canales y la distribución de caudales (Mamani, 2014)

2.3.16. HEC-RAS

Según (Grupo TYC, 2019) dice que el HEC-RAS es una plataforma que ayuda a determinar y conocer el caudal de un río, y cuál es el valor de caudal que tendrá, haciendo uso de una serie de preguntas: altímetro, altura, cantidad de inundación, extensión, entre otros. La pendiente o naturaleza que puede tener se encuentra en función a la cantidad de vegetación, obras, puentes, canalizaciones, entre otros. Si bien, este es un software gratuito, la mayoría de las administraciones exigen un impacto en la dinámica del cauce, el modelo hidráulico puede ser suficientemente fiable para el caso del HEC-RAS. El programa en su última versión tiene una serie de herramientas y utilidades para procesar datos geo referenciados, la recolección del cálculo hidráulico se realiza en ArcGIS, los mapas de inundación y riesgo es más preciso en la última versión.

En estos casos, todos los programas libres, ofrecen el mismo nivel de capacidad de cálculo, sin embargo, depende del usuario y su capacidad analítica para que pueda configurarlo y mejorar sus algoritmos para canalizar mejor la aplicación en el desarrollo de su proyecto.

El modelo HEC-HMS (Hydrologic Engineering Center - Hydrologic Modeling System) representa la parte hidrológica de los programas de la familia HEC desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del cuerpo de ingenieros de la armada de los Estados Unidos.

Está compuesta de técnicas hidráulicas, estadísticas y otras herramientas para la simulación de eventos. Así por ejemplo las pérdidas pueden ser calculadas por el método de Número de Curva, la fórmula Green y Ampt, entre otros; la función de transferencia (transformación de precipitación en escorrentía) puede ser lineal (hidrograma unitario sintético de Clark, Snyder o SCS) o no lineal (onda cinemática y Muskingum-Cunge); la función de tránsito en cursos de agua es calculada por Muskingum, onda cinemática, entre otros. (Bedoya, 2012)

El HEC-RAS tiene como objetivo calcular las elevaciones de las superficies de agua en cualquier punto o ubicación de interés, ya sea por un conjunto dado de datos de flujo (simulación de flujo permanente) o a través del tránsito de hidrogramas (simulación de flujo no permanente) (Velasquez, 2015)

Una hipótesis en la que se basan los cálculos del HEC RAS es que considera el flujo simulado como unidimensional, es decir, que la única componente de velocidad que se considera es la del componente de dirección del movimiento, despreciándose las direcciones verticales y transversales al movimiento. (Bladé, 2009)

El sistema HEC-RAS contiene tres componentes de análisis hidráulico unidimensional (Bladé, 2009), como se detalla a continuación.

Cálculo de perfil de la lámina de agua en régimen permanente gradualmente variado. Tiene la capacidad de simular un régimen lento, rápido y combinar ambos simultáneamente. HEC RAS usa el balance de energía entre dos secciones y las resuelve paso a paso por el método iterativo. Usa la fórmula de Manning para calcular las pérdidas de energía repartidas y utiliza por defecto coeficientes de pérdidas localizadas por expansión y contracción. HEC RAS, usa la ecuación de cantidad de movimiento para el caso de régimen rápidamente variado; régimen combinado rápido y lento (resalto hidráulico), hidráulica de puentes, así como para determinar perfiles lámina de agua cuando confluyen ríos.

HEC-RAS tiene un módulo que simula en régimen variable (no permanente) con versatilidad de cálculo. Además, cuenta con un módulo que estima el transporte de sedimentos para lechos móviles. En Solano et al. (2013) nos describe las siguientes capacidades para el software HEC-RAS:

- Análisis de Perfiles Múltiples.
- Determinación de la profundidad crítica para cada sección.
- Determinación de los parámetros hidráulicos en cada sección
- Opción de Flujo Efectivo: restringe el área de flujo.

Pérdidas en Puentes:

- Pérdidas por expansión y por contracción aguas arriba y abajo de la sección del puente.
- Pérdidas debido a la propia estructura: opción normal, especial y alcantarilla.
- Opciones de Protección de Márgenes.
- Opción de ecuaciones de pérdidas friccionales (pérdidas entre secciones).
- Pendiente friccional promedio.
- Pendiente friccional media geométrica.
- Mejoras en el canal.
- Interpolación de secciones.
- Perfiles de corrientes tributarias.
- Resolver para "n" de Manning.

- Opción partición del flujo (existe pérdida del caudal).
- Perfiles de Flujos bajo congelamiento.

2.4. Definición de términos básicos

Cartografía

Es la ciencia que determina la construcción de mapas georreferenciados la cual intervienen una serie de especialidades, la cual el procedimiento es básicamente Figura con la determinación geo espacial a escala (Ayala, 2018).

Estación

Es el terreno señalado con un instrumento de observación, la cual representa medidas topográficas o geodésicas (Ayala, 2018).

Geodesia

Es aquella, que tiene por objeto el estudio y la determinación en las dimensiones en la gravedad de la Tierra, a través de cuerpos celestes cercanos a ella (Ayala, 2018).

Georreferenciación

Referida a que, con el uso de coordenadas de mapa, asigna una ubicación espacial a entidades cartográficas (Ayala, 2018).

Método Absoluto basado en la lectura del Código

Es usado por navegadores sencillos, donde no tiene que calcular nada, el dispositivo se encarga de sintonizar la señal del satélite, ajustar el reloj, computar distancias, calcular posición (Ruales, 2018).

Método diferencial.

El uso del receptor móvil y estaciones de referencia con coordenadas conocidas o sistema DGPS, la diferencia entre las coordenadas conocidas y las calculadas mediante el sistema GPS dan el error, la corrección de datos se los puede realizar en el post proceso con ayuda de software especializado (Ruales, 2018).

ArcGIS

Sistema de Información Geográfica (SIG) de software con tecnología para plataformas (administrar, recopilar, organizar, analizar usando diferentes enfoques: GNU/Linux, Unix, MacOS, Microsoft Windows y Android).

DJI GS PRO

Es una aplicación diseñada para aplicaciones industriales incluyendo sectores muy diversos como Fotografía y vídeo aéreo, Arquitectura, Agricultura de precisión, Inspecciones eléctricas, Búsqueda y Rescate, Servicios de seguridad y muchos más ya que no se limita a los nombrados (Jiménez, 2017).

AGISOFT PHOTOSCAN

Es un tipo de *software* autónomo que realiza el procesamiento fotogramétrico de imágenes digitales y genera datos espaciales 3D (Costales, 2018).

HEC-RAS

(Hydrological Engineering Center – River Analysis System) es un programa de modelización hidráulica unidimensional compuesto por 4 tipos de análisis en ríos: Modelización de flujo en régimen permanente, modelización de flujo en régimen no permanente, modelización del transporte de sedimentos y análisis de calidad de aguas. Nos permite simular flujos en cauces naturales o canales artificiales para determinar el nivel del agua por lo que su objetivo principal es realizar estudios de inundabilidad y determinar las zonas inundables (Modelización Hidráulica, 2014).

Minitab

Es un programa estadístico que ayuda a detectar diferencias significativas entre grupos poblacionales, teniendo como principales herramientas las pruebas de hipótesis paramétricas y no paramétricas.

Satélite de imágenes SENTINEL

Es un satélite óptico que fue lanzado el 23 de junio de 2015 cuyo objetivo es obtener imágenes que ayudan a observar los cambios terrestres de la Tierra. Tiene un escáner multiespectral que permite obtener información en las dos longitudes de onda, visibles e infrarrojos, permitiendo monitorizar los cambios en la tierra y en la vegetación, así como vigilar a nivel mundial el cambio climático, con una resolución de 10m. Las imágenes están disponibles de manera gratuita y pueden ser utilizadas en un rango amplio de aplicaciones.

Capítulo III. Materiales y métodos

Según (Hernández, Fernández, & Baptista, 2003) la investigación se ajusta a una aplicada, debido a que buscamos implementar dos tecnologías para compararla. Este desarrollo, tiene como elemento diferenciador, que ambas tecnologías son de insumo para un modelamiento de datos, este simulador permite mejorar o empeorar los sistemas de inundación para los caseríos cercanos.

Según (Hernández, Fernández, & Baptista, 2003) la investigación se ajusta a una cuantitativa, no experimental, transaccional explicativa, ya que buscamos que cada experimento tenga una fase cuantitativa para obtener datos que sean estadísticamente trabajados a través de una base de datos, así mismo, no experimental, ya que no se manejan con dos poblaciones, sino con una sola toma, y transaccional porque se desea analizar en un momento el análisis de los resultados. Con respecto a que sea explicativa, se considera que este factor puede ayudar a tener como consecuencia una mejor o peor inundación, dependiendo del caudal que se tenga en el cauce del río.

El proceso de la investigación fue basado en tres etapas:

- a) Etapa de levantamiento de información. Se procedió a levantar información de la zona, como es el caso del diseño de cartografías y rutas de vuelo para el dron.
- b) Etapa de procesamiento y recolección de información. Se procedió a digitalizar la información como también, el pre procesamiento para la elaboración de las etapas de diseño y progresión de la información para la simulación de vuelo.
- c) Etapa de interpretación de resultados. Los resultados son mapas digitalizados, con la simulación de las áreas inundables, cuantificando la cantidad del caudal asignado.

3.1. Datos Generales

3.1.1. Población

Conformada por toda la micro cuenca Cansas. Esta aproximación, se encuentra provista desde el punto del tramo de la salida de la bocatoma, hasta la salida a la población rural más cercana.

En la zona de influencia en que se establece el estudio, se ha visto por conveniente, que la micro cuenca Cansas, se encuentra en una zona de bajo nivel de accesos, debido a las montañas que lo rodean. En ese sentido se considera dos técnicas en que pueden reducir los niveles de error para el modelamiento hidráulico, este es a través de las imágenes satelitales y con drones, con la finalidad de medir con cual herramienta puede ser usada por los ingenieros civiles. Si bien, la tecnología en ambos casos, es superior a otras herramientas que se usan convencionalmente, ambos niveles de medición, han logrado tener un protagonismo en el desarrollo de cuencas, principalmente, cuando estas poseen grandes extensiones. La capacidad de resolución que posea cada instrumento no puede ser medido, debido a la tecnología en que se desarrolle.

El argumento del mejor modelamiento, se encuentra en el caudal que tendrá este sistema hídrico hacia los centros poblados de La Tinguña, San Juan Bautista, Parcona, y caserío de Santa Bárbara. La extensión seleccionada tiene 220 hectáreas aproximadamente, de las cuales, la micro cuenca Cansas en total tiene 10,000 hectáreas.

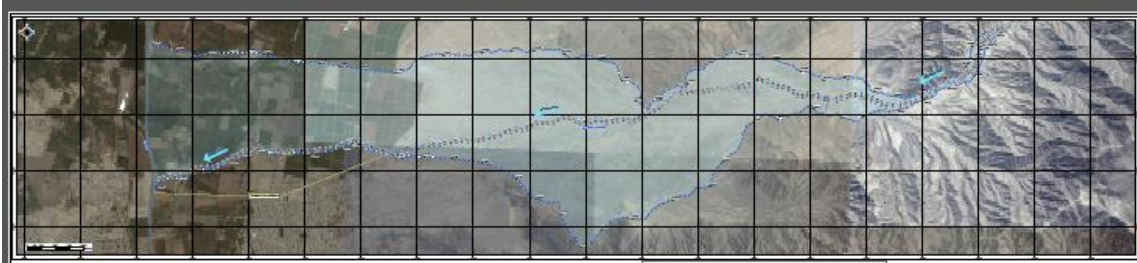


Figura 10. Delimitación de la micro cuenca Cansas

Fuente. Estudio hidrológico – ALA ICA

3.1.2. Muestra

Está conformada por el tramo de 2700 metros lineales que comprende las progresivas 6+500 a 3+800 de la quebrada Cansas que pertenece al centro poblado de la Tinguña.

3.1.3. Tipo de muestreo

El muestreo es no probabilístico, debido a que se realiza varias tomas satelitales, así como la toma del sistema fotogramétrico con RPA para la georreferenciación respectiva para los tramos de la micro cuenca Cansas.

3.2. Área de Estudio

La zona de estudio se encuentra ubicada en la microcuenca Cansas, con una superficie de 2.31 km². La microcuenca se caracteriza por tener un relieve montañoso, con un rango altitudinal que va desde los 467 hasta los 540 msnm y una pendiente de 2.59%. La zona de estudio involucra el 8% de la población del distrito de La Tinguña, y zonas dedicadas a la agro exportación.

3.2.1. Ubicación: Política, Geográfica e Hidrológica

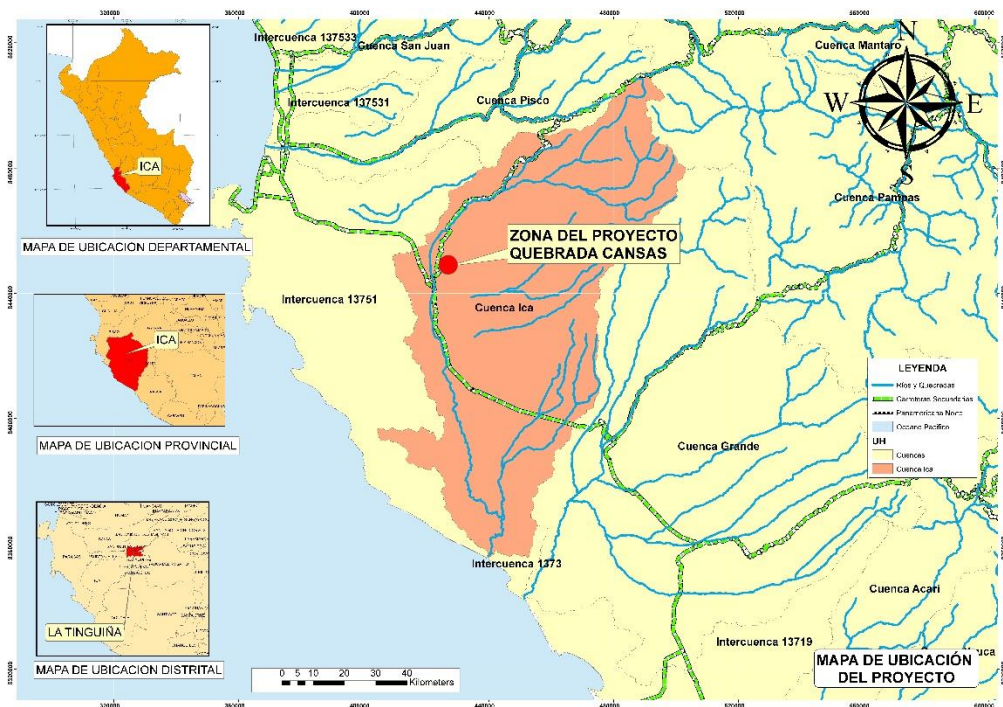


Figura 11. Ubicación hidrográfica de la Cuenca Ica

Fuente. Elaboración Propia

a) Ubicación Política

Región : Ica
 Provincia : Ica
 Distrito : La Tinguña

b) Ubicación Geográfica

Límite superior de la microcuenca Cansas

N 8°458,358

E 453,356

Cota 2900 msnm

Límite inferior de la microcuenca Cansas

N 8°449,369

E 425,448

Cota 480 msnm

c) Ubicación Hidrográfica

Región Hidrográfica : Nivel 1
 Vertiente : Océano Pacífico
 Unidad Hidrológica : Nivel 2, Código 13
 Cuenca : Ica
 Quebrada : Cansas

Autoridad

Autoridad Administrativa del Agua : Chaparra Chincha

Autoridad Locas de Aguas : Ica

3.2.2. Vías de acceso

Se parte del cercado de Ica (Plaza de armas) en dirección Este por la avenida Grau hacia el distrito de Parcona (Intersección con la Av. Armando Reborado (6.2 km) luego en dirección Norte hasta llegar al cruce con la quebrada Cansas / Chanchajalla (2.4 km) de este punto se gira al Este y se sigue el alineamiento de la trocha carrozable con dirección hacia la mina Cansas.

3.2.3. Clima

Precipitaciones

Las precipitaciones se presentan mayormente entre los meses de diciembre a abril, y en los restos de los meses son escasas. Por tanto, poseen dos periodos, uno húmedo de octubre a abril, y otra de estiaje de mayo a septiembre, con sus respectivos meses de transiciones. Para el periodo 1981 al 2016, se obtuvo una máxima de 273.05 mm (marzo 2001).

Temperatura

El comportamiento de la temperatura media presenta una variación térmica en forma mensual. Las temperaturas medias más bajas se producen en los meses de junio a agosto, mientras que las más elevadas se registran en los meses de diciembre a marzo.

Humedad Relativa

Se puede indicar que la Humedad relativa oscila entre 63% y 75% en promedio. Obteniéndose una humedad relativa promedio anual de 69%. Los mayores valores se registran en los meses de mayo a septiembre.

Velocidad del viento

La variación mensual de la velocidad del viento durante el año indica que los menores valores se registran en los meses de mayo a septiembre.

Evaporación

La variación mensual de la evaporación durante el año se verifica que los menores valores se registran en los meses de mayo a septiembre.

3.3. Topografía del área de Estudio

Las técnicas para determinar la topografía del área de estudio serán a través de los diferentes reportes de imágenes satelitales y sistema fotogramétrico con RPA. En el caso de imágenes tomadas con el sistema fotogramétrico con RPA se opta por utilizar el RPA “DJI Phantom 4 Pro”, ya que posee la mejor performance respecto al pilotaje y estabilidad en el vuelo. Para programar

los planes de vuelo a realizar se opta por el uso del software DJI GS PRO, puesto que al ser de la misma marca del RPA cuenta con un mejor performance y facilidad de uso. Y sobre el procesamiento de las imágenes tomadas se opta por usar el software Agisoft Photoscan V 1.5.0. Asimismo, en el caso de la recolección de imágenes satelitales, se optará por el uso de la base de datos de imágenes del satélite SENTINEL, ya que cuenta con una resolución de 30x30m por cada pixel en las imágenes a utilizar de la zona.

Al haber procesado la información de las imágenes por las dos técnicas mencionadas previamente, se procede a utilizar el software QGIS, el cual permite importar los MDT (Modelo digital del terreno) y además para realizar ciertas delimitaciones del área de estudio a modelar próximamente.

3.3.1. Topografía con Drone

El diagrama de la metodología de investigación, empieza a través del uso del *software* DJI GS PRO, la cual permite importar la delimitación del tramo de la quebrada a estudiar en formato KML. Asimismo, planificamos el número de vuelos necesarios, el número de baterías requeridas y el tiempo necesario para poder levantar la información. La altura de vuelo a preferir, es de 100 metros, obteniendo así un GSD (tamaño de pixel del suelo) de 2.73 cm/px.

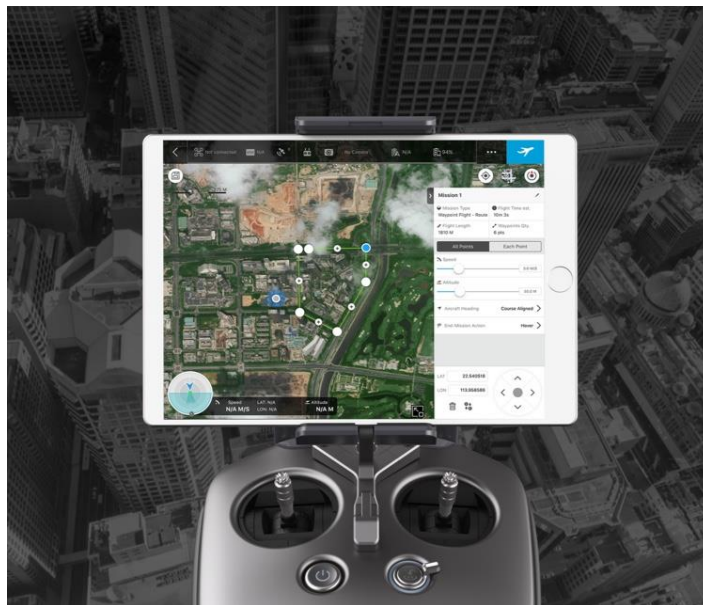


Figura 12. DJI GS PRO

Fuente. Página de DJI GS PRO

En la segunda etapa, se realiza la visita a campo para ubicar puntos geodésicos de orden “c” existentes que fueron monumentados en la zona de estudio. Seguidamente se inicia los vuelos ya planificados con el dron Phantom 4 pro para la toma de imágenes. Es entonces que se recopila la información en una tarjeta de memoria de alta capacidad, la cual esta insertada en el dron.

Para el caso del procesamiento de imágenes, se tiene distintos softwares, los cuales permiten encontrar la mayor precisión en el sistema de georreferenciación. Sin embargo, debido a precisión tanto en el levantamiento topografía, como en el desarrollo de vuelo.

A través de este *software*, se podrá ensamblar todas las imágenes tomadas con el drone y asignar los puntos de control para que quede perfectamente geo referenciadas y trabajar correctamente en un entorno SIG. Este mismo software nos permite exportar el modelo digital de elevaciones del área trabajado.

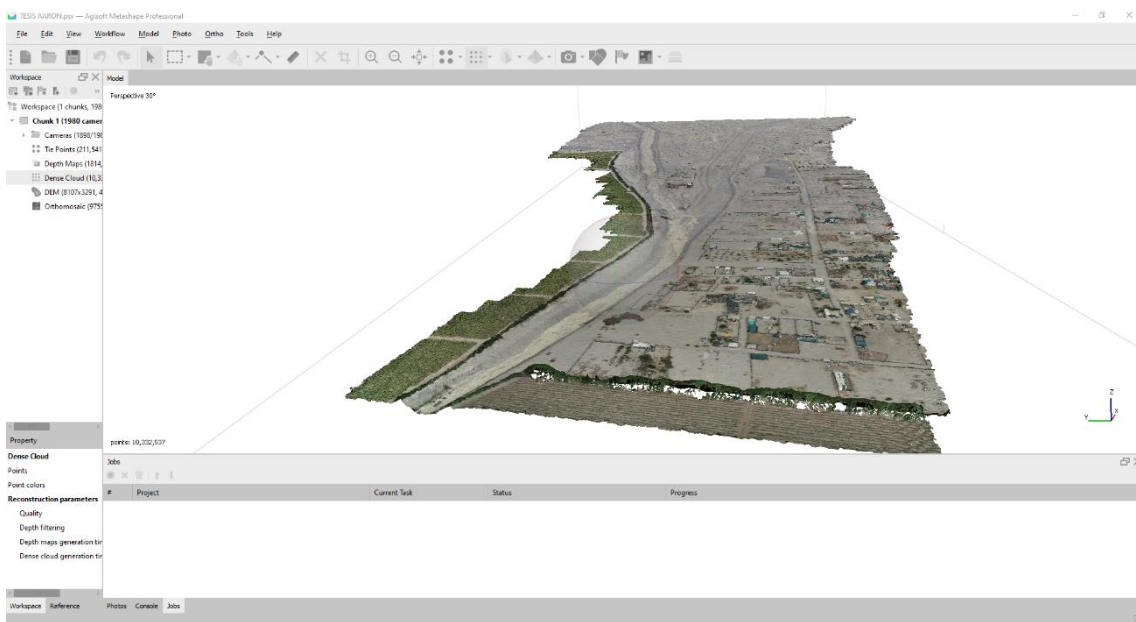


Figura 13. Metashape Agisoft 1.5

Fuente Propia

El software ArcGIS, permite importar el MDE obtenido en Agisoft Metashape para simular el terreno. De esta manera, se obtiene el seccionamiento del flujo a trabajar.

Respecto al ArcGIS, (Valdiviezo, 2019) donde la carga de trabajo se encuentra al momento de buscar información específica, donde se coloca las tablas de atributos a través de capas, la condición del constructor será a través de objetos espaciales, y el mapa.

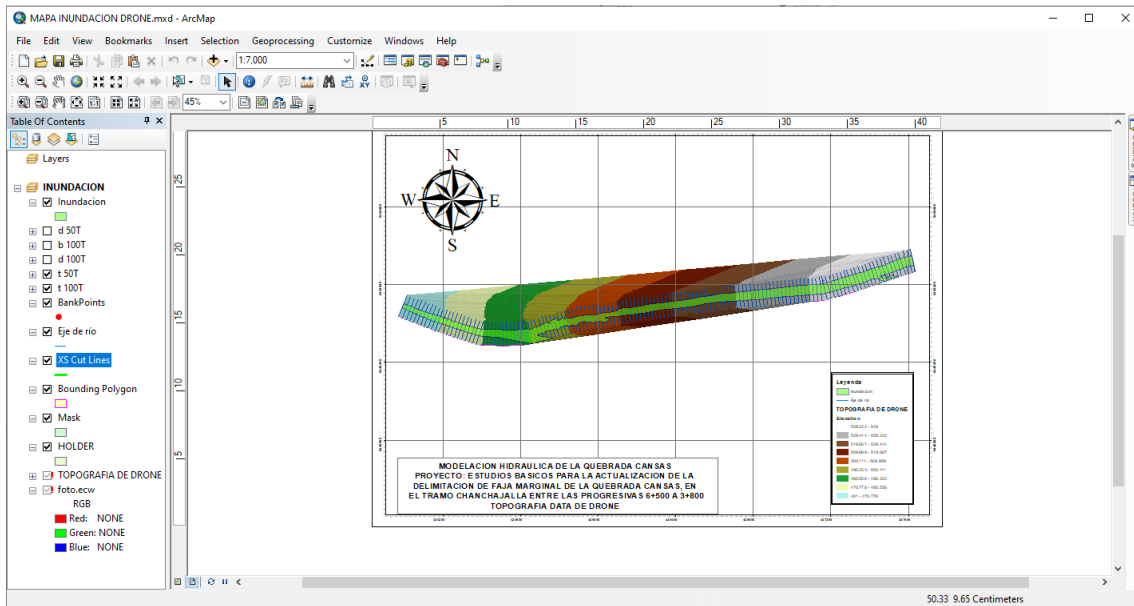


Figura 14. Área de trabajo - Software ArcGis

Fuente propia

El *software* HEC-RAS v5, muestra el modelamiento hidráulico de la quebrada haciendo uso de datos hidrológicos que nos brindarán los estudios realizados por ALA-ICA, que comprende el análisis de las precipitaciones diarias y mensuales que se obtuvieron de la data de Pisco (“Peruvian Interpolate data of the SENAMHI’s Climatological and hydrological Observations”). Se ejecuta entonces el modelamiento para la estimación de las áreas inundables.

Si bien (Díaz, 2012) menciona que el Hec Ras, es un paquete informático la cual permite crear el modelo hidráulico unidimensional (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), este simulador donde se tiene el flujo de agua se tiene en ríos y canales, con la finalidad de reducir el caudal donde se desborda el cauce o no, información que es muy útil para estudios de inundación. El programa trabaja con los caudales resultantes de HMS como información de partida y es capaz de generar modelos Figuras visibles en ArcGis. El flujo constante, el procedimiento de cálculo que usa HEC-RAS está basado en la resolución de la ecuación de energía unidimensional (las pérdidas de energía se evalúan por fricción y contracción/expansión). Para el flujo inestable, el programa trabaja con las ecuaciones de Saint Venant. Un proyecto en RAS tiene varias fases, una primera llamada pre - proceso para la cual es necesario instalar en ArcGis una extensión llamada HEC-GeoRas, una segunda donde los resultados de la primera y HMS se introducen en HEC-RAS y una tercera y última fase de exportación y visualización de resultados de nuevo en ArcGis.

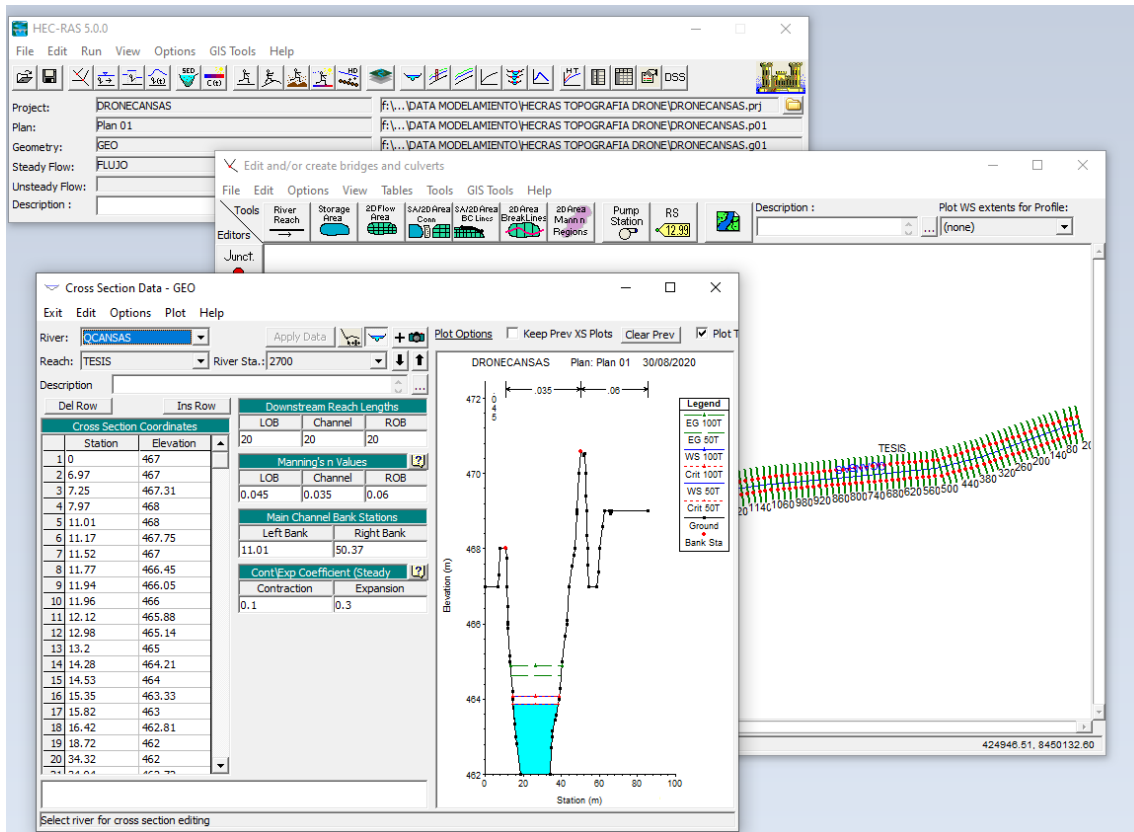


Figura 15. Software Hec-Ras

Fuente Propio.

Se efectuó el levantamiento topográfico mediante Fotogrametría con el uso de dron Phantom 4 pro. En un tramo de 2.7 km. Se generó la superficie de terreno mediante fotogrametría, para el post procesamiento de planos.

a) Puntos de control

Se presenta los siguientes puntos de control terrestre:

Tabla 2 *Coordenadas UTM - Puntos Geodésicos en Orden "C" ubicados en la zona*

ID	ESTE	NORTE	ELEVACION
ICA 01082	425050.714	8449432.325	470.061
ICA 01087	427499.086	8449055.148	531.689

Fuente: ESTUDIO TOPOGRAFICO – ALA ICA

b) Levantamiento topográfico

EJECUCION DEL VUELO

Se ejecutó el vuelo del tramo de la microcuenca Cansas, sumando un total de longitud de 2.7 km en un ancho entre 250-350 m a cada lado del eje.

La escala de fotografías es de 2.7 GSD (cm/pix)

El traslape longitudinal es de 70% y el traslape lateral es de 60%

Las fotografías se tomaron en condiciones climáticas favorables, en días de escaso porcentaje de nubes.

El vuelo fue realizado por piloto licenciado por la Dirección General de Aeronáutica Civil – DGAC del Ministerio de Transportes y Comunicaciones –MTC.

3.3.2. Topografía con Imágenes Satelitales

Se captura las imágenes satelitales, de la base de datos del satélite SENTINEL que cuenta con una resolución de 10x10 metros en un pixel para sus imágenes. De las cuales se exporta el modelo digital de elevaciones (MDE) en formato TIF. Se importa el MDE, al programa ARCGIS versión 10.3, para delimitar el flujo correspondiente al tramo seleccionado.

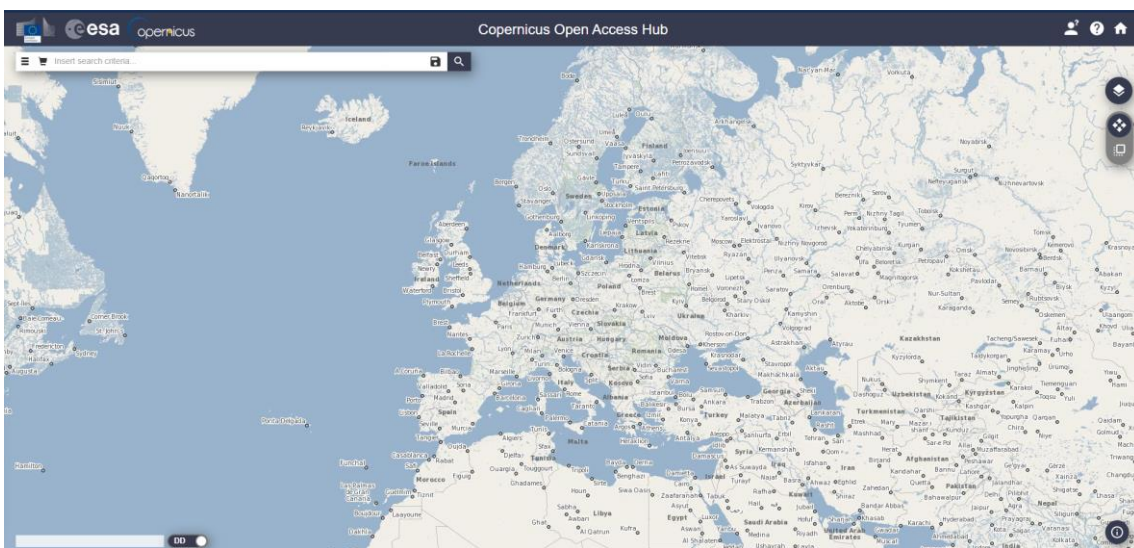


Figura 16. Plataforma “Scihub Copernicus” para la obtención de imágenes satelitales

Fuente. Propio.

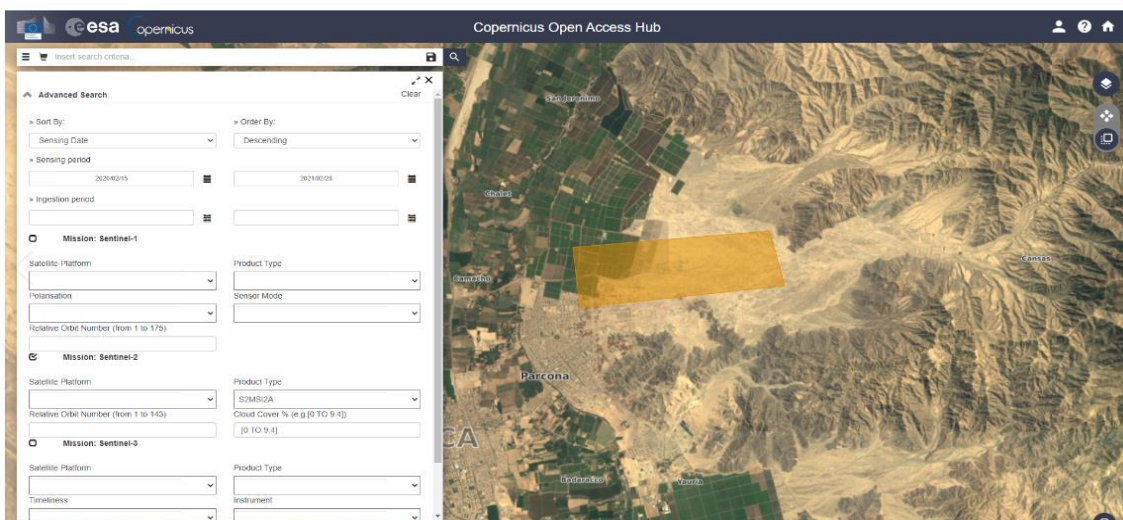


Figura 17. Delimitación del flujo

Fuente. Propio.

Luego se exporta el producto de ARCGIS al *software* HEC-RAS v5.0.7, para realizar el modelamiento hidráulico del flujo seleccionado. Para ello, se va a ingresar datos hidrológicos que nos brindarán los estudios realizados por ALA-ICA, luego se ejecutará el modelamiento para la estimación de las áreas inundables.

Se logrará obtener de este modo dos productos a través del modelamiento hidráulico en HEC-RAS: El área inundable de la zona estudiada utilizando imágenes satelitales y también el área inundable utilizando imágenes tomadas con el *drone*. Finalmente se podrá realizar un análisis de estos dos productos para determinar la precisión que se alcanza en el cálculo de área inundable por medio del modelamiento hidráulico.

3.4. Análisis de Máximas Avenidas

3.4.1. Selección del método para determinación de máximas avenidas

Para el cálculo de los caudales máximos extraordinarios de diseño existen diferentes metodologías, éstas están en función directa de los tipos de datos que se obtengan; los cuales tenemos: Método Estadístico (se cuenta con caudales anuales máximos históricos), Método Meteorológico (se cuenta con datos de Precipitación histórica) y Método Directo (cuando no se cuenta con ninguno de los datos mencionados); aclarando que se puede realizar una combinación de estos métodos de acuerdo a las condiciones y al criterio del evaluador.

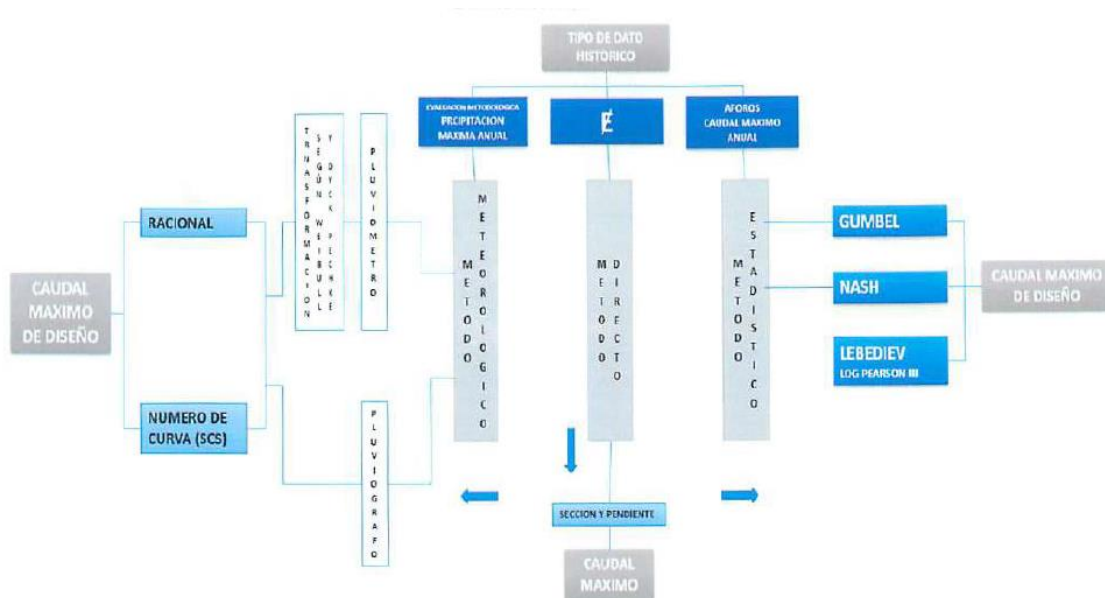


Figura 18. Metodologías para determinar el Caudal Máximo de diseño

Fuente. Propio.

MÉTODOS EMPÍRICOS

Para proyectar cualquier obra hidráulica es necesario el conocimiento de la magnitud y frecuencia de los caudales máximos. En la actualidad podrían ser usados diferentes métodos para la determinación de la descarga máxima del proyecto de una obra, abarcando las diversas posibilidades que se presentan para enfrentar el problema. En cada caso la metodología a ser usada dependerá, en gran parte, de la disponibilidad de información y de la experiencia del proyectista en el manejo de esta información

En el **ESTUDIO DE HIDROLOGÍA** se han empleado los métodos Hidrometeorológica y métodos empíricos, como el método racional, para estimar la máxima descarga del proyecto. Debido a la falta de pluviógrafo en las estaciones próximas al sitio de estudio, que permitan una determinación directa de las curvas de intensidad - duración - frecuencia, se trabajó sobre la base de registros de máximas precipitaciones diarias. Aunque existe un número importante de distribuciones de probabilidad empleadas en hidrología, son sólo unas cuantas las comúnmente utilizadas, debido a que los datos hidrológicos de diversos tipos han probado en repetidas ocasiones ajustarse satisfactoriamente a un cierto modelo teórico. Los caudales máximos horarios o diarios por lo común se ajustan bien a la distribución de valores extremos Tipo I o Gumbel, y a la Gamma incompleta. En el ESTUDIO HIDROLOGICO se empleó la distribución Gumbel.

Tabla 3 *Análisis de caudales máximos en 24 horas*

T (años)	Caudal (m ³ /s)
1000	15.768
200	11.415
100	9,759
50	8.223
25	6.36
10	5.062

Fuente: ESTUDIO HIDROLOGICO ALA-ICA

Determinación de caudales máximos

Con los valores de las series anuales de caudales máximos en 24 horas, correspondiente a diferentes períodos de retorno para las distribuciones seleccionadas; sobre cuya base se estimarán las descargas máximas para el diseño de las diferentes estructuras hidráulicas proyectadas.

- **Máximas Avenida uso del Método de Fuller**

Según la información del SENAMHI, los caudales máximos, son caudales máximos promedios diarios, vale decir, promedio de las lecturas diarias, y por lo tanto no son datos instantáneos, por

esta razón se convirtieron a caudales máximos instantáneos mediante la aplicación del Método de Fuller, que se fundamenta en función del área de la cuenca.

$$Q_{\text{max.inst}} = Q_{\text{max.pd}} \left(1 + \frac{2.66}{A^{0.3}} \right)$$

Dónde:

Q_{max inst}: Caudal máximo instantáneo

Q_{max pd}: Caudal máximo promedio

A: Área de la cuenca

Reemplazando el área de la cuenca húmeda se obtiene un factor de 1.56 aproximadamente.

Obteniéndose los siguientes caudales instantáneos como se observa en la siguiente tabla:

Tabla 4 *Caudales máximos de la distribución Gumbel. (en diferentes Periodos de Retorno)*

T (años)	Caudal (m3/s)
1000	24,60
200	17.81
100	15.22
50	12.83
25	9.92
10	7.90

Fuente: ESTUDIO HIDROLOGICO ALA-ICA

- **Caudal instantáneo por Método de Creager**

Debido a la escasez de información a nivel diario tal como caudales máximos diarios o precipitaciones máximas diarias para toda el área de estudio, se aplicó métodos regionales para encontrar valores de caudales máximos instantáneos como el método de la envolvente de Creager.

Se ha determinado el caudal máximo instantáneo de 139.92 m3/s para el periodo de retorno de 50 años y para un periodo de retorno de 100 años 164.71 m3/s, valores que deberán ser utilizados en el modelamiento hidráulico a fin de estimar la delimitación de la faja marginal. En el siguiente cuadro se presenta los caudales instantáneos para distintos periodos de retorno.

Tabla 5 *Caudal Instantáneo*

T (años)	Caudal Maximo (m3/s)
5	57.57
10	82.36
25	115.13
50	139.92
100	164.71
200	189.51
500	222.28

3.5. Modelamiento Hidráulico

En la modelación de inundaciones se puede utilizar diferentes metodologías, desde el uso de interpolación lineal (Apel y col., 2009) de registros de nivel en estaciones limnigráficas (0D) hasta la utilización de modelos enteramente hidrodinámicos, de una sola dimensionales (1D), de dos dimensiones (2D) e incluso de tres dimensiones (3D) (Pender y Néelz, 2007). La selección del modelo a utilizar depende de los requerimientos de información, las características del flujo, la escala y el tipo de aplicación específica. Hasta ahora los modelos 1D son los más usados, ya que tienen la ventaja de requerir poca información (secciones transversales, coeficiente de fricción), ser robustos y dar buenos resultados cuando el flujo ocurre alineado a lo largo del eje del cauce principal del río (Pender y Néelz, 2007; Vojinovic y col., 2011). En los últimos años los modelos 2D se están volviendo populares debido a la disponibilidad de mayor poder computacional e información (p.e. modelos de elevación digital basados en tecnología LiDAR) (Vojinovic y col., 2011).

La estimación de los caudales máximos de crecida se realizará empleando los resultados del estudio realizado por INDECI, que establecen caudales máximos para períodos de retorno de 10, 20 y 50 años en el punto de inicio del área de estudio. La simulación hidráulica de la microcuenca Cansas se realizará con el sistema HEC-RAS (US-ACE, 2008), el cual permite realizar el cómputo de flujo estacionario y flujo no estacionario. HEC-RAS es un modelo 1D aceptado por la FEMA para realizar el análisis de crecidas y la determinación de las zonas inundables (FEMA, 2012), siendo uno de los modelos más usados a nivel mundial en este tipo de aplicaciones (Casas y col., 2006; Mosquera-Machado y Ahmand, 2007; Smemoe y col., 2007; Farahi, 2009; Stoica y Iancu, 2010; Gilles y col., 2012). El componente de flujo estacionario permite calcular los perfiles de la lámina de agua de flujo gradualmente variado, el sistema puede manejar un tramo individual de un río o una red completa de canales.

El HEC-RAS, es un software integrado de métodos de análisis hidráulico, este software, permite realizar el cálculo unidimensional de flujo permanente y no permanente, cálculo de transporte de sedimentos de lechos móviles y análisis de calidad de agua. Es una aplicación que permite la modelación hidráulica en régimen permanente y no permanente de causas abiertos, ríos y canales artificiales; el procedimiento de energía, considerando pérdidas por fricción y evaluadas con ecuación de Manning.

El HEC-RAS, es capaz de ejecutar cálculos de perfil unidimensional de las superficies de agua de un flujo permanente y gradualmente variado, en canales naturales o artificiales. El programa calcula los perfiles de superficie de agua en régimen de flujo sub crítico, supercrítico y mixto.

Ecuación de la energía

Los perfiles de agua son calculados de una sección a la próxima resolviendo la ecuación de la energía usando un proceso iterativo denominado Método de Paso Estándar.

Se puede simplificar el flujo del agua en un cauce natural como unidimensional, es decir, la profundidad y velocidad sólo varían en la dirección longitudinal del canal, cuyo eje se supone aproximadamente una línea recta, la velocidad es constante en cualquier punto de una sección transversal

Si mantenemos la hipótesis metodológica de un flujo permanente, es decir que el caudal no varía con el tiempo, pero con una variación paulatina de la velocidad en el espacio, y por tanto del tirante, al no modificarse el caudal, el régimen recibe el nombre de gradualmente variado, y en él se produce una distribución hidrostática de las presiones. Los perfiles pueden analizarse considerando régimen Supercrítico y subcrítico. Para la estimación de velocidades y calados se suele aplicar el denominado método de paso estándar (Standard Step Method), que resuelve la ecuación dinámica del flujo gradualmente variado igualando la energía en dos secciones consecutivas mediante un procedimiento cíclico de aproximaciones sucesivas. Para ellos se empleó el modelo computacional HEC-RAS (River Analysis System; USACE).

El modelo HEC-RAS realiza los cálculos de niveles de agua utilizando la ecuación de la energía.

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H$$

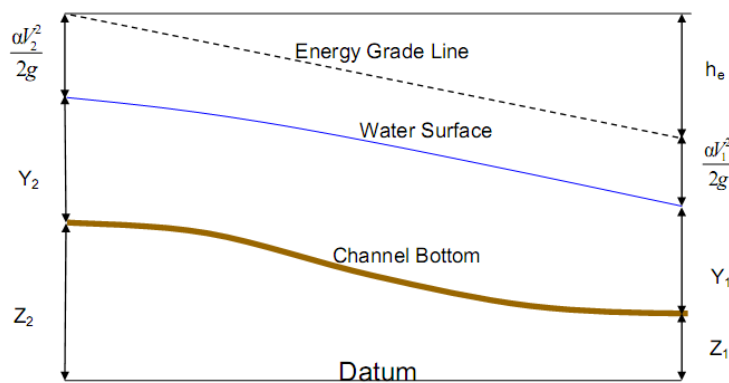


Figura 19. Representación del balance de energía.

Fuente: Manual de usuario HEC-RAS

Donde:

$Z_n + P_n/\gamma$ (m) : Nivel de la Superficie libre de agua en los extremos del tramo.

- V_n (m): Velocidad media en la sección mojada en los extremos del tramo.
- α_1, α_2 : Coeficiente de la no-uniformidad de distribución de las velocidades en la sección mojada.
- $g = 9.81 \text{ m}^3/\text{s}$ Aceleración por gravedad
- ΔH (m): Total, de pérdidas de energía en el tramo del curso de agua considerado en el cálculo, de una longitud L .

Asimismo, el modelo estima las pérdidas de energía (compuesta por las pérdidas por fricción y contracción entre dos secciones a través de la siguiente ecuación:

$$h_e = L\bar{S}_f + \frac{C}{2g}(a_2V_2^2 - a_1V_1^2)$$

Dónde:

- L = Distancia ponderada de la longitud del tramo.
- \bar{S}_f = Pendiente de fricción representativa entre dos secciones.
- C = Coeficiente de pérdida por contracción o expansión.

La determinación de la conducción total y el coeficiente de velocidad para una sección transversal requieren que el flujo sea subdividido en unidades para la cual la velocidad es uniformemente distribuida. El enfoque usado en HEC-RAS es subdividir el caudal en zonas de desbordamiento usando el input de los valores de las secciones transversales donde el valor de n cambia, como la base para la subdivisión.

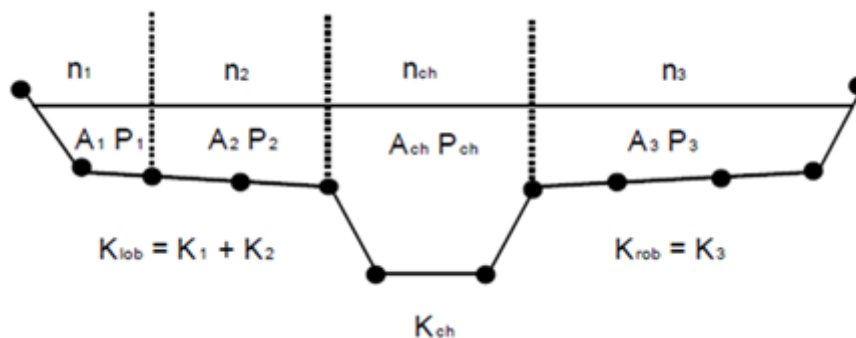


Figura 20. Enfoque de seccionamiento en HEC-RAS

Fuente: Manual de usuario HEC-RAS

La conducción es calculada dentro de cada subdivisión usando la fórmula de Manning:

$$Q = KS_f^{1/2}$$

con

$$K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3}$$

Dónde:

- n : es el coeficiente de rugosidad de Manning para la subdivisión
K, A : es el área de flujo para la sub división
K y R : es el radio hidráulico.

HEC-RAS suma todos los incrementos de conducción en los overbanks para obtener valores en la parte derecha e izquierda. En el canal principal el transporte de masa es normalmente calculado como un simple elemento de conducción. Finalmente, la conducción total se obtiene sumando la conducción de los overbanks en la derecha, izquierda y canal principal.

3.5.1. Metodología del modelamiento con HEC-RAS

La hidráulica fluvial permitirá calcular la llanura de inundación en ambas márgenes, para ello se empleará el modelo HEC-RAS, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos. Este modelo permite el análisis con flujo unidimensional permanente, cuasi - permanente y no permanente, para régimen mixto.

Trabajo previo en SIG (PRE-RAS)

Fue realizado con ArcGIS 10.3. En esta fase; se acondicionó la información geométrica del cauce, que consiste en definir los elementos de la quebrada

- Definición del eje de la quebrada, considerado el talweg, el ancho, las estructuras existentes, y las estrangulaciones naturales.
- Definición del borde del cauce, considerando el ancho estable y el ancho natural. La digitalización se hizo primero de la margen derecha, aguas arriba hacia aguas abajo.
- Definición del ancho del flujo de la llanura de inundación, considerando las características de la llanura inundable, como presencia de viviendas, cultivos, infraestructura de servicio, etc.
- Definición de las secciones transversales, considerando cada 20 metros, cuando fue necesario, se trazó en dimensiones menores, en la parte de curvatura.
- Topología y atributos al cauce de la quebrada.
- Topología y atributos a las secciones cauce de la quebrada.
- Creación de archivos de exportación para HEC-RAS 5.0.3

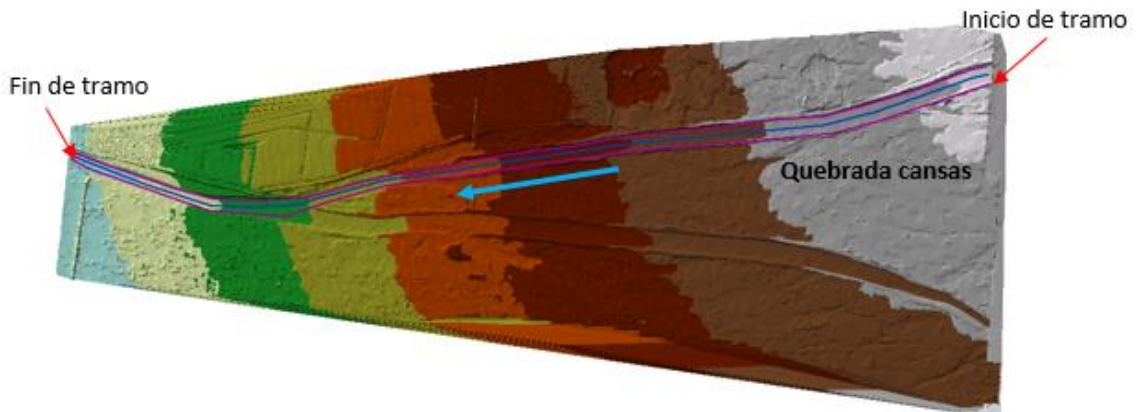


Figura 21. Acondicionamiento de la geometría del Sector Chanchajalla con la topografía del Drone

Fuente. Propio.

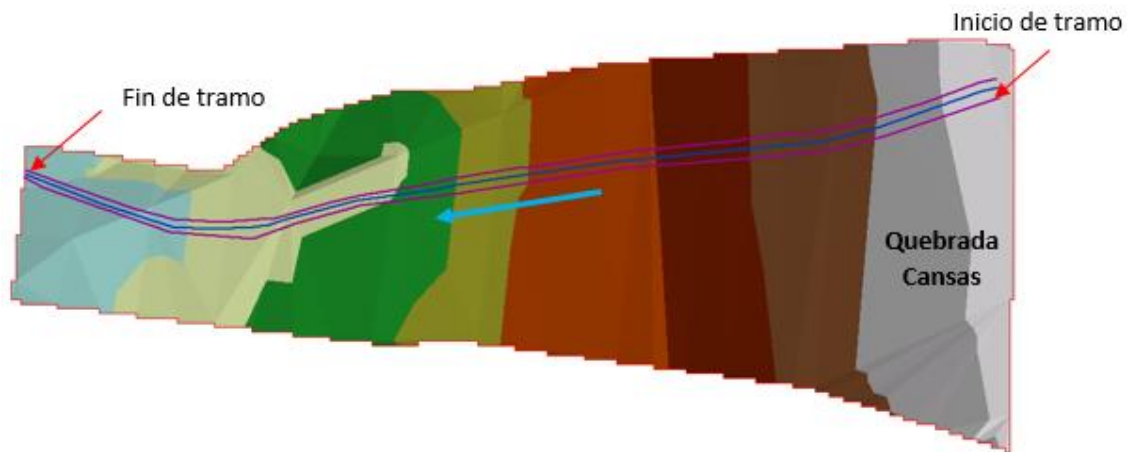


Figura 22. Acondicionamiento de la geometría del Sector Chanchajalla con la topografía de satélite.

Fuente. Propio.

Trabajo con HEC-RAS

Para la aplicación del modelo matemático se ha empleado el Sistema de Análisis de Ríos del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos HEC – RAS versión 5.0.3 y su aplicación en entorno GIS denominado HEC – GeoRAS.

Este software realiza cálculos hidráulicos de cursos naturales o artificiales en una dirección (unidimensional) y cuenta además con los procedimientos de cálculo para simular los efectos hidráulicos debido a estructuras hidráulicas. Puede manejar una red completa de canales, una localización singular en un río y es capaz de modelar perfiles en régimen subcrítico, Supercrítico o mixto.

En esta fase de la simulación se realiza los siguientes pasos:

- Importación de la geometría del SIG
- Introducción de parámetros faltantes

- Introducción de datos hidráulicos
- Realizar la corrida en flujo estacionario y régimen supercrítico
- Generación de un archivo de exportación para SIG

Post proceso con HEC-GEORAS

El HEC-GeoRAS 10 es una extensión para ArcGIS 10.03 desarrollada conjuntamente por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Army Corps of Engineers y el Environmental System Research Institute (ESRI). Básicamente es un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten bajo el entorno de los Sistemas de Información Geográfica (SIG), facilitar y complementar el trabajo con HEC-RAS.

HEC-GeoRAS crea un archivo para importar a HEC-RAS datos de geometría del terreno incluyendo cauce del río, secciones transversales, bordes de los ríos y el posible desplazamiento y amplitud del flujo del agua sobre el terreno.

- **Obtención del Modelo de la Red Triangulación Irregular (TIN)**

Para la obtención del TIN, es necesario contar con datos del levantamiento altimétrico, estas pueden estar en diversos formatos, como puntos, curvas de nivel y en formato texto con coordenadas y las altitudes, estas se convierten a un formato SIG, shape file, como se puede apreciar en adelante.

- **Elementos geométricos del río**

Una vez elaborado el TIN, se elabora los elementos geométricos del río, como el eje, los bordes, la dirección y amplitud de la simulación del flujo y los cortes trasversales (secciones transversales), estas son creadas, editadas y almacenadas en una geodatabase. En GeoRAS, se cuenta con un menú especial para la elaboración de toda la geometría del cauce del río en estudio,

- **Topología de los elementos geométricos**

La topología de los elementos geométricos de los ríos consiste en darle información a los elementos geográficos, la dirección del flujo, las longitudes de cada tramo, elevaciones, distancias entre secciones transversales, progresivas, relacionar los elementos una con otra, estas condiciones se almacenan en la geo database generada, en adelante se muestra el resultado correspondiente.

- **Exportación de data al Hec-Ras**

Finalmente se exporta la topología a un formato de XML, es un formato estándar, en la cual se escribe en lenguaje y procedimientos secuenciales las características, elementos y la topología construidos en los pasos precedentes.

En esta fase de la simulación se realiza los siguientes pasos:

- Importación del archivo generado en la fase de trabajo con HEC-RAS.

- Creación de ficheros vectoriales de Superficies que son ocupados por las secciones transversales.
- Creación de las zonas de inundación por cada tipo de caudal.
- Creación del fichero del calado y tirante.
- Creación del fichero de la velocidad del flujo.

Configuración del modelo Hec Ras

Para la simulación del comportamiento del flujo en el cauce con el HEC-RAS, es necesario configurar tres elementos principales, la primera es la geometría de río, la segunda es el tipo de flujo, tercero las condiciones de borde y por último se configura las corridas del software.

- Geometría del cauce – modelo digital MDT

Los datos geométricos básicos consisten en establecer la conexión del sistema fluvial (esquema del sistema fluvial); datos de la sección transversal; longitudes de tramo; coeficientes de pérdida de energía (pérdida por fricción, pérdidas por contracción y expansión) y la información de la confluencia de corrientes.

El esquema del sistema fluvial se requiere para ingresar los datos geométricos en el sistema HEC-RAS. El esquema se define como la conexión de varios tramos de un sistema fluvial, tales como: cauce principal, tributarios, entre otros; así como estableciendo un nombre convencional para referenciar todos los otros datos. El esquema del sistema fluvial se desarrolla dibujando y conectando varios tramos del sistema en el editor de datos geométricos. El esquema se define antes de ingresar cualquier otro dato.

En el presente estudio, la configuración de la geometría del cauce de la quebrada Cansas en el tramo de estudio se ha determinado utilizando el Hec-Ras, tal como se muestra en las figuras:

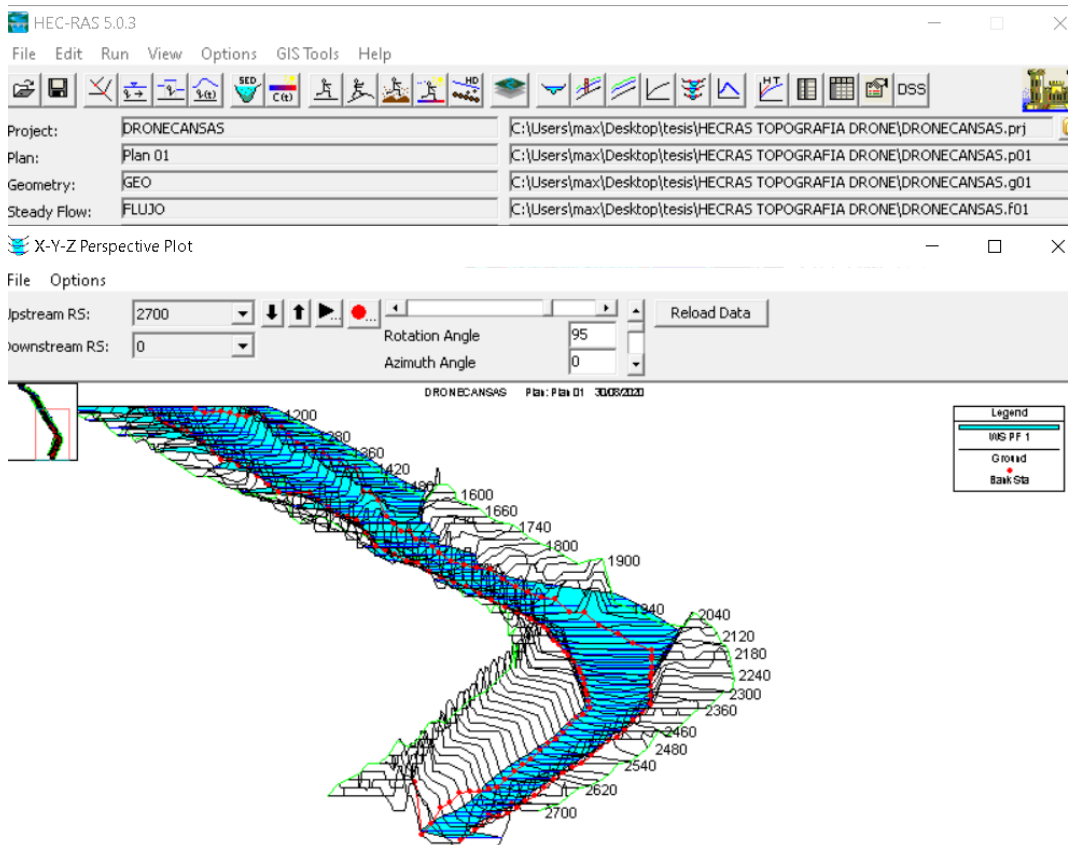


Figura 23. Simulación hidráulica con HEC RAS Qbda Cansas con data Topográfica de Drone.

Fuente. Propio.

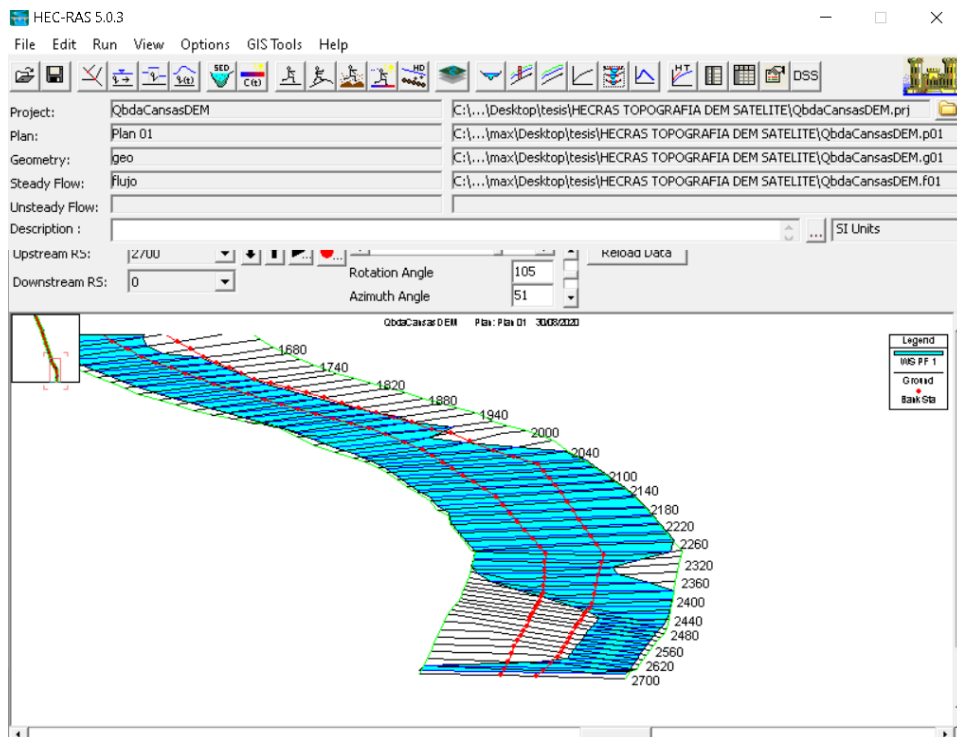


Figura 24. Simulación hidráulica con HEC RAS Qbda Cansas con data Topográfica de Satélite

Fuente. Propio.

En el tramo de estudio se tuvieron en cuenta lo siguiente:

Coefficiente de rugosidad

La elección del coeficiente de rugosidad ("n" de Manning), se realizó mediante la observación en campo de las características del cauce principal y de los márgenes derecha e izquierda, así como la comparación con estudios anteriores y tablas.

Tabla 6 Valores del coeficiente de rugosidad para cauces naturales.

Tipo de canal y descripción	Mínimo	Normal	Máximo
A. Cauces naturales			
1. Canales principales			
a. Limpio, recto, lleno, sin fisuras, fondo profundo	0.025	0.03	0.035
b. Igual al anterior, pero con algo de piedras y hierba	0.03	0.035	0.04
c. Limpio, sinuoso, poco profundo y bancos	0.033	0.04	0.045
d. Igual al anterior, pero con algo de hierba y piedras	0.035	0.045	0.05
e. Igual al anterior, niveles inferiores, más pendientes y secciones menos efectivas	0.04	0.048	0.055
f. Como el "d" pero mas piedras	0.045	0.05	0.06
g. Tramo lento, hierbas, fondo profundo	0.05	0.07	0.08
h. Tramo con mayor maleza, fondo profundo, o recorrido de crecidas con soporte de madera y arbustos bajos	0.07	0.1	0.15
2. Manera de inundación			
a. Pastura sin arbustos			
1. Pasto corto	0.025	0.03	0.035
2. Pasto alto	0.03	0.035	0.05
b. Áreas cultivadas			
1. Sin cultivo	0.02	0.03	0.04
2. Cultivo maduro alineado	0.025	0.035	0.045
3. Camo de cultivo maduro	0.03	0.04	0.05
c. Arbustos			
1. Arbustos escasos, mucha maleza,	0.035	0.05	0.07
2. Pequeños arbustos y árboles, en invierno	0.035	0.05	0.06
3. Pequeños arbustos y árboles, en verano	0.04	0.06	0.08
4. Arbustos mediano a denso, en invierno	0.045	0.07	0.11
5. Arbustos mediano a denso, en verano	0.07	0.1	0.16
d. Árboles			
1. Terreno despejado con tocones de árboles, sin brotes	0.03	0.04	0.05
2. Igual que el anterior, pero con muchos brotes	0.05	0.06	0.08
3. Soporte de madera, algunos árboles caídos, pequeño crecimiento inferior, flujo por debajo de las ramas	0.08	0.1	0.12
4. Igual al anterior, pero con flujo por encima de las ramas	0.1	0.12	0.16
5. Sauces densos, en verano, rectos	0.11	0.15	0.2
3. Cauces de montaña, sin vegetación en el canal, márgenes usualmente empinados, con árboles y arbustos sobre márgenes submergidos			
a. Fondo: grava, guijarros, y algo de cantos rodados	0.03	0.04	0.05
b. Fondo: guijarros con mucho canto rodado	0.04	0.06	0.07

Fuente: HEC RAS

Finalmente, para el tramo iniciando en el sector Chanchajalla en las progresivas 6+500 a 3+800 de la quebrada Cansas, se obtuvo el coeficiente de rugosidad de Manning "n" para el cauce principal de 0.035, margen derecha 0.045 y en la margen izquierda 0.060

Coefficientes de contracción y expansión

La contracción o expansión del flujo debido a variaciones en la sección transversal es una causa común de pérdidas de energía de un tramo (entre dos secciones transversales). En la ocurrencia de éstas, los coeficientes se multiplican por la diferencia absoluta de las cargas de velocidad entre las secciones transversales para obtener la pérdida de energía resultante de la transición. En caso

de que la variación de la sección transversal en el río sea pequeña y el flujo es subcrítico, los coeficientes de contracción y expansión se encuentran típicamente en el orden de 0.10 y 0.30 respectivamente. Cuando el cambio de área efectiva de la sección transversal es abrupto como en el caso de los puentes, los coeficientes de contracción y expansión de 0.30 y 0.50 se usan generalmente. En algunas ocasiones los coeficientes de contracción y expansión cerca de puentes y alcantarillas pueden ser tan altos como 0.60 y 0.80, respectivamente. Estos valores pueden variar con la variación de la sección transversal. El valor máximo para el coeficiente de contracción y expansión es 1.0. Los valores típicos de coeficientes de contracción y expansión, para flujo subcrítico, se muestra en el siguiente cuadro.

Tabla 7 *Coefficientes de contracción y expansión para flujo subcrítico.*

TIPOS DE TRANSICION	COEFICIENTES	
	CONTRACCION	EXPANSION
Sin pérdidas de transición	0	0
Transiciones graduales	0.1	0.3
secciones de puente	0.3	0.5
transiciones abruptas	0.6	0.8

Fuente: Ven Te Chow (1995) "Hidráulica de Canales Abiertos" e Hydraulic Reference Manual del HEC-RAS

En el presente estudio, según la información de campo el tramo de estudio, las contracciones y expansiones del cauce por el cambio de la sección, son de forma uniforme y según el cuadro anterior el coeficiente de contracción y el coeficiente de expansión sería nulo.

Plan de simulación

Con fines de un modelamiento más robusto se ha seccionado el cauce cada 20 metros; para un flujo estacionario y régimen supercrítico, ya que la pendiente del terreno llega hasta un 2%, lo que indica que es una pendiente crítica.

Cabe señalar que el modelo de HEC-RAS al momento de importar las secciones tiene el detalle de que las suele tomar en orden inverso con respecto de su enumeración, por lo que se debe tomar en cuenta este detalle al momento de ubicar los parámetros hidráulicos para cada sección.

Los resultados de las simulaciones realizadas, consistente en la descripción de valores promedios y máximos obtenidos para el tirante, velocidad de diseño, número de Froude y esfuerzos, corresponde a las avenidas de 50 y 100 años de tiempo de retorno.

Cotización de instrumentos

Debido a que se comparan ambos sistemas de trabajo, se ha presupuestado los costos relativos con cada uno de ellos (teniendo en cuenta tres días de alquiler del *drone*):

Tabla 8. *Comparación de costos entre ambas herramientas*

CONCEPTOS	DRONE	SATELITE
MOVILIZACIÓN	1000	0
DRONE PHANTOM 4 PRO	900	0
GPS DIFERENCIAL	0	0
PC DEDICADA	5000	3000
LICENCIA DE ARCGIS	507	507
LICENCIA DE AGISOFT METASHAPE	662.3	0
LICENCIA HEC RAS V.5	0	0
Total	8,069.3	3,507

Nota. Propio.

Por este motivo, se ha podido demostrar que el costo promedio de ambas herramientas tiene un presupuesto de 130% por la contratación del Drone frente al satélite.

Capítulo IV. Resultados y Discusión

4.1. Análisis de Resultado

Hipótesis general

Ho. Según la evaluación realizada al análisis comparativo técnico-financiero del área inundable no existe diferencia al usar el modelamiento hidráulico en base al uso de imágenes satelitales y el sistema fotogramétrico con RPA en la micro cuenca Cansas, provincia de Ica, 2020.

Ha. Según la evaluación realizada al análisis comparativo técnico-financiero del área inundable existe diferencia al usar el modelamiento hidráulico en base al uso de imágenes satelitales y el sistema fotogramétrico con RPA en la micro cuenca Cansas, provincia de Ica, 2020.

Según el Ministerio de Economía y Finanzas (2012) en la guía simplificada identificada, formulación y evaluación social de proyectos de protección de unidades productoras de bienes y servicios públicos frente a inundaciones, existen una serie de beneficios y costos en la unidad productora de servicios. Según este informe menciona que existen costos sociales de precios privados que no refleja una eficiencia económica debido a distorsiones en el mercado, y por la presencia de impuestos que pueden corregir los costos de un proyecto. En ese sentido, los costos sociales se encuentran asociado a:

$$\text{Costo social} = \text{costo a precios privados} \times \text{factor de corrección}$$

Debido a ello, se simplifica el proceso del cálculo a factores de corrección que se indican de la siguiente forma:

Inversiones. Son los costos de los componentes de inversión de precios del mercado, donde en la práctica son usados como factor de corrección en 0,85, tomado de (Marulanda, 2018).

Costos de mantenimiento. El efecto de ajuste promedio de **0.85** para convertir el costo incremental.

Cuando se considera un perfil de beneficios y costos, los efectos directos e indirectos en el servicio de daños a las unidades productoras pueden ser proporcionales en función a las unidades.

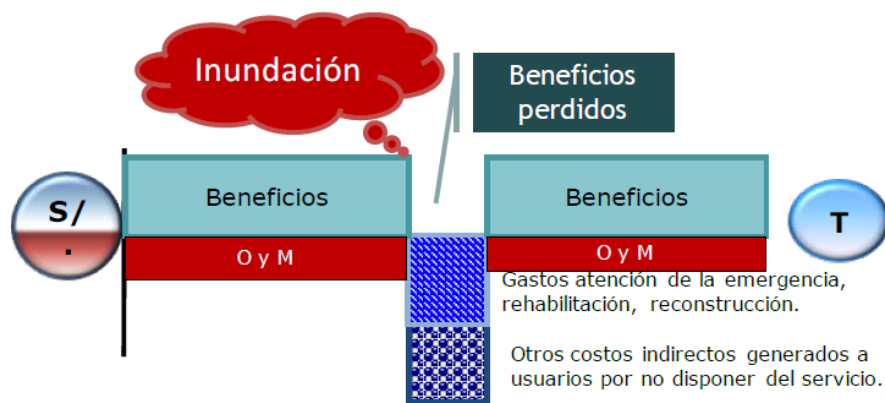


Figura 25. Perfil de beneficiarios y costos en una unidad productora de servicio

Fuente. Propia.

Por este motivo, los beneficios de los bienes y servicios de los servicios públicos y privados se interrumpen de la siguiente forma:

Flujos incrementales de beneficios y costos sociales en la situación "con proyecto"

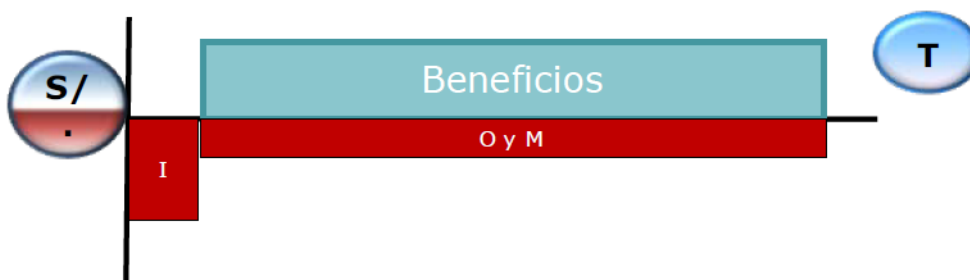


Figura 26. Flujos incrementales de beneficios y costos sociales en la situación con proyecto

Fuente. Propia.

Por este motivo, las inversiones en medidas de protección (costos de operación y mantenimiento), se tiene con la siguiente proporción:

Según la simulación generada en Hec-ras, usando la topografía generada a partir de los drones y para un periodo de retorno de 50 años, se obtiene un valor de pérdida de 2,609,122 soles (se usa una serie de activos, como infraestructura de la zona de Tinguña, para valorizar con precios promedios la reconstrucción de las materias pérdidas). Donde se aprecia que la inundación simulada puede malograr algunas vías, casas y chacras, así como servicios de energía, agua potable y desagüe. Para el caso de las vías de acceso, es básicamente la reparación de vía por metro cuadrado.

Tabla 9. *Estimación de las pérdidas ocasionadas por la inundación (soles) con drone*

Materia	Área inundada (m2)	Precio (S/.)	Factor de corrección	de	Valor bruto
Vías de acceso	2,700	965,0 (*)	0.85		S/2,214,675
Casas	1,183	345,0 (*)	0.85		S/346,915
Chacras	4,660	12,0 (*)	0.85		S/47,532
Servicios de energía	0.0	0.0	0.85		S/ -
Agua potable	0.0	0.0	0.85		S/ -
Desagüe	0.0	0.0	0.0		S/ -
Total	0.0	0.0	0.0		S/. 2,609,122

Fuente. Propio. (*) Información de la Municipalidad de Tinguña

Por otro lado, las pérdidas monetarias que genera la simulación de inundaciones a partir de la topografía generada por imágenes satelitales, y para el mismo periodo de retorno (50 años), dan un valor de 37,058,338 soles.

Tabla 10. *Estimación de las pérdidas ocasionadas por la inundación (soles) con satélite*

Materia	Área inundada (m2)	Precio (S/.)	Factor de corrección	de	Valor bruto
Vías de acceso	38,089	965,0 (*)	0.85		S/31,242,502
Casas	19,728	345,0 (*)	0.85		S/5,785,236
Chacras	3,000	12,0 (*)	0.85		S/30,600
Servicios de energía	0.0	0.0	0.85		S/ -
Agua potable	0.0	0.0	0.85		S/ -
Desagüe	0.0	0.0	0.00		S/ -
Total	0.0	0.0	0.00		S/. 37,058,338

Fuente. Propio. (*) Información de la Municipalidad de Tinguña

Se estima dos presupuestos de estimación de pérdida, que se encuentran en función a las dimensiones materiales que pueden perderse, debido a la simulación de información que incurre en el escenario donde ambas simulaciones pronostican áreas inundables, pero pueden tener cambios significativos en el orden del beneficio:

El beneficio / costo sería de: $\frac{37,058,338 - 2,609,122}{37,058,338} = \frac{34,449,216}{37,058,338} = 93.0\%$, por ello, la eficiencia de medir correctamente el análisis técnico-financiero es 93%.

Hipótesis específica 1

Ho. No existe diferencia entre la topografía del área de estudio a través del uso de imágenes satelitales y el sistema fotogramétrico con RPA en un tramo de 2.7 km de la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.

Ha. Existe diferencia en la topografía del área de estudio a través del uso de imágenes satelitales y el sistema fotogramétrico con RPA en un tramo de 2.7 km de la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.

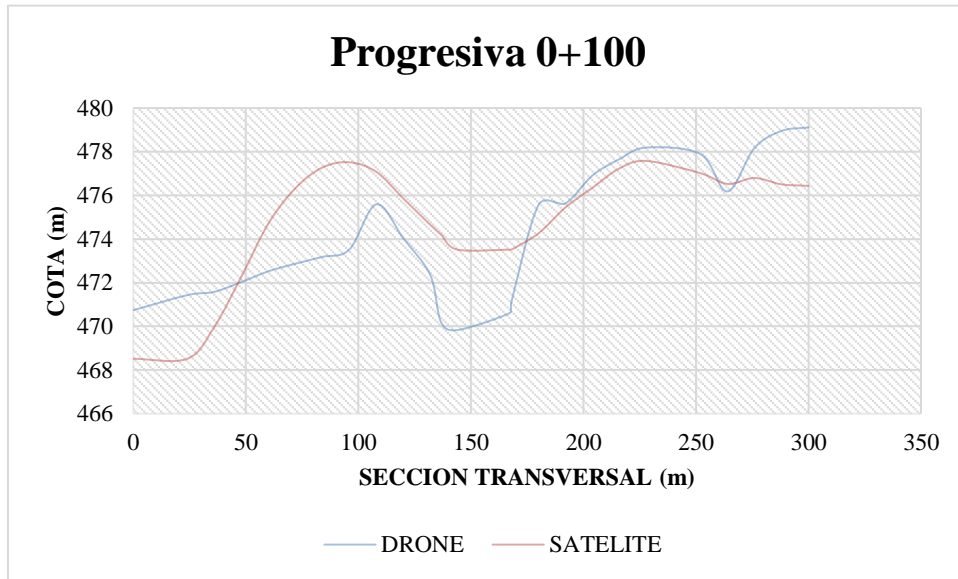


Figura 27. Progresiva comparativa entre Drone y Satélite

Alpha=0.05

Luego que se procedió a revisar las secciones transversales de los resultados de las topografías con el drone y el satélite, estos resultados fueron tomado cada 50 metros, para identificar las diferencias significativas. Basándose en esta información, se procedió a demostrar las diferencias significativas, utilizando el programa Minitab, con la técnica de Leven y comparaciones múltiples, donde se obtuvo los siguientes resultados:

Cálculos:

Method

Null hypothesis All variances are equal
Alternative hypothesis At least one variance is different
Significance level $\alpha = 0.05$

95% Bonferroni Confidence Intervals for Standard Deviations

Sample	N	StDev	CI
altu_drones	3755	20.4732	(20.1238; 20.8411)
altu_satelite	3705	20.2429	(19.9010; 20.6032)

Individual confidence level = 97.5%

Method	Test	
	Statistic	P-Value
Multiple comparisons	—	0.304
Levene	0.46	0.499

Decisión. Se acepta H_0 . (P value = .49 > 0.05)

Conclusiones. Existe información al 95% de confianza para afirmar que no existen diferencias significativas entre la altura de los drones como también de los resultados de los satélites. A continuación, se muestra la gráfica de *box plot* demostrando que no existe diferencias significativas:

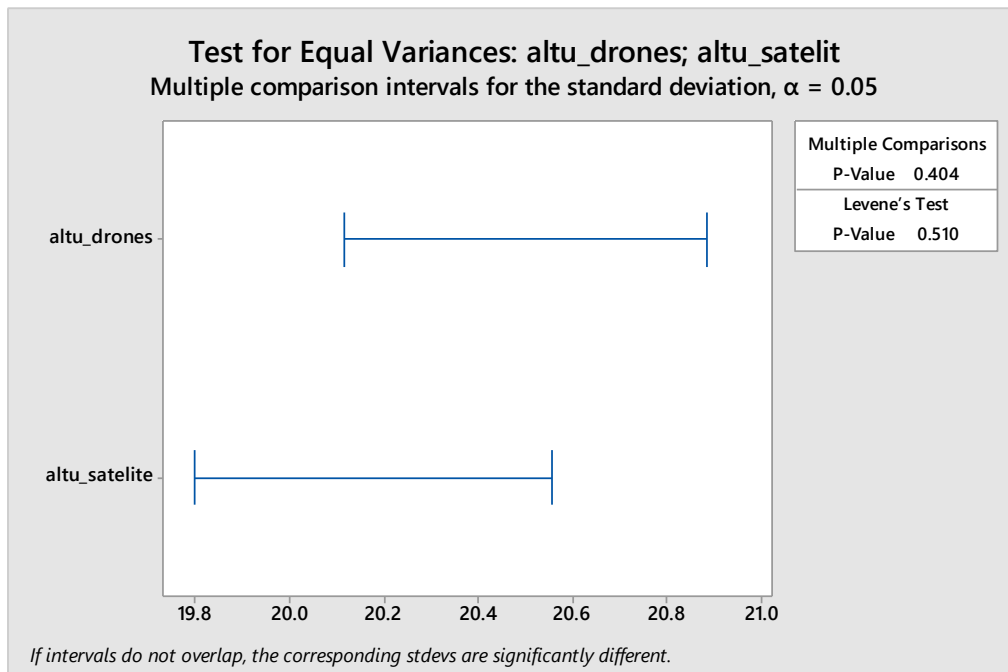


Figura 28. Intervalo de confianza para la altura de secciones transversales de drones y satélites

Fuente. Propio.

Sin embargo, es importante mencionar que cuando se desarrollan proyectos de ingeniería, los programas de simulación, son muy sensibles para detectar zonas inundables.

Hipótesis específica 2

Ho. No existe diferencia entre el modelamiento hidráulico basado en la topografía de imágenes satelitales y sistema fotogramétrico con RPA para un periodo de retorno de 50 a 100 años, en un tramo de 2.7 km de la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.

Ha. Existe diferencia entre el modelamiento hidráulico basado en la topografía de imágenes satelitales y sistema fotogramétrico con RPA para un periodo de retorno de 50 a 100 años, en un tramo de 2.7 km de la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.

Los resultados de las simulaciones realizadas, consistente en la descripción de valores promedios y máximos obtenidos para el **tirante, velocidad de diseño, número de Froude y esfuerzos**, corresponde a las avenidas de 50 y 100 años de tiempo de retorno.

a) Tirante máximo

En el cuadro siguiente, se muestra los valores promedios y máximos de niveles de agua (en metros) para el periodo de retorno seleccionado.

Tabla 11. *Niveles máximos de tirantes o calados con topografía de Drone*

Periodo de retorno	Tramo	Tirante (m)	
		Promedio	Máximo
100 años	Qbda Cansas	1.48	2.56
50 años	Qbda Cansas	1.35	2.47

Fuente propia

Tabla 12. *Niveles máximos de tirantes o calados con topografía de Satélite*

Periodo de retorno	Tramo	Tirante (m)	
		Promedio	Máximo
100 años	Qbda Cansas	1.16	2.21
50 años	Qbda Cansas	1.08	2.07

Fuente propia

Las secciones de la quebrada se han obtenido por medio de la importación del archivo de salida del Hec-GeoRas con estaciones de control hacia aguas arriba para cada tramo y el seccionamiento cada 20 metros para una simulación más robusta.

b) Velocidad de flujo máximo

En el cuadro siguiente, se indica la velocidad promedio y máxima (m/s) para un caudal de periodo de retorno de 50 y 100 años.

Tabla 13. *Velocidades del flujo con topografía de Drone*

Periodo de retorno	Tramo	Velocidad (m/s)	
		Promedio	Máximo
100 años	Qbda Cansas	3.32	4.05
50 años	Qbda Cansas	3.17	3.88

Fuente propia

Tabla 14. *Velocidades del flujo con topografía de Satélite*

Periodo de retorno	Tramo	Velocidad (m/s)	
		Promedio	Máximo
100 años	Qbda Cansas	2.66	3.84
50 años	Qbda Cansas	2.49	3.61

Fuente propia

Se puede observar como la velocidad de flujo es mayor en la modelación hidráulica con data de Drones, ya que, en esta, el terreno tiene mayor aproximación a la realidad, lo que ocasiona que el flujo de agua no se vea interrumpido por cambios de terreno.

c. Número de Froude

En el cuadro siguiente, se indica el número de Froude para el periodo de retorno.

Tabla 15. *Número de Froude con topografía de Drone*

Periodo de retorno	Tramo	N° de Froude	
		Promedio	Máximo
100 años	Qbda Cansas	0.99	1.13
50 años	Qbda Cansas	0.99	1.12

Fuente propia

Tabla 16. *Número de Froude con topografía de Satélite*

Periodo de retorno	Tramo	N° de Froude	
		Promedio	Máximo
100 años	Qbda Cansas	1.08	1.32
50 años	Qbda Cansas	1.07	1.33

Fuente propia

Los tirantes máximos, velocidades y número de Froude, corresponden a los valores promedio y máximo para el sector CHANHAJALLA en estudio, se puede observar que para ambos casos

el valor del número de Froude es supercrítico, por lo que el flujo de agua será turbulento.

Tabla 17. Comparación de Secciones Transversales para la Topografía con Drone y Satélite

Progresiva	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Espejo de Agua (m)	Froude # Chl	Tirante (m)
0+700	139.9	528	529.44	529.44	529.92	0.01263	3.06	45.71	48.73	1.01	1.44

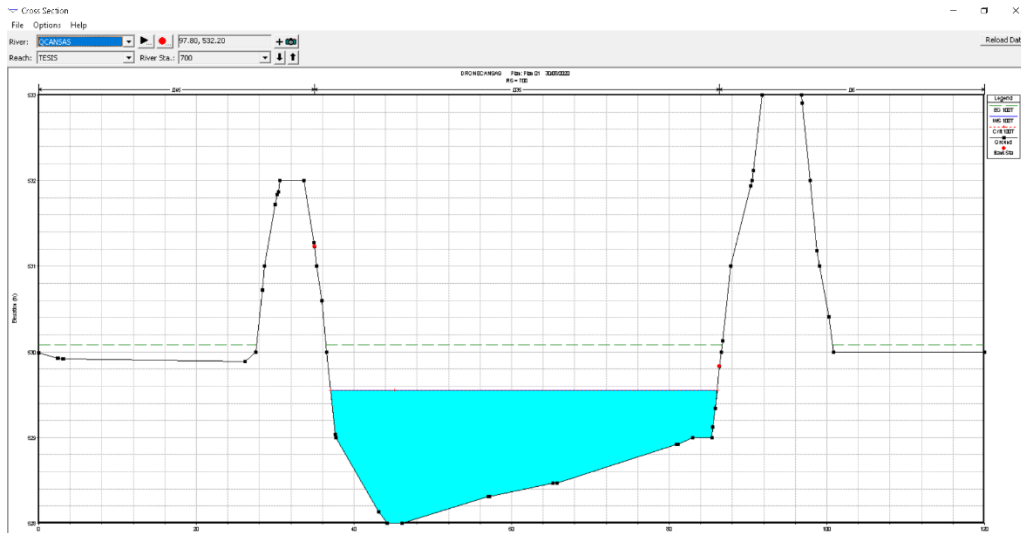


Figura 29. Sección Transversal 0+700 con data topográfica de Drone

Fuente. Propio.

Tabla 18. Sección transversal 0+700 con data topográfica de Drone

Progresiva	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Espejo de Agua (m)	Froude # Chl	Tirante (m)
0+700	139.92	545.35	545.95	545.95	546.22	0.022259	2.66	63.87	120	1.16	0.68

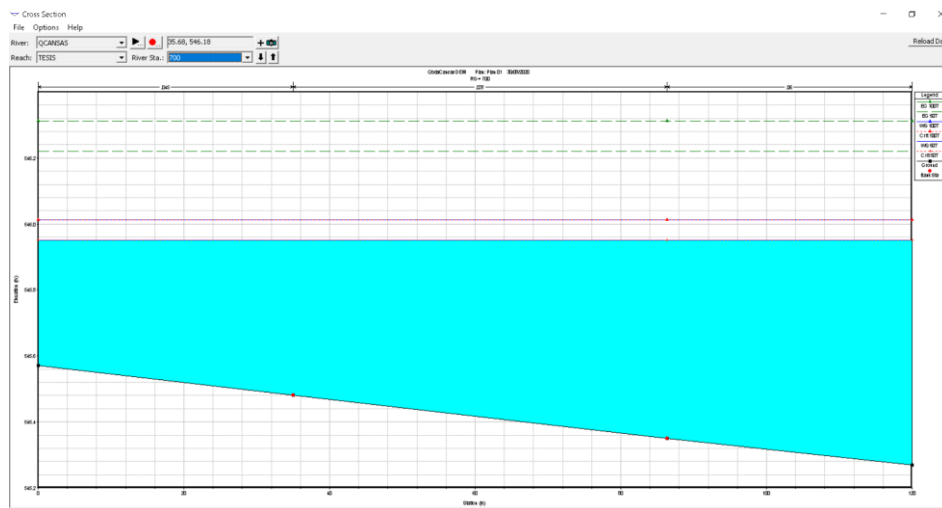


Figura 30. Sección Transversal 0+700 con data topográfica de Satélite

Fuente. Propio

Hipótesis específica 3

Ho. No existe diferencia significativa entre la comparación de áreas afectadas por cada tipo de simulaciones según topografía en base a imágenes satelitales frente al sistema fotogramétrico en la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.

Ha. Existe diferencia significativa entre la comparación de áreas afectadas por cada tipo de simulaciones según topografía en base a imágenes satelitales frente al sistema fotogramétrico en la Quebrada Cansas, provincia de Ica, 2020.

La hidráulica fluvial permitió calcular la llanura de inundación en ambas márgenes, para ello se empleó el modelo HEC-RAS, desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica del Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los Estados Unidos. Este modelo permite el análisis con flujo unidimensional permanente, cuasi-permanente y no permanente, para régimen mixto.

Llanura de inundación

A continuación, se presenta el modelo de la llanura de inundación para 50 años de periodo de retorno para el sector en estudio para un análisis de inundación sin proyecto:

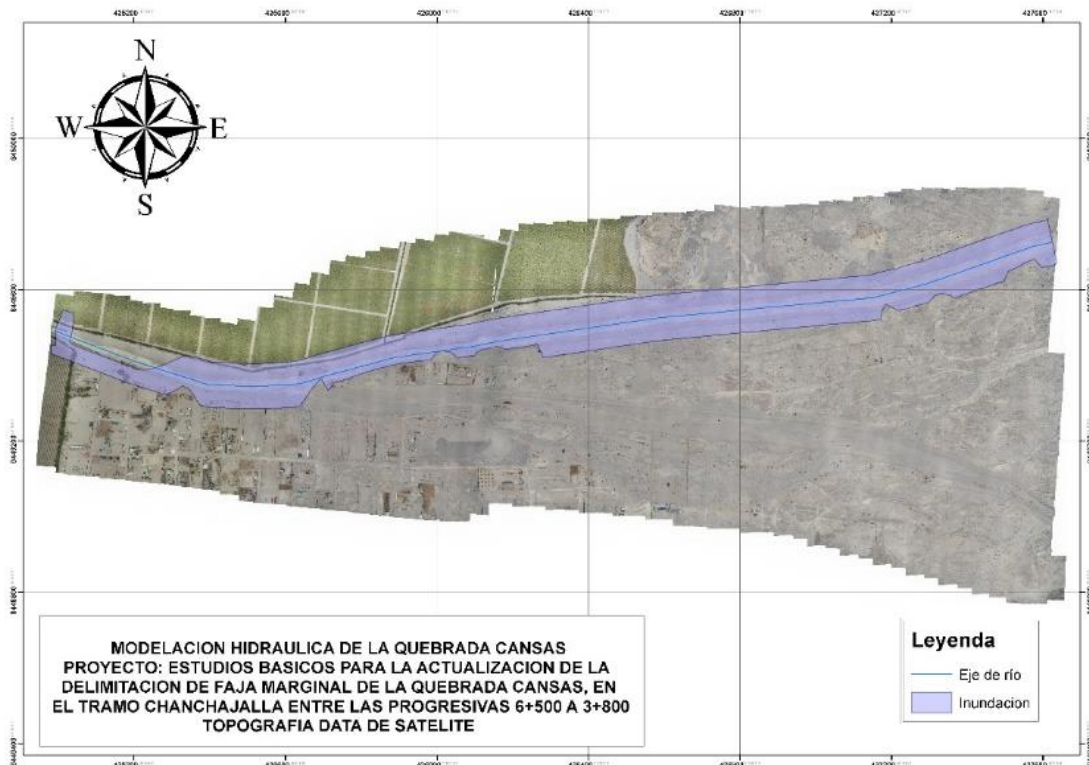


Figura 31. Llanura de inundación para $T=100$ años Sector Chanchajalla Topografía con data de satélite.

Fuente. Propio.

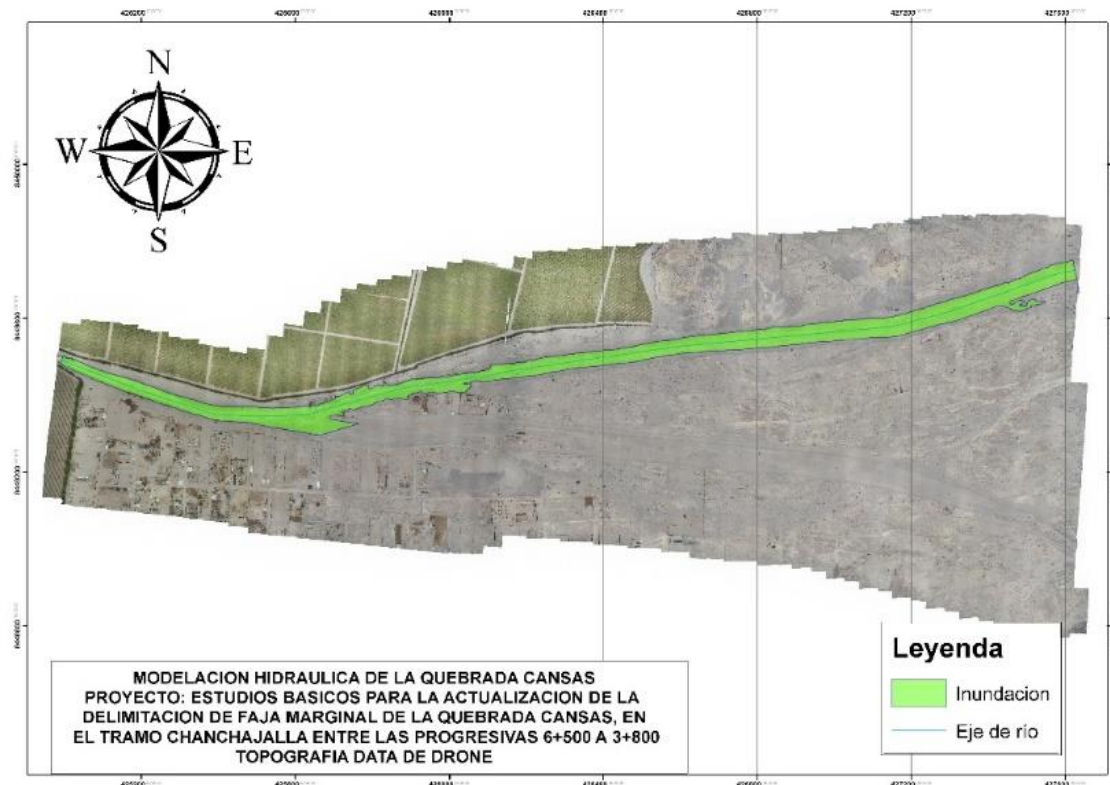


Figura 32. Llanura de inundación para $T=100$ años Sector Chanchajalla Topografía con data de satélite.

Fuente. Propio.

4.2. Discusión de resultados

Según Claros (2018) menciona que la investigación acerca de la Aplicación de la fotogrametría aérea en levantamiento topografía mediante el uso de vehículos aéreos no tripulados, concluye que la información adquirida en los programas han creado una planificación de proyectos tanto en su resultado digital como en la fotointerpretación, han dado mejor autenticación de los puntos de referencia, como es el caso de los GPS, la cual mejora la precisión del proyecto, por este motivo, esta investigación confirma los resultados obtenidos.

Soria (2014) concluye que el sistema laser, aerotransportado (LIDAR) es un sistema que eleva el rendimiento en el posicionamiento global (GPS), la orientación IMU y permite reducir el apoyo en campo hacia la orientación de los datos efemérides de los satélites, por este motivo las combinaciones de ambas tecnologías permiten generar ortofotos, analizando la precisión en el Plan Nacional de orto fotografía aérea, de la misma manera, las conclusiones de la presente investigación concluyen en condiciones similares.

Pérez (2008) concluye que tener un relieve con mayor precisión, ayuda a un método de interpolación, haciendo que la superficie terrestre sea más efectiva, debido a la morfología del terreno, por este motivo las curvas de nivel, permiten que la cantidad de errores generados en el MDE, sean en base a

50 m en áreas montañosas, y en zonas normales en 30 metros. Si bien, el error cuadrático es de 7.3 metros, con el software AR/INFO, y MIEL o ILWIS; permiten tener errores con 10 metros, por ello, se puede decir que la información del *drone* actúa mejor que un sistema tradicional.

Domingos, Escartín & Jiménez (2014) dice que mejorar el procedimiento y resultados en la construcción de un modelamiento digital con elevaciones, permite tener un alcance tanto en fuentes y escalas ya que se cumplen con requisitos en el modelamiento de simulación. El estudio topografía permitió trabajar con una escala topográfica de 1:25000 en el sector, y con una imagen satelital en el ámbito de la geomática, por este motivo, se considera importante su investigación y su aplicación.

(Ochoa, Reyna & García, 2018) concluye que la modelización hidrodinámica en dimensiones espaciales (1D, 2D y 3D), pueden manejar hipótesis suficientemente para la prevención de catástrofes y la toma de decisiones ingenieriles correctas para el caso de inundaciones en áreas de riesgo por avenidas en el flujo de un cauce natural. A través del modelo hidrodinámico unidimensional HEC-RAS (Cuerpo de Ingenieros Civiles de la Armada Norteamericana) y el modelo hidrodinámico bidimensional IBER (Grupo de Ingeniería del Agua y del Medio Ambiente del Gobierno de España), por este motivo, la presente investigación coincide en dicha afirmación.

En el caso de (Sanchez, 2017) realiza un levantamiento topográfico, con resultado a la estación central, sin embargo, la comparación se evaluó en función a tolerancias que confluyen como confiables, de manera similar que la presente investigación.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El uso de topografía con drones da una aproximación exacta a la realidad del terreno, a su vez proporciona una ortofoto del terreno, con la cual se pueden llevar a cabo los trabajos de logística en la zona. El modelamiento hidráulico con la topografía con drones da resultados cercanos a la realidad, estos resultados se pueden medir en campo, con secciones de control para la calibración del modelamiento hidráulico. Respecto al tema de beneficio / costo se ha detectado que un 93% de mejora utilizando los drones, debido a la precisión de los datos respecto al ortofoto en el satélite y el *drone*.

El uso de topografía de satélite no es útil al momento de realizar un modelamiento hidráulico, ya que este solo presenta el relieve de la cuenca, mas no de la zona en estudio, lo que ocasiona que, al momento de realizar el modelamiento hidráulico, todo el terreno se inunde.

Al realizar un estudio a nivel de proyecto de protección de ribera de río, la data topografía con drones proporcionará la información suficiente para poder llevar a cabo el modelamiento hidráulico y los trabajos en gabinete para el diseño de estructuras de protección y movimiento de tierras ($p < 0.000$).

Los estudios a nivel macro regional, tales como determinación de faja marginal de un río, pueden ser llevados a cabo con data de satélites ($p < 0.000$), pero solo como una propuesta macro, ya que los resultados obtenidos pueden llegar a ser poco realistas, en estos casos se deberán de tomar criterios para llevar a cabo tales estudios.

La topografía con data obtenida por *drone* que se muestra en la sección transversal 0+700, presenta un terreno definido por diques de protección en ambos márgenes, lo que hace que el caudal del río transite en el medio del cauce de la quebrada sin originar inundaciones.

La topografía con data obtenida de satélite que se muestra en la sección transversal 0+700 solo nos presenta una línea en pendiente, no se forma una sección tipo, por lo cual el caudal transita por toda la sección originando una inundación.

El tirante de agua de la topografía con data de *drone* es de 1.44 m. mientras que el tirante de agua de la topografía con data de satélite es de 0.68m, esto se debe a que, la data con *drone* forma una sección tipo que confina al caudal a transitar en una sección tipo con un ancho de 50 metros, mientras que la data con satélite el agua circula por toda la sección tipo haciendo que esta no eleve el tirante de agua.

El ancho de la sección transversal 0+700 es de 120 metros, por lo que, el espejo de agua de la data topográfica con *drone* es de 48.73m, mientras que el de la data topográfica de satélite es de 120 m, esto ocurre ya que la data topográfica de satélite inunda toda la zona en evaluación.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda que el uso de topografía con drones en la realidad del terreno, donde la ortofoto del terreno, con la cual se pueden llevar a cabo los trabajos de logística en la zona, donde el modelamiento hidráulico y la topografía con *drones* da resultados cercanos a la realidad, estos resultados se pueden medir en campo, con secciones de control para la calibración del modelamiento hidráulico.

Se recomienda el uso de topografía de satélite no es útil al momento de realizar un modelamiento hidráulico, ya que este solo presenta el relieve de la cuenca, mas no de la zona en estudio, lo que ocasiona que, al momento de realizar el modelamiento hidráulico, todo el terreno se inunde. También se realizar un estudio a nivel de proyecto de protección de ribera de río, la data topografía con drones proporcionará la información suficiente para poder llevar acabo el modelamiento hidráulico y los trabajos en gabinete para el diseño de estructuras de protección y movimiento de tierras. Por este motivo, es el uso de los *drones* se pueden utilizar en zonas despejadas o de baja vegetación, por ello, es importante que, en el caso de los ríos, se pueda evaluar en zonas despejadas.

Referencias

- ACG. (01 de 02 de 2017). *Las 10 mejores apps para planificar vuelos con tus drones*. Obtenido de <http://www.acgdrone.com/las-10-mejores-apps-para-planificar-vuelos-con-drones/>
- Agisoft. (14 de 11 de 2019). *Procesamiento en 3D*. Obtenido de <https://www.agisoft.com/>
- Ayala, M. (2018). *Evaluación de levantamientos topográficos con dron (DJI Phantom 4 pro) y estación total. Quebrada Señor de Quinuapata del distrito de Ayacucho*. Trujillo: Universidad Privada de Trujillo.
- Bedoya, G. (2012). *Estudio de avenidas en las cuencas del Anya y Mchique, departamento de Junín, Perú (periodo 2010-2012)*. JUNIN.
- Bellver, S. (2015). *Inspecciones y diario de vuelo del piloto de drones*. Lima: Escrihuela.
- Bernat, M. (2012). *Introducción Al Análisis Hidrológico E Hidráulico Mediante*.
- Bladé, S. (2009). *Modelación numérica en ríos en régimen permanente y variable - Una visión a partir del modelo HEC RAS*. . Barcelona.
- Burgos, V. (01 de 01 de 2012). *Evaluación de ASTER GDEM y SRTM-C/X para modelación hidráulica de la rotura de presa El Carrizal, Mendoza*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/274893462_Evaluacion_de_ASTER_GDEM_y_SRTM-CX_para_modelacion_hidraulica_de_la_rotura_de_presa_El_Carrizal_Mendoza
- Cajahuanca, J. (2015). *Teledetección y sistemas de información geográfica aplicados a identificar zonas con riesgo a inundación. Tramo puente Las Balsas Puente La Breña*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Cango, L. (2017). *Evaluación de modelos digitales de elevación usando datos LIDAR e imágenes satelitales*. Loja: Universidad Técnica particular de Loja.
- Castro, G., Vásquez, L., Palacio, J., Peralta, A., & García, A. (18 de 10 de 2018). *Geomorfometría y cálculo de erosión hídrica en diferentes litologías a través de fotogrametría digital con drones*. Obtenido de <http://www.scielo.org.mx/pdf/igeo/n96/2448-7279-igeo-96-00003.pdf>
- Cea, L. B. (2014). *Iber: Herramienta de simulación numérica de flujos en ríos. Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*.

- CENEPRED. (31 de 10 de 2019). *Estudio sobre la vulnerabilidad y los efectos de los desastres naturales en el sector agrícola Región Ica*. Obtenido de <http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/OTROS/Estudios%20sobre%20la%20Vulnerabilidad%20y%20los%20Efectos%20de%20los%20Desastres%20Naturales%20en%20el%20Sector%20Agricola%20d.pdf>
- Centro de Ingeniería Hidrológica HEC. (20 de 10 de 2020). *Cuerpo de ingenieros del Ejército de Estados Unidos*. Obtenido de <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/>
- Cerro-Griner, J. (2007). *Arquitectura abierta para el control autónomo y teleoperador de un mini-helicoptero*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Chen, H., Wang, X., & Li, Y. (2009). *La encuesta de control autónomo para UAV Inteligencia artificial e inteligencia computacional*. Conferencia Internacional.
- Claros, R. (01 de 01 de 2018). *Aplicación De Fotogrametría Aérea En Levantamientos Topográficos Mediante El Uso De Vehículos Aéreos No Tripulados*. Obtenido de <http://ri.ues.edu.sv/14218/1/50108282.pdf>
- Comisión Europea - Organización Internacional de Unión Europea. (2018). Espacio Aéreo. Obtenido de https://ec.europa.eu/commission/index_es
- Congreso de la República del Perú- Diario El Peruano. (22 de Marzo de 2018). Ley N° 30740 que Regula El Uso y Operaciones de Los Sistemas de Aeronaves Pilotadas A Distancia (RPAS). Lima, Perú: Ed. Diario El Peruano.
- Corredor, J. (2015). *Uso de Implementación de modelos de elevación obtenidos mediante topografía convencional y topografía con drones para el diseño geométrico de una vía en rehabilitación sector Tulua – rio Frio*. Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada.
- Del Barrio, R. (2017). *Uso de drones en la inspección para la rehabilitación del patrimonio iglesia de la Merced*. España: Universidad de Burgos.
- Díaz, V. (2012). *Análisis hidrológico y hidráulico mediante técnicas SIG de la peligrosidad por inundación de la cuenca PLA de Sant*. Madrid: Universidad Computense de Madrid.
- Dirección General de Concesiones en Comunicaciones - Viceministerio de Comunicaciones, Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (06 de noviembre de 2017). Dirección General de Concesiones en Comunicaciones - Viceministerio de Comunicaciones, Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

- MEMORANDO N° 2094-2017-MT/27 Oficina de Atención al Ciudadano y Gestión Documental.* Lima, Lima, Perú.
- DJI PRO. (14 de 11 de 2019). *Vuelo de misión crítica simplificado*. Obtenido de <https://www.dji.com/ground-station-pro>
- Domingos, D., Escartin, E., & Jiménez, G. (2014). *Modelo digital de elevaciones de una zona urbana para la simulación hidrológica*. Habana: Ingeniería Hidráulica y ambiental.
- DRONERSTUDIO. (14 de 11 de 2019). *Drones Profesionales, Cinematografía, Agricultura de Precisión, Fotogrametría*. Obtenido de <http://dronerstudio.com/planificar-un-vuelo-dron/>
- Felices, R. (2003). *Los Modelos como Herramienta Valiosa para el Estudio Hidráulico. Investigación en Modelos Físicos y Matemáticos de Obras Hidráulicas*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- GIDAHATARI. (12 de 11 de 2019). *Los 12 mejores softwares libres en recursos hídricos*. Obtenido de <http://gidahatari.com/ih-es/los-10-mejores-softwares-libres-en-recursos-hidricos>
- Grupo TYC. (14 de 11 de 2019). *¿Qué es HEC – RAS y para qué sirve?* Obtenido de <https://www.cursosgis.com/que-es-hec-ras-y-para-que-sirve/>
- Guarin, L. (2017). *Caracterización hidro-geométrica experimental utilizando trazadores salinos asociados con fotometría en un canal a escala y de pendiente variable como modelo físico de canales abiertos no prismáticos*. Villavicencio: Universidad Santo Tomás.
- Hernández, S., Fernández, C., & Baptista, P. (2003). *Metodología de la investigación*. México DF.: McGraw Hill.
- Hernández-Uribe. (2017). *Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac*. Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- IDEAM. (2017). *Guía Metodológica para la elaboración de mapas de inundación*. Colombia: Centro Nacional de Modelación.
- INDECI. (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo*. Lima: INDECI.
- INDECI. (2011). *Manual de Estimación del Riesgo ante Inundaciones Fluviales*. LIMA.
- INETER/CONSUDE. (2005). *Inundaciones Fluviales. Mapas de Amenazas*.

- INGEMMET. (01 de 11 de 2019). *Imágenes satelitales*. Obtenido de https://www.ingemmet.gob.pe/web/lab/imagenes_satelitales_tl
- Jimenes, J., & Mulero, M. (19 de 10 de 2018). *Drones for conservation in protected áreas: present and Future Drones 3*. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/drones3010010>
- Mamani, H. (2014). *Modelamiento de máximas avenidas que generan riesgo de inundación en la ciudad de Ayaviri*. Puno.
- Mapping GIS. (12 de 11 de 2019). *16 programas GRATUITOS para trabajar con imágenes de satélite*. Obtenido de <https://mappinggis.com/2017/12/programas-gratuitos-para-trabajar-con-imagenes-de-satelite/>
- Martínez. (01 de 01 de 2018). *Modelo De Inundación Mediante El Uso De Vehículos Aéreos No Tripulados En La Cuenca*. Obtenido de <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/16633/2019juanmartinez.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Marulanda, M. (10 de 01 de 2018). *Atlas de riesgo de Colombia: Revelando los desastres latentes*. Obtenido de https://www.preventionweb.net/files/62193_atlasriesgo1.pdf
- MEF. (01 de 06 de 2012). *GUÍA SIMPLIFICADA PARA LA IDENTIFICACIÓN, FORMULACIÓN Y EVALUACIÓN SOCIAL DE PROYECTOS DE PROTECCIÓN DE UNIDADES PRODUCTORAS DE BIENES Y SERVICIOS PÚBLICOS FRENTE A INUNDACIONES, A NIVEL DE PERFIL*. Obtenido de https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/instrumentos_metod/preveccion_y_desastres/GUIA_SERVICIO_DE_PROTECCION_VERSION%20FINAL_JUNIO19.pdf
- Meza, C. (2006). *Modelamiento SIG para identificar los cambios del Río Ucayali y su influencia ambiental (Sector Pucallpa)*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones - MTC. (09 de Mayo de 2000). Ley de Aeronáutica Civil del Perú – Ley 27261 y su Reglamento, aprobado por Decreto Supremo N° 050-2001-MTC. Obtenido de http://portal.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica_civil/normas/documentos/legales2/Ley_de_Aeronautica_Civil_27261.pdf

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2 de 03 de 2017). Recuperado el 5 de 09 de 2018, de www.mtc.gob.pe
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Dirección General de Aeronautica Civil. (03 de 11 de 2015). Norma Tecnica Complementaria NTC-001-2015, Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia. Lima, Perú: Resolución Directoral 501-2015-MTC/12.
- Municipalidad de Tinguña. (2021). *Municipalidad Distrital de La Tinguña*. Ica: Plataforma digital única del Estado peruano.
- Nieves, I., & Castillo, C. (2018). *APROVECHAMIENTO DEL RECURSO HÍDRICO Y REDUCCIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO (CO2) EN LA GENERACIÓN DE HIDROENERGÍA A TRAVÉS DE UNA PICOCENTRAL EN LA PROVINCIA DE SATIPO*. Satipo: Universidad peruana Unión.
- OMM. (2011). *Guía de prácticas hidrológicas*. Suiza: Organización Meteorológica Mundial.
- Organización de Aviación Civil Internacional (OACI). (2011). *Sistemas de aeronaves no tripuladas (UAS)*. 999 universidad Street, Montreal, Quebec, Canadá H3c 5H7: Circular 328.
- Organización de la Aviación Civil Internacional OACI. (2018). Página de inicio de la Guía práctica sobre los UAS. CANADA. Obtenido de https://www.icao.int/safety/UA/UASToolkit/Pages/default_es.aspx
- Pérez, A. (2008). *Evaluación de los errores de modelos digitales de elevación obtenidos por cuatro métodos de interpolación*. México DF.: Investigaciones geográficas UNAM.
- Philip Church. (2015). *RPAS integration into the overall ATM system*. Obtenido de <https://askhelios.s3.amazonaws.com/uploads/document/file/40/rpas-session-pnc.pdf>
- Pino, E. (20 de 10 de 2019). *Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología*. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/idesia/v37n1/0718-3429-idesia-00402.pdf>
- PIX4D. (14 de 11 de 2019). Obtenido de <https://www.pix4d.com/>
- Planeta inteligente. (11 de 11 de 2019). *Más inundaciones, menos acceso al agua*. Obtenido de <http://www.planetainteligente.elmundo.es/retos-y-soluciones/mas-inundaciones-menos-acceso-al-agua>

- Postigo, S. (2018). *Vehículo aéreo no tripulado para vigilancia en ambientes cerrados con detección de personas y obstáculos a su alrededor*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Puerta, C. (2015). *Tecnología drone en levantamiento topográficos*. Bogotá: Escuela de Ingenieros Militares.
- Q. (14 de 11 de 2019). *Una ligera introducción al GIS*. Obtenido de https://docs.qgis.org/2.18/es/docs/gentle_gis_introduction/introducing_gis.html
- Quiroz, E. (20 de 10 de 2019). *Introducción a la fotometría y cartografía aplicadas a la Ingeniería civil*. Obtenido de https://mascvuex.unex.es/ebooks/sites/mascvuex.unex.es.mascvuex.ebooks/files/files/file/Fotogrametria_9788469713174_0.pdf
- Ruales, D. (2018). *Pertinencia del uso de drones en la caracterización geoespacial del Módulo Dos junta de agua de riego de la comuna Morlán, Imbabura*. Ibarra: universidad técnica del Norte.
- Sánchez, I. (2017). *Determinar el grado de confiabilidad del levantamiento topográfico con dron en la plaza San Luis*. Lima: Universidad César Vallejo.
- Sánchez, I. (2017). *Determinar el grado de confiabilidad del levantamiento topográfico con Dron en la Plaza San Luis 2017*. Chimbote: Universidad César Vallejo.
- Sedano, F., & Pari, R. (19 de 10 de 2018). *Ventajas en los levantamientos topográficos con el uso de vehículos aéreos no tripulados*. Obtenido de <http://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/21067>
- SETINEL. (14 de 11 de 2019). *ESA*. Obtenido de <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/home>
- Solano, & Zuñiga, V. V. (2013). *Estudio fluviomorfológico del río Vinces y determinación de las áreas de inundación de la zona de influencia del proyecto Pacalori aplicando HEC-GEO RAS*. Cuenca.
- Soria, M. (2014). *Metodología para la ejecución y control de calidad para ortofotos, mediante combinación de sensor digital con LIDAR en zonas rurales*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- Szymkiewicz, R. (2010). *Numerical Modeling in Open Channel Hydraulics*. Varsovia.
- Tacca, H. (2015). *Comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones al método tradicional*. Puno: Universidad Nacional de Altiplano .

- UNESCO. (01 de 01 de 2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas acerca del desarrollo de los recursos hídricos 2019*. Obtenido de No dejar a nadie atrás: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>
- Valderrama, S. (2015). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica*. Lima: Universidad San Marcos.
- Valdiviezo, C. A. (2019). *Manejo del software QGIS para gestionar datos de redes de distribución de agua en la Urb. Miraflores*. Lima: Universidad de Piura.
- Velásquez. (2015). *Modelamiento Hidrológico e Hidráulico del Río Santa, Tramo Asentamiento Humano las Flores, Distrito de Carhuaz, Ancash*. Lima.
- Villarreal, J., & Zarate, B. (2015). *Análisis de la precisión de levantamientos topográficos mediante el empleo de vehículos no tripulados (UAV) respecto a la densidad de puntos de control*. Loja: Universidad Técnica particular de Loja.

ANEXOS

ANEXO 1. Licencia de Operador de RPA



ANEXO 2 Metodología para el desarrollo del modelamiento hidráulico en el uso de imágenes con RPA

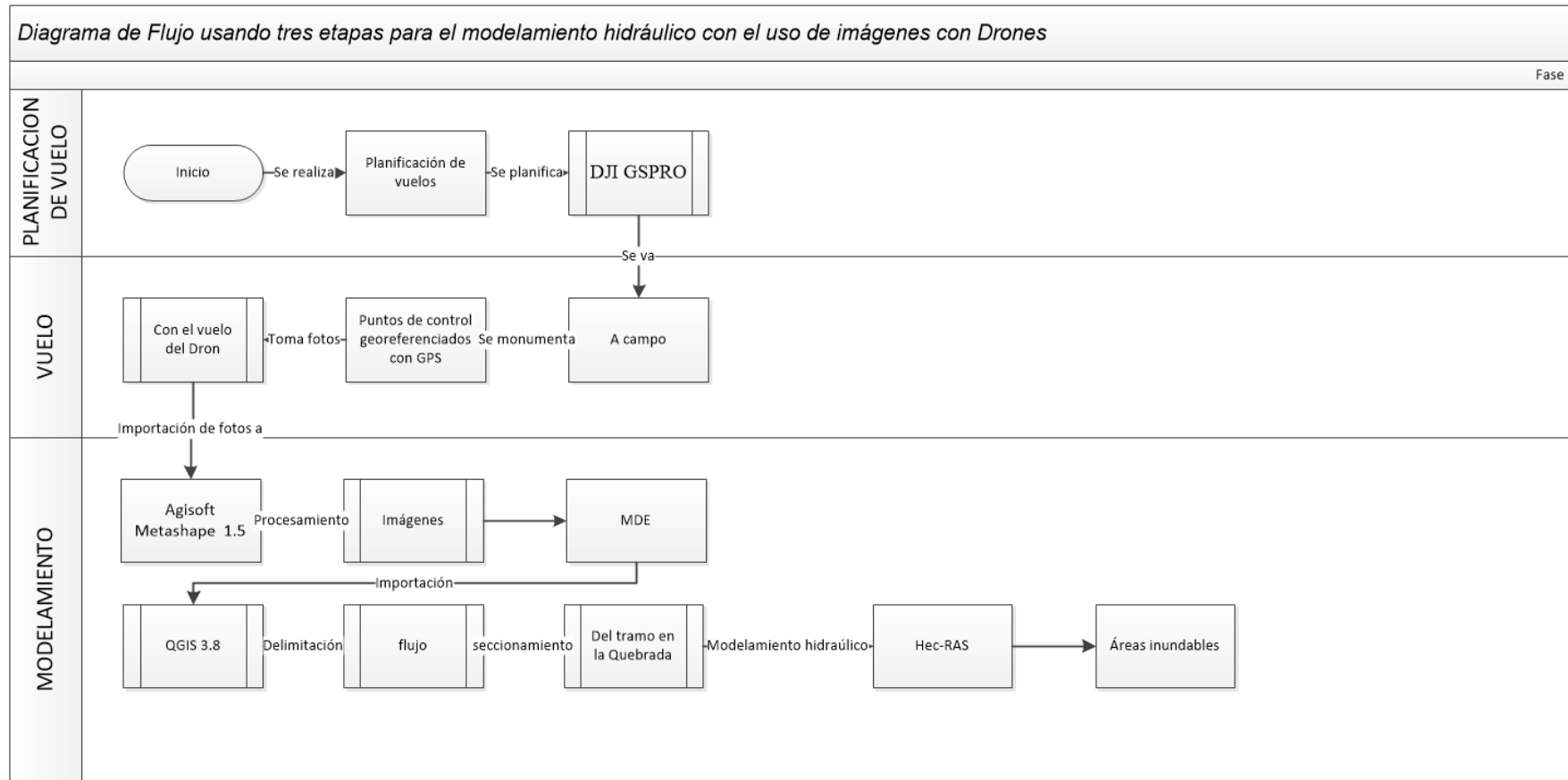


Diagrama de Flujo usando tres etapas para el modelamiento hidráulico con el uso de imágenes con Drones

Fuente. Propia.

ANEXO 3. Metodología para el desarrollo del modelamiento hidráulico en el uso de imágenes con satélites

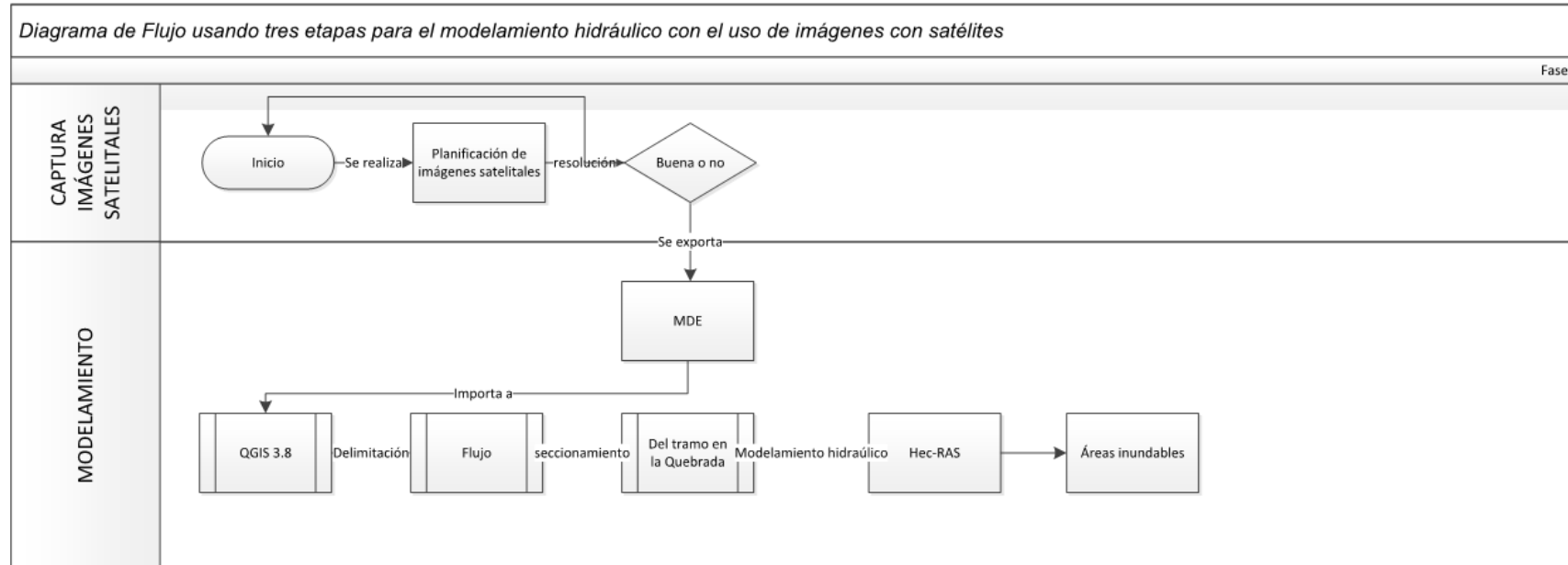
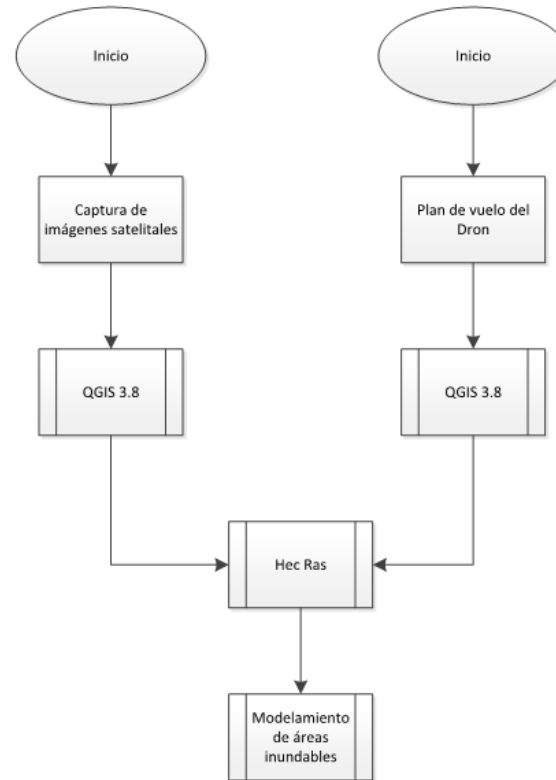


Diagrama de Flujo usando dos etapas para el modelamiento hidráulico con el uso de imágenes satelitales

Fuente. Propia.

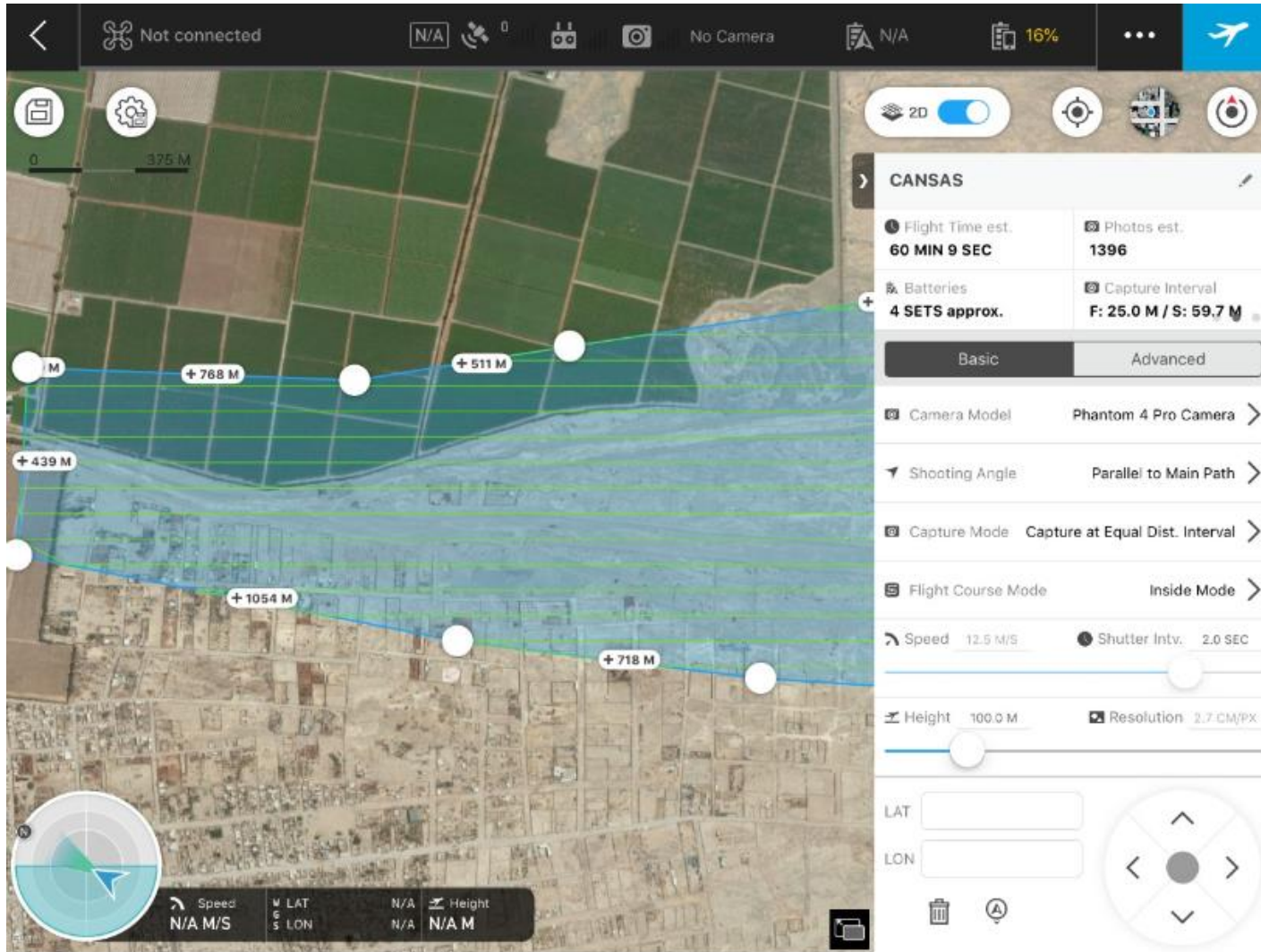
ANEXO 4. Procedimiento metodológico para el desarrollo del modelamiento hidráulico



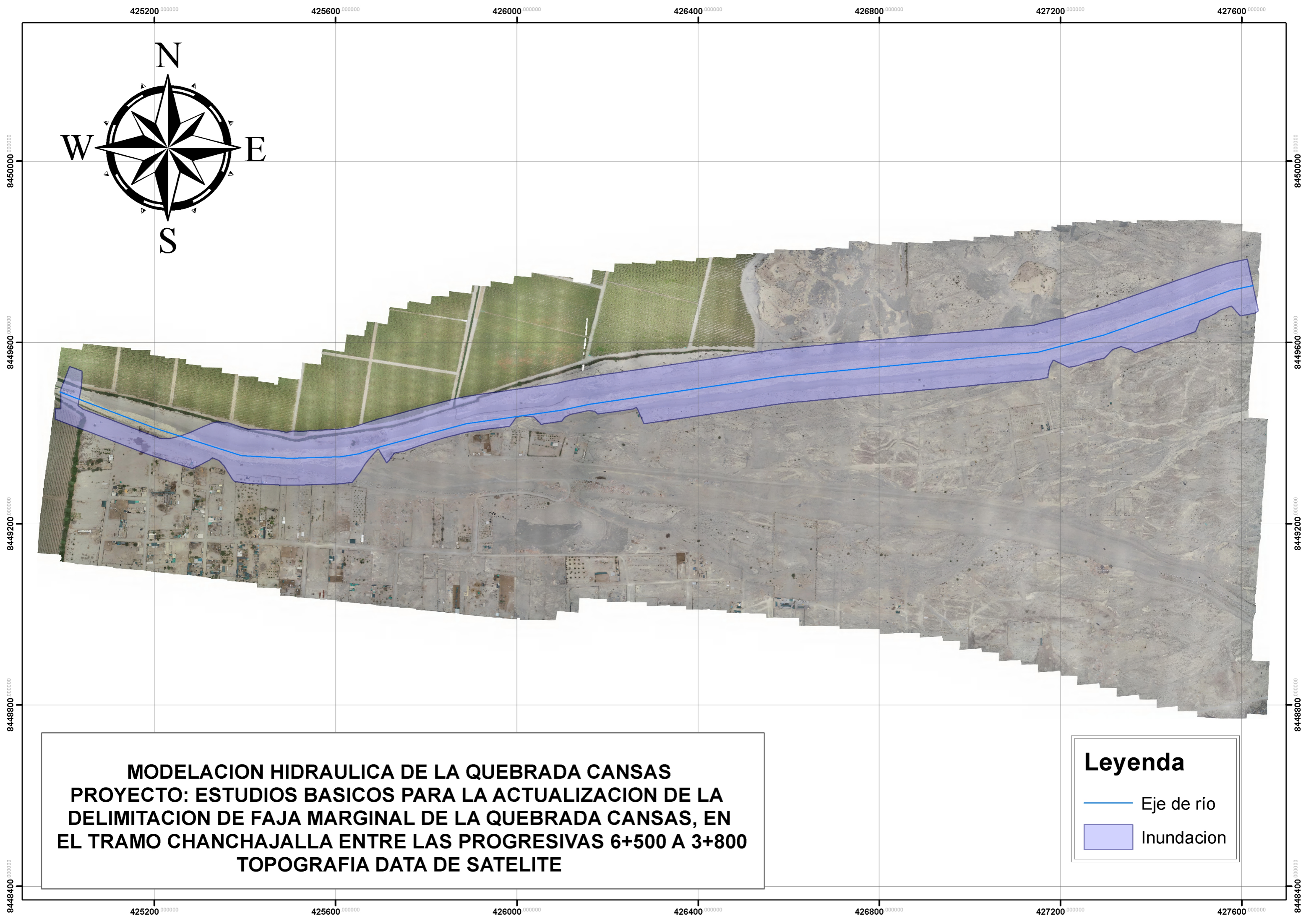
Procedimiento metodológico de ambos métodos

Fuente. Propia.

ANEXO 5. Plan de vuelo para el drone



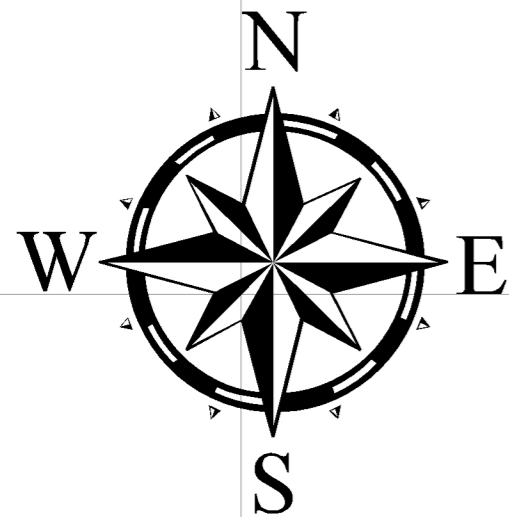
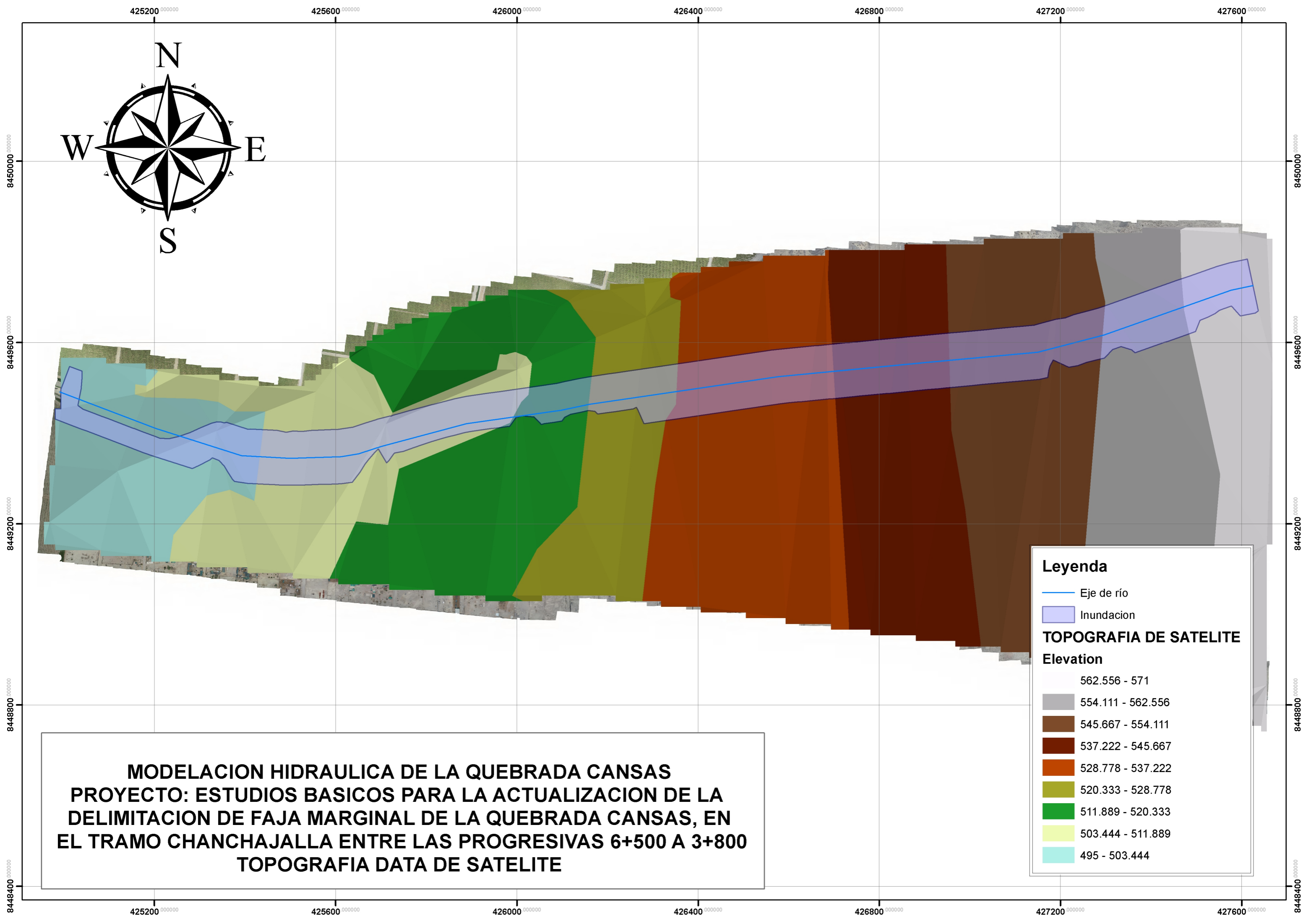
ANEXO 6. Mapa de inundaciones con data de satélite



MODELACION HIDRAULICA DE LA QUEBRADA CANSAS
PROYECTO: ESTUDIOS BASICOS PARA LA ACTUALIZACION DE LA
DELIMITACION DE FAJA MARGINAL DE LA QUEBRADA CANSAS, EN
EL TRAMO CHANCAJALLA ENTRE LAS PROGRESIVAS 6+500 A 3+800
TOPOGRAFIA DATA DE SATELITE

Leyenda

- Eje de río
- Inundacion



MODELACION HIDRAULICA DE LA QUEBRADA CANSAS
PROYECTO: ESTUDIOS BASICOS PARA LA ACTUALIZACION DE LA
DELIMITACION DE FAJA MARGINAL DE LA QUEBRADA CANSAS, EN
EL TRAMO CHANCHAJALLA ENTRE LAS PROGRESIVAS 6+500 A 3+800
TOPOGRAFIA DATA DE SATELITE

Leyenda

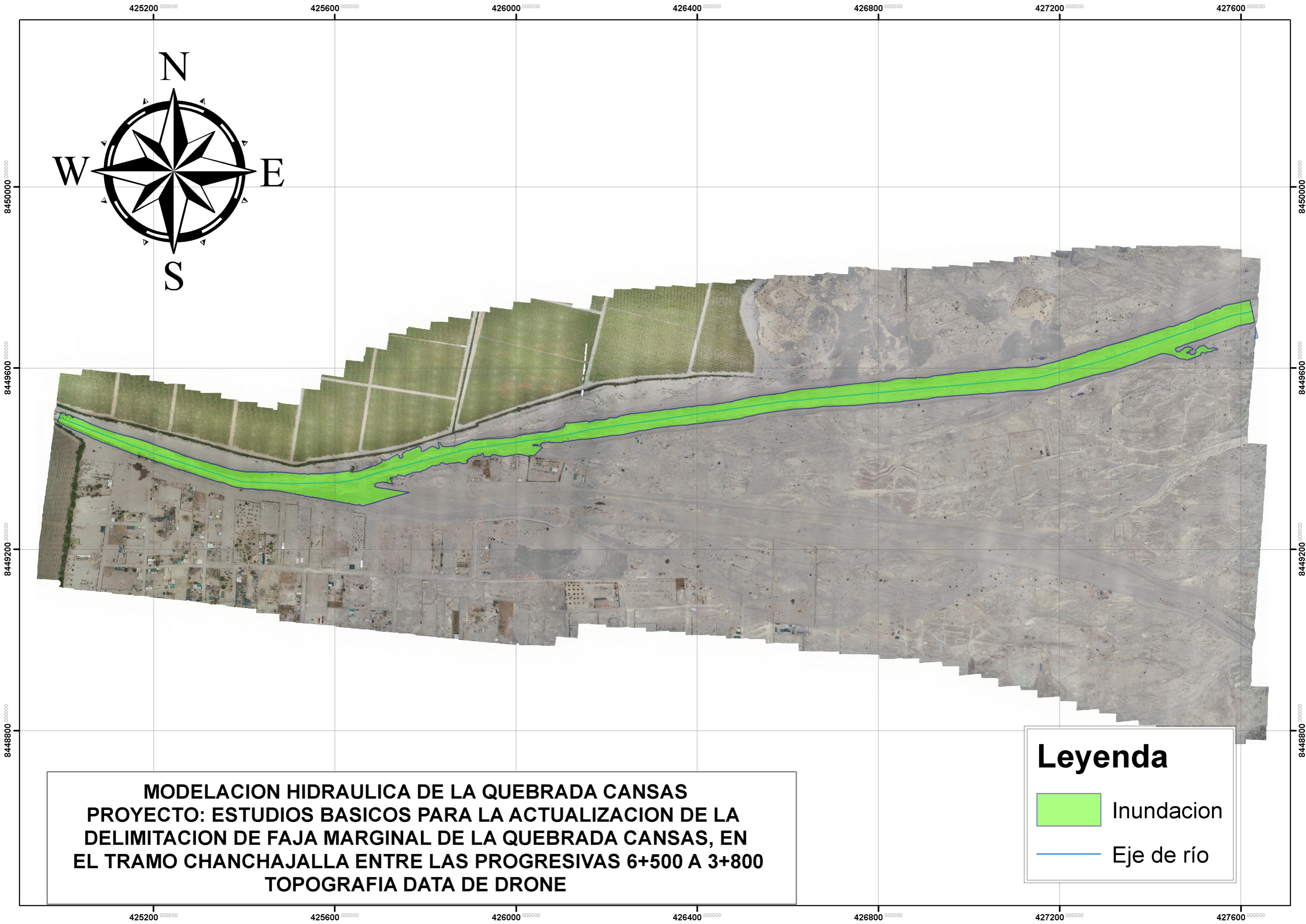
- Eje de río
- Inundacion

TOPOGRAFIA DE SATELITE

Elevation

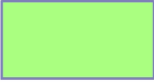

- 562.556 - 571
- 554.111 - 562.556
- 545.667 - 554.111
- 537.222 - 545.667
- 528.778 - 537.222
- 520.333 - 528.778
- 511.889 - 520.333
- 503.444 - 511.889
- 495 - 503.444

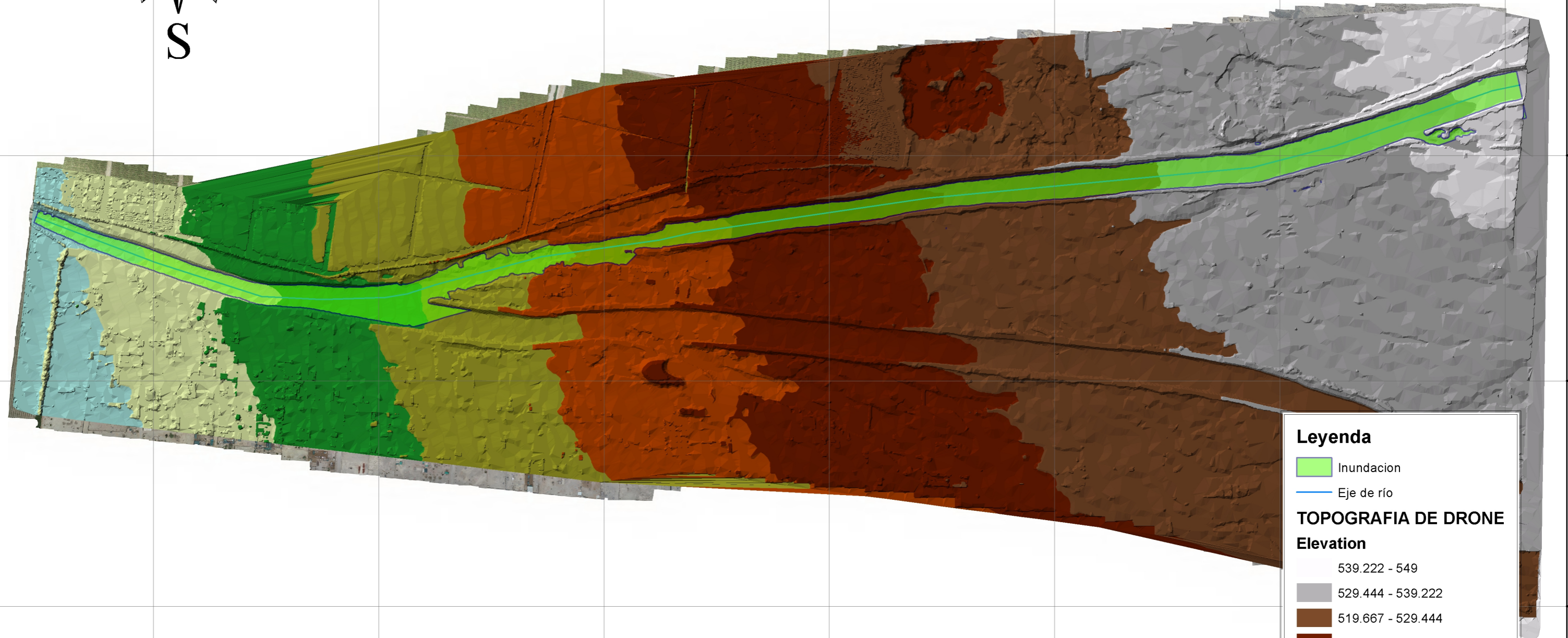
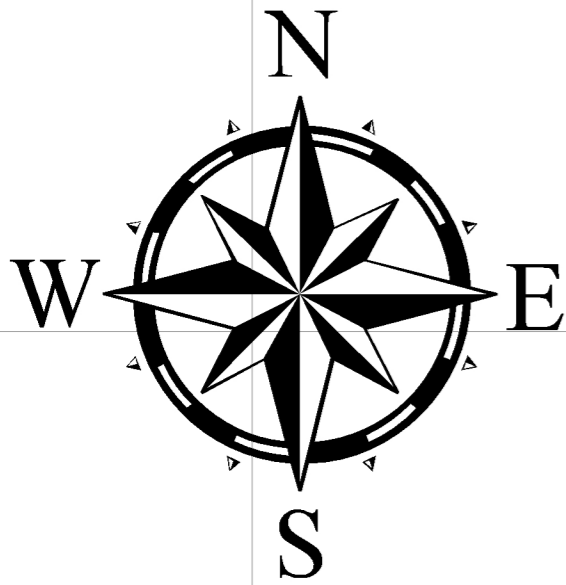
ANEXO 7 Mapa de inundación con data de drone



**MODELACION HIDRAULICA DE LA QUEBRADA CANSAS
PROYECTO: ESTUDIOS BASICOS PARA LA ACTUALIZACION DE LA
DELIMITACION DE FAJA MARGINAL DE LA QUEBRADA CANSAS, EN
EL TRAMO CHANHAJALLA ENTRE LAS PROGRESIVAS 6+500 A 3+800
TOPOGRAFIA DATA DE DRONE**

Leyenda

-  Inundacion
-  Eje de río



Leyenda

- Inundacion
- Eje de río

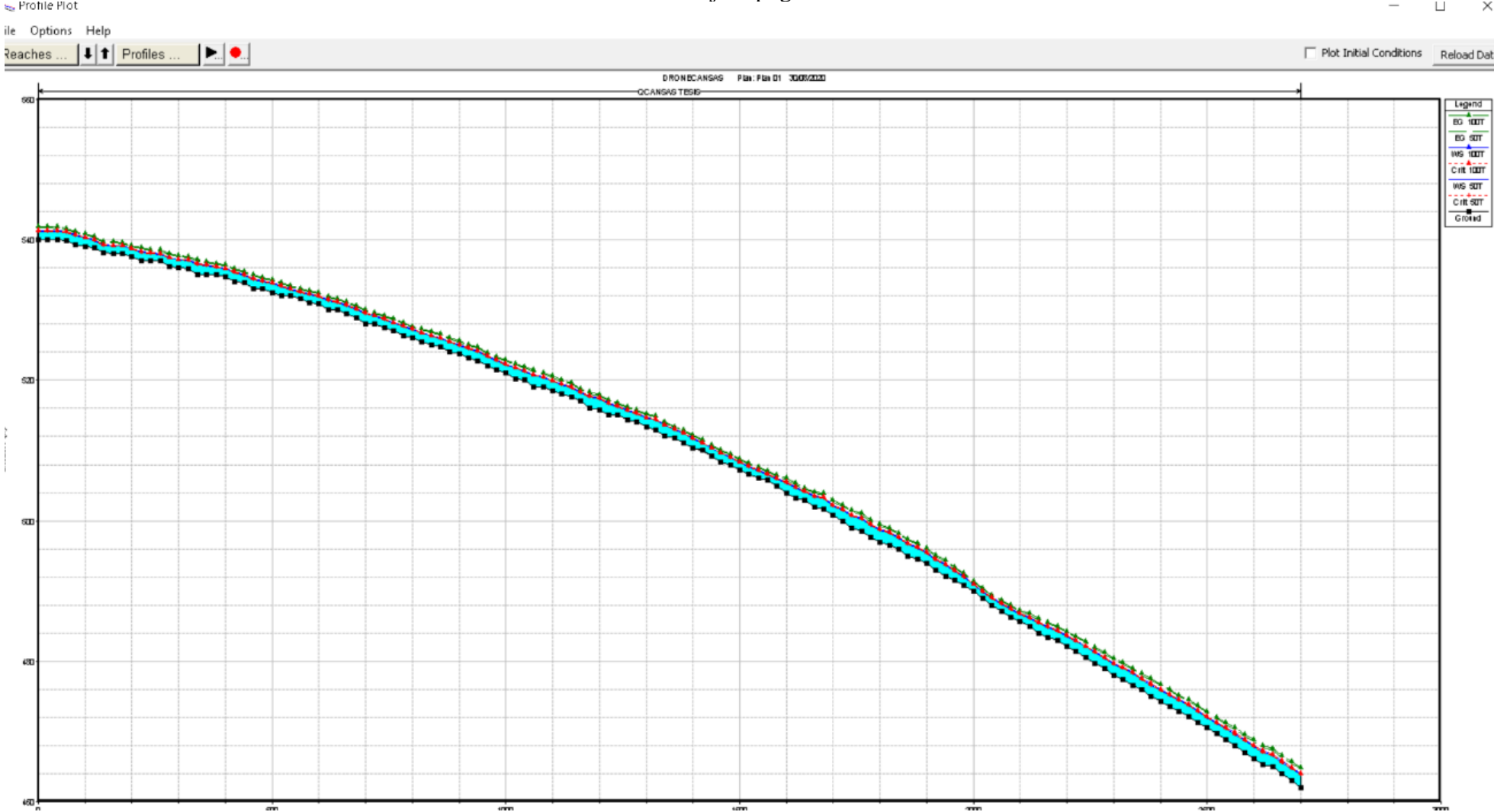
TOPOGRAFIA DE DRONE

Elevation

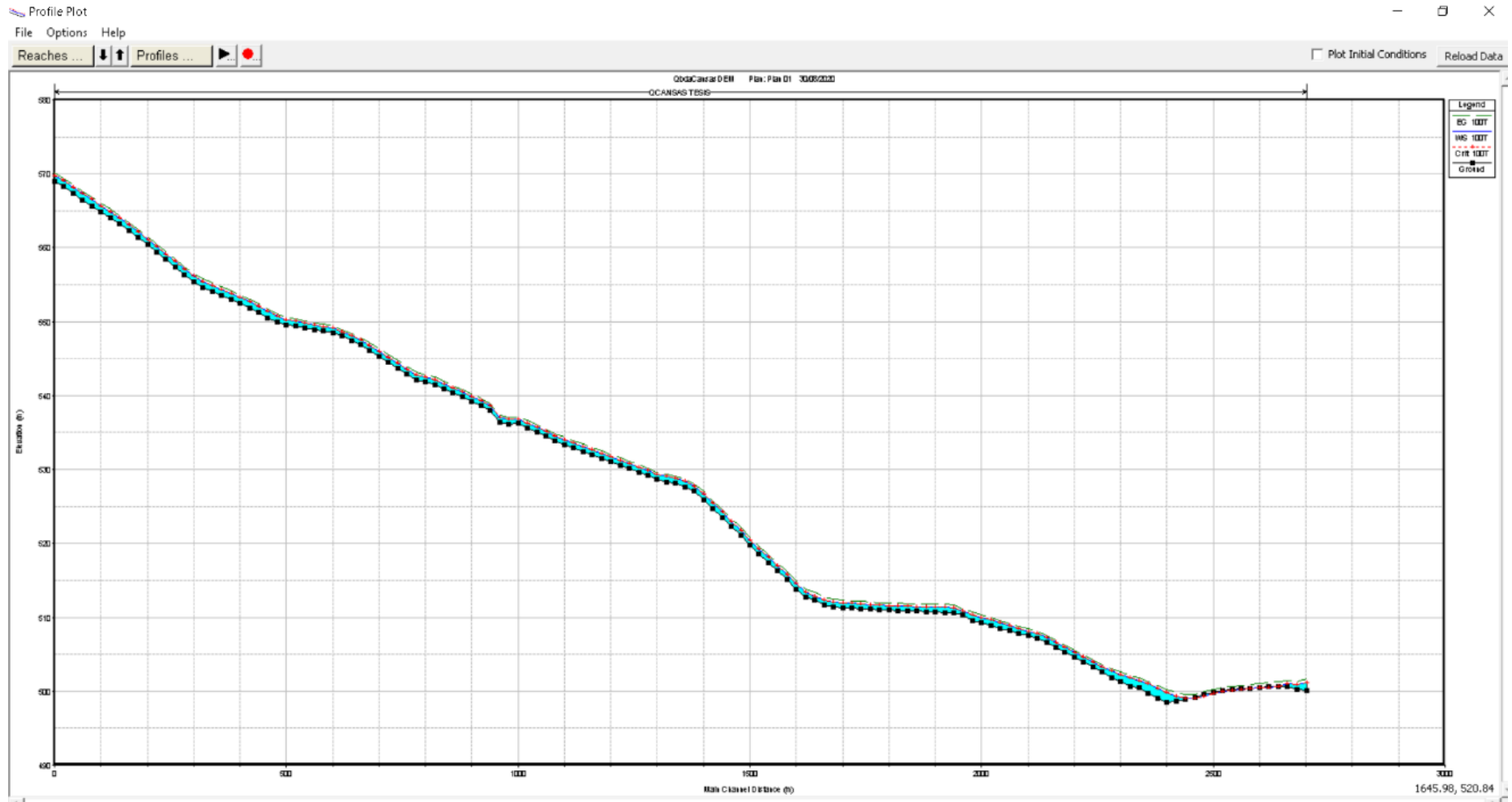
- 539.222 - 549
- 529.444 - 539.222
- 519.667 - 529.444
- 509.889 - 519.667
- 500.111 - 509.889
- 490.333 - 500.111
- 480.556 - 490.333
- 470.778 - 480.556
- 461 - 470.778

**MODELACION HIDRAULICA DE LA QUEBRADA CANSAS
PROYECTO: ESTUDIOS BASICOS PARA LA ACTUALIZACION DE LA
DELIMITACION DE FAJA MARGINAL DE LA QUEBRADA CANSAS, EN
EL TRAMO CHANHAJALLA ENTRE LAS PROGRESIVAS 6+500 A 3+800
TOPOGRAFIA DATA DE DRONE**

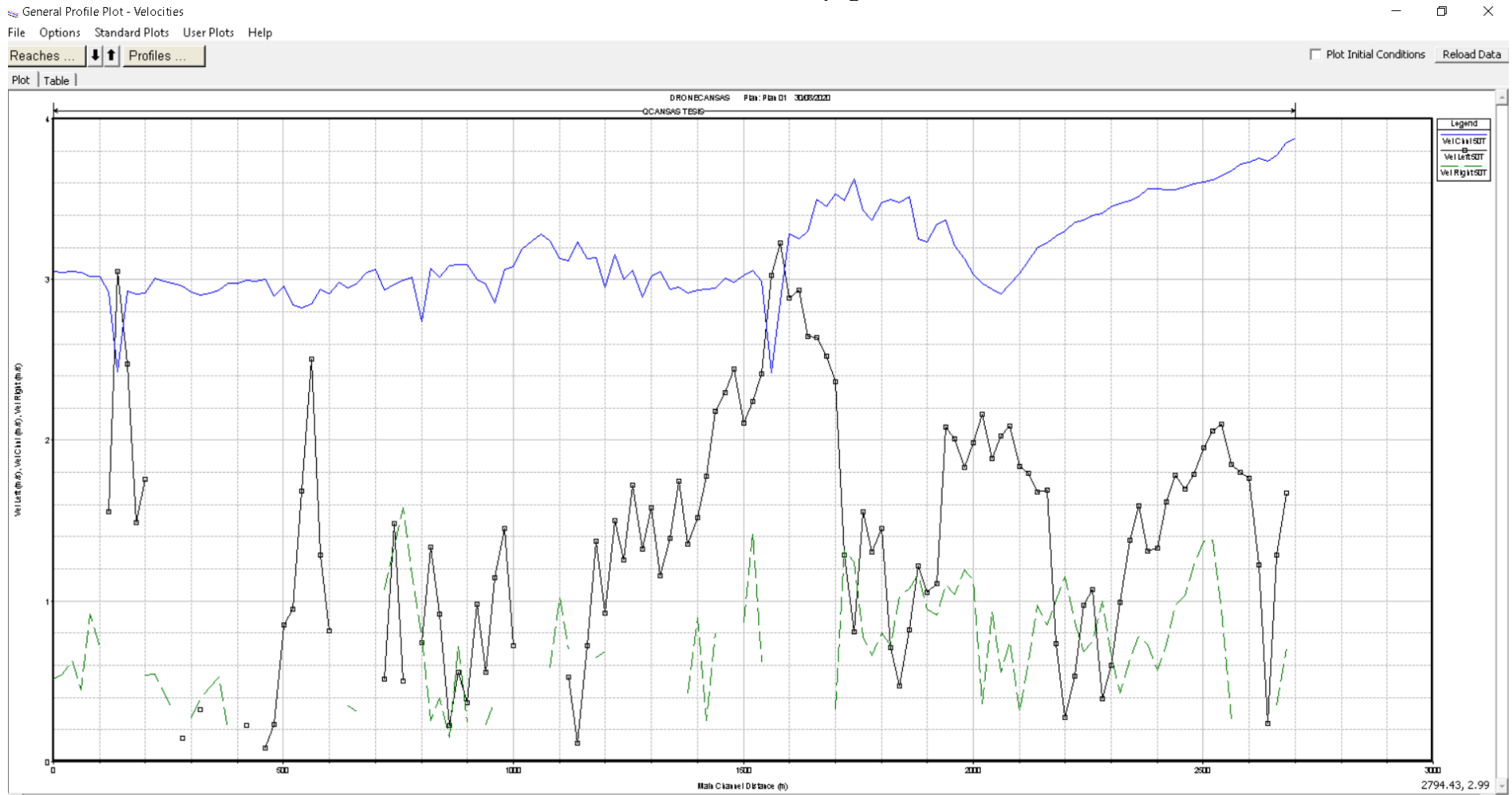
ANEXO 8 Perfil de flujo topografía con drones



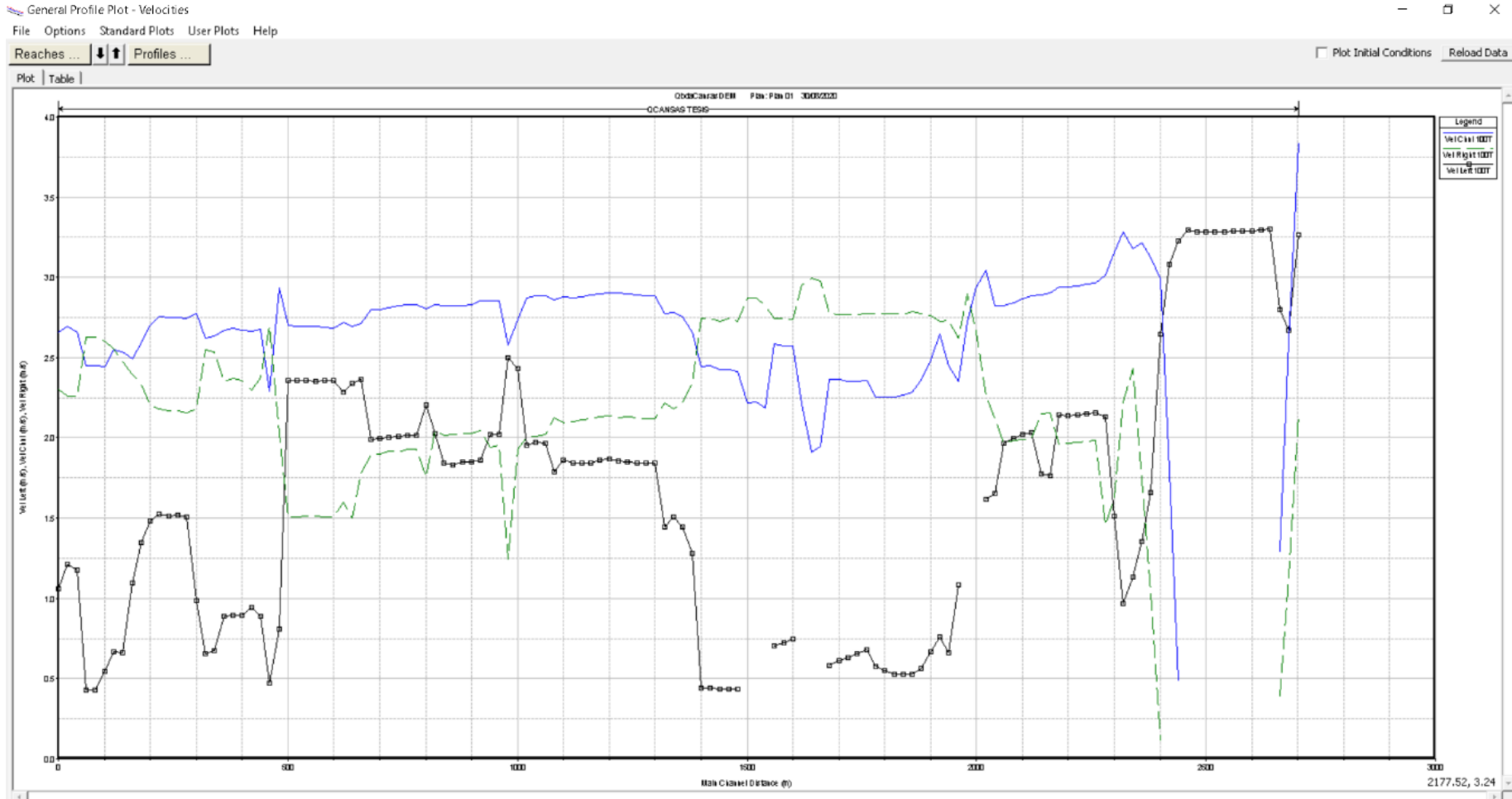
ANEXO 9 Perfil de flujo topografía con imágenes satelitales



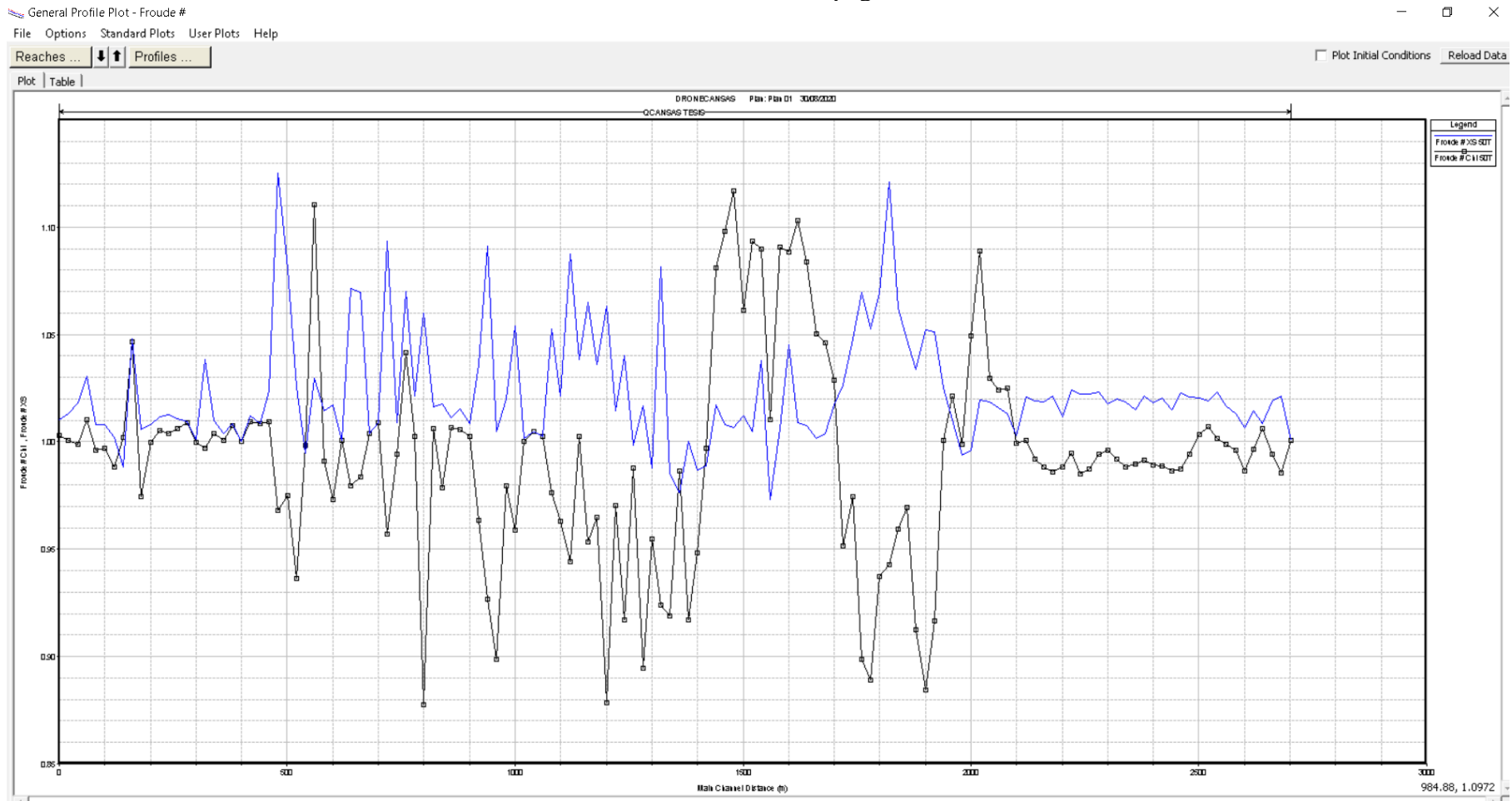
ANEXO 10 Perfil de velocidad topografía con drones



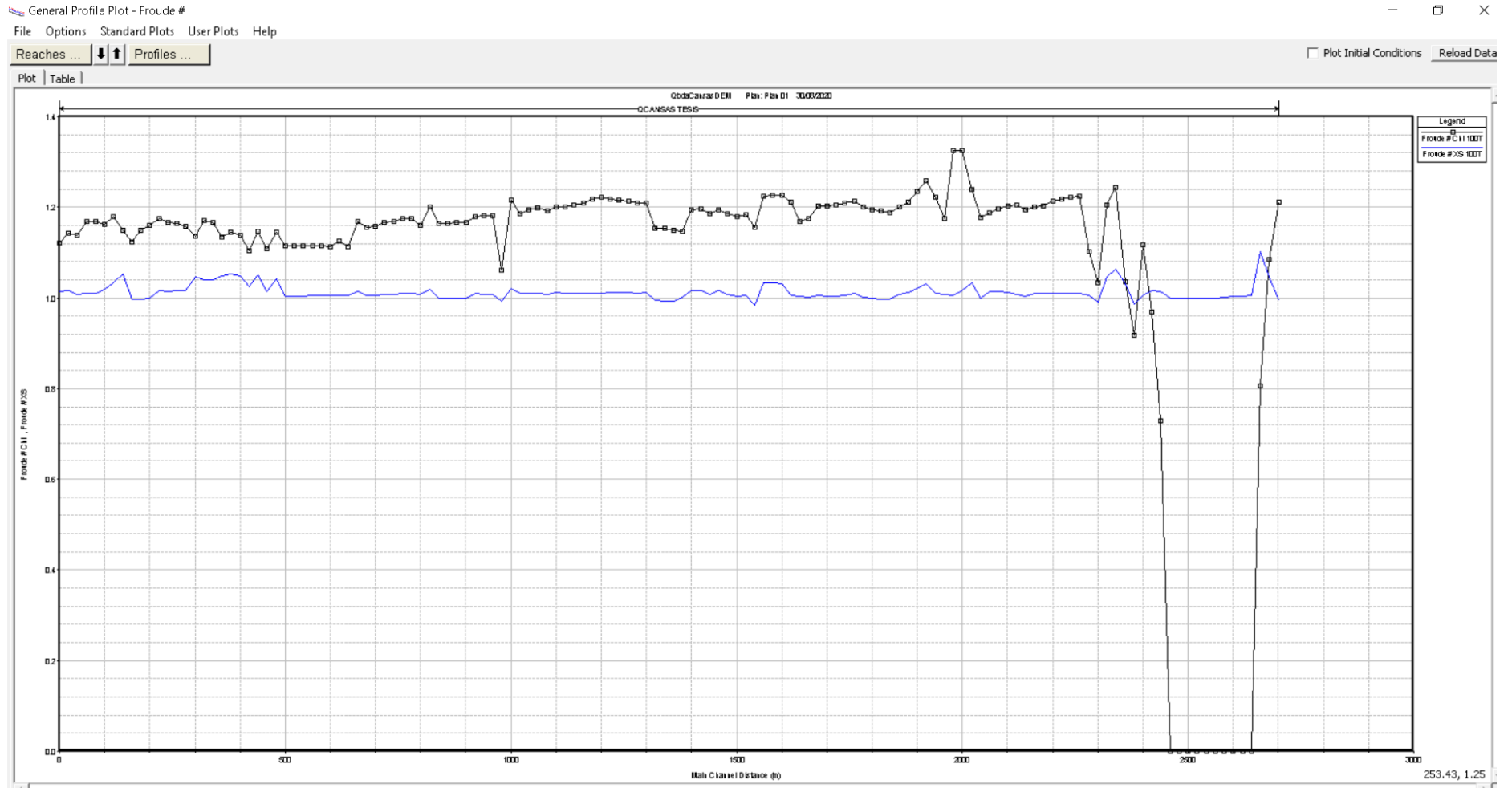
ANEXO 11 Perfil de velocidad topografía de Satélite



ANEXO 12 Numero de Froude topografía con drones



ANEXO 13 Numero de Froude topografía de satélite



ANEXO 14 Características Hidráulicas Topografía Con Drones

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Tirante
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		(m)
2+700	139.92	462	463.87	463.87	464.64	0.011077	3.88	36.07	23.54	1	1.87
2+680	139.92	462.93	464.69	464.69	465.43	0.010171	3.85	37.7	26.54	0.99	1.76
2+660	139.92	464	465.62	465.62	466.34	0.010654	3.77	37.71	27.2	0.99	1.62
2+640	139.92	465	466.59	466.59	467.31	0.011248	3.74	37.43	26.7	1.01	1.59
2+620	139.92	465.21	467.06	467.06	467.77	0.010765	3.76	37.73	27.15	1	1.85
2+600	139.92	466.12	467.88	467.88	468.57	0.010503	3.73	38.85	28.43	0.99	1.76
2+580	139.92	467	468.63	468.63	469.32	0.010756	3.72	38.97	29.11	1	1.63
2+560	139.92	468	469.63	469.63	470.3	0.010865	3.67	39.47	30.46	1	1.63
2+540	139.92	468.82	470.37	470.37	471.01	0.010938	3.64	40.79	33.1	1	1.55
2+520	139.92	469.67	471.17	471.17	471.79	0.011133	3.62	41.84	34.64	1.01	1.5
2+500	139.92	470.54	472.04	472.04	472.66	0.011048	3.61	41.85	34.74	1	1.5
2+480	139.92	471.3	472.86	472.86	473.49	0.010811	3.59	41.4	34.1	0.99	1.56
2+460	139.92	472.06	473.64	473.64	474.27	0.010664	3.57	41.28	34.22	0.99	1.58
2+440	139.92	472.9	474.35	474.35	474.97	0.010664	3.56	41.2	33.83	0.99	1.45
2+420	139.92	473.59	475.16	475.16	475.79	0.010754	3.56	40.76	33.58	0.99	1.57
2+400	139.92	474.21	475.85	475.85	476.49	0.010782	3.57	40	32.25	0.99	1.64
2+380	139.92	475.01	476.62	476.62	477.26	0.010818	3.57	40.09	32.55	0.99	1.61
2+360	139.92	475.92	477.41	477.41	478.03	0.010859	3.52	40.96	34.02	0.99	1.49
2+340	139.92	476.56	478.19	478.19	478.8	0.010887	3.49	41	34.63	0.99	1.63
2+320	139.92	477.46	478.98	478.98	479.59	0.011067	3.48	40.66	34.44	0.99	1.52
2+300	139.92	478	479.61	479.61	480.22	0.011334	3.46	40.78	34.74	1	1.61
2+280	139.92	478.95	480.43	480.43	481.02	0.011349	3.41	41.98	37.33	0.99	1.48
2+260	139.92	479.64	481.21	481.21	481.79	0.011069	3.4	41.99	37.42	0.99	1.57
2+240	139.92	480.5	482.04	482.04	482.62	0.011065	3.37	42.34	38.5	0.98	1.54
2+220	139.92	481.34	482.82	482.82	483.39	0.011388	3.36	42.46	38.97	0.99	1.48
2+200	139.92	482.18	483.58	483.58	484.12	0.01133	3.3	44.04	41.37	0.99	1.4
2+180	139.92	483	484.26	484.26	484.8	0.011351	3.27	44.28	42.9	0.99	1.26
2+160	139.92	483.34	484.85	484.85	485.37	0.011421	3.23	45.12	45.1	0.99	1.51
2+140	139.92	484	485.39	485.39	485.89	0.011613	3.2	46.03	47.43	0.99	1.39
2+120	139.92	484.97	486.12	486.12	486.6	0.012079	3.12	47.15	51.72	1	1.15
2+100	139.92	485.65	486.71	486.71	487.16	0.012303	3.04	48.24	54.06	1	1.06
2+080	139.92	486.31	487.37	487.37	487.79	0.013299	2.97	49.63	60.16	1.03	1.06
2+060	139.92	487.11	488.12	488.12	488.53	0.013449	2.91	50.8	64.79	1.02	1.01
2+040	139.92	488	488.95	488.95	489.33	0.013555	2.94	53.95	73.1	1.03	0.95
2+020	139.92	488.98	489.82	489.82	490.19	0.015618	2.98	53.6	74.67	1.09	0.84
2+000	139.92	490	490.89	490.89	491.25	0.013953	3.03	56.43	77	1.05	0.89
1+980	139.92	490.82	492.01	492.01	492.41	0.012039	3.13	55.01	67.63	1	1.19
1+960	139.92	491.54	492.8	492.8	493.23	0.012507	3.21	53	63.41	1.02	1.26
1+940	139.92	492.11	493.65	493.65	494.15	0.011561	3.37	49.16	51.51	1	1.54
1+920	139.92	493	494.44	494.44	494.97	0.009168	3.34	48.8	50.47	0.92	1.44

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Tirante
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		(m)
1+900	139.92	493.96	495.38	495.38	495.87	0.008501	3.24	52.39	59.27	0.88	1.42
1+880	139.92	494.59	496.15	496.15	496.62	0.009188	3.25	53.34	59.91	0.91	1.56
1+860	139.92	495	496.61	496.61	497.22	0.010292	3.51	43.12	38.82	0.97	1.61
1+840	139.92	496	497.5	497.5	498.1	0.01014	3.48	44.73	42.72	0.96	1.5
1+820	139.92	496.46	498.16	498.16	498.77	0.009622	3.5	43.8	45.14	0.94	1.7
1+800	139.92	497	498.69	498.69	499.27	0.009505	3.48	45.23	44.19	0.94	1.69
1+780	139.92	497.68	499.33	499.33	499.87	0.00846	3.37	48.25	49.64	0.89	1.65
1+760	139.92	498.51	500.3	500.3	500.86	0.008551	3.43	47.86	48.88	0.9	1.79
1+740	139.92	499	500.7	500.7	501.35	0.010244	3.63	41.3	34.84	0.97	1.7
1+720	139.92	500	501.47	501.47	502.06	0.009883	3.49	44.4	39.87	0.95	1.47
1+700	139.92	500.73	502.12	502.12	502.71	0.012161	3.53	42.39	37.36	1.03	1.39
1+680	139.92	501.7	503.17	503.17	503.72	0.01281	3.45	43.76	40.33	1.05	1.47
1+660	139.92	502	503.31	503.31	503.88	0.012788	3.5	42.87	38.06	1.05	1.31
1+640	139.92	502.97	504.04	504.04	504.54	0.014427	3.3	45.63	46.88	1.08	1.07
1+620	139.92	503.25	504.65	504.65	505.14	0.015552	3.25	45.04	46.22	1.1	1.46
1+600	139.92	504	505.36	505.36	505.85	0.01484	3.28	46.24	51.75	1.09	1.36
1+580	139.92	505	505.91	505.91	506.4	0.016205	2.87	45.23	46.51	1.09	1.51
1+560	139.92	505.75	506.54	506.54	506.95	0.014743	2.42	49.78	56.7	1.01	1.54
1+540	139.92	506.08	507.13	507.13	507.51	0.015665	2.99	53.13	74.94	1.09	1.13
1+520	139.92	506.69	507.67	507.67	508.05	0.015572	3.06	53.22	69.61	1.09	0.98
1+500	139.92	507.15	508.31	508.31	508.7	0.014476	3.03	53.1	69.85	1.06	1.16
1+480	139.92	508	508.98	508.98	509.37	0.016764	2.98	51.05	65.65	1.12	0.98
1+460	139.92	508.34	509.58	509.58	509.97	0.016024	3.01	52.06	68.31	1.1	1.24
1+440	139.92	509.16	510.31	510.31	510.68	0.015521	2.95	54.06	75.59	1.08	1.15
1+420	139.92	510	511.02	511.02	511.4	0.01258	2.94	55.05	71.93	1	1.02
1+400	139.92	510.41	511.69	511.69	512.07	0.010978	2.93	56.09	72.01	0.95	1.28
1+380	139.92	511.09	512.43	512.43	512.81	0.010076	2.92	57.09	75.38	0.92	1.34
1+360	139.92	511.8	512.92	512.92	513.29	0.012218	2.95	55.72	71.62	0.99	1.12
1+340	139.92	512	513.6	513.6	513.99	0.010181	2.94	56.18	70.82	0.92	1.6
1+320	139.92	512.99	514.3	514.3	514.74	0.010048	3.05	53.12	70.58	0.92	1.31
1+300	139.92	513.3	514.61	514.61	515.02	0.011079	3.02	53.66	64.52	0.95	1.31
1+280	139.92	514	515.21	515.21	515.59	0.009531	2.89	57.56	78.38	0.89	1.21
1+260	139.92	514.36	515.63	515.63	516.06	0.011965	3.06	51.51	60.47	0.99	1.27
1+240	139.92	515	516.24	516.24	516.67	0.009953	3	53	67.34	0.92	1.24
1+220	139.92	515	516.62	516.62	517.09	0.011236	3.15	48.54	52.71	0.97	1.62
1+200	139.92	515.75	517.34	517.34	517.76	0.008963	2.95	54.77	73.57	0.88	1.59
1+180	139.92	516	517.65	517.65	518.12	0.011042	3.14	49.22	56.03	0.97	1.65
1+160	139.92	517	518.16	518.16	518.66	0.010684	3.13	46.33	53.11	0.95	1.16
1+140	139.92	517.57	518.88	518.88	519.42	0.012043	3.24	43.26	43.69	1	1.31
1+120	139.92	518	519.34	519.34	519.82	0.010458	3.12	47.87	58.12	0.94	1.34
1+100	139.92	518.48	519.9	519.9	520.38	0.011014	3.13	48.71	52.89	0.96	1.42
1+080	139.92	519	520.34	520.34	520.87	0.011205	3.24	44.57	46.46	0.98	1.34
1+060	139.92	519	520.7	520.7	521.25	0.01183	3.28	42.6	38.93	1	1.7

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Tirante
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		(m)
1+040	139.92	520	521.22	521.22	521.75	0.012048	3.24	43.15	40.64	1	1.22
1+020	139.92	520.27	521.71	521.71	522.23	0.012049	3.19	43.89	42.48	1	1.44
1+000	139.92	521	522.22	522.22	522.7	0.011027	3.08	47.02	54.6	0.96	1.22
0+980	139.92	521.43	522.79	522.79	523.24	0.011659	3.07	49	56.1	0.98	1.36
0+960	139.92	522	523.39	523.39	523.77	0.009732	2.85	56.04	74.02	0.9	1.39
0+940	139.92	522.76	524.12	524.12	524.57	0.010283	2.97	49.26	65.89	0.93	1.36
0+920	139.92	523.14	524.51	524.51	524.96	0.011336	3	48.84	58.33	0.96	1.37
0+900	139.92	523.75	524.91	524.91	525.4	0.012294	3.1	45.22	47.07	1	1.16
0+880	139.92	524.09	525.41	525.41	525.9	0.012339	3.09	45.47	48.11	1.01	1.32
0+860	139.92	524.73	525.94	525.94	526.43	0.012427	3.09	45.3	47.62	1.01	1.21
0+840	139.92	525	526.3	526.3	526.76	0.011694	3.01	47.38	53.39	0.98	1.3
0+820	139.92	525.48	526.71	526.71	527.19	0.012414	3.07	45.99	49.77	1.01	1.23
0+800	139.92	526	527.21	527.21	527.57	0.009302	2.74	59.6	93.05	0.88	1.21
0+780	139.92	526.32	527.6	527.6	528.04	0.012472	3.01	49.51	57.8	1	1.28
0+760	139.92	527	528.14	528.14	528.55	0.013877	3	52.36	71.99	1.04	1.14
0+740	139.92	527.46	528.68	528.68	529.1	0.012342	2.97	52.16	63.78	0.99	1.22
0+720	139.92	528	529.12	529.12	529.54	0.011243	2.94	52.08	73.66	0.96	1.12
0+700	139.92	528	529.44	529.44	529.92	0.012639	3.06	45.71	48.73	1.01	1.44
0+680	139.92	528.95	529.98	529.98	530.45	0.012498	3.04	45.97	49.03	1	1.03
0+660	139.92	529.44	530.57	530.57	531.03	0.012056	2.98	47.65	60.49	0.98	1.13
0+640	139.92	530	531.09	531.09	531.53	0.011946	2.95	48.34	62.81	0.98	1.09
0+620	139.92	530	531.33	531.33	531.78	0.012582	2.98	46.92	51.8	1	1.33
0+600	139.92	530.91	531.93	531.93	532.36	0.011884	2.91	49.15	59.43	0.97	1.02
0+580	139.92	531	532.23	532.23	532.66	0.012329	2.94	49.45	59.21	0.99	1.23
0+560	139.92	531.62	532.51	532.51	532.89	0.017062	2.85	51.11	70.18	1.11	1.73
0+540	139.92	532	532.95	532.95	533.32	0.012935	2.83	54.58	73.5	1	0.95
0+520	139.92	532	533.31	533.31	533.71	0.010818	2.84	52.56	69.31	0.94	1.31
0+500	139.92	532.48	533.71	533.71	534.16	0.011687	2.96	48.14	63.4	0.98	1.23
0+480	139.92	533	534.03	534.03	534.46	0.011724	2.9	48.8	72.13	0.97	1.03
0+460	139.92	533	534.39	534.39	534.85	0.01285	3	46.62	53.16	1.01	1.39
0+440	139.92	533.87	534.91	534.91	535.37	0.012819	2.99	46.78	52.15	1.01	1.04
0+420	139.92	534	535.33	535.33	535.79	0.012812	2.99	46.73	52.35	1.01	1.33
0+400	139.92	534.72	535.84	535.84	536.29	0.01259	2.98	46.97	51.92	1	1.12
0+380	139.92	535	536.06	536.06	536.52	0.012758	2.97	47.05	53.04	1.01	1.06
0+360	139.92	535	536.33	536.33	536.77	0.012651	2.93	47.75	54.81	1	1.33
0+340	139.92	535	536.53	536.53	536.96	0.012848	2.92	48.03	56.41	1	1.53
0+320	139.92	535.91	537.04	537.04	537.47	0.012601	2.9	48.52	61.05	1	1.13
0+300	139.92	536	537.14	537.14	537.58	0.012665	2.92	47.92	55.23	1	1.14
0+280	139.92	536.22	537.41	537.41	537.86	0.012869	2.96	47.26	53.87	1.01	1.19
0+260	139.92	536.98	537.93	537.93	538.38	0.012752	2.98	47.06	53.27	1.01	0.95
0+240	139.92	537	538.05	538.05	538.5	0.012616	2.99	46.88	52.7	1	1.05
0+220	139.92	537.05	538.22	538.22	538.68	0.012569	3.01	46.66	51.87	1.01	1.17
0+200	139.92	537.63	538.67	538.67	539.09	0.012599	2.92	50.03	60.93	1	1.04

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Tirante
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		(m)
0+180	139.92	538	539.13	539.13	539.53	0.011916	2.91	52.58	66.47	0.97	1.13
0+160	139.92	538	539.14	539.14	539.55	0.014267	2.93	49.58	66.19	1.05	2.14
0+140	139.92	538.19	539.2	539.2	539.59	0.014351	2.43	51.71	65.11	1	2.47
0+120	139.92	538.89	539.94	539.94	540.36	0.012319	2.92	49.92	59.59	0.99	1.05
0+100	139.92	539	540.26	540.26	540.73	0.012329	3.02	46.68	51.18	1	1.26
0+080	139.92	539.33	540.57	540.57	541.03	0.012255	3.02	46.99	51.69	1	1.24
0+060	139.92	539.93	540.99	540.99	541.46	0.012706	3.05	46.18	51.94	1.01	1.06
0+040	139.92	540	541.19	541.19	541.67	0.012281	3.05	46.28	50.69	1	1.19
0+020	139.92	540	541.2	541.2	541.67	0.012335	3.04	46.17	50.2	1	1.2
0+000	139.92	540	541.23	541.23	541.7	0.01242	3.05	46	49.54	1	1.23
2+700	164.71	462	464.06	464.06	464.9	0.010795	4.05	40.67	24.35	1	2.06
2+680	164.71	462.93	464.86	464.86	465.68	0.009757	4.05	42.45	27.09	0.98	1.93
2+660	164.71	464	465.79	465.79	466.59	0.010234	3.97	42.31	27.67	0.99	1.79
2+640	164.71	465	466.77	466.77	467.55	0.010726	3.92	42.05	27.17	1	1.77
2+620	164.71	465.21	467.23	467.23	468.01	0.010322	3.93	42.52	27.76	0.99	2.02
2+600	164.71	466.12	468.04	468.04	468.81	0.010221	3.93	43.61	28.94	0.99	1.92
2+580	164.71	467	468.8	468.8	469.56	0.010347	3.9	43.87	29.69	0.99	1.8
2+560	164.71	468	469.79	469.79	470.53	0.010384	3.86	44.38	31.08	0.99	1.79
2+540	164.71	468.82	470.52	470.52	471.23	0.010475	3.83	45.93	33.66	1	1.7
2+520	164.71	469.67	471.31	471.31	472.01	0.01077	3.82	46.92	35.14	1.01	1.64
2+500	164.71	470.54	472.18	472.18	472.88	0.01068	3.8	46.96	35.3	1	1.64
2+480	164.71	471.3	473.02	473.02	473.71	0.010269	3.77	46.72	34.63	0.99	1.72
2+460	164.71	472.06	473.8	473.8	474.49	0.010186	3.75	46.55	34.78	0.98	1.74
2+440	164.71	472.9	474.49	474.49	475.19	0.010426	3.77	46.06	34.28	0.99	1.59
2+420	164.71	473.59	475.31	475.31	476.01	0.010263	3.74	45.91	34.03	0.98	1.72
2+400	164.71	474.21	476	476	476.71	0.01031	3.75	45	32.92	0.99	1.79
2+380	164.71	475.01	476.77	476.77	477.48	0.010325	3.75	45.13	33.13	0.99	1.76
2+360	164.71	475.92	477.55	477.55	478.24	0.010568	3.72	45.81	34.5	0.99	1.63
2+340	164.71	476.56	478.34	478.34	479.01	0.010435	3.67	46.09	35.11	0.99	1.78
2+320	164.71	477.46	479.13	479.13	479.8	0.01056	3.65	45.75	34.95	0.99	1.67
2+300	164.71	478	479.75	479.75	480.43	0.010956	3.65	45.65	35.35	1	1.75
2+280	164.71	478.95	480.57	480.57	481.22	0.01074	3.58	47.37	38.06	0.99	1.62
2+260	164.71	479.64	481.35	481.35	482	0.01058	3.58	47.27	38.05	0.98	1.71
2+240	164.71	480.5	482.17	482.17	482.81	0.010759	3.56	47.44	39.11	0.99	1.67
2+220	164.71	481.34	482.95	482.95	483.58	0.010934	3.54	47.71	39.76	0.99	1.61
2+200	164.71	482.18	483.7	483.7	484.31	0.01109	3.49	49.14	41.86	0.99	1.52
2+180	164.71	483	484.39	484.39	484.98	0.010848	3.44	49.85	43.33	0.98	1.39
2+160	164.71	483.34	484.97	484.97	485.55	0.011123	3.41	50.52	45.79	0.99	1.63
2+140	164.71	484	485.5	485.5	486.06	0.011263	3.37	51.55	47.84	0.99	1.5
2+120	164.71	484.97	486.24	486.24	486.76	0.011509	3.27	53.09	52.19	0.99	1.27
2+100	164.71	485.65	486.81	486.81	487.32	0.012058	3.22	53.69	54.41	1.01	1.16
2+080	164.71	486.31	487.47	487.47	487.94	0.012644	3.12	55.74	60.58	1.02	1.16
2+060	164.71	487.11	488.22	488.22	488.66	0.012776	3.05	57.12	65.27	1.02	1.11

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Tirante
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		(m)
2+040	164.71	488	489.05	489.05	489.46	0.01255	3.05	61.38	74.15	1.01	1.05
2+020	164.71	488.98	489.9	489.9	490.32	0.014961	3.13	60.26	76.21	1.09	0.92
2+000	164.71	490	490.97	490.97	491.37	0.013702	3.2	62.89	77.45	1.06	0.97
1+980	164.71	490.82	492.1	492.1	492.55	0.011794	3.29	61.58	68.24	1	1.28
1+960	164.71	491.54	492.9	492.9	493.37	0.012355	3.4	59.33	64.77	1.03	1.36
1+940	164.71	492.11	493.77	493.77	494.32	0.0115	3.57	55.12	53.43	1.01	1.66
1+920	164.71	493	494.57	494.57	495.15	0.00901	3.52	55.52	51.85	0.92	1.57
1+900	164.71	493.96	495.51	495.51	496.04	0.008315	3.4	60.1	61.82	0.89	1.55
1+880	164.71	494.59	496.27	496.27	496.79	0.009022	3.42	60.66	61.36	0.92	1.68
1+860	164.71	495	496.77	496.77	497.43	0.009752	3.68	49.21	40.49	0.96	1.77
1+840	164.71	496	497.65	497.65	498.3	0.009692	3.65	51.26	45.7	0.95	1.65
1+820	164.71	496.46	498.35	498.35	498.97	0.008483	3.57	52.81	50.64	0.9	1.89
1+800	164.71	497	498.84	498.84	499.47	0.008956	3.62	52.38	47.3	0.93	1.84
1+780	164.71	497.68	499.47	499.47	500.05	0.008219	3.53	55.3	51.16	0.89	1.79
1+760	164.71	498.51	500.44	500.44	501.05	0.008402	3.61	54.74	49.83	0.9	1.93
1+740	164.71	499	500.87	500.87	501.57	0.009667	3.79	47.18	36.64	0.96	1.87
1+720	164.71	500	501.62	501.62	502.26	0.00954	3.67	50.22	40.5	0.95	1.62
1+700	164.71	500.73	502.26	502.26	502.91	0.011753	3.73	47.53	38.35	1.03	1.53
1+680	164.71	501.7	503.31	503.31	503.91	0.01234	3.61	49.26	41.65	1.04	1.61
1+660	164.71	502	503.45	503.45	504.07	0.012355	3.66	48.17	38.74	1.05	1.45
1+640	164.71	502.97	504.16	504.16	504.71	0.01389	3.47	51.13	47.37	1.08	1.19
1+620	164.71	503.25	504.77	504.77	505.31	0.014827	3.39	50.89	47.4	1.09	1.58
1+600	164.71	504	505.49	505.49	506.02	0.014243	3.4	53.03	54.72	1.08	1.49
1+580	164.71	505	506.05	506.05	506.56	0.014897	3.01	52.56	57.39	1.07	1.65
1+560	164.71	505.75	506.63	506.63	507.09	0.015397	2.68	55.25	58.83	1.05	1.63
1+540	164.71	506.08	507.22	507.22	507.65	0.015198	3.16	59.94	76.16	1.09	1.22
1+520	164.71	506.69	507.76	507.76	508.18	0.014919	3.21	59.71	70.05	1.09	1.07
1+500	164.71	507.15	508.41	508.41	508.83	0.013798	3.17	59.93	73.12	1.05	1.26
1+480	164.71	508	509.06	509.06	509.51	0.016622	3.17	56.75	66.62	1.13	1.06
1+460	164.71	508.34	509.68	509.68	510.1	0.015281	3.14	58.53	69.01	1.09	1.34
1+440	164.71	509.16	510.4	510.4	510.81	0.015034	3.1	60.59	76.58	1.08	1.24
1+420	164.71	510	511.11	511.11	511.53	0.0126	3.12	61.06	72.25	1.01	1.11
1+400	164.71	510.41	511.77	511.77	512.2	0.01113	3.12	62.26	72.65	0.97	1.36
1+380	164.71	511.09	512.52	512.52	512.94	0.009995	3.07	64.15	76.64	0.93	1.43
1+360	164.71	511.8	513	513	513.42	0.012267	3.12	61.88	72.12	1	1.2
1+340	164.71	512	513.7	513.7	514.12	0.010187	3.1	62.83	71.21	0.93	1.7
1+320	164.71	512.99	514.43	514.43	514.89	0.009357	3.14	62.56	77.29	0.91	1.44
1+300	164.71	513.3	514.7	514.7	515.16	0.011309	3.21	59.47	65.27	0.98	1.4
1+280	164.71	514	515.31	515.31	515.72	0.009535	3.05	64.94	79.34	0.91	1.31
1+260	164.71	514.36	515.72	515.72	516.21	0.012382	3.28	56.7	61.53	1.02	1.36
1+240	164.71	515	516.35	516.35	516.81	0.009684	3.14	60.48	69.32	0.92	1.35
1+220	164.71	515	516.73	516.73	517.25	0.010971	3.31	54.65	53.78	0.97	1.73
1+200	164.71	515.75	517.45	517.45	517.9	0.008787	3.1	62.92	75.79	0.88	1.7

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Tirante
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		(m)
1+180	164.71	516	517.77	517.77	518.28	0.010592	3.28	56.09	58.53	0.96	1.77
1+160	164.71	517	518.29	518.29	518.82	0.009941	3.25	53.78	59.27	0.94	1.29
1+140	164.71	517.57	519.09	519.09	519.59	0.009144	3.14	56.01	77.21	0.9	1.52
1+120	164.71	518	519.47	519.47	519.99	0.009889	3.24	55.76	62.84	0.93	1.47
1+100	164.71	518.48	519.95	519.95	520.56	0.013473	3.54	50.92	53.66	1.07	1.46
1+080	164.71	519	520.48	520.48	521.05	0.010463	3.36	51.64	57.26	0.96	1.48
1+060	164.71	519	520.84	520.84	521.44	0.011441	3.44	47.89	39.78	1	1.84
1+040	164.71	520	521.34	521.34	521.94	0.011695	3.42	48.17	40.87	1.01	1.34
1+020	164.71	520.27	521.82	521.82	522.4	0.011782	3.37	48.84	42.74	1.01	1.55
1+000	164.71	521	522.34	522.34	522.86	0.010491	3.21	53.93	57.76	0.95	1.34
0+980	164.71	521.43	522.91	522.91	523.4	0.010892	3.18	56.09	58.27	0.96	1.48
0+960	164.71	522	523.48	523.48	523.9	0.009699	3	63.06	74.7	0.91	1.48
0+940	164.71	522.76	524.24	524.24	524.71	0.009772	3.09	57.16	67.73	0.92	1.48
0+920	164.71	523.14	524.62	524.62	525.11	0.010836	3.15	55.49	61.38	0.96	1.48
0+900	164.71	523.75	525.08	525.08	525.57	0.010029	3.1	54.88	72.31	0.93	1.33
0+880	164.71	524.09	525.52	525.52	526.07	0.011911	3.27	50.78	48.57	1.01	1.43
0+860	164.71	524.73	526.12	526.12	526.58	0.009626	3.04	56.92	75.93	0.91	1.39
0+840	164.71	525	526.4	526.4	526.91	0.0115	3.2	52.88	54.26	0.99	1.4
0+820	164.71	525.48	526.83	526.83	527.35	0.0117	3.22	51.79	50.59	1	1.35
0+800	164.71	526	527.3	527.3	527.69	0.009016	2.86	68.47	93.77	0.88	1.3
0+780	164.71	526.32	527.7	527.7	528.2	0.012179	3.18	55.41	58.67	1.01	1.38
0+760	164.71	527	528.25	528.25	528.69	0.012403	3.08	61.45	82.98	1.01	1.25
0+740	164.71	527.46	528.79	528.79	529.24	0.01201	3.11	58.98	66.11	1	1.33
0+720	164.71	528	529.23	529.23	529.68	0.010354	3.03	61.15	79.83	0.93	1.23
0+700	164.71	528	529.55	529.55	530.08	0.012044	3.21	51.3	49	1	1.55
0+680	164.71	528.95	530.13	530.13	530.61	0.010519	3.06	56.1	72.88	0.94	1.18
0+660	164.71	529.44	530.69	530.69	531.18	0.011255	3.1	54.88	63.26	0.97	1.25
0+640	164.71	530	531.2	531.2	531.68	0.011334	3.08	55.37	64.91	0.97	1.2
0+620	164.71	530	531.43	531.43	531.94	0.012184	3.14	52.37	52.03	1	1.43
0+600	164.71	530.91	532.04	532.04	532.51	0.011418	3.05	55.64	63.4	0.97	1.13
0+580	164.71	531	532.34	532.34	532.81	0.011886	3.09	55.65	60.67	0.99	1.34
0+560	164.71	531.62	532.6	532.6	533.02	0.016177	3.01	57.58	71.17	1.1	1.82
0+540	164.71	532	533.06	533.06	533.45	0.012131	2.94	62.61	78.01	0.98	1.06
0+520	164.71	532	533.41	533.41	533.85	0.010576	2.99	59.32	70.59	0.94	1.41
0+500	164.71	532.48	533.84	533.84	534.3	0.010561	3.03	56.72	68.75	0.94	1.36
0+480	164.71	533	534.15	534.15	534.6	0.010633	2.99	57.6	73.92	0.94	1.15
0+460	164.71	533	534.51	534.51	535.01	0.01176	3.11	53.63	62.34	0.98	1.51
0+440	164.71	533.87	535.03	535.03	535.52	0.011612	3.09	53.77	67.07	0.98	1.16
0+420	164.71	534	535.44	535.44	535.94	0.012119	3.13	52.65	53.18	1	1.44
0+400	164.71	534.72	535.95	535.95	536.45	0.012178	3.14	52.47	52.23	1	1.23
0+380	164.71	535	536.17	536.17	536.67	0.012136	3.12	52.76	53.31	1	1.17
0+360	164.71	535	536.43	536.43	536.92	0.012216	3.1	53.33	55.1	1	1.43
0+340	164.71	535	536.63	536.63	537.11	0.012252	3.07	53.86	56.76	1	1.63

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude	Tirante
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	# Chl	(m)
0+320	164.71	535.91	537.14	537.14	537.61	0.011986	3.05	54.82	62.55	0.99	1.23
0+300	164.71	536	537.24	537.24	537.73	0.012356	3.09	53.29	55.51	1	1.24
0+280	164.71	536.22	537.52	537.52	538.01	0.012186	3.1	53.08	54.26	1	1.3
0+260	164.71	536.98	538.04	538.04	538.53	0.012077	3.12	52.99	56.47	1	1.06
0+240	164.71	537	538.15	538.15	538.66	0.012146	3.15	52.45	52.96	1	1.15
0+220	164.71	537.05	538.33	538.33	538.84	0.011941	3.15	52.41	52.25	1	1.28
0+200	164.71	537.63	538.77	538.77	539.23	0.012355	3.09	55.75	61.7	1.01	1.14
0+180	164.71	538	539.22	539.22	539.66	0.011548	3.05	59.13	67.31	0.97	1.22
0+160	164.71	538	539.22	539.22	539.69	0.014722	3.16	55.24	68.34	1.08	2.22
0+140	164.71	538.19	539.29	539.29	539.72	0.014369	2.65	57.46	65.62	1.02	2.56
0+120	164.71	538.89	540.04	540.04	540.51	0.01198	3.08	56.12	61.61	0.99	1.15
0+100	164.71	539	540.37	540.37	540.89	0.011873	3.18	52.23	51.36	1	1.37
0+080	164.71	539.33	540.68	540.68	541.19	0.011826	3.18	52.59	52.13	1	1.35
0+060	164.71	539.93	541.12	541.12	541.62	0.011636	3.16	52.8	54.09	0.99	1.19
0+040	164.71	540	541.31	541.31	541.83	0.011672	3.2	52.11	51.21	0.99	1.31
0+020	164.71	540	541.31	541.31	541.83	0.011783	3.2	51.83	50.74	1	1.31
0+000	164.71	540	541.34	541.34	541.86	0.011871	3.21	51.59	49.99	1	1.34

ANEXO 15 Características Hidráulicas Topografía De Satélite

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude	Tirante
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	# Chl	(m)
2+700	139.92	500.16	501.11	501.11	501.56	0.020079	3.61	49.81	53.89	1.21	1.11
2+680	139.92	500.27	500.89	500.89	501.16	0.017	2.35	66.29	120	1.02	1.07
2+660	139.92	500.67	500.89	500.89	501.27	0.015454	0.89	53.1	81.88	0.77	1.67
2+640	139.92	500.69	500.55	500.55	501.07	0.021235		43.72	42.56	0	1.94
2+620	139.92	500.59	500.43	500.43	500.95	0.020973		43.99	42.67	0	2.06
2+600	139.92	500.5	500.32	500.32	500.84	0.021001		43.97	42.65	0	2.06
2+580	139.92	500.41	500.21	500.21	500.73	0.021019		43.95	42.63	0	2.06
2+560	139.92	500.32	500.1	500.1	500.61	0.021041		43.89	42.5	0	2.07
2+540	139.92	500.22	499.98	499.98	500.5	0.021064		43.91	42.59	0	2.06
2+520	139.92	500.12	499.86	499.86	500.38	0.021088		43.89	42.58	0	2.06
2+500	139.92	499.82	499.54	499.54	500.06	0.021115		43.86	42.56	0	2.06
2+480	139.92	499.52	499.23	499.23	499.75	0.021138		43.88	42.65	0	2.06
2+460	139.92	499.21	498.91	498.91	499.43	0.021135		43.72	42.23	0	2.07
2+440	139.92	498.92	498.89	498.89	499.38	0.021127		45.23	47.02	0	1.5
2+420	139.92	498.62	499.22	499.22	499.64	0.018375	1.64	49.38	59.16	0.96	1.28
2+400	139.92	498.49	499.7	499.7	500.06	0.018761	2.86	53.47	74.44	1.11	1.21
2+380	139.92	499.05	500.34	500.34	500.68	0.010533	2.96	64.42	92.82	0.9	1.29
2+360	139.92	499.72	500.88	500.88	501.22	0.015222	3.09	63.12	99.18	1.04	1.28
2+340	139.92	500.48	501.37	501.37	501.73	0.026357	3.01	54.54	87.4	1.27	1.22
2+320	139.92	500.69	501.68	501.68	502.04	0.023117	3.14	56.02	84.97	1.23	0.98
2+300	139.92	501.24	502.19	502.19	502.52	0.014959	3.01	64.63	97.83	1.03	0.95
2+280	139.92	501.87	502.67	502.67	502.96	0.01796	2.85	65.73	115.1	1.09	0.88
2+260	139.92	502.59	503.17	503.17	503.44	0.024571	2.8	63.86	120	1.22	0.68
2+240	139.92	503.26	503.84	503.84	504.11	0.024602	2.8	63.75	120	1.22	0.68
2+220	139.92	503.94	504.52	504.52	504.79	0.024506	2.79	63.74	120	1.22	0.68
2+200	139.92	504.61	505.19	505.19	505.46	0.024323	2.78	63.8	120	1.21	0.67
2+180	139.92	505.29	505.88	505.88	506.16	0.023702	2.79	63.25	116.86	1.2	0.68
2+160	139.92	505.9	506.54	506.54	506.81	0.023417	2.73	64.02	120	1.19	0.85
2+140	139.92	506.58	507.22	507.22	507.49	0.023273	2.73	63.78	118.17	1.19	0.85
2+120	139.92	507.13	507.72	507.72	507.99	0.024323	2.73	63.65	120	1.21	0.71
2+100	139.92	507.5	508.08	508.08	508.36	0.024201	2.72	63.51	120	1.2	0.7
2+080	139.92	507.86	508.44	508.44	508.72	0.024053	2.69	63.42	120	1.2	0.7
2+060	139.92	508.22	508.81	508.81	509.08	0.023693	2.67	63.46	120	1.19	0.7
2+040	139.92	508.54	509.17	509.17	509.45	0.02408	2.7	63.05	119.16	1.2	0.84
2+020	139.92	508.9	509.55	509.55	509.86	0.02579	2.88	58.77	100.12	1.25	0.86
2+000	139.92	509.23	509.88	509.88	510.22	0.030613	2.78	53.72	78.91	1.32	1.02
1+980	139.92	509.57	510.29	510.29	510.67	0.032583	2.58	50.94	66.77	1.33	1.1
1+960	139.92	510.33	510.78	510.78	511.09	0.025949	2.08	58.43	97.33	1.16	1.2
1+940	139.92	510.63	511.22	511.22	511.56	0.027525	2.14	55.38	81.91	1.19	1.22
1+920	139.92	510.67	511.3	511.3	511.64	0.028912	2.36	54.5	83.22	1.24	1.3
1+900	139.92	510.72	511.32	511.32	511.65	0.027612	2.18	55.01	81.32	1.2	1.32

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Tirante
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		(m)
1+880	139.92	510.76	511.33	511.33	511.67	0.027006	2.03	55.11	79.3	1.17	1.33
1+860	139.92	510.81	511.36	511.36	511.7	0.026971	1.95	55	78.32	1.15	1.36
1+840	139.92	510.85	511.4	511.4	511.74	0.027049	1.93	54.92	77.72	1.15	1.4
1+820	139.92	510.91	511.44	511.44	511.79	0.027885	1.91	54.48	77.13	1.16	1.41
1+800	139.92	510.97	511.49	511.49	511.84	0.027628	1.91	54.75	77.51	1.16	1.41
1+780	139.92	511.03	511.54	511.54	511.88	0.027865	1.91	54.69	77.65	1.16	1.41
1+760	139.92	511.09	511.61	511.61	511.96	0.028597	2.02	54.13	77.98	1.19	1.39
1+740	139.92	511.17	511.7	511.7	512.05	0.028339	2.02	54.19	77.93	1.19	1.39
1+720	139.92	511.25	511.79	511.79	512.14	0.027971	2.02	54.32	77.9	1.18	1.39
1+700	139.92	511.33	511.9	511.9	512.24	0.026889	2.04	54.95	78.42	1.17	1.4
1+680	139.92	511.41	511.99	511.99	512.33	0.026935	2.04	54.82	78.3	1.17	1.4
1+660	139.92	511.71	512.16	512.16	512.57	0.030252	1.74	50.16	62.2	1.17	1.48
1+640	139.92	512.36	512.79	512.79	513.21	0.030113	1.69	49.94	61.3	1.16	1.63
1+620	139.92	512.76	513.34	513.34	513.73	0.029318	2.02	51.24	65.79	1.2	1.38
1+600	139.92	513.86	514.49	514.49	514.83	0.027426	2.3	54.79	83.86	1.21	1.31
1+580	139.92	515.07	515.71	515.71	516.05	0.02697	2.29	54.98	83.91	1.2	1.31
1+560	139.92	516.27	516.93	516.93	517.26	0.026845	2.31	54.92	83.92	1.2	1.31
1+540	139.92	517.39	518.01	518.01	518.38	0.027243	2.05	53.24	73.22	1.17	1.45
1+520	139.92	518.58	519.21	519.21	519.57	0.027003	2.05	53.37	73.19	1.17	1.46
1+500	139.92	519.77	520.4	520.4	520.76	0.027008	2.05	53.33	73.07	1.17	1.46
1+480	139.92	521.05	521.73	521.73	522.06	0.025274	2.13	56.32	84.29	1.15	1.33
1+460	139.92	522.27	522.96	522.96	523.28	0.025168	2.14	56.34	84.42	1.15	1.34
1+440	139.92	523.48	524.17	524.17	524.5	0.025174	2.15	56.27	84.17	1.15	1.33
1+420	139.92	524.69	525.39	525.39	525.71	0.02515	2.16	56.25	84.39	1.15	1.33
1+400	139.92	525.91	526.61	526.61	526.93	0.024987	2.16	56.29	84.38	1.15	1.34
1+380	139.92	527.06	527.7	527.7	527.97	0.021996	2.47	63.53	120	1.13	1.21
1+360	139.92	527.63	528.32	528.32	528.58	0.021914	2.59	64.13	120	1.15	0.98
1+340	139.92	528.09	528.77	528.77	529.03	0.021685	2.61	64.49	120	1.14	0.95
1+320	139.92	528.31	528.99	528.99	529.26	0.022263	2.61	63.88	120	1.16	0.95
1+300	139.92	528.7	529.32	529.32	529.59	0.023575	2.7	64.11	120	1.19	0.81
1+280	139.92	529.17	529.79	529.79	530.06	0.024118	2.72	63.76	120	1.2	0.81
1+260	139.92	529.64	530.26	530.26	530.53	0.024224	2.72	63.76	120	1.2	0.81
1+240	139.92	530.11	530.72	530.72	530.99	0.024349	2.73	63.75	120	1.21	0.8
1+220	139.92	530.58	531.19	531.19	531.46	0.024449	2.74	63.75	120	1.21	0.8
1+200	139.92	531.05	531.66	531.66	531.93	0.024629	2.73	63.75	120	1.21	0.81
1+180	139.92	531.52	532.13	532.13	532.4	0.02449	2.73	63.78	120	1.21	0.81
1+160	139.92	531.98	532.6	532.6	532.87	0.024047	2.72	63.88	120	1.2	0.81
1+140	139.92	532.45	533.07	533.07	533.34	0.023835	2.71	63.84	120	1.2	0.81
1+120	139.92	532.91	533.53	533.53	533.8	0.02371	2.71	63.79	120	1.19	0.8
1+100	139.92	533.36	533.98	533.98	534.25	0.023799	2.72	63.72	120	1.2	0.79
1+080	139.92	533.87	534.5	534.5	534.77	0.023586	2.7	63.77	120	1.19	0.83
1+060	139.92	534.47	535.08	535.08	535.35	0.023793	2.73	63.71	120	1.2	0.74
1+040	139.92	535.05	535.66	535.66	535.93	0.023529	2.73	63.78	120	1.19	0.74

Progresiva	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl	Tirante (m)
1+020	139.92	535.62	536.23	536.23	536.5	0.023071	2.72	63.92	120	1.18	0.73
1+000	139.92	536.2	536.72	536.72	537	0.025909	2.58	62.31	120	1.22	0.64
0+980	139.92	536.1	536.73	536.73	537	0.018626	2.43	64.77	120	1.06	0.81
0+960	139.92	536.4	537	537	537.27	0.023043	2.7	63.9	120	1.18	0.7
0+940	139.92	538.02	538.62	538.62	538.89	0.023083	2.71	63.8	120	1.18	0.7
0+920	139.92	538.65	539.28	539.28	539.55	0.022744	2.69	63.96	120	1.17	0.78
0+900	139.92	539.22	539.85	539.85	540.12	0.022928	2.69	63.77	120	1.18	0.78
0+880	139.92	539.79	540.42	540.42	540.69	0.02285	2.69	63.81	120	1.18	0.78
0+860	139.92	540.35	540.99	540.99	541.26	0.022764	2.69	63.81	120	1.17	0.78
0+840	139.92	540.92	541.55	541.55	541.82	0.022199	2.67	64.29	120	1.16	0.77
0+820	139.92	541.49	542.09	542.09	542.36	0.024338	2.67	63	120	1.2	0.75
0+800	139.92	541.84	542.39	542.39	542.66	0.022223	2.66	64.02	120	1.16	0.57
0+780	139.92	542.17	542.77	542.77	543.04	0.022933	2.69	63.7	120	1.18	0.69
0+760	139.92	542.97	543.56	543.56	543.83	0.022831	2.68	63.76	120	1.17	0.69
0+740	139.92	543.76	544.36	544.36	544.63	0.022556	2.67	63.86	120	1.17	0.68
0+720	139.92	544.56	545.16	545.16	545.43	0.022545	2.67	63.78	120	1.17	0.69
0+700	139.92	545.35	545.95	545.95	546.22	0.022259	2.66	63.87	120	1.16	0.68
0+680	139.92	546.15	546.75	546.75	547.02	0.022136	2.65	63.87	120	1.16	0.68
0+660	139.92	546.94	547.46	547.46	547.73	0.023325	2.56	62.98	120	1.17	0.6
0+640	139.92	547.42	548	548	548.27	0.020331	2.54	64.16	120	1.11	0.61
0+620	139.92	548.03	548.58	548.58	548.85	0.020946	2.57	64.06	120	1.12	0.58
0+600	139.92	548.48	549.06	549.06	549.33	0.020429	2.53	64.15	120	1.11	0.64
0+580	139.92	548.71	549.29	549.29	549.56	0.020344	2.53	64.27	120	1.11	0.64
0+560	139.92	548.94	549.51	549.51	549.78	0.020426	2.54	64.23	120	1.11	0.63
0+540	139.92	549.17	549.75	549.75	550.01	0.020372	2.54	64.33	120	1.11	0.64
0+520	139.92	549.39	549.97	549.97	550.24	0.020332	2.55	64.35	120	1.11	0.63
0+500	139.92	549.62	550.2	550.2	550.47	0.020381	2.55	64.34	120	1.11	0.63
0+480	139.92	549.89	550.62	550.62	550.94	0.021568	2.8	58.27	97.27	1.16	0.74
0+460	139.92	550.5	551.34	551.34	551.64	0.021333	2.03	58.77	93.01	1.07	1.22
0+440	139.92	551.32	552.06	552.06	552.36	0.023527	2.52	59.07	109.34	1.17	1.09
0+420	139.92	551.88	552.65	552.65	552.95	0.023103	2.58	58.7	109.14	1.17	1.08
0+400	139.92	552.44	553.19	553.19	553.49	0.023746	2.54	58.73	109.41	1.18	1.08
0+380	139.92	553	553.75	553.75	554.05	0.023573	2.54	58.76	109	1.17	1.08
0+360	139.92	553.56	554.32	554.32	554.62	0.023513	2.54	58.72	109.34	1.17	1.08
0+340	139.92	554.05	554.83	554.83	555.14	0.024633	2.45	56.69	96.98	1.18	1.17
0+320	139.92	554.6	555.37	555.37	555.68	0.024825	2.43	56.72	96.71	1.18	1.17
0+300	139.92	555.38	556.09	556.09	556.39	0.02273	2.65	59.87	111.2	1.17	0.92
0+280	139.92	556.4	557.08	557.08	557.35	0.02229	2.58	63.24	120	1.15	0.9
0+260	139.92	557.42	558.09	558.09	558.36	0.022431	2.58	63.33	120	1.16	0.9
0+240	139.92	558.43	559.1	559.1	559.37	0.022615	2.58	63.33	120	1.16	0.89
0+220	139.92	559.45	560.11	560.11	560.38	0.023012	2.59	63.2	120	1.17	0.89
0+200	139.92	560.46	561.11	561.11	561.38	0.022569	2.53	63.72	120	1.15	1.01
0+180	139.92	561.43	562.08	562.08	562.35	0.022653	2.4	63.34	120	1.14	1.1

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Tirante
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		(m)
0+160	139.92	562.31	563.03	563.03	563.3	0.022219	2.31	62.55	120	1.12	1.16
0+140	139.92	563.19	563.9	563.9	564.21	0.025454	2.37	57.77	104.7	1.19	1.15
0+120	139.92	564.07	564.77	564.77	565.08	0.025545	2.34	57.49	99.28	1.18	1.19
0+100	139.92	564.89	565.63	565.63	565.93	0.024093	2.21	58.2	96.3	1.14	1.25
0+080	139.92	565.7	566.44	566.44	566.74	0.02457	2.21	57.73	92.77	1.15	1.25
0+060	139.92	566.5	567.24	567.24	567.54	0.024507	2.21	57.79	93.01	1.15	1.25
0+040	139.92	567.43	568.14	568.14	568.41	0.022015	2.49	62.76	120	1.14	1.01
0+020	139.92	568.26	568.97	568.97	569.25	0.021769	2.52	62.9	120	1.14	1.01
0+000	139.92	569.01	569.74	569.74	570.02	0.022549	2.53	61.01	117.08	1.15	1.08
2+700	164.71	500.16	501.21	501.21	501.72	0.019594	3.84	55.51	53.89	1.21	1.21
2+680	164.71	500.27	500.93	500.95	501.26	0.018848	2.6	71.52	120	1.08	1.11
2+660	164.71	500.67	501.01	501.01	501.39	0.013597	1.29	64.74	103.34	0.81	1.79
2+640	164.71	500.69	500.69	500.69	501.24	0.020667		49.91	45.45	0	2.08
2+620	164.71	500.59	500.57	500.57	501.12	0.020707		49.96	45.47	0	2.2
2+600	164.71	500.5	500.46	500.46	501.01	0.020614		50.04	45.5	0	2.2
2+580	164.71	500.41	500.35	500.35	500.9	0.02054		50.1	45.52	0	2.2
2+560	164.71	500.32	500.24	500.24	500.79	0.020485		50.1	45.41	0	2.21
2+540	164.71	500.22	500.12	500.12	500.67	0.020477		50.15	45.52	0	2.2
2+520	164.71	500.12	500	500	500.55	0.020474		50.15	45.51	0	2.2
2+500	164.71	499.82	499.68	499.68	500.23	0.02049		50.13	45.5	0	2.2
2+480	164.71	499.52	499.37	499.37	499.92	0.020506		50.16	45.6	0	2.2
2+460	164.71	499.21	499.05	499.05	499.61	0.020488		49.99	45.15	0	2.21
2+440	164.71	498.92	499.01	499.01	499.54	0.019958	0.49	51.14	49.51	0.73	1.62
2+420	164.71	498.62	499.32	499.32	499.79	0.01789	1.79	55.5	61.23	0.97	1.38
2+400	164.71	498.49	499.78	499.78	500.18	0.018638	2.99	59.47	76.06	1.12	1.29
2+380	164.71	499.05	500.42	500.42	500.79	0.010703	3.12	71.93	94.45	0.92	1.37
2+360	164.71	499.72	500.97	500.97	501.33	0.01447	3.22	72.71	106.3	1.04	1.37
2+340	164.71	500.48	501.47	501.47	501.85	0.023758	3.18	63.56	94.68	1.24	1.32
2+320	164.71	500.69	501.77	501.77	502.16	0.021386	3.28	63.89	89.05	1.2	1.08
2+300	164.71	501.24	502.28	502.28	502.63	0.014621	3.15	72.7	100.32	1.03	1.04
2+280	164.71	501.87	502.74	502.74	503.06	0.017826	3.02	73.51	117.17	1.1	0.95
2+260	164.71	502.59	503.23	503.23	503.53	0.023897	2.97	71.02	120	1.22	0.74
2+240	164.71	503.26	503.9	503.9	504.2	0.023768	2.96	71.04	120	1.22	0.74
2+220	164.71	503.94	504.58	504.58	504.88	0.023659	2.95	71.05	120	1.22	0.74
2+200	164.71	504.61	505.25	505.25	505.55	0.023504	2.94	71.09	120	1.21	0.73
2+180	164.71	505.29	505.95	505.95	506.25	0.022891	2.94	70.5	116.86	1.2	0.75
2+160	164.71	505.9	506.6	506.6	506.9	0.022943	2.9	71.25	120	1.2	0.91
2+140	164.71	506.58	507.28	507.28	507.59	0.022691	2.89	71.07	118.17	1.19	0.91
2+120	164.71	507.13	507.78	507.78	508.08	0.023333	2.88	71.08	120	1.21	0.77
2+100	164.71	507.5	508.15	508.15	508.45	0.023243	2.87	70.9	120	1.2	0.77
2+080	164.71	507.86	508.51	508.51	508.81	0.023094	2.84	70.8	120	1.2	0.77
2+060	164.71	508.22	508.87	508.87	509.17	0.022761	2.82	70.83	120	1.19	0.76
2+040	164.71	508.54	509.24	509.24	509.54	0.022198	2.82	71.59	120	1.18	0.91

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Tirante
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		(m)
2+020	164.71	508.9	509.62	509.62	509.97	0.024242	3.04	66.37	102.27	1.24	0.94
2+000	164.71	509.23	509.96	509.96	510.34	0.029621	2.94	60.18	80.81	1.32	1.1
1+980	164.71	509.57	510.38	510.38	510.8	0.031205	2.73	57.37	69	1.32	1.19
1+960	164.71	510.33	510.86	510.86	511.19	0.024904	2.36	66.39	101.86	1.17	1.28
1+940	164.71	510.63	511.3	511.3	511.67	0.027011	2.45	62.05	86.44	1.22	1.3
1+920	164.71	510.67	511.39	511.39	511.76	0.027708	2.64	61.49	87.79	1.26	1.39
1+900	164.71	510.72	511.39	511.39	511.77	0.027453	2.48	61.34	85.45	1.23	1.39
1+880	164.71	510.76	511.41	511.41	511.79	0.027074	2.36	61.31	83.51	1.21	1.41
1+860	164.71	510.81	511.44	511.44	511.82	0.02701	2.29	61.23	82.58	1.2	1.44
1+840	164.71	510.85	511.48	511.48	511.85	0.02642	2.27	61.65	82.31	1.19	1.48
1+820	164.71	510.91	511.53	511.53	511.9	0.026677	2.25	61.58	82.03	1.19	1.5
1+800	164.71	510.97	511.58	511.58	511.95	0.026888	2.26	61.55	82.17	1.2	1.5
1+780	164.71	511.03	511.63	511.63	512	0.027154	2.26	61.48	82.26	1.2	1.5
1+760	164.71	511.09	511.7	511.7	512.08	0.027246	2.36	61.35	83	1.21	1.48
1+740	164.71	511.17	511.79	511.79	512.17	0.026918	2.35	61.46	83.01	1.21	1.48
1+720	164.71	511.25	511.88	511.88	512.26	0.026702	2.35	61.48	82.87	1.2	1.48
1+700	164.71	511.33	511.98	511.98	512.35	0.026534	2.36	61.51	82.97	1.2	1.48
1+680	164.71	511.41	512.07	512.07	512.44	0.026458	2.36	61.44	83.03	1.2	1.48
1+660	164.71	511.71	512.27	512.27	512.71	0.028259	1.95	57.4	66.38	1.17	1.59
1+640	164.71	512.36	512.91	512.91	513.35	0.028307	1.91	57.07	65.56	1.17	1.75
1+620	164.71	512.76	513.44	513.44	513.86	0.028238	2.21	57.98	69.52	1.21	1.48
1+600	164.71	513.86	514.57	514.57	514.94	0.026332	2.57	61.93	89.09	1.23	1.39
1+580	164.71	515.07	515.79	515.79	516.16	0.026343	2.57	61.77	88.98	1.23	1.39
1+560	164.71	516.27	517	517	517.38	0.02619	2.59	61.71	88.94	1.22	1.38
1+540	164.71	517.39	518.12	518.12	518.5	0.025116	2.19	61.37	78.61	1.16	1.56
1+520	164.71	518.58	519.3	519.3	519.69	0.026464	2.22	60.22	77.74	1.18	1.55
1+500	164.71	519.77	520.49	520.49	520.88	0.026274	2.22	60.34	77.72	1.18	1.55
1+480	164.71	521.05	521.81	521.81	522.17	0.025192	2.42	62.64	88.91	1.19	1.41
1+460	164.71	522.27	523.03	523.03	523.39	0.025569	2.43	62.29	88.76	1.19	1.41
1+440	164.71	523.48	524.25	524.25	524.61	0.025099	2.43	62.58	88.78	1.19	1.41
1+420	164.71	524.69	525.46	525.46	525.82	0.025545	2.45	62.18	88.66	1.2	1.4
1+400	164.71	525.91	526.68	526.68	527.04	0.025428	2.45	62.19	88.66	1.19	1.41
1+380	164.71	527.06	527.77	527.77	528.06	0.021613	2.66	71.2	120	1.15	1.28
1+360	164.71	527.63	528.38	528.38	528.68	0.021191	2.76	71.95	120	1.15	1.04
1+340	164.71	528.09	528.83	528.83	529.12	0.021228	2.78	71.99	120	1.15	1.01
1+320	164.71	528.31	529.05	529.05	529.35	0.021362	2.77	71.86	120	1.15	1.01
1+300	164.71	528.7	529.38	529.38	529.68	0.02349	2.89	70.9	120	1.21	0.87
1+280	164.71	529.17	529.85	529.85	530.15	0.023509	2.89	70.98	120	1.21	0.87
1+260	164.71	529.64	530.32	530.32	530.62	0.023676	2.89	70.92	120	1.21	0.87
1+240	164.71	530.11	530.78	530.78	531.09	0.023783	2.9	70.93	120	1.22	0.86
1+220	164.71	530.58	531.25	531.25	531.55	0.023862	2.91	70.94	120	1.22	0.86
1+200	164.71	531.05	531.72	531.72	532.02	0.024077	2.9	70.9	120	1.22	0.87
1+180	164.71	531.52	532.19	532.19	532.49	0.023935	2.9	70.94	120	1.22	0.87

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Tirante
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		(m)
1+160	164.71	531.98	532.66	532.66	532.96	0.023532	2.89	71.03	120	1.21	0.87
1+140	164.71	532.45	533.13	533.13	533.43	0.023296	2.88	71.01	120	1.2	0.87
1+120	164.71	532.91	533.59	533.59	533.89	0.023087	2.88	71.03	120	1.2	0.86
1+100	164.71	533.36	534.04	534.04	534.34	0.023121	2.88	70.99	120	1.2	0.85
1+080	164.71	533.87	534.56	534.56	534.86	0.022825	2.86	71.19	120	1.19	0.89
1+060	164.71	534.47	535.14	535.14	535.44	0.022937	2.89	71.09	120	1.2	0.8
1+040	164.71	535.05	535.72	535.72	536.02	0.022733	2.89	71.12	120	1.19	0.8
1+020	164.71	535.62	536.29	536.29	536.6	0.02237	2.87	71.2	120	1.19	0.79
1+000	164.71	536.2	536.79	536.79	537.09	0.02469	2.74	69.65	120	1.22	0.71
0+980	164.71	536.1	536.8	536.8	537.1	0.017933	2.58	72.74	120	1.06	0.88
0+960	164.71	536.4	537.06	537.06	537.36	0.022236	2.85	71.25	120	1.18	0.76
0+940	164.71	538.02	538.68	538.68	538.98	0.022221	2.86	71.19	120	1.18	0.76
0+920	164.71	538.65	539.34	539.34	539.64	0.022229	2.85	71.12	120	1.18	0.84
0+900	164.71	539.22	539.91	539.91	540.21	0.021691	2.83	71.62	120	1.17	0.84
0+880	164.71	539.79	540.48	540.48	540.78	0.021669	2.83	71.6	120	1.17	0.84
0+860	164.71	540.35	541.05	541.05	541.35	0.021543	2.82	71.66	120	1.16	0.84
0+840	164.71	540.92	541.62	541.62	541.91	0.02154	2.82	71.64	120	1.16	0.83
0+820	164.71	541.49	542.15	542.15	542.45	0.023428	2.83	70.28	120	1.2	0.81
0+800	164.71	541.84	542.45	542.45	542.75	0.02147	2.81	71.34	120	1.16	0.63
0+780	164.71	542.17	542.83	542.83	543.13	0.022025	2.83	71.12	120	1.17	0.75
0+760	164.71	542.97	543.62	543.62	543.93	0.022044	2.83	71.07	120	1.17	0.75
0+740	164.71	543.76	544.42	544.42	544.72	0.021774	2.82	71.19	120	1.17	0.74
0+720	164.71	544.56	545.22	545.22	545.52	0.021694	2.81	71.17	120	1.17	0.75
0+700	164.71	545.35	546.01	546.01	546.31	0.02137	2.8	71.33	120	1.16	0.74
0+680	164.71	546.15	546.81	546.81	547.11	0.021297	2.8	71.28	120	1.16	0.74
0+660	164.71	546.94	547.52	547.52	547.82	0.022346	2.71	70.32	120	1.17	0.66
0+640	164.71	547.42	548.06	548.06	548.36	0.019754	2.69	71.5	120	1.11	0.67
0+620	164.71	548.03	548.64	548.64	548.94	0.020234	2.72	71.44	120	1.13	0.64
0+600	164.71	548.48	549.12	549.12	549.42	0.019805	2.68	71.53	120	1.11	0.7
0+580	164.71	548.71	549.35	549.35	549.65	0.019825	2.69	71.55	120	1.11	0.7
0+560	164.71	548.94	549.58	549.58	549.88	0.019831	2.69	71.59	120	1.11	0.7
0+540	164.71	549.17	549.81	549.81	550.11	0.019837	2.7	71.63	120	1.12	0.7
0+520	164.71	549.39	550.03	550.03	550.33	0.019772	2.7	71.69	120	1.11	0.69
0+500	164.71	549.62	550.26	550.26	550.56	0.019804	2.7	71.7	120	1.11	0.69
0+480	164.71	549.89	550.7	550.7	551.05	0.020099	2.93	66.08	101.01	1.14	0.82
0+460	164.71	550.5	551.41	551.41	551.75	0.021804	2.29	65.17	99.72	1.11	1.29
0+440	164.71	551.32	552.14	552.14	552.46	0.021515	2.68	68.1	117.41	1.15	1.17
0+420	164.71	551.88	552.74	552.74	553.05	0.019471	2.66	69.66	117.6	1.1	1.17
0+400	164.71	552.44	553.27	553.27	553.59	0.021084	2.67	68.42	118.07	1.14	1.16
0+380	164.71	553	553.83	553.83	554.15	0.021315	2.68	67.99	117.06	1.14	1.16
0+360	164.71	553.56	554.4	554.4	554.72	0.020872	2.67	68.41	118.05	1.13	1.16
0+340	164.71	554.05	554.91	554.91	555.25	0.022724	2.63	64.79	103.58	1.17	1.25
0+320	164.71	554.6	555.45	555.45	555.79	0.022988	2.62	64.74	103.4	1.17	1.25

Progresiva	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Tirante
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)		(m)
0+300	164.71	555.38	556.17	556.17	556.5	0.020473	2.77	69.17	117.92	1.14	1
0+280	164.71	556.4	557.14	557.14	557.44	0.021627	2.75	70.69	120	1.16	0.96
0+260	164.71	557.42	558.15	558.15	558.45	0.021944	2.75	70.6	120	1.16	0.96
0+240	164.71	558.43	559.16	559.16	559.47	0.022058	2.75	70.66	120	1.17	0.95
0+220	164.71	559.45	560.17	560.17	560.48	0.022406	2.76	70.55	120	1.17	0.95
0+200	164.71	560.46	561.17	561.17	561.47	0.021978	2.7	71.16	120	1.16	1.07
0+180	164.71	561.43	562.15	562.15	562.44	0.022101	2.59	70.89	120	1.15	1.17
0+160	164.71	562.31	563.1	563.1	563.39	0.021293	2.5	70.81	120	1.12	1.23
0+140	164.71	563.19	563.99	563.99	564.31	0.022425	2.54	67.66	118.6	1.15	1.24
0+120	164.71	564.07	564.85	564.85	565.18	0.023853	2.55	65.5	106.01	1.18	1.27
0+100	164.71	564.89	565.7	565.7	566.03	0.023582	2.45	65.25	102.45	1.16	1.32
0+080	164.71	565.7	566.51	566.51	566.84	0.023965	2.45	64.58	98.13	1.17	1.32
0+060	164.71	566.5	567.31	567.31	567.64	0.023931	2.45	64.62	98.31	1.17	1.32
0+040	164.71	567.43	568.21	568.21	568.5	0.021188	2.66	70.7	120	1.14	1.08
0+020	164.71	568.26	569.04	569.04	569.34	0.021219	2.69	70.58	120	1.14	1.08
0+000	164.71	569.01	569.82	569.82	570.12	0.020366	2.66	70.67	120	1.12	1.16