

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA**  
(Creada por Ley N° 25265)

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**  
**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

**“ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN A PARTIR DE  
LA ROTURA DE PRESA LACHOCC EN LA CIUDAD DE  
HUANCVELICA”**

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**  
**HIDROLOGIA E HIDRAULICA**

**PRESENTADO POR:**

Bach. CARRANZA ÁLVAREZ, Jesús

Bach. COMUN BARRA, Marlon Yefri

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**HUANCVELICA – PERÚ**

**2019**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCAVELICA



## FACULTAD DE CIENCIAS DE INGENIERÍA

### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En el Auditorium de la Facultad de Ciencias de Ingeniería, a los 10 días del mes de diciembre del año 2019, a horas 4:00 p.m., se reunieron los miembros del Jurado Calificador conformado por los siguientes: **M.Sc. Marco Antonio LÓPEZ BARRANTES (PRESIDENTE)**, **M.Sc. Iván Arturo AYALA BIZARRO (SECRETARIO)**, **Mg. Jorge Luis ORTEGA VARGAS (VOCAL)**, designados con Resolución de Decano N° 044-2019-FCI-UNH, de fecha 03 de mayo del 2019 y ratificados con Resolución de Decano N° 280-2019-FCI-UNH de fecha 06 de diciembre del 2019, a fin de proceder con la calificación de la sustentación del informe final de tesis titulado: "ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN A PARTIR DE LA ROTURA DE PRESA LACHOCC EN LA CIUDAD DE HUANCAVELICA", presentado por los Bachilleres **Jesús CARRANZA ALVAREZ** y **Marlon Yefri COMUN BARRA**, para optar el **Título Profesional de Ingeniero Civil**; en presencia del **Ing. Carlos GASPAR PACO** como Asesor del presente trabajo de tesis. Finalizado la evaluación a horas...<sup>05:10 pm</sup> se invitó al público presente y a los sustentantes abandonar el recinto. Luego de una amplia deliberación por parte de los Jurados, se llegó al siguiente resultado:

**Jesús CARRANZA ALVAREZ**

APROBADO  POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

**Marlon Yefri COMUN BARRA**

APROBADO  POR UNANIMIDAD

DESAPROBADO

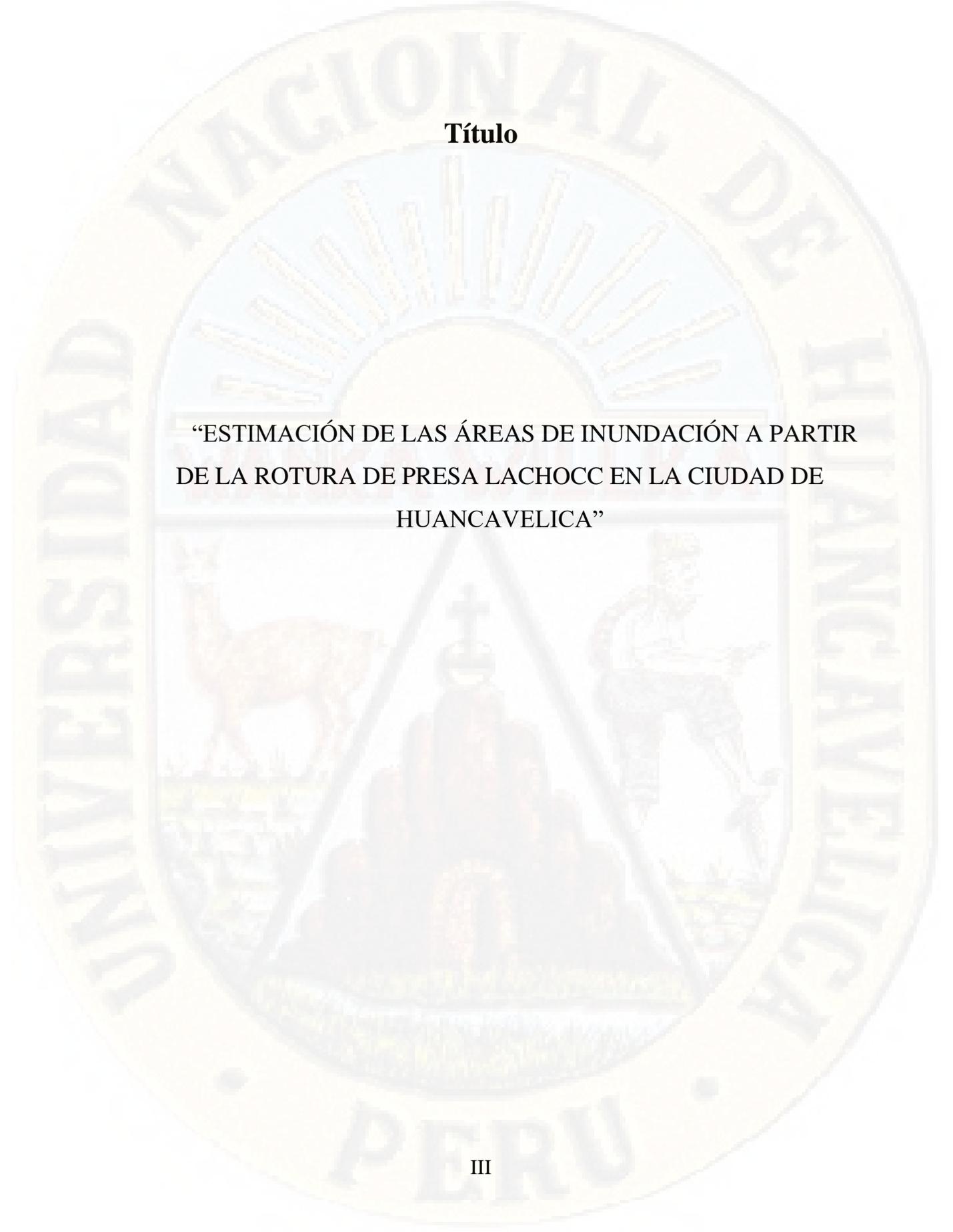
En señal de conformidad, firmamos a continuación:

\_\_\_\_\_  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Secretario

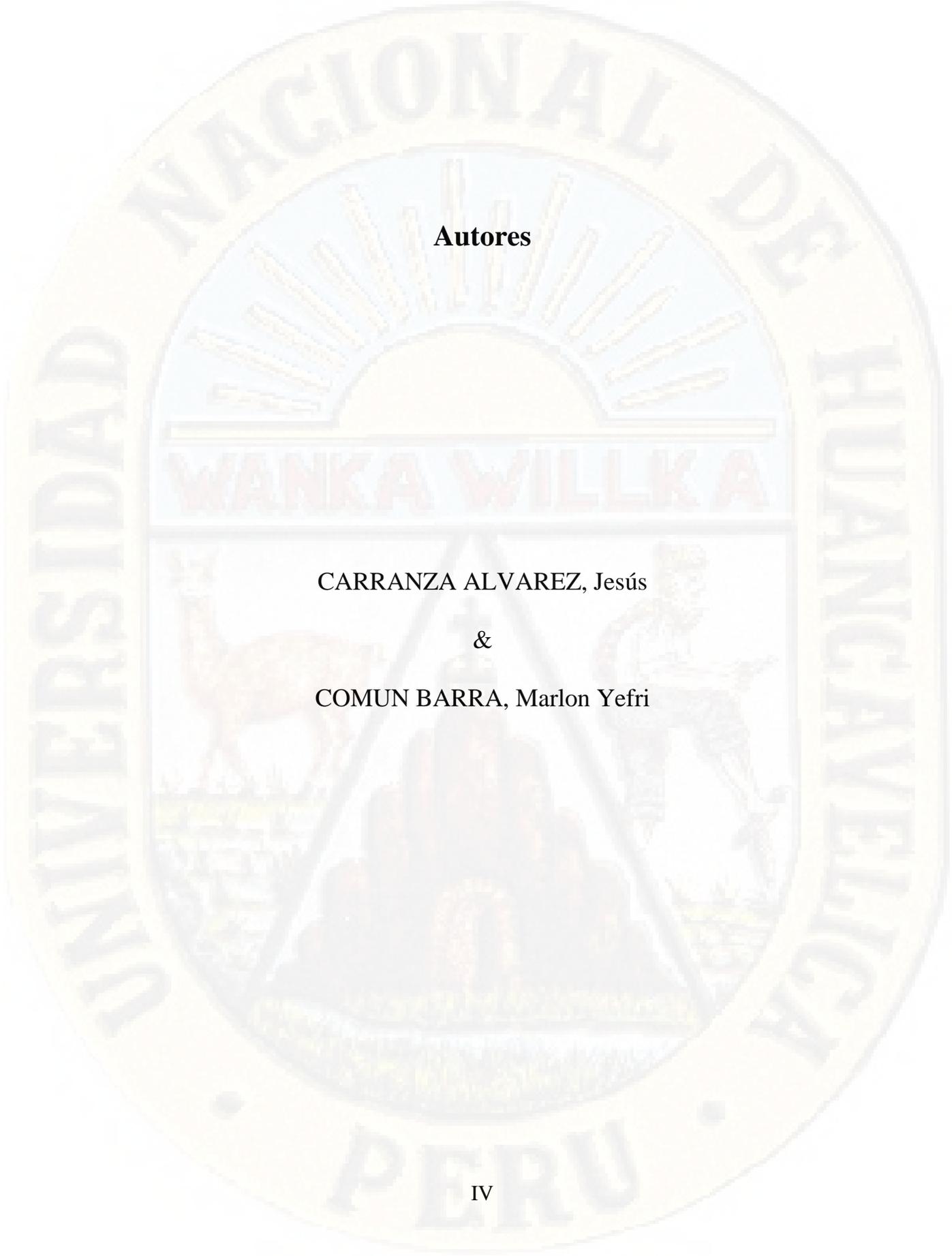
\_\_\_\_\_  
Vocal

\_\_\_\_\_  
Vº Bº Decano



**Título**

“ESTIMACIÓN DE LAS ÁREAS DE INUNDACIÓN A PARTIR  
DE LA ROTURA DE PRESA LACHOCC EN LA CIUDAD DE  
HUANCAVELICA”

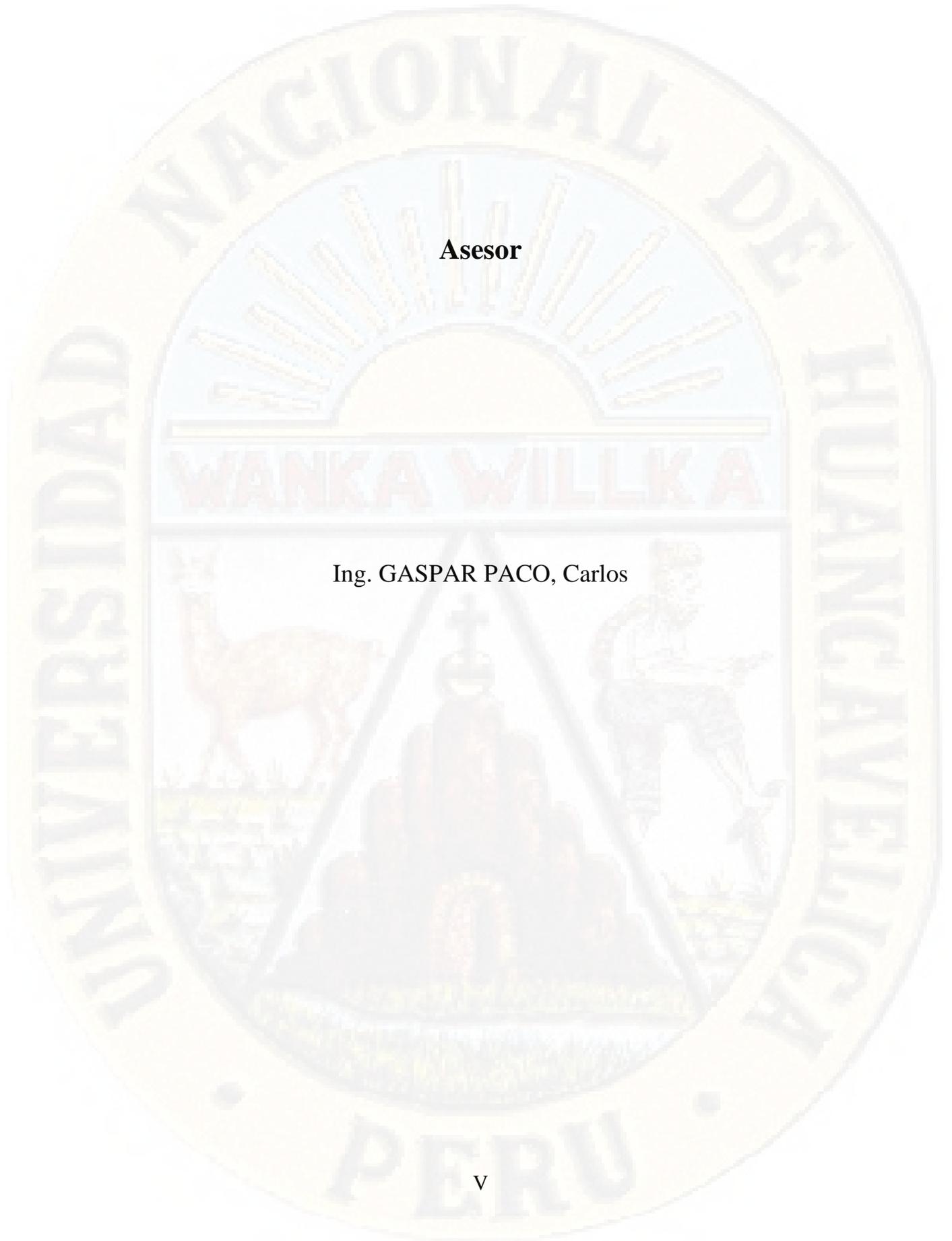
The seal of the Universidad Nacional de Huancavelica, Peru, is a large, circular emblem in the background. It features a central shield with a sun rising over a mountain range, a llama on the left, and a figure on the right. The shield is flanked by two crossed staffs. The text "UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA" is written around the top and sides of the shield, and "PERU" is at the bottom. The word "WANKA WILLKA" is written across the middle of the shield.

**Autores**

CARRANZA ALVAREZ, Jesús

&

COMUN BARRA, Marlon Yefri



**Asesor**

Ing. GASPAR PACO, Carlos

## **Dedicatoria**

Al señor Divino que por su amor y bondad permite que sonría ante todos mis logros que son resultados de su ayuda, asimismo a mi familia y amigos por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermoso que es la vida y a mis padres y hermanas por el apoyo incondicional.

Jesús Carranza Álvarez

Al señor Divino que por su amor y bondad permite que sonría ante todos mis logros que son resultados de su ayuda, asimismo a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermoso que es la vida y a mis padres Paulino y María por el apoyo incondicional.

Marlon Yefri Común Barra

## **Agradecimiento**

A Dios todopoderoso por permitirnos finalizar satisfactoriamente nuestros estudios universitarios, asimismo, dándonos salud y bienestar para seguir cumpliendo nuestras metas.

A la institución, “Universidad Nacional de Huancavelica; Creada por Ley N° 25265, en especial la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por permitirnos crecer en el aspecto profesional y humanitario.

A nuestros padres y hermanos por el apoyo incondicional durante toda nuestra formación académica quienes nos acompañan en cada logro de nuestras metas.

A los Docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, que también nos impartieron sus conocimientos, experiencias y anécdotas inculcándonos el respeto y esfuerzo durante toda nuestra carrera profesional.

A nuestro asesor ingeniero Carlos Gaspar Paco, por apoyarnos en el desarrollo y ejecución del proyecto compartiendo su amplia experiencia académica y profesional.

A los amigos (as) y compañeros de estudio que, con su apoyo incondicional y desinteresado, colaboraron en el desarrollo del presente proyecto.

## Índice

Acta de sustentación.....	II
Título .....	III
Autores .....	IV
Asesor .....	V
Dedicatoria.....	VI
Agradecimiento .....	VII
Índice .....	VIII
Índice de tablas.....	XI
Índice de figuras .....	XII
Índice de imágenes .....	XIII
Resumen.....	XIV
Abstract.....	XVI
Introducción.....	XVIII
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Descripción del problema.....</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Formulación del problema .....</b>	<b>3</b>
1.2.1. Problema general.....	3
1.2.2. Problema específico .....	3
<b>1.3. Objetivos: general y específico.....</b>	<b>4</b>
1.3.1. Objetivo general .....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	4
<b>1.4. Justificación.....</b>	<b>4</b>
<b>1.5. Limitaciones .....</b>	<b>5</b>
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Antecedentes.....</b>	<b>6</b>
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	6
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	8
2.1.3. Antecedentes locales .....	9

<b>2.2. Bases teóricas.....</b>	<b>9</b>
2.2.1. Áreas de inundación .....	10
2.2.2. Rotura de presa.....	11
2.2.3. Caudal pico de rotura .....	14
2.2.4. Modelos numéricos .....	15
2.2.5. Fotogrametría .....	19
2.2.6. Sistema de información geométrica (SIG) .....	31
2.2.7. Modelos de representación geográfica .....	37
2.2.8. IBER.....	42
2.2.9. Metodología de trabajo del Iber .....	47
<b>2.3. Hipótesis.....</b>	<b>58</b>
2.3.1. Hipótesis general .....	58
2.3.2. Hipótesis específico.....	58
<b>2.4. Definición de términos.....</b>	<b>59</b>
<b>2.5. Definición operativa de variables .....</b>	<b>60</b>
2.5.1. Variable dependiente.....	60
2.5.2. Variable independiente.....	61
<b>CAPÍTULO III:.....</b>	<b>62</b>
<b>METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>62</b>
<b>3.1. Ámbito temporal y espacial .....</b>	<b>62</b>
<b>3.2. Tipo y nivel de investigación .....</b>	<b>63</b>
3.2.1. Tipo de investigación .....	63
3.2.2. Nivel de investigación.....	63
<b>3.3. Método de la investigación .....</b>	<b>64</b>
3.3.1. Método general.....	64
3.3.2. Método específico .....	64
<b>3.4. Diseño de la investigación.....</b>	<b>65</b>
<b>3.5. Población y muestra.....</b>	<b>65</b>
3.5.1. Población.....	65
3.5.2. Muestra.....	65
3.5.3. Muestreo.....	66

<b>2.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....</b>	<b>66</b>
2.5.1. Técnicas de recolección de datos .....	66
2.5.2. Instrumentos de recolección de datos.....	66
<b>2.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....</b>	<b>67</b>
2.6.1. Software .....	67
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....</b>	<b>68</b>
<b>4.1. Análisis de la información .....</b>	<b>68</b>
4.1.1. Reconocimiento de campo .....	70
4.1.2. Levantamiento topográfico.....	72
4.1.3. Procesamiento de datos .....	74
4.1.4. Modelo numérico .....	75
4.1.5. Resultados .....	81
<b>4.2. Prueba de hipótesis .....</b>	<b>95</b>
<b>4.3. Discusión de resultados .....</b>	<b>95</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>104</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>105</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>106</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>109</b>
<b>ANEXO N° 01.....</b>	<b>110</b>
<b>ANEXO N° 02.....</b>	<b>112</b>
<b>ANEXO N° 03.....</b>	<b>124</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	61
Tabla 2. Plan de Vuelo .....	74
Tabla 3. Hidrograma de entrada (escenario 01) .....	81
Tabla 4. Hidrograma de entrada (escenario 02) .....	86
Tabla 5. Hidrograma de entrada (escenario 03) .....	88
Tabla 6. Riesgo (Vulnerabilidad x peligro).....	97
Tabla 7. Áreas vulnerables a inundación .....	102

## Índice de figuras

Figura 1. Causas de rotura de agua .....	13
Figura 2. Hidrograma de rotura.....	14
Figura 3. Fotografía realizada por drone.....	20
Figura 4. Drone Phantom 4 RTK DJI .....	22
Figura 5. Fase 01 .....	24
Figura 6. Fase 02.....	24
Figura 7. Fase 03.....	25
Figura 8. Fase 04.....	25
Figura 9. Trayectoria de Solapes.....	26
Figura 10. Punto de control.....	27
Figura 11. Vuelo Del Drone.....	28
Figura 12: Foto Aérea .....	28
Figura 13. Procesamiento digital fotogramétrico.....	30
Figura 14. Curvas de nivel .....	30
Figura 15. Componentes de un SIG .....	31
Figura 16. Esquema de los elementos de sistema de coordenadas.....	35
Figura 17. Esquema de una proyección cilíndrica .....	36
Figura 18. Esquema de una proyección cónica.....	36
Figura 19. Coordenadas UTM.....	37
Figura 20. Formas de representar una capa con información altitudinal .....	38
Figura 21. Modelos de raster a distintas resoluciones.....	39
Figura 22. Modelo raster (arriba)/ modelo vectorial (abajo).....	40
Figura 23. Modelo digital de elevación de una ciudad.....	41
Figura 24. Esquema del módulo de transporte de sedimento no estacionario.....	44
Figura 25. Módulos de cálculo de Iber.....	44
Figura 26. Fase de pre proceso.....	45
Figura 27. Fase de post proceso .....	46
Figura 28. Fase de pre proceso.....	46
Figura 29. Fase de post proceso .....	46
Figura 30. Línea de comando.....	46
Figura 31. Interfaz del Iber.....	47
Figura 32. Entorno de Iber basado en GID .....	48
Figura 33. Uso de TIN como malla.....	50
Figura 34. Condiciones de contorno .....	51
Figura 35. Rugosidad .....	52
Figura 36. Malla no estructurada.....	54
Figura 37. Menú calcular .....	55
Figura 38. Procesamiento de datos.....	56
Figura 39. Postproceso de Iber.....	58
Figura 40. Ubicación del área de estudio .....	62

## Índice de imágenes

Imagen 1. Faja de río Ichu distrito de Ascensión .....	71
Imagen 2. Perfil del río Ichu.....	72
Imagen 3. Marcado del punto de referencia .....	73
Imagen 4. Fotografía aérea.....	74
Imagen 5. Curvas de nivel del proyecto .....	75
Imagen 6. Ortofoto del área de estudio .....	76
Imagen 7. Superficie Nurbs.....	77
Imagen 8. Uso de suelo de la faja marginal del río Ichu .....	78
Imagen 9. Condiciones de Contorno entrada .....	79
Imagen 10. Condiciones de contorno salida.....	79
Imagen 11. Modelo de elevación digital .....	80
Imagen 12. Tirante máximo (m) .....	82
Imagen 13. Velocidad máxima (m/s) .....	83
Imagen 14. Caudal específico máximo (m <sup>2</sup> /s).....	83
Imagen 15. Cota de agua máxima (msnm).....	84
Imagen 16. A los 46 min de simulación llega al mercado central de la ciudad de Huancavelica .....	84
Imagen 17. A las 02hr 45min el caudal llega en su totalidad al mercado central .....	85
Imagen 18. El caudal llega con una altura entre 13 y 16 m.....	85
Imagen 19. Calado máximo (escenario 02).....	87
Imagen 20. Velocidad máxima (escenario 02).....	87
Imagen 21. Calado máximo (escenario 03).....	89
Imagen 22. Velocidad (Escenario 03) .....	89
Imagen 23. Sección transversal 01 .....	90
Imagen 24. Sección transversal 02.....	91
Imagen 25. Sección transversal 03.....	91
Imagen 26. Sección transversal 04.....	92
Imagen 27. Sección transversal 05.....	92
Imagen 28. Sección transversal 06.....	93
Imagen 29. Sección transversal 07.....	93
Imagen 30. Sección transversal 08.....	94
Imagen 31. Sección transversal 09.....	94
Imagen 32. Sección transversal 10.....	95
Imagen 33. Zonificación de Huancavelica .....	96
Imagen 34. Clase de viviendas.....	98
Imagen 35. Zonas de riesgo.....	99

## Resumen

La presente investigación titulada “Estimación de las áreas de inundación a partir de la rotura de presa Lachocc en la ciudad de Huancavelica”, cuyo objetivo general es determinar las áreas vulnerables a inundación a partir de diferentes volúmenes por la rotura de la presa Lachocc en la ciudad de Huancavelica, siendo del tipo de investigación aplicada, y nivel descriptivo; el presente proyecto tiene como área de trabajo la faja marginal del río Ichu en un radio de 150 m, el cual comprende desde el anexo Callqui Chico hasta el puente de ejército, ubicado en la ciudad de Huancavelica.

Para la ejecución del proyecto se tuvo que realizar un levantamiento topográfico a base de vuelos realizados por el Drone PHANTON 4 RTK , los cuales nos dieron una base de datos a detalle de la topografía del río y parte de la población urbana de la ciudad de Huancavelica, dichos datos se procesaron con programas convencionales y las que utiliza el equipo, asimismo se tuvo que realizar una representación de las viviendas que existen en las riberas del río para evaluar la vulnerabilidad de ellas debido al caudal que se generará luego de la rotura de presa.

Una vez obtenido y procesado los datos de campo se realizó la modelación de la inundación sobre este evento haciendo uso del programa IBER 2.4.3, creando las mallas y la triangulación correspondiente de acuerdo a la zona del lugar, asimismo se usó un ordenador potente para el cálculo de dicho evento para la modelación, el cual se trabajó con un hidrograma, para diferentes caudales 1500 m<sup>3</sup>/s, 1000 m<sup>3</sup>/s y 500 m<sup>3</sup>/s de descarga para un caudal máximo. El tiempo de duración de la simulación fue de 10000 seg, 6000 seg y 4000 seg respectivamente y el tiempo de modelado duró cuatro días y doce horas, como máximo obteniendo los siguientes resultados, calado máximo (2.70 – 24.23 m), caudal específico (1.02 10e-9 – 96.74 m<sup>2</sup>/s ), velocidad máxima (0.001 – 19.82 m/s) y cota de agua máxima (3700.40 – 3731.50 msnm) para un caudal de 1500 m<sup>3</sup>/s, asimismo se obtuvieron las secciones transversales en los puntos más críticos de la ciudad

de Huancavelica y se identificaron las áreas vulnerables en todo el tramo del río en el que se encuentran las instituciones públicas y privadas. En conclusión, la rotura de presa en Lachocc ocasiona inundación de las áreas que existen aguas abajo, en especial en la ciudad de Huancavelica donde la vulnerabilidad muy alta se encuentra en la faja marginal de río Ichu, en que un 36% son considerados de vulnerabilidad muy alta, el 34% de vulnerabilidad alta, un 30% de vulnerabilidad media, estimándose que las viviendas que bordean el río Ichu son muy frágiles ante el impacto de una probable inundación.

**Palabras Claves:** áreas de inundación, Dam Break, zonas vulnerables, Iber, zonas de riesgo, modelo numérico

## **Abstract**

The present investigation entitled “Estimation of flood areas from the breakage of the Lachocc dam in the city of Huancavelica”, whose general objective is to determine areas vulnerable to flooding from different volumes due to the breakage of the Lachocc dam in the Huancavelica city, being of the type of applied research, and descriptive level; The present project has as its work area the marginal strip of the Ichu river in a radius of 150 m which includes from the annex Callqui Chico to the army bridge, located in the city of Huancavelica.

To carry out the project, a topographic survey was carried out based on flights carried out by the Drone RTK PHANTON 4, which gave us a detailed database of the topography of the river and part of the urban population of the city of Huancavelica , said data were processed with conventional programs and those used by the equipment, a representation of the houses that exist on the riverbanks had to be made to assess their vulnerability due to the flow that will be generated after the dam breaks.

Once the field data was obtained and processed, the flood modeling was performed on this event using the IBER 2.4.3 program. Creating the meshes and the corresponding triangulation according to the area of the place, mega computers were also used for the calculation of said event for the modeling which was worked with a discharge Hydrogram for a maximum flow, the duration of the simulation It was 10,000 seconds and the modeling time lasted four days and twelve hours, obtaining the following results, maximum draft (2.70 - 24.23 m), specific flow (1.02 10e-9 - 96.74 m<sup>2</sup> / s), maximum speed (0.001 - 19.82 m / s) and maximum water level (3700.40 - 3731.50 msnm), the cross-sections were also obtained at the most critical points of the city of Huancavelica and vulnerable areas were identified throughout the stretch of the river in which they are located Public and private institutions.

In conclusion, the breakage of the dam in Lachoc causes flooding of the areas that exist downstream, especially in the city of Huancavelica where the very high vulnerability is found in the marginal strip of the Ichu river, in which 36% are considered vulnerable Very high, 34% high vulnerability, 30% medium vulnerability, estimating that the houses that border the Ichu river are very fragile due to the impact of a probable flood.

**Keywords:** Flood areas, Dam Break, vulnerable areas, Iber, risk areas, numerical model

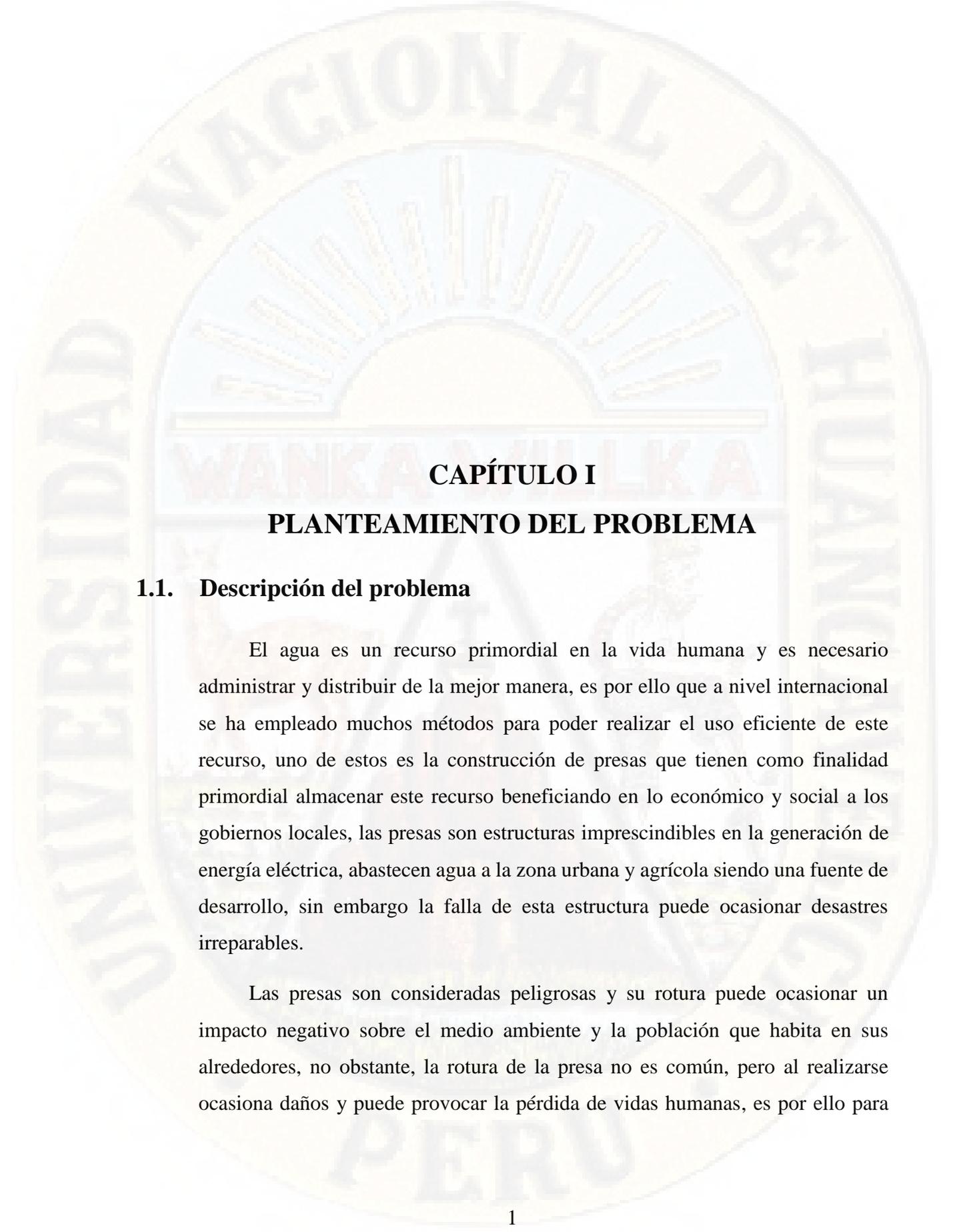
## **Introducción**

En la actualidad a nivel mundial debido a la contaminación atmosférica y a los malos hábitos del ser humano y las empresas industriales se ha originado el problema del calentamiento global, el cual viene afectando a la generación actual, teniéndose cambios en el clima, cambios de temperatura, afectando al sector de la agricultura, asimismo se está viendo que los grandes glaciales que alimentan de agua a las ciudades se está derritiendo en grandes cantidades y cada vez más rápido, proyectándose en un futuro la escasez del agua en las zonas costeras de las ciudades, es por ello que en algunos países se está procesando el agua de mar en pequeñas cantidades para cierto grupo de personas, restringiendo el agua por varias horas para abastecer a toda la población, frente a ello los gobiernos están viendo por conveniente buscar zonas de represamiento. En el Perú se tiene en algunos lugares represas y grandes proyectos en marcha donde el agua será transportado varios kilómetros atravesando cerros y llanuras, de igual forma en el departamento de Huancavelica también existen proyectos para el represamiento en ciertos lugares, debido al pedido de las ciudades costeras, es así que en la ciudad de Huancavelica se tiene en proyecto de prefactibilidad realizar el represamiento en la zona denominado Lachocc, para lo cual es necesario tener estudios previos sobre una posible falla que pueda tener en un futuro esta estructura.

Es por ello que el presente proyecto de tesis lleva como título “Estimación de las áreas de inundación a partir de la rotura de presa Lachocc en la ciudad de Huancavelica”, en donde se estimara las áreas de inundación que va ocasionar el rompimiento de la presa teniendo en consideración que almacenara gran cantidad de agua, afectando a la población urbana y alrededores que habita en la ciudad de Huancavelica.

El presente estudio está estructurado de forma general en los siguientes capítulos: capítulo I, el cual está conformado por el planteamiento del problema, formulación del problema, objetivo general y específicos, asimismo la justificación, dentro del capítulo II,

se encuentra el marco teórico, se detalló toda la información que tienen similitud con el proyecto de tesis, tomando antecedentes a nivel internacional, nacional y local, por consiguiente se describió todas las bases teóricas de acuerdo a las variables del proyecto de investigación, asimismo se explicó la manipulación del programa bidimensional Iber, se escogió los términos más relevantes y se conceptualizo, por último se explica la operacionalización de variables; capítulo III, conformado por la metodología de la investigación en el que se aclara por qué el tipo, nivel, diseño y método de investigación, entre otros aspectos más sobresalientes; capítulo IV, se encuentra los resultados y el análisis respectivo, seguidamente se establecen las conclusiones, recomendaciones y referencias bibliográficas. En la parte de los anexos se presenta la matriz de consistencia y las fotografías que avalan el proyecto de tesis.



# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1. Descripción del problema

El agua es un recurso primordial en la vida humana y es necesario administrar y distribuir de la mejor manera, es por ello que a nivel internacional se ha empleado muchos métodos para poder realizar el uso eficiente de este recurso, uno de estos es la construcción de presas que tienen como finalidad primordial almacenar este recurso beneficiando en lo económico y social a los gobiernos locales, las presas son estructuras imprescindibles en la generación de energía eléctrica, abastecen agua a la zona urbana y agrícola siendo una fuente de desarrollo, sin embargo la falla de esta estructura puede ocasionar desastres irreparables.

Las presas son consideradas peligrosas y su rotura puede ocasionar un impacto negativo sobre el medio ambiente y la población que habita en sus alrededores, no obstante, la rotura de la presa no es común, pero al realizarse ocasiona daños y puede provocar la pérdida de vidas humanas, es por ello para

evitar dichos problemas, los ingenieros realizan estudios muy detallados cumpliendo las normas internacionales para su diseño, los cuales podrían minimizar el riesgo de fallas en la estructura. La falla de una presa, está asociado a varias causas de acuerdo a la International Commission On Large Dams (ICOLD), la manifestación de estos factores se debe al desborde sobre la cresta de la presa (38%), infiltraciones y tubificación en el interior de la presa (33%), fallas en la cimentación (23%) y otros desencadenantes (6%), (Padrino, 2018, pág. 2).

En América Latina hubo muchas presas que fallaron debido a los factores mencionados líneas arriba, en este caso se tiene la rotura de la presa de relaves Brumadinho en Brasil, que el día 25 de enero de 2019 arrasó con casi toda la localidad de Minas Gerais causando la muerte de 58 habitantes, más de 200 desaparecidos y miles de desplazados. A lo largo de los años se ha visto la poca probabilidad de rotura de una presa, pero los efectos que provoca cuando el flujo aumenta, puede ocasionar inundación en zonas agrícolas, urbanas. Este problema ocurrió en el Perú en Casapalca donde falló la presa de relave en el año de 1952, ocasionando numerosas muertes y contaminación del río Rímac, trayendo problemas al sector agrícola y ganadera existentes en dicha zona. Actualmente se encuentra abandonado, el problema fue originado por un sismo. A nivel local en nuestra región de Huancavelica, también ocurrió fallas de presa en estos últimos años tal, es el caso de la represa Tucsipampa, donde la estructura colapso, lo cual era utilizado como puente peatonal ocasionando graves daños para la agricultura, la comunicación y el comercio de los pobladores de la zona, también se dio fallas de presa de relave minero donde la presa Recuperada Buenaventura en el distrito de Huachocolpa, trayendo graves problemas para la agricultura y ganadería de dicho lugar.

Teniendo estos antecedentes, el presente trabajo de investigación se enfoca en el estudio de la estimación de la inundación que generaría la rotura de presa

que se está proyectando en la provincia de Huancavelica, en el anexo de Lachocc, para ello es necesario realizar el proyecto de tesis, el cual en un futuro pueda ser una fuente de información y una base de datos reales para evitar

desastres que afecten tanto económico y social en la ciudad de Huancavelica, teniendo en cuenta que el río Ichu abarca en su totalidad la zona urbana de la ciudad Huancavelica, para tener estos datos compactos se priorizará los estudios en campo, estimando el caudal y tiempo de llegada del flujo hacia el punto colindante con la ciudad, asimismo se identificará el punto más crítico y vulnerable que podría sufrir una inundación.

## **1.2. Formulación del problema**

### **1.2.1. Problema general**

- ✓ ¿Cuáles son las áreas vulnerables a inundación por la rotura de la presa Lachocc a partir de diferentes volúmenes en la ciudad de Huancavelica?

### **1.2.2. Problema específico**

- ✓ ¿Cuáles son las velocidades luego de la rotura de la presa Lachocc para diferentes volúmenes en la ciudad de Huancavelica?
- ✓ ¿Cuál es el tiempo de llegada del caudal para diferentes volúmenes por la rotura de la presa Lachocc en la ciudad de Huancavelica?
- ✓ ¿Cuáles son los puntos más críticos para diferentes volúmenes por la rotura de la presa de Lachocc en la ciudad de Huancavelica?

### **1.3. Objetivos: general y específico**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- ✓ Determinar las áreas vulnerables a inundación a partir de diferentes volúmenes por la rotura de la presa de Lachocc en la ciudad de Huancavelica.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- ✓ Determinar las velocidades luego de la rotura de la presa Lachocc para diferentes volúmenes en la ciudad de Huancavelica.
- ✓ Estimar el tiempo de llegada del caudal para diferentes volúmenes por la rotura de la presa Lachocc en la ciudad de Huancavelica.
- ✓ Identificar los puntos más críticos para diferentes volúmenes por la rotura de la presa de Lachocc en la ciudad de Huancavelica.

### **1.4. Justificación**

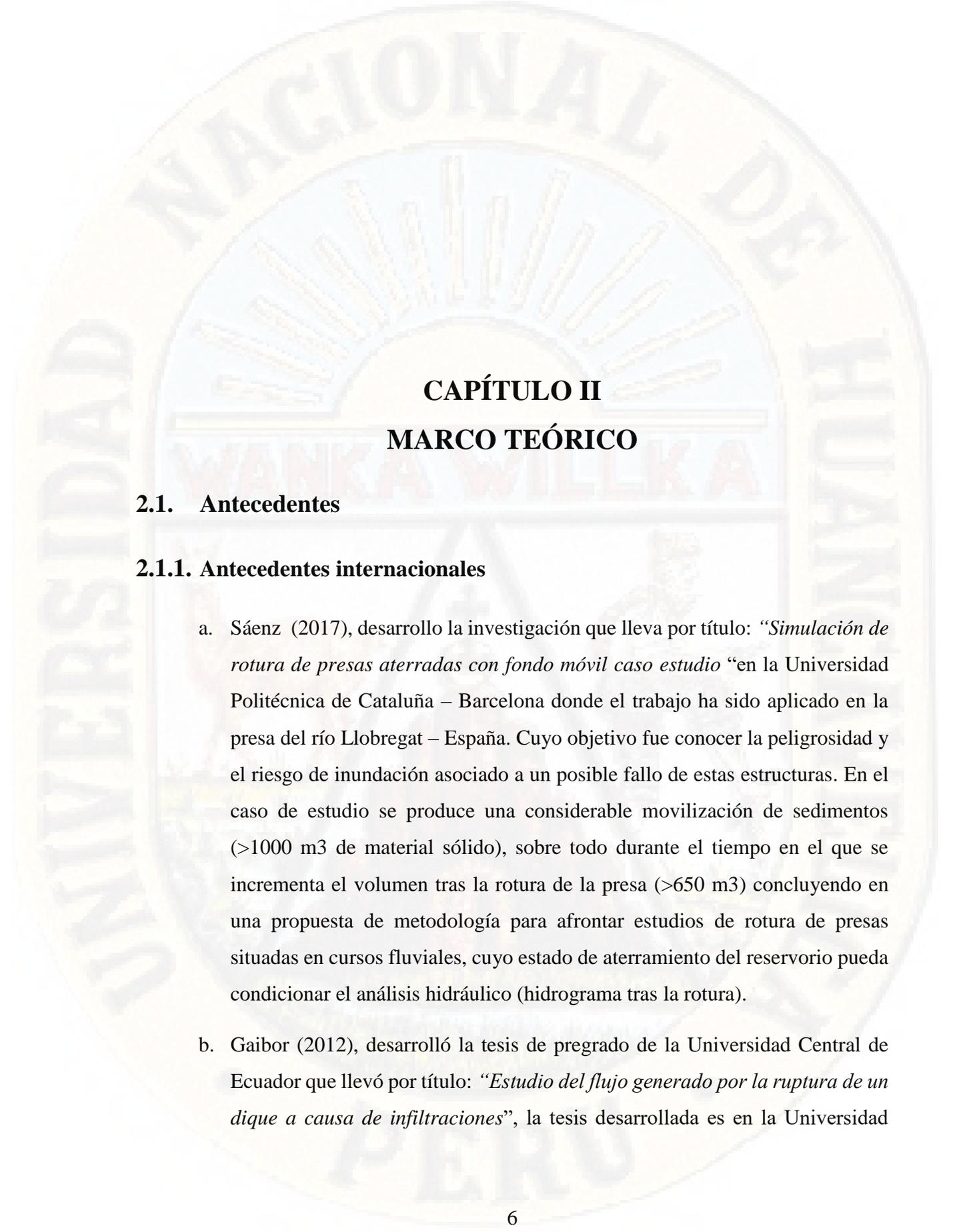
El presente trabajo de investigación se plantea porque es necesario tener información relevante sobre las consecuencias negativas que afectará a la población y el medio ambiente por la rotura de presa que pueda ocurrir más adelante en la ciudad de Huancavelica, de esta forma el objetivo del proyecto de investigación es determinar las áreas vulnerables después de ocurrido el evento, para evitar posteriormente problemas tanto en la zona urbana como rural, en ese sentido cabe precisar que la rotura de una presa ocurre en el momento menos esperado bajo diferentes causas que en el presente estudio no son objeto de análisis.

Es importante destacar, que las presas que se construyen cuentan con un estudio de riesgo en la operación, un plan de emergencia y seguridad para una probable falla de la presa, de este modo se plantea la investigación donde se

realizará una simulación mediante un modelo numérico bidimensional a partir de una descarga originado por la rotura de la presa, estos datos nos podrán facilitar información real que nos ayudarán a predecir y evaluar de una manera más general y preliminar la magnitud de las inundaciones y el comportamiento del flujo en el tiempo que dure la descarga del embalse. Es preciso señalar que toda la información previa al estudio se recabará tanto en campo como en gabinete garantizando la confiabilidad de esta información para el diagnóstico tras la rotura de la presa y en efecto el riesgo a desastres que puedan ocurrir después de ocurrido el evento afectando al medio ambiente como a la población que habita aguas debajo de esta estructura.

### **1.5. Limitaciones**

Para el desarrollo de la investigación se tuvo como situación limitante la falta de un ordenador potente que tenga la capacidad suficiente para modelamientos más críticos, los cuales no tiene la universidad, en cuanto a la recopilación de datos de campo uno de los factores que retrasaron el proceso fue el clima variado de la ciudad.



## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

- a. Sáenz (2017), desarrollo la investigación que lleva por título: “*Simulación de rotura de presas aterradas con fondo móvil caso estudio*” en la Universidad Politécnica de Cataluña – Barcelona donde el trabajo ha sido aplicado en la presa del río Llobregat – España. Cuyo objetivo fue conocer la peligrosidad y el riesgo de inundación asociado a un posible fallo de estas estructuras. En el caso de estudio se produce una considerable movilización de sedimentos (>1000 m<sup>3</sup> de material sólido), sobre todo durante el tiempo en el que se incrementa el volumen tras la rotura de la presa (>650 m<sup>3</sup>) concluyendo en una propuesta de metodología para afrontar estudios de rotura de presas situadas en cursos fluviales, cuyo estado de aterramiento del reservorio pueda condicionar el análisis hidráulico (hidrograma tras la rotura).
- b. Gaibor (2012), desarrolló la tesis de pregrado de la Universidad Central de Ecuador que llevó por título: “*Estudio del flujo generado por la ruptura de un dique a causa de infiltraciones*”, la tesis desarrollada es en la Universidad

Central de Ecuador . Tuvo por objetivo determinar las condiciones necesarias para el modelamiento de la ruptura de un dique conformado por deslizamiento, a causa de infiltraciones, mediante el uso de un modelo numérico HEC-RAS. Donde nos indica que las características de la onda de la ruptura del dique de materiales sueltos dependen de la forma como se erosiona el dique y de las dimensiones, forma de la brecha y tiempo de formación. Por esta razón, se analizó el hidrograma de salida de la falla de un dique, el cual se puede obtener a partir de modelos matemáticos basados en las fórmulas hidráulicas de flujo a través de brechas definidas analíticamente; concluyendo que, para obtener resultados precisos, estos modelos deben considerar condiciones de frontera que permitan la simulación de los efectos externos.

- c. Rivera (2010), desarrolló la presente tesis de investigación en la Universidad Nacional Autónoma de México que llevó por título: “*Caracterización experimental del hidrograma de salida de la ruptura de presa*”: tiene por objetivo caracterizar por medio de instrumentos innovadores, el comportamiento dinámico de una brecha en una cortina tipo, registrando sus variables geométricas e hidráulicas en tiempo real y así estar en condiciones de determinar el hidrograma de salida mediante la metodología propuesta conociendo el mapa de inundaciones para realizar un plan de emergencia.
- d. Fread (1980) presento su trabajo de investigación cuyo título es “*The news Dam-Break flood forecasting model*”, donde se tuvo como objetivo principal realizar un modelo simplificado que ayudará a estimar la inundación que se producirá en todo el tramo del río desde el punto de inicio de la rotura de la presa, teniendo como resultado que las inundaciones repentinas traen consigo un peligro y una amenaza para las comunidades que habitan aguas abajo; llegándose a la conclusión que es imprescindible contar con un modelo simplificado que facilite el pronóstico en tiempo real, asimismo se menciona que el modelo Dam break se haría uso en un desastre a largo plazo.

### 2.1.2. Antecedentes nacionales

- a. Oyola (2016), desarrolló la tesis de pregrado, la cual lleva por título “*Propuesta para la modelación numérica de rotura de una presa de tierra de contención de relaves convencionales*”, en la Universidad Nacional de Ingeniería. La cual trata sobre una propuesta para la modelación numérica de rotura de presa de relaves convencionales ya que la mayoría son basados en la formulación de diseño de presa de agua donde los resultados son (1) Hidrograma de rotura: donde el caudal pico es de 348 m<sup>3</sup>/seg. (2) Velocidades máximas (V<sub>máx.</sub>): donde varían de 6 m/seg hasta los 9 m/seg aguas abajo del dique y zona media del cauce, también se desarrolló los tirantes máximos y las zonas de inundación. En la cual se concluyó que es posible realizar la modelación numérica de rotura de presa de tierra de relaves convencionales, destacando que los relaves mineros tienen problemas de; inestabilidad de taludes y sismos, sobrepasos, problemas de fundación entre otros.
- b. Ircañupa (2015), desarrolló la presente tesis de investigación que llevó por título: “*Modelo Numérico orientado a la simulación de crecidas a partir de una rotura de presa*”, en la Universidad San Cristóbal de Huamanga, la tesis desarrollada es de nivel descriptivo y correlacional donde tuvo por objetivo analizar mediante un modelo numérico bidimensional el comportamiento del flujo ante una descarga violenta generado a partir de una rotura de presa y cuáles son los impactos que se presentan inmediatamente a lo largo de descarga, aguas abajo. La herramienta de cálculo *lber* es un modelo numérico de simulación de flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente, y de procesos medioambientales en hidráulica fluvial, que permitió calcular mejor el comportamiento del flujo y observar los efectos y consecuencias que se producen después de una rotura de presa. La muestra fue la simulación de crecidas a partir de la rotura de la presa Cuchoquesera en la localidad de

Quispillacta y Putacca. En esta simulación se asumió que existe tres casos de falla que se produce en el dique principal, el dique lateral y cuando ambos fallan.

- c. Bustamante (2013), desarrollaron el trabajo de investigación “*Modelamiento numérico de una onda de avenida generada por la rotura de una presa de tierra y su estimación de riesgo*”, en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, ubicado en el distrito de San Mateo se escogió como elemento de estudio a la presa Yuracmayo. Cuyo objetivo principal fue simular el comportamiento de una onda de avenida generada por la rotura de una presa de tierra para realizar su estimación de riesgo en la presa Yuracmayo. En la cual se tomó 02 escenarios, primer escenario considera la rotura por sobre vertimiento, la columna inicial del agua sobrepasa la corona de la presa con una cota de 4320 msnm y esta genera su rotura. El segundo escenario es por tubificación, común en presas de tierra, donde la brecha se inicia por filtración en una zona puntual de la presa, concluyéndose que en el Perú existen muchas presas hidráulicas necesarias para el desarrollo, pero estas no cuentan con un plan de contingencia por rotura de presa. Este estudio propone una metodología para el análisis de riesgo a las poblaciones ubicadas en el cauce de los ríos que, de ocurrirse una rotura de presa, estas serían enormemente afectadas por la onda de avenida.

### **2.1.3. Antecedentes locales**

A la fecha no se encuentran antecedentes locales

## **2.2. Bases teóricas**

La investigación tendrá como variable dependiente áreas de inundación y como variable independiente se tendrá rotura de presa.

### **2.2.1. Áreas de inundación**

Es la ocupación por parte de las aguas de los ríos, lagos y mares, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables. Suelen ocurrir en épocas de grandes precipitaciones, marejadas y tsunamis (Indeci, 2010).

(Cenapred, 2009) Nos menciona que las inundaciones son eventos que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta o falla de una estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua, de los ríos o el mar mismo generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no hay agua.

#### **2.2.1.1. Tipos de inundación**

✓ Dependiendo del tiempo que tardan en producirse

- Inundaciones súbitas o repentinas

Este tipo de inundaciones suelen suceder en momento y lugar diferente con poca o sin advertencia alguna, en terrenos planos y montañosos las lluvias vierten sus aguas a través de cauces donde las calles de una ciudad se convierten en pequeños ríos en pocos minutos, por esta razón representa un peligro inminente trayendo cuantiosos daños en infraestructuras y efectos sociales negativos (Texas, 2010).

- Inundaciones lentas o estáticas

Producen el aumento progresivo del caudal del río por efectos de las lluvias persistentes, los cuales influyen en el desborde del río originando inundaciones, suelen tardar días, semanas hasta meses en cubrir los terrenos, dañando cosechas, carreteras y zonas urbanas (Cosude, 2005).

✓ Dependiendo de los fenómenos que la causan

- Inundaciones fluviales

Ocurre por el desbordamiento de los ríos, originados por el aumento brusco del caudal de agua superando el cauce, normal del río, es importante precisar que este problema ocurre por el exceso de las lluvias afectando en todo su recorrido tanto a zonas urbanas como rurales (Cosude, 2005)

- Inundaciones por rotura

Esta inundación sucede cuando existe problemas en la construcción de obras hidráulicas como por ejemplo: rotura de presa, por más pequeña que sea la falla puede ocasionar daños catastróficos a la población como al medio ambiente (Cosude, 2005).

- Inundaciones costeras

Estas inundaciones se originan por efectos del fuerte oleaje, por centros de baja presión, por ejemplo: fuertes fríos ciclones tropicales o tsunamis. No obstante este fenómeno es más severo si en la costa se ha eliminado los arrecifes, cuya función es proteger contra el fuerte oleaje de las altas mareas (Ciencias, 2016).

## **2.2.2. Rotura de presa**

Respecto a la rotura de presa tenemos las siguientes bases teóricas

### **2.2.2.1. Presas**

Según Icold (2012), nos dice que una presa puede definirse como una barrera o una estructura colocada cruzando un curso de agua o de un río para retener el agua y así controlar el caudal.

Las presas se construyen para almacenar y controlar el agua para el abastecimiento doméstico, el riego, la navegación, el ocio, el control de la sedimentación, el control de las avenidas y la energía hidroeléctrica.

Benedicti (2010) ,menciona que una presa es una estructura que tiene por objeto contener el agua en un cauce natural con distintos fines ya sea energético, abastecimiento, irrigaciones entre otros usos

#### **2.2.2.2. Definición de rotura de presas**

Padrino (2018), nos define que un rompimiento de presa es una descarga violenta y no controlada, con origen en la formación de una brecha de descarga en la cortina de una presa, que genera una creciente en forma de onda en el valle fluvial que se encuentra aguas abajo del embalse.

Benedicti (2010), menciona que en general las obras de ingeniería, las pérdidas ocasionadas por desastres se limitan al colapso de la misma obra, siendo probablemente nulos o escasos los accidentes ocurridos a las personas y los daños causados a otras obras ingenieriles. Se arruina un edificio, un puente, pero una presa lleva consigo no solo la de destrucción de ella, sino que principalmente los daños causados son mucho mayores en vida, suelos, y construcciones, por la devastación que produce el paso arrollador del agua almacenada en el embalse, que pasa libremente sin posible regulación.

#### **2.2.2.3. Causas de deterioro y fallas de presa**

Según el informe del ANA (2017) nos menciona que las principales causas de las fallas y accidentes ocurridos en todo el mundo son los siguientes

- ✓ Presa de materiales sueltos:
  - “Rebose de agua sobre el coronamiento del agua por falta de capacidad en los aliviaderos para la evacuación de avenidas extremas “ (ANA, 2017).

- “Erosión interna del cuerpo de la masa por la mala impermeabilización con el contacto del terreno”. (ANA, 2017).
  - “Fugas de agua y sifonamiento provocado por infiltraciones a través de agrietamientos producidos” (ANA, 2017).
  - Deslizamiento de taludes por deficiencia de diseño o uso inadecuado de materiales como relleno (ANA, 2017).
- ✓ Presa de concreto:
- “Insuficiente resistencia de la roca de cimentación a la compresión o al corte por su mala calidad” (ANA, 2017).
  - “Falta de estabilidad en la estructura ante deslizamiento” (ANA, 2017).
  - “Filtraciones y erosión en la cimentación provocadas por una alta permeabilidad de la roca de fundación” (ANA, 2017).
  - “Actividad geotécnica que puede comprometer a la estabilidad de la presa” (ANA, 2017).

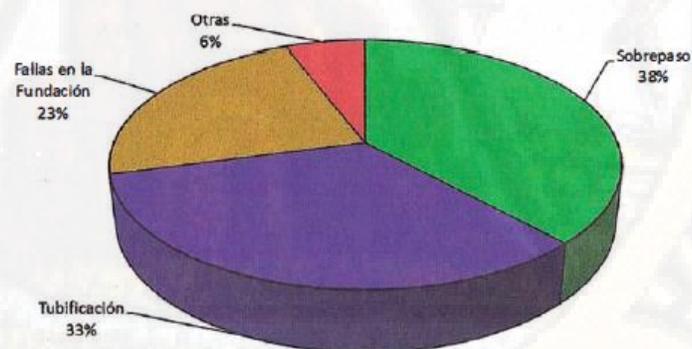


Figura 1. Causas de rotura de agua

Fuente: Icold 1995

#### 2.2.2.4. Hidrograma de rotura

Icold (2012), Nos menciona que el primer paso para estimar los hidrogramas de rotura es determinar la brecha de rotura, Esa brecha podrá ser distinta en función al módulo de fallo y su progresión variara también según el nivel de agua que existe en el embalse. Un análisis de riesgo debe contemplar los hidrogramas de rotura correspondiente a todo el rango de niveles de embalse posible y cada uno de los modos de fallo.

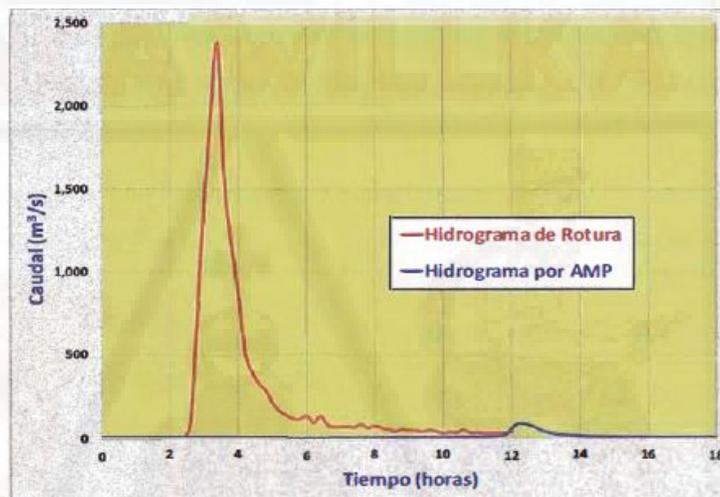


Figura 2. Hidrograma de rotura

Fuente: Oyola Víctor 2016

#### 2.2.3. Caudal pico de rotura

Icold (2012) dice que existe muchos casos de estudio de fallos de presa para desarrollar ecuaciones empíricas que relacionan los caudales de rotura en función de uno o varios parámetros de la presa o embalse (altura de presa, volumen de agua, altura de agua en el momento de la rotura).

#### **2.2.4. Modelos numéricos**

Para determinar estados futuros de un modelo se requiere, en principio resolver las ecuaciones; sin embargo, en la práctica las ecuaciones son tan complejas que es imposible hacerlo en forma analítica, por lo cual es necesario resolverlas en forma aproximada con métodos numéricos y usando computadoras. Los programas computacionales que resuelven estas ecuaciones aproximadas son comúnmente conocidos como "modelos numéricos". Existen gran cantidad de modelos numéricos ya sean en una dimensión, cuasi dimensionales, 02 dimensiones (Blade E C. L., 2014).

##### **2.2.4.1. Modelación física y numérica a la modelación híbrida**

En el campo de la dinámica fluvial, la modelación física y la simulación numérica tienen técnicas diferentes para resolver problemas complejos de hidráulica desde un principio se trabajó en paralelo, la modelación física aplicado a los flujos en lámina libre tuvo su origen en Estados Unidos asociado a los modelos reducidos en laboratorio debido a los problemas que generaba las precipitaciones y las inundaciones en algunos lugares, llegando a ser un prototipo a escala del nuevo cauce que se trazaba siendo un modelo importante que en adelante se logró construir, por otra parte, los ingenieros hidráulicos en paralelo realizaban la resolución de problemas complejos mediante la simulación numérica haciendo uso de ordenadores y métodos de programación, surgiendo diferentes modelos de simulación siendo desarrollados sobre todo en centros de investigación y entornos universitarios; sin embargo desde la década de los 80s y 90s, dichos caminos de solución de problemas comenzaron a converger debido a un conjunto de factores “ la física del problema, el campo de aplicación de las leyes de semejanza “ , surgiendo la modelación híbrida, en este aspecto la modelación física, hace uso de los resultados previos de la simulación numérica, aportando información que la hidráulica computacional necesita,

iniciando un proceso cíclico que permite mejorar la calidad de información obtenida con ambas herramientas y avanzar hacia una solución extrapolable con la máxima fiabilidad al prototipo cuyo comportamiento se está estudiando (Perez, 2010).

#### 2.2.4.2. Ecuaciones de flujos bidimensionales en lámina libre o ecuaciones de Saint Venant

Las ecuaciones de Saint Venant o ecuaciones del flujo bidimensional en lámina libre se obtienen en base a las leyes físicas de conservación de la materia y la cantidad de movimiento acompañados con las dos leyes de la termodinámica, de las cuales se obtienen las ecuaciones de Navier – Stokes, una vez promediadas en un incremento de tiempo se concretan en las ecuaciones de Reynolds, el programa Iber en el módulo hidrodinámico, soluciona las ecuaciones agregando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial por viento (Blade E C. L., 2014)

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial hu_1}{\partial x_1} + \frac{\partial hu_2}{\partial x_2} = 0 \quad \text{Ecu. 01}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hu_1)}{\partial t} + \frac{\partial(hu_1^2)}{\partial x_1} + \frac{\partial(hu_1u_2)}{\partial x_2} \\ = -gh \frac{\partial(h + Z_o)}{\partial x_1} - \frac{\tau_{ox_1}}{\rho} - \frac{\tau_{sx_1}}{\rho} + fhu_2 + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(hT_{x_1x_1})}{\partial x_1} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(hT_{x_1x_2})}{\partial x_2} \quad \text{Ecu. 02} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(hu_2)}{\partial t} + \frac{\partial(hu_2^2)}{\partial x_1} + \frac{\partial(hu_1u_2)}{\partial x_2} \\ = -gh \frac{\partial(h + Z_o)}{\partial x_2} - \frac{\tau_{ox_2}}{\rho} - \frac{\tau_{sx_2}}{\rho} + fhu_1 + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(hT_{x_1x_2})}{\partial x_1} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial(hT_{x_2x_2})}{\partial x_2} \quad \text{Ecu. 03} \end{aligned}$$

Donde:

$u_1, u_2 =$  componentes de la velocidad con respecto al tiempo.

$x_1, x_2, \tau_o, \tau_s$  = tensores de tensión.

$f$  = Coeficiente de Coriolis

$h$  = profundidad de la lámina de agua

$x_3, z$  = eje de coordenadas verticales

$\tau_s$  = fricción en la superficie

La fricción de fondo corresponde a la expresión:

$$\tau_{x_i x_j} = \frac{1}{h} \int_{z_o}^{z_o+h} \left( \rho v \left[ \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right] - \overline{\partial u'_i u'_j} - \rho (\bar{u}_i - u_i)(\bar{u}_j - u_j) \right) dz \quad Ecu. 04$$

La expresión  $u'_i, u'_j$  son las fluctuaciones turbulentas de Reynolds de  $u_i, u_j$  mientras que  $\bar{u}_i, \bar{u}_j$  son las variables según.

$$\bar{u} = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} u dt \quad Ecu. 05$$

$$u = \bar{u} + u' \quad Ecu. 06$$

Las ecuaciones 01, 02,03 representan a las ecuaciones de Saint Venant bidimensionales en su expresión más compacta en forma conservativa, para realizarlo en forma no conservativa se introducirá las ecuaciones del movimiento.

$$\frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial(hu_1)}{\partial x_1} + \frac{\partial(hu_2)}{\partial x_2} = 0 \quad Ecu. 07$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_1}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + g \frac{\partial h}{\partial x_1} \\ = -g \frac{\partial z_o}{\partial x_1} - \frac{T_{ox1} + T_{sx1}}{\rho h} + f u_2 + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x_1} (h T_{x1x1}) + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x_2} (h T_{x1x2}) \end{aligned} \quad Ecu. 08$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_2}{\partial t} + u_1 \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x_2} + g \frac{\partial h}{\partial x_2} \\ = -g \frac{\partial z_o}{\partial x_2} - \frac{T_{ox2} + T_{sx2}}{\rho h} + f u_1 + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x_1} (h T_{x1x2}) + \frac{1}{\rho h} \frac{\partial}{\partial x_2} (h T_{x2x2}) \end{aligned} \quad Ecu. 09$$

Donde.

$\frac{\partial u_1}{\partial t}, \frac{\partial u_2}{\partial t}$  = aceleración local quienes representan la variación de la velocidad con el tiempo en un punto fijo, cabe señalar que son los que intervienen en el flujo no permanente.

$u_1 \frac{\partial u_1}{\partial x_1} + u_1 \frac{\partial u_2}{\partial x_1} + u_2 \frac{\partial u_1}{\partial x_2} + u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x_2}$  = aceleración convectiva, son aquellos que representan el efecto del transporte con el flujo del gradiente de la velocidad.

$\frac{\partial(h+z_o)}{\partial x_2}$  = pendiente de la superficie libre al ser multiplicado por la gravedad representa las fuerzas gravitatorias.

$\tau$  = tensión tangencial en la superficie libre, es importante porque influye cuando existe presencia de fuertes vientos sobre espejos de superficies grandes.

$f = 2wsin\lambda$  = fuerza por unidad de masa, actúan en el flujo de forma permanente.

$S_{fx1} = \frac{u_1 \sqrt{u_1^2 + u_2^2 n^2}}{h^{4/3}}, S_{fx2} = \frac{u_2 \sqrt{u_1^2 + u_2^2 n^2}}{h^{4/3}}$  = Tensiones de fondo debido a la fricción, siendo  $S_{fx1}$  la pendiente motriz.

De la ecuación anteriormente vista sino se considera la fuerza de coriolis que en este caso para flujos fluviales no es significativo, tanto como las tensiones efectivas, como las de viento, es por ello que dichas ecuaciones se pueden reducir.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad Ecu. 10$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}\left(hu^2 + g\frac{h^2}{2}\right) + \frac{\partial}{\partial y}(huv) = gh(S_{ox} - S_{fx}) \quad Ecu. 11$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(hv) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hv^2 + g\frac{h^2}{2}\right) + \frac{\partial}{\partial x}(huv) = gh(S_{oy} - S_{fy}) \quad Ecu. 12$$

En este caso las variables  $x_1$  y  $x_2$  han sido reemplazados por  $x$  e  $y$ , asimismo  $u_1$  y  $u_2$  por  $u$  y  $v$ , donde la ecuación sería de esta manera.

$$\frac{\partial}{\partial t}U + \Delta F = H \quad Ecu. 13$$

Donde:

$U$  = vector de variables de flujo

$F$  = tensor de flujo

$H$  = término independiente o termino fuente

$$U = \begin{pmatrix} h \\ hu \\ hv \end{pmatrix}; F = \begin{pmatrix} hu & hv \\ hu^2 + g\frac{h^2}{2} & huv \\ huv & hv^2 + g\frac{h^2}{2} \end{pmatrix}; H = \begin{pmatrix} 0 \\ gh(S_{ox} - S_{fx}) \\ gh(S_{oy} - S_{fy}) \end{pmatrix} \quad Ecu. 14$$

### 2.2.5. Fotogrametría

La fotogrametría consiste en la medición sobre fotografías, en base a la geometría del objeto, la información obtenida muestra una visión estereoscópica ya sea bidimensional y tridimensional, como fin de los procesos, la fotogrametría es la medición de coordenadas mediante fotografías u otros sistemas de percepción remota, dicha información va respaldada con puntos de referencia topográfica sobre el terreno como medio fundamental para la medición (Gutierrez Olmos, 2012).

Una vez procesado la información se obtiene curvas de nivel, con la cual se obtiene el modelo digital del terreno MDT, la fotogrametría con drones se ha convertido en un procedimiento rápido para la recopilación de datos de campo, cabe señalar que aún no se ha logrado precisiones superiores a los 20 cm en condiciones ideales (Gutierrez Olmos, 2012).

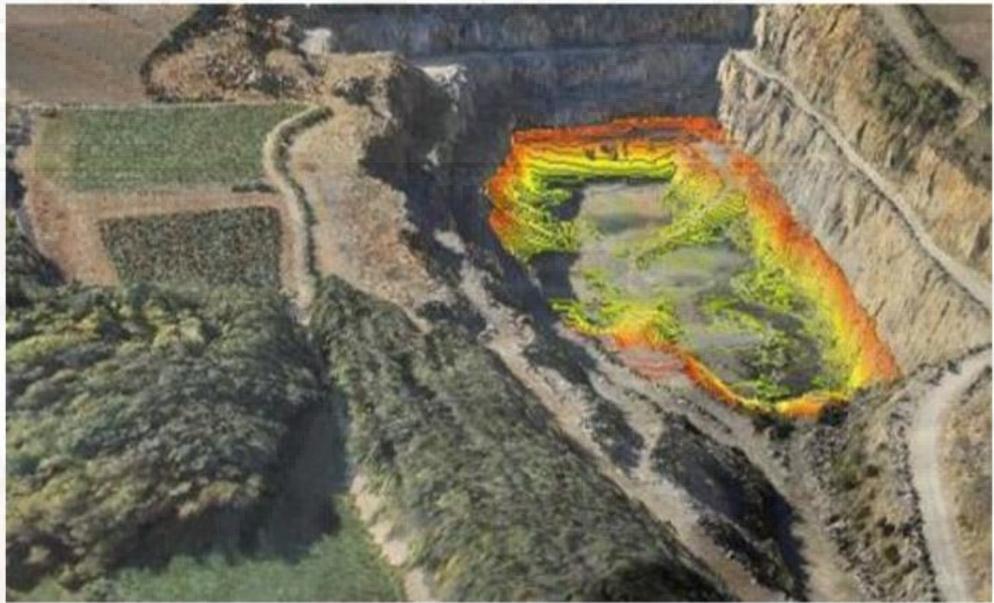


Figura 3. Fotografía realizada por drone

Fuente: libro Introducción básica a la tecnología drone en levantamientos topográficos.

#### **2.2.5.1. Historia**

- **Fotogrametría analógica**

Surge por la invención de la estereoscopia como principio de la estereofotogrametría, que consiste en una técnica aleatoria que tiene la capacidad de recoger información visual tridimensional mediante una imagen; de esta manera la fotogrametría analógica determina la ubicación precisa de un objeto en el espacio mediante la utilización de fotografías aéreas, que van formando

modelos estereoscópicos, reconstruyendo el modelo espacial con sistemas ópticos o mecánicos (Santos Clavero, 2014).

- **Fotogrametría analítica**

Se da comienzo con la aparición en 1941, donde se aplicaron teorías desarrolladas por Finsterwalder, esta fotogrametría recopila la información de manera analógica y el modelado geométrico que realiza es matemático haciendo uso de un mono comparados, mide las coordenadas x, y de los puntos de control de las fotografías, dichos datos son procesados en computadoras en forma analítica obteniendo una correcta posición ortogonal (Santos Clavero, 2014).

- **Fotogrametría digital**

En el año de 1980 se lanza el primer satélite artificial, siendo un avance importante en cuanto a las cámaras digitales que permitieron el paso directo de las imágenes digitales a las aplicaciones informáticas de tratamiento de imágenes (Santos Clavero, 2014).

Con esta tecnología se redujeron los procedimientos de explotación de imágenes, que permiten la generación automática de modelo de altura, orto imágenes y estéreo-imágenes, generación y visualización de modelos tridimensionales, los formatos de salida de la fotogrametría digital son en formato raster o formato vectorial (Santos Clavero, 2014).

#### **2.2.5.2. Metodología general de la fotogrametría**

- **Orientación interna**

“Esta orientación se considera como el proceso que transforma las coordenadas instrumentales en foto coordenadas, de la información obtenida en campo de las fotografías” (Sani & Morillo, 2014).

- Orientación externa

“Este proceso permite la transformación de las foto coordenadas en coordenadas reales de terreno” (Sani & Morillo, 2014).

- Proceso de auto calibración

“Es el proceso final de la orientación en el cual realiza la transformación global desde las coordenadas instrumentales a las coordenadas de terreno” (Sani & Morillo, 2014).

### 2.2.5.3. Drone

Es un equipo de navegación autónomo, que tiene la capacidad de realizar trabajos de todo tipo, el cual se puede utilizar tanto en el exterior como en el interior de algunos espacios, asimismo se le pueden agregar carga útil de diferentes tipos de sensores ópticos, cámaras de video, cámaras fotográficas de espectro visible, infrarrojo, etc., la altura de vuelo varía desde ( 1m hasta 500m), en vuelos totalmente automáticos programados y controlados de modo remoto o de forma manual mediante un mando de radiocontrol (Ferreira & Aira, 2007).



Figura 4. Drone Phantom 4 RTK DJI

Fuente: Google

#### **2.2.5.4. Partes básicas del drone**

- Motores, Helices y ESCs. Son los componentes que permiten que el drone se mantenga en el aire. Los ESCs ( Electronic Speed Contro) regula la potencia eléctrica suministrada a los motores, y por lo tanto la velocidad de giro del rotor, al momento de girar a alta velocidad suspende al drone en el aire gracias a las hélices que se mueven en conjunto (Garcia Mateu, 2018).
- Controlador de vuelo. Es considerado la parte importante de la maquina debido a que detecta y controla todos los movimientos y componentes electrónicos que van conectados al controlador de vuelo (Garcia Mateu, 2018).
- Mando o control remoto. Es un dispositivo el cual está conformado por dos palancas multidireccionales que cumplen la función de guiar los movimientos que el drone realice gracias a unos comandos (Garcia Mateu, 2018).
- Radio receptor. Es aquel que recibe órdenes del mando transmitiéndolas al controlador de vuelo, donde la instrucción se ejecuta mediante variaciones en la velocidad de los rotores que alteran el curso del Drone a voluntad del operador (Garcia Mateu, 2018).
- Baterías. Son aquellas que proporciona la energía para que el drone funcione correctamente, están conformados por polímero de litio, de bajo peso y alta descarga, los cuales permiten que el equipo se pueda manipular fácilmente (Garcia Mateu, 2018).

### 2.2.5.5. Metodología de uso del Drone



Figura 5. Fase 01  
Fuente: Manual de uso de drone

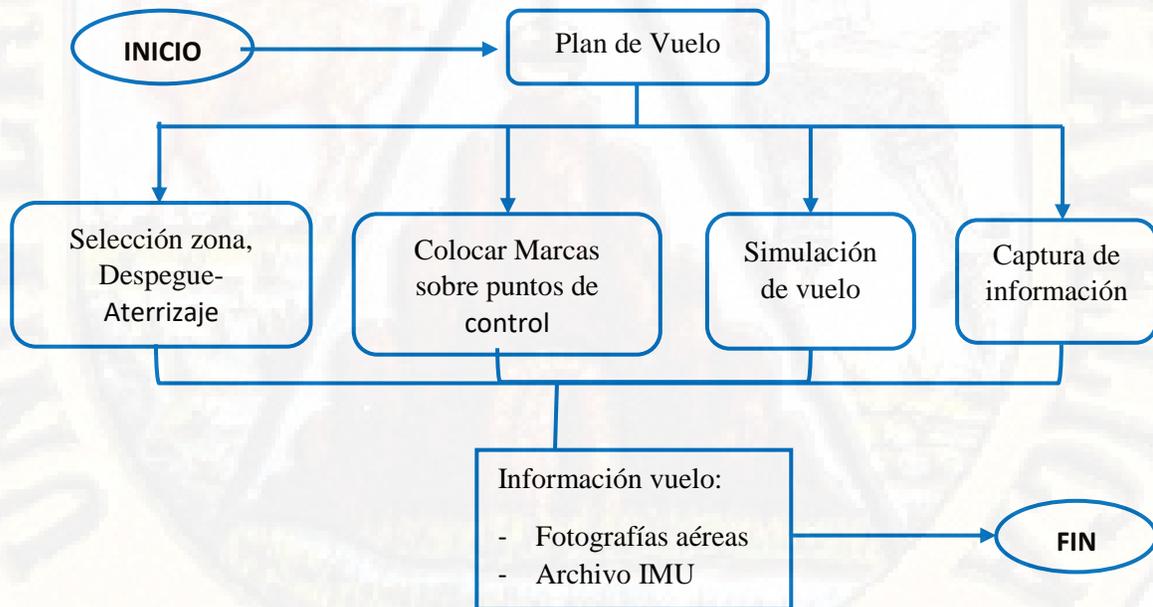


Figura 6. Fase 02  
Fuente: Manual de uso del drone

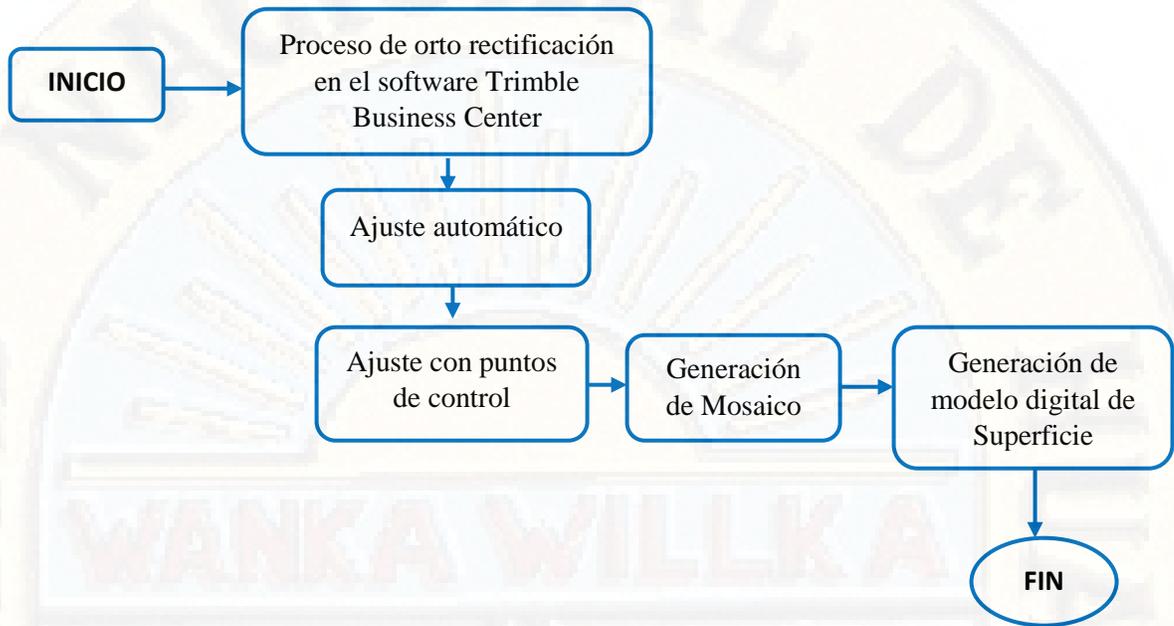


Figura 7. Fase 03  
 Fuente: Manual de uso del drone

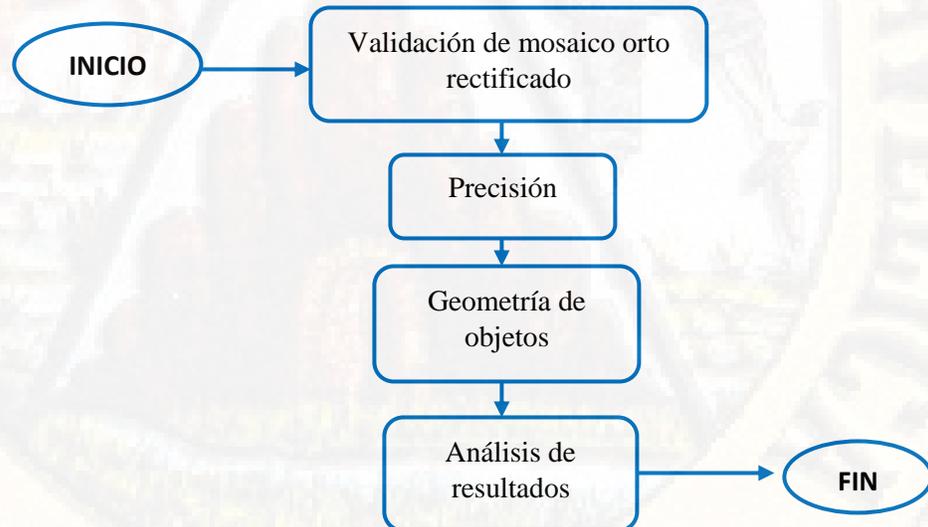


Figura 8. Fase 04  
 Fuente: Manual de uso de drone

### 2.2.5.6. Plan de vuelo

- Reconocimiento de terreno. Para poder realizar cualquier trabajo topográfico, es imprescindible que el primer paso sea una revisión del lugar de estudio, es recomendable realizar la visita a campo, de lo contrario se realiza mediante el uso del software Google earth donde se encuentra delimitado el área de estudio. Se debe tener en consideración la presencia de vegetación, morfología del terreno, realizado el análisis de estos puntos se realiza el planeamiento de vuelo en cuanto al overlap (superposición, traslape) que varía entre un 50 y 70% que garantizan la precisión de la información (Geodrones, 2019).

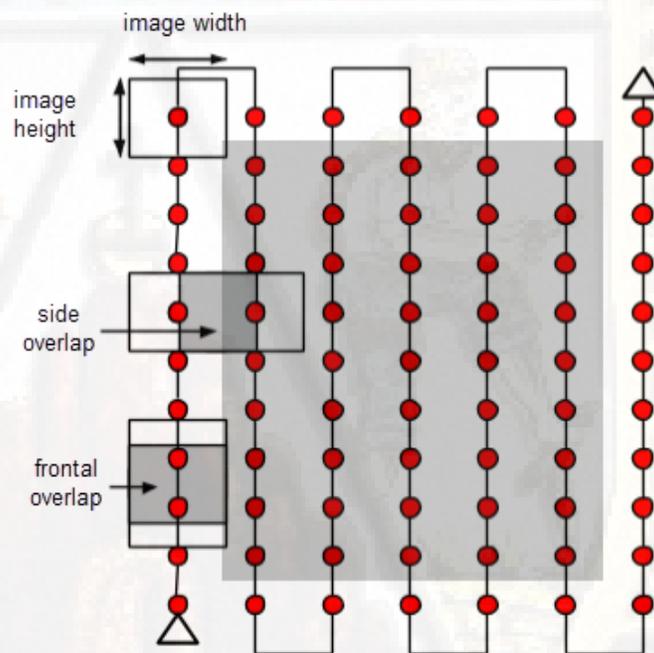


Figura 9. Trayectoria de Solapes

Fuente: página web Aerotas

- Puntos de control. Para realizar el correcto levantamiento topográfico, si tiene que hacer en base a puntos de control que nos ayudarán a orientar nuestro levantamiento y su respectiva georreferenciación con mayor exactitud y precisión, tanto en planimetría y altimetría, para

poder marcar estos puntos se realizan haciendo uso de GPS diferencial o RTK, dichos puntos se marcan con ( cal, yeso, pintura o dianas), para que puedan ser apreciadas en las imágenes aéreas (Geodrones, 2019).



Figura 10. Punto de control

Fuente: manual de vehículo aéreos no tripulados

#### **2.2.5.7. Vuelo**

Una vez realizado la orientación del equipo se da inicio a la planeación y ejecución del vuelo, para la planificación es necesario realizarlo mediante aplicaciones móviles, que dependerán del objetivo del proyecto, se tiene algunas aplicaciones más conocidas, MapPilot, Groud Station Pro, también se tiene, Pix4D Capture y Drone Depploy. Es preciso mencionar que la planificación de un vuelo fotogramétrico tradicionalmente constaba del número de líneas de vuelo, altura de vuelo, velocidad del equipo el porcentaje de sobre posición de

las imágenes tanto con las imágenes de su misma línea de vuelo como con las líneas adyacentes entre otros (Geodrones, 2019).



Figura 11. Vuelo Del drone.

Fuente: Propia



Figura 12: Foto aérea

Fuente: propia

#### **2.2.5.8. Procesamiento fotogramétrico de la información**

Finalizado el vuelo se realiza el procesamiento de los datos, los cuales deben descargarse en archivos RINEX y procesarlo en el software especializado GNSS solution o Trimble Business Center (TBC). Un factor importante es el equipo de cómputo donde es recomendable tener una buena tarjeta de gráficos, un procesador potente como Core I7 y al menos 16 Gb de memoria RAM. Los pasos que se siguen para el procesamiento de las imágenes aéreas son (Geomática, 2017):

- Rectificación simple. Con este paso se trata de corregir el efecto de la inclinación de la imagen a escala constante si el terreno u objeto fotografiado es relativamente plano (Geomática, 2017).
- Orientación interna. Se recupera la geometría de cada una de las fotografías fotogramétricas haciendo uso de marcas de referencia (Geomática, 2017).
- Orientación relativa. En este paso se crea los modelos estereoscópicos y se encuentran las coordenadas de los modelos, se obtienen utilizando 6 puntos homólogos que están ubicados en el área de recubrimiento estereoscópico (Geomática, 2017).
- Aero triangulación. En esta fase del proceso cartográfico, se determina las coordenadas terrestres de los modelos estereoscópicos para obtener un mapa digital del terreno, de esta manera se está orientando el modelo en sistemas locales para poder tener las coordenadas X,Y,Z locales (Geomática, 2017).
- Orientación absoluta. En esta fase se da la escala y se nivela el modelo estereoscópico a partir de puntos conocidos, se recomienda tener un

conjunto de nubes de puntos sobre el terreno, para que se realice la comparación del modelo y la realidad (Geomática, 2017).

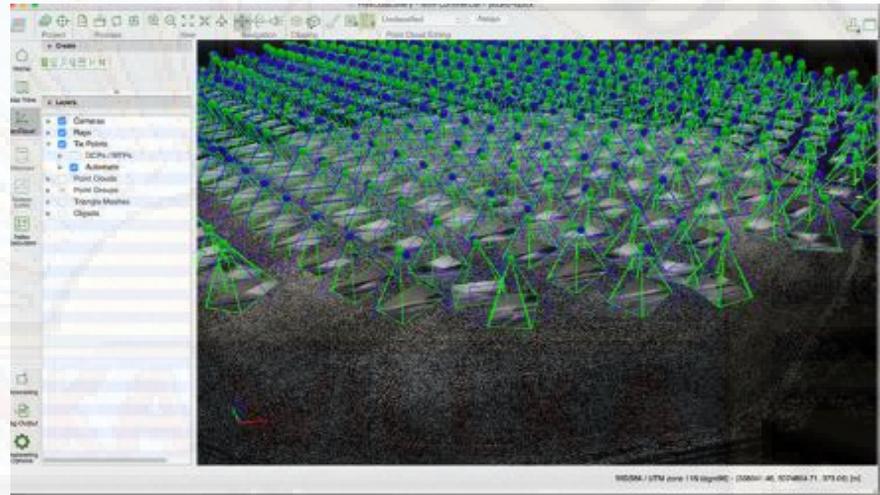


Figura 13. Procesamiento digital fotogramétrico

Fuente: Web Geodrones

- Formato y presentación. La presentación de los resultados depende del cliente ya sea en un entorno CAD ( DXF, DWG) o en Sistemas de Información Geográfica (SHP), asimismo se puede obtener en formato tiff, modelos de elevación digital, para ser analizados y trabajos en otros programas en este caso el SIG (Geodrones, 2019).



Figura 14. Curvas de nivel

Fuente: manual de levantamiento topográfico Trimble UX5

## 2.2.6. Sistema de información geométrica (SIG)

Un sistema de información geográfica (también conocido con las abreviaturas SIG en español o GIS en inglés) es un sistema de información capaz de integrar, almacenar, editar, analizar, compartir y mostrar la información geográficamente referenciada. En un sentido más genérico son herramientas que permiten a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones (Cartoteca, 2011).

Los sistemas de información SIG se pueden usar en investigaciones científicas, gestión de los recursos hidráulicos, la evaluación del impacto ambiental, la cartografía y la planificación urbana entre otros (Cartoteca, 2011).

### 2.2.6.1. Componentes de un SIG

Como en cualquier otro proceso es una actividad progresiva, trabajoso y difícil. Los componentes de un sistema de información pueden ser distintos en nivel de complejidad, gastos y plazos no obstante todos son importantes y necesarios. Los sistemas de información geográfica (SIG) son como cualquier otro sistema de información (Cartoteca, 2011).

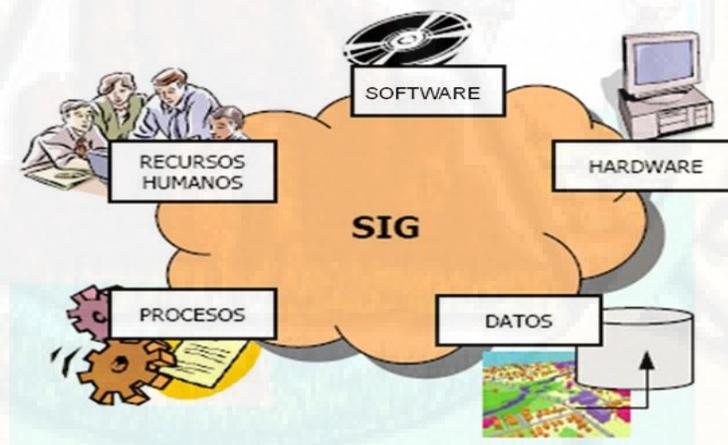


Figura 15. Componentes de un SIG

Fuente: Libro ingeniería y solución geográfica

- Equipos (Hardware)

El hardware es el computador donde opera el SIG. Los SIG se pueden ejecutar en una gran variedad de plataformas, que pueden variar desde servidores (computador central) a computadores desktop (escritorio) o laptop (portátil) que se utilizan en las configuraciones de red o desconectado. (FAO, 2006)

- Programas (software)

Los programas de SIG proveen las funciones y las herramientas que se requieren para almacenar, analizar y desplegar información geográfica.

Los softwares SIG, actualmente pueden encontrarse en una gran variedad de productos, con distintos fines, capacidades, tipos de datos que pueden trabajar, niveles de costos, etc. Se puede encontrar software SIG comercial (ArcGIS, Geomedia, Mapinfo, etc.) y software SIG libre (Jump, Grass, Quantum GIS, etc.) (FAO, 2006).

- Datos

Posiblemente los componentes más importantes de un SIG son los datos. Los datos geográficos y tabulares relacionados pueden colectarse en la empresa, en terreno o bien adquirirlos a quien implementa el sistema de información, El SIG integra los datos espaciales con otros recursos de datos y puede incluso utilizar los administradores de base de datos (DBMS) más comunes para organizar, mantener y manejar los datos espaciales y toda la información geográfica. (FAO, 2006).

- **Recurso humano**

La tecnología SIG está limitada si no se cuenta con el personal adecuado que opere, desarrolle y administre el sistema, y llevar a cabo los planes de desarrollo para aplicarlos a los problemas del mundo real. Entre los usuarios de SIG se encuentran los especialistas técnicos, que diseñan y mantienen el sistema para aquellos que los utilizan diariamente en su trabajo. (FAO, 2006).

- **Metodología y Procedimientos**

Para que un SIG tenga éxito, este debe operar de acuerdo a un plan bien diseñado y estructurado y acorde con las reglas de la empresa o institución, que son los modelos y prácticas operativas características de cada organización. (FAO, 2006).

#### **2.2.6.2. Funciones de un SIG**

- **Incorporación de la información.** Se incluye aquí no solo el paso de datos geográficos a una forma analítica, sino también a la integración en el sistema de base de datos (Morea & Huerta, 2011).
- **Gestión de la información.** Toda la información obtenida debe poder ser gestionada por el sistema realizando búsquedas temáticas, espaciales y con capacidad de selección múltiple para su posterior análisis. La gestión se refiere tanto a datos geográficos como alfanuméricos (Morea & Huerta, 2011).
- **Análisis de la información.** Esta función es la específica de los SIG, el cual trabaja a partir de la preparación de los datos en donde se utilizan los procedimientos de análisis territorial para la obtención de resultados, dichos modelos son resultantes del procesamiento de la

información pueden ser reales en función de la bondad de los datos y de la veracidad de las hipótesis utilizadas (Morea & Huerta, 2011).

- Interrelación con el usuario. Luego del análisis de los resultados el programa emite una salida adecuada de los datos utilizados y de los resultados obtenidos en relación con los fines perseguidos. Un SIG debe tener la capacidad de ofrecer salidas como tablas de resumen, mapas, gráficos, etc. (Morea & Huerta, 2011).

### 2.2.6.3. Sistema de coordenadas

(Olaya, 2014), nos menciona que el sistema de coordenadas geográficas es un sistema de coordenadas esféricas mediante el cual un punto se localiza con dos valores angulares:

- **La latitud  $\varphi$ :** Es el ángulo entre la línea que une el centro de la esfera con un punto de su superficie y el plano ecuatorial. Las líneas formadas por puntos de la misma latitud se denominan paralelos y forman círculos concéntricos paralelos al ecuador (Olaya, 2014).
- **La longitud  $\lambda$ :** Es el ángulo formado entre dos de los planos que contienen a la línea de los Polos. El primero es un plano arbitrario que se toma como referencia, además de contener a la línea de los polos, contiene al punto en cuestión. Las líneas formadas por puntos de igual longitud se denominan meridianos y convergen en los polos (Olaya, 2014).

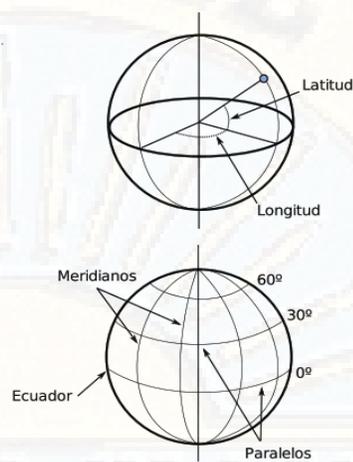


Figura 16. Esquema de los elementos de sistema de coordenadas

Fuente: Víctor Olaya, sistema de información geográfica

- **Proyección cartográfica.** Es un sistema de representación gráfica que establece una relación ordenada entre los puntos de una superficie plana y de la superficie curva de la Tierra. Estos puntos se localizan auxiliándose en una red de paralelos y meridianos, en forma de malla. La única forma de evitar las distorsiones de esta proyección sería usando un mapa esférico. Los puntos se identifican por las coordenadas cartesianas (x e y) en una malla cuyo origen depende de los casos. Este tipo de coordenadas se obtienen matemáticamente a partir de las coordenadas geográficas (longitud y latitud), que no son proyectadas. (Wikipedia, 2016).
- **Proyección cilíndrica.** La proyección cartográfica que revolucionó la cartografía, es cilíndrica y conforme en ella, se proyecta el globo terrestre sobre una superficie cilíndrica. Es una de las más utilizadas, aunque por lo general en forma modificada, debido a las grandes distorsiones que ofrece en las zonas de latitud elevada. Es utilizada para la generación de mapamundi, para la corrección de la deformación de latitudes (Wikipedia, 2016).

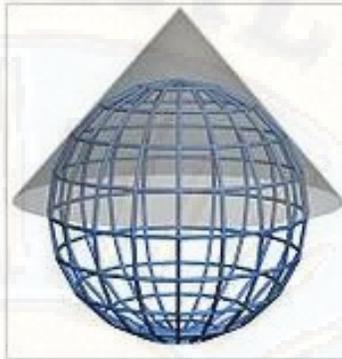


Figura 17. Esquema de una proyección cilíndrica

Fuente: Wikipedia, 2016

- Proyección cónica. Se obtiene proyectando los elementos de la superficie esférica terrestre sobre una superficie cónica tangente, situando el vértice en el eje que une los dos polos. Aunque las formas presentadas son de los polos, los cartógrafos utilizan este tipo de proyección para la visualización de los países y continentes (Olaya, 2014).



Figura 18. Esquema de una proyección cónica

Fuente: Wikipedia, 2016

- Proyección de coordenadas UTM. En la actualidad, una de las proyecciones más extendidas en todos los ámbitos es la proyección universal transversal de Mercator, la cual da lugar al sistema de coordenadas UTM. Este sistema, desarrollado por el ejército de los

Estados Unidos, no es simplemente una proyección, sino que se trata de un sistema completo para cartografiar la totalidad de la Tierra. Para ello, esta se divide en una serie de zonas rectangulares mediante una cuadrícula y se aplica una proyección y unos parámetros geodésicos concretos a cada una de dichas zonas. Aunque en la actualidad se emplea un único elipsoide (WGS-84), (Olaya, 2014).



Figura 19. Coordenadas UTM

Fuente: Wikipedia, 2016

### 2.2.7. Modelos de representación geográfica

Los modelos geográficos nos ofrecen una concepción particular del espacio geográfico y sus atributos. En base a ello, el siguiente paso es reducir las propiedades de dichos modelos a un conjunto finito de elementos, de tal modo que el registro de dichos elementos sirva para almacenar la realidad que los modelos geográficos describen. Para ello, empleamos los modelos de representación, también denominados modelos de datos. Antes de entrar a describir los distintos modelos de representación, veamos algunos ejemplos que nos presentarán casos particulares de estos modelos. (Olaya, 2014)

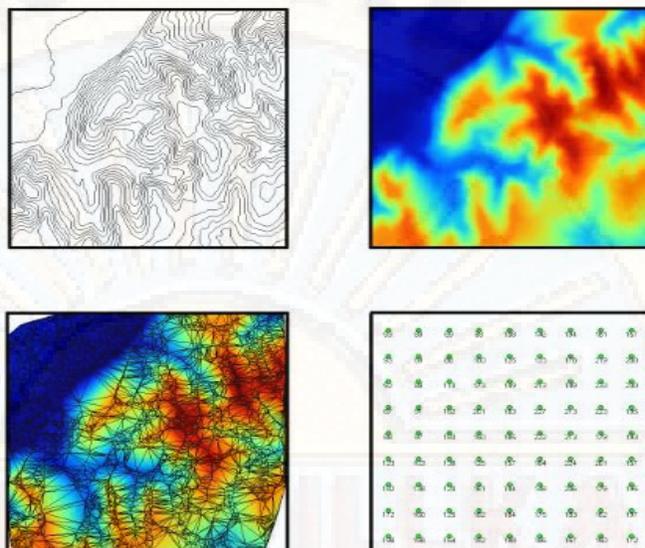


Figura 20. Formas de representar una capa con información altitudinal

Fuente: Wikipedia, 2016

- **Curvas de nivel.** Es la representación más usada en los mapas. Une todos los puntos de igual distancia vertical, altitud o cota en donde todas las curvas son equidistantes como ejemplo puede ser a 2,5, 10 metros (Olaya, 2014).
- **Malla de celdas regulares.** Cada celda tiene un valor de altura propio que, al convertirse en un color mediante el uso de una escala de colores, da lugar a la imagen mostrada (Olaya, 2014).
- **Puntos regulares.** Una serie de puntos regularmente espaciados. Existe información de la elevación solo en dichos puntos (Olaya, 2014).
- **Red de triángulos irregulares (RTIN).** Es una estructura en la cual se toman los puntos más característicos del relieve y en base a ellos se construye una triangulación con unas condiciones particulares. Cada uno de los triángulos posee unas propiedades comunes en cuanto a su relieve (Olaya, 2014).

### 2.2.7.1. Modelo Raster

Los datos raster se compone de filas y columnas de celdas, cada celda almacena un valor único. Los datos raster pueden ser imágenes (imágenes raster), con un valor de color en cada celda (o píxel). Otros valores registrados para cada celda puede ser un valor discreto, como el uso del suelo, valores continuos, como temperaturas, un valor nulo si no se dispone de datos. Si bien una trama de celdas almacena un valor único, estas pueden ampliarse mediante el uso de las bandas del raster para representar los colores (rojo, verde, azul), o una tabla extendida de atributos con una fila para cada valor único de células. La resolución del conjunto de datos raster es el ancho de la celda en unidades sobre el terreno. (Wikipedia, 2016).

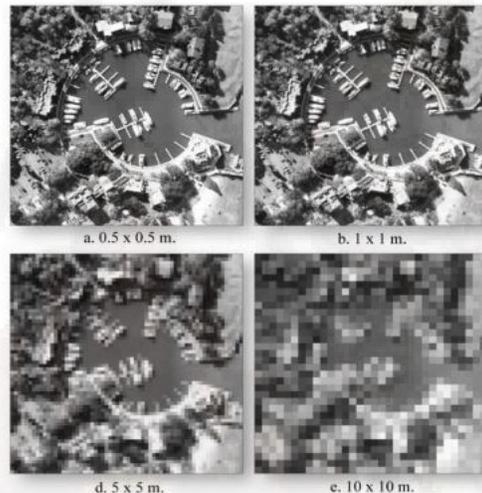


Figura 21. Modelos de raster a distintas resoluciones

Fuente: Wikipedia

### 2.2.7.2. Modelo Vectorial

Aquí los datos están basados en la representación vectorial de la componente espacial de los datos geográficos. Esta forma de expresión espacial implica la utilización de los tres tipos de elementos espaciales, de carácter geométrico, en que pueden ser interpretados los objetos geográficos: puntos, líneas y polígonos. Los atributos temáticos, que corresponden a las unidades espaciales, se manejan, habitualmente, desde tablas de datos (Olaya, 2014).

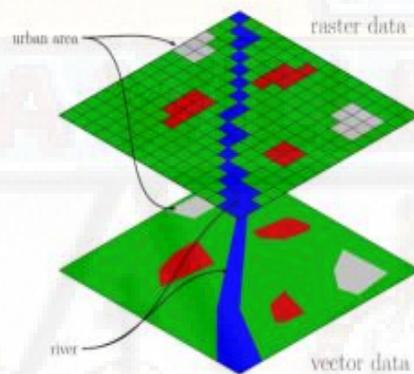


Figura 22. Modelo raster (arriba)/ modelo vectorial (abajo)

Fuente: Google

La elección de un modelo u otro dependerá de si las propiedades topológicas son importantes para el análisis. Sí es así, el modelo de datos vectorial es la mejor opción, pero su estructura de datos, aunque muy precisa, es mucho más compleja y esto puede ralentizar el proceso. Por ello, si el análisis que nos interesa no requiere acudir a las propiedades topológicas, es mucho más rápido, sencillo y eficaz el uso del formato raster (Olaya, 2014).

### 2.2.7.3. Modelo digital de elevación (MDE)

Es una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo. Dentro de sus ventajas son

modelos conceptuales simple, fácil de relacionar con otros raster se puede convertir en espaciamiento regular por interpolación (Olaya, 2014).

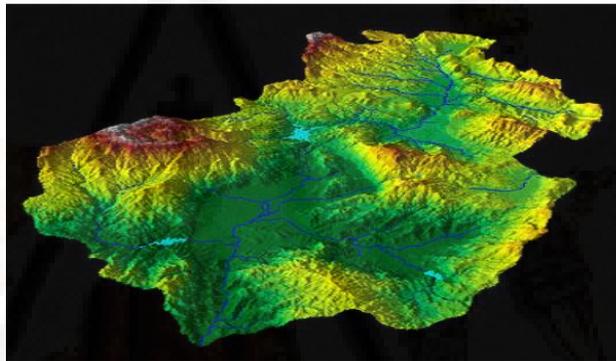
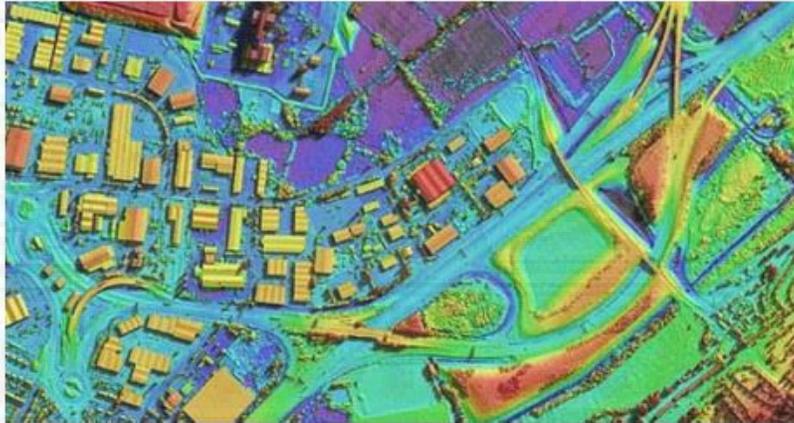


Figura 23. Modelo digital de elevación de una ciudad

Fuente: Google

En general, los errores de los DEM se clasifican como sumideros o picos. Un sumidero es un área rodeada por valores de mayor elevación que también se conoce como depresión o concavidad. Esta es un área de drenaje interno. Si bien muchos sumideros son imperfecciones de los DEM, algunos pueden ser naturales, en particular en áreas de glaciares o karst (Mark 1988). De la misma manera, un pico es un área rodeada por celdas de menor valor. Estas son

entidades naturales más comunes y menos perjudiciales para el cálculo de la dirección de flujo.

Los errores como estos, en especial los sumideros, se deben eliminar antes de intentar derivar cualquier información de superficie. Los sumideros, al ser áreas de drenaje interno, evitan que el agua fluya desde pendientes más empinadas (Olaya, 2014).

### **2.2.8. IBER**

El programa Iber (2010) es la modelización bidimensional del flujo en lámina libre en aguas poco profundas para la simulación del flujo en ríos y estuarios fue desarrollado por un conjunto de universidades y grupos de ingeniería como el grupo de ingeniería del agua y del medio ambiente, GEAMA (Universidad de Coruña), grupo de ingeniería matemática (Universidad de Santiago de Compostela), Instituto Flumen y Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX, desarrollado en España con el apoyo de las universidades mencionadas diseñado para hacer uso en materia de aguas. En la actualidad Iber abarca los siguientes campos: simulación de flujo en lámina libre en cauces naturales, evaluación de zonas inundables. cálculo de las zonas de flujo preferente, cálculo hidráulico de encauzamientos, cálculo hidráulico de redes de canales en lámina libre, cálculo de corrientes de marea en estuarios, estabilidad de los sedimentos del lecho y procesos de erosión y sedimentación por transporte de material granular (Blade E C. L., 2014).

#### **2.2.8.1. Características**

El modelo Iber consta actualmente de 3 módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico, un módulo de turbulencia y un módulo de transporte de sedimentos. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros, las ecuaciones de aguas someras bidimensionales se resuelven con las ecuaciones

de Saint Venant 2D, cabe mencionar que el módulo de turbulencia incluye tensiones turbulentas en el cálculo hidrodinámico utilizándose para el tipo de complejidad, por otra parte el módulo de transporte de sedimentos resuelve las ecuaciones de transporte de fondo y transporte turbulento en suspensión realizando el cálculo del balance de masa de sedimento (Iber, 2014).

#### **2.2.8.2. Capacidad de cálculo de Iber**

El programa Iber tiene el modulo hidrodinámico que facilita la simulación bidimensional de cauces determinando las zonas inundables, la presión hidrostática se cumple razonablemente en el flujo de ríos, así como en las corrientes generadas por la marea de estuarios, en la actualidad los modelos numéricos bidimensionales son los más utilizados en estudios de dinámica fluvial y litoral, evaluación de zonas inundables y cálculo de transporte de contaminantes, asimismo se tiene el módulo de turbulencia en comparación con otros modelos, este módulo es importante porque en cualquier río se observa pequeños remolinos que aparecen y desaparecen en algunos tramos del río o debido a movimientos bruscos, es por ello que tiene una función importante en la determinación de transporte de mezcla de contaminantes y sedimentos y por último se tiene el módulo de transporte de solido no estacionario donde se resuelve las ecuaciones de transporte de fondo y la carga en suspensión mediante un término de sedimentación/resuspensión, cabe señalar que este módulo utiliza los datos proporcionados por los módulos de hidrodinámica y de turbulencia (Iber, 2014).

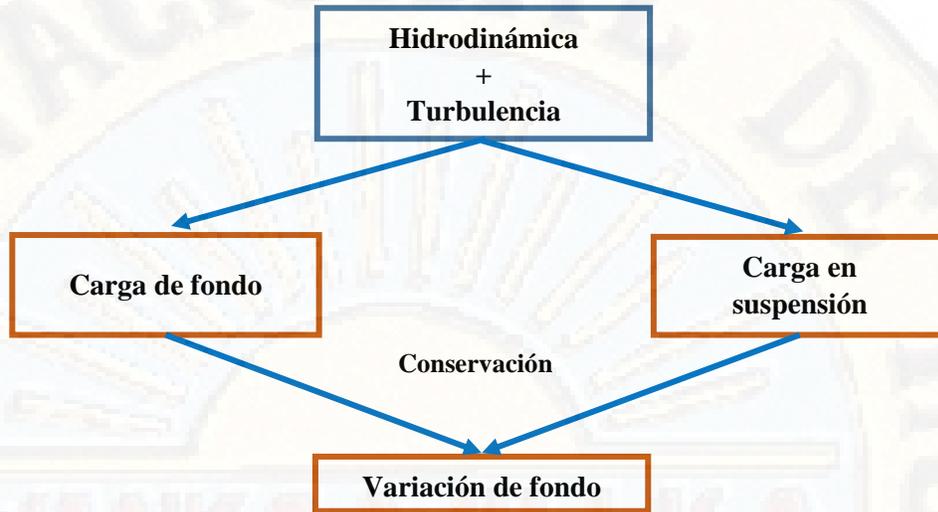


Figura 24. Esquema del módulo de transporte de sedimento no estacionario

Fuente: manual de referencia hidráulica de Iber

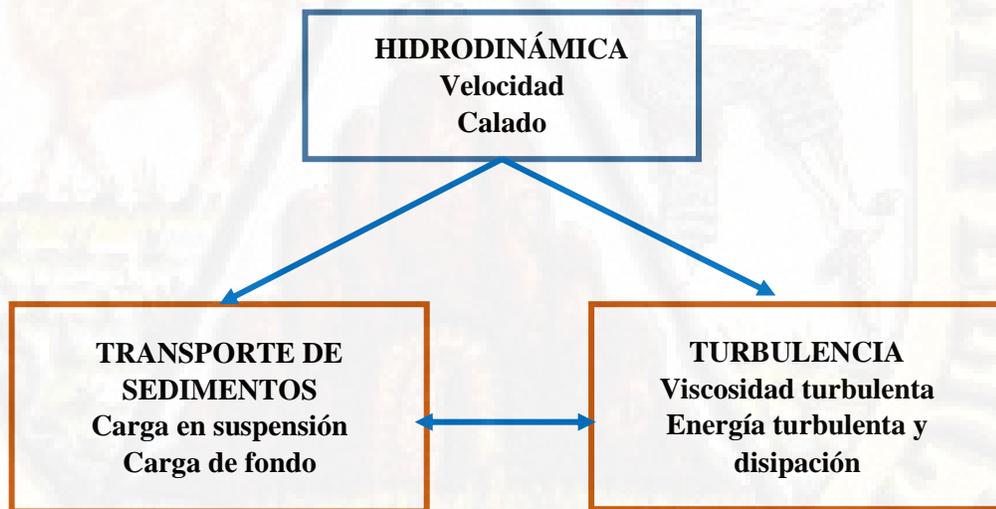


Figura 25. Módulos de cálculo de Iber

Fuente: manual de Iber

### 2.2.8.3. Organización del programa Iber

El programa Iber hace uso del de GiD que es un sistema tipo Unix el identificador de grupo que permite organizar los usuarios por grupos para el pre y postprocesamiento de simulaciones numéricas, el programa genera una malla adecuada para varios métodos numéricos (elementos finitos, volumen finito, en algunos casos métodos sin malla), estas simulaciones se pueden ejecutar y posteriormente visualizar los resultados para su posterior análisis (Iber, 2012).

### 2.2.8.4. Interfaz de usuario del Iber

Es una característica, el cual ayuda a realizar los trabajos de manera ordenada y eficiente, la ventana principal está conformado por botones ventanas, iconos, menú las cuales tienen subventanas donde se puede ingresar datos para su posterior representación gráfica, asimismo se puede manipular de acuerdo a la forma de trabajo; en la ventana principal se puede apreciar área grafica de trabajo, menú desplegables en la parte superior, línea de comando en la parte inferior, ventana de mensaje por encima de ella y una barra de iconos en la parte izquierda donde se tiene comandos para el pre y postproceso de la simulación numérica (Iber, 2012).

- Top Menú. Esta opción contiene una variedad de comandos que se utilizaran de acuerdo al análisis que se esté realizando tanto en el pre y procesamiento de datos.



Figura 26. Fase de pre proceso

Fuente: programa Iber



Figura 27. Fase de post proceso

Fuente: programa Iber

- Toolbars. La barra estándar está conformada por opciones comunes para ambas preferencias pre y postprocesamiento, dentro de ellos está incluido los comando abrir, capturar imágenes, impresión, ayuda y salida, etc., es variable dependiendo del trabajo que se esté realizando.



Figura 28. Fase de pre proceso

Fuente: programa Iber



Figura 29. Fase de post proceso

Fuente: programa Iber

- Command line. Todos los comandos también se pueden editar a través de la línea de comandos que se encuentra en la parte inferior de GiD.

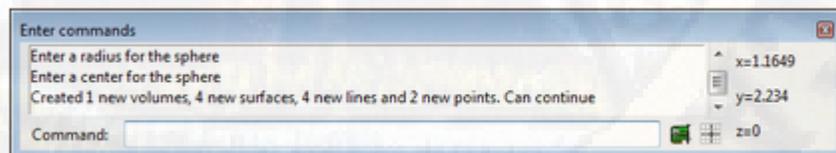


Figura 30. Línea de comando

Fuente: programa Iber

➤ Dark GID theme

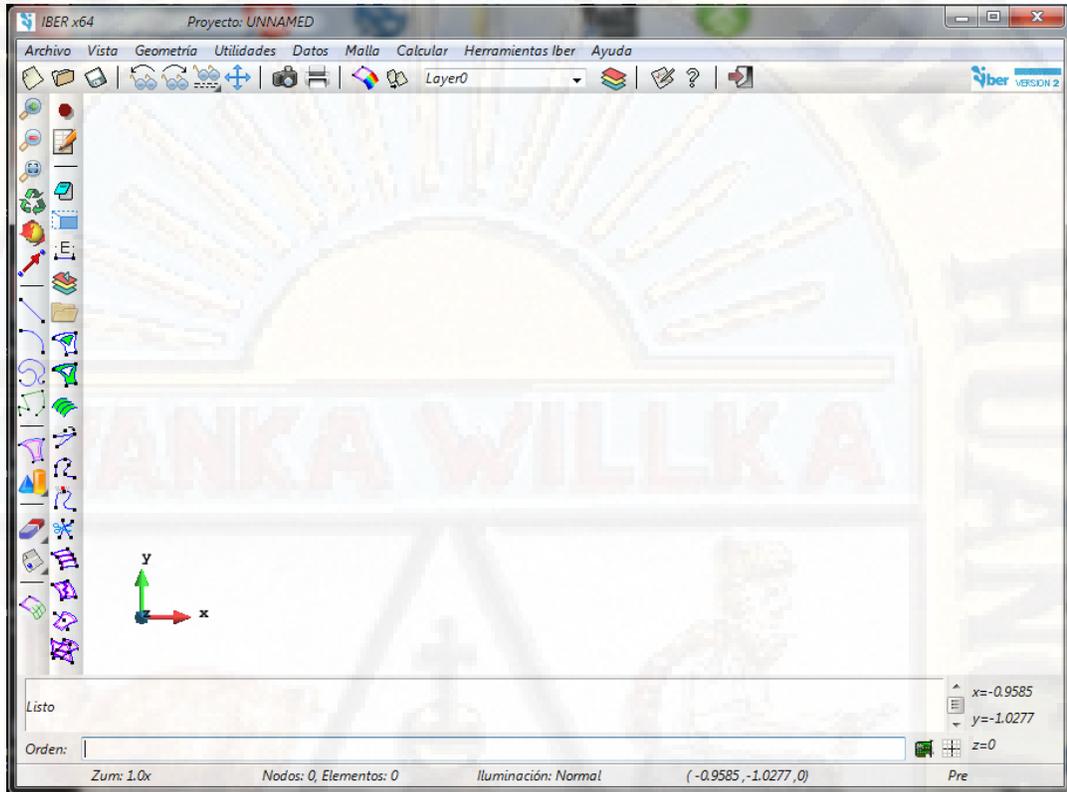


Figura 31. Interfaz del Iber

Fuente: programa Iber

### 2.2.9. Metodología de trabajo del Iber

La metodología del programa Iber consta de tres procesos como se indica en la siguiente figura.

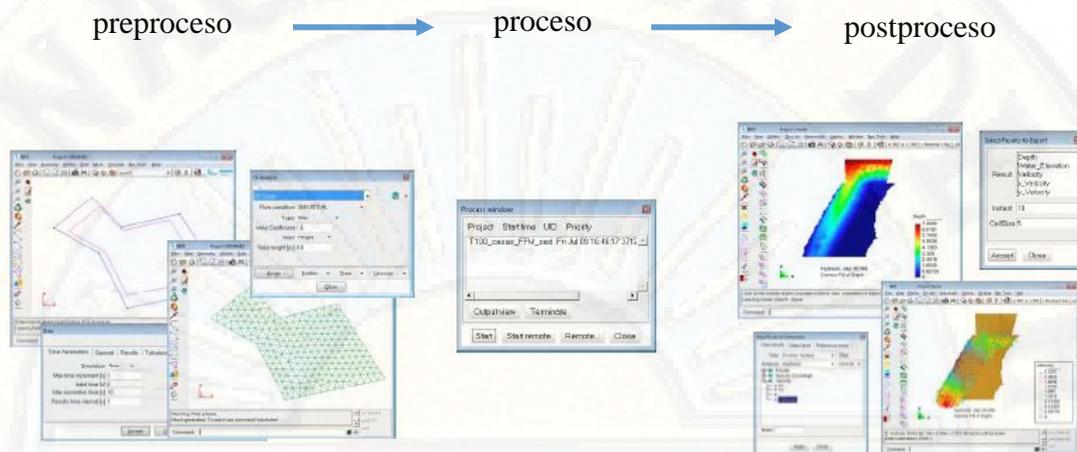


Figura 32. Entorno de Iber basado en GIS

Fuente: manual de Iber

### 2.2.9.1. Preproceso

a) Introducción. Para poder realizar el cálculo con el programa Iber se deben seguir los siguientes pasos por orden de prelación (Iber, 2012).

- Crear o importar una geometría que se trabajó en otro software.
- Asignar un conjunto de parámetros de inicio (rugosidad del fondo, caudal, coeficiente de Manning, etc.).
- Introducir las condiciones de contorno.
- Definir las opciones de cálculo (tiempo, parámetros de esquema numérico).
- Creación y edición de malla
- Cálculo del modelo numérico.

b) Crear o importar geometría. La geometría se puede crear dibujando puntos, líneas y superficies directamente o a través de coordenadas,

asimismo para importar una geometría se debe guardar el archivo con una extensión .gid, es preciso señalar que se pueden importar formatos como (dxf, shapefile), los modelos digitales de elevación de terreno tiene que estar definidos en el formato ASCII (Iber, 2012, pág. 4).

- Menú Iber\_Herramientas > MDT”. Desde este menú se puede crear una serie de nuevos archivos ASCII con extensión .txt, el mismo que debe estar contenido en una carpeta, también se crea archivo dtms\_file.dat que es el listado de nuevos archivos (pág. 5).
- Menú “Iber\_Herramientas > RTIN”. Este menú tiene la capacidad de importar una geometría que está constituido por una red irregular de triángulos rectángulos (RTIN), para crear el Rtin se realiza a través del MDT, el cual se guarda en formato “rtin.dxf”, una vez importando en el programa se debe colapsar el modelo (pág. 6).
- “Iber\_Herramientas > CELL Surf”. Este menú permite crear una superficie para cada celda del raster importado creándose en formato .dxf, el cual no pierde precisión y por ende está formado por un gran número de elementos lo que genera un tiempo elevado en el cálculo hidráulico (pág. 7).
- Importar una TIN generada con un SIG. Este menú tiene la facilidad de importar el raster que se haya trabajado en GIS en formato shapefile, se recomienda utilizar una malla estructurada (pág. 8).



Figura 33. Uso de TIN como malla

Fuente: manual de obras hidráulicas Iber

c) Condiciones hidrodinámicas

- Condiciones iniciales. Dentro de las condiciones de entrada se debe asignar el tirante o calado del flujo en estudio (pág. 8).
- Condiciones de contorno de entrada. Esta condición permite consignar un caudato total o específico de acuerdo al régimen del flujo ya sea subcrítico, crítico o supercrítico (pág. 8).
- Condiciones de contorno de salida. Esta condición depende del régimen si es subcrítico se detalla parámetros adicionales de lo contrario no es necesario.
- Condiciones internas. Se consigna distintos tipos de condiciones internas entre ellos tenemos, vertedero, compuerta, combinación de vertedero y compuerta o un coeficiente de pérdidas localizadas (pág. 9).

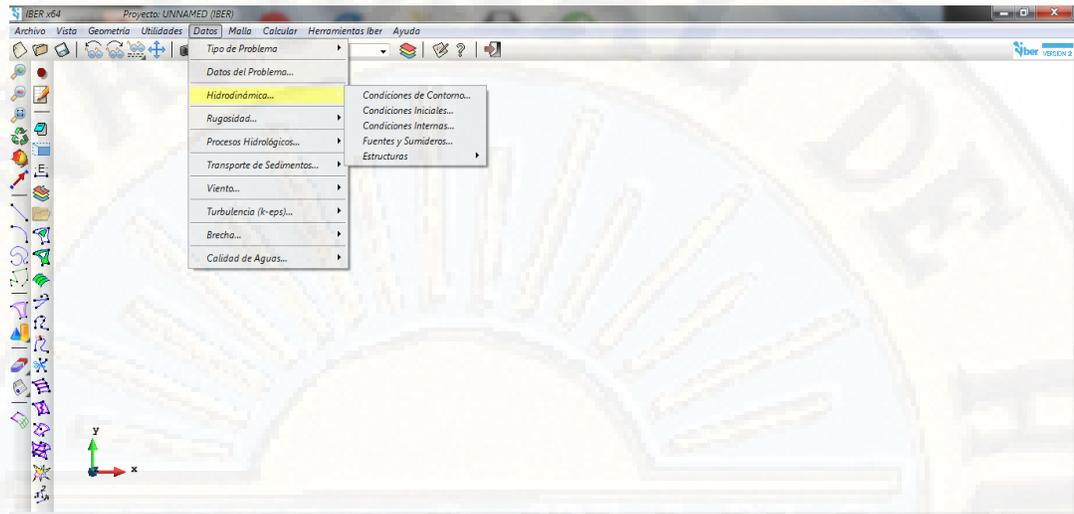


Figura 34. Condiciones de contorno

Fuente: manual de obras hidráulicas Iber

#### d) Rugosidad

- Uso de suelo. Con el menú rugosidad uso de suelo se puede asignar el uso de suelo en las diferentes superficies de la geometría a través del coeficiente de rugosidad de Manning (Iber, 2012, pág. 9).
- Datos geo referenciados. Este menú asigna de manera automática el coeficiente de rugosidad (pág. 9).



Figura 35. Rugosidad

Fuente: manual de obras hidráulicas Iber

e) Procesos hidrológicos

- Lluvia. Este parámetro se designa mediante un hietograma se accede en el menú datos> procesos hidrológicos (pág. 12).
- Perdidas por infiltración. En su versión mejorada del Iber considera tres modelos distintos de pérdidas de infiltración, entre ellos se tiene modelos de Horton, modelo lineal y el modelo de Geern-Ampt (pág. 12).

f) Transporte de sedimentos

- Capa no erosionable. Este submenú permite definir el tipo de roca que se tiene a cierta profundidad del lecho no erosionable (pág. 12).
- Sedimentograma para transporte de fondo. Esta opción permite asignar información de contorno aguas arriba debido a un caudal sólido por arrastre de fondo, se puede elegir de acuerdo

a la capacidad e arrates, agua limpia, dependiendo del tiempo se asigna un sedimento grama (pág. 12).

- Entradas de sedimento en suspensión. Este submenú designa un conjunto de sedimentos en suspensión dependiendo del tiempo y a una entrada de caudal (pág. 13).
- Fuente de sedimento en suspensión. Se designa este submenú para un determinado caudal y concentración de sedimento, a cualquier superficie o parte de una malla (pág. 13).
- Vía de intenso desagüe. A través de este menú se puede delimitar el área que recorre el flujo ya sea mediante un polígono o a una distancia D en base al eje para quedar limitado (pág. 14).
- Formación de brecha en presas. Esta opción permite simular la formación de brechas al momento de ocurrir la rotura de una presa (pág. 14).
- Mallado. Este ítem es importante debido a que depende de la malla para obtener buenos resultados, existen una variedad de cálculo de mallas el cual está en función de las características del problema. Se tienen elementos triangulares, cuadriláteros y mixtos que a su vez pueden ser regulares o irregulares, estructuradas o no estructurados (pág. 15).
- Modificar la cota de la malla a partir de un raster. Luego de haber generado la malla iber, se obtiene la opción de modificar la cota de los vértices de la malla mediante la interpolación de las cotas cargadas de un modelo en formato ASCII (pág. 16).

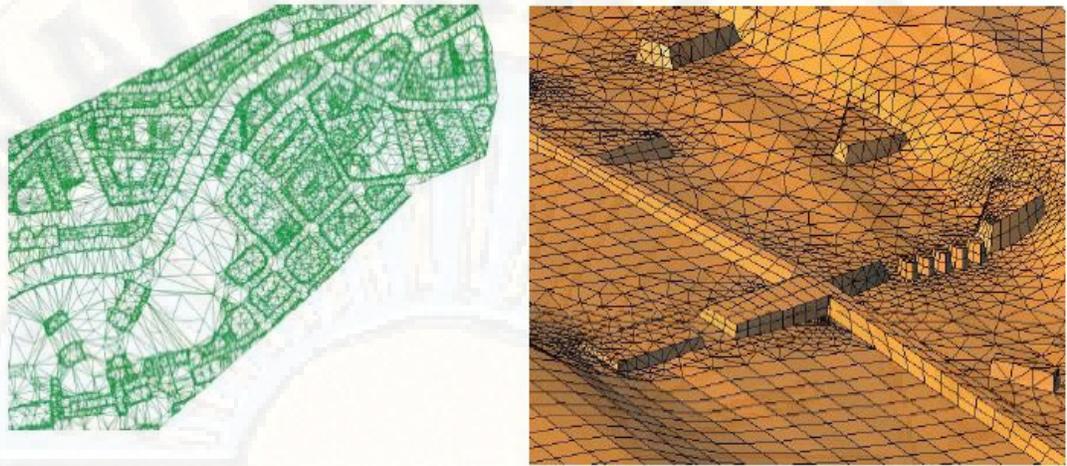


Figura 36. Malla no estructurada

Fuente: manual de obras hidráulicas Iber

#### 2.2.9.2. Proceso o cálculo

- a) Ejecución de un cálculo. Una vez realizado todo el procedimiento del preproceso se realizará el cálculo del modelo, pero antes se deberá fijar los parámetros de cálculo, es importante verificar esta ventana en el proceso y antes de realizar el cálculo para detectar posibles avisos de errores (Iber, 2012).
- b) Parámetros de cálculo. Estos datos se introducen en el menú “Datos> Datos del problema de acuerdo al problema que se va simular.
  - Parámetros de tiempo. En esta parte se detallan entre lanzar una simulación nueva o continuar una que ya se ha ejecutado, asimismo se puede fijar el incremento de tiempo de cálculo máximo (pág. 17).
  - Parámetros de cálculo. En esta parte se define el esquema numérico y algunos datos importantes para una simulación sin errores, cabe mencionar que Iber puede realizar el cálculo en

paralelo con el número de computadoras que desee eligiendo esquemas de primer orden o segundo orden (pág. 17).

- Selección de un modelo de transporte de sedimentos. Esta opción permite activar o desactivar los módulos de cálculo de transporte de sedimentos, transporte en suspensión, transporte de fondo y tiene la opción de activar un modelo de avalancha (pág. 18).
- Vía de intenso desagüe. Esta pestaña se activa para delimitar la vía de intenso desagüe para ello se debe haber creado el eje de la misma o en todo caso haber delimitado mediante un polígono todo el área por donde circulara el flujo, existe la opción de definir la distancia a partir del eje, la zona que puede ocupar el agua queda limitada, antes de iniciar el cálculo se debe activar el cálculo con la vía de intenso desagüe (pág. 18).

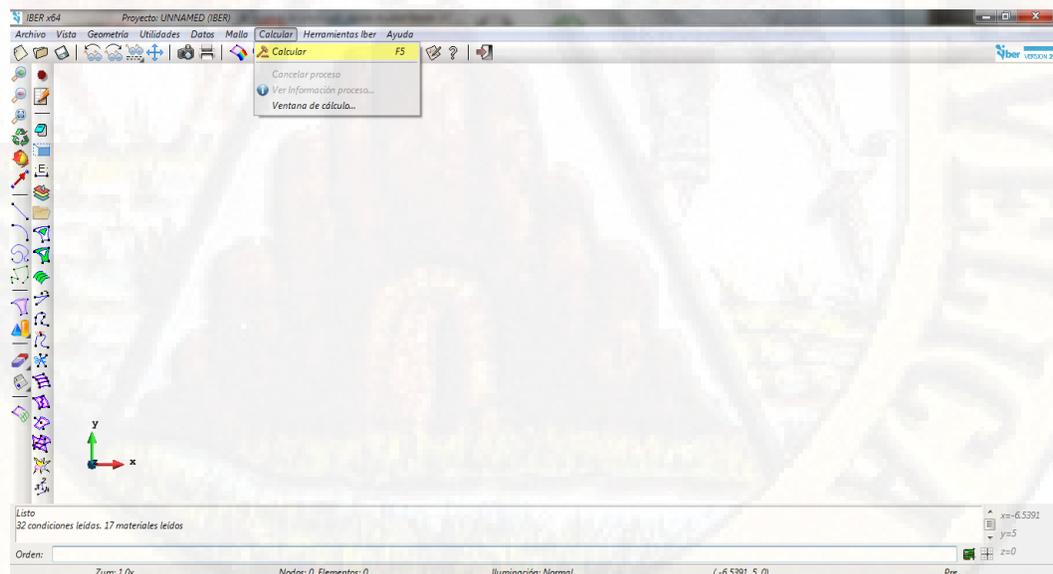


Figura 37. Menú calcular

Fuente: programa Iber

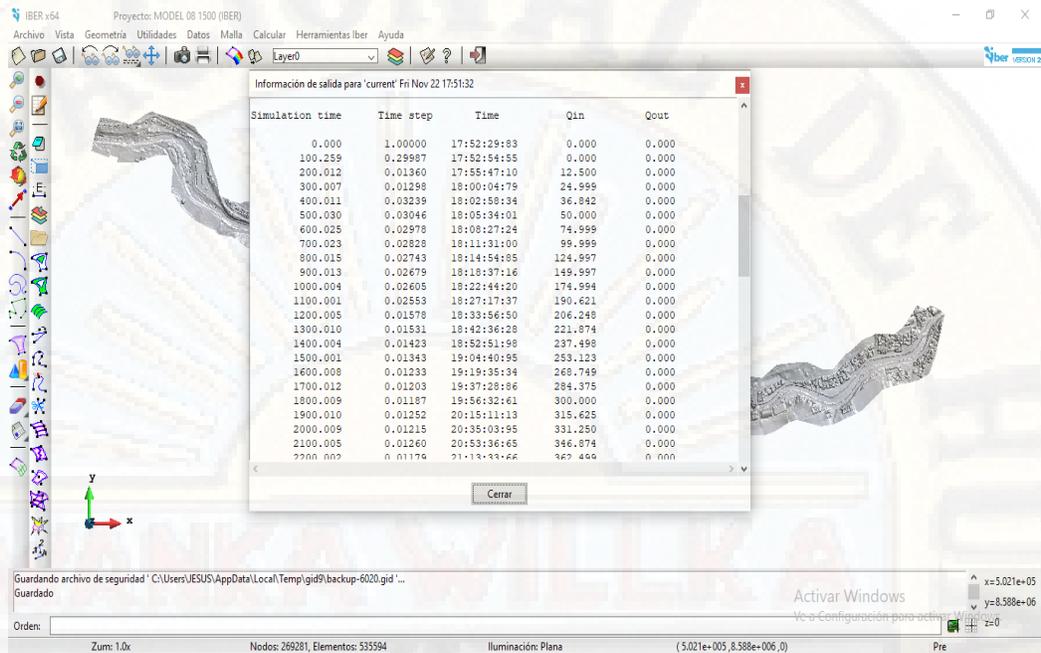


Figura 38. Procesamiento de datos

Fuente: elaboración propia

### 2.2.9.3. Postproceso

Luego de haber realizado el cálculo correctamente, dependiendo del tiempo que se tomó el ordenador en procesar los datos, se puede revisar el postproceso para ver y analizar los resultados. Una vez que haya finalizado el cálculo Iber te muestra un menú donde se encuentra todas las herramientas del postproceso, también se puede acceder mediante el menú “archivo > postproceso” (Iber, 2012).

- a) Visualización de resultados. El programa Iber cuenta con una variedad de funciones para la visualización y análisis de los resultados, donde se puede personalizar los colores, las leyendas, mostrar etiquetas de valores, animaciones, etc. Para poder trabajar en ello se ubican en la pestaña “ventana > ver resultados”, dicha ventana ofrece los distintos grupos de resultados de manera trabajable y que facilita para su

respectivo análisis, se encuentran áreas coloreadas. suavizadas, o vectores (pág. 21).

- b) Creación de gráficos. Esta opción permite crear gráficos desde la barra de visualización de resultados donde se encuentran (botones, evolución de punto, gráfico de línea, gráfico punto y gráfico de borde), los gráficos que se van creando se pueden gestionar con la ventana gráficos “ventana > ver gráficos”, asimismo tiene la opción de ser exportados a formatos Excel, por ejemplo (pág. 22).
- c) Exportar resultados en formato raster. Todos los resultados que se obtienen después de la simulación se pueden exportar en formato ASCII grid de Arc info a través del menú “Iber\_Herramientas > resultados en grid”, dicho procesos se debe realizar seleccionando cada resultado que se obtuvo definiendo el valor de un instante de tiempo y un tamaño de celda; Iber recopilará toda la información en una carpeta que creara el mismo programa (pág. 22).
- d) Caudal a través de una línea. Iber te da la opción de obtener el caudal a través de una línea, el cual consta en crear un archivo de texto, dentro de la carpeta de trabajo desde un principio en formato lines.dat, la estructura a seguir es la siguiente (pág. 23).
  - En el archivo .txt en la primera línea de grupo se tendrá el número de vértices de la línea
  - En la segunda línea de grupo se tendrá el listado de los vértices los mismos deben ser consecutivos al realizar el cálculo, se crea un archivo Qlines.resp en donde cada fila es un instante de tiempo, la primera columna es el valor del instante y las que le siguen son el caudal a través de cada una de las líneas (pág. 23).

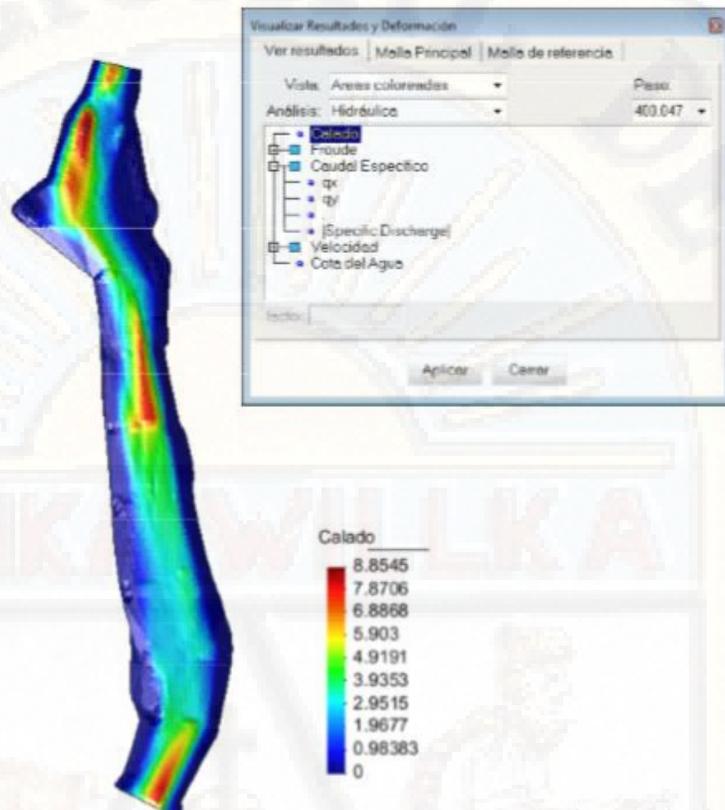


Figura 39. Postproceso de Iber  
Fuente: programa Iber

## 2.3. Hipótesis

### 2.3.1. Hipótesis general

El presente trabajo de investigación no requiere hipótesis general porque es de nivel descriptivo.

### 2.3.2. Hipótesis específico

El presente trabajo no requiere hipótesis específicas porque es de nivel descriptivo.

## **2.4. Definición de términos**

- 2.4.1. Avenida.** Subida temporal de las aguas de un río o de un cauce como consecuencia de lluvia importantes en la cuenca vertiente. Con lleva la inundación de zonas habitualmente secas (Cenapred, 2009).
- 2.4.2. Canal.** Término general para todo conducto natural o artificial que permita el paso del agua clasificadas por varias secciones (rectangular, circular) (Agua, 2005).
- 2.4.3. Caudal punta.** Caudal máximo que se produce durante una avenida; se expresa en metros cúbicos por segundo (Barros Martinez & Toro Botero, 2004).
- 2.4.4. Cuenca hidrográfica.** Zona drenada hasta un punto particular de un río o de un curso de agua (expresada en km<sup>3</sup>) donde todas las aguas caídas por precipitación se unen para formar un solo curso de agua (Villon Bejar, Calculos hidrológicos e hidráulicos en cuencas hidrográficas, sf).
- 2.4.5. Erosión.** Deterioro progresivo de una superficie, sea un río, el lecho de un curso de agua, una riera o cualquier otra superficie provocado por el flujo del agua, las olas de los embalses, el viento o cualquier otro proceso natural (Villon Bejar, Diseño de estructuras hidráulicas, 2003).
- 2.4.6. Hidrología.** Ciencia que estudia el reparto en el tiempo y en el espacio de las precipitaciones, escorrentías, sequías, avenidas, circulación y distribución y su influencia sobre el medio ambiente (ecured, 2019).
- 2.4.7. Mapa topográfico.** Mapa a pequeña escala que representa el relieve, la altimetría y las construcciones de una región geográfica de manera precisa y detallada muestra los tipos de relieve y protuberancias que presenta el terreno (Guerrero, 2011).
- 2.4.8. Nivel aguas abajo.** Nivel del agua que se encuentra inmediatamente aguas abajo de la presa. El nivel de aguas abajo varía según los caudales liberados desde la

presa y según las influencias de las otras presas y estructuras situadas aguas abajo (Iber, Manual de referencia hidraulica, 2014).

**2.4.9. Presa.** Obra artificial construida a lo ancho de un valle y que permite retener agua o cualquier material transportado por el agua, todo ello con el fin de crear un embalse y controlar el caudal (Colodro, 2013).

**2.4.10. Volumen de control de avenidas.** Hecho de almacenar o de retardar las avenidas por medio de una operación planificada como en el caso de los embalses, o por el relleno temporal de zonas inundables, como el hecho de hacer derivar agua en un canal de flujo natural (Villon Bejar, Calculos hidrologicos e hidraulicos en cuencas hidrograficas, sf).

**2.4.11. Volumen de la presa.** Volumen total de la estructura de la presa desde el nivel de cimentación a la coronación de la presa y del estribo derecho al estribo izquierdo (Colodro, 2013).

**2.4.12. Zona inundable.** Tierras próximas a un embalse o a un río que pueden ser cubiertas por el agua. Este término es igualmente utilizado para describir la zona aguas abajo que sería inundada o afectada por avenidas importantes, o en caso de rotura de la presa (Agua, 2005).

## **2.5. Definición operativa de variables**

### **2.5.1. Variable dependiente**

V1= inundaciones:

Definición conceptual. Nos menciona que las inundaciones es un evento que, debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta o falla de una estructura hidráulica, provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua, de los ríos o el mar, mismo generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no hay agua.

**Operatividad:** zona residencial, zona industrial y zona comercial.

## 2.5.2. Variable independiente

V2= rotura de presas:

Definición Conceptual: El rompimiento de una presa es una descarga violenta y no controlada que afecta todo lo que está a su paso.

**Operatividad:** caudal, volumen y tiempo de llegada.

<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES</b>			
<b>VARIABLE</b>	<b>DEFINICION CONCEPTUAL</b>	<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICE/INDICADOR</b>
<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>  Rotura de presa	Un rompimiento de presa es una descarga violenta y no controlada, con origen en la formación de una brecha de descarga en la cortina de una presa, que genera una creciente en forma de onda en el valle fluvial que se encuentra aguas abajo del embalse (Padrino, 2018).	Caudal	Metros cúbicos por segundo (m <sup>3</sup> /s)
		Volumen	Metros cúbicos (m <sup>3</sup> )
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>  Áreas de Inundación	Es la ocupación por parte de las aguas de los ríos, lagos y mares, cubriendo temporalmente los terrenos bajos, adyacentes a sus riberas, llamadas zonas inundables. Suelen ocurrir en épocas de grandes precipitaciones, marejadas y tsunamis (Indeci, 2010).	Zona residencial	Hectáreas (m <sup>2</sup> )
		Zona industrial	Hectáreas (m <sup>2</sup> )
		Zona comercial	Hectáreas (m <sup>2</sup> )

Tabla 1. Operacionalización de variables

Fuente: elaboración propia

## CAPÍTULO III: METODOLOGIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 3.1. **Ámbito temporal y espacial**

El ámbito de estudio del proyecto está ubicado en el distrito de Huancavelica, provincia de Huancavelica y región de Huancavelica, el cual tiene la singularidad de tener un clima variado con presencia de lluvias entre los meses de diciembre a marzo.

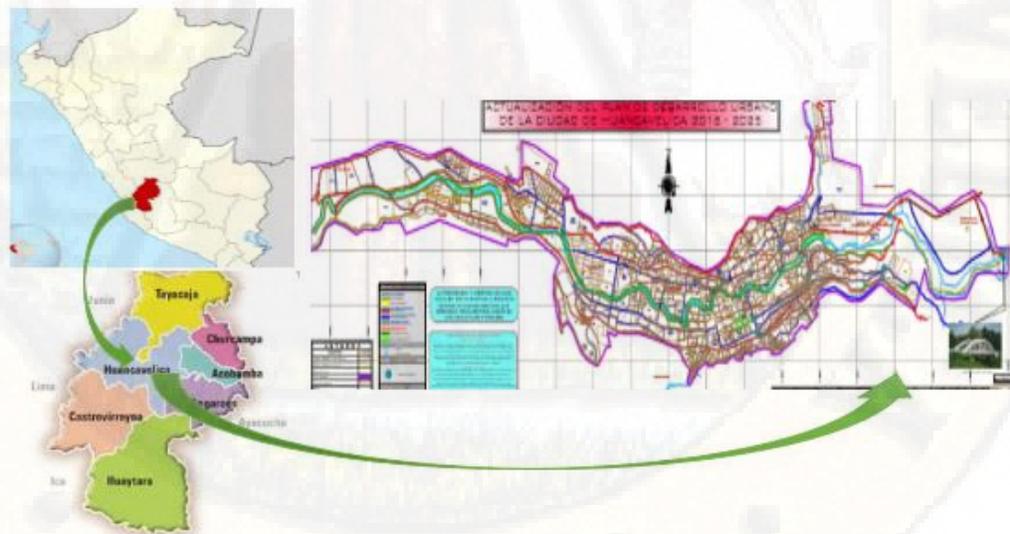


Figura 40. Ubicación del área de estudio

Fuente: elaboración propia

## **3.2. Tipo y nivel de investigación**

### **3.2.1. Tipo de investigación**

La investigación aplicada se establece como la solución a los problemas en el campo utilizando la ciencia como aliado que pueden estar divididas en dos partes importantes, la investigación a través de la experiencia que ha ayudado a mejorar las investigaciones aprendiendo de los errores y el segundo es la investigación documental, donde se observa y reflexiona sobre las realidades teóricas y empíricas (Niño, 2011, pág. 30).

Las investigaciones han tenido éxito gracias a dos tipos de investigaciones que es la básica y la aplicada, el primero de ellos es forjar nuevos conocimientos, así como crear nuevas teorías, mientras que el segundo se encarga de la solución de problemas, estos tipos de indagación ayudaron a que la humanidad pueda evolucionar, la investigación es una pieza fundamental para conocer todo lo que nos rodea fuera y dentro del planeta (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010, pág. 39).

Se llevan a cabo todas las técnicas haciendo uso de la práctica, utilizando las teorías ya estudiadas y planteadas con la finalidad de resolver las necesidades que se plantean casi todas las ciencias son aplicadas de un modo más o menos directo en soluciones concretas (Sabino, 1992, pág. 13).

El trabajo de investigación será aplicado porque se hará uso de la tecnología, aplicando las teorías que están debidamente establecidas en cuanto a la rotura de presas y sus efectos en una ciudad.

### **3.2.2. Nivel de investigación**

La investigación descriptiva tiene como objetivo describir el campo de estudio, así como sus características más relevantes entre ellos se tiene sus partes,

clases y categorías teniendo en cuenta que la persona que lea la investigación pueda identificar de manera instantánea las características de las variables (Niño, 2011, pág. 34)

Los estudios descriptivos en muchos casos son considerados en consecuencia de los estudios exploratorios debido a que es necesario tener información para realizar una investigación (Sabino, 1992, pág. 38)

El nivel de investigación del presente trabajo será descriptivo por el mismo hecho de poder detallar el comportamiento de las aguas a consecuencia de la rotura de la presa bajo diferentes volúmenes que en ese momento pueda contener, asimismo la información que se tendrá sea importante para proyectos a futuro.

### **3.3. Método de la investigación**

#### **3.3.1. Método general**

Se empleará el método científico, pues conforme a lo señalado por Borja (2012), el método científico es un sistema de pasos ordenados que buscan dar respuesta a los diversos fenómenos presentes en la naturaleza y sociedad.

#### **3.3.2. Método específico**

##### **3.3.2.1. Método deductivo**

Es un proceso donde a través de los conocimientos se realiza la observación de aquellos fenómenos de carácter general con la finalidad de llegar a conclusiones explícitas (Salazar, 2013, pág. 24).

##### **3.3.2.2. Método analítico – sintético**

Falcón (2013) menciona que, el método analítico - sintético estudia los eventos o hechos de estudio, descomponiéndolo en sus partes para que estas sean estudiadas de forma particular para después integrarlas y estudiarlas de forma total e integral una vez sintetizadas.

### **3.4. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación es no experimental, según Briones (2002) Nos dice que las investigaciones no experimentales son aquellas en las cuales el investigador no tiene el control sobre las variables. En el proyecto, el diseño es descriptivo simple.

$$O_1 \rightarrow x \rightarrow O_2$$

**Donde:**

**$O_1$  : Observacion 1**

**$O_2$  : Observacion 2**

**$X$  : manipulacion de variables**

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

Una vez elegida la unidad o campo de análisis, seguidamente se realiza la delimitación de la población que va a ser estudiada y sobre la cual se tomará un enfoque general de los resultados, teniendo en cuenta que dicha población tiene características homogéneas, la mayoría de las investigaciones cometen el error de no detallar la población en estudio representando a la población de manera automática (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010)

En el presente trabajo de investigación la población estará conformada por el tramo que recorre el río Ichu comprendido desde Callqui Chico hasta el puente de ejército, teniendo una distancia de aproximadamente 6.147 km.

#### **3.5.2. Muestra**

La muestra es el subconjunto de la población conformado por unidades que representan a las unidades de la población que no se observan para el análisis

cuantitativo, se realiza la prueba probabilística para entender los resultados de la muestra que representan a la población total de estudio (Alesina, y otros, 2011, pág. 73). En el presente trabajo de investigación la muestra está conformada por la zona urbana que habita en la faja marginal de la ciudad de Huancavelica.

### **3.5.3. Muestreo**

Es la técnica de selección de las muestras con una intención o a través de un criterio preestablecido, dichas muestras de selección buscan una representación de la población, el más practicado y eficaz es el muestreo simple haciendo el uso correcto (Niño, 2011), es por ello que en el presente proyecto el muestreo se considera no probabilístico, debido al área que se estudió es la zona urbana que habita en la faja marginal de la ciudad de Huancavelica.

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

### **2.5.1. Técnicas de recolección de datos**

La observación como técnica de investigación científica, es un proceso minucioso que permite conocer de forma directa e inmediata, el objeto de estudio para posteriormente describir y analizar las diferentes situaciones sobre la realidad estudiada (Bernal, 2006).

### **2.5.2. Instrumentos de recolección de datos**

Cerda (1991), menciona que los instrumentos son mecanismos que tienen por finalidad obtener información certera y valida, en toda investigación cuantitativa o cualitativa. Asimismo, es de vital importancia ya que depende razonablemente del instrumento la validez de los resultados obtenidos en la investigación.

En el trabajo de investigación, los principales instrumentos que se utilizaron fueron.

- Equipo topográfico. Para la recolección de datos se utilizó equipo topográfico aéreo (drone)

## **2.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

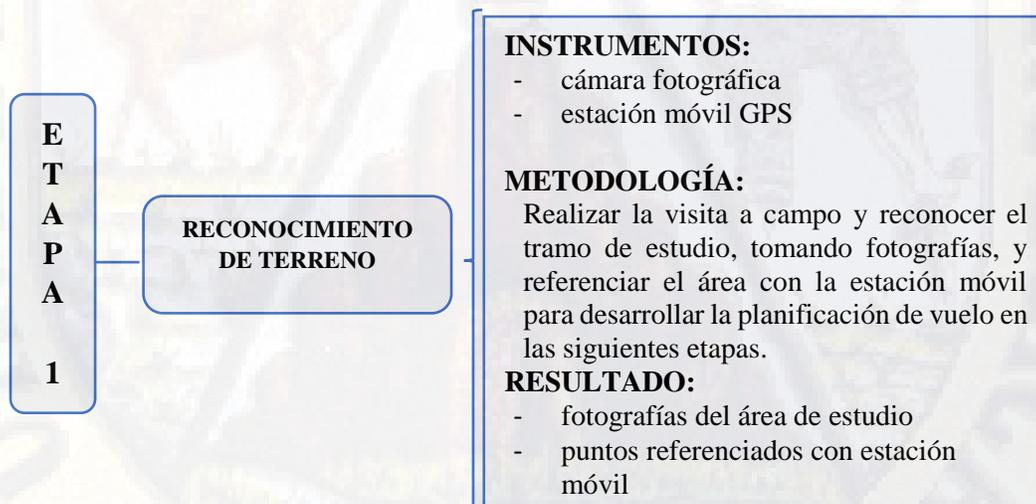
### **2.6.1. Software**

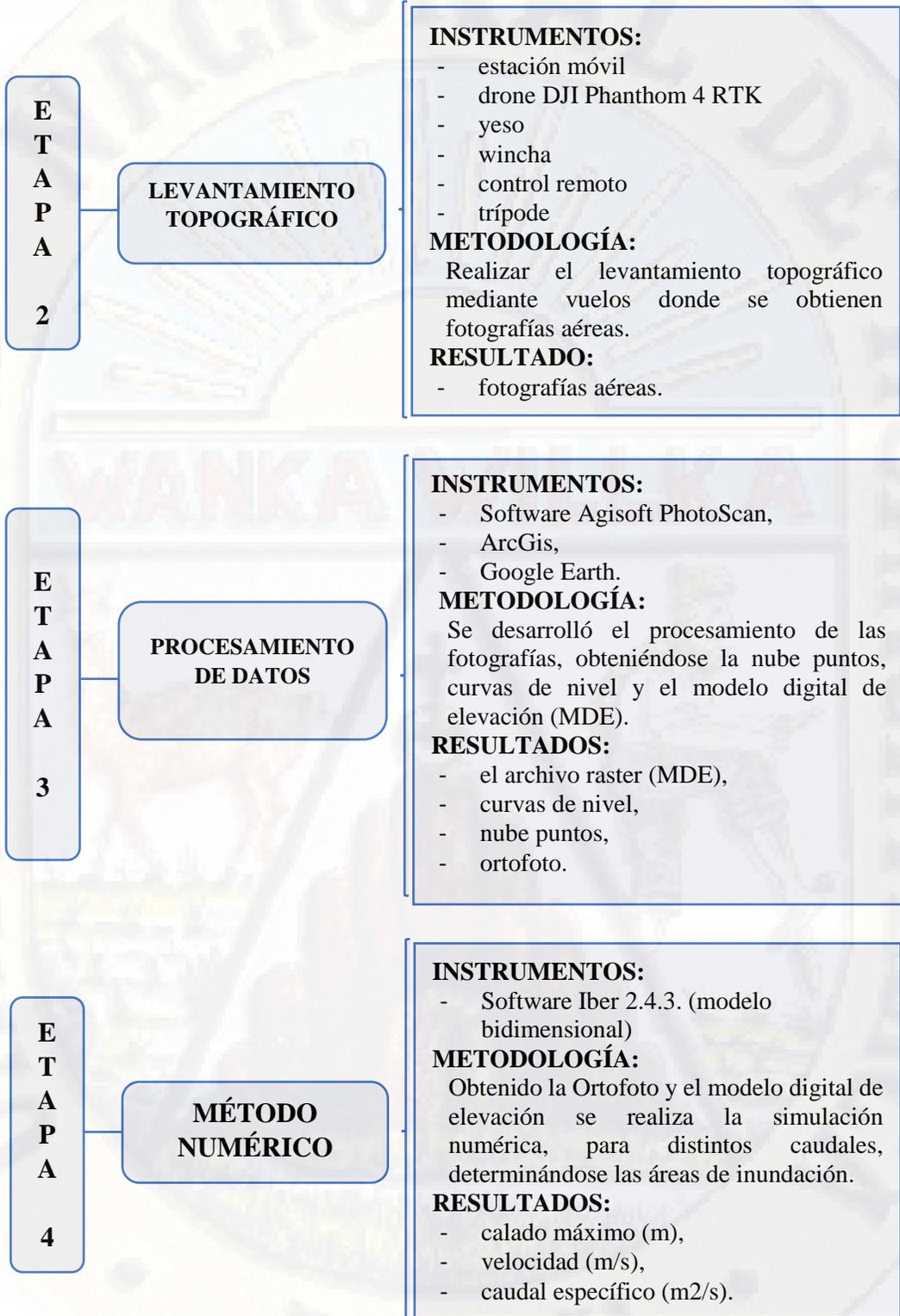
- ✓ Excel, se empleará la hoja de cálculo donde se almacenará y sistematizará los datos recopilados en campo.
- ✓ AutoCAD civil 3D, para el procesamiento de los datos obtenidos en campo manipulación de la nube de puntos y curvas de nivel.
- ✓ Agisoft PhotoScan, se realizó el procesamiento de las fotografías y generación del archivo DEM
- ✓ ArcGis, se realizó la georreferenciación del archivo raster para su posterior exportación a otro software
- ✓ Iber, se realizó la simulación numérica del área de estudio.

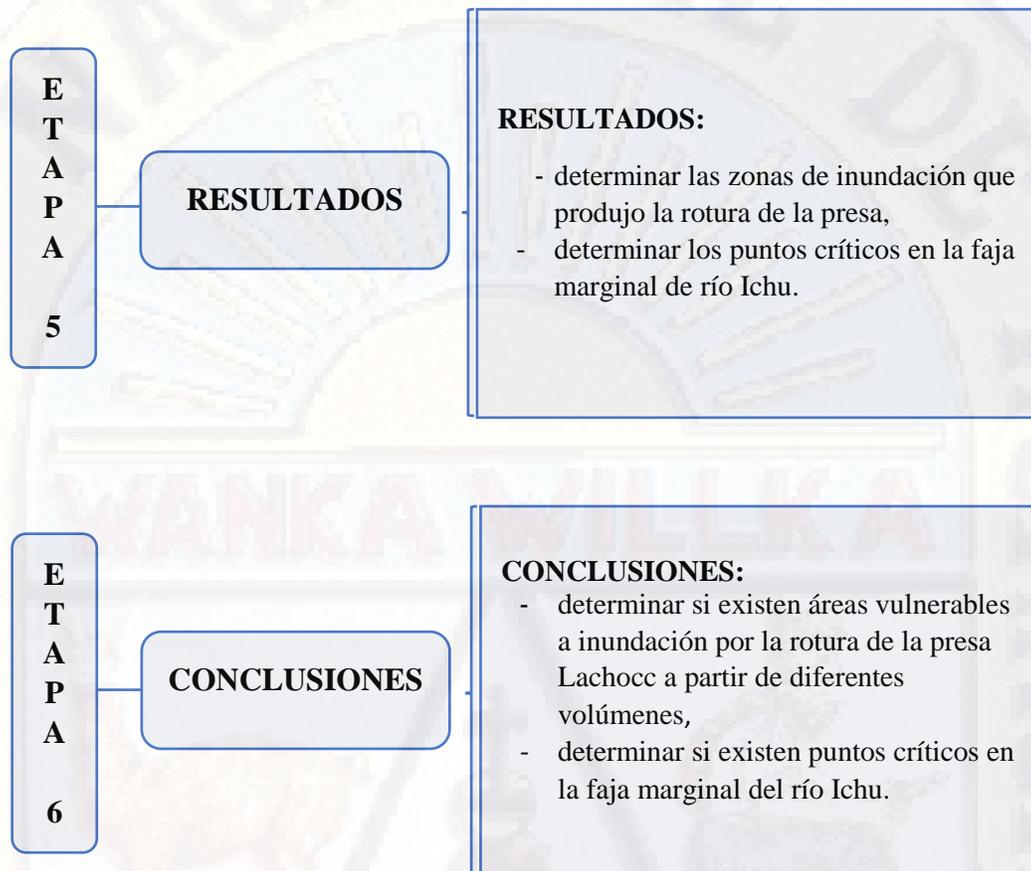
## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Análisis de la información

El proyecto de investigación está conformado por 6 etapas







#### 4.1.1. Reconocimiento de campo

Se realizó la visita a campo el día 03 de julio de 2019, identificando todo el tramo del río Ichu desde el anexo Callqui Chico hasta el puente de ejército, tomando fotografías cada cierto tramo identificando los puntos críticos y zonas vulnerables a orillas del río.



Imagen 1. Faja de río Ichu distrito de Ascensión

El área de estudio del proyecto de investigación, está conformado por toda la faja del río Ichu en especial la zona urbana de la ciudad de Huancavelica distrito, provincia y departamento de Huancavelica, donde en un futuro será afectada por la posible rotura de la presa Lachocc, para ello se determinará las zonas y puntos críticos a orillas del río Ichu en la ciudad de Huancavelica, El río Ichu está conformado por una topografía accidentado donde se aprecia contenido de cantos de diferentes tipos y rocas, entre ellas se tiene las volcánicas, gravas sub angulosas, arenas con distinta granulometría, y en menor cantidad se encuentra limos y arcillas, en ciertos tramos no se puede visualizar la estratigrafía del río debido a la humanización de dicha zona, las terrazas bajas y altas han sido ocupados por la población.

En ciertos tramos del río Ichu de acuerdo a la morfología que presentan se identifica como zona inundable en donde la población se ha establecido contigua del cauce fluvial del río, además se encuentran instituciones públicas y privadas que están propensos al desastre.

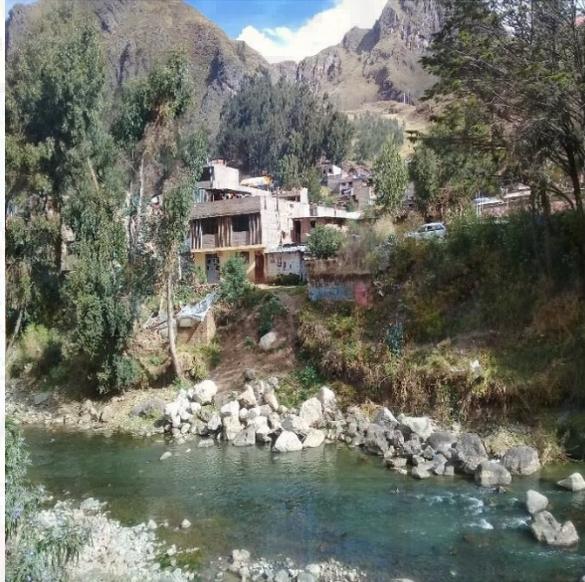


Imagen 2. Perfil del río Ichu

#### 4.1.2. Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se planificó semanas antes poniéndonos de acuerdo con la empresa que brinda servicios de alquiler del equipo topográfico, en este caso se coordinó para el 03, 04, 05 de noviembre del año 2019. Dirigiéndonos al punto de inicio del levantamiento topográfico, los equipos utilizados fueron, drone DJI Phantom 4RTK, estación móvil GPS, control remoto y una computadora portátil Core i7 RAM 32Gb.

- Trabajo de campo

Una vez instalados en el terreno, se identificó puntos estratégicos para la orientación del equipo, los cuales fueron marcados con yeso y posteriormente se hizo el estacionamiento de la estación móvil y se esperó 5 min, para que el equipo pueda reconocer dicho punto este

procedimiento se realiza entre el (drone – estación móvil), (estación móvil – control remoto), (drone – control remoto).



Imagen 3. Marcado del punto de referencia

Una vez orientado el equipo topográfico se procede a iniciar el vuelo, es importante mencionar que el drone solo tiene una duración de la batería de 30 minutos, es por ello que se tiene que tener dos cargadores para completar los vuelos planificados, los vuelos fueron realizados a una altura de 120 metros, tomando las fotografías a unos 100 metros del margen izquierdo y derecho del río Ichu.

Velocidad	12 m/s
Tiempo	30 min
Distancia	1 km
Cargar el equipo	45 min
Batería	4 placas



Tabla 2. Plan de Vuelo

Imagen 4. Fotografía aérea

Durante el levantamiento topográfico se tomaron 500 fotografías y se realizaron 06 estaciones, los cuales fueron importantes para obtener la topografía y el relieve del área de estudio, con la precisión que tiene el equipo de última generación.

#### **4.1.3. Procesamiento de datos**

En cuanto al procesamiento de datos luego de haber finalizado con el levantamiento topográfico se realizó a procesar la información en gabinete, para ello se usó varios programas como Pix4D (professional photogrammetry and drone mapping), Agisoft Metashape, Arcgis 10.4, Google Mapper. Los cuales fueron importantes para la obtener el archivo final, lo primero que se realizó fue descargar todas las fotografías tomadas en los días de vuelo en el programa Pix4D este cómputo duró aproximadamente 08 horas, posteriormente en google Mapper se realizó la clasificación de los objetos en el terreno, eliminando piedras, montones de tierra, vehículos.

Finalmente se obtuvo la nube de puntos y las curvas de nivel, las cuales se procesaron en el programa Agisoft, asimismo se logra calcular el modelo de elevación digital (MDT) tardando un tiempo de 07 horas en el procesamiento, una vez obtenida el archivo raster se procedió a transformar el formato del archivo para poder trabajar en el programa Iber 2.4.3.

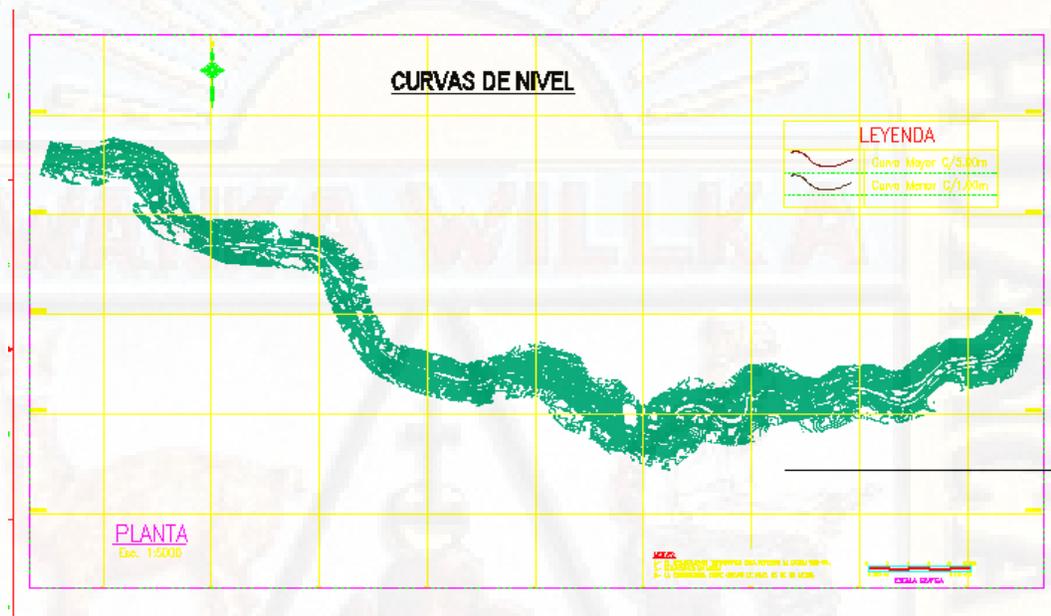


Imagen 5. Curvas de nivel del proyecto

#### 4.1.4. Modelo numérico

Para el proyecto de investigación se analizó varios escenarios para diferentes Hidrogramas. Luego de haber finalizado el procesamiento de datos se obtiene la Ortofoto de toda el área de estudio, asimismo se analizó los parámetros de entrada como, la superficie (Nurbs), caudales de entrada, uso de suelo (rugosidad), condiciones iniciales (calado), posteriormente se designó el tamaño de las superficies de acuerdo al área de terreno para la generación de la malla asignando el tiempo de simulación para la modelación numérica para finalizar el ingreso de condiciones de datos de entrada se importa el archivo DEM en formato ASCII, trabajo en el software ArcGis.

#### 4.1.4.1. Creación de modelo geométrico

Para la creación del modelo geométrico se usó el software Iber 2.4.3, el cual consiste en tres procesos (preproceso, proceso, postproceso). De esta manera se ingresa al programa Iber donde se realiza la importación de la ortofoto georreferenciada, cabe señalar que Iber tiene varias opciones de creación de geometría mediante puntos, líneas y superficies importando en formato (ASCII, DXF, SHAPEFILE, etc.) en el proyecto de investigación la creación del modelo geométrico se realizara dibujando polilíneas, delimitando el área urbana y la faja marginal del río Ichu.

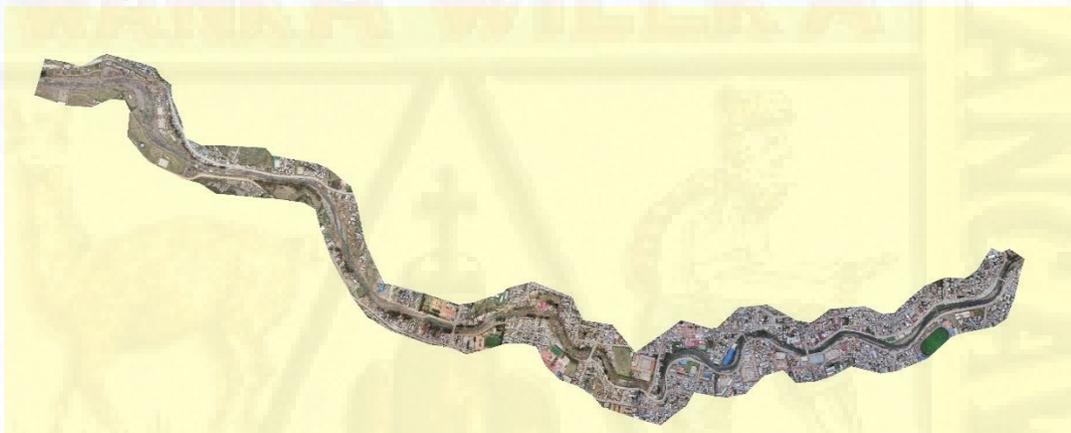


Imagen 6. Ortofoto del área de estudio

En la imagen 6, se visualiza la Ortofoto generada en el programa Sasplanet el cual fue georreferenciada, para delimitar el área total se usó el software google Earth donde se referencio con dos puntos de control de inicio y final, P1 (N8587990.00, E499148.00, E3711 msnm); PF (N8587019.15, E503833.72, E3677 msnm) el cual

fue importado al programa Sasplanet para realizar la orientación de la imagen, es preciso señalar que el formato de la Ortofoto es en (JPG).

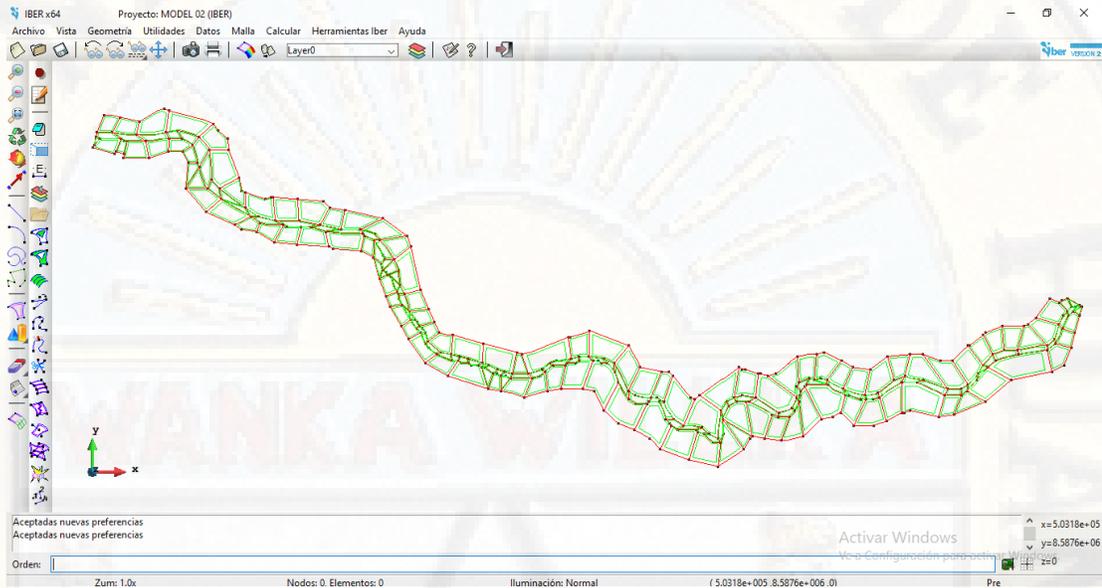


Imagen 7. Superficie Nurbs

Una vez creada el modelo geométrico se realizará la creación de la superficie en Iber definiendo los colores para diferenciar las superficies que se van dibujando, Iber te ofrece varias opciones de dibujo de superficies como (contorno, automático, líneas paralelas, puntos, búsqueda), en el proyecto se realizó mediante la opción búsqueda donde el dibujo se realizó a través de polígonos identificando las zonas urbanas, vegetación, río, árboles, grava a lo largo del río Ichu, las superficies se crean con apoyo de la Ortofoto quien nos ayuda a visualizar e identificar de forma real las zonas.

#### 4.1.4.2. Condiciones de entrada (rugosidad)

Para el ingreso de los parámetros de uso de suelo se asignó en la ventana ubicada en la parte superior herramientas>datos>rugosidad > uso de suelo, donde se encuentra una variedad de uso de suelo que ofrece Iber, (río, suelo desnudo, bosque, arena, arbustos, vegetación, urbana, densa, zona residencial, zona industrial, etc.), las

cuales están definidas por el coeficiente de Manning para diferentes casos como conductos cerrados, abiertos y canales revestidos, teniendo en cuenta que una ligera variación en el valor de ese parámetro puede tener consecuencias inadvertidas en los modelos.

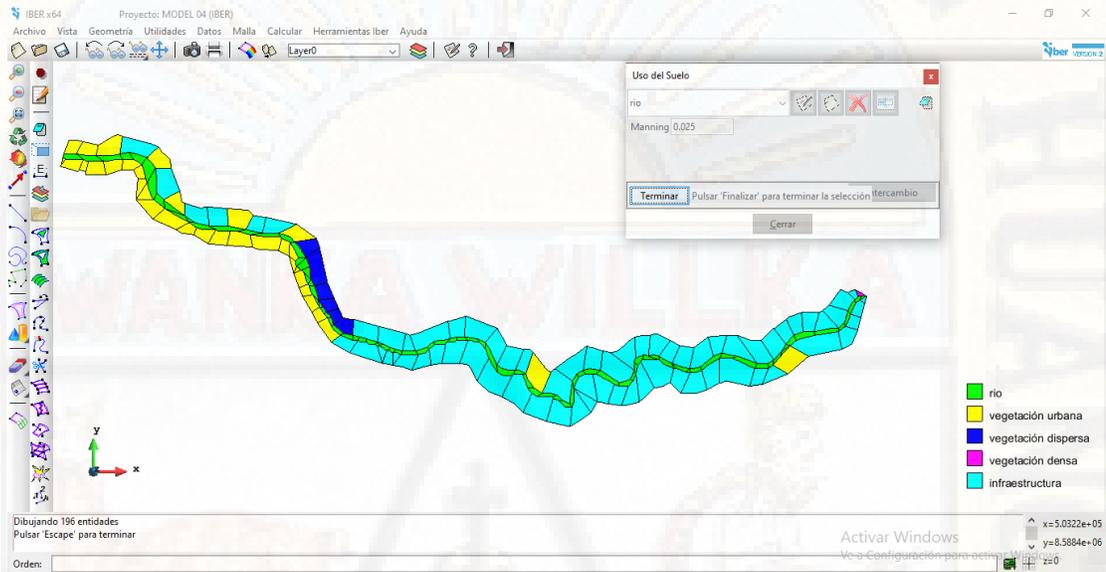


Imagen 8. Uso de suelo de la faja marginal del río Ichu

#### 4.1.4.3. Condiciones hidrodinámicas

- Condiciones Iniciales. Son aquellas que se asignan al inicio de la simulación, se pueden escoger entre asignar un calado o una cota de agua. Para el modelo simulado se inició con todo el río y el área delimitada seca.
- Condiciones de contorno de entrada. En el proyecto se asumió régimen crítico/subcrítico, el cual se encuentra en el Menú “Datos>Hidrodinámica>condiciones de contorno> entrada 2D, estableciéndose el punto de entrada a partir de un hidrograma el cual está conformado por caudal y tiempo, asimismo se creó dos escenarios de simulación.

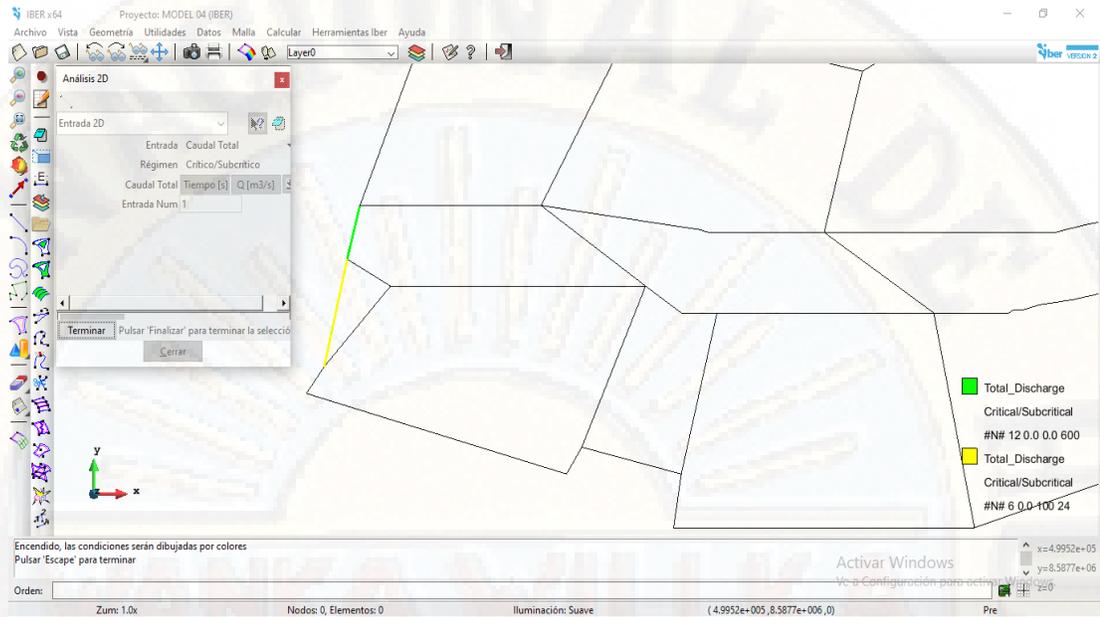


Imagen 9. Condiciones de Contorno entrada

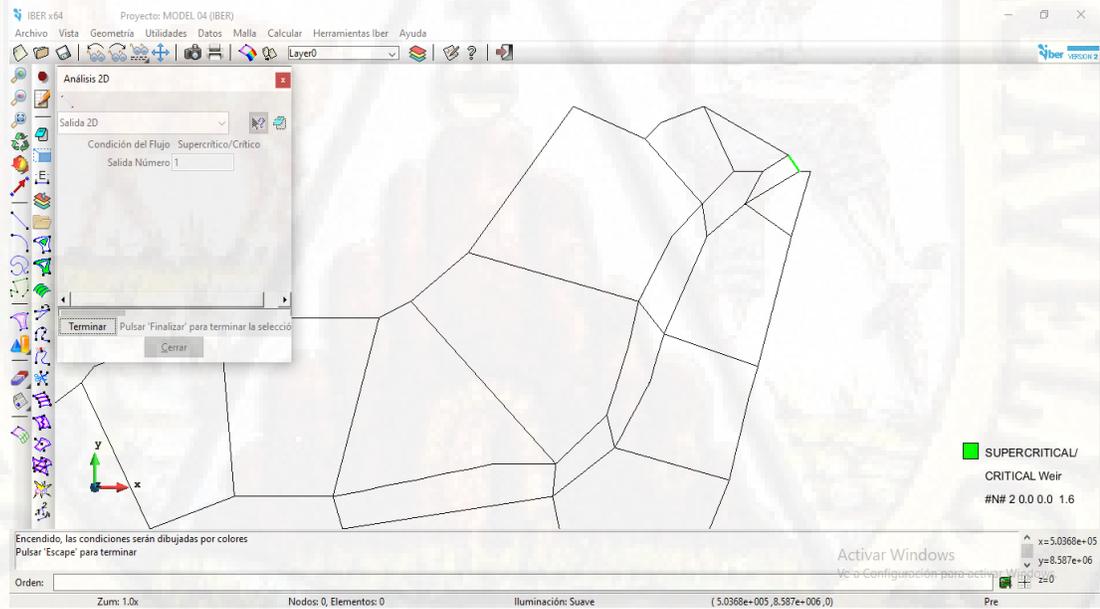


Imagen 10. Condiciones de contorno salida

#### 4.1.4.4. Mallado y asignación de DEM

Luego de haber asignado las condiciones de contorno y condiciones iniciales seguidamente se asigna el tamaño de las superficies de acuerdo el uso de suelo, para la generación de la malla se realiza en el menú “Malla>generar malla”, el cual nos muestra el número de nodos ( 269281) y número de elementos (535594), de igual forma se asigna el modelo de elevación digital del terreno (DEM), este archivo está en formato (.txt), donde contiene las elevaciones del terreno, para importarlo se realiza en el menú “Herramientas Iber>Malla>Editar>Asignar desde archivo”.

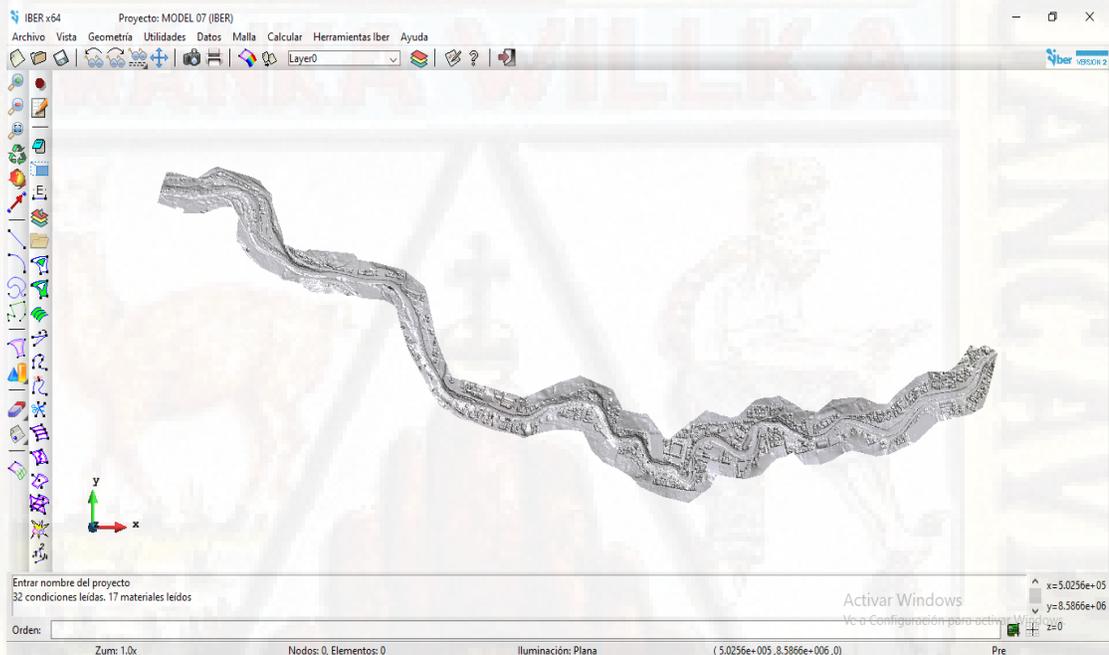


Imagen 11. Modelo de elevación digital

Finalmente se asigna el tiempo de simulación del modelo de acuerdo a las condiciones de contorno de entrada, se introdujo en el menú “Datos>Datos del problema”.

## 4.1.5. Resultados

### 4.1.5.1. Escenario 01

En esta simulación se asumió un hidrograma 01 sobre el río Ichu en el tramo anexo Callqui Chico y el puente de ejército quien se ubica dentro de la ciudad de Huancavelica, la simulación se realiza para un tiempo de 14000 segundos, el tiempo que duró el modelado fue 6912 minutos luego de haber iniciado la simulación, el flujo a los 35 minutos llega al puente que une el barrio de Yananaco con el distrito de Ascensión; al cercado de la ciudad de Huancavelica a los 46 minutos después de haber simulado el modelo. La altura máxima del calado varía entre 18 a 22.5 m el cual se encuentra en el puente de san Cristóbal que une el cercado de la ciudad y el barrio de san Cristóbal llegando en un tiempo de 02h:05min.

- Hidrograma de descarga (m<sup>3</sup>/s). El caudal máximo de descarga es 1500 m<sup>3</sup>/s en 01Hr 20min después de iniciado la simulación.

Tiempo (s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0	0
100	0
500	50
1000	175
2000	500
4000	800
6000	1500
8000	750
10000	400
12000	0
14000	0

Tabla 3. Hidrograma de entrada (escenario 01)

- Tirante Máximo (m). Los tirantes máximos posterior a la simulación nos da una altura máxima de flujo de 25.00 m, para un tiempo de 02hr:05 min.
- Caudal específico (m<sup>2</sup>/s). El caudal específico máximo de 110.05 (m<sup>2</sup>/s) se obtiene en un tiempo de 02hr:16min, en el puente San Cristóbal, que une el barrio de san Cristóbal y el cercado de la ciudad de Huancavelica.

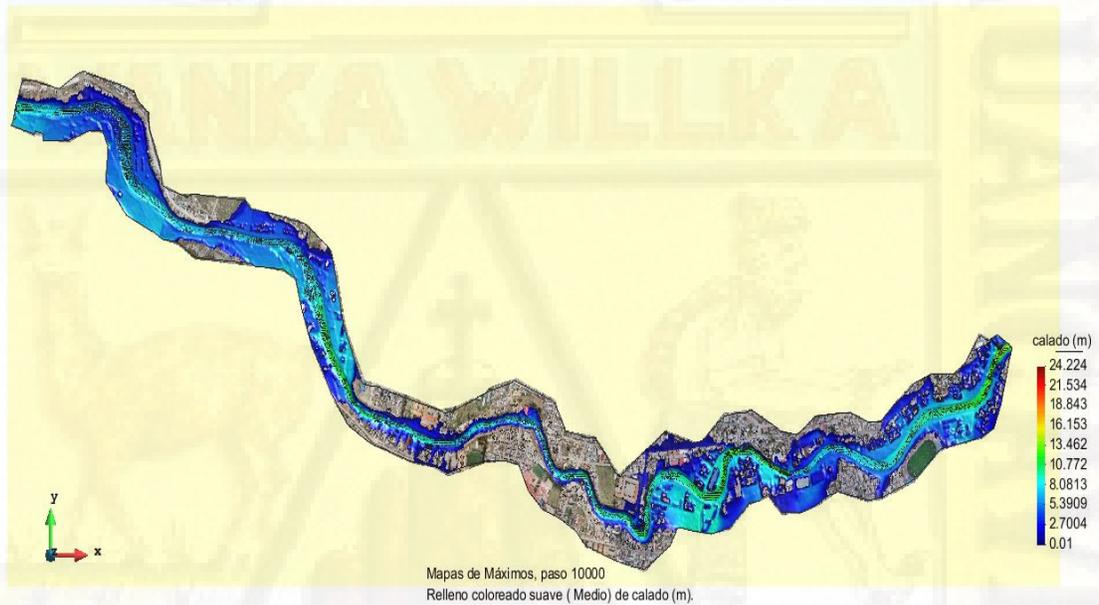


Imagen 12. Tirante máximo (m)

- Velocidad máxima (m/s). Luego de la simulación se obtuvo una velocidad máxima de 19.821 (m/s) en tiempo de 01hr:23min

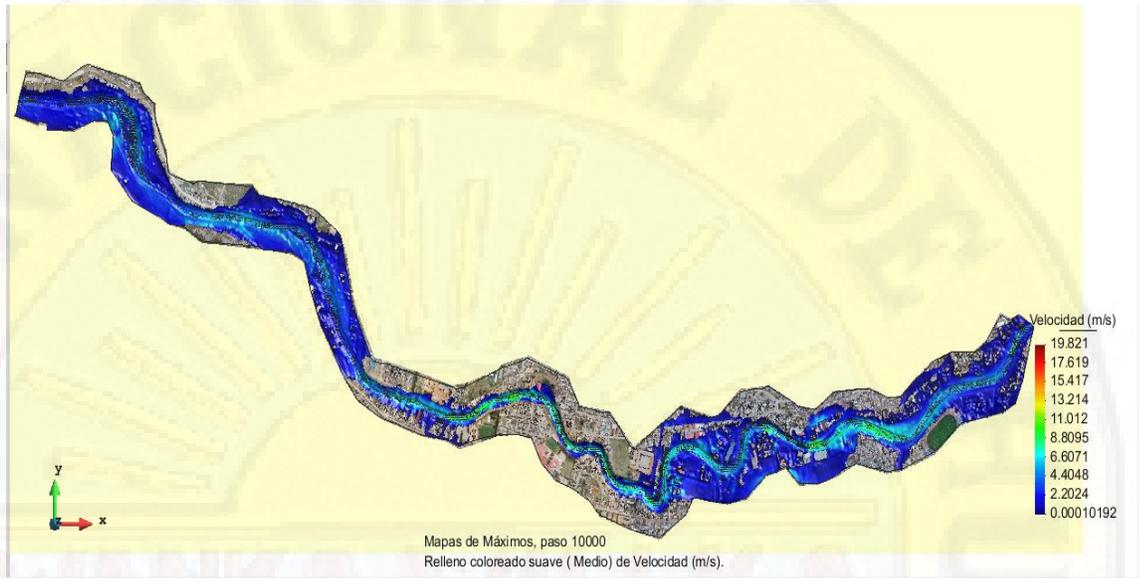


Imagen 13. Velocidad máxima (m/s)

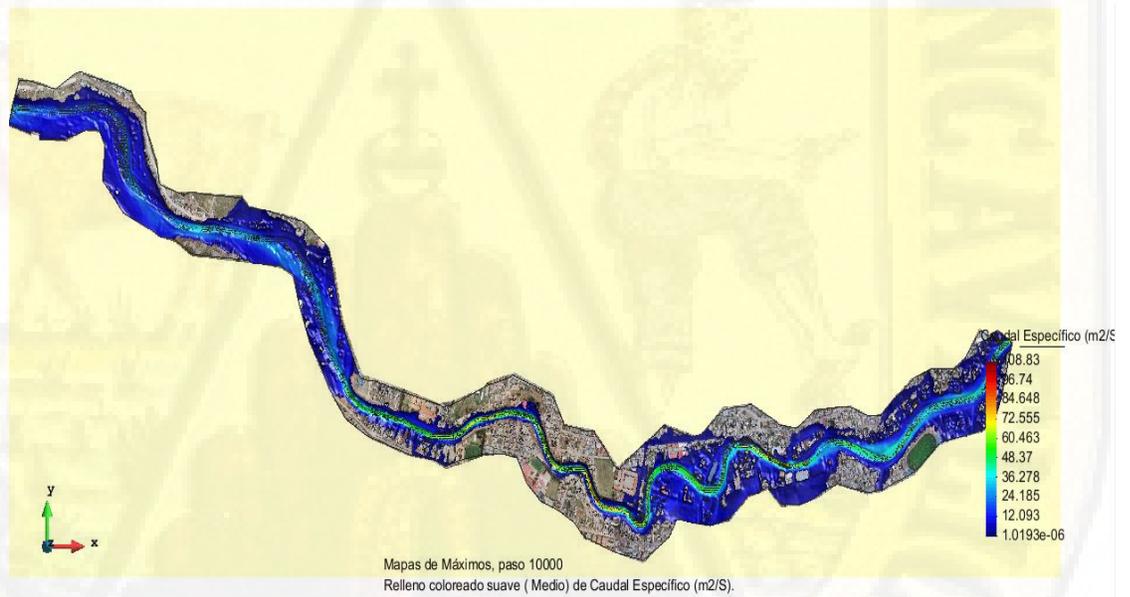


Imagen 14. Caudal específico máximo (m2/s)

- Cota de agua (msnm). La cota de agua máxima es 3731.5 msnm, ubicado en el anexo de Callqui Chico, el cual consiste nuestro punto de inicio.

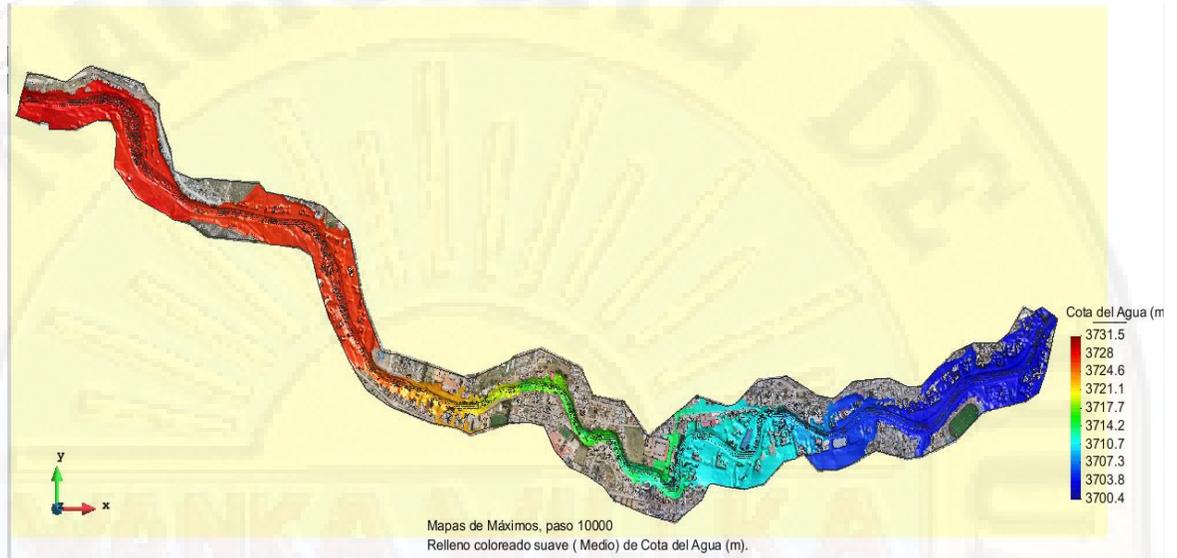


Imagen 15. Cota de agua máxima (msnm)



Imagen 16. A los 46 min de simulación llega al mercado central de la ciudad de Huancavelica

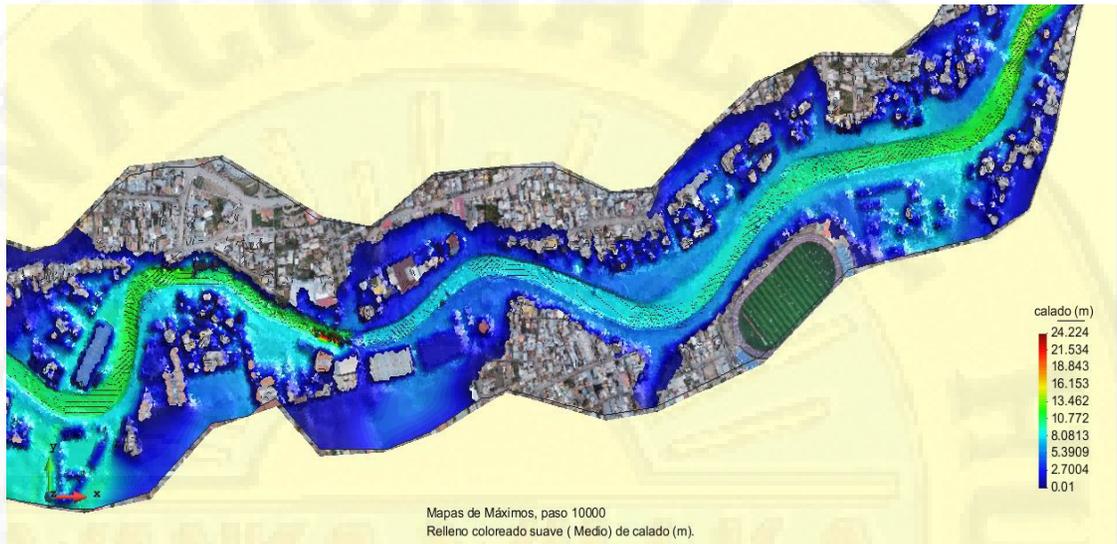


Imagen 17. A las 02hr 45min el caudal llega en su totalidad al mercado central

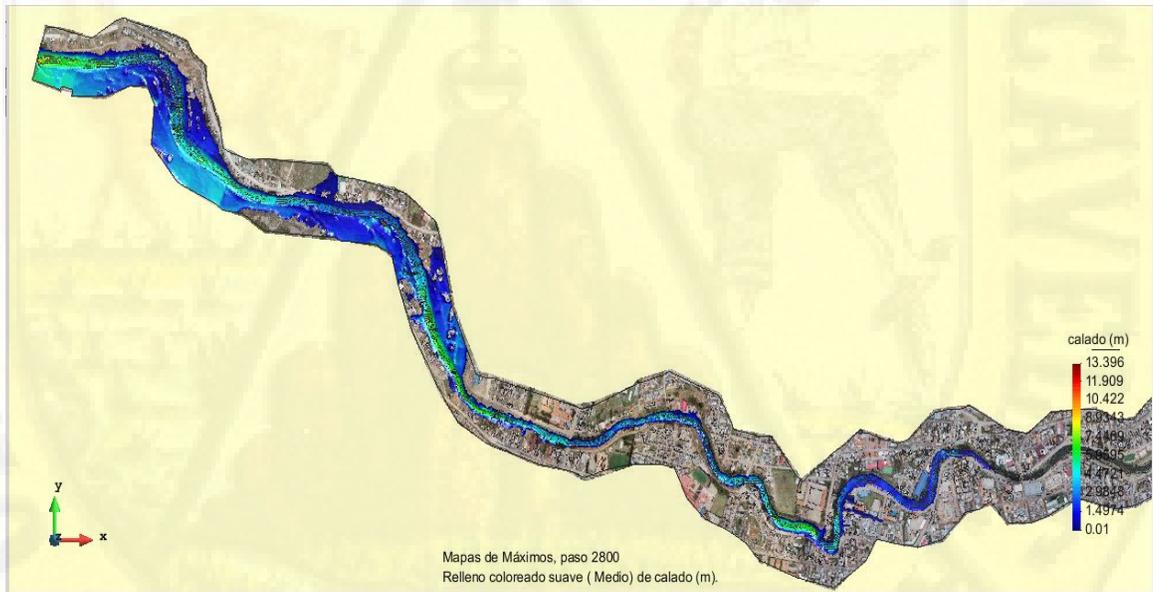


Imagen 18. El caudal llega con una altura entre 13 y 16 m

#### 4.1.5.2. Escenario 02

El segundo escenario está conformado por un hidrograma 02, sobre el río Ichu el cual comprende el mismo tramo del escenario 01, esta simulación se realizó para un tiempo de 6000 segundos, el tiempo de duración del proceso de cálculo fue 4834 minutos, luego de iniciada la simulación, el tiempo recorrido de todo el tramo fue 58 minutos. La altura máxima del calado de agua oscila entre 0.01 – 20.46 m, las velocidades se encuentran entre 0.02 – 15.27 m/s, caudal específico entre  $6.74e-7$  y 85.105 m<sup>2</sup>/s.

Tiempo (s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0	0
100	150
200	300
400	500
1000	1000
3000	800
6000	400
8000	150
10000	0

Tabla 4. Hidrograma de entrada (escenario 02)

- Tirante máximo (m). los tirantes máximos posterior a la simulación resulto con una altura máxima de 17.56 m, llegando a esta altura en el puente de San Cristóbal.

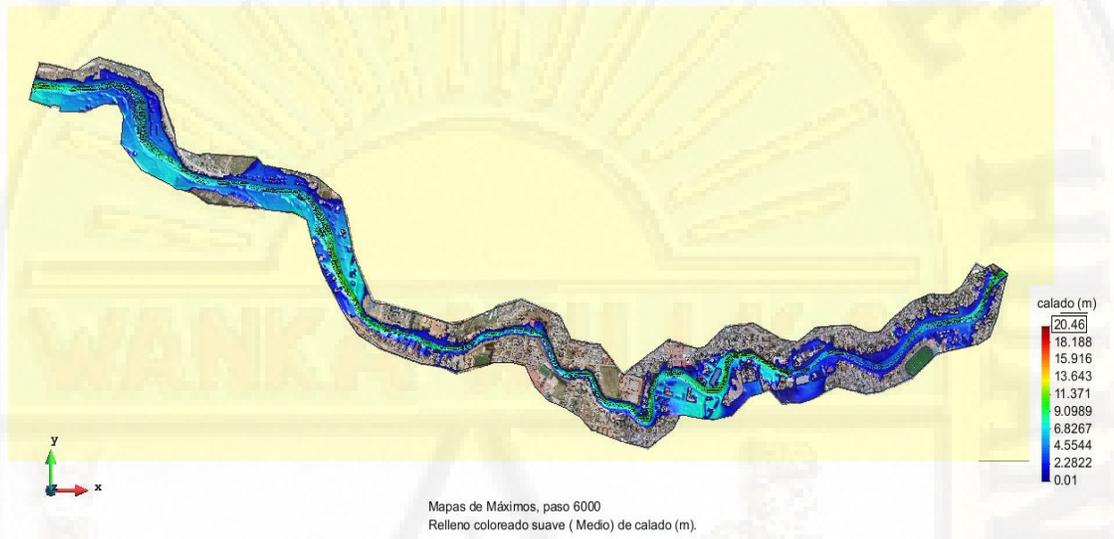


Imagen 19. Calado máximo (escenario 02)

- Velocidad Máxima (m/s). Una vez iniciado la simulación se obtuvo una velocidad máxima de 15.27 m/s, en un tiempo de 45 minutos.

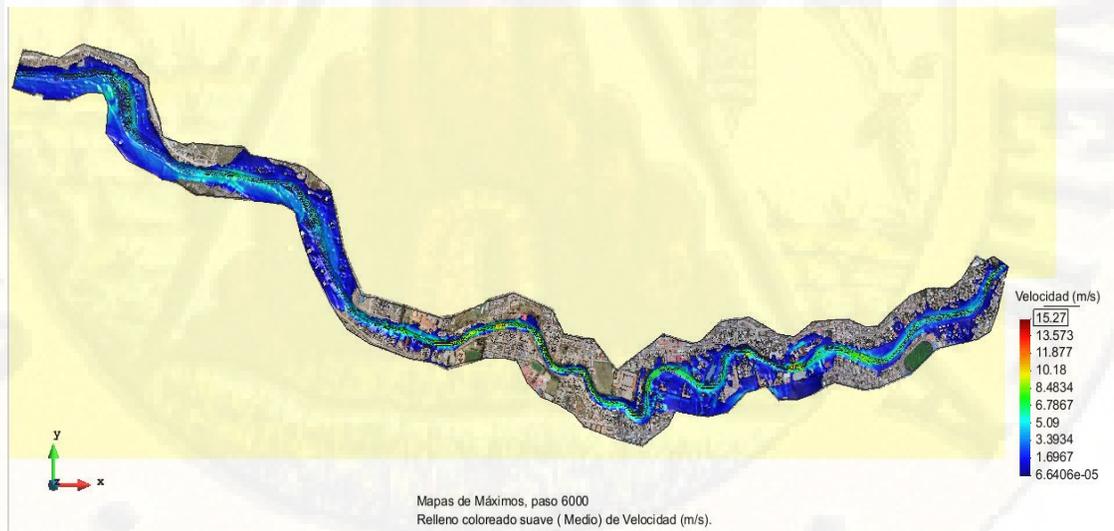


Imagen 20. Velocidad máxima (escenario 02)

#### 4.1.5.3. Escenario 03

El tercer escenario que se realizó en el presente proyecto fue para un hidrograma 03, sobre el área de estudio planteado esta simulación se realizó para un tiempo de 4000 segundos, el tiempo de duración del proceso de cálculo fue 960 minutos, luego de iniciada la simulación, el tiempo recorrido de todo el tramo fue 53.3 minutos. La altura máxima del calado de agua oscila entre 0.01 – 17.90 m, llegando a esta altura en el puente de San Cristóbal, las velocidades se encuentran entre 0.0003 – 9.85 m/s, caudal específico entre 3.10e-6 y 21.59 m<sup>2</sup>/s.

Tiempo (s)	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
0	0
20	50
40	100
100	200
300	300
500	500
600	300
800	200
1000	0
1200	0

Tabla 5. Hidrograma de entrada (escenario 03)

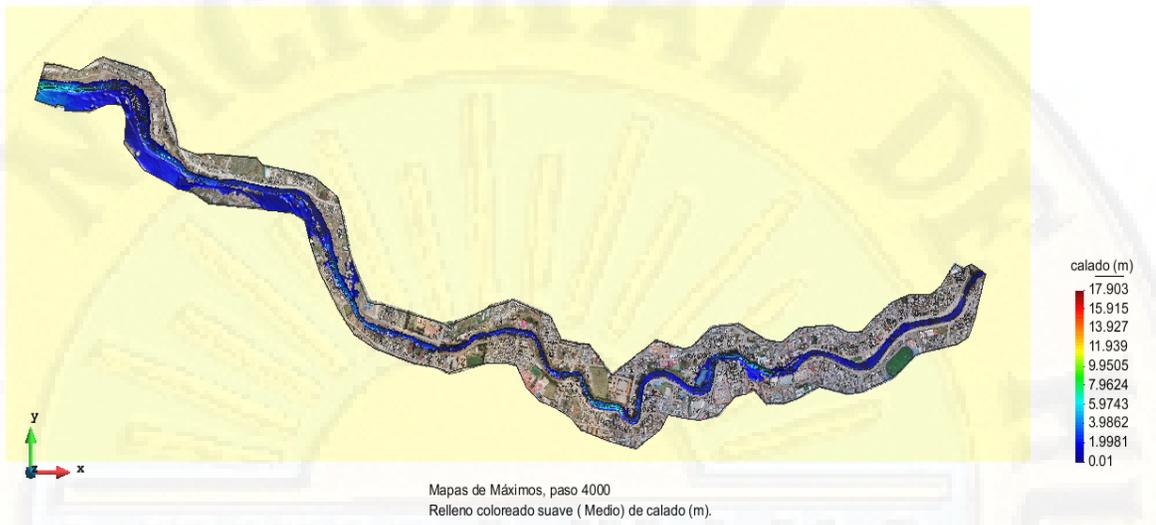


Imagen 21. Calado máximo (escenario 03)

- Tirante máximo (m). los tirantes máximos posterior a la simulación resulto con una altura máxima de 15.20 m, llegando a esta altura en el puente de San Cristóbal.

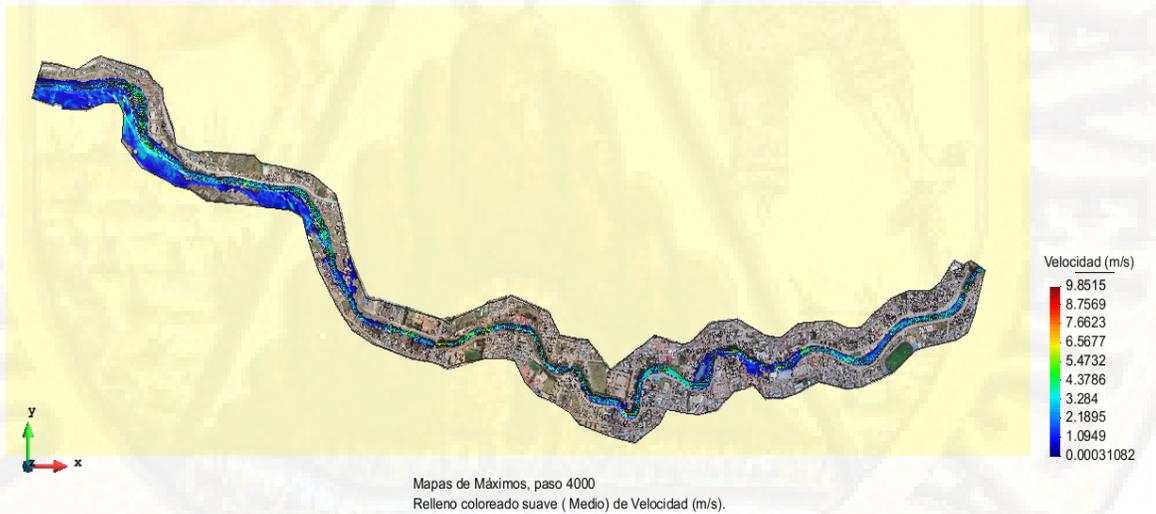


Imagen 22. Velocidad (Escenario 03)

- Velocidad máxima (m/s). Una vez iniciado la simulación se obtuvo una velocidad máxima de 9.80 m/s, llegando este en al puente de Ejército.

<b>CUADRO DE RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN</b>			
<b>PARÁMETROS</b>	<b>Escenario 01</b>	<b>Escenario 02</b>	<b>Escenario 03</b>
Tiempo total de simulación (seg)	10000	6000	4000
Tiempo de procesado (min)	6912	4834	960
Caudal de simulación (m3/s)	1500	1000	500
Recorrido del agua por el tramo (seg)	3480	3480	3480
Tirante de agua (m)	0.00-22.5	0.01-20.46	0.1-17.90
Velocidades del tramo de estudio (m/s)	1.0e-3-19.82	0.04-15.27	0.003-9.85
Caudal específico (m2/s)	0.001-110.05	6.74e-7 - 85.105	3.10e-6 - 21.59
Punto crítico	<b>Puente de San Cristóbal</b>		
Tirante máximo del punto crítico (m)	19.12	17.56	15.20
Velocidad del punto más crítico (m/s)	12.82	10.27	6.80
Punto crítico	<b>Mercado de abastos</b>		
Tirante máximo del mercado (m)	13.39	9.85	7.95
Velocidad del mercado (m/s)	6.32	5.45	2.96

Tabla 6. Cuadro de resumen de resultados

#### 4.1.5.4. Secciones transversales

##### PUENTE DE ESSALUD DISTRITO DE ASCENCIÓN

##### SECCIÓN 01 - PROGRESIVA 2 +500

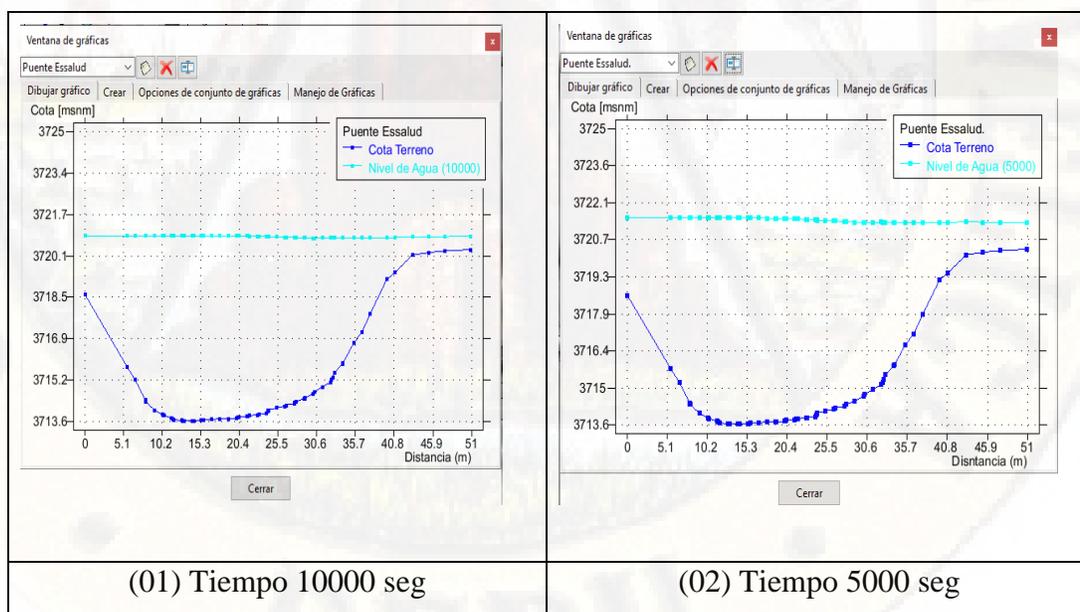
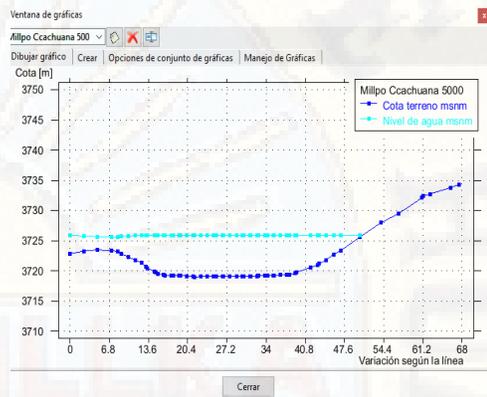
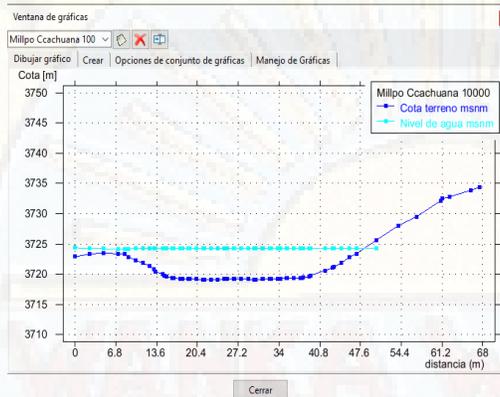


Imagen 23. Sección transversal 01

**SECTOR MILLPO CCACHUANA**  
**SECCIÓN 02 - PROGRESIVA 1+580**

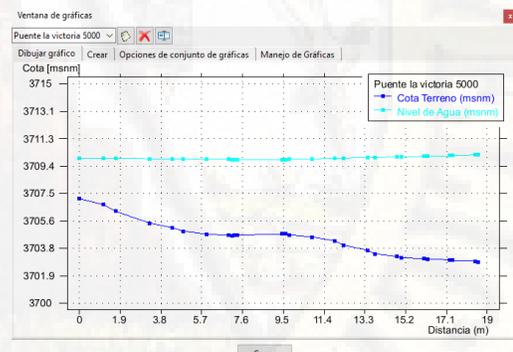
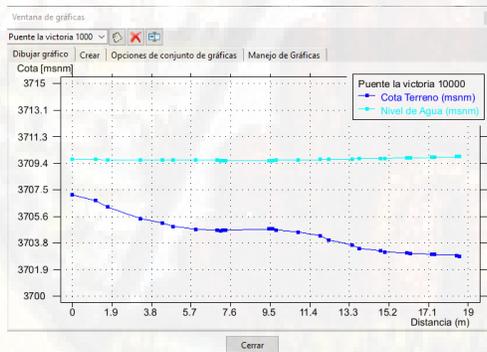


(01) Tiempo 10000 seg

(02) Tiempo 5000 seg

Imagen 24. Sección transversal 02

**LA VICTORIA DE AYACUCHO**  
**SECCIÓN 03 - PROGRESIVA 3+580**



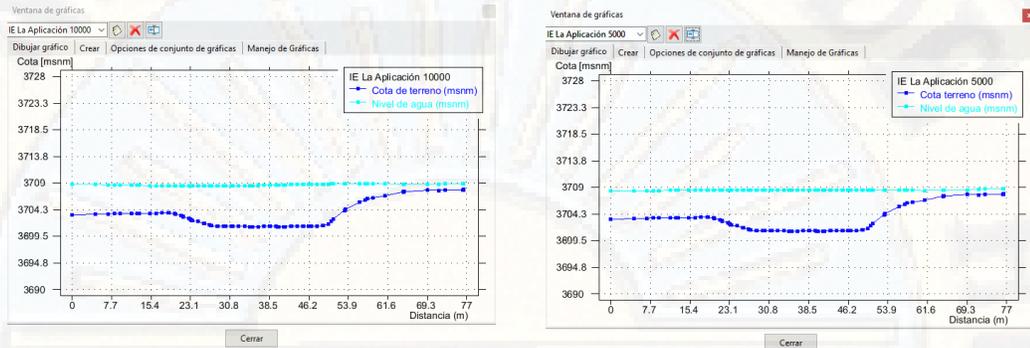
(01) Tiempo 10000 seg

(02) Tiempo 5000 seg

Imagen 25. Sección transversal 03

INSTITUCIÓN EDUACTIVA N° 36009 (LA APLICACIÓN)

SECCIÓN 04 - PROGRESIVA 4+000

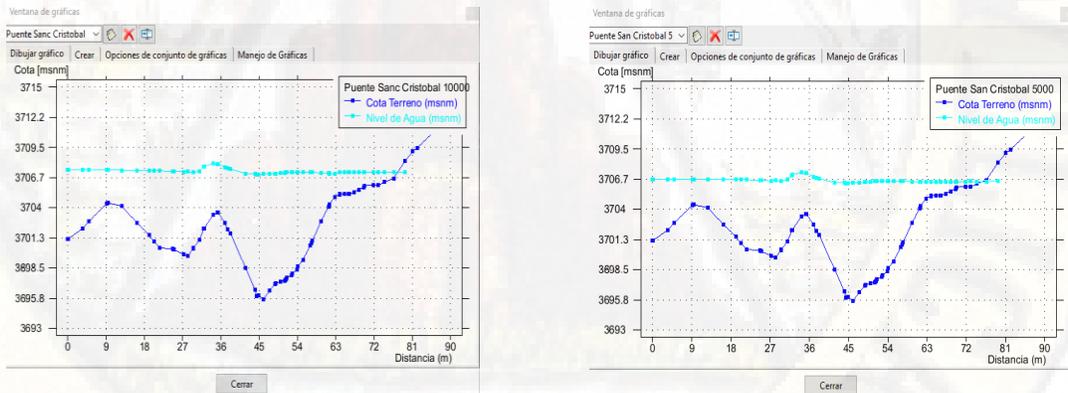


(01) Tiempo 10000 seg

(02) Tiempo 5000 seg

Imagen 26. Sección transversal 04

PUENTE DE SAN CRISTÓBAL  
SECCIÓN 05 - PROGRESIVA 4+620

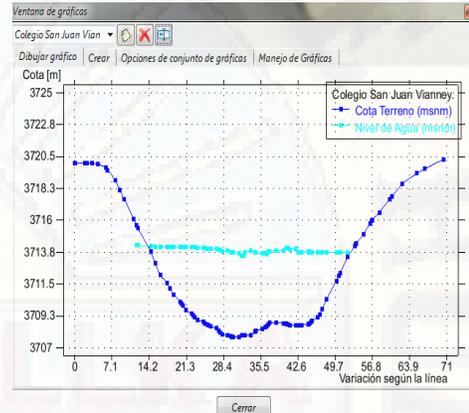
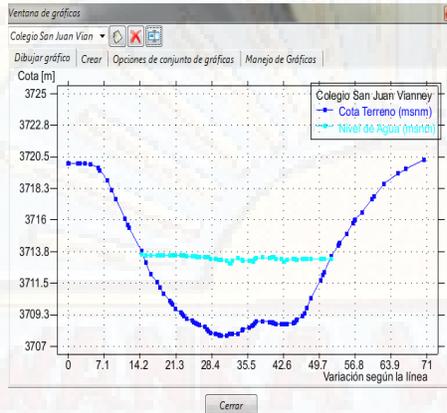


(01) Tiempo 10000 seg

(02) Tiempo 5000 seg

Imagen 27. Sección transversal 05

**COLEGIO SAN JUAN VIANNEY**  
**SECCIÓN 06 - PROGRESIVA 3+100**

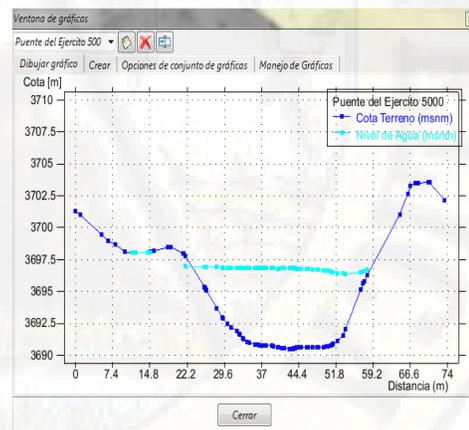
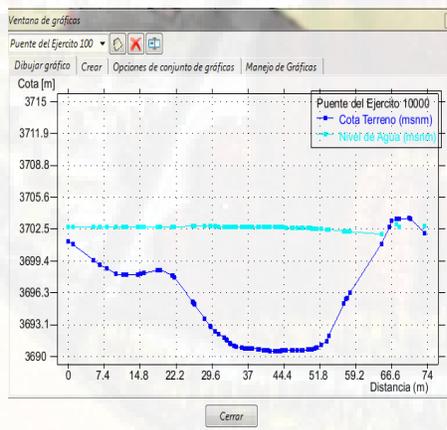


(01) Tiempo 10000 seg

(02) Tiempo 5000 seg

Imagen 28. Sección transversal 06

**PUENTE DEL EJÉRCITO**  
**SECCIÓN 07 - PROGRESIVA 5+700**

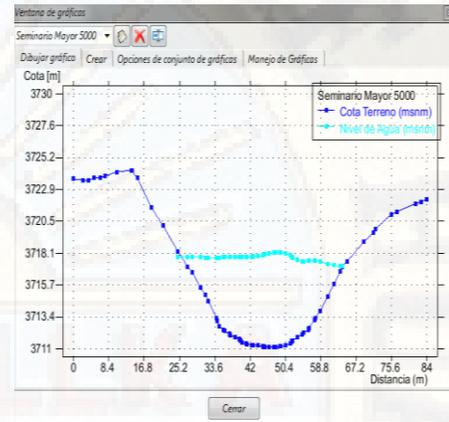
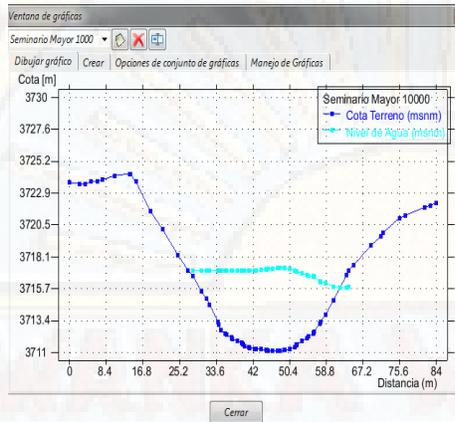


(01) Tiempo 10000 seg

(02) Tiempo 5000 seg

Imagen 29. Sección transversal 07

## SEMINARIO MAYOR SECCIÓN 08 - PROGRESIVA 2+700

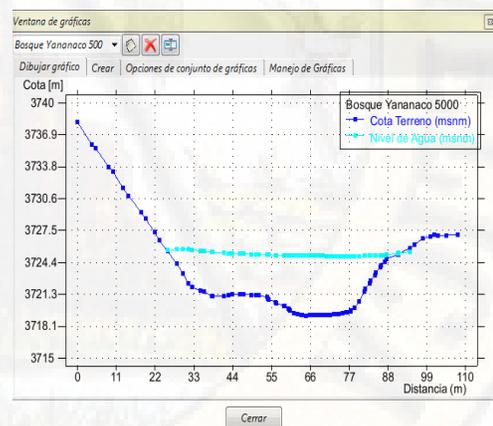
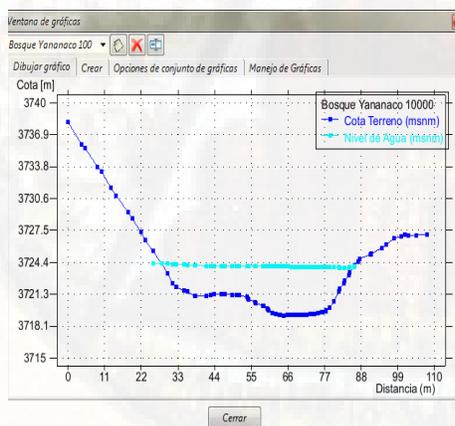


(01) Tiempo 10000 seg

(02) Tiempo 5000 seg

Imagen 30. Sección transversal 08

## BOSQUE YANANACO SECCIÓN 09 - PROGRESIVA 2+080

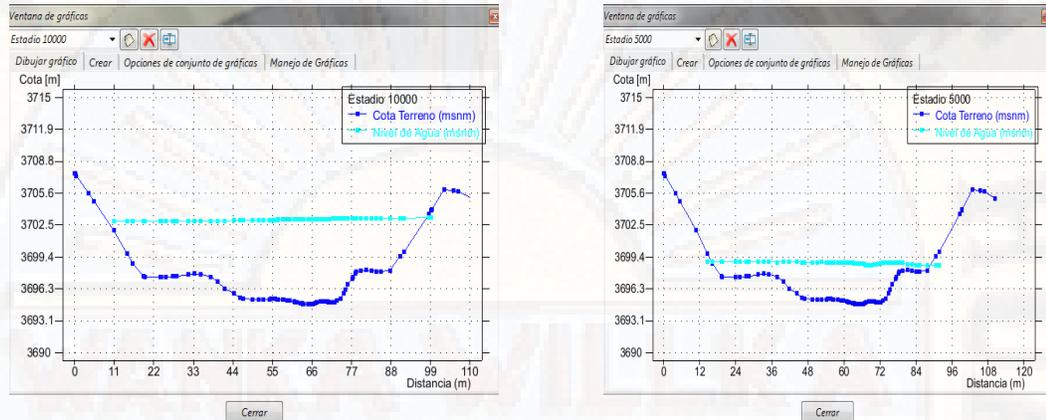


(01) Tiempo 10000 seg

(02) Tiempo 5000 seg

Imagen 31. Sección transversal 09

## ESTADIO DE LA CIUDAD DE HUANCVELICA SECCIÓN 10 - PROGRESIVA 5+140



(01) Tiempo 10000 seg

(02) Tiempo 5000 seg

Imagen 32. Sección transversal 10

### 4.2. Prueba de hipótesis

El presente proyecto de tesis, es de nivel de investigación descriptivo el cual involucra observar y describir las áreas inundadas en la ciudad de Huancavelica, luego que se produzca la rotura de presa donde el proyecto no influye en el fallo de la rotura de la presa de ninguna manera. Los fines del proyecto son describir las áreas vulnerables y puntos críticos en la ciudad de Huancavelica.

### 4.3. Discusión de resultados

En este nivel de informe de la investigación se desarrolló la discusión de los resultados que se obtuvieron en el proyecto, donde se validará los resultados que esta tesis logró obtener, de esta manera esta parte tiene como fin responder el objetivo general y finalmente los objetivos específicos de la investigación. Con respecto al objetivo general, el cual fue determinar las áreas vulnerables a inundación por la rotura de la presa Lachocc a partir diferentes volúmenes en la ciudad de

Huancavelica. Donde se determinaron las áreas de inundación y clasificadas como zona residencial, industrial y comercial.

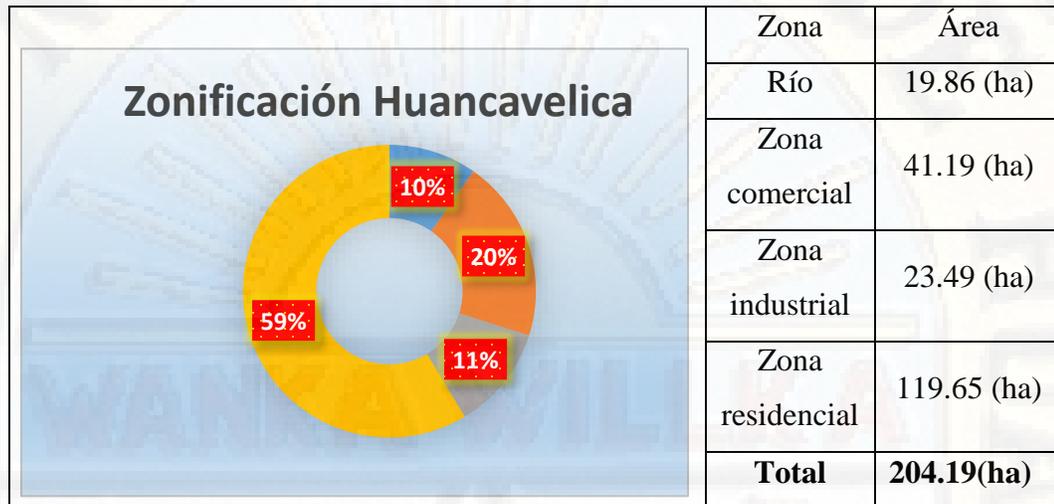


Imagen 33. Zonificación de Huancavelica

El análisis de la zonificación de Huancavelica tuvo como área contenedora zonas industriales, comercial y residencial, en cuanto a mayor densidad mayor la dificultad para evitar un desastre, en términos generales dentro de la ciudad de Huancavelica en el área de estudio que corresponde al proyecto de investigación el 59% pertenece a la zona residencial en el que la población está conformada por familias independientes, un 20% del área está destinada al uso comercial donde se puede identificar sectores públicos como el mercado central de Huancavelica y centros recreativos como (polideportivos, parque infantil, instituciones públicas y privadas), por otra parte el 11% está ocupado por la zona industrial ubicado en el anexo de Callqui Chico, establecido por el plano de desarrollo urbano de la ciudad de Huancavelica, asimismo conformado por aquellas pequeñas microempresas. En la tabla 7. Se realizó el análisis de vulnerabilidad en viviendas ocupadas y zonas de peligro en el área de estudio en la faja del río Ichu desde el anexo Callqui Chico hasta el puente de Ejercito en el rango ( muy alto, alto , medio), el cual se contrasto con el manual de mapa comunitario de riesgo del Instituto de Defensa Civil (INDECI 2016), los cuales avalan en cierta manera los resultados obtenidos en la investigación.

<b>Vulnerabilidad en Viviendas Ocupados</b>		
<b>Zonas de Vulnerabilidad Alta</b>	<b>Zonas de Vulnerabilidad Media</b>	<b>Zonas de Vulnerabilidad Baja</b>
El material predominante de la construcción de las viviendas es de adobe, el estado de la construcción es malo, solo tiene un piso y la densidad de viviendas es muy densa, ubicados al pie de la faja marginal de río Ichu.	Las zonas ubicadas a una distancia promedio de la faja marginal del río Ichu, donde la construcción de la vivienda es de adobe y noble, la construcción es regular y la densidad de viviendas medianamente densa.	Zonas alejadas al río Ichu donde la construcción de la vivienda es adobe y la que prevalece es noble, y la construcción tiene más de 2 pisos, asimismo la densidad de viviendas es densa.
<b>Zonas de Peligro muy Alto</b>	<b>Zona de Riesgo Muy Alto</b>	<b>Zona de Riesgo Medio</b>
Zona de inundación con caudal entre 1000 a 1500 m <sup>3</sup> /seg durante 2 horas 47 min	<b>Zona de Riesgo Alto</b>	<b>Zona de Riesgo Medio</b>
<b>Zonas de Peligro Alto</b>	<b>Zona de Riesgo Alto</b>	<b>Zona de Riesgo Medio</b>
<b>Peligro</b>	<b>Zona de Riesgo Alto</b>	<b>Zona de Riesgo Medio</b>

Tabla 7. Riesgo (Vulnerabilidad x peligro)



Imagen 34. Clase de viviendas

En la imagen 34, se visualiza la clase de viviendas en la ciudad de Huancavelica de acuerdo al tipo de construcción, número de pisos, densidad de viviendas, estado de conservación, en el que el 0.1 % es de uso público en el que el tipo de construcción que predomina es de material noble, mayor a 2 pisos y el estado de construcción es regular, un 2% de departamentos edificios es de uso público y privado el tipo de construcción es noble, mayor a 3 pisos y el estado de construcción es regular, el 7% está conformado por vivienda quinta donde la densidad de familia es media alta y el tipo de construcción se encuentra entre material noble y adobe, el número de pisos varía entre 1 a 3 pisos y el estado de construcción es media, un 17% está conformado por la casa vecindad en el que la densidad de familia es alta, el tipo de construcción en su mayoría es de material noble y adobe donde el estado de conservación es media y baja, el número de pisos se encuentra entre 1 a 2 niveles, para finalizar un 74% es casa independiente el cual está conformado por una sola familia y el tipo de construcción es material noble y adobe, estado de conservación media baja, en definitiva estos datos analizados en el área de estudio fueron verificados en la base de datos del Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI), lo cual respalda en cierta manera los resultados que se obtuvieron teniendo así que el daño que causaría a la población sería catastrófico ocasionando pérdidas humanas.

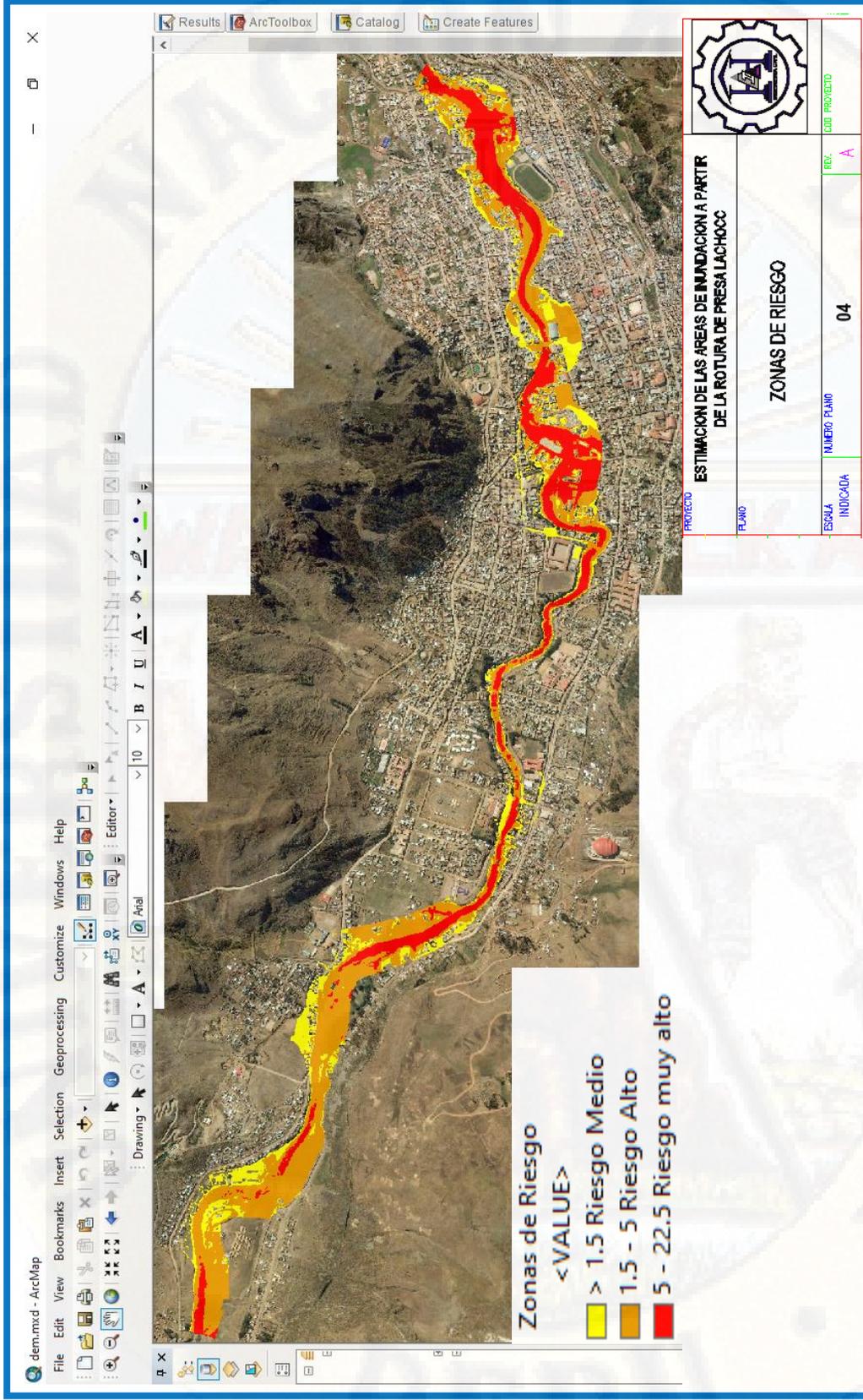


Imagen 35. Zonas de riesgo

N°	USO ACTUAL	NÚMERO DE PISOS	TIPO DE ZONA	ALTURA DE AGUA (m)	ÍNDICI
1	Campo ferial Callqui Chico	1	Industrial	6.30 – 8.25	Riesgo alto
2	Polideportivo Millpo Ccachuana	1	Residencial	3.12 – 6.32	Riesgo alto
3	Recreo campestre “Bosque”	1	Comercial	2.34 – 5.12	Riesgo alto
4	Tecnológico (ISTPH)	3	Residencial	2.71 – 5.31	Riesgo medio
5	Colegio Rosa de América	4	Residencial	1.21 – 2.13	Riesgo medio
6	Terminal Terrestre	2	Residencial	1.51 – 2.41	Riesgo medio
7	Electrocentro	1	Comercial	5.16 – 7.45	Riesgo alto
8	Essalud	2	Residencial	7.23 – 9.75	Riesgo muy alto
9	Seminario Mayor	2	Comercial	1.32 -2.98	Riesgo medio
10	Cementerio General	1	Comercial	0.64 – 1.22.	Riesgo medio
11	Seminario Menor	2	Comercial	0.68 – 1.21	Riesgo medio
12	Hospital Regional	1	Comercial	0.10 – 0.59	Riesgo medio
13	Colegio la Victoria de Ayacucho	2	Residencial	2.70 – 6.34	Riesgo alto
14	I.E. 36009 La Aplicación	3	Comercial	8.05 – 10.12	Riesgo alto
15	Mercado Central	2	Comercial	7.13 – 9.23	Riesgo muy alto
16	Caballo Pampa	1	Residencial	7.15 – 9.30	Riesgo muy alto
17	Colegio Micaela Bastidas	3	Comercial	6.58 – 7.65	Riesgo muy alto
18	ISPEF	1	Comercial	8.34 – 11. 21	Riesgo muy alto
19	Puente de Ascensión	1	Comercial	12.76 – 14.43	Riesgo muy alto

20	Sub dirección energía y minas	2	Comercial	6.12 – 8.41	Riesgo alto
21	Institución Pedro Paulet	4	Residencial	4.53 – 6.24	Riesgo muy alto
22	I.E. Las Verdes	2	Residencial	2.65 – 4.12	Riesgo alto
23	Colegio de Ingenieros	3	Residencial	7.45 – 9.65	Riesgo muy alto
24	Casa Rosada	5	Residencial	2.24 – 3.95	Riesgo alto
25	Plaza de Armas	1	Residencial	0.20 – 1.84	Riesgo medio
26	Banco de la Nación	3	Residencial	1.42 – 2.68	Riesgo medio
27	Compañía Bomberos	5	Residencial	8.32 – 9.59	Riesgo muy alto
28	Colegio Heinsberg	2	Residencial	2.50 – 6.26	Riesgo alto
29	Coliseo Pampa Amarilla	1	Residencial	5.22 – 6.38	Riesgo muy alto
30	Escuela de Policías	2	Residencial	4.78 – 5.94	Riesgo muy alto
31	INEI	2	Residencial	3.50 – 4.27	Riesgo alto
32	Centro Comercial Pampa Amarilla	1	Residencial	5.34- 6.38	Riesgo muy alto
33	Colegio Pitágoras	3	Residencial	1.21 – 2.04	Riesgo medio
34	Colegio Cooperativo	2	Residencial	4.37 – 6.24	Riesgo medio
35	Colegio de Notarios	2	Residencial	5.29 – 6,31	Riesgo muy alto
36	Terminal Pampa Amarilla	2	Residencial	6.32 – 7.98	Riesgo muy alto
37	Colegio César Vallejo	1	Residencial	4.37 – 5.09	Riesgo alto
38	Iglesia Santo Domingo	2	Residencial	3.22 – 4.78	Riesgo alto
39	Jardín Caritas Gracianas	1	Residencial	5.24 – 6.45	Riesgo muy alto
40	Grass Malecón Virgen de la Candelaria	1	Residencial	8.05 – 11.23	Riesgo muy alto

41	Ministerio de Vivienda	3	Residencial	7.89 – 10.67	Riesgo muy alto
42	Panadería Palomino	6	Residencial	3.25 – 5.17	Riesgo alto
43	Colegio San Cristóbal	2	Residencial	8.38 – 9.61	Riesgo muy alto
44	IPD Huancavelica	2	Comercial	1.34 – 2.15	Riesgo medio
45	COAR	2	Comercial	8.35 – 9.81	Riesgo medio
46	Revisión técnicas (RTP)	1	Residencial	2.54 – 4.98	Riesgo medio
47	Telefónica	1	Residencial	3.17 – 5.23	Riesgo alto
48	Pedagógico	1	Residencial	4.76 – 6.04	Riesgo alto
49	Ministerio de Economía y finanzas	4	Residencial	2.45 – 3.80	Riesgo alto
50	I.E.I. N° 113 San Cristóbal	1	Residencial	8.38 – 9.61	Riesgo muy alto

Tabla 8. Áreas vulnerables a inundación

En la tabla N° 8 se resume el análisis de los resultados de las áreas vulnerables de acuerdo al uso, número de pisos, zona, altura del tirante del caudal y el nivel de riesgo, identificándose instituciones públicas, privadas, y pequeñas empresas en el que se identificaron las zonas, llegando a concluir que el nivel de riesgo oscila entre. muy alto, alto y medio riesgo en base a los resultados del modelo numérico, para contrastar con los resultados se verifico con los planos de la Municipalidad Distrital de Huancavelica y tablas del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI) donde se detallan que existen áreas que son de alto riesgo por la cantidad de agua que inunda y se plasma en el modelo numérico, asimismo las áreas alejadas que no se incluye en el área de estudio son considerados de nivel de riesgo medio debido a que no son ajenos frente al problema que ocasionaría la inundación de la ciudad de Huancavelica, y los daños posteriores que ocasionaría, afectando a circuitos importantes de comunicación como es el caso de los puentes.

Es preciso señalar que la ciudad cuenta con 09 puentes de tipo de construcción concreto y madera los cuales unen los diferentes barrios y el distrito de ascensión, en el modelo se puede apreciar que dichas estructuras se ven afectadas en su totalidad, no

habiendo forma para su rehabilitación sino es el caso de la construcción de una nueva estructura, no obstante las instituciones educativas públicas y privadas como se detalla en la tabla también son afectadas por la gran cantidad de agua dejando el centro de estudio inutilizable y con las estructuras seriamente dañadas; en definitiva el problema también incluye a los servicios de internet y telefonía imprescindibles para la comunicación alcanzando las instalaciones de la empresa que brinda estos servicios, de igual forma, debido a la altura que alcanzaría el tirante de agua existirá un contacto con los cables de alta tensión ocasionando cortos circuitos y descargas eléctricas generando pérdidas humanas, económicas y materiales irreparables.

## CONCLUSIONES

- Se concluye para un caudal de 1500 m<sup>3</sup>/s que las zonas consideradas de vulnerabilidad muy alta están ubicadas en la faja marginal del río Ichu debido a la altura que se obtuvo en el modelo numérico donde el agua sobrepasa la ribera del río llegando hacia las viviendas de las zonas estudiadas, el 36% son sectores de vulnerabilidad muy alta, el 34% son sectores de vulnerabilidad alta y el 30 % son sectores de vulnerabilidad media. Esto indica que las características de las viviendas son muy frágiles ante el impacto de una probable inundación, en cuanto a un caudal de 1000 m<sup>3</sup>/s y 500 m<sup>3</sup>/s este sobrepasa la faja del río en algunos puntos de todo el tramo como el puente de Ascensión y puente de san Cristóbal.
- Las velocidades de llegada al mercado central de Huancavelica para un caudal de 1500 m<sup>3</sup>/s, oscilan entre 2.865 y 6.321 m/s, de igual forma en un tiempo de 3100 seg llega al coliseo Pampa Amarilla con velocidades entre 2.564 y 6.346 m/s.
- El tiempo de llegada del caudal máximo de entrada hacia la ciudad de Huancavelica de 1500 m<sup>3</sup>/s, 1000 m<sup>3</sup>/s y 500 m<sup>3</sup>/s se da en un tiempo de 6000 seg, 4900 y 2500 respectivamente, de haber iniciado la simulación, de la misma manera el caudal de salida se da en un tiempo 3480 seg tanto para los tres caudales aguas abajo del puente de Ejército.
- Los puntos más críticos que se identificaron en todo el tramo fueron, el mercado de abastos, compañía de bomberos, polideportivo Caballo Pampa, puente de Ascensión, malecón Virgen de la Candelaria y malecón Santa Rosa, donde el caudal llega en su máxima plenitud cubriendo gran parte de estas áreas.

## RECOMENDACIONES

En conformidad a lo concluido por la presente investigación, se plantea las siguientes recomendaciones.

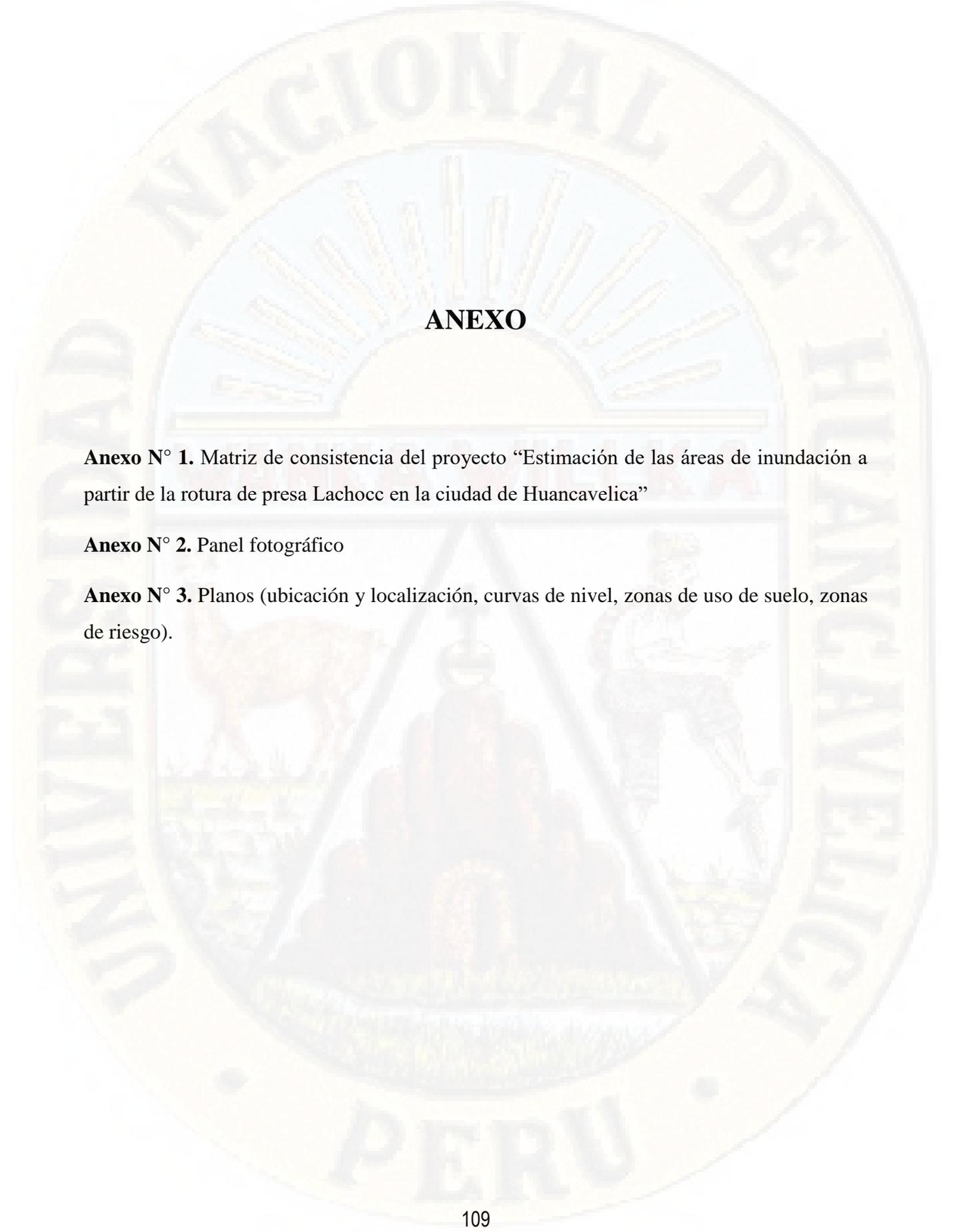
- en definitiva para tener un modelo numérico más exacto es necesario realizar el levantamiento topográfico de la ciudad de Huancavelica en su totalidad, debido a que en el proyecto de tesis se pudo visualizar que el área de recorrido del agua es superior a lo que se delimitó en la investigación, es preciso señalar que para la obtención de datos de terreno de grandes áreas generaría mayor inversión económica de igual forma el procesamiento computacional tardaría días en simular el modelo numérico,
- mientras el mallado es más fino se conoce mejor el comportamiento del modelo para ello se recomienda discretizar la malla en las áreas que se van a estudiar, asimismo se recomienda que la universidad adquiriera una computadora potente, para este tipo de trabajos.
- se recomienda realizar el levantamiento topográfico mediante la fotogrametría siendo el punto de partida para poder realizar todos los procedimientos básicos dentro de la identificación del terreno, debido a que el error es mínimo y se obtiene datos más reales mediante las fotografías,
- los resultados obtenidos en el proyecto de tesis nos dan a conocer que el desastre es inminente ocasionando grandes pérdidas tanto económicas como vidas humanas frente a una posible rotura de la presa, por estas razones se recomienda a las autoridades y entidades competentes, realizar un plan de contingencia para contrarrestar los peligros advirtiendo y previniendo a la población Huancavelicana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agua, A. N. (2005). *Consideraciones hidraulicas para el diseño de estructuras de medición de caudal en canales abiertos*. Lima: Ministerio de agricultura.
- Alesina, L., Bertoni, M., Mascheroni, P., Moreira, N., Picasso, F., Ramirez, J., & Rojo, V. (2011). *Metodología de la Investigación*. Montevideo: Universidad de la Republica.
- ANA, (. n. (2017). *Normas y reglamento seguridad de presas en Peru*. Lima.
- Barros Martinez, J. f., & Toro Botero, M. (2004). *Ecuaciones de caudal pico resultante de un rompimiento de presa*. Armenia: Sociedad colombiana de ingenieros.
- Benedicti, P. (2010). *Presas, diques y embalses*. Buenos Aires.
- Bernal, C. A. (2006). *Metodología de la Investigación*. Naucalpan: Pearson Editores.
- Blade E, C. L. (2014). *IBER HERRAMIENTA DE SIMULACION NUMERICA DEL FLUJO EN RIOS*.
- Blade E, C. L. (2014). IBER: Herramienta de simulacion numerica del flujo en rios. *ELSEVIER DOYMA*, 10.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la Investigación Científica para Ingenieros*. Chiclayo.
- Briones, G. (2002). *Metodología de la investigación cuantitativa en las ciencias sociales*. Bogota: Arfo editores e impresores .
- Bustamante, A. (2013). *Modelamiento numérico de una onda de avenida generada por la rotura de una presa de tierra y su estimacion de riesgo*. Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Cartoteca, R. (2011). *Tutorial para la elaboración de mapas* . Madrid: Universidad Autonoma de Madrid.
- Cenapred. (2009). *Inundaciones*. Mexico: Printed Mexico.
- Ciencias, M. d. (2016). Tipos de inundacion. *Ecoexploratorio*, 11.
- Colodro, I. (2013). *Presas*. Colodro.
- Cosude. (2005). Inundaciones Fluviales. En COSUDE, *Inundaciones Fluviales* (pág. 71). Managua: Ineter.
- ecured. (18 de octubre de 2019). *ecured*. Obtenido de ecured: <https://www.ecured.cu/Hidrolog%C3%ADa>

- Falcon, J. (25 de Octubre de 2013). *Método analítico-sintético*. Recuperado el 20 de Octubre de 2018, de <https://prezi.com/aj7ol61na2bb/metodo-analitico-sintetico/>
- FAO, O. p. (2006). *sistema de informacion geografica FAO*. Obtenido de sistema de informacion geografica FAO: [http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP\\_FaoRlc/old/prior/segalim/animal/sig/intr/o/compo.htm](http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/animal/sig/intr/o/compo.htm)
- Ferreira, M., & Aira, V. G. (2007). Aplicaciones topograficas de los drones. *Departamento de Agrimensura, I(1)*.
- Fread, D. L. (1980). The news Dam-Break flood forecasting model. *Office of Hydrology, 27*.
- Gaibor, M. (2012). *Estudio del flujo generado por la ruptura de un dique a causa de infiltraciones*. Quito - Ecuador: Universidad Central de Ecuador.
- Garcia Mateu, L. (Mayo de 2018). DRONE. *I(1)*.
- Geodrones. (2019). Recuperado el 30 de Noviembre de 2019, de Geodrones: <https://geodronesmx.com/como-hacer-topografia-con-drones/>
- Geomática, G. m. (2017). Recuperado el 30 de Noviembre de 2019, de Global mediterranea Geomatica: <https://www.globalmediterranea.es/aerotriangulacion-en-cartografia/>
- Guerrero, P. (2011). *Geografía*.
- Gutierrez Olmos, L. (2012). *Introduccion Basica a la Tecnologia Drone en Levantamientos Topograficos*.
- Hernández, S., Fernández, C., & Baptista, L. (2010). Metodología de la investigacion. En S. Hernandez, C. Fernandez, & L. Baptista. Mexico dc: Interamericana editores.
- Iber. (2010). *Manual de referencia hidraulico* . Madrid.
- Iber. (2012). *Manual basico de usuario*. España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Iber. (2014). *Manual de referencia hidraulica*. España: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Icold, c. e. (2012). Guia tecnica de seguridad de presas. Madrid: Exce consulting group.
- Indeci, I. N. (2010). Terminología de Defensa Civil. En S. N. Peru, *Terminología de Defensa Civil* (pág. 22). Lima: RAPIMAGEN.
- Ircañaupa, A. (2015). *Modelo Numérico orientado a la simulación de crecidas a partir de una rotura de presa*. Ayacucho: Universidad San Cristobal de Huamanga.
- Morea, M., & Huerta, J. (2011). *Sistemas de informacion geografica*. España.
- Niño, R. V. (2011). Metodología de la investigacion diseño y ejecucion. En R. V. Niño. Bogota.
- Olaya, V. (2014). Sistema de informacion geografica. En V. Olaya, *Sistema de informacion geografica* (pág. 68).

- Oyola, V. (2016). *Propuesta para la modelacion numerica de rotura de una presa de tierra de contencion de relaves convencionales*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Padrino, L. A. (2018). DAM BREAK riesgo por rotura de presa. *iagua*, 6.
- Perez, L. B. (2010). Modelacion matematica en el ambito de la dinamica fluvial. *Centro de estudios hidrograficos del CEDEX*, 15.
- Rivera, C. (2010). *Caracterización experimental del hidrograma de salida de la ruptura de presa*. Mexico DC: Universida Nacional Autonoma de Mexico.
- Sabino, C. (1992). El proceso de la investigacion . En C. Sabino, *El proceso de la investigacion* (pág. 13). Caracas.
- Saenz, M. (2017). *Simulación de rotura de presas aterradas con fondo móvil caso estudio*. Barcelona.
- Salazar, H. (2013). *Manual de Metodologia de la Investigacion*. Lima.
- Sani, J., & Morillo, A.-, T. (Noviembre de 2014). Vehiculos aéreos no tripulados - UAV para la elaboracion de cartografia escalas grandes referidas ala marco de referencia SIRGAS - ECUADOR. *Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*, I(1).
- Santos Clavero, D. (2014). *Fotogrametria usando plataforma aérea (Unmanned Aerial Vehicle)* (Primera ed.). (P. A. Buill Felipe, Ed.) Barcelona: Universitat Politecnica de Catalunya.
- Texas, D. d. (2010). Alerta de inundaciones repentinas. *Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica*, 1.
- Villon Bejar, M. (2003). *Diseño de estructuras hidraulicas*. Lima: Editorial Villon.
- Villon Bejar, M. (sf). *Calculos hidrologicos e hidraulicos en cuencas hidrograficas*. Costa rica: Centro agronomico tropical de investigacion y enseñanza.
- Wikipedia. (5 de setiembre de 2016). *Wikipedia*. Obtenido de Wikipedia: [https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n\\_cartogr%C3%A1fica#Proyecci%C3%B3n\\_cil%C3%ADndrica](https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n_cartogr%C3%A1fica#Proyecci%C3%B3n_cil%C3%ADndrica)



## ANEXO

**Anexo N° 1.** Matriz de consistencia del proyecto “Estimación de las áreas de inundación a partir de la rotura de presa Lachocc en la ciudad de Huancavelica”

**Anexo N° 2.** Panel fotográfico

**Anexo N° 3.** Planos (ubicación y localización, curvas de nivel, zonas de uso de suelo, zonas de riesgo).

**ANEXO N° 01**  
**MATRIZ DE CONSISTENCIA**

***Estimación de las áreas de inundación a partir de la rotura de presa Lachocc en la ciudad de Huancavelica.***

PROBLEMA	OBJETIVO	MARCO TEORICO	HIPÓTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGÍA	MUESTRA	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS
<p><b>Problema General:</b></p> <p>¿Cuáles son las áreas vulnerables a inundación por la rotura de la presa Lachocc a partir de diferentes volúmenes en la ciudad de Huancavelica?</p> <p><b>Problemas Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles son las velocidades luego de la rotura de la presa Lachocc para diferentes volúmenes en la ciudad de Huancavelica?</li> <li>• ¿Cuál es el tiempo de llegada del caudal para diferentes</li> </ul>	<p><b>Objetivo General:</b></p> <p>Determinar las áreas vulnerables a inundación por la rotura de la presa Lachocc a partir de diferentes volúmenes en la ciudad de Huancavelica.</p> <p><b>Objetivos Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar las velocidades luego de la rotura de la presa Lachocc para diferentes volúmenes en la ciudad de Huancavelica</li> <li>• Estimar el tiempo de llegada del caudal para</li> </ul>	<p><b>A Nivel Internacional</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sáenz “Simulación de rotura de presas aterradas con fondo móvil caso estudio “</li> <li>• Gaibor 2012: Estudio del flujo generado por la ruptura de un dique a causa de infiltraciones”, desarrollada en la Universidad Central de Ecuador.</li> <li>• Rivera 2010 “Caracterización experimental del hidrograma de salida de la ruptura de presa “</li> <li>• Fread 1980“The news Dam-Break flood forecasting model”</li> </ul> <p><b>A nivel nacional</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Oyola 2016 “Propuesta para la modelación numérica de rotura de una presa de tierra de contención de relaves convencionales” de la Universidad Nacional Huancavelica.</li> <li>• Ircañaupa 2015 “Modelo Numérico orientado a la simulación de crecidas a partir de una rotura de presa”, en la</li> </ul>	<p><b>Hipótesis General:</b></p> <p>Existen áreas vulnerables a inundación por la rotura de la presa Lachocc a partir de diferentes volúmenes en la ciudad de Huancavelica.</p>	<p><b>Variable dependiente:</b></p> <p>Áreas de inundación:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ zona residencial</li> <li>✓ zona Industrial</li> <li>✓ zona comercial</li> </ul> <p><b>Variables Independientes:</b></p> <p>Rotura de Presa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• caudal</li> <li>• velocidad de flujo</li> <li>• tiempo de Llegada</li> </ul>	<p><b>Tipo de Investigación:</b></p> <p>Básico</p> <p><b>Nivel de Investigación:</b></p> <p>Descriptivo</p> <p><b>Método General:</b></p> <p>Método Científico</p> <p><b>Diseño de investigación:</b></p> <p>El diseño de investigación es no experimental,</p>	<p><b>Población:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ribera del río Ichu Tramo sector Lachocc hasta la ciudad de Huancavelica</li> </ul> <p><b>Muestra:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Zona urbana de Huancavelica</li> </ul> <p>Tramo: Anexo Callqui Chico-Puente de Ejército.</p>	<p><b>Técnicas:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Observación</li> <li>• Obtener imágenes satelitales</li> <li>• Procesamiento de imágenes</li> <li>• Discusión</li> <li>• Resultados</li> </ul> <p><b>Instrumentos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Software: Iber 2.4.3</li> <li>• Arc gis 10.4</li> <li>• Sas planet</li> <li>• Agisoft</li> <li>• Pix4D</li> </ul>

<p>volúmenes por la rotura de la presa Lachocc en la ciudad de Huancavelica?</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cuáles son los puntos más críticos para diferentes volúmenes por la rotura de la presa de Lachocc en la ciudad de Huancavelica?</li> </ul>	<p>diferentes volúmenes por la rotura de la presa Lachocc en la ciudad de Huancavelica.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identificar los puntos más críticos para diferentes volúmenes por la rotura de la presa de Lachocc en la ciudad de Huancavelica.</li> </ul>	<p>Universidad San Cristóbal de Huamanga</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bustamante desarrollo el trabajo de investigación "Modelamiento numérico de una onda de avenida generada por la rotura de una presa de tierra y su estimación de riesgo" en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.</li> </ul> <p><b>A nivel local</b> No se encontraron antecedentes a nivel local</p>			<p><math>O_1 \rightarrow x</math> <math>\rightarrow O_2</math></p> <p>Donde: <b><math>O_1</math></b> = Observacion 1 <b><math>O_2</math></b> = Observacion 2 <b>X:</b> variables</p>		
---	--	--	--	--	--	--	--

Tesistas: Bach. CARRANZA ALVAREZ, Jesús  
 Bach. COMUN BARRA, Marlon Yefri  
 Asesor: Ing. GASPAR PACO, Carlos

**ANEXO N° 02**

**RECONOCIMIENTO DE TERRENO**



**IMAGEN N° 01.** Reconocimiento del área de estudio Callqui Chico



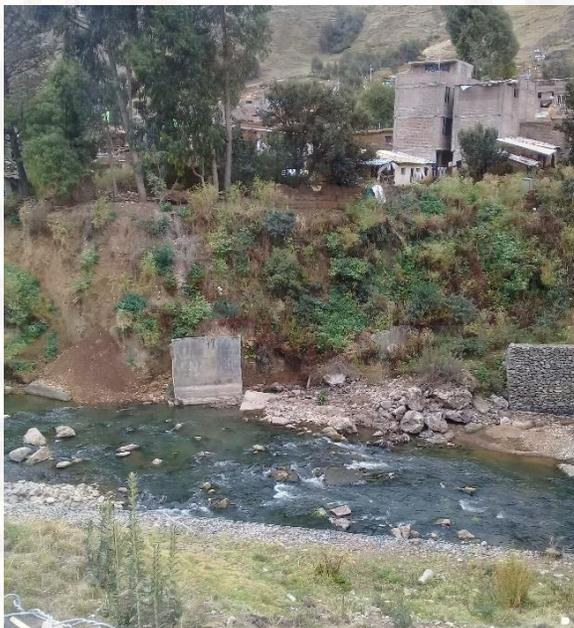
**IMAGEN N° 02.** Área de estudio lugar terminal terrestre Ascensión



**IMAGEN N° 03.** Espaldas del colegio Vianney



**IMAGEN N° 04.** Vista de perfil del río Ichu



**IMAGEN N° 05.** Reconocimiento para marcar los puntos de control



**IMAGEN N° 06.** No se encuentra muros de contención



**IMAGEN N° 07.** Vista del perfil del río a espaldas del colegio La Victoria de Ayacucho



**IMAGEN N° 08.** Los muros de contención se empiezan a derrumbar por la erosión del río.



**IMAGEN N° 09.** Vista panorámica de la ciudad de Huancavelica lo cual comprende el área de estudio  
Fuente: Google Earth Pro.

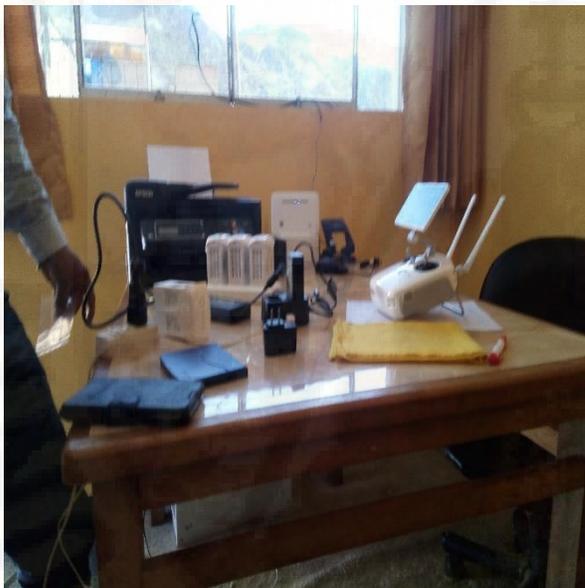
## LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO



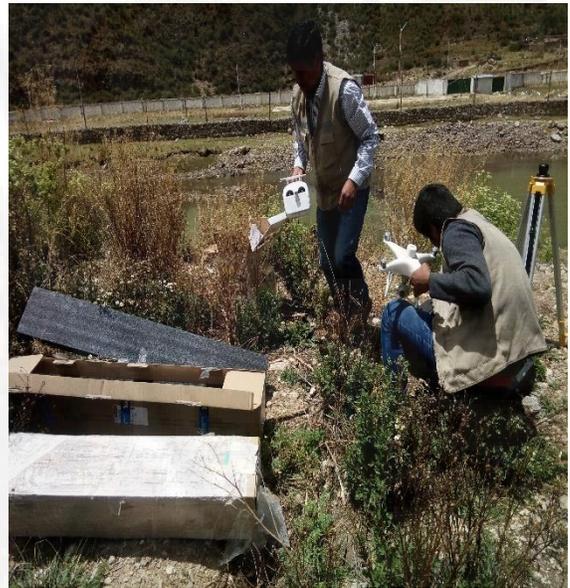
**IMAGEN N° 10.** Marcado del punto de control N° 02 para el levantamiento topográfico



**IMAGEN N° 11.** Marcado del punto de control N° 04 para el levantamiento topográfico



**IMAGEN N° 12.** Cargando las baterías del drone DJI Phantom 4



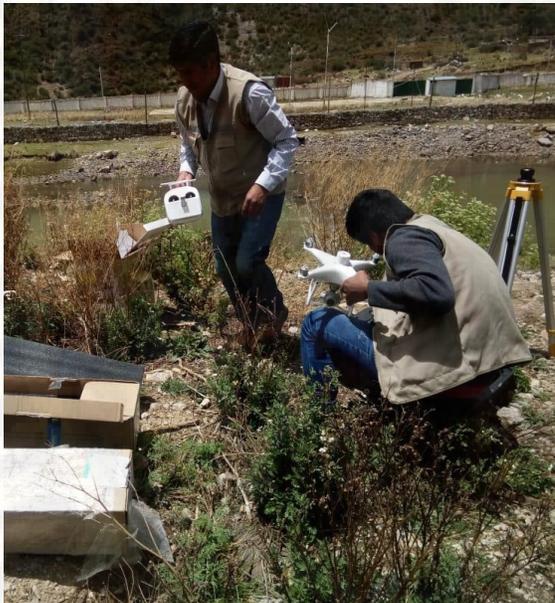
**IMAGEN N° 13.** Calibrando el equipo para hacer el levantamiento topográfico



**IMAGEN N° 14.** Preparación para el levantamiento topográfico día 03, 04 de noviembre del 2019



**IMAGEN N° 15.** Prueba de vuelo del drone DJI Phantom 4



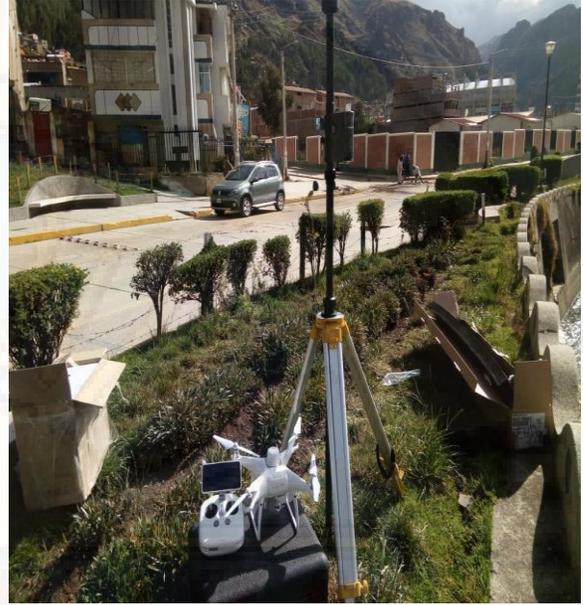
**IMAGEN N° 16.** Ejecutando las prueba de vuelo del drone antes iniciar el levantamiento



**IMAGEN N° 17.** Estacionando en el punto de control N° 01 la estación móvil para iniciar el vuelo



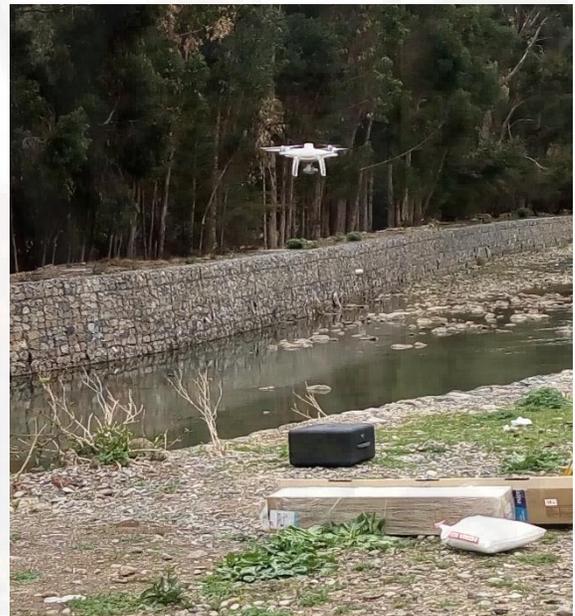
**IMAGEN N° 18.** Vista de todos los equipos utilizados en el levantamiento topográfico.



**IMAGEN N° 19.** Estacionando en el punto de control N° 06 de la estación móvil en el puente del ejército.



**IMAGEN N° 20.** Inicio del plan de vuelo N° 03 a espaldas del colegio Vianney



**IMAGEN N° 21.** Inicio del plan de vuelo N° 02 en el lugar de Millpo Ccachuana.



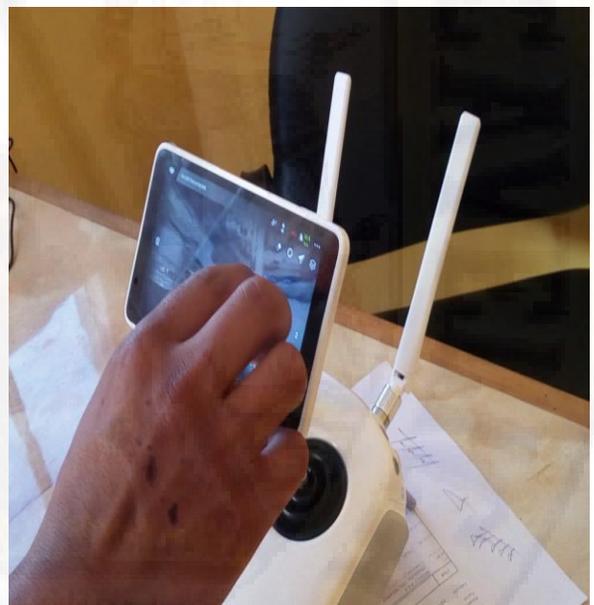
**IMAGEN N° 22.** Inicio del plan de vuelo N° 06 en el puente del Ejército.



**IMAGEN N° 23.** Manejo del dron DJI Phantom 4



**IMAGEN N° 24.** Equipo topográfico en vuelo en el punto de control N° 06

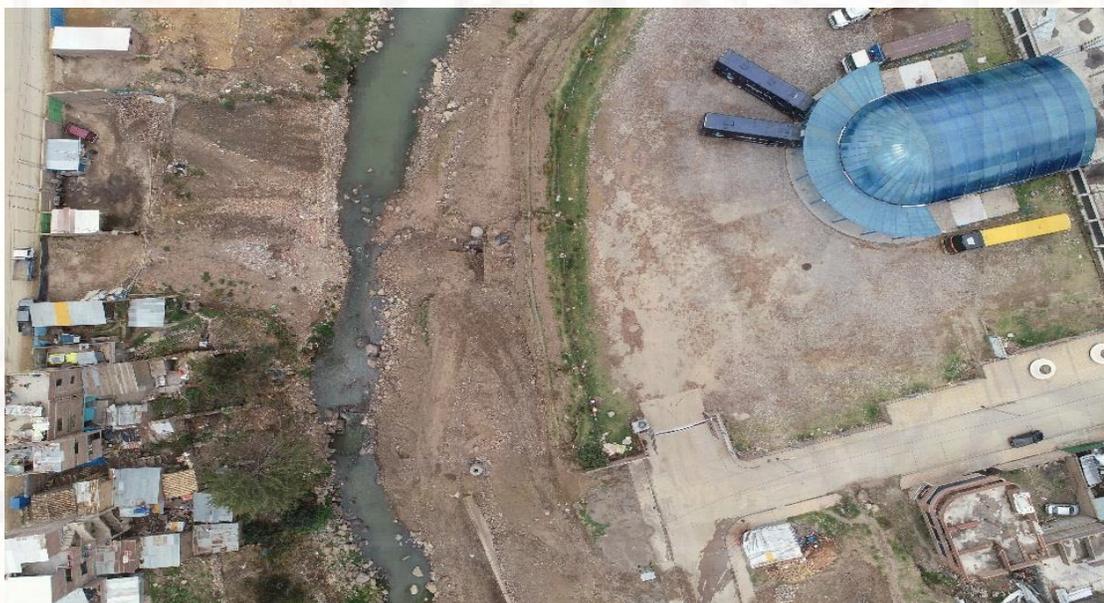


**IMAGEN N° 25.** Verificación de las fotos tomadas con el dron DJI Phantom 4

**FOTOGRAFÍAS TOMADAS CON EL DRONE DIJ PHATHOM 4**



**IMAGEN N° 26.** Fotografía tomado en el sector de Callqui Chico tomado en el vuelo N° 01



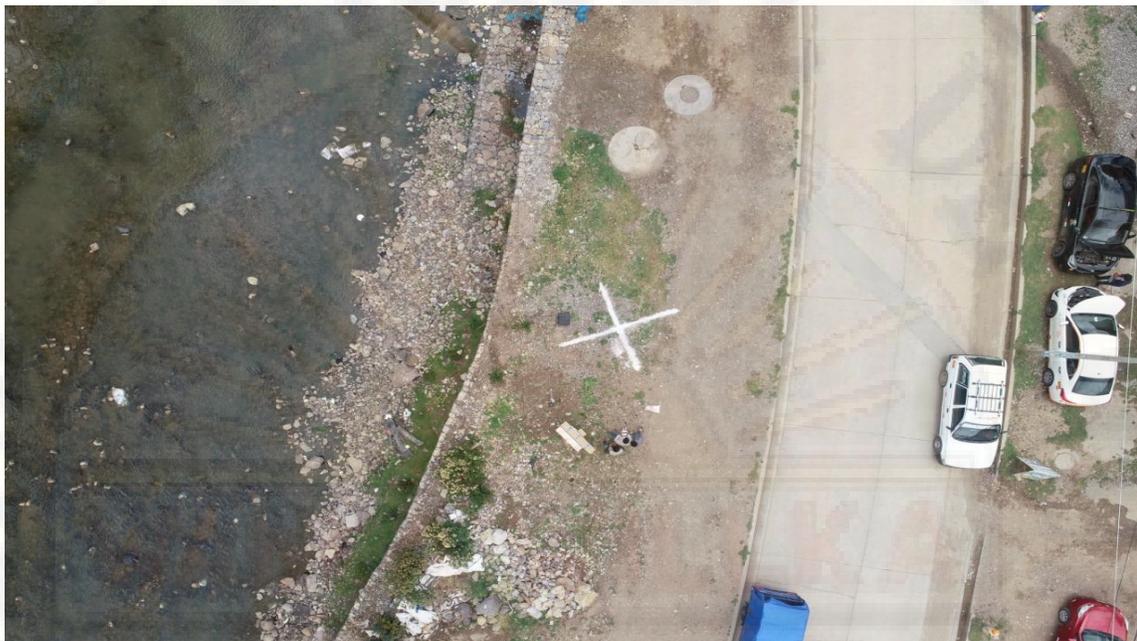
**IMAGEN N° 27.** Fotografía tomada en el terminal terrestre Ascensión en el vuelo N° 02



**IMAGEN N° 28.** Fotografía tomado en el sector de Millpo Ccachuana con el punto de control tomado en el vuelo N° 02



**IMAGEN N° 29.** Fotografía tomada de áreas verdes en el vuelo N° 03



**IMAGEN N° 30.** Fotografía tomado en el sector de Millpo Ccachuana con la vista superior del punto de control tomado en el vuelo N° 02



**IMAGEN N° 31.** Fotografía tomada de Callqui Chico en vuelo N° 03

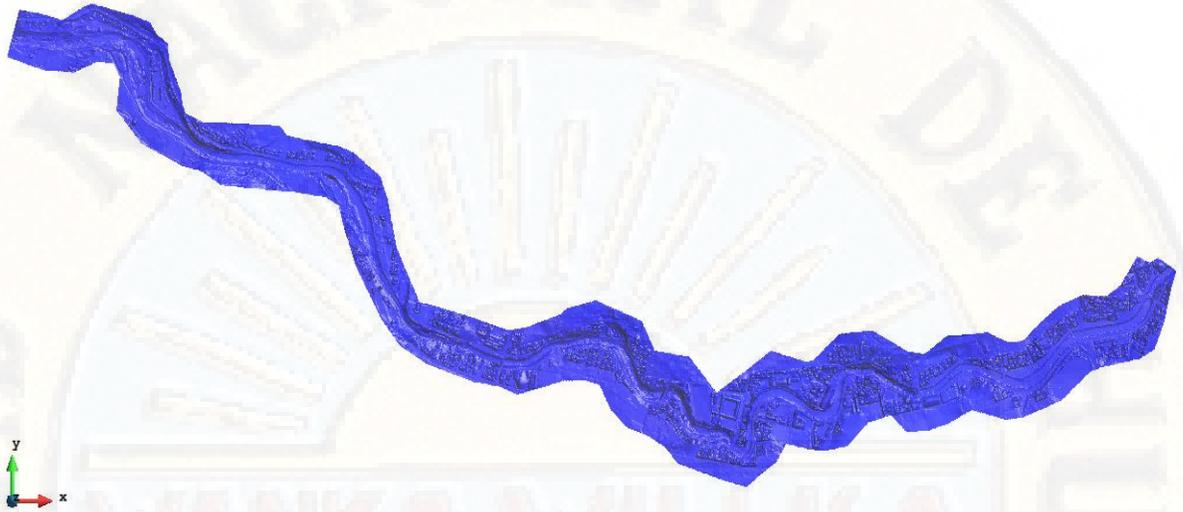


**IMAGEN N° 32.** Fotografía tomado en el sector de Ascención con la vista superior del punto de control tomado en el vuelo N° 02

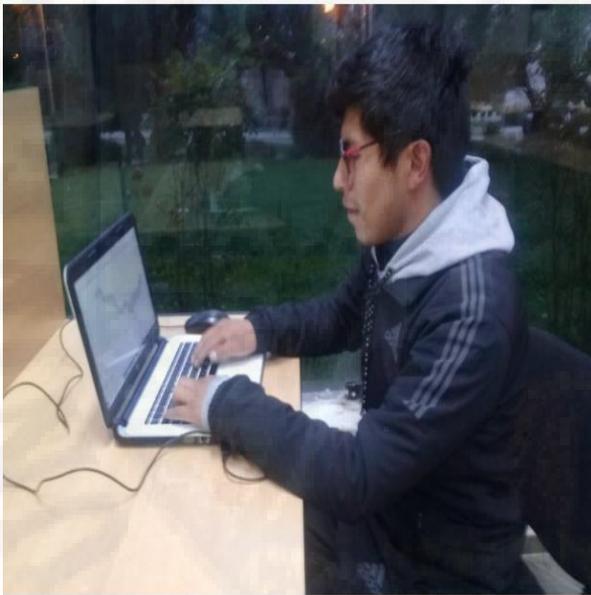


**IMAGEN N° 33.** Fotografía tomada de Callqui Chico en vuelo N° 03

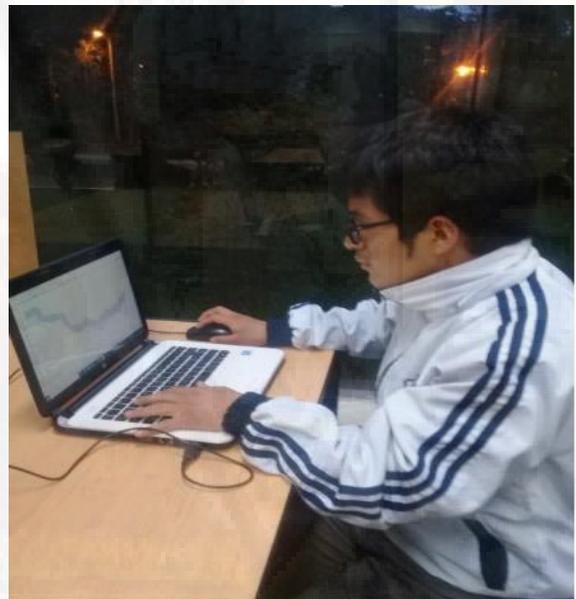
## PROCESAMIENTO DE DATOS



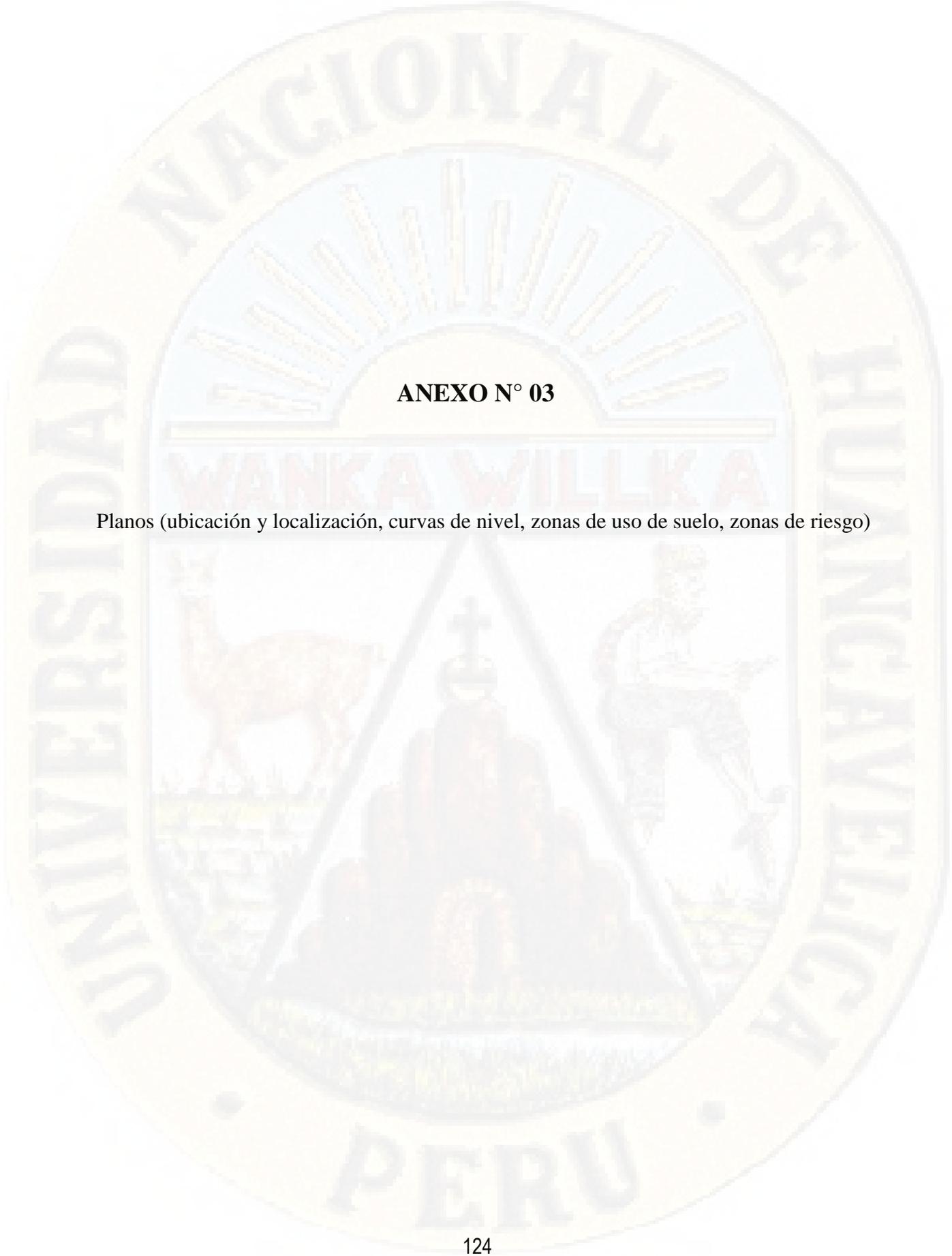
**IMAGEN N° 34.** Modelo digital de elevación de la ciudad de Huancavelica con el programa Iber.



**IMAGEN N° 35.** Procesamiento de los datos del modelo numérico.

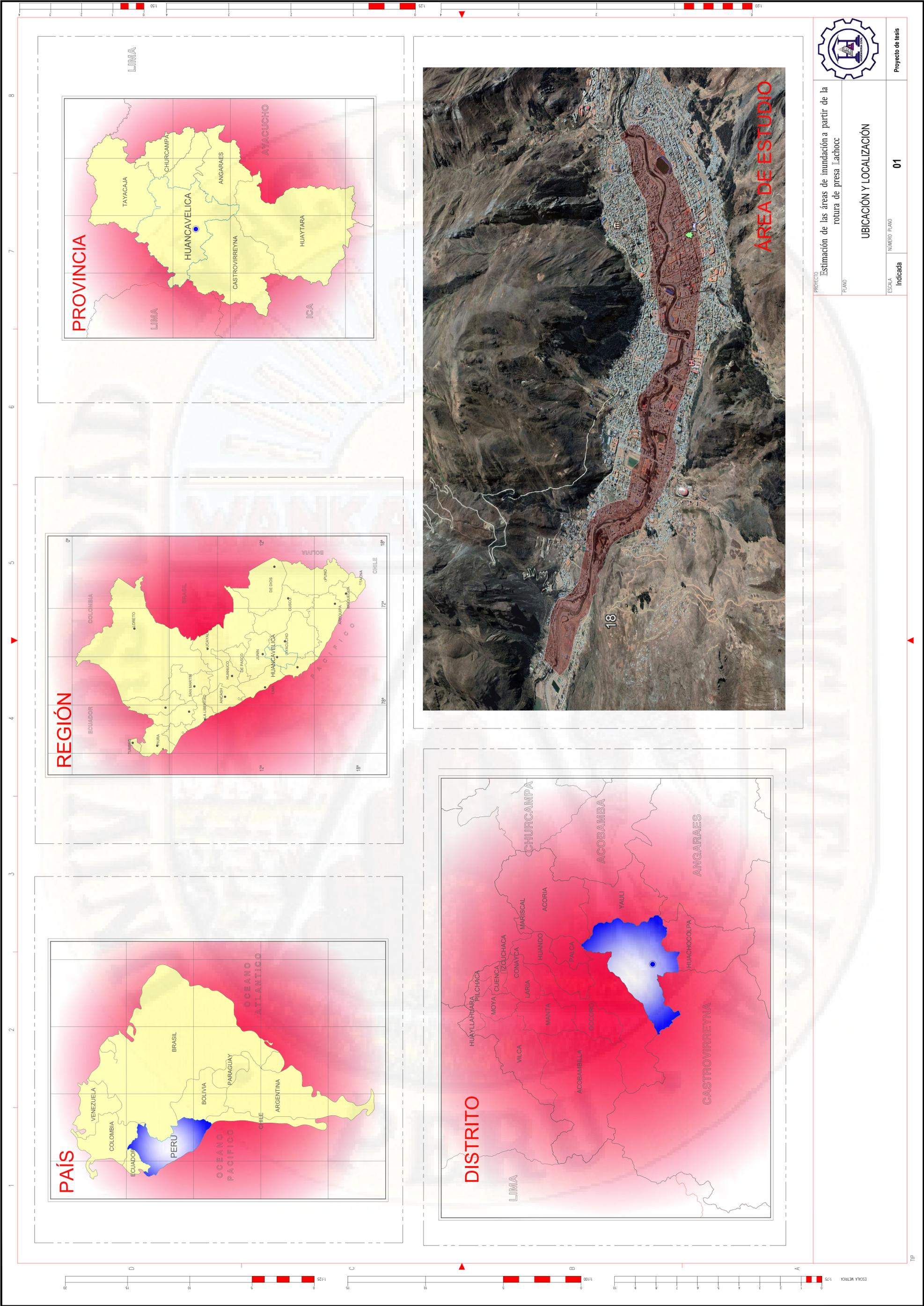


**IMAGEN N° 36.** Análisis de los resultados

The logo of the Universidad Nacional de Huancavelica, Peru, is a circular emblem. It features a central shield with a sunburst at the top, a mountain range in the middle, and a llama on the left and a person on the right. The text "UNIVERSIDAD NACIONAL DE HUANCVELICA" is written around the top and sides of the circle, and "PERU" is at the bottom. The text "ANEXO N° 03" is centered over the sunburst.

**ANEXO N° 03**

Planos (ubicación y localización, curvas de nivel, zonas de uso de suelo, zonas de riesgo)



PROYECTO  
 Estimación de las áreas de inundación a partir de la  
 rotura de presa Lachocc

PLANO  
 UBICACIÓN Y LOCALIZACIÓN

ESCALA  
 Indicada

NUMERO PLANO  
 01

Proyecto de tesis

# PLANO CLAVE



Losas Picarumi



Tecnológico



Terminal Terrestre



Grifo Yananaco



Electrocentro



Seminario Mayor



Essalud



Colegio La Victoria de Ayacucho



Mercado Central



Colegio Micaela Bastidas



Terminal Pampa Amarilla



Estadio



Puente del Ejército



Puente San Cristóbal

**LEYENDA**

	Curva Mayor C/5.00m
	Curva Menor C/1.00m

**CUADRO DE COORDENADAS UTM BMS**

# PUNTO	NORTE	ESTE	COTA m.s.n.m.
1	8346290.936	249060.345	3704.000
2	8345832.374	249966.729	3698.000
3	8345206.433	250817.149	3697.000
4	8345311.326	253192.138	3676.000
5	8344951.709	251448.821	3689.000
6	8345104.891	252068.964	3681.000

**CUADRO DE COORDENADAS UTM PUNTOS DE CONTROL**

# PUNTO	NORTE	ESTE	COTA m.s.n.m.
7	8346205.325	248836.027	3704.000
8	8346017.173	249334.974	3713.000
9	8345803.042	249729.630	3708.000
10	8345315.970	250221.888	3706.000
11	8345109.567	250641.586	3705.000
12	8345011.986	251234.899	3691.000
13	8344992.505	251752.792	3679.000

- NOTAS:**
- 1.- EL LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO ESTA REFERIDO AL DATUM WCS-84.
  - 2.- ELEVACIONES EN M.S.N.M.
  - 3.- LA EQUIDISTANCIA ENTRE CURVAS DE NIVEL ES DE UN METRO.

PLANTA  
Esc. 1:5000

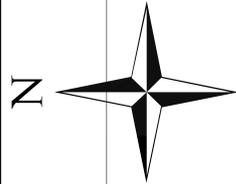


PROYECTO: Estimación de las áreas de inundación a partir de la rotura de presa Lachocc

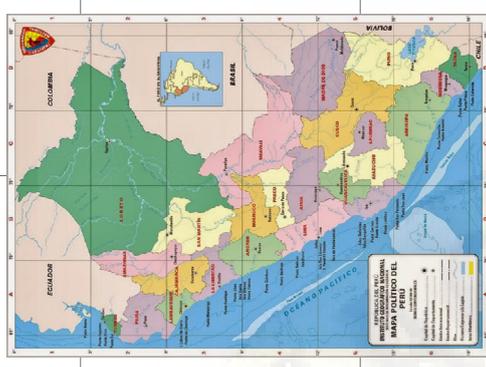
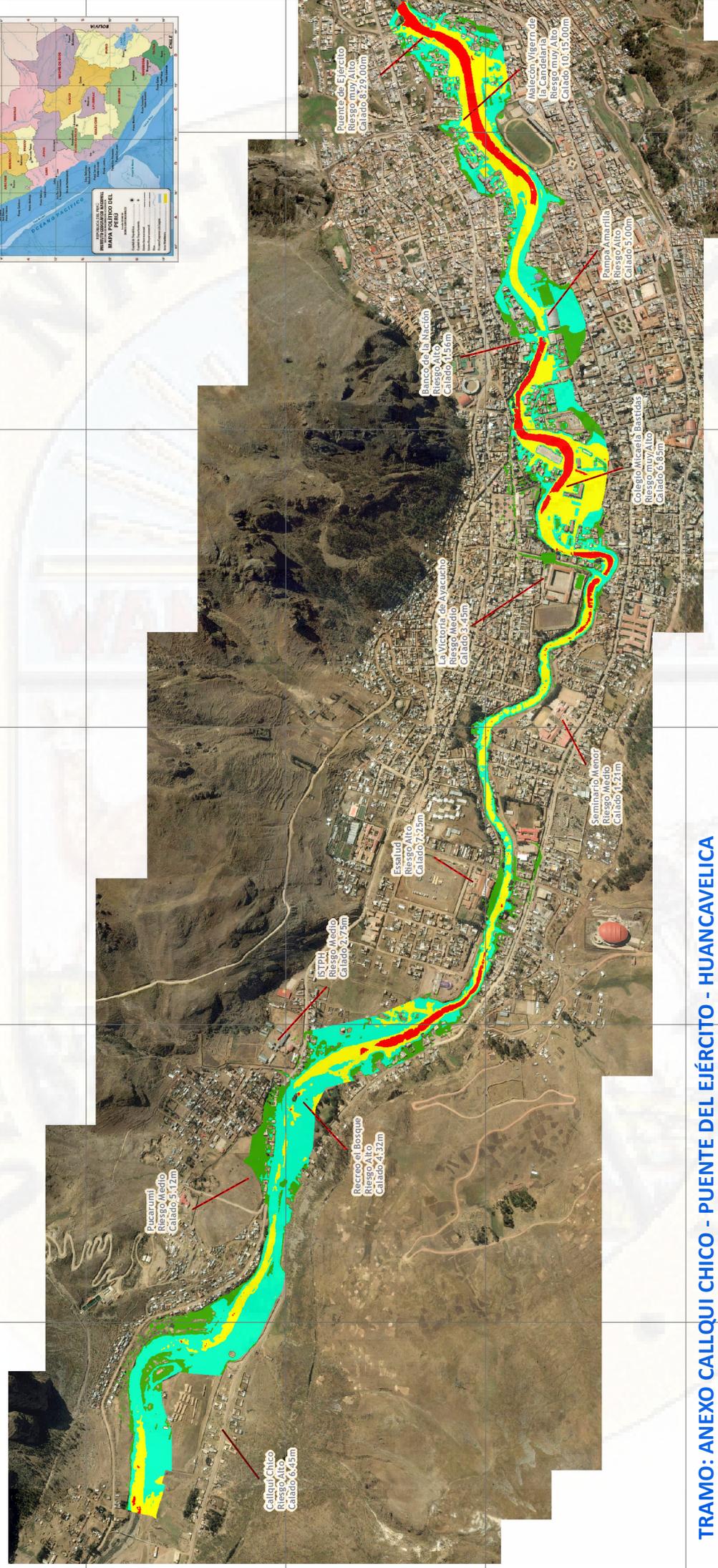
PLANO CLAVE

ESCALA: Indicada  
NUMERO PLANO: 02  
Proyecto de tesis





# MAPA DE ÁREAS DE INUNDACIÓN



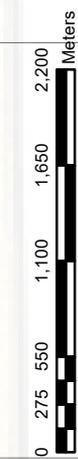
TRAMO: ANEXO CALLQUI CHICO - PUENTE DEL EJÉRCITO - HUANCavelica

CAUDAL DE SIMULACIÓN: 1500 m3/s

--- 06 + 147 KM ---

### LEYENDA

Zonas de riesgo	1.5 - 4.5 m
<VALUE>	4.5 - 7.5 m
<VALUE>	>22.52 m
<VALUE>	< 1.5 m



Proyecto: **Estimación de las áreas de inundación a partir de la rotura de presa Lachocca**

Plano: **ÁREAS DE INUNDACIÓN (1500 m3/s)**

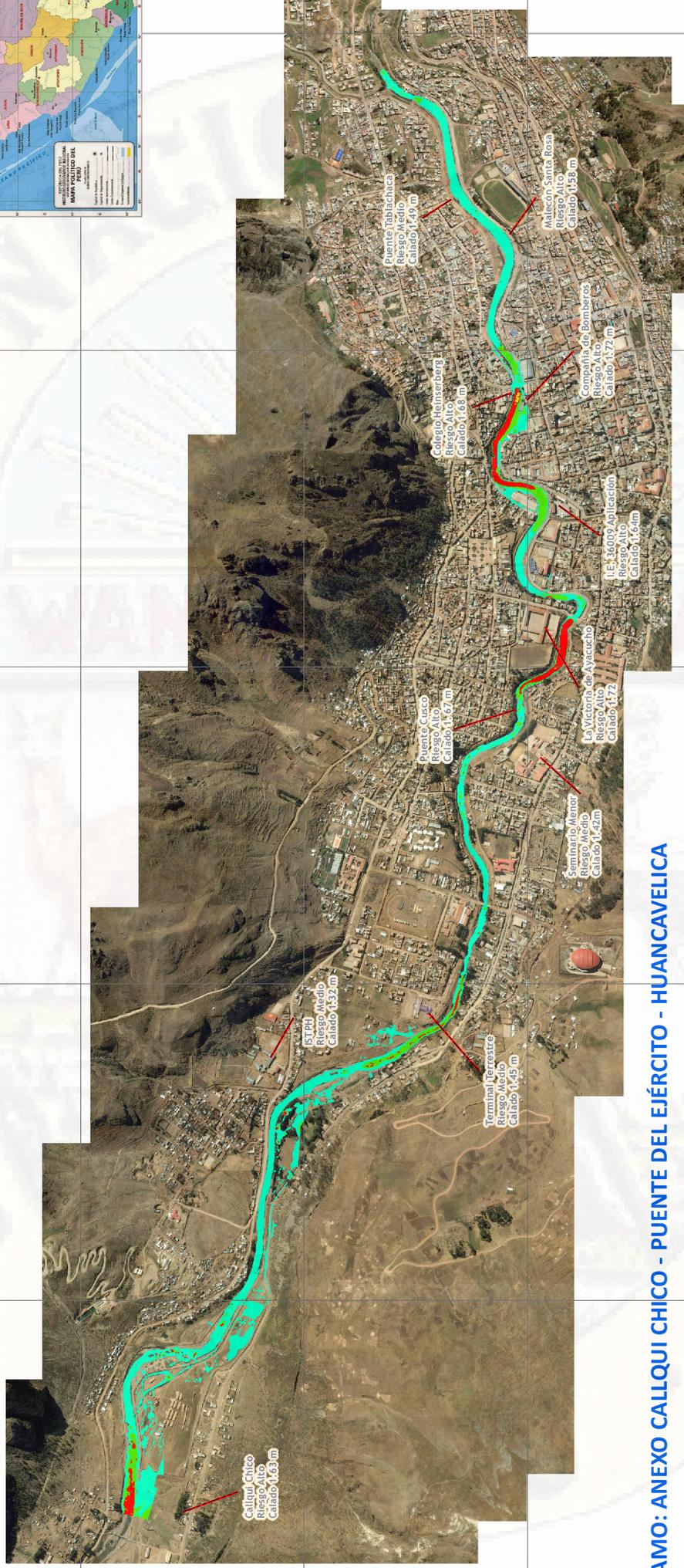
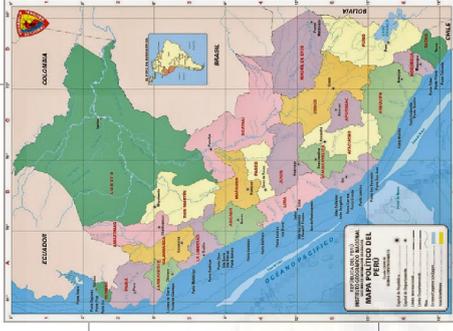
Escala: **Indicada**  
Número de plano: **04**



Proyecto de tesis



# MAPA DE ÁREAS DE INUNDACIÓN



TRAMO: ANEXO CALLQUI CHICO - PUENTE DEL EJÉRCITO - HUANCABELICA

CAUDAL DE SIMULACIÓN: 500 m<sup>3</sup>/s

----- 06 + 147 Km -----

## LEYENDA

Zonas de riesgo

<VALUE>

- < 1.5 m
- 1.5 - 2.5 m
- 2.5 - 7.5 m
- > 17.76 m





Proyecto: **Estimación de las áreas de inundación a partir de la rotura de presa Lachoc**

Plano: **ÁREAS DE INUNDACIÓN (500 m<sup>3</sup>/s)**

Escala: **Indicada**      05

Proyecto de tesis

