



PERÚ

Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



ADMINISTRACION LOCAL DE AGUA CHILI

**“Estudio de delimitación de la faja marginal en el
cauce de la Quebrada Los Andenes – Yura”**

Arequipa, Abril del 2025

Tabla de Contenido

I. GENERALIDADES	7
1.1 INTRODUCCIÓN	7
1.2 OBJETIVO Y METAS.....	8
1.2.1 Objetivo General.....	8
1.2.2 Objetivos Específicos	8
1.2.3 Metas.....	8
1.3 JUSTIFICACIÓN	8
1.4 ALCANCES.....	9
II. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRAMO DE ESTUDIO.....	11
2.1 UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA	11
2.2 UBICACIÓN HIDROGRÁFICA.....	11
2.3 DESCRIPCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO	14
III. ANALISIS DE MAXIMAS AVENIDAS.....	17
3.1 METODO PARA DETERMINACIÓN DE MAXIMAS AVENIDAS. –.....	17
3.1.1 Modelo Digital de Terreno y sus aplicaciones	18
3.1.2 Delimitación de subcuencas y puntos de drenaje de la zona de estudio	26
3.1.3 Parámetros físicos e hidrológicos de los Sectores definidos	28
3.1.4 Distribución en hietogramas de Precipitaciones máximas diarias	29
3.2 DETERMINACIÓN DE CAUDALES MAXIMOS	49
Método Racional Modificado: Modelo de Témez	49
IV. TOPOGRAFIA.....	52
4.1 INTRODUCCIÓN. –.....	52
4.1.1 Objetivos.....	52
4.1.2 Ubicación.....	52
4.2 RECURSOS:.....	54

4.2.1	Personal.....	54
4.2.2	Equipos	54
4.3	PUNTOS DE CONTROL. –	55
4.3.1	Método empleado.	55
4.4	PLANEAMIENTO DE VUELO.....	55
4.4.1	Procesamiento de Información	55
4.4.2	Descarga de Imágenes	56
4.4.3	Aero triangulación	56
4.4.4	Obtención de Modelo Digital de Elevación.....	56
4.4.5	Obtención de ortofoto	57
4.4.6	Obtención de curvas de nivel	58
4.4.7	Realización de Planos	60
4.5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	60
4.6	PANEL FOTOGRAFICO.....	62
V.	SIMULACIÓN HIDRAULICA	66
5.1	DESCRIPCION DEL MODELO. –.....	66
5.2	CONFIGURACIÓN DEL MODELO	66
5.2.1	Procedimiento.	67
5.2.2	Geometría del cauce	69
5.2.3	Preparación del modelo hidráulico con Iber.....	70
5.2.4	Datos del módulo hidrodinámico de Iber	71
5.2.5	Datos de la rugosidad de acuerdo al uso de suelo	72
5.3	SIMULACION HIDRAULICA.	75
5.4	GENERACIONES DE MAPAS DE INUNDACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA RIBERA.....	76
VI.	DELIMITACIÓN DE LA FAJA MARGINAL.....	79
6.1	DIMENSIONAMIENTO DE LA FAJA MARGINAL. –	79
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85

7.1 CONCLUSIONES	85
7.2 RECOMENDACIONES	85
ANEXO 01: PLANOS DE DELIMITACIÓN DE FAJA MARGINAL	87

Contenido de Tablas

Tabla 1 - Ubicación del tramo de estudio (Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19S)	14
Tabla 2 - Parámetros físicos de la Cuenca de la Quebrada Los Andenes	26
Tabla 3 - Ubicación del Punto de Salida del Área de estudio (Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19S)	26
Tabla 4 - Parámetros de las Subcuencas: Tiempo de Concentración	28
Tabla 5 - Parámetros de las Subcuencas: Tiempo de retardo	28
Tabla 6 - Red de estaciones Pluviométricas seleccionadas	30
Tabla 7 - Precipitaciones Máximas en 24 horas	30
Tabla 8 - Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel	34
Tabla 9 - Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel	36
Tabla 10 - Calculo de Precipitaciones diarias máximas probables asociados a distintos periodos de retorno	38
Tabla 11 - Precipitaciones máximas probables para diferentes tiempos de duración de lluvias	38
Tabla 12 - Regresiones IDF para TR: 50 años.	39
Tabla 13 - Regresiones IDF para TR: 100 años.	40
Tabla 14 - Intensidades de Precipitaciones máximas	42
Tabla 15 – Métodos para el calculo del tiempo de concentración	43
Tabla 16 – Coeficientes de escorrentía Método Racional - Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2013	44
Tabla 17 – Obtención de Hietograma para un Periodo de Retorno de 50 años.	46
Tabla 18 – Obtención de Hietograma para un Periodo de Retorno de 100 años.	48
Tabla 19 - Ubicación del tramo de estudio (Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19S)	53
Tabla 20 - Coeficientes de Manning para diversas condiciones de revestimiento	73
Tabla 21 - Ancho mínimo de faja marginal en cuerpos de agua.	79
Tabla 22 - Vértices de la delimitación de faja marginal de la Quebrada Los Andenes en el tramo del distrito Yura, en DATUM WGS 84, zona 19.	80

Contenido de ilustraciones

<i>Ilustración 1 - Ubicación del Área de Proyecto</i>	11
<i>Ilustración 2 - Mapa Hidrológico de la Cuenca Quilca Chili</i>	12
<i>Ilustración 3 - Mapa Hidrológico UH Nivel 5 Medio Quilca Vitor Chili</i>	13
<i>Ilustración 4 - Ubicación tramo a delimitar en la microcuenca de la Quebrada Los Andenes - Yura</i>	15
<i>Ilustración 5 - Modelo de Elevación Digital Seleccionado. Fuente: ALOS PALSAR NASA</i>	22
<i>Ilustración 6 – Modelo Digital de Elevación de Dirección de Flujo de la Cuenca Quebrada Los Andenes</i>	24
<i>Ilustración 7 - Modelo Digital de Flujo Acumulado de la Cuenca Quebrada Los Andenes</i>	24
<i>Ilustración 8 – Red Hídrica de la Quebrada Los Andenes</i>	25
<i>Ilustración 9 - Definición del punto de drenaje y área de Estudio requerida.</i>	27
<i>Ilustración 10 – Mapa de Isoyetas en la zona de estudio requerida.</i>	30
<i>Ilustración 12 - Estaciones Pluviométricas utilizadas en el presente Estudio.</i>	32
<i>Ilustración 123 - Valores de Kn para datos dudosos.</i>	33
<i>Ilustración 13 - Regresiones IDF para TR: 50 años.</i>	40
<i>Ilustración 14 - Regresiones IDF para TR: 100 años.</i>	41
<i>Ilustración 15 - Curva de Intensidad Duración y Frecuencia</i>	42
<i>Ilustración 16 - Reemplazo de fórmula de Intensidad con información de la microcuenca en estudio.</i>	43
<i>Ilustración 173 – Perfil Longitudinal gráfico de la microcuenca - Quebrada Los Andenes</i>	45
<i>Ilustración 18 - Hietograma de TR: 50 años para la subcuenca en estudio</i>	47
<i>Ilustración 19 - Hietograma de TR: 100 años para la subcuenca en estudio</i>	49
<i>Ilustración 20 - Vista panorámica del tramo de Estudio (Elaboración Propia)</i>	53
<i>Ilustración 21 – Equipos utilizados durante los trabajos topográficos.</i>	55
<i>Ilustración 22 - Aerotriangulación</i>	56
<i>Ilustración 23 - modelo digital de elevaciones (MDE)</i>	57
<i>Ilustración 24 - Obtención de ortofoto</i>	58
<i>Ilustración 25 - Curvas de nivel</i>	59
<i>Ilustración 26 - Verificación de la información topográfica con el software civil 3D</i>	60
<i>Ilustración 27 – Vista Panorámica de la Quebrada</i>	62
<i>Ilustración 28 - Georreferenciación a la red geodésica nacional (IGN) del punto</i>	62
<i>Ilustración 29 - Instantes previas al Lanzamiento del Vehículo aéreo no tripulado DRONE</i>	63
<i>Ilustración 30 - Equipo de vuelo fotogramétrico.</i>	63
<i>Ilustración 31 – Vista panorámica del Vuelo del Drone Phantom 4 Pro</i>	64
<i>Ilustración 32 – Operación del Vehículo aéreo no tripulado DRONE para Levantamiento Topográfico en Campo</i>	64
<i>Ilustración 33 - Curvas de Nivel Obtenidas del trabajo de Campo</i>	68
<i>Ilustración 34 - Obtención del TIN a partir de las Curvas de Nivel Obtenidas del trabajo de Campo</i>	69
<i>Ilustración 35 – Herramienta de conversión de raster a ASCII para la creación de la geometría</i>	70
<i>Ilustración 36 – Importación del archivo ASCII y creación de la Geometría RTIN de la Quebrada Los Andenes en el software Iber.</i>	71

I. GENERALIDADES

I. GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

La expansión desordenada de las poblaciones ha provocado un impacto significativo en los ecosistemas fluviales, especialmente en ríos y sus alrededores, debido al aumento de la demanda de agua en diferentes sectores como el rural, urbano, industrial y agrícola. Esta presión ha llevado a la realización de numerosas obras de modificación en los ríos para adaptarlos a las necesidades humanas, lo que incluye cambios en sus dimensiones. La ocupación inapropiada de las zonas cercanas a los ríos y la falta de comprensión de su comportamiento natural han dado lugar a canalizaciones, a menudo con un estrechamiento excesivo, lo que puede provocar erosión y desbordamientos con inundaciones resultantes.

La intervención humana ha alterado los ríos y arroyos, ya sea directamente en sus cauces con estructuras de ingeniería, asentamientos humanos o actividades en las cuencas. Para evitar estos impactos negativos, se plantea la creación de áreas de protección alrededor de los cuerpos de agua con el objetivo de salvaguardarlos, limitando así la expansión de las ciudades hacia las orillas y cauces, lo que genera conflictos entre el bien público hidráulico y la propiedad privada en las zonas ribereñas. Se busca también la restauración de los ecosistemas dañados para recuperar un equilibrio ecológico similar al que existía antes de la intervención humana.

La Ley N° 29338 - Ley de Recursos Hídricos, en su Título V: Protección del Agua, establece que, en los terrenos aledaños a los cauces naturales o artificiales, se mantiene una Faja Marginal de terreno necesaria para la protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, la pesca, caminos de vigilancia u otros servicios. Es la Autoridad Nacional del Agua – ANA, Organismo Público adscrito al Ministerio de Agricultura y Riego creado por Decreto Legislativo N° 997 del 15 de marzo del 2008, el ente rector y la máxima autoridad técnico – normativa del Sistema Nacional de Gestión de los Recursos Hídricos; por lo que le compete normar la delimitación y monumentación de las fajas marginales que son bienes de dominio público hidráulico, por tanto, es una zona de reglamentación especial.

Estos bienes hidráulicos no pueden ser transferidos bajo ninguna modalidad, ni tampoco se pueden adquirir derechos sobre ellos; están conformadas por las áreas inmediatas superiores a las riberas de las fuentes de agua naturales o artificiales, que deben ser preservados como parte de interés público o social, necesarios para la protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, la pesca, caminos de vigilancia u otros servicios.

En este norte, la Autoridad Nacional del Agua a través de la Autoridad Administrativa del Agua AAA Caplina Ocoña y Administración Local de Agua Chili, han previsto la realización del Estudio de delimitación de faja marginal en el cauce de la Quebrada Los Andenes, en una longitud total de 2.16 km, ubicado en el ámbito hidrográfico de la UH N5 13257 de la Cuenca Quilca Chili.

En la elaboración del estudio se ha aplicado técnicas de cálculo hidrometeorológico de avenidas, basado en la simulación del proceso precipitación-escorrentía a partir de los datos de lluvia sobre la cuenca y de las características físicas de la misma.

Para realizar la simulación se ha realizado un modelo hidrológico. Cuyos resultados obtenidos son los caudales correspondientes a avenidas cuyos periodos de retorno son 50 y 100 años. Estos caudales han sido empleados como entrada en la simulación hidráulica 2D para la delimitación de las áreas de inundación, a partir de las cuales se ha realizado la delimitación de las Fajas Marginales

1.2 OBJETIVO Y METAS

1.2.1 Objetivo General

- Proponer la delimitación de la Faja Marginal en el cauce de la Quebrada Los Andenes, en una longitud total de 2.16 km.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Estimar la magnitud de los caudales máximos que con una cierta probabilidad se presentaran en el área de estudio, relacionada al modelamiento hidráulico para un tránsito de avenida en la Quebrada Los Andenes.
- Proponer el ancho de cauce y faja marginal en la Quebrada Los Andenes.
- Proponer puntos de señalización física de hitos, para la delimitación de la faja marginal en el perímetro.

1.2.3 Metas

- Establecer la delimitación de la Faja Marginal en el Cauce de la Quebrada Los Andenes, cuya longitud total es de 2.16 Km

1.3 JUSTIFICACIÓN

Los ríos y quebradas ubicados en la vertiente del Pacífico del país, se caracterizan por presentar una variabilidad estacional marcada, entre los meses de verano e invierno; siendo los meses de verano, período de avenidas, donde se presentan los mayores caudales de agua, mientras que, en períodos de invierno, período de estiaje, se presentan los menores caudales.

El marco legal regulatorio indica:

- La Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos, en su Título V: Protección del Agua, establece en la Faja Marginal, en los terrenos aledaños a los cauces naturales o artificiales, se mantiene una Faja Marginal de terreno necesaria para la protección, el uso primario del agua, el libre tránsito, la pesca, caminos de vigilancia u otros servicios. El reglamento determina su extensión.
- Artículo 119° de la Ley 29338, la Autoridad Nacional del Agua, conjuntamente con los Consejos de Cuenca respectivos, fomenta programas integrales de control de avenidas, desastres naturales o artificiales y prevención de daños por inundaciones o por otros impactos del agua y sus bienes asociados, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas necesarias.

- D.S. N° 001-2010-AG (24-03-2010): Reglamento de la Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos”.
- R.J. N° 332-2016-ANA: Aprueban Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales, Lima, diciembre 2016.

1.4 ALCANCES

Las fajas marginales se han venido determinando bajo el marco de la Ley N° 17752 "Ley General de Aguas", en base a directivas y lineamientos como el Instructivo Técnico N° OU1-DGAS-DODR, vigente desde el 28/10/1980.

Al entrar en vigencia la Ley N° 29338 "Ley de Recursos Hídricos" y su reglamento aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG y publicado el 24/03/2010, las normas basadas en la Ley General de Aguas quedaron automáticamente derogadas, por lo que resulta necesario establecer nuevas normas que permitan la determinación de las fajas marginales, en concordancia con lo que establece la Ley N° 29338.

El Reglamento de esta ley por su parte establece explícitamente la necesidad de determinar las fajas marginales, asignándole funciones específicas, mientras que su reglamento establece que la Autoridad Administrativa del Agua es quien define sus dimensiones.

Una revisión exhaustiva de las normas utilizadas hasta ahora, evidencian el predominio del criterio hidrológico (control de inundaciones) en el establecimiento de la faja marginal, dejando de lado otras funciones también muy importantes. En este sentido, el presente documento procura establecer criterios que permitan la determinación de la faja marginal para que ésta cumpla con todas las funciones que le asigna la ley, fundamentalmente aquella referida a la conservación, tanto de los cuerpos de agua como del ecosistema que forma la interface acuática y terrestre ubicada en las márgenes de los cuerpos de agua.

El estudio de la faja marginal permitirá establecer el dimensionamiento de la faja marginal, su señalización, las condiciones de los predios ubicados en las márgenes de la Quebrada Los Andenes; y, las posibles actividades en la faja marginal que permitan ser autorizadas por la Autoridad Nacional del Agua, de acuerdo al Plan de desarrollo urbano de las municipalidades.

II. DESCRIPCION DEL TRAMO DE ESTUDIO

II. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRAMO DE ESTUDIO.

2.1 UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA

– Ubicación Política:

Políticamente, la zona de influencia de la Quebrada Los Andenes, se ubica en el distrito de Yura, en la Provincia de Arequipa y Región de Arequipa; y es donde el tramo de estudio se sitúa.

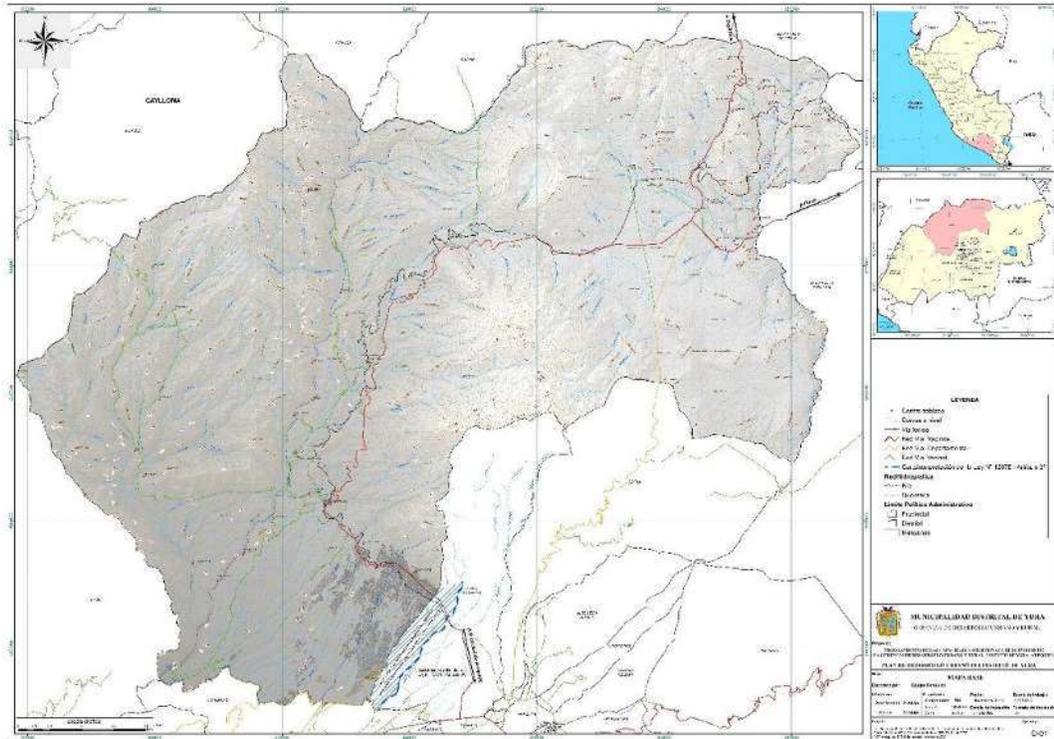


Ilustración 1 - Ubicación del Área de Proyecto

2.2 UBICACIÓN HIDROGRÁFICA

El ámbito de estudio, se encuentra dentro de la cuenca Quilca-Chili, la cual está ubicada en la vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes, y consecuentemente pertenece a la vertiente del Océano Pacífico. Abarca prácticamente la totalidad de la provincia de Arequipa, al suroeste del territorio peruano, entre la latitud Sur $15^{\circ}37'50''$ y $16^{\circ}47'10''$ y longitud Oeste $70^{\circ}49'15''$ y $72^{\circ}26'35''$. Tiene una extensión total de 13 817 km². La cuenca Quilca-Chili está dividida en 11 Unidades Hidrográficas de nivel 4, seis de las cuales son tributarias y cinco que conforman el cauce principal, además 4 unidades hidrográficas de nivel 5 (intercuencas).

La cuenca está conformada por cuarenta y un distritos y se encuentra ubicada dentro del ámbito administrativo de la Autoridad Administrativa del Agua (AAA) I Caplina Ocoña, que tiene como jurisdicción la Administraciones Local del Agua (ALA) Chili.

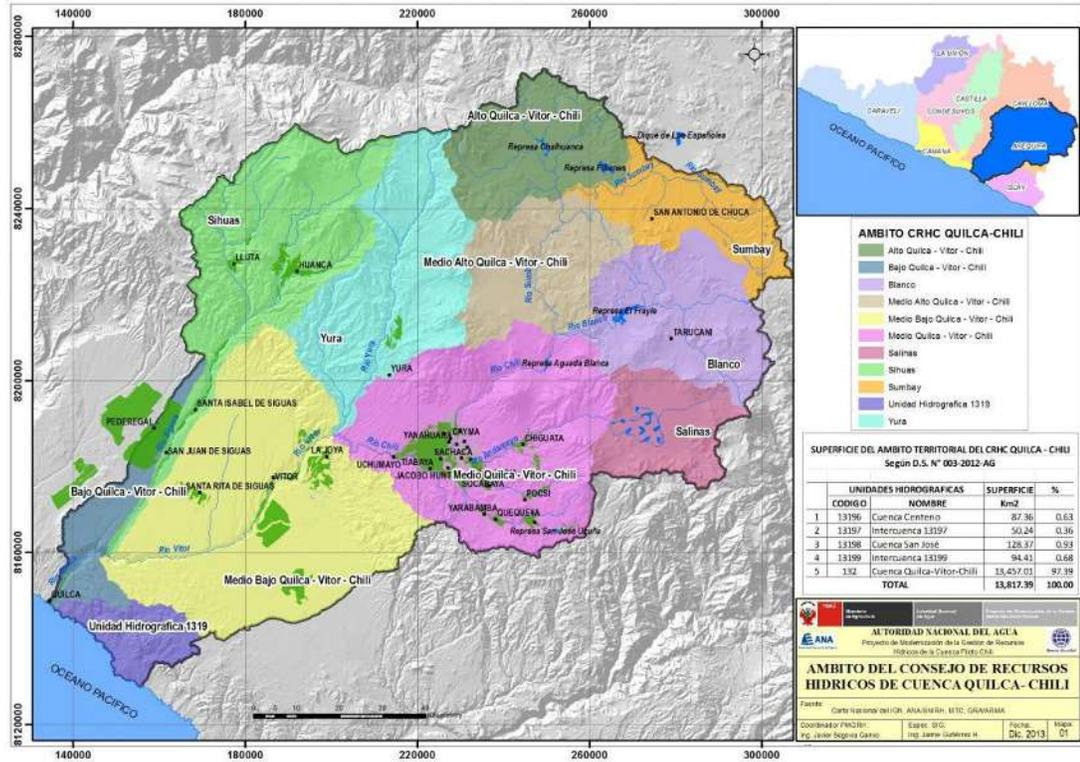


Ilustración 2 - Mapa Hidrológico de la Cuenca Quilca Chili

Fuente: Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Quilca - Chili

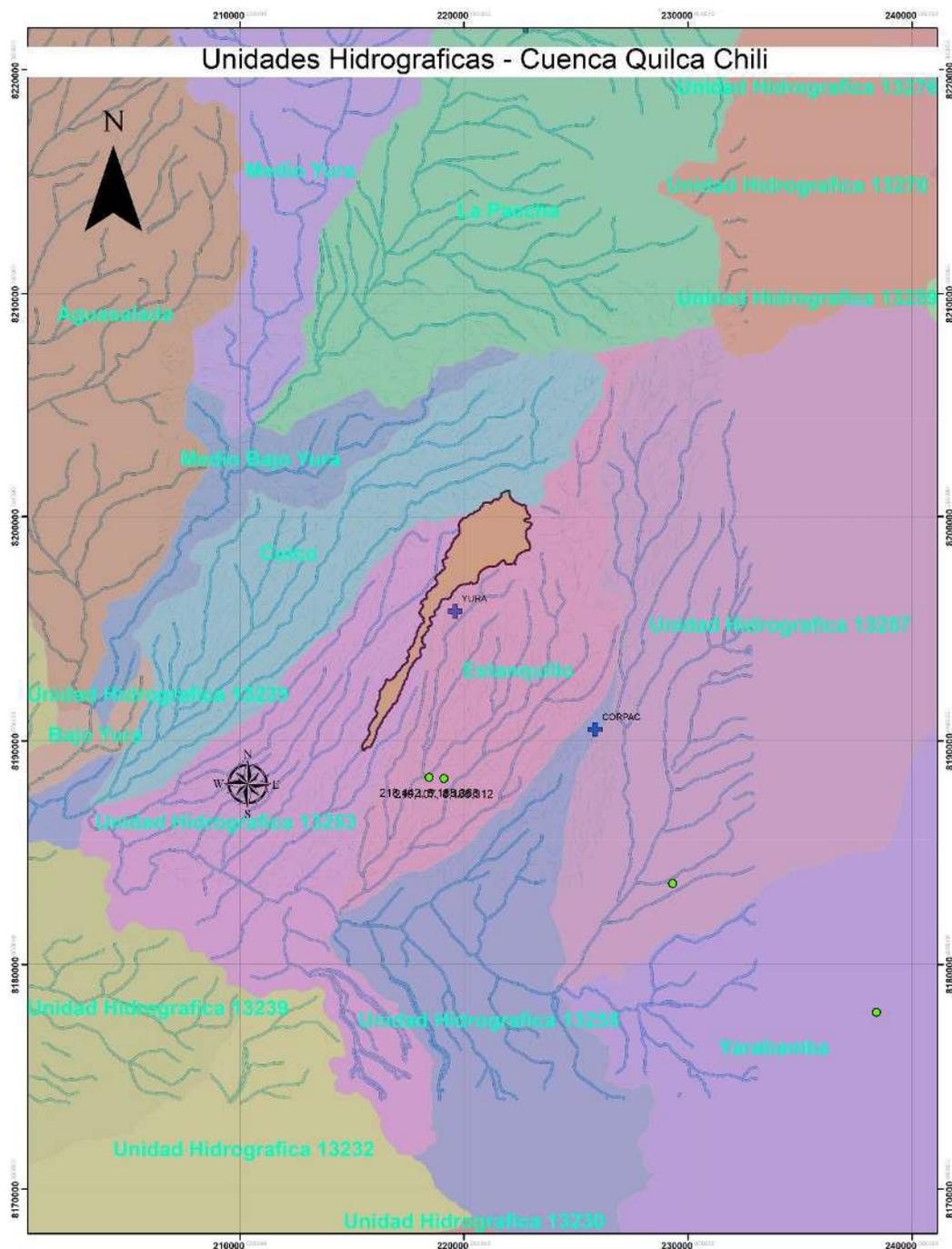


Ilustración 3 - Mapa Hidrológico UH Nivel 5 Medio Quilca Vitor Chili

El área de estudio, se encuentra en la Unidad Hidrográfica Nivel 4 Medio Quilca, Vitor Chili; la cual dispone de un área de 13,817.39 Km², y más específicamente en la Unidad Hidrográfica Nivel 5: 13253. La cuenca Medio Quilca Vitor Chili comprende la zona regulada de la campiña de Arequipa. Comprende el sitio donde se encuentra la represa reguladora del sistema Aguada Blanca, y donde se producen los aprovechamientos del recurso hídrico, como son el uso poblacional, el uso agrícola y pecuario, los usos hidro energético, y los usos mineros e industriales.

En la ubicación hidrográfica, esta pertenece a:

- Unidad Hidrográfica Nivel 1: Vertiente del pacífico
- Unidad Hidrográfica Nivel 2: Unidad Hidrográfica 13 (U.H. del Perú).
- Unidad Hidrográfica Nivel 3: Quilca – Vitor - Chili
- Unidad Hidrográfica Nivel 4: Medio Quilca – Vitor Chili
- Unidad Hidrográfica Nivel 5: 13253

2.3 DESCRIPCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO

El área de interés corresponde a un tramo de la Quebrada Los Andenes, la cual es un afluente del río Chili, cuyo punto de drenaje se encuentra aguas abajo, muy cerca a la confluencia con el río Chili.

El tramo a delimitar se encuentra ubicado en el ingreso a la Asociación Jardines del Colca, en una extensión de 2.16 km de longitud aproximadamente; el mismo que presenta un ancho variable en ambas márgenes del eje de dicha quebrada. En este trayecto se encuentran colindantes predios con viviendas, caminos y carreteras a nivel de trocha carrozable. Las coordenadas de ubicación del tramo de delimitación de la faja marginal en el cauce de la Quebrada Los Andenes - Yura son:

Tabla 1 - Ubicación del tramo de estudio (Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19S)

<u>TRAMO</u>	<u>INICIO</u>	<u>FIN</u>
<u>ESTE</u>	215,561.2825	216,279.4221
<u>NORTE</u>	8,189,600.7080	8,191,326.3150

Fuente: Elaboración Propia

III. ANALISIS DE MAXIMAS AVENIDAS

III. ANALISIS DE MAXIMAS AVENIDAS

3.1 METODO PARA DETERMINACIÓN DE MAXIMAS AVENIDAS. –

En la elaboración del estudio se ha aplicado técnicas de cálculo hidrometeorológico de avenidas, basado en la estimación del proceso precipitación-escorrentía a partir de los datos de lluvia sobre la cuenca y de las características físicas de la misma.

El análisis hidrológico planteado en el presente estudio tiene como objetivo principal determinar los caudales máximos correspondientes a periodos de retorno en 50 y 100 años de precipitación para la zona donde se realizará el estudio hidráulico.

La secuencia de la metodología a desarrollarse es la siguiente:

- A partir de Modelos Digitales de Terreno del satélite *ALOS PALSAR ALASKA SATELLITE FACILITY*, cuya resolución espacial es de 12.50 metros, que comparadas con las Imágenes *ASTER* Y *SRTM* de 30.00 metros de resolución, resultan mucho más precisas y libres de vacíos de información, se trabajó en la conversión y posterior proyección UTM WGS-84 del ráster. Las imágenes D.E.M. son los datos digitales que representan la superficie de la tierra y son los más utilizados en muchos estudios de cuencas hidrográficas; y son a partir de estas imágenes en bruto que, primeramente, se realiza la limpieza y tratamiento de estos datos mediante herramientas computacionales de un Sistema de Información Geográfica (S.I.G) con el fin de eliminar sus imperfecciones y proceder a realizar el proceso de delimitación.
- Determinación de la dirección del flujo en el área delimitada del proyecto. Con el soporte del software computacional se calcula la dirección del descenso más pronunciado, es decir, el desnivel máximo a partir de cada celda en la que se subdividió el Modelo Digital de Elevación, dando lugar a un ráster que codifica y lleva la información de la dirección de la red de drenaje de una cuenca.
- Determinación de la acumulación del flujo, análogamente al parámetro anterior y con el soporte del software computacional se calculó el flujo acumulado como el peso de todas las celdas que fluyen de manera descendente hacia otras celdas, obteniendo de esta manera un nuevo ráster que contiene información del volumen de drenaje acumulado de la cuenca.

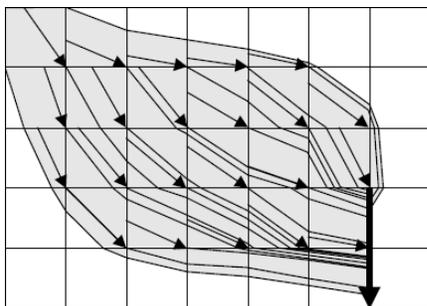


Ilustración 6 - Celdas donde se da la Acumulación y Dirección de flujo

Fuente: SAGA GIS / Forums / Open Discussion: Tools for flow accumulation in "Hydrology" (sourceforge.net).

- Clasificación de las celdas con acumulación de flujo por encima de un parámetro que define el usuario del software computacional; en este caso se utilizó un valor recomendado de 400, valor que se ajusta muy bien al tamaño de microcuencas para estudios hidrológicos de proyectos de carretera. Esta fase se denomina red de flujo y la obtención de este ráster es trascendental en el proceso de delimitación de cuencas
- Construcción de una capa vectorial de drenaje; es decir, que la información de los ráster de curso de agua anteriormente calculados, se convertirán en información vectorial tipo entidad, que representará el curso de agua de la cuenca hidrográfica estudiada.
- Establecer el punto de drenaje de la microcuenca, cuyo criterio de elección dependerá sobre donde se requerirá que la cuenca drene; es decir el punto donde está ubicado el proyecto en estudio. Este proceso tiene 2 etapas: la primera consiste en crear una entidad vectorial tipo punto (desfogue), mientras que la segunda consiste en interpolar dicha entidad con el Modelo Digital de Elevación, para que tenga las 3 coordenadas espaciales (este, norte, y elevación).
- Delimitación de la microcuenca con la ayuda computacional del software empleando todos los ráster anteriormente obtenidos y el resultado es finalmente el ráster que contiene la información de la microcuenca delimitada. Finalmente, conseguido el ráster de la microcuenca delimitada se procedió a convertir este ráster en una entidad tipo polígono mediante las herramientas de conversión computacional del software, este último proceso se debe a que es mucho más trabajable la entidad tipo polígono, puesto que nos permitirá obtener los principales parámetros de las cuencas hidrográficas: área y perímetro.
- Análisis estadístico de series de precipitaciones máximas diarias para tres estaciones meteorológicas ubicadas en el área de estudio (los datos de estas series han sido extraídos de la información disponible de la página web del SENAMHI.
- Distribución en hietogramas tipo de las precipitaciones pertenecientes a eventos ordinarios significativos, producidos en 30 años en la zona de estudio (1983 – 2012)
- Transformación de las precipitaciones de cada Subcuenca en caudales base, mediante el método del hidrograma unitario (precipitación – escorrentía),
- Modelamiento hidráulico de zonas inundables por el método del análisis bidimensional de cuencas, usando el software especializado Iber (*posteriormente se abordará este tópico en el Capítulo V*), y con el soporte de tecnología SIG.

3.1.1 Modelo Digital de Terreno y sus aplicaciones

Se realizó la metodología para la creación de la red de drenaje y de las subcuencas del modelo agregado, para representar las formas del relieve que tengan importancia en la hidrología. Estos sistemas utilizan como información de entrada modelos digitales del terreno (MDT, que almacenan la información en formato ráster) en los que los parámetros morfométricos de la cuenca se obtienen utilizando algoritmos que dan lugar al pre-procesado del terreno (conocido como terrain pre-processing), tales como:

Área (A)

La superficie de la cuenca corresponde a la superficie de la misma proyectada en un plano horizontal; y su tamaño influye en forma directa sobre las características de los escurrimientos, la unidad de medida es en km².

Perímetro (P)

El perímetro de la cuenca (P), está definido por la longitud de la línea de división de aguas y que se conoce como el “parte aguas o Divortium Acuarium”, la unidad de medida es en km.

Parámetros de Forma

Coefficiente de compacidad (Kc):

El Coeficiente de Compacidad (Kc, adimensional), o Índice de Gravelius, constituye la relación entre el Perímetro de la cuenca y el perímetro de una circunferencia cuya área - igual a la de un círculo - es equivalente al área de la cuenca en estudio. Su fórmula es la siguiente:

$$Kc = 0.28P / A^{1/2}$$

Donde:

Kc = Coeficiente de compacidad

P = Perímetro de la cuenca (km)

A = Área de la cuenca (km²)

Factor de forma (Kf)

La forma superficial de una cuenca hidrográfica es importante debido a que influye el valor del tiempo de concentración, definido como el tiempo necesario para que toda la cuenca contribuya al flujo en la sección en estudio.

El Factor de Forma (Kf, adimensional), es otro índice numérico con el que se puede expresar la forma y la mayor o menor tendencia a crecientes de una cuenca, en tanto la forma de la cuenca hidrográfica afecta los hidrogramas de escorrentía y las tasas de flujo máximo. El Factor de Forma tiene la siguiente expresión:

$$Kf = Am / L = AL^2$$

Donde:

Kf = Factor de forma

Am = Ancho medio de la cuenca (km)

L = Longitud del curso más largo (km)

Una cuenca tiende a ser alargada si el factor de forma tiende a cero, mientras que su forma es redonda, en la medida que el factor forma tiende a uno. Este factor, como los otros que se utilizan en este trabajo, es un referente para establecer la dinámica esperada de la escorrentía superficial en una cuenca, teniendo en cuenta que aquellas cuencas con formas alargadas, tienden a presentar un flujo de agua más veloz, a comparación de las cuencas redondeadas, logrando una evacuación

de la cuenca más rápida, mayor desarrollo de energía cinética en el arrastre de sedimentos hacia el nivel de base, principalmente.

Parámetros de Relieve

Longitud del Cauce Principal

Se denomina Longitud de cauce principal (L, en km), al cauce longitudinal de mayor extensión que tiene una cuenca determinada, es decir, el mayor recorrido que realiza el río desde la cabecera de la cuenca, siguiendo todos los cambios de dirección o sinuosidades hasta un punto fijo, que puede ser una estación de aforo o desembocadura.

Pendiente Media del Cauce Principal

Es la relación entre la diferencia de altitudes del cauce principal y la proyección horizontal del mismo. Su influencia en el comportamiento hidrológico se refleja en la velocidad de las aguas en el cauce, lo que a su vez determina la rapidez de respuesta de la cuenca ante eventos pluviales intensos y la capacidad erosiva de las aguas como consecuencia de su energía cinética. Se ha determinado la pendiente del cauce principal para cada una de las sub-cuencas más importantes.

Relieve de la Cuenca

El relieve de la cuenca se representa mediante la curva hipsométrica y puede ser cuantificado con parámetros que relacionan la altitud con la superficie de la cuenca. Los principales son el rectángulo equivalente, la altitud media de la cuenca y la pendiente media de la cuenca.

a) Altitud Media de la Cuenca (H):

La Altitud Media (H) de una cuenca es importante por la influencia que ejerce sobre la precipitación, sobre las pérdidas de agua por evaporación, transpiración y consecuentemente sobre el caudal medio. Se calcula midiendo el área entre los contornos de las diferentes altitudes características consecutivas de la cuenca; en la altitud media, el 50% del área está por encima de ella y el otro 50% por debajo de ella.

b) Rectángulo Equivalente:

Este parámetro de relieve consiste en una transformación geométrica que determina la longitud mayor y menor que tienen los lados de un rectángulo cuya área y perímetro son los correspondientes al área y perímetro de la cuenca.

$$L \times l = A(\text{km}^2)$$
$$2(L + l) = P(\text{km})$$

Donde:

L = Longitud del lado mayor del rectángulo equivalente (km)

l = Longitud del lado menor del rectángulo equivalente (km)

Parámetros de Drenaje

Es otra característica importante en el estudio de una cuenca, ya que manifiesta la eficiencia del sistema de drenaje en el escurrimiento resultante, es decir la rapidez con que desaloja la cantidad de agua que recibe.

El Sistema o Red de Drenaje de una cuenca está conformado por un curso de agua principal y sus tributarios; observándose por lo general, que cuanto más largo sea el curso de agua principal, más llena de bifurcaciones será la red de drenaje. La definición de los parámetros de drenaje se presenta a continuación:

Orden de Ríos

El orden de corrientes se determina de la siguiente manera: Una corriente de orden 1 es un tributario sin ramificaciones. Así dos corrientes de orden 1 forman una de orden 2, dos de orden 2 forman una 3, etc. Entre más corrientes tributarias tenga una cuenca, es decir mayor el grado de bifurcación de su sistema de drenaje, más rápida será su respuesta a la precipitación.

Frecuencia de los Ríos

Esta dado por el número total de ríos dividido con el área de la cuenca. Se mide en ríos/km².

Densidad de Drenaje

La Densidad de Drenaje (Dd), indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua: efímeros, intermitentes o perennes de una cuenca (Lt) y el área total de la misma (A).

La densidad de drenaje tiende a uno en ciertas regiones desérticas de topografía plana y terrenos arenosos, y a un valor alto en regiones húmedas, montañosas y de terrenos impermeables. Esta última situación es la más favorable, pues si una cuenca posee una red de drenaje bien desarrollada, la extensión media de los terrenos a través de los cuales se produce el escurrimiento superficial es corto y el tiempo en alcanzar los cursos de agua también será corto; por consiguiente, la intensidad de las precipitaciones influirá inmediatamente sobre el volumen de las descargas de los ríos.

Se define que:

$$Dd = \frac{L_t}{A} \quad (\text{Km} / \text{Km}^2)$$

Donde:

Lt: Suma de longitudes de todos los tributarios (incluye cauce principal) (km)

A: Área de la cuenca (km²)

Extensión Media del Escurrimiento

Indica la distancia media, en línea recta, que el agua precipitada tendrá que escurrir para llegar al lecho de un curso de agua.

Se tiene:

$$d = \frac{A}{4 L_t} \quad (m)$$

Tal como se adelantó líneas arriba se procedió con la creación de la red de drenaje y de las subcuencas del modelo agregado. A partir del Modelo Digital de Elevación se han generado otra serie de modelos digitales del terreno que serán utilizados en el presente estudio.

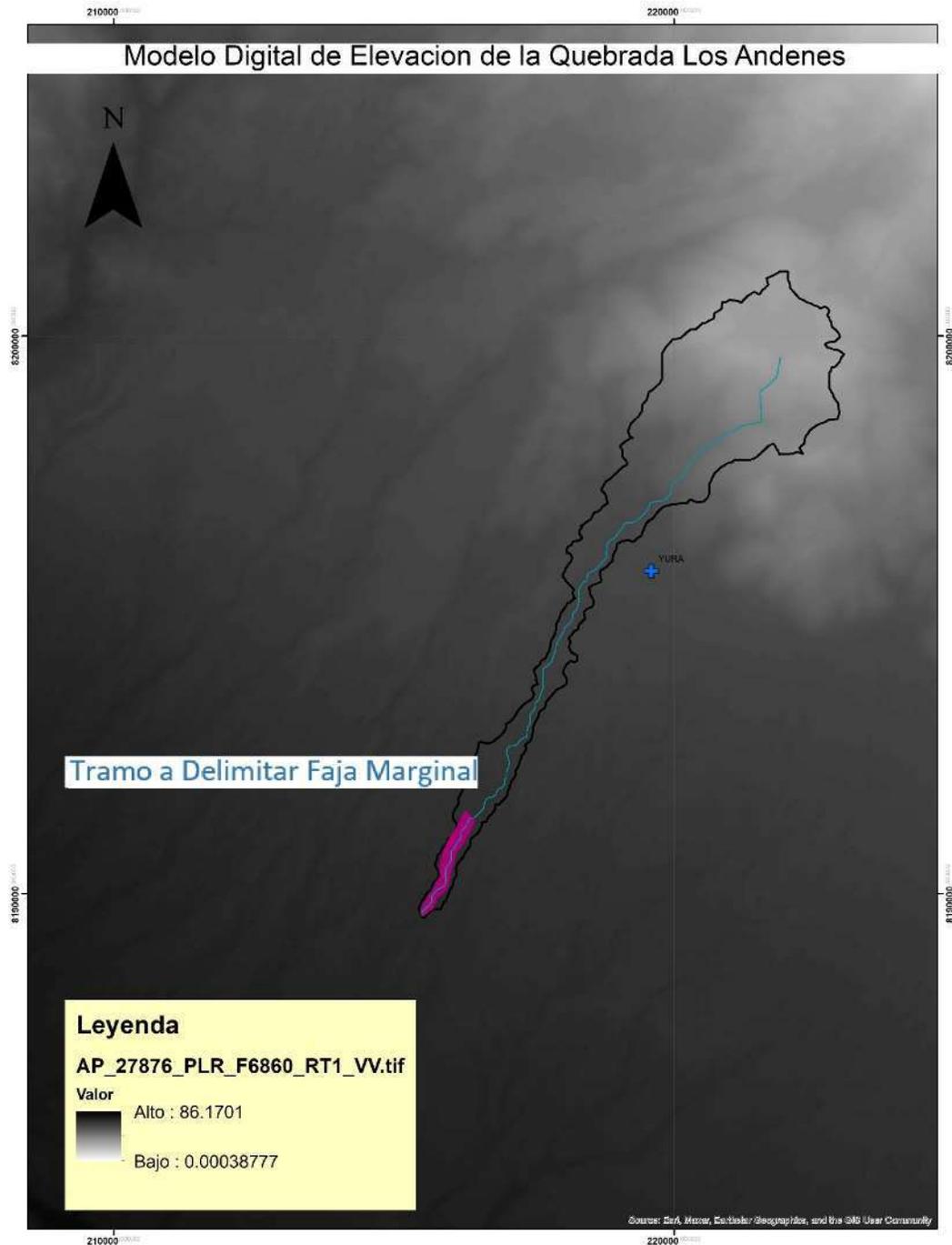
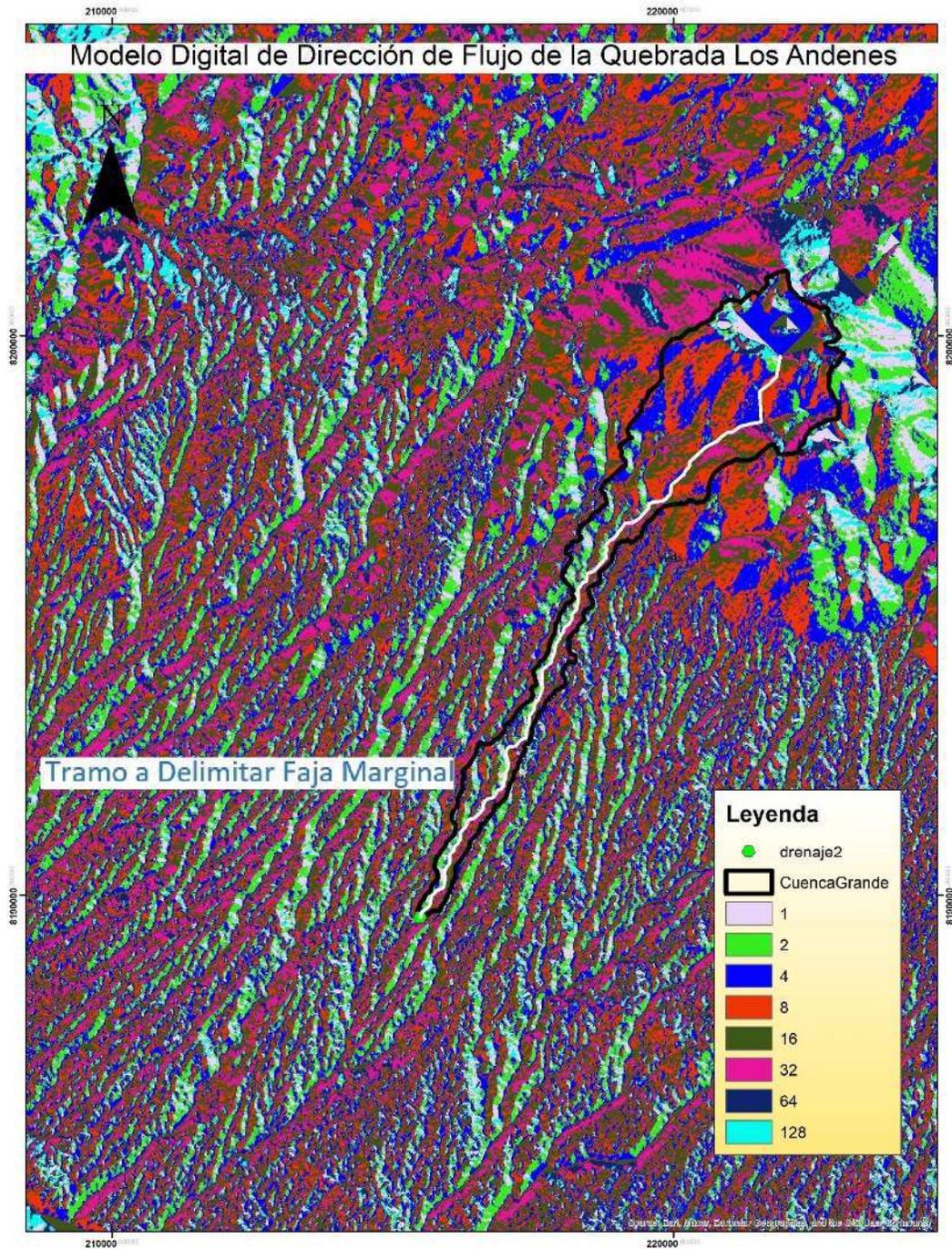


Ilustración 5 - Modelo de Elevación Digital Seleccionado. Fuente: ALOS PALSAR NASA

- Modelo digital de dirección de flujo (MDF). Se ha generado mediante la función **flow direction**, el cual utiliza el MDE para encontrar la dirección de mayor pendiente para cada celda y así determinar la dirección que seguirá el agua. Si la pendiente respecto a todas las celdas vecinas es la misma, la función aumenta la distancia de búsqueda hasta que se encuentra una pendiente mayor.

- Modelo digital de flujo acumulado (M DFA). Calcula el flujo acumulado en cada celda, generado a partir del peso acumulado de todas las celdas que drenan a ella según la dirección de flujo definida por el MDF. (**Función utilizada Flow Accumation**)



- Modelo digital de red hidrográfica (MDR). Se ha construido a partir del MDFA indicando un umbral mínimo de celdas a definirse. Esta función calcula una grilla de la corriente que contiene un valor de “1” para todas las celdas en la celda de la acumulación del flujo de la entrada que tiene un valor más grande que el umbral dado.

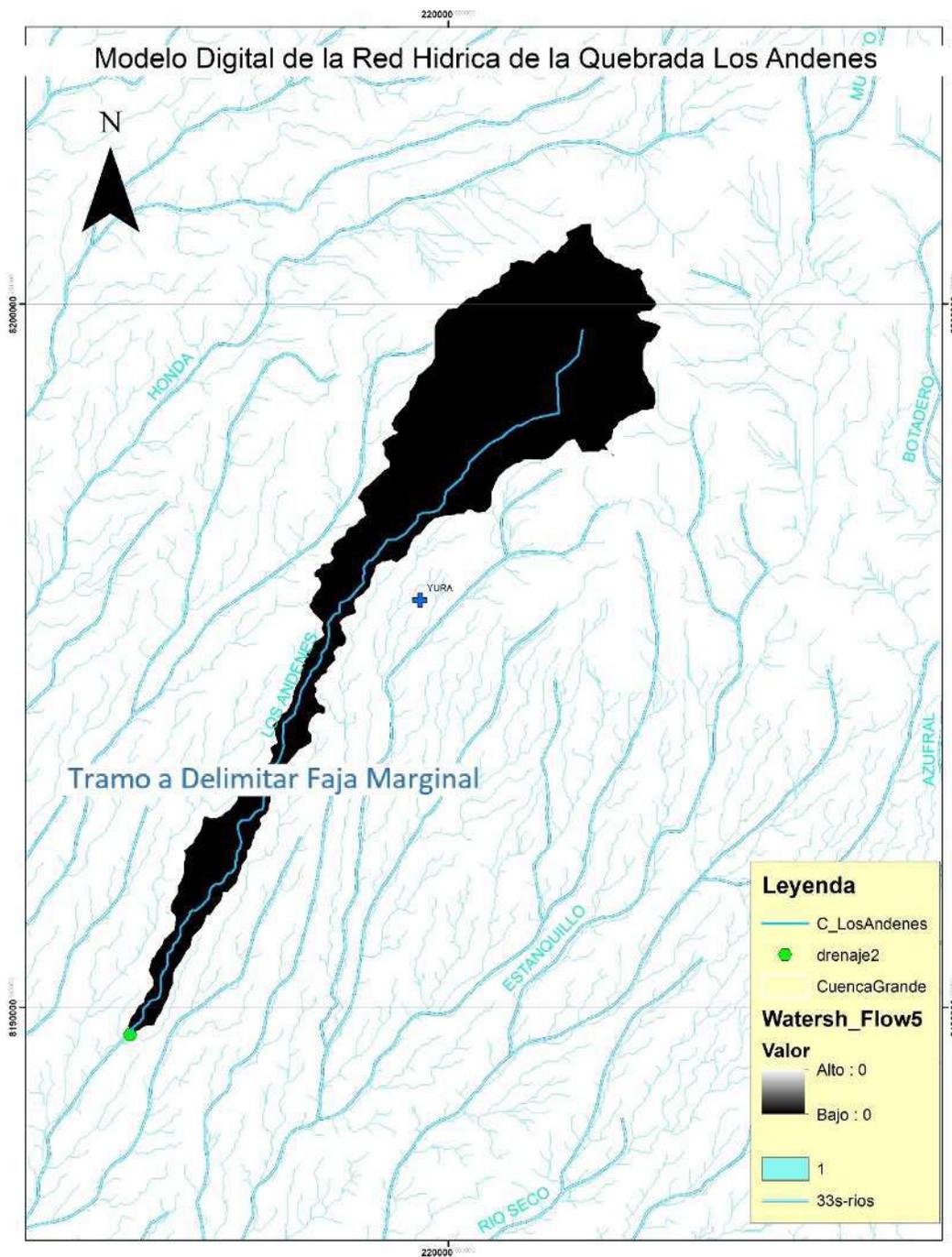


Ilustración 8 – Red Hídrica de la Quebrada Los Andenes

A través de estos procedimientos se ha culminado con la caracterización física de la Quebrada Los Andenes, y se detallará a continuación.

Microcuenca	Área (km ²)	Área (Ha)	Perímetro (km)	Longitud (km)	Kc
MC-Los Andenes	14.364	1436.4	33.64	10.0	2.485

Tabla 2 - Parámetros físicos de la Cuenca de la Quebrada Los Andenes

Fuente: Elaboración Propia.

3.1.2 Delimitación de subcuencas y puntos de drenaje de la zona de estudio

La simulación del proceso de transformación de lluvia en escorrentía en un modelo hidrológico se requiere la delimitación previa de las cuencas y red de drenaje; en consecuencia, habiéndose obtenido los parámetros de la cuenca, se procedió a definir la salida de la Quebrada Los Andenes (punto de drenaje), siendo ubicada esta, aguas abajo según el siguiente detalle:

Tabla 3 - Ubicación del Punto de Salida del Área de estudio (Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19S)

TRAMO	ESTE	NORTE
Punto de drenaje	215489.9691	8189605.8374

Fuente: Elaboración Propia

Habiéndose definido el área de influencia de la Quebrada Los Andenes, se determinará los caudales extremos en el tránsito de máximas avenidas.

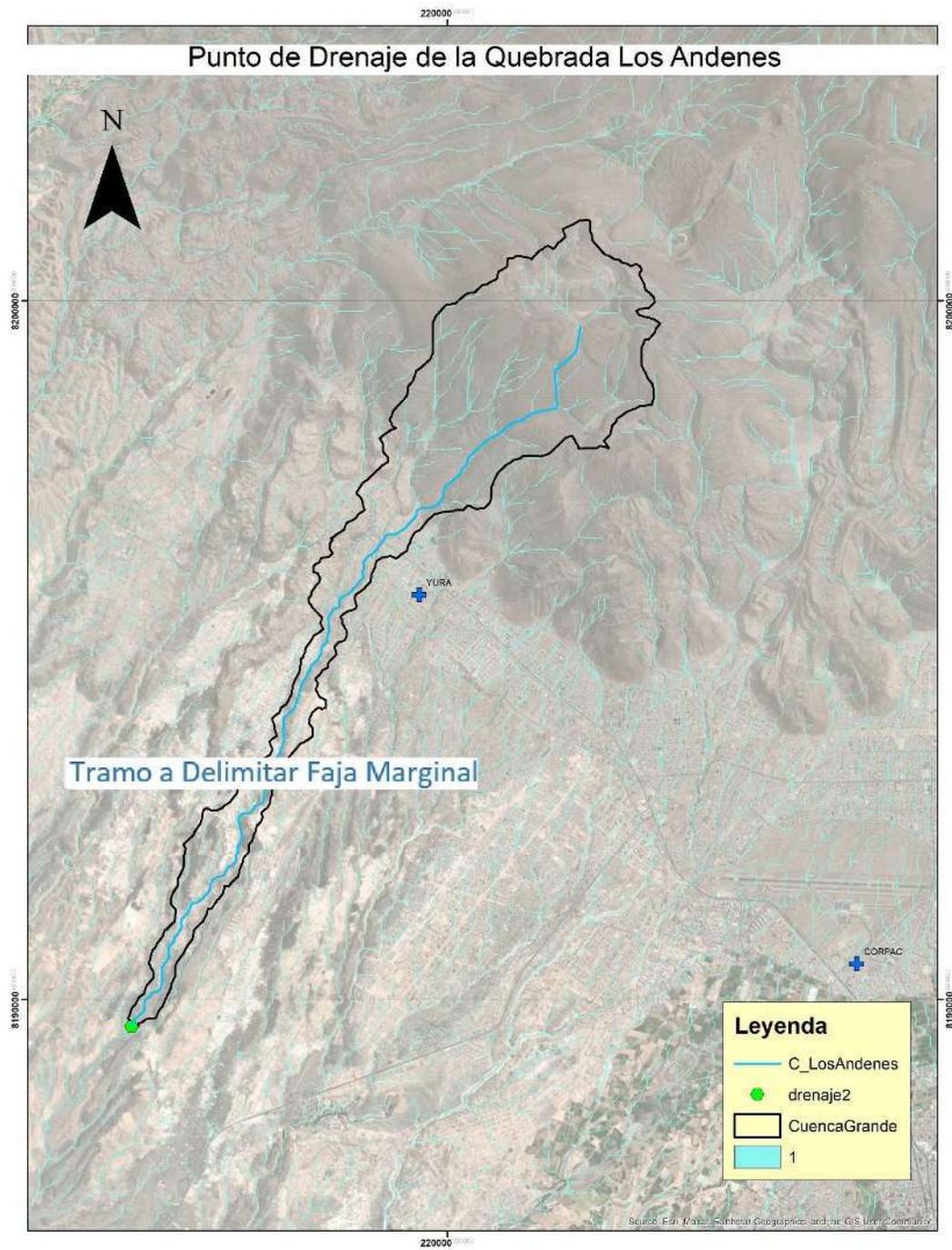


Ilustración 9 - Definición del punto de drenaje y área de Estudio requerida.

3.1.3 Parámetros físicos e hidrológicos de los Sectores definidos

De manera similar a la obtención de los parámetros físicos e hidrográficos de la Quebrada Los Andenes, a partir de los modelos generados se han extraído los parámetros de la cuenca y se mencionan a continuación:

El tiempo de concentración de una cuenca. -

Tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de salida, punto de desagüe o punto de cierre. Está determinado por el tiempo que tarda en llegar a la salida de la cuenca el agua que procede del punto hidrológicamente más alejado, y representa el momento a partir del cual el caudal de escorrentía es constante. El método seleccionado es de Kirpich, desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%).

$$T_c = 0.0195 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Dónde:

T_c = Tiempo de concentración (min)

L = Longitud del curso principal (m)

S = Pendiente media del curso principal

(m/m)

Tabla 4 - Parámetros de las Subcuencas: Tiempo de Concentración

Código Subcuenca	Longitud Cauce (Km)	Tc California(min)
M2-1	10.0	40.50

Fuente: Elaboración Propia

El tiempo de retardo-

El tiempo de concentración está relacionado con el tiempo de retardo por medio de la siguiente fórmula:

$$tr = 0.6 * tc$$

Existen asimismo tablas para estimar la velocidad media del agua en la zona externa al cauce en función de la pendiente de los suelos y la cubierta vegetal, y en función de la pendiente para el cauce principal.

Tabla 5 - Parámetros de las Subcuencas: Tiempo de retardo

Código Subcuenca	Tc(h)	Tr(min)
M2-1	0.67	24.30

Fuente: Elaboración Propia

3.1.4 Distribución en hietogramas de Precipitaciones máximas diarias

Un hietograma no es más que la distribución temporal de la intensidad o de la profundidad de una precipitación a lo largo de la duración del episodio tormentoso. Y es que con los modelos hidrológicos existentes en la actualidad no es suficiente conocer la precipitación máxima de una tormenta, si no se precisa saber cómo evoluciona esa precipitación a lo largo del tiempo.

Para ello se requiere poder distribuir a lo largo del tiempo de duración de la precipitación sus diferentes intensidades o profundidades. La intensidad se refiere a la precipitación por unidad de tiempo.

Las curvas IDF, combinan el trinomio Intensidades de precipitación, duración de la misma y la Frecuencia o probabilidad de recurrencia del episodio de la tormenta. Así, como resultado final se obtiene una curva para cada periodo de retorno en la que se relacionan datos de Intensidades de precipitación con Duraciones de lluvia.

Para Obtener las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia se deben seguir los siguientes pasos:

- a) Seleccionar las estaciones pluviométricas que inciden en la cuenca para recabar sus datos de pluviometría mensual de precipitación máxima total y máxima en 24h.**

Para la elaboración del estudio hidrológico se hará uso de la Hidrometeorología, entonces una vez delimitada la cuenca de estudio, se localizaron las estaciones meteorológicas asociadas a la microcuenca y posterior a esto, se realizó un breve análisis estadístico de los datos pluviométricos disponibles.

En la zona de estudio existe una estación pluviométrica, la cual cuentan con información de precipitación máxima en 24 horas de un periodo de 41 años. Esta información se obtuvo de los registros del Servicio Nacional de Hidrología y Meteorología (SENAMHI) y estudios proporcionados por La Autoridad Nacional del Agua (ANA) y el Ministerio de Agricultura, como se puede mostrar en la figura indicada líneas abajo, el mapa de isoyetas cuya fuente es el “Estudio preparatorio sobre el programa de protección de valles y poblaciones rurales y vulnerables ante inundaciones – JICA – Ministerio de Agricultura (2013)” nos señala que deberíamos emplear estaciones cercanas a la isoyeta 200, por lo cual emplearemos las estaciones resumidas en la tabla 15.

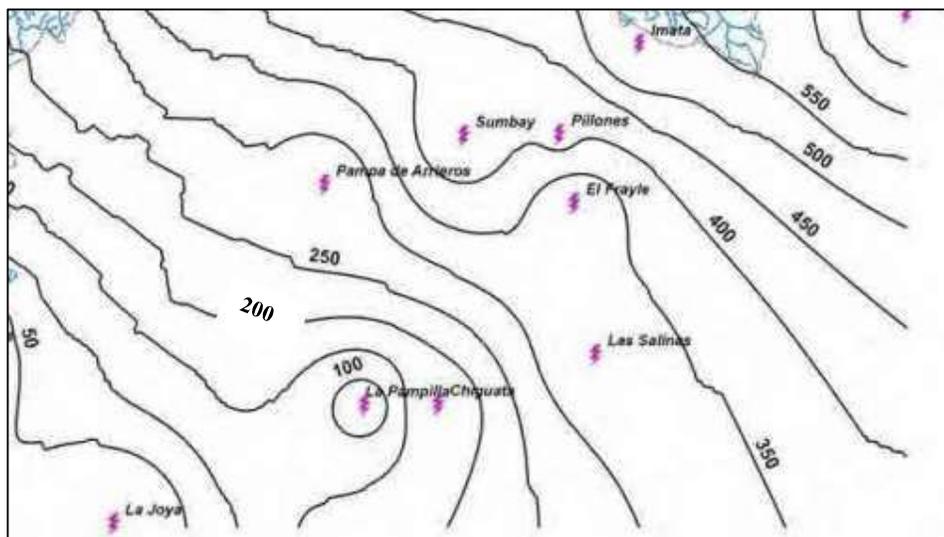


Ilustración 10 – Mapa de Isoyetas en la zona de estudio requerida.

Fuente: Estudio preparatorio sobre el programa de protección de valles y poblaciones rurales y vulnerables ante inundaciones – JICA – Ministerio de Agricultura (2013)

Tabla 6 - Red de estaciones Pluviométricas seleccionadas

Ítems	Estaciones	Longitud	Latitud	Altitud	Periodos de Registros
1	Alfredo Rodríguez Ballón	225854.7	8190496.9	2540	1977-2017

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7 - Precipitaciones Máximas en 24 horas

N°	Año	EM Alfredo Rodríguez
1	1977	26.29
2	1978	9.91
3	1979	7.87
4	1980	7.11
5	1981	6.10
6	1982	46.99
7	1983	2.03
8	1984	73.91
9	1985	14.99
10	1986	24.38
11	1987	24.89
12	1988	9.91
13	1989	24.89
14	1990	5.08
15	1991	20.07
16	1992	4.06
17	1993	11.94

18	1994	30.99
19	1995	82.04
20	1996	75.95
21	1997	76.96
22	1998	64.01
23	1999	59.94
24	2000	75.95
25	2001	22.10
26	2002	28.96
27	2003	59.94
28	2004	9.91
29	2005	5.08
30	2006	9.91
31	2007	9.91
32	2008	23.11
33	2009	25.91
34	2010	6.10
35	2011	23.88
36	2012	23.88
37	2013	44.96
38	2014	7.11
39	2015	23.88
40	2016	37.08
41	2017	43.94

Fuente: Elaboración Propia

La distribución de la precipitación se hizo para la totalidad del área de estudio, teniendo en cuenta que la estación indicada es la más cercanas al ámbito de estudio, por lo cual la precipitación promedio seguirá siendo la misma, siendo este método el más simple para determinar la lluvia promedio sobre un área.

La precipitación varía en el espacio y en el tiempo de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y con factores locales. Se trata de establecer un valor medio conveniente a partir de datos conjugados de las precipitaciones pluviométricas de la cuenca y para su estimación se ha realizado un estudio con la participación de tres estaciones: AGUADA BLANCA, CHIGUATA Y CORPAC.

$$P = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n P_i$$

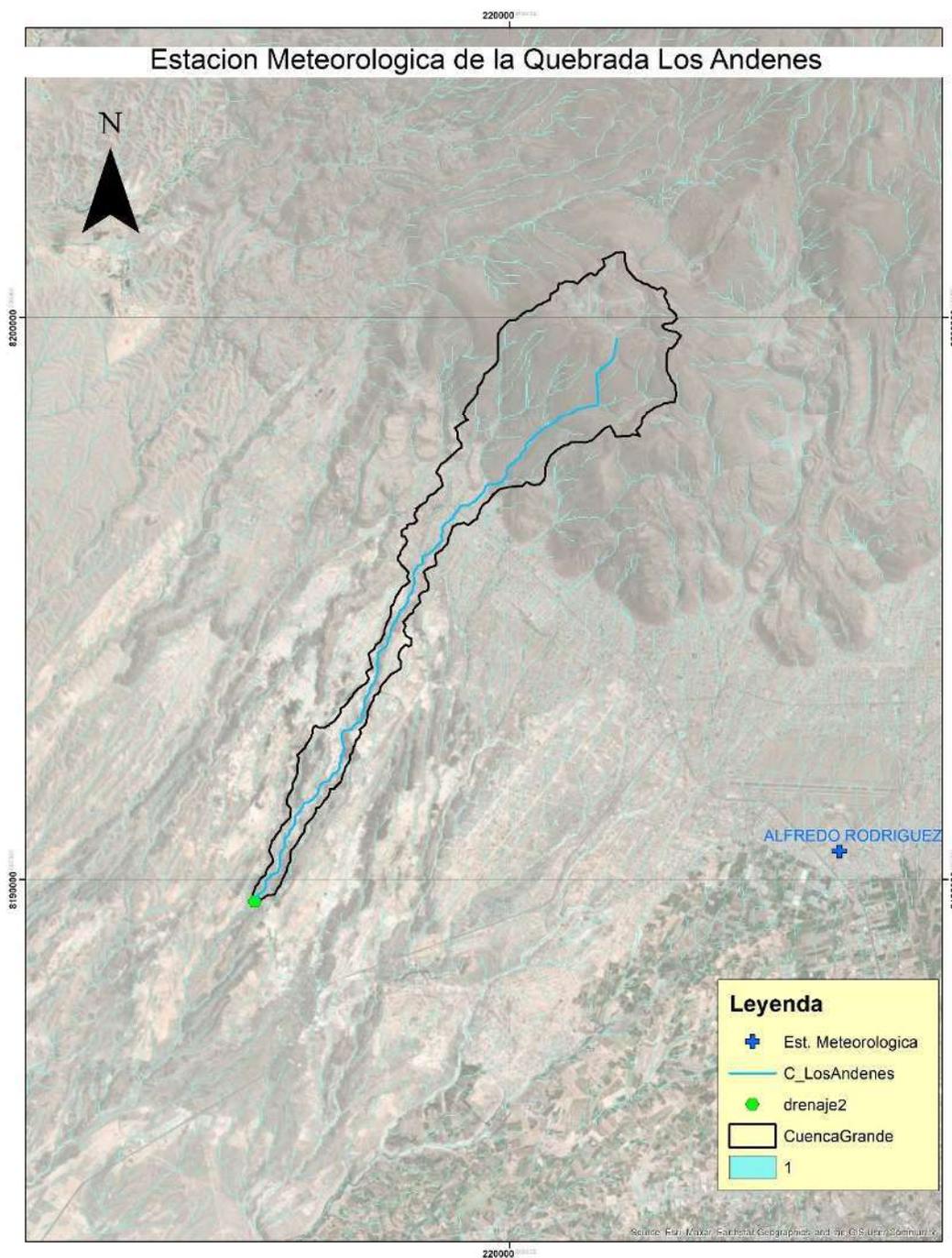


Ilustración 111 - Estaciones Pluviométricas utilizadas en el presente Estudio.

De acuerdo a la Resolución Jefatural 332-2016-ANA, la determinación de los caudales máximos se realiza con información estadística de por lo menos 20 años, y que no se deberán considerar valores de los caudales máximos por efecto de eventos extraordinarios.

b) Prueba de Datos Dudosos

En esta parte primero se realizó una prueba de datos dudosos y el análisis estadístico con la ayuda del software Hidroesta de Máximo Villon Béjar. Los datos dudosos (outliers) son puntos de información que se alejan significativamente de la tendencia de la información restante. La retención o eliminación de estos datos puede afectar significativamente la magnitud de los parámetros estadísticos calculados para la información, especialmente en muestras pequeñas. Para esta prueba se utilizó el método del Water Resources Council (1981).

Se tienen las siguientes ecuaciones que se usan para detectar datos dudosos altos y bajos:

$$yH = \bar{y} + K_n S_y$$

$$yL = \bar{y} - K_n S_y$$

Donde:

yH : Banda superior de los logaritmos de los valores de caudales o precipitaciones.

yL : Banda inferior de los logaritmos de los valores de caudales o precipitaciones.

y : Media aritmética de los logaritmos de los valores caudales o precipitaciones.

Kn : Coeficiente que depende del tamaño de la muestra caudales o precipitaciones.

Sy : Desviación estándar de los logaritmos de los valores caudales o precipitaciones.

Tamaño de muestra <i>n</i>	<i>K_n</i>						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Ilustración 123 - Valores de *Kn* para datos dudosos.

Fuente: Hidrología aplicada (Ven Te Chow, 1994)

La metodología utilizada implica los siguientes pasos: primero, se calculan los logaritmos de las precipitaciones y se registran en una tabla. Luego, en una nueva tabla se calculan los estadísticos descriptivos necesarios para determinar los límites de los datos dudosos. Finalmente, se obtiene una serie de datos válidos ordenados para el análisis de precipitación.

Tabla 8 - Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

Año	PPmax (mm)	Log (PPmax)
1977	26.29	1.42
1978	9.91	1.00
1979	7.87	0.90
1980	7.11	0.85
1981	6.10	0.79
1982	46.99	1.67
1983	2.03	0.31
1984	73.91	1.87
1985	14.99	1.18
1986	24.38	1.39
1987	24.89	1.40
1988	9.91	1.00
1989	24.89	1.40
1990	5.08	0.71
1991	20.07	1.30
1992	4.06	0.61
1993	11.94	1.08
1994	30.99	1.49
1995	82.04	1.91
1996	75.95	1.88
1997	76.96	1.89
1998	64.01	1.81
1999	59.94	1.78
2000	75.95	1.88
2001	22.10	1.34
2002	28.96	1.46
2003	59.94	1.78
2004	9.91	1.00
2005	5.08	0.71
2006	9.91	1.00
2007	9.91	1.00
2008	23.11	1.36
2009	25.91	1.41
2010	6.10	0.79
2011	23.88	1.38
2012	23.88	1.38
2013	44.96	1.65
2014	7.11	0.85
2015	23.88	1.38
2016	37.08	1.57

2017	43.94	1.64
------	-------	------

La siguiente tabla resume los estadísticos descriptivos de las precipitaciones:

Parámetros	Muestrales	Muestrales Log
Numero de datos	41	41
Sumatoria	1191.92	53.17
Valor máximo	82.04	1.91
Valor mínimo	2.03	0.31
Media	29.0712	1.298
Varianza	577.9831	0.169
Desviación Estándar	24.0413	0.412
Coficiente Variación	0.827	0.317
Coficiente de Sesgo	0.9584	-0.300
Coficiente de Curtosis	2.8847	2.499

De lo cual se obtuvieron los parámetros de outliers:

n	41
Kn	2.692

Umbral de Datos Dudosos Altos

$$y_H = 1.298 + 2.692 * 0.412$$

$$y_H = 2.406$$

$$Y_H = \bar{Y} + K_n * S_Y$$

Precipitación Máxima Aceptada

$$P_H = 10^{y_H}$$

$$P_H = 254.70 \text{ mm}$$

Entonces se verifica que NO existe un dato "outlier bajo".

Umbral de Datos Dudosos Bajos

$$y_L = 1.298 - 2.692 * 0.412$$

$$y_L = 0.190$$

$$Y_L = \bar{Y} - K_n * S_Y$$

Precipitación Mínima Aceptada

$$P_L = 10^{y_L}$$

$$P_L = 1.55 \text{ mm}$$

Entonces se verifica que NO existe un dato "outlier bajo".

Así mismo, también se calculará:

- Las precipitaciones máximas diarias probables en función de la duración del episodio de precipitación y el periodo de retorno.
- Las intensidades de precipitación en mm/h a partir de los anteriores

Una vez calculadas las intensidades máximas horarias de precipitación para cada estación y para cada año, fue necesario asignar a cada duración de lluvia seleccionada un período de retorno, para luego ajustar dichos valores a la Función de Distribución de Probabilidad de valor extremo tipo I. Luego con el soporte del Software Hidroesta 2, fue posible calcular todas las distribuciones de probabilidad para la serie de datos del presente estudio.

Modelos de Distribución: Normal

La función de densidad de la probabilidad normal está dada por la siguiente ecuación:

$$f(x) = \frac{1}{S\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{S}\right)^2}$$

Donde:

f(x) = Función densidad normal de la variable *x*
x = Variable Independiente
μ = Parámetro de localización, igual a la media aritmética de *x*
S = Parámetro de escala, igual a la desviación estándar de *x*

Ajuste con momentos ordinarios:

Como el delta teórico 0.1889, es menor que el delta tabular 0.2124. Los datos se ajustan a la distribución Normal, con un nivel de significación del 5%

Parámetros de la distribución normal:

Con momentos ordinarios:

Parámetro de localización (Xm)= 29.0712

Parámetro de escala (S)= 24.0413

Con momentos lineales:

Media lineal (Xl)= 29.0712

Desviación estándar lineal (Sl)= 23.2547

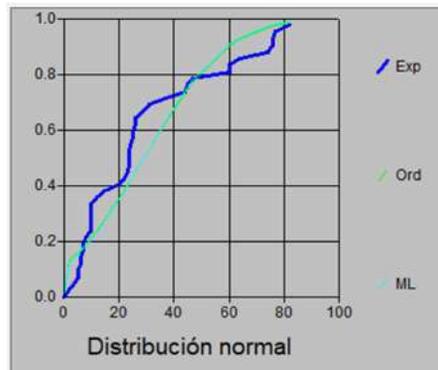


Tabla 9 - Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel

m	X	P(X)	F(Z) Ordinario	F(Z) Mom Lineal	Delta
1	2.03	0.0238	0.1303	0.1225	0.1065
2	4.06	0.0476	0.1491	0.1411	0.1015
3	5.08	0.0714	0.1592	0.1511	0.0877
4	5.08	0.0952	0.1592	0.1511	0.0639
5	6.1	0.119	0.1697	0.1616	0.0506
6	6.1	0.1429	0.1697	0.1616	0.0268
7	7.11	0.1667	0.1805	0.1725	0.0138
8	7.11	0.1905	0.1805	0.1725	0.01
9	7.87	0.2143	0.1889	0.181	0.0254
10	9.91	0.2381	0.2127	0.205	0.0254
11	9.91	0.2619	0.2127	0.205	0.0492
12	9.91	0.2857	0.2127	0.205	0.073
13	9.91	0.3095	0.2127	0.205	0.0968
14	9.91	0.3333	0.2127	0.205	0.1206
15	11.94	0.3571	0.2381	0.2307	0.1191
16	14.99	0.381	0.279	0.2724	0.1019
17	20.07	0.4048	0.3541	0.3494	0.0507
18	22.1	0.4286	0.3859	0.3822	0.0427
19	23.11	0.4524	0.4021	0.3988	0.0503
20	23.88	0.4762	0.4145	0.4117	0.0617
21	23.88	0.5	0.4145	0.4117	0.0855
22	23.88	0.5238	0.4145	0.4117	0.1093
23	24.38	0.5476	0.4226	0.4201	0.125
24	24.89	0.5714	0.431	0.4287	0.1405
25	24.89	0.5952	0.431	0.4287	0.1643
26	25.91	0.619	0.4477	0.4459	0.1714
27	26.29	0.6429	0.454	0.4524	0.1889
28	28.96	0.6667	0.4982	0.4981	0.1685
29	30.99	0.6905	0.5318	0.5329	0.1587
30	37.08	0.7143	0.6305	0.6347	0.0838
31	43.94	0.7381	0.7319	0.7387	0.0062
32	44.96	0.7619	0.7457	0.7528	0.0162
33	46.99	0.7857	0.772	0.7795	0.0137
34	59.94	0.8095	0.9004	0.9078	0.0909
35	59.94	0.8333	0.9004	0.9078	0.0671
36	64.01	0.8571	0.9269	0.9335	0.0698
37	73.91	0.881	0.9689	0.9731	0.088

38	75.95	0.9048	0.9744	0.9781	0.0696
39	75.95	0.9286	0.9744	0.9781	0.0458
40	76.96	0.9524	0.9768	0.9803	0.0244
41	82.04	0.9762	0.9862	0.9886	0.01

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 10 - Calculo de Precipitaciones diarias máximas probables asociados a distintos periodos de retorno

<i>Periodo Retorno</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Precipitación Dist. Normal</i>
<i>Años</i>	<i>Adimens.</i>	<i>Milímetros</i>
200	0.005	102.84
100	0.010	96.06
50	0.020	88.66
25	0.040	80.42
10	0.100	67.68
5	0.200	55.70
2	0.500	32.85

Tabla 11 - Precipitaciones máximas probables para diferentes tiempos de duración de lluvias

Tiempo de Duración	Cociente	Precipitación máxima Pd (mm) por tiempos de duración						
		2 años	5 años	10 años	25 años	50 años	100 años	500 años
24 hr	X24	32.8491	55.7090	67.6757	80.4221	88.6598	96.0613	102.8413
18 hr	X18 = 91%	29.8927	50.6952	61.5849	73.1841	80.6804	87.4158	93.5856
12 hr	X12 = 80%	26.2793	44.5672	54.1406	64.3377	70.9278	76.8490	82.2730
8 hr	X8 = 68%	22.3374	37.8821	46.0195	54.6870	60.2887	65.3217	69.9321
6 hr	X6 = 61%	20.0380	33.9825	41.2822	49.0575	54.0825	58.5974	62.7332
5 hr	X5 = 57%	18.7240	31.7541	38.5751	45.8406	50.5361	54.7549	58.6195
4 hr	X4 = 52%	17.0815	28.9687	35.1914	41.8195	46.1031	49.9519	53.4775
3 hr	X3 = 46%	15.1106	25.6261	31.1308	36.9942	40.7835	44.1882	47.3070
2 hr	X2 = 39%	12.8111	21.7265	26.3935	31.3646	34.5773	37.4639	40.1081
1 hr	X1 = 30%	9.8547	16.7127	20.3027	24.1266	26.5979	28.8184	30.8524

Fuente: Elaboración Propia

c) Tratamiento matemático de las intensidades obtenidas mediante regresiones lineales múltiples para cada periodo de retorno y regresión potencial para el conjunto de ellos

Una vez hecho el ajuste con la función de distribución de probabilidad Normal, se procedió a graficar la intensidad de precipitación y la duración, de modo de obtener los puntos de la curva asociada a un período de retorno de 2, 5, 10, 25, 50,100, 200 años, y para cada una de las estaciones pluviográficas.

Representación matemática de las curvas Intensidad - Duración - Período de retorno:

$$I = \frac{K \cdot T^m}{t^n}$$

En la cual:

I = Intensidad (mm/hr)
 t = Duración de la lluvia (min)
 T = Período de retorno (años)
 K, m, n = Parámetros de ajuste

Realizando un cambio de variable:

$$d = K \cdot T^m$$

Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \Rightarrow I = d \cdot t^{-n}$$

Tabla 12 - Regresiones IDF para TR: 50 años.

Período de retorno para T = 50 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	3.4788	7.2724	1.2467	9.0665	52.8878
2	1080	4.2210	6.9847	1.4401	10.0585	48.7863
3	720	5.5661	6.5793	1.7167	11.2946	43.2865
4	480	7.0968	6.1738	1.9596	12.0984	38.1156
5	360	8.4883	5.8861	2.1387	12.5886	34.6462
6	300	9.5181	5.7038	2.2532	12.8517	32.5331
7	240	10.8539	5.4806	2.3845	13.0687	30.0374
8	180	12.8021	5.1930	2.5496	13.2400	26.9668
9	120	16.2809	4.7875	2.7900	13.3571	22.9201
10	60	25.0476	4.0943	3.2208	13.1870	16.7637
10	4980	103.3536	58.1555	21.6999	120.8110	346.9435
Ln (d) =	5.7546	d =	315.6431	n =	-0.6164	

Fuente: Elaboración Propia

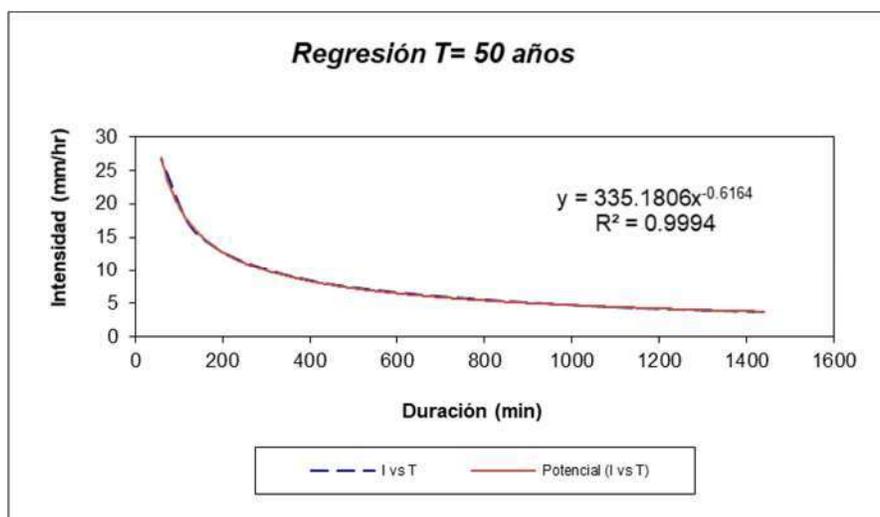


Ilustración 132 - Regresiones IDF para TR: 50 años.

Tabla 13 - Regresiones IDF para TR: 100 años.

Periodo de retorno para T = 100 años						
Nº	x	y	ln x	ln y	ln x*ln y	(lnx)^2
1	1440	4.0026	7.2724	1.3869	10.0863	52.8878
2	1080	4.8564	6.9847	1.5803	11.0380	48.7863
3	720	6.4041	6.5793	1.8569	12.2173	43.2865
4	480	8.1652	6.1738	2.0999	12.9642	38.1156
5	360	9.7662	5.8861	2.2789	13.4140	34.6462
6	300	10.9510	5.7038	2.3934	13.6516	32.5331
7	240	12.4880	5.4806	2.5248	13.8373	30.0374
8	180	14.7294	5.1930	2.6898	13.9683	26.9668
9	120	18.7320	4.7875	2.9302	14.0285	22.9201
10	60	28.8184	4.0943	3.3610	13.7611	16.7637
10	4980	118.9132	58.1555	23.1023	128.9666	346.9435
Ln (d) =	5.8948	d =	363.1622	n =	-0.6164	

Fuente: Elaboración Propia

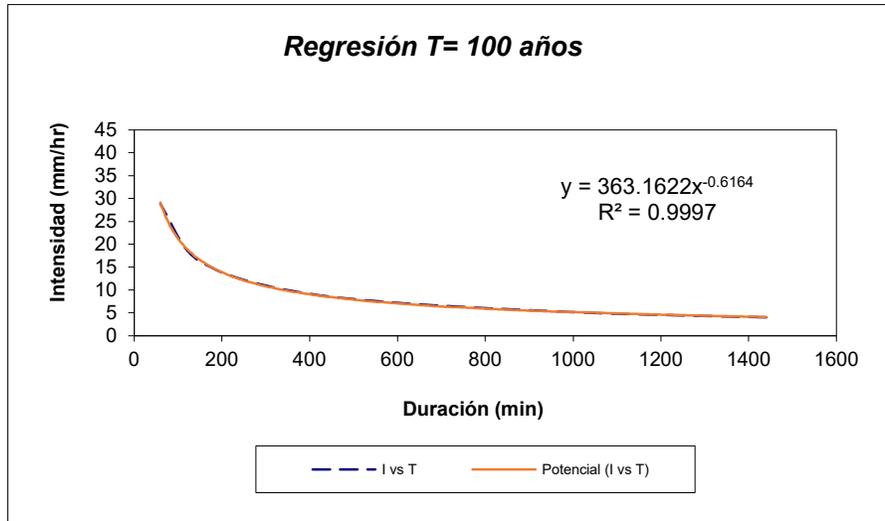


Ilustración 14 - Regresiones IDF para TR: 100 años.

d) Obtención de la ecuación que define la curva IDF para cada periodo de retorno en función de la duración del episodio de precipitación y grafiado de la curva.

En función del cambio de variable realizado, se realiza otra regresión de potencia entre las columnas del periodo de retorno (T) y el término constante de regresión (d), para obtener valores de la ecuación:

$$d = K \cdot T^m$$

Termino constante de regresión (K): 132.4829
 Coeficiente de regresión (m) 0.226480

La ecuación de intensidad válida para la Quebrada Los Andenes, resulta:

$$I = \frac{132.4829 \cdot T^{0.226480}}{t^{0.61639}}$$

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)
 T = Periodo de Retorno (años)
 t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Tabla 14 - Intensidades de Precipitaciones máximas

Tabla de intensidades - Tiempo de duración												
Frecuencia años	Duración en minutos											
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
2	57.48	37.49	29.20	24.46	21.31	19.05	17.32	15.95	14.84	13.90	13.11	12.43
5	70.73	46.14	35.94	30.10	26.23	23.44	21.32	19.63	18.26	17.11	16.13	15.29
10	82.76	53.98	42.04	35.21	30.69	27.43	24.94	22.97	21.36	20.02	18.88	17.89
25	101.84	66.43	51.74	43.33	37.77	33.75	30.69	28.27	26.29	24.63	23.23	22.02
50	119.15	77.72	60.54	50.70	44.18	39.49	35.91	33.07	30.76	28.82	27.18	25.76
100	139.41	90.94	70.83	59.32	51.70	46.20	42.01	38.69	35.98	33.72	31.80	30.14
200	163.10	106.39	82.86	69.40	60.48	54.05	49.15	45.27	42.10	39.45	37.20	35.26

Fuente: Elaboración Propia

Curvas IDF de la cuenca

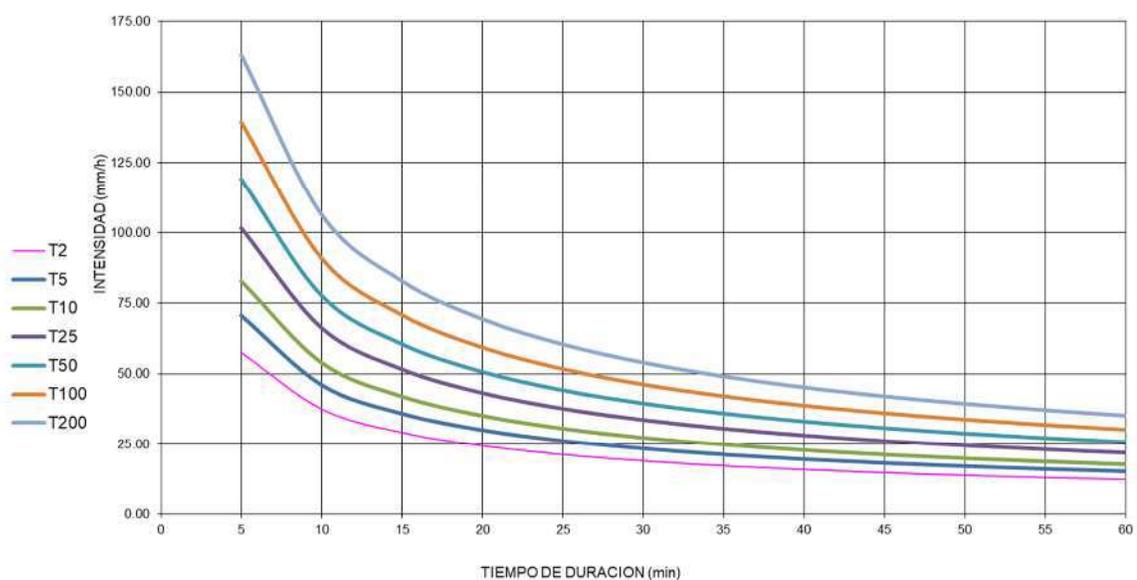


Ilustración 15 - Curva de Intensidad Duración y Frecuencia

e) Obtención del Hietograma

Determinada la duración de la tormenta, expresada a través del tiempo de concentración de la cuenca, se obtuvo hietogramas a partir de curvas IDF de acuerdo a la siguiente metodología descrita:

- Dividir el tiempo de duración en intervalos de tiempo Δt

- Seleccionar el periodo de retorno del cual se va obtener el hietograma
- Obtener la curva IDF los valores de intensidad de precipitación para cada intervalo Δt , $2\Delta t$, $3\Delta t$,..., hasta el término de la duración total de la precipitación
- Calcular la profundidad o volumen de precipitación caída en cada intervalo, multiplicando la intensidad por la duración del intervalo (en horas)
- Restar los valores sucesivos de profundidad de precipitación (en mm) calculados anteriormente.
- Reordenar los resultados de manera que el mayor valor esté en medio de la serie, y se vayan alternando en orden descendente alternativamente a lado de ese máximo

Determinado el hietograma de la estación relevante, es necesario asignar la precipitación a la microcuenca. Para lo cual se utilizará la fórmula de California por ser la que mejor se ajusta a la realidad y caracterización de la microcuenca en estudio en la Quebrada Los Andenes:

Tiempo de concentración de la cuenca (Fórmula California)

L cauce ppal = 10 km
 Pendiente = 0.18 m/m

Tiempo concentración = 0.75207997 h

Tiempo de duración de la tormenta = 3 h 180 min

$$T_c = 0.3 \left(\frac{L}{S_o^{0.25}} \right)^{0.75}$$

Curvas IDF de la cuenca

$$I = \frac{0.226480 \cdot 132.4829 \cdot T}{0.61639 \cdot t}$$

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)

T = Periodo de Retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Ilustración 16 - Reemplazo de fórmula de Intensidad con información de la microcuenca en estudio.

Tabla 15 – Métodos para el calculo del tiempo de concentración

MÉTODO Y FECHA	FÓRMULA PARA t_c (minutos)	OBSERVACIONES
Kirpich (1940)	$t_c = 0.01947 L^{0.77} S^{-0.385}$ <p>L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m. S = pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>	Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar t_c por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ <p>L = longitud del curso de agua más largo, m. H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.</p>	Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.

En la tabla siguiente se resume el cálculo de los tiempos de concentración a través de diversas metodologías, verificándose la correlación existente entre los métodos de Kirpich y California, siendo esta última la elegida para este estudio.

MICRO-CUENCA	Longitud (m)	Cota Final	Cota Inicial	Desnivel(m)	California Tc (min)	Kirpich Tc (min)	SCS (min)
Microcuenca 2-1	10000	3945	2174	1771	40.50	41.00	72.36

f) Coeficiente de Escorrentía

Es la relación que existe entre el caudal que discurre por una superficie y en caudal total de precipitación. Este coeficiente nos sirve para determinar el caudal de diseño, y juega un papel importante ya que en este se resumen la evaporación, evapotranspiración, almacenamiento, o infiltración.

El valor del coeficiente de escorrentía se establecerá de acuerdo a las características hidrológicas y geomorfológicas de las quebradas y se determina con el soporte de la tabla N° 16 teniendo en cuenta los resultados de las características de la microcuenca.

Tabla 16 – Coeficientes de escorrentía Método Racional - Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2013

COBERTURA VEGETAL	TIPO DE SUELO	PENDIENTE DEL TERRENO				
		PRONUNCIADA	ALTA	MEDIA	SUAVE	DESPRECIABLE
		> 50%	> 20%	> 5%	> 1%	< 1%
Sin vegetación	Impermeable	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60
	Semipermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Permeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
Cultivos	Impermeable	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
	Semipermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Permeable	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20
Pastos, vegetación ligera	Impermeable	0,65	0,60	0,55	0,50	0,45
	Semipermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Permeable	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15
Hierba, grama	Impermeable	0,60	0,55	0,50	0,45	0,40
	Semipermeable	0,50	0,45	0,40	0,35	0,30
	Permeable	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10
Bosques, densa vegetación	Impermeable	0,55	0,50	0,45	0,40	0,35
	Semipermeable	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
	Permeable	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05

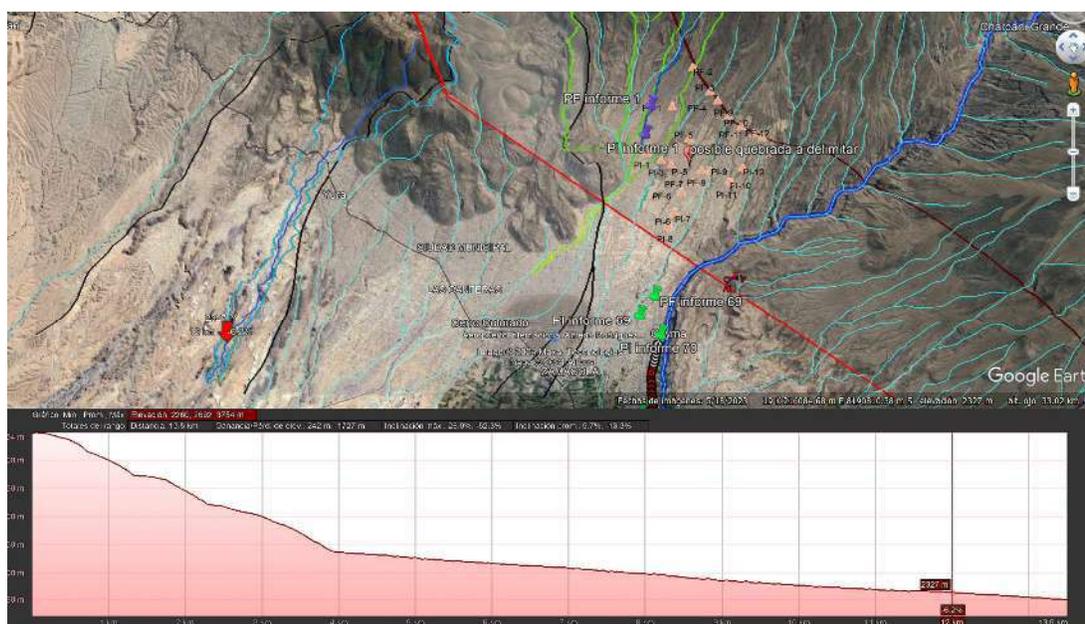


Ilustración 173 – Perfil Longitudinal grafico de la microcuenca - Quebrada Los Andenes

Para la estimación de caudales se utilizará el método racional modificado por el Modelo de Témez por la caracterización de la cuenca y principalmente por tratarse de una microcuenca pequeña. Luego de realizar el prorrato con los tipos de cobertura en la zona de estudio se determinó que el coeficiente de escorrentía más adecuado será de 0.25.

Microcuenca	Coefficiente de Escorrentía
Los Andenes	0.25

Tabla 17 – Obtención de Hietograma para un Periodo de Retorno de 50 años.

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 50 AÑOS		180 min				
Duración de la tormenta (h)	3					
Intensidad de lluvia (mm/h)	13.09					
Precipitación en 24 horas (mm)	39.26					
Intervalos de tiempo (min)	5					
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	119.15	9.93	9.93	119.15	0.43	5.15
10	77.72	12.95	3.02	36.29	0.45	5.35
15	60.54	15.13	2.18	26.16	0.46	5.56
20	50.70	16.90	1.77	21.19	0.48	5.80
25	44.18	18.41	1.51	18.12	0.51	6.06
30	39.49	19.74	1.33	16.00	0.53	6.36
35	35.91	20.95	1.20	14.43	0.56	6.71
40	33.07	22.05	1.10	13.21	0.59	7.10
45	30.76	23.07	1.02	12.23	0.63	7.57
50	28.82	24.02	0.95	11.42	0.68	8.12
55	27.18	24.91	0.89	10.73	0.73	8.79
60	25.76	25.76	0.85	10.15	0.80	9.64
65	24.52	26.56	0.80	9.64	0.89	10.73
70	23.42	27.33	0.77	9.19	1.02	12.23
75	22.45	28.06	0.73	8.79	1.20	14.43
80	21.57	28.76	0.70	8.44	1.51	18.12
85	20.78	29.44	0.68	8.12	2.18	26.16
90	20.06	30.09	0.65	7.83	9.93	119.15
95	19.40	30.72	0.63	7.57	3.02	36.29
100	18.80	31.33	0.61	7.33	1.77	21.19
105	18.24	31.93	0.59	7.10	1.33	16.00
110	17.73	32.50	0.57	6.90	1.10	13.21
115	17.25	33.06	0.56	6.71	0.95	11.42
120	16.80	33.60	0.54	6.53	0.85	10.15
125	16.38	34.13	0.53	6.36	0.77	9.19
130	15.99	34.65	0.52	6.21	0.70	8.44
135	15.63	35.16	0.51	6.06	0.65	7.83
140	15.28	35.65	0.49	5.93	0.61	7.33
145	14.95	36.13	0.48	5.80	0.57	6.90
150	14.64	36.61	0.47	5.68	0.54	6.53
155	14.35	37.07	0.46	5.56	0.52	6.21
160	14.07	37.52	0.45	5.45	0.49	5.93
165	13.81	37.97	0.45	5.35	0.47	5.68
170	13.56	38.41	0.44	5.25	0.45	5.45
175	13.32	38.84	0.43	5.15	0.44	5.25
180	13.09	39.26	0.42	5.06	0.42	5.06

Fuente: Elaboración Propia

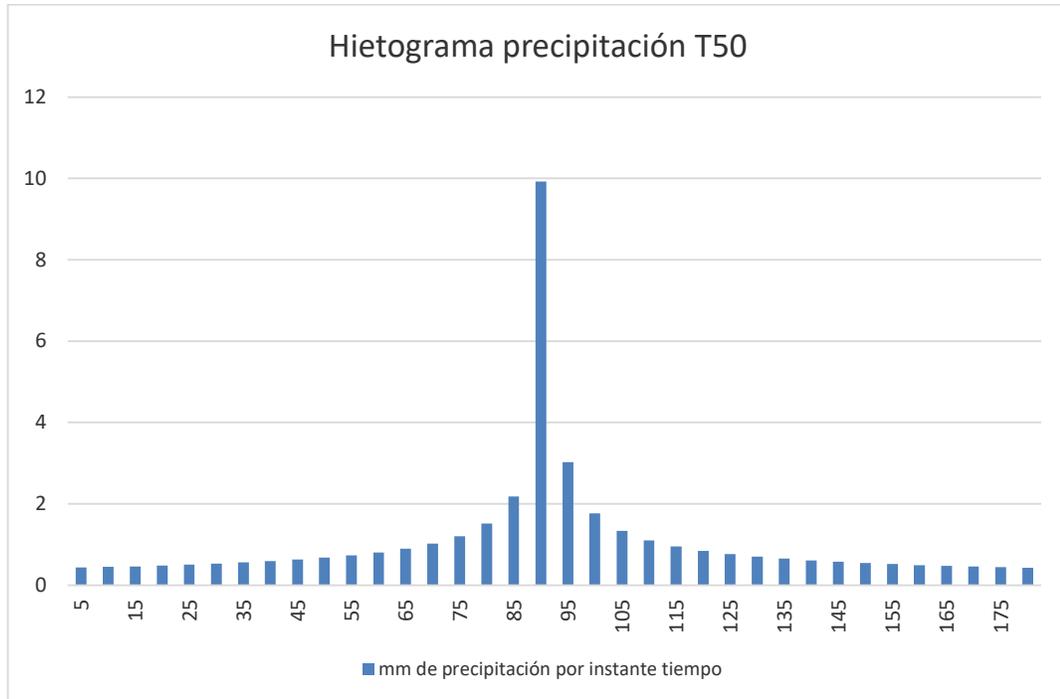


Ilustración 18 - Hietograma de TR: 50 años para la subcuenca en estudio

Tabla 18 – Obtención de Hietograma para un Periodo de Retorno de 100 años.

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS		180 min				
Duración de la tormenta (h)	3					
Intensidad de lluvia (mm/h)	15.31					
Precipitación en 24 horas (mm)	45.93					
Intervalos de tiempo (min)	5					
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	139.41	11.62	11.62	139.41	0.50	6.03
10	90.93	15.16	3.54	42.46	0.52	6.26
15	70.83	17.71	2.55	30.61	0.54	6.51
20	59.32	19.77	2.07	24.79	0.57	6.78
25	51.69	21.54	1.77	21.20	0.59	7.09
30	46.20	23.10	1.56	18.72	0.62	7.45
35	42.01	24.51	1.41	16.89	0.65	7.85
40	38.69	25.79	1.29	15.46	0.69	8.31
45	35.98	26.99	1.19	14.31	0.74	8.85
50	33.72	28.10	1.11	13.36	0.79	9.50
55	31.80	29.15	1.05	12.56	0.86	10.29
60	30.14	30.14	0.99	11.87	0.94	11.28
65	28.69	31.08	0.94	11.28	1.05	12.56
70	27.40	31.97	0.90	10.75	1.19	14.31
75	26.26	32.83	0.86	10.29	1.41	16.89
80	25.24	33.65	0.82	9.88	1.77	21.20
85	24.31	34.44	0.79	9.50	2.55	30.61
90	23.47	35.21	0.76	9.16	11.62	139.41
95	22.70	35.95	0.74	8.85	3.54	42.46
100	22.00	36.66	0.71	8.57	2.07	24.79
105	21.34	37.35	0.69	8.31	1.56	18.72
110	20.74	38.02	0.67	8.07	1.29	15.46
115	20.18	38.68	0.65	7.85	1.11	13.36
120	19.66	39.32	0.64	7.64	0.99	11.87
125	19.17	39.94	0.62	7.45	0.90	10.75
130	18.71	40.54	0.61	7.26	0.82	9.88
135	18.28	41.13	0.59	7.09	0.76	9.16
140	17.88	41.71	0.58	6.93	0.71	8.57
145	17.49	42.28	0.57	6.78	0.67	8.07
150	17.13	42.83	0.55	6.64	0.64	7.64
155	16.79	43.37	0.54	6.51	0.61	7.26
160	16.46	43.90	0.53	6.38	0.58	6.93
165	16.15	44.42	0.52	6.26	0.55	6.64
170	15.86	44.94	0.51	6.14	0.53	6.38
175	15.58	45.44	0.50	6.03	0.51	6.14
180	15.31	45.93	0.49	5.92	0.49	5.92

Fuente: Elaboración Propia

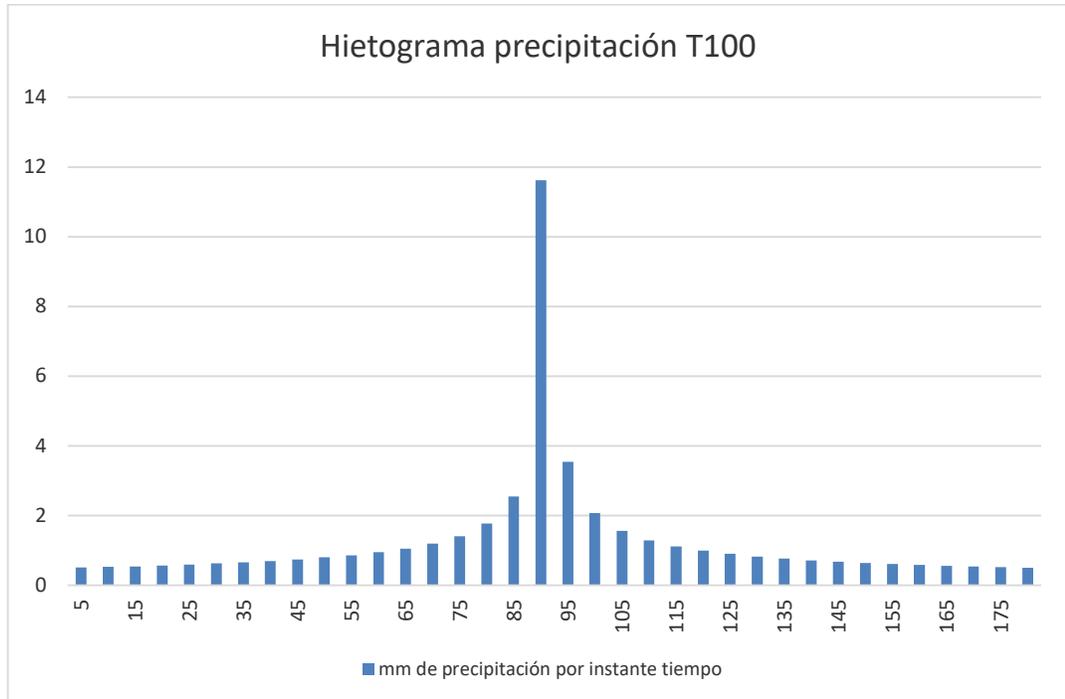


Ilustración 19 - Hietograma de TR: 100 años para la subcuenca en estudio

3.2 DETERMINACIÓN DE CAUDALES MAXIMOS

Método Racional Modificado: Modelo de Témez

Este método es práctico y estima el caudal máximo en base a las intensidades de las precipitaciones, resume todas las variables hidrológicas en el coeficiente de escorrentía. Muy usado para cuencas pequeñas y medianas.

La descarga máxima de diseño se obtiene a partir de la siguiente expresión:

$$Q = 0.278 * CIA * K$$

Donde:

Q: Descarga máxima de diseño (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía

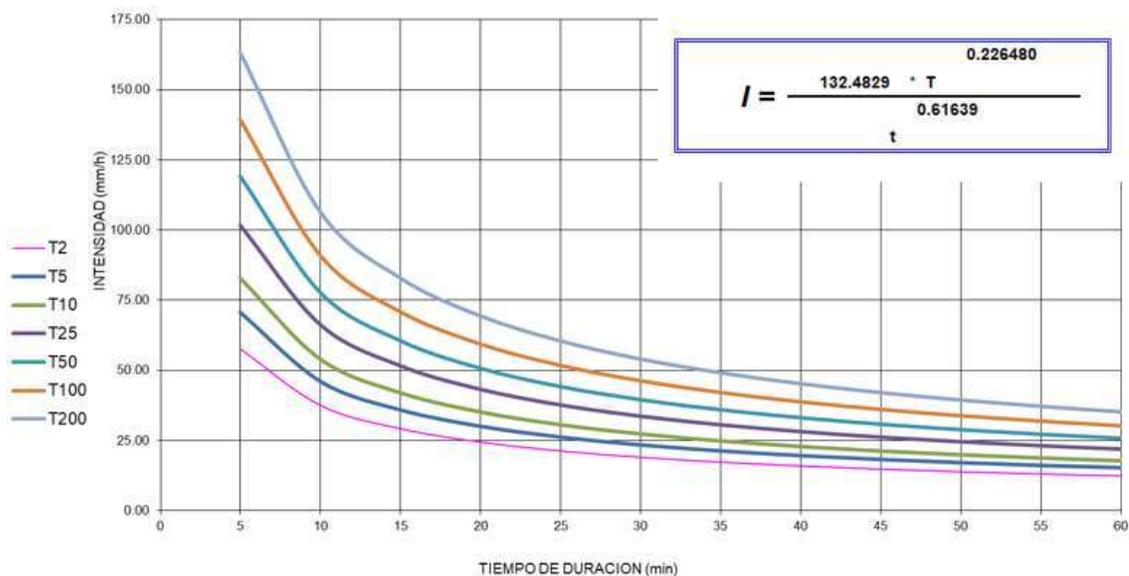
K: Coeficiente de Uniformidad

I: Intensidad de precipitación máxima horaria (mm/h)

A: Área de la cuenca (Km²)

Haciendo remembranza que la ecuación de intensidad, válida para toda la microcuenca, se expresa de la siguiente forma:

Curvas IDF de la cuenca



Se calculó los caudales de diseño para las microcuencas, asociado a 2 periodos de Retorno (escenarios): 50 años para sectores agrícolas, 100 años para sectores residenciales.

Tabla 6 – Obtención de Hietograma para 3 diferentes escenarios

Item	Escenario	Micro- cuenca	Tc	T (años)	I (mm/h)	Área (Km2)	Coef. Esc. C	Coeficiente K	Caudal Diseño Q(m3/s)	Tipo de Periodo Retorno
			(min)							
1	1	M-1 QUEBRADA	41.00	50	32.57	14.300	0.25	1.04	33.75	Agrícola
2	2	M-1 QUEBRADA	41.00	100	38.11	14.300	0.25	1.04	39.48	Residencial

Fuente: Elaboración Propia

IV. TOPOGRAFIA

IV. TOPOGRAFIA.

4.1 INTRODUCCIÓN. –

El presente trabajo de Topografía se realizó a través de la tecnología Fotogramétrica, lo cual se hizo en coordinación con la Oficina de la Autoridad Administrativa del Agua I Caplina Ocoña, para el proyecto denominado “Estudio de delimitación de faja marginal en el Cauce de la Quebrada Los Andenes”

En la Quebrada Los Andenes en un tramo de 2.16 km, se ha visto que en el área de cauce se han conformado zonas de alto riesgo conformadas por Lahares, activándose periódicamente la erosión lateral del curso de agua, produciéndose en tramos vulnerables deslizamientos y derrumbes; por otro lado, la carga de sedimentos, las actividades antrópicas, la expansión urbana, la inadecua disposición de residuos sólidos, obstruyen el correcto funcionamiento del cauce. Por lo que es necesario, regular el bien de dominio público hidráulico de la quebrada Los Andenes - Yura con la Autoridad Nacional del Agua, a través de un plan de trabajo para la cooperación interinstitucional para la delimitación de faja marginal.

El presente estudio topográfico tiene como objetivo obtener a detalle la información del relieve del terreno: curso de ríos, quebradas, acopios de material, e infraestructuras varias, etc. Mediante el uso de diversos equipos topográficos de última generación como la Aeronave No Tripulada (Dron), Estación móvil D-RTK; y en consecuencias realizar el post-procesamiento de información mediante metodologías de medición; cálculos computaciones y/o afines, en gabinete; para finalmente obtener la información topográfica que se requiere para una delimitación de faja marginal de todo un tramo de la quebrada denominada Los Andenes – Yura.

4.1.1 Objetivos

- Encontrar en campo el punto geodésico de orden “C” de acuerdo a las especificaciones técnicas del Instituto Geográfico Nacional (IGN).
- Curvas de nivel cada 1.00 m, con edición que elimines partes angulosas de los vectores que las representen, en formato vectorial CAD y SHP.
- Secciones transversales en formato vectorial CAD y SHP.
- Perfil longitudinal del cauce, en formato vectorial CAD y SHP.
- Ortofoto y fotos aéreas en formato digital (metadatos).
- Restitución fotogramétrica 1/1000 para presentación cartográfica.
- Nube de puntos corregidos.
- Planimetría con componente de elevación del cauce en formato CAD y SHP.

4.1.2 Ubicación

El área de interés del estudio se ubica políticamente en Arequipa.

- Sector : Quebrada Los Andenes
- Distrito : Yura

- Provincia : Arequipa
- Departamento : Arequipa
- Región : Arequipa

La zona de estudio se encuentra sobre las alturas que fluctúan entre los 2291 y 2373 msnm. Se encuentra enmarcado como inicio y final con las siguientes coordenadas UTM: WGS 84 ZONA 19 SUR.

Tabla 19 - Ubicación del tramo de estudio (Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19S)

<u>TRAMO</u>	<u>ESTE</u>	<u>NORTE</u>	<u>ALTITUD (msnm)</u>
Inicio	<u>216372.73</u>	<u>8191388.72</u>	<u>2373</u>
Fin	<u>215542.55</u>	<u>8189707.15</u>	<u>2291</u>

Fuente: *Elaboración Propia*



Ilustración 20 - Vista panorámica del tramo de Estudio (Elaboración Propia)

4.2 RECURSOS:

4.2.1 Personal

- 02 Personal con conocimiento en levantamientos topográficos y fotogramétricos.

4.2.2 Equipos

- Una Aeronave No Tripulada (Drone) marca DJI modelo Phantom 4 Pro
- Un receptor GNSS: Estación móvil D-RTK 2
- Dos radios intercomunicadores.
- Una cámara fotográfica digital.
- Equipo informático de Procesamiento de datos: Torre de Trabajo Z8 Marca hewlett packard





Ilustración 21 – Equipos utilizados durante los trabajos topográficos.

4.3 PUNTOS DE CONTROL. –

4.3.1 Método empleado.

El presente trabajo se divide en las siguientes etapas:

- Planeamiento, que consistió en la identificación de actividades a seguir para lograr la realización del trabajo.
- Reconocimiento, que consistió en un recorrido a pie realizado por la cuadrilla de Topografía y Georreferenciación para identificar y visualizar el entorno inmediato de trabajo lo que permitió la ubicación e identificación de los puntos de control geodésico.

Se ha logrado identificar un punto de control geodésico de orden “C” enlazado con la red geodésica nacional IGN.

- Ejecución de la Metodología para georreferenciar el trabajo del plan de vuelo del Drone, donde estacionamos el receptor GNSS: Estación móvil D-RTK 2, con la ayuda del trípode se ubica la punta metálica del bastón del receptor sobre el disco de bronce del punto geodésico escogido, para luego proceder con el plan de vuelo.

4.4 PLANEAMIENTO DE VUELO.

Esta etapa consiste en realizar el trabajo de campo del levantamiento topográfico. Antes de realizar el levantamiento topográfico se ha marcó el punto de control con la finalidad de georreferenciar las imágenes que serán procesadas posteriormente en la etapa de procesamiento en gabinete.

Un día antes de realizar el vuelo con la aeronave no tripulada (Drone) se procedió a realizar la programación del vuelo con los datos geoespaciales en formato *.kmz. El levantamiento topográfico fue realizado en la Quebrada Los Andenes en un tramo de 2.16 km.

4.4.1 Procesamiento de Información

Con los datos obtenidos en campo se procedió a realizar los cálculos respectivos en gabinete. Los datos de campo obtenidos mediante la aeronave no tripulada (Drone) fueron transferidos al ordenador, para su procesamiento mediante el software AGISOFT, con el cual se pudo obtener la nube de puntos, las ortofotos/orto mosaicos, las curvas de nivel, etc.

Esto consiste en obtener fotografías aéreas para luego ser procesadas y empalmadas en gabinete por diversos softwares con la finalidad de obtener una data topográfica limpia y tratada.

Posteriormente con el software Civil 3D, se procedió a realizar los planos topográficos requeridos. El procesamiento de información de vuelo con el Drone Phantom 4 Pro, consiste en realizar el levantamiento topográfico por el método de Fotogrametría.

4.4.2 Descarga de Imágenes

Una vez realizado el vuelo con el Drone se ha descargado las imágenes de fotografías aéreas al Equipo Informático para ser procesadas en el software Agisoft Metashape.

4.4.3 Aero triangulación

La Aero triangulación nos permite orientar adecuadamente en un sistema de coordenadas todas las imágenes que fueron obtenidas por el Vehículo aéreo no tripulado.

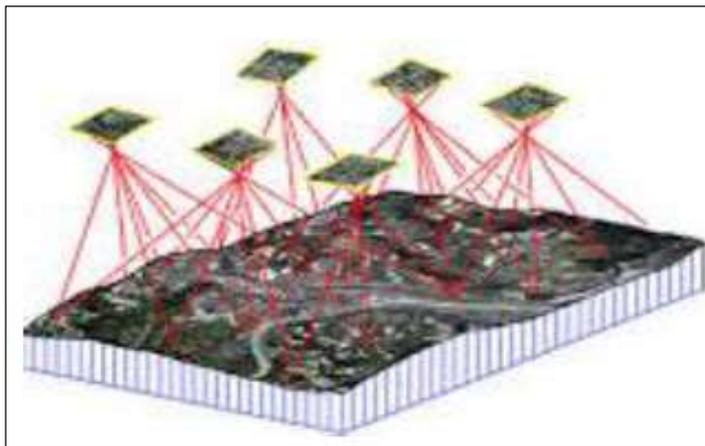


Ilustración 22 - Aerotriangulación

4.4.4 Obtención de Modelo Digital de Elevación

Una vez realizada la corrección y restitución fotogramétrica se procedió a la obtención de la topografía por medio del modelo digital de elevaciones (MDE)

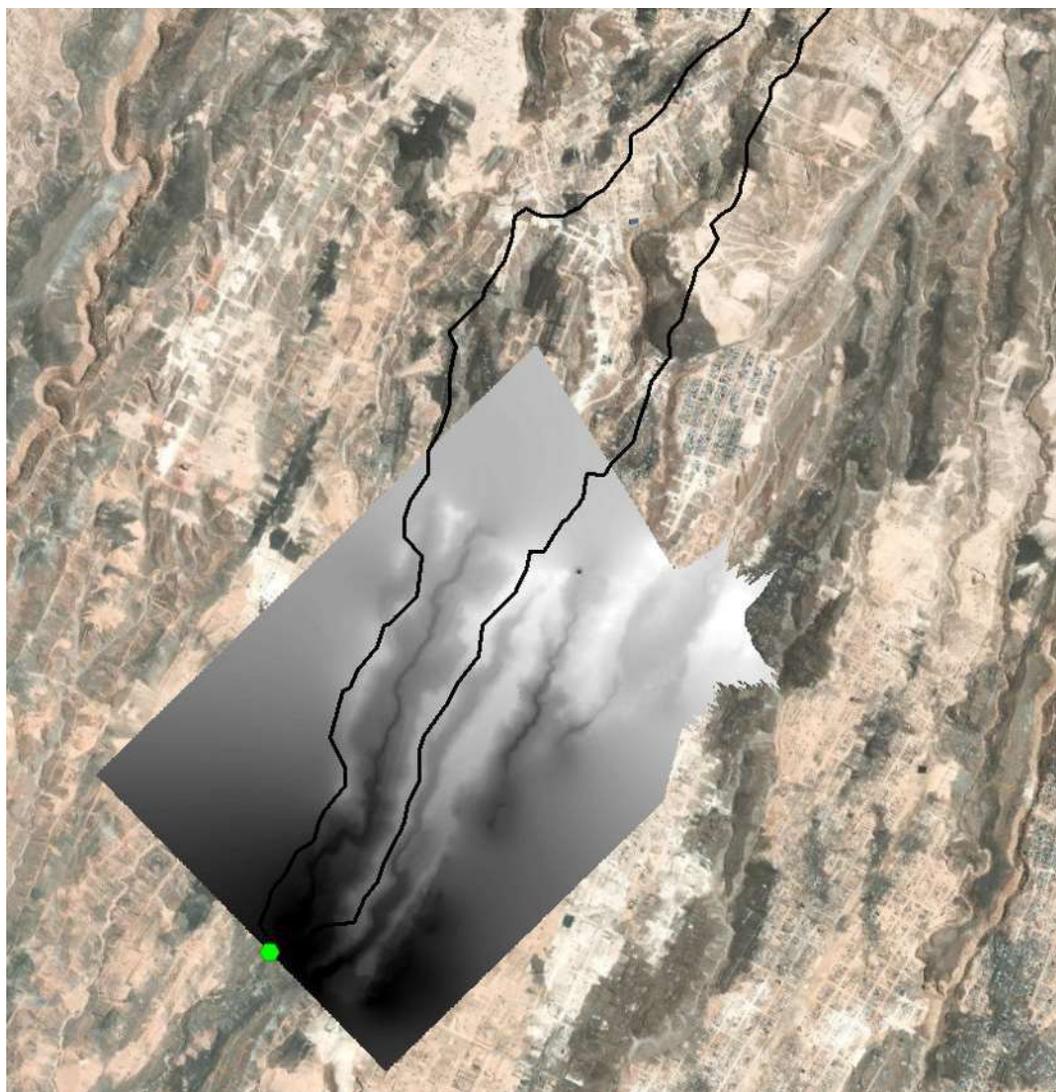


Ilustración 23 - modelo digital de elevaciones (MDE)

4.4.5 Obtención de ortofoto

Se ha realizado la obtención del ortofoto posterior a la obtención del modelo digital de elevaciones (MDE). La restitución consiste en la formación de forma muy precisa de los pares estereoscópicos en un proceso que se denomina orientación de imágenes, y en la extracción posterior de los elementos contenidos en ellas.



Ilustración 24 - Obtención de ortofoto

4.4.6 Obtención de curvas de nivel

Se ha realizado la obtención de curvas de nivel posterior a la obtención de la ortofoto. En esta etapa se ha realizado la eliminación de elementos que no conforman la parte topográfica como son los árboles, vehículos, animales, etc.

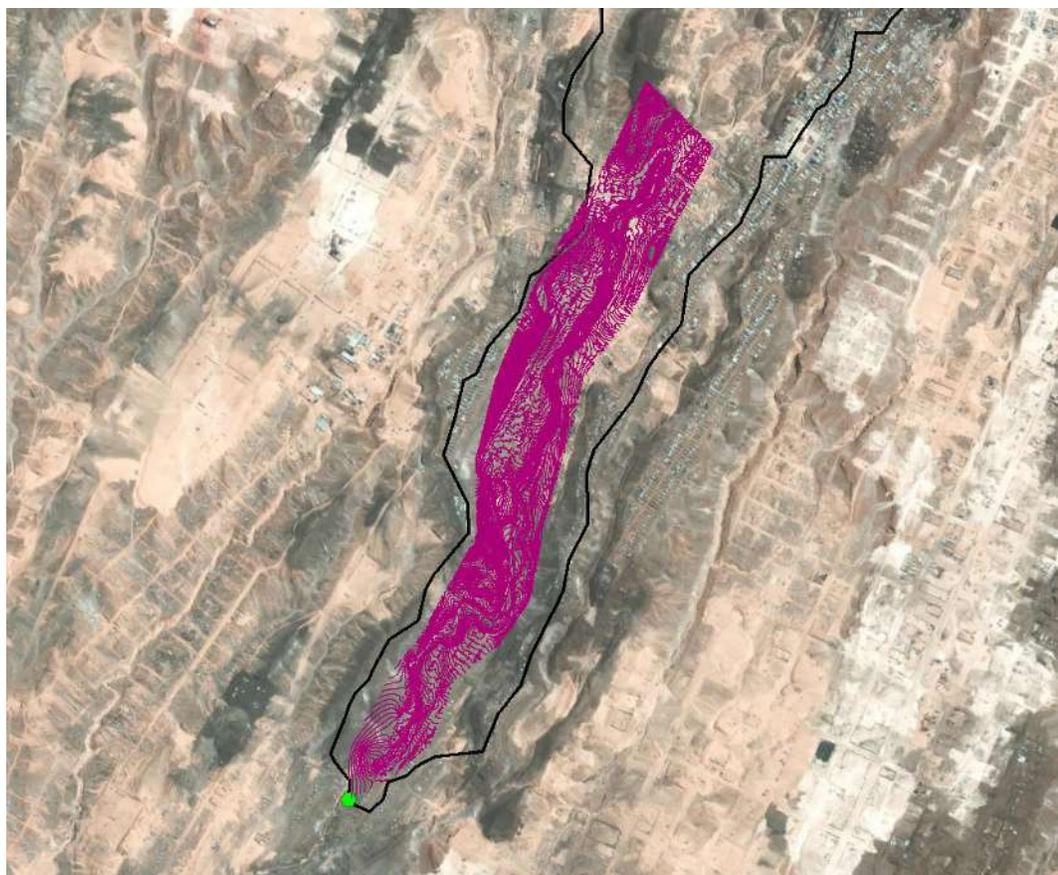


Ilustración 25 - Curvas de nivel

Una vez obtenida las curvas de nivel en el software ArcGis, Estas fueron exportadas al software civil 3D, donde se ha realizado la verificación y afinado final de la topografía editando y eliminando algunas imperfecciones.

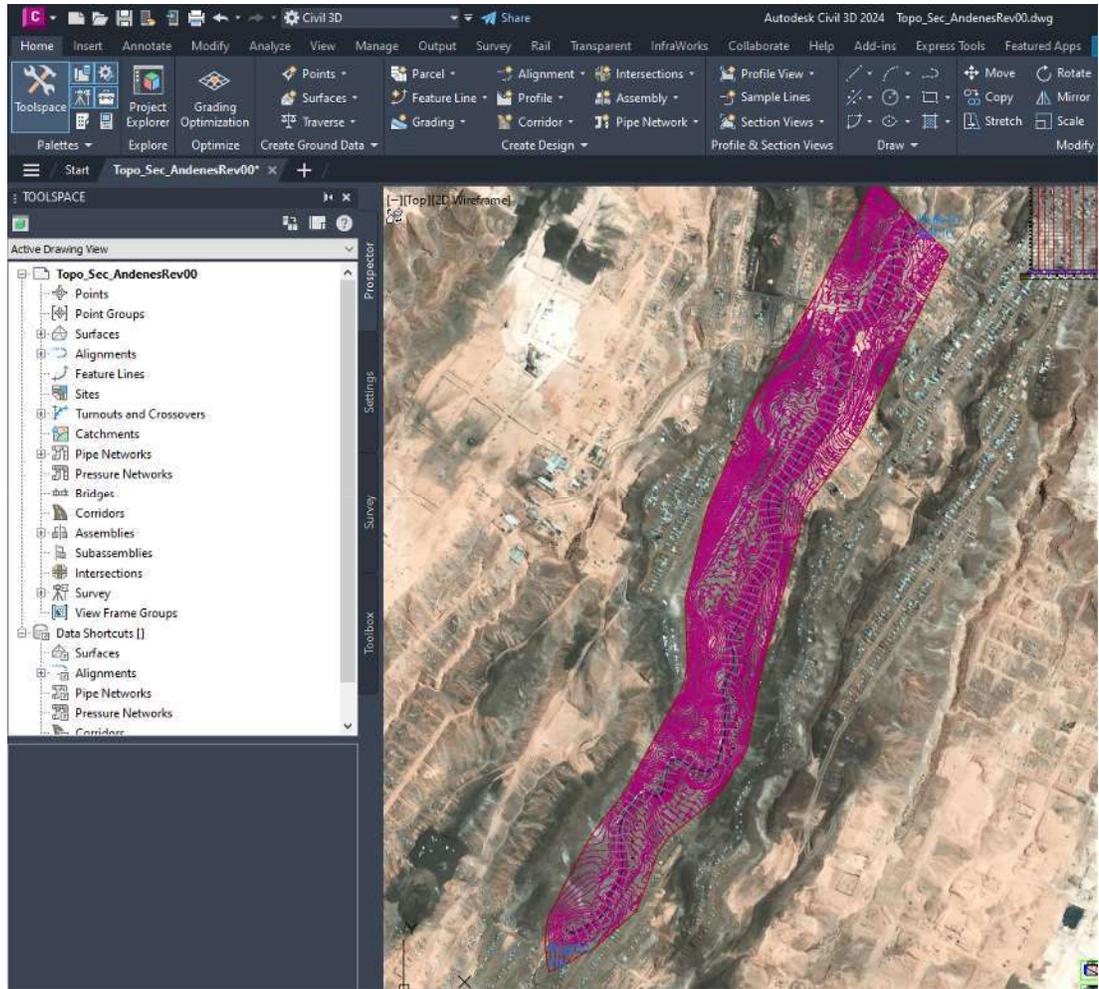


Ilustración 26 - Verificación de la información topográfica con el software civil 3D

4.4.7 Realización de Planos

Los planos presentados son los siguientes, que se encuentran ubicados en Anexos.

- Plano Topográfico
- Plano de Planta - Perfil longitudinal y de Secciones Transversales

4.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- Se han localizado en campo el punto de control topográfico denominados BM-02, ubicado dentro de la zona del levantamiento topográfico, muy próximo a la Quebrada Los Andenes, cuyas coordenadas son E: 216506.970 metros; N: 8188532.239 metros; Cota: 2286.712 m, el cual es un punto geodésico de Orden “C” y esta enlazado con la red geodésica nacional del IGN, tal cual refiere el INFORME TÉCNICO 002 – 2021 – ANA - AAA.CO – AT / MATL.
- Se ha realizado el levantamiento topográfico de toda la zona involucrada con la aeronave no tripulada (drone) Phantom 4 Pro.

- Se ha procesado toda la información por medio de softwares computacionales, con el objeto de tener un levantamiento topográfico de calidad y su posterior maquetación mediante planos.
- La aplicación de softwares tales como Agisoft Metashape para el procesamiento de fotografías aéreas tienen algunas limitaciones para representar fehacientemente la topografía real de terreno principalmente en zonas boscosas y donde hay espejo de agua, como ríos. Por lo que es recomendable la utilización de softwares complementarios y específicos como el Autodesk Civil 3D, puesto que en este software se realiza el tratamiento y limpieza final de los datos topográficos. Se está entregando la información digital nativa, tales como el TIN (triangulación) y curvas de nivel provenientes del software civil 3D.

4.6 PANEL FOTOGRAFICO.



Ilustración 27 – Vista Panorámica de la Quebrada



Ilustración 28 - Georreferenciación a la red geodésica nacional (IGN) del punto



Ilustración 29 - Instantes previas al Lanzamiento del Vehículo aéreo no tripulado DRONE



Ilustración 30 - Equipo de vuelo fotogramétrico.

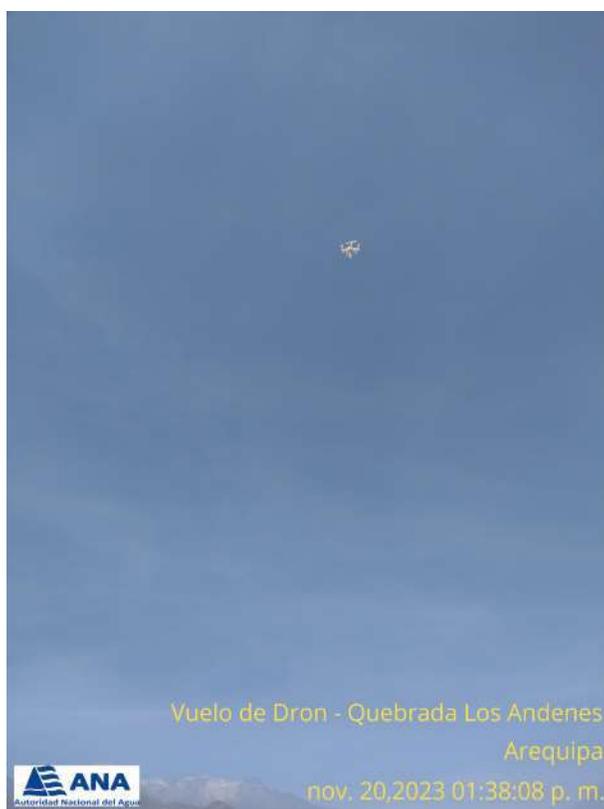


Ilustración 31 – Vista panorámica del Vuelo del Dron Phantom 4 Pro



Ilustración 32 – Operación del Vehículo aéreo no tripulado DRONE para Levantamiento Topográfico en Campo

V. SIMULACION HIDRAULICA

V. SIMULACIÓN HIDRAULICA

5.1 DESCRIPCION DEL MODELO. –

Una vez obtenidos el caudal máximo luego de hacer el tránsito de avenidas, lo que sigue es encontrar cómo circula el flujo de escorrentía superficial por la cuenca. Los análisis hidráulicos tratan de modelar el flujo del agua sobre la superficie topográfica, siguiendo el concepto de que el agua busca su camino y sigue la línea de menor energía.

Para el estudio de los efectos de la propagación de avenidas en ríos se pueden utilizar modelos unidimensionales o bidimensionales. Se ha seleccionado el Análisis hidráulico bidimensional con el software Iber, diseñado para simular bidimensionalmente el comportamiento del flujo de agua en ríos o canales naturales con el objeto de verificar si el caudal desborda el cauce o no, a fin de elaborar estudios de inundación y determinación de zonas vulnerables por acción del agua.

El programa trabaja y toma como punto de partida los caudales resultantes del Modelo Hidrológico previamente elaborado. El módulo hidrodinámico de Iber resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial por viento:

$$\begin{aligned} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} &= 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} (h U_x) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h U_x^2 + g \frac{h^2}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (h U_x U_y) &= -gh \frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \\ &\frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial y} \right) \\ \frac{\partial}{\partial t} (h U_y) + \frac{\partial}{\partial x} (h U_x U_y) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h U_y^2 + g \frac{h^2}{2} \right) &= -gh \frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \\ &\frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial y} \right) \end{aligned}$$

Fuente: Iber - Herramienta de simulación numérica del flujo en ríos Iber (2014) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0213131512000454>

Las ecuaciones de Saint Venant, también conocidas como “Shallow Water Equations” o Ecuaciones de Aguas Poco Profundas son una simplificación de las ecuaciones de Navier-Stokes, considerado como el cuarto problema del milenio, que se definen como un conjunto de ecuaciones diferenciales parciales no lineales, cuya resolución compleja nos obliga a apoyarnos en métodos numéricos para aproximarnos a la solución o respuesta.

5.2 CONFIGURACIÓN DEL MODELO

Se trata de un conjunto de procedimientos, herramientas y utilidades especialmente diseñadas para procesar datos georreferenciados que permiten bajo el entorno GIS complementar el trabajo en Iber. El resultado de este pre-proceso será un archivo de datos sobre la geometría del terreno estudiado, Incluyendo el cauce del río delimitado y secciones de análisis transversal del mismo. Este archivo será importado a Iber para su procesamiento.

Partimos del modelo digital del terreno (MDT) que nos dará una representación geoespacial de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar y nos permitirá caracterizar las formas del relieve de la cuenca de estudio. El mismo que se generara a partir de las Curvas de nivel obtenidas en el levantamiento topográfico para su conversión en formato TIN y posterior transformación a Ráster que consiste en una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas. Así mismo a través del trabajo campo y posterior etapa de gabinete, se obtuvieron los Ortofotos que muestran el cauce de la Quebrada Los Andenes y su correspondiente eje, huella máxima y/o límites del cauce, en un tramo de 1.5 km.

5.2.1 Procedimiento.

Se ha estructurado en tres partes: Preproceso, Cálculo y PostProceso

- Preproceso (trabajo previo con ArcGis y Iber), para generar un archivo de importación para Iber que va a contener la información de la geometría de la zona estudiada.
- Calculo ó corrida del modelo con Iber y generación del archivo de exportación para ArcGis.
- Postproceso, nuevamente con Iber y posteriormente ArcGis, que genera los resultados finales: superficies de inundación para cada periodo de retorno, áreas suavizadas de colores para calado, velocidad, caudal específico, etc.

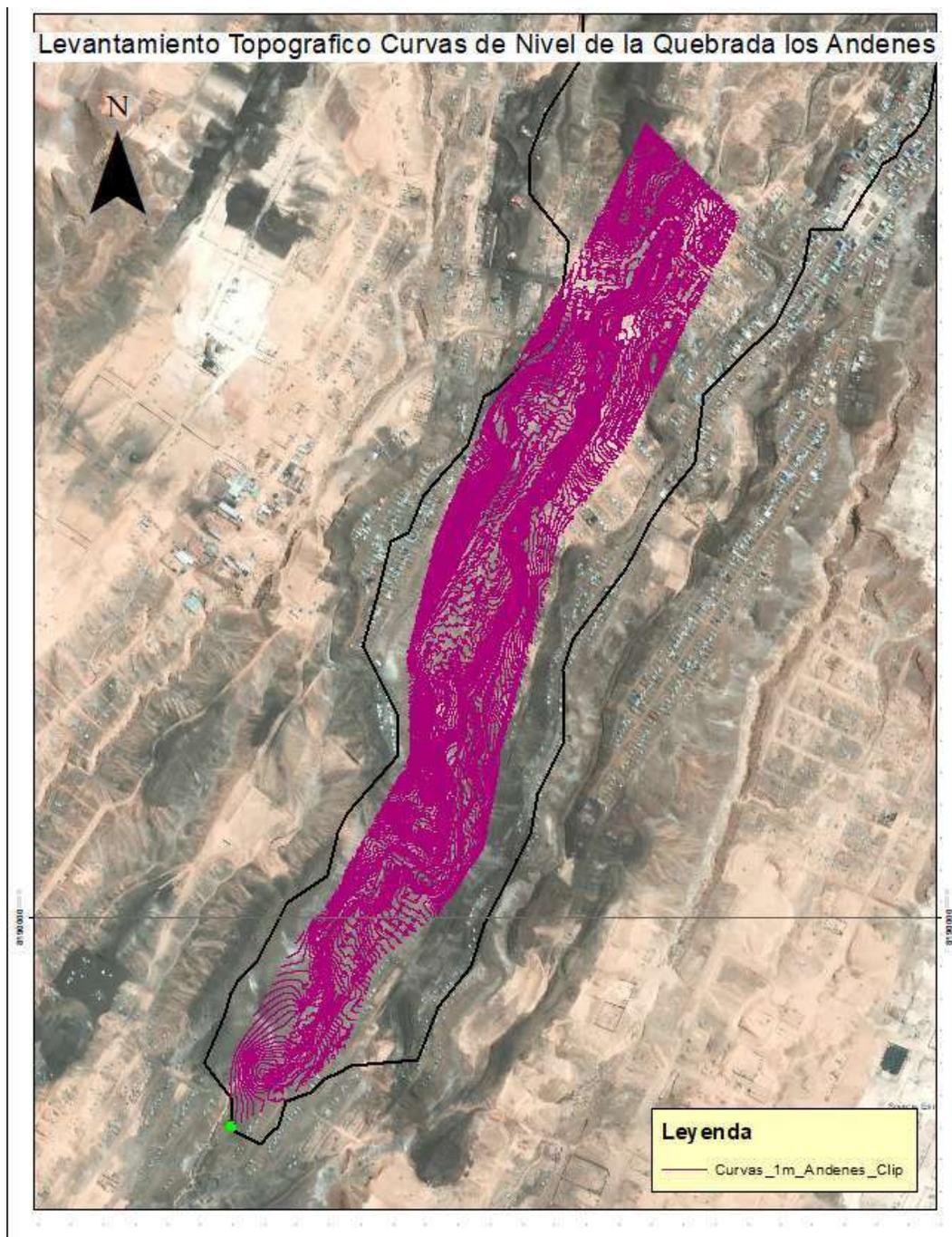


Ilustración 33 - Curvas de Nivel Obtenidas del trabajo de Campo

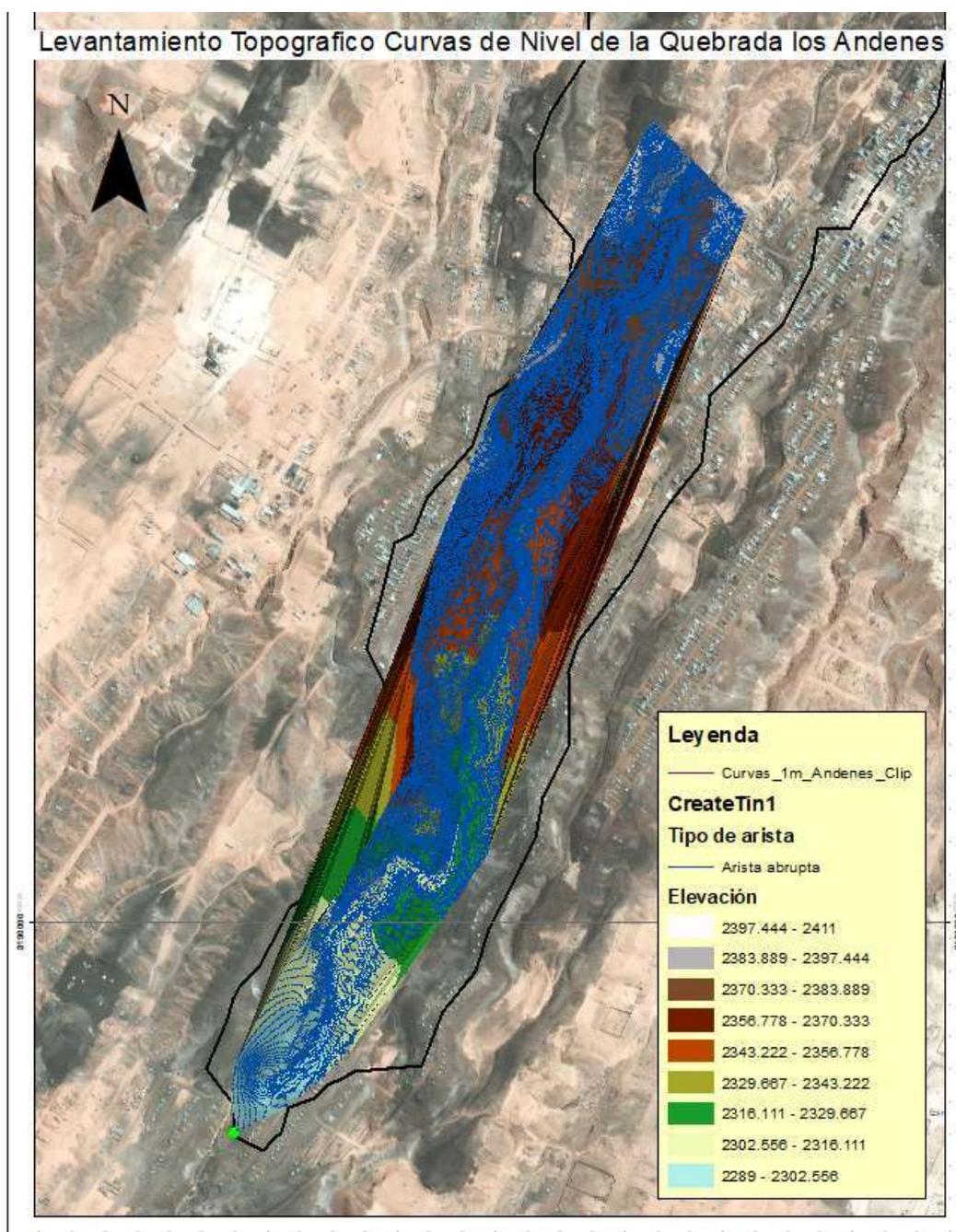


Ilustración 34 - Obtención del TIN a partir de las Curvas de Nivel Obtenidas del trabajo de Campo

5.2.2 Geometría del cauce

Una vez generado el TIN, se procedera a convertir este archivo de datos en un Raster, cuya información matricial servirá para transicionar de un software al otro. El siguiente paso es convertir dicho archivo raster a un formato compatible con Iber, este formato recibe la denominación de formato ASCII y es un formato de texto que Iber puede leer y contiene toda la información geoespacial x,y,z.

Luego de esta transición se importara este archivo ASCII con el fin de crear una geometría de la zona en estudio, que luego deberá ser colapsada.

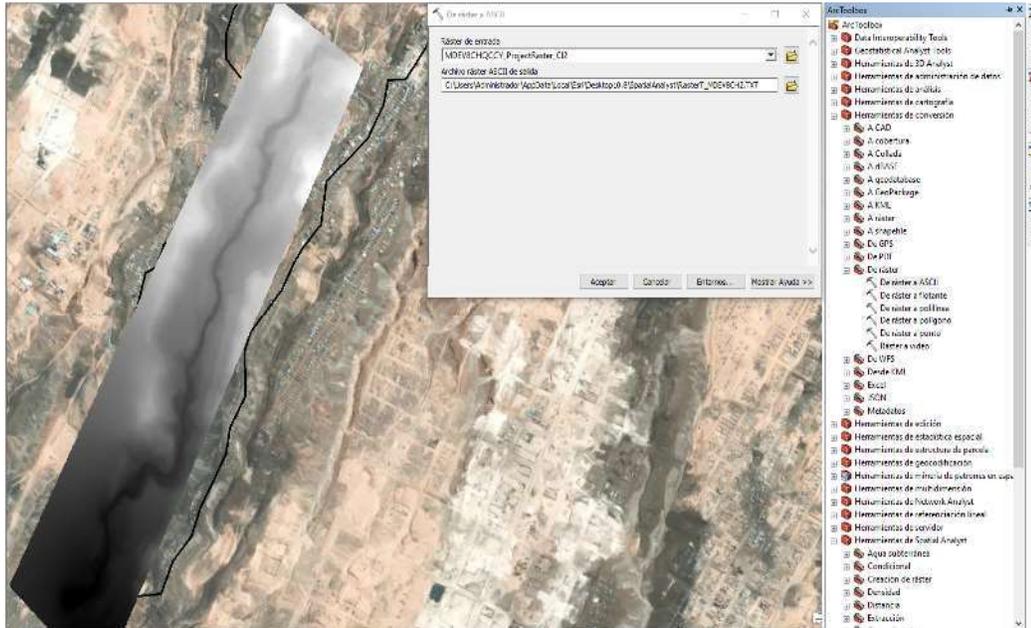


Ilustración 35 – Herramienta de conversión de raster a ASCII para la creación de la geometría

5.2.3 Preparación del modelo hidráulico con Iber.

Para modelizar el terreno en el software Iber se necesita utilizar las Herramientas de Iber, luego elegir crear RTIN, donde se seleccionara el archivo ASCII previamente creado en el punto 5.2.2, donde se le ingresaran 03 parámetros: Tolerancia (m), lado máximo (m) y lado mínimo (m). Los parámetros ingresados para el presente modelo son: tolerancia de 0.10 m, lado máximo de 5 metros y lado mínimo de 1 metro.



Ilustración 36 – Importación del archivo ASCII y creación de la Geometría RTIN de la Quebrada Los Andenes en el software Iber.

5.2.4 Datos del módulo hidrodinámico de Iber

Dentro de este apartado se desarrollará las condiciones de contorno y las condiciones iniciales.

En principio se debe ingresar los datos de entrada “input” correspondiente a caudales máximos obtenidos mediante el modelo hidrológico para un periodo de retorno de 100 años, que es la instructiva de la ANA para cauces colindantes con asentamientos poblacionales.

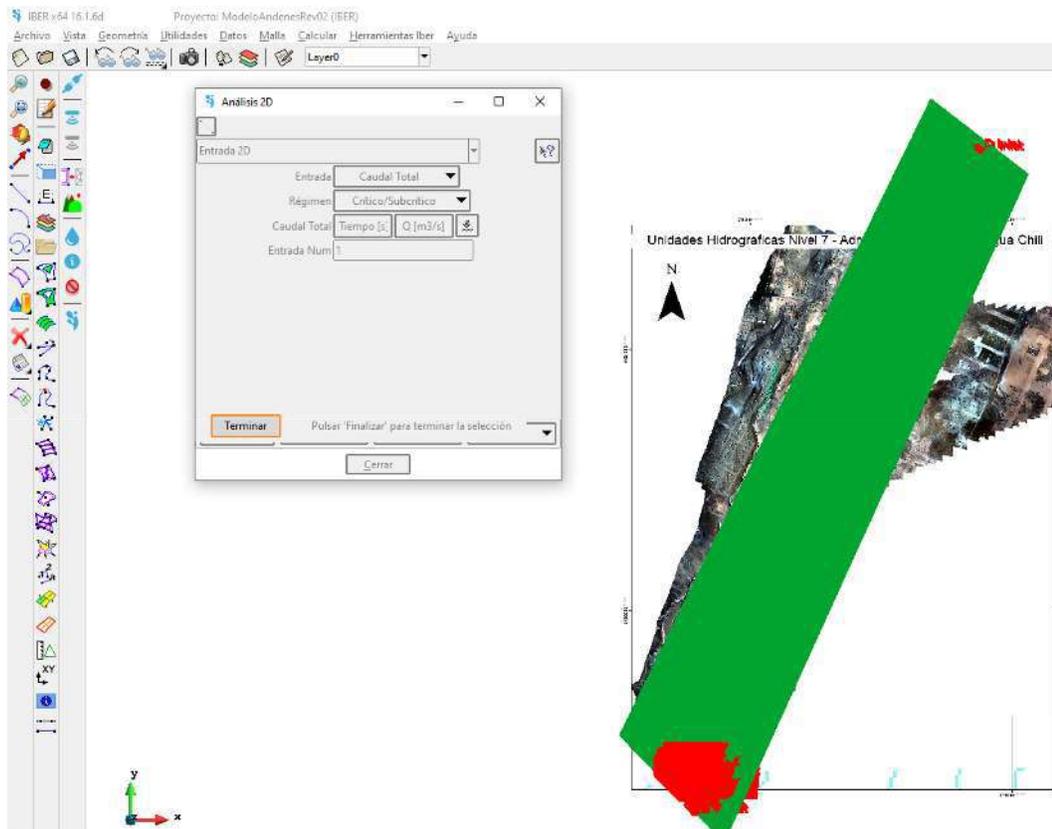


Ilustración 37 - Ingreso de Condiciones de Contorno: Input a través de Caudal Máximo en el software Iber

También en este mismo modulo, debemos completar las condiciones de contorno del canal (Boundary Conditions), que son aquellas que definen el comportamiento de un modelo en sus límites. El software Iber permite hacer modelos en régimen de flujo permanente y el siguiente paso es asignar por donde es que saldrá el agua proveniente del tránsito de avenida, es decir, los datos de salida “output”.

Una vez asignada las condiciones de contorno: entrada y salida, tenemos que ingresar las condiciones iniciales, que para el caso de nuestro modelo es elevación de valor cero (0 metros), con sus respectivas velocidades vectoriales en x e y de valor 0 m/s; es decir condiciones idóneas limpias para correr el modelo Iber.

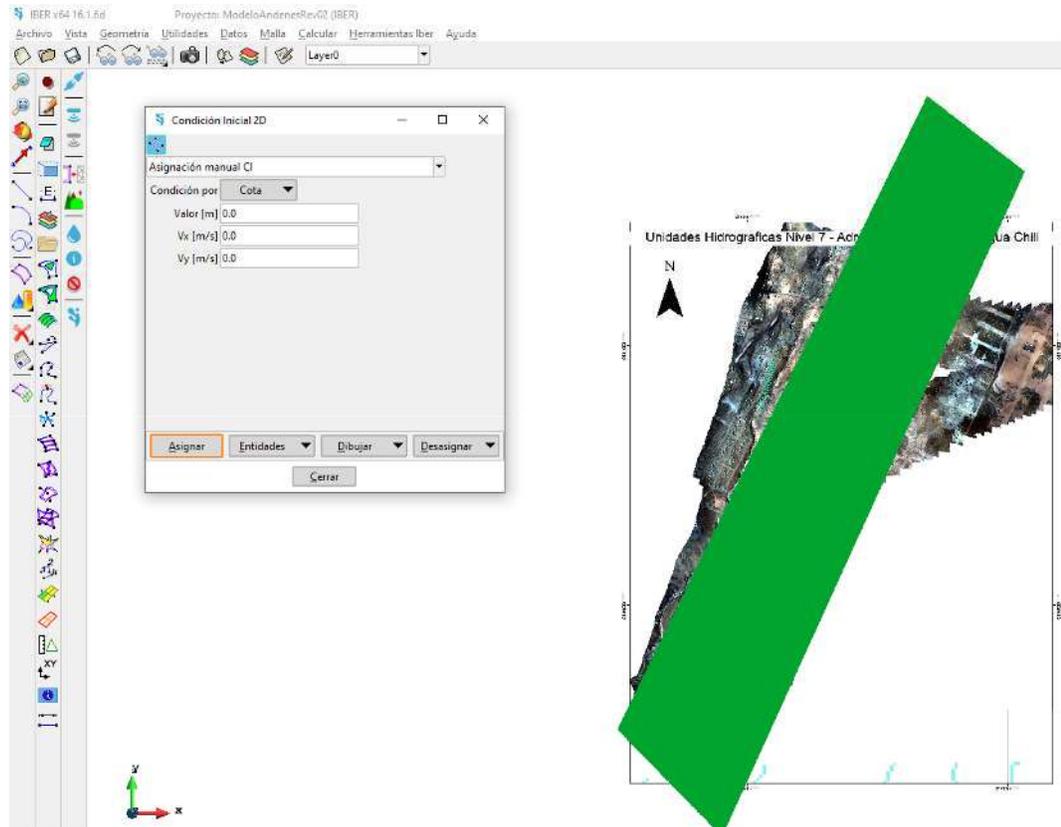


Ilustración 38 - Condición Inicial Seleccionada de elevación cero en el software Iber.

5.2.5 Datos de la rugosidad de acuerdo al uso de suelo

Contando aun con la geometría del modelo se asignará el coeficiente de rugosidad de Manning para cada para el cálculo de la fricción a la que está sometida el agua. La rugosidad de la superficie se representa por el tamaño y la forma de los granos del material que forma el perímetro mojado y que producen un efecto retardante sobre el flujo.

De acuerdo a Ven Te Chow los factores que afectan el coeficiente de rugosidad de Manning son:

Vegetación:

La vegetación puede ser vista como una clase de rugosidad superficial, pues allá también reduce en marcada forma la capacidad del canal y retarda el flujo, este efecto depende principalmente de la altura, densidad, distribución y tipo de vegetación ya que es muy importante en el diseño de canales pequeños de drenaje.

Irregularidad del canal:

La irregularidad del canal comprende irregularidades en el perímetro mojado y variaciones en la sección transversal, tamaño y forma a lo largo de la longitud del canal, en los canales naturales, tales irregularidades son introducidas normalmente debido a la presencia de barras de arena, ondas arenosas, hoyos y relieves en el lecho del canal.

Alineamiento del canal:

Curvaturas suaves con radios grandes darán un valor relativamente bajo de n , mientras que curvaturas agudas con meandros severos aumentarán n .

Depósitos y socavaciones:

Los depósitos pueden cambiar un canal muy irregular en uno comparativamente uniforme y disminuir n mientras que la erosión puede ser al revés y aumentar n , sin embargo, el efecto dominante de depósito dependerá de la naturaleza del material depositado.

Obstrucciones:

La presencia de troncos, pilares de puentes y semejantes tiende a aumentar n , el monto del aumento depende de la naturaleza de la obstrucción, su tamaño, forma, número y distribución.

Tamaño y forma del canal:

No hay evidencia definitiva acerca de que el tamaño y forma del canal sea un factor importante que afecte el valor de n . un aumento en el radio hidráulico puede aumentar o disminuir n , dependiendo de la condición del canal.

Nivel y caudal:

El valor de n en la mayoría de las corrientes decrece con el aumento en el nivel y en el caudal. Cuando el agua esta baja, las irregularidades del fondo del canal están expuestas y sus efectos se hacen pronunciados, sin embargo, el valor de n puede ser grande para niveles altos si los bancos son rugosos y con mucha vegetación.

Cambio estacional:

Debido al crecimiento estacional de las plantas acuáticas, pastos, hierbas, sauces, arbustos, y árboles en el canal o en los bancos, el valor de n puede aumentar en la estación de crecimiento y disminuir en la estación estable.

Material suspendido y transporte de fondo:

El material suspendido y el transporte de fondo, este en movimiento o no, consumirá energía y ocasionará pérdidas de altura o aumentaría la rugosidad aparente del canal.

Tabla 20 - Coeficientes de Manning para diversas condiciones de revestimiento

condiciones del canal		valores
Material considerado	tierra	0.020
	roca	0.025
	grava fina	0.024
	grava gruesa	0.028
Grado de irregularidad	liso	0.000
	menor	0.005
	moderado	0.010
	severo	0.020

Variaciones de la sección transversal del canal	gradual	n_2	0.000
	ocasionalmente alternante		0.005
	frecuentemente alternante		0.01-0.015
Efectivo relativo de obstrucciones	despreciable	n_3	0.000
	menor		0.01-0.015
	apreciable		0.02-0.03
	severo		0.04-0.06
Vegetación	baja	n_4	0.005-0.01
	media		0.01-0.025
	alta		0.025-0.05
	muy alta		0.05-0.1
Cantidad de meandros	menor	m_5	1.000
	apreciable		1.150
	severa		1.300

Fuente: Hidráulica de canales Ven Te Chow

Con fines de tener mayor precisión con la asignación de los coeficientes de rugosidad de Manning, nos apoyaremos en la herramienta automatizada de Iber, que faculta poder asignar la rugosidad de acuerdo a su distribución en el espacio. Para lo cual nos apoyaremos en ArcGis para definir polígonos que demarquen las áreas de: cauce de quebrada (0.025) y área poblacional de suelo desnudo (0.023). Luego para poder transicionar de un software a otro, volveremos a hacer uso de la herramienta de conversión Raster to ASCII.

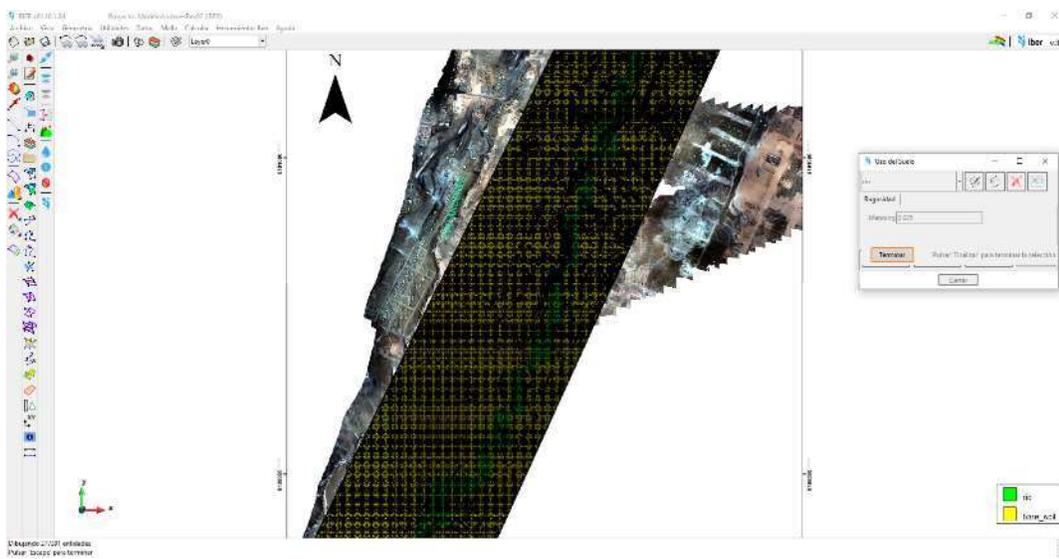


Ilustración 39 – Coeficientes de Rugosidad de Manning asignados en el mallado del software Iber

5.3 SIMULACION HIDRAULICA.

El software Iber simulará el tránsito de avenidas en la Quebrada Los Andenes para el estudio de inundabilidad en un periodo de retorno de 100 años; no obstante antes de realizar la corrida, es necesario suministrarle al programa algunos parámetros de calculo que reciben el Nombre de “Datos del Problema”, donde se configurará si se trata de una simulación nueva, el tiempo inicial, el tiempo máximo de simulación (s), y el intervalo de series de tiempo (s).

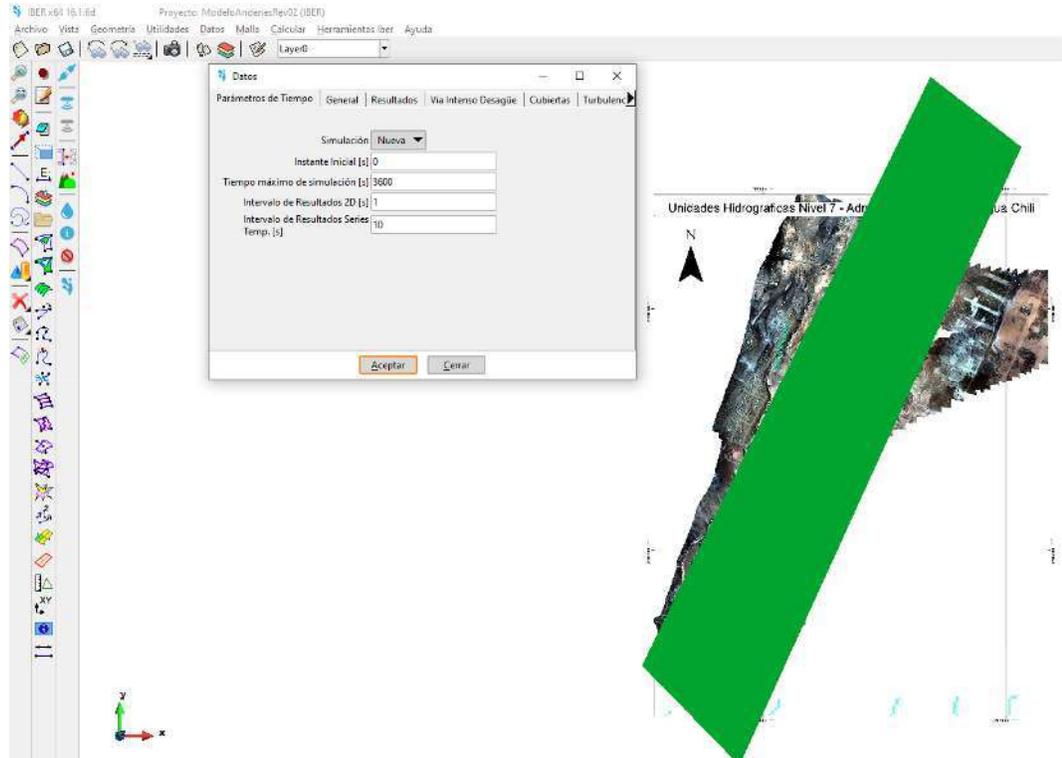


Ilustración 40 – Configuración de Iber previo a la corrida del modelo hidráulico de la Quebrada Los Andenes para periodo de retorno de 100 años

Por el fenómeno de cambio climático, existe una tendencia de alza de los caudales máximos asociados a periodos de retorno mayores; esto se puede plasmar en los mapas de inundación, desbordamientos y manchas de agua como consecuencia del aumento progresivo de caudales. A continuación, se pueden apreciar los parámetros de cada una de las secciones.

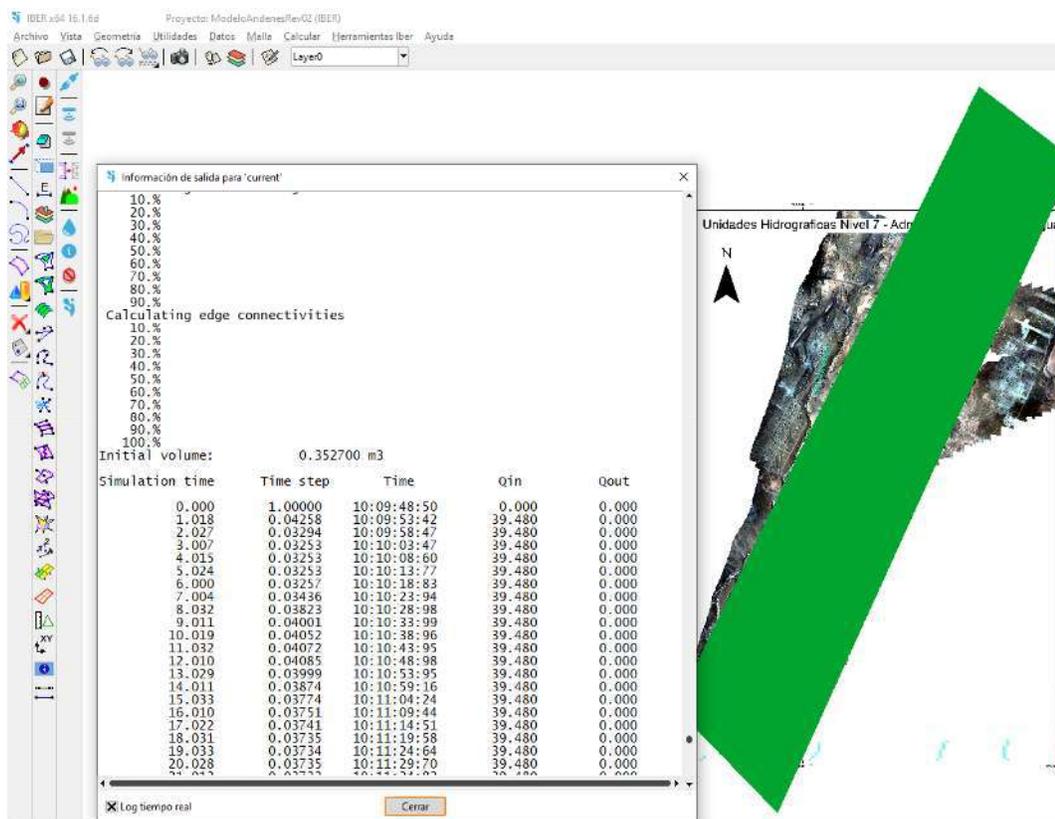


Ilustración 41 - Simulación Iber en la Quebrada Los Andenes para periodo de retorno de 100 años

5.4 GENERACIONES DE MAPAS DE INUNDACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA RIBERA.

Concluido el cálculo computacional con el programa IBER se genera un raster de resultados de: mapa de máximos para los parámetros de calado, velocidad y caudal específico; esta información matricial deberá ser trabajada en el Software ARCGIS para obtener una visualización adecuada del comportamiento hidráulico de la Quebrada Los Andenes, en cada intervalo de tiempo simulado.

En el siguiente mapa se muestra los datos exportados (paso 1440 seg.) del modelo Iber denominado ModeloAndenesRev02.gid y posteriormente dichos datos fueron volcados a un mapa en ArcGIS donde sea más amigable para el usuario final la representación de los calados en una escala de colores ascendente que va desde el 0.01 metros (azul) hasta el 6.25 metros (rojo).

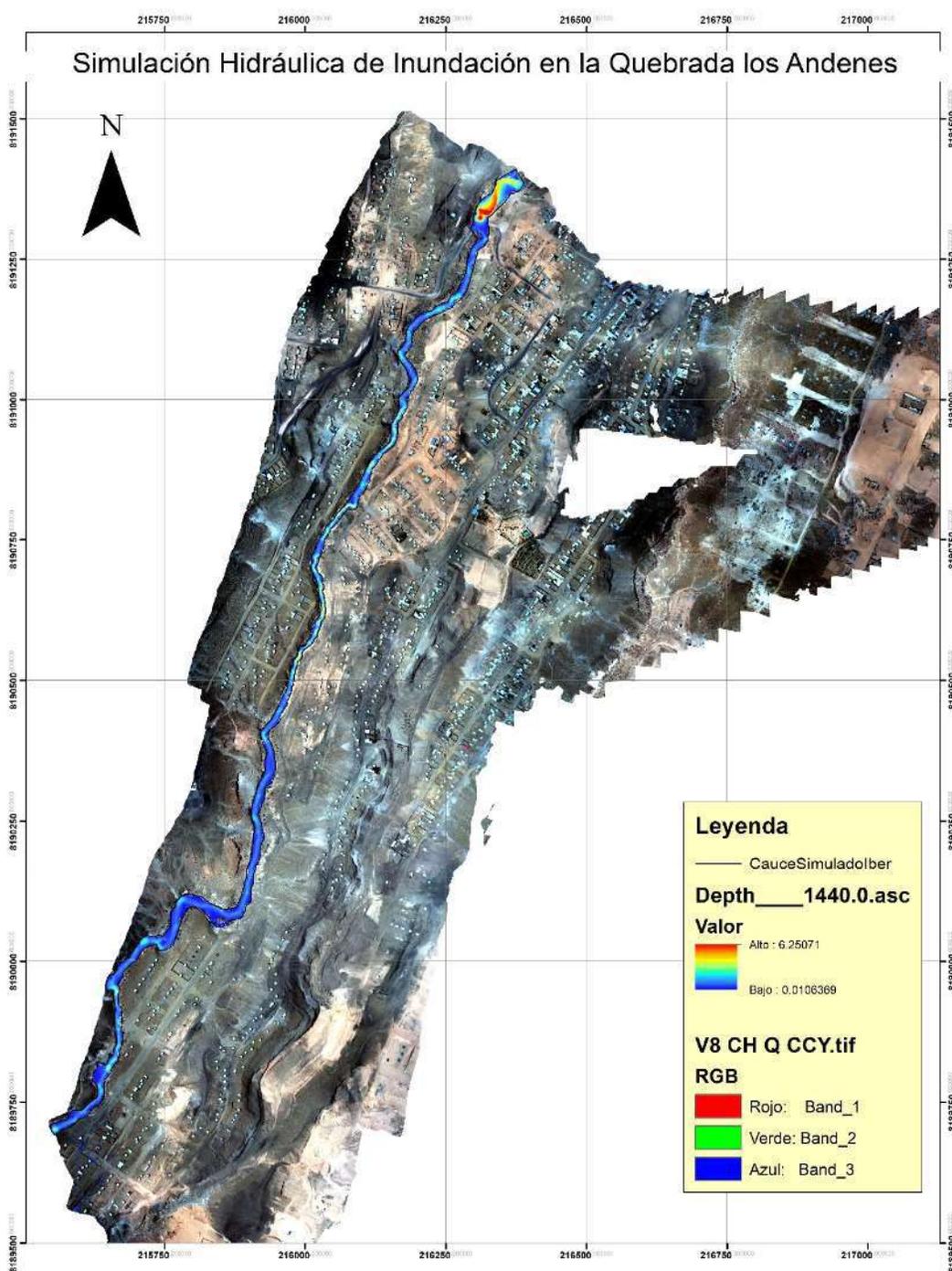


Ilustración 42 - Polígono de Inundación en la Quebrada Los Andenes para un periodo de retorno de 100 años

El resultado es satisfactorio, el modelo computacional Iber calculó un área de inundación correcta para un periodo de retorno de 100 años y su caudal máximo asociado de 39.48 m³/s.

VI. DELIMITACIÓN DE LA FAJA MARGINAL

VI. DELIMITACIÓN DE LA FAJA MARGINAL

6.1 DIMENSIONAMIENTO DE LA FAJA MARGINAL. –

- a) En el artículo 114 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, considera los siguientes criterios:
- “La magnitud e importancia de las estructuras hidráulicas de las presas, reservorios, embalses, canales de derivación, entre otros”
 - “El espacio necesario para la construcción, conservación y protección de las defensas ribereñas y del cauce”
 - “El espacio necesario para los usos públicos que se requieran”
 - “La máxima crecida o avenida de los ríos, lagunas y otras fuentes naturales de agua. No se consideran las máximas crecidas registradas por causa de eventos excepcionales”.

De acuerdo a los cálculos hidrológicos realizados, el caudal máximo simulado es de 33.75 m³/s para un periodo de retorno de 50 años, y de 39.48 m³/s para un periodo de retorno de 100 años. A través de estos caudales generados y modelados en el software Iber, se han obtenido los polígonos de inundación que al superponerse en los archivos ráster del área de estudio (Ortofoto y TIN), se puede apreciar que cubren el ancho del cauce de la Quebrada Los Andenes, principalmente en la parte alta de la zona de estudio cuya profundidad, permite una adecuada canalización de los caudales en época de avenidas; sin embargo, en la parte media a baja del tramo analizado, el cauce se ensancha poniendo en peligro algunas zonas urbanas que se encuentran colindantes a dicha quebrada; por lo que corresponde recomendar la proyección de obras de mitigación dado que el flujo en tiempo de avenidas no solo acarrea agua sino además de sedimentos, recomendando construcción de diques, defensas ribereñas y defensas vivas a fin de mitigar la erosión por estos eventos.

A través de técnicas fotogramétricas se obtuvo un ortomosaico, a partir del cual se puede concluir que las huellas máximas dejadas por el ingreso de avenidas históricas de años pasados, coinciden con el polígono de inundación obtenido a través de la simulación hidráulica bidimensional de Iber.

Para determinar el ancho de Faja Marginal de la Quebrada Los Andenes – Yura, en función a la Resolución Jefatural N°332-2016-ANA de la Autoridad Nacional del Agua se recomienda una distancia mínima de cuatro (4) metros para Quebradas y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) material conglomerado, tal como está indicado en la tabla indicada líneas abajo (Art.12 del Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales).

Tabla 21 - Ancho mínimo de faja marginal en cuerpos de agua.

Tipo de Fuente	Ancho mínimo (m) ⁽¹⁾
Quebradas y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) encañonados de material rocoso.	3
Quebradas y tramos de ríos de alta pendiente (mayores a 2%) material conglomerado.	4

Tramos de ríos con pendiente media (1-2%)	5
Tramos de ríos con baja pendiente (menores a 1%) y presencia de defensas vivas	6
Tramos de ríos con baja pendiente (menores a 1%) y riberas desprotegidas	10
Tramos de ríos con estructuras de defensa ribereña (gaviones, diques, enrocados, muros, etc.), medidos a partir del pie de talud externo.	4
Tramos de ríos de salvo con baja pendiente (menores a 1%)	25
Lagos y Lagunas	10
Reservorios o embalses (Cota de vertedero de demasías)	10
⁽¹⁾ Medidos a partir del límite superior de la ribera	

Fuente: (RJ N° 332-2016-ANA).

Además, con el mencionado ancho de faja de terreno se pueden realizar actividades de protección y conservación de la fuente natural de agua, permitir el uso primario, libre tránsito y sobre todo salvaguardar la salud y la vida de las personas. Se ha determinado un valor de faja marginal de 18 metros mín. a cada margen de la quebrada analizada por tres (03) motivos:

- Características del terreno y orografía favorece el emplazamiento de este ancho de faja (zona rural).
- La simulación hidráulica se ha realizado considerando gasto líquido y no se ha considerado el efecto de los sedimentos (lahares) provenientes de las faldas del volcán Chachani, por lo cual se debería considerar un factor de seguridad adicional.
- Y tercero y mucho más importante, con fines de salvaguardar la integridad de las personas ante posibles escenarios de riesgos de desastres al encontrarse dentro de una área Vulnerable y Riesgosa.

En consecuencia, se ha establecido la delimitación de la faja marginal de acuerdo al siguiente detalle:

Tabla 22 - Vértices de la delimitación de faja marginal de la Quebrada Los Andenes en el tramo del distrito Yura, en DATUM WGS 84, zona 19.

Margen Derecha			Margen Izquierda		
CODIFICACIÓN	COORDENADAS		CODIFICACIÓN	COORDENADAS	
	ESTE - X (m)	NORTE - Y (m)		ESTE - X (m)	NORTE - Y (m)
R-QCh-001	215437.7433	8189669.7688	L-QCh-001	215561.2825	8189600.7080
R-QCh-002	215444.0272	8189695.5658	L-QCh-002	215583.5075	8189634.0456
R-QCh-003	215450.9725	8189725.0007	L-QCh-003	215600.7055	8189660.7686
R-QCh-004	215462.5481	8189750.1362	L-QCh-004	215626.2091	8189698.3704
R-QCh-005	215476.4387	8189771.6336	L-QCh-005	215655.4668	8189736.7615
R-QCh-006	215491.6523	8189802.0608	L-QCh-006	215665.5210	8189751.0490
R-QCh-007	215501.6404	8189850.8985	L-QCh-007	215674.7815	8189766.3949
R-QCh-008	215504.2862	8189890.5861	L-QCh-008	215691.3179	8189790.0751
R-QCh-009	215513.2820	8189932.9195	L-QCh-009	215702.8273	8189806.4793
R-QCh-010	215537.6238	8189976.8405	L-QCh-010	215712.8815	8189821.2960
R-QCh-011	215574.6655	8190018.1155	L-QCh-011	215707.5899	8189840.0815
R-QCh-012	215616.4697	8190045.1031	L-QCh-012	215702.6901	8189855.0209

Margen Derecha			Margen Izquierda		
CODIFICACIÓN	COORDENADAS		CODIFICACIÓN	COORDENADAS	
	ESTE - X (m)	NORTE - Y (m)		ESTE - X (m)	NORTE - Y (m)
R-QCh-013	215645.4417	8190085.1876	L-QCh-013	215694.7575	8189874.8743
R-QCh-014	215650.9979	8190106.2220	L-QCh-014	215697.0065	8189888.8972
R-QCh-015	215662.5073	8190136.7814	L-QCh-015	215711.5586	8189912.1806
R-QCh-016	215687.9074	8190199.8847	L-QCh-016	215720.9778	8189927.5353
R-QCh-017	215698.6230	8190216.9503	L-QCh-017	215732.8312	8189942.9870
R-QCh-018	215724.8168	8190239.1754	L-QCh-018	215748.4945	8189965.8470
R-QCh-019	215752.2013	8190245.1285	L-QCh-019	215760.1891	8189982.5422
R-QCh-020	215789.1107	8190238.7785	L-QCh-020	215773.6123	8190001.2869
R-QCh-021	215818.4795	8190244.7316	L-QCh-021	215784.2398	8190006.0285
R-QCh-022	215838.6673	8190259.7699	L-QCh-022	215807.5232	8190038.7310
R-QCh-023	215845.2290	8190280.5133	L-QCh-023	215813.9790	8190041.3769
R-QCh-024	215846.4990	8190296.1767	L-QCh-024	215834.2461	8190026.8600
R-QCh-025	215847.7690	8190313.5334	L-QCh-025	215853.2521	8190030.5234
R-QCh-026	215850.9440	8190330.8901	L-QCh-026	215870.1502	8190036.7676
R-QCh-027	215855.8123	8190355.2318	L-QCh-027	215886.0943	8190044.3634
R-QCh-028	215865.7607	8190378.5151	L-QCh-028	215891.8725	8190047.1856
R-QCh-029	215873.3807	8190399.8935	L-QCh-029	215896.7541	8190050.6781
R-QCh-030	215874.3861	8190418.0219	L-QCh-030	215901.5960	8190054.7262
R-QCh-031	215868.4054	8190429.1902	L-QCh-031	215905.5647	8190060.4809
R-QCh-032	215860.2309	8190441.1730	L-QCh-032	215909.0175	8190067.0691
R-QCh-033	215859.0402	8190453.4762	L-QCh-033	215910.2611	8190070.3102
R-QCh-034	215866.0605	8190469.7393	L-QCh-034	215911.5179	8190074.3451
R-QCh-035	215870.0293	8190479.7934	L-QCh-035	215913.5684	8190081.0259
R-QCh-036	215875.1940	8190489.7894	L-QCh-036	215915.6851	8190086.7806
R-QCh-037	215890.8838	8190494.7636	L-QCh-037	215918.6286	8190094.1889
R-QCh-038	215912.0099	8190492.5111	L-QCh-038	215921.2744	8190099.5467
R-QCh-039	215932.3130	8190492.2955	L-QCh-039	215923.7218	8190104.1439
R-QCh-040	215937.3401	8190501.2384	L-QCh-040	215926.6322	8190109.5679
R-QCh-041	215942.0497	8190509.8638	L-QCh-041	215928.7406	8190114.8209
R-QCh-042	215944.6426	8190514.5205	L-QCh-042	215929.8916	8190122.7452
R-QCh-043	215948.7172	8190522.6168	L-QCh-043	215932.9872	8190135.8421
R-QCh-044	215964.4335	8190551.0860	L-QCh-044	215934.7731	8190143.6553
R-QCh-045	215971.8947	8190565.2677	L-QCh-045	215937.1147	8190153.1009
R-QCh-046	215976.8424	8190575.0705	L-QCh-046	215940.6469	8190164.2532
R-QCh-047	215980.8112	8190583.4711	L-QCh-047	215943.1075	8190171.0397
R-QCh-048	215986.4998	8190593.4591	L-QCh-048	215946.8778	8190180.3266
R-QCh-049	215991.4045	8190603.0580	L-QCh-049	215950.5688	8190189.0976
R-QCh-050	215999.3949	8190618.5626	L-QCh-050	215952.9500	8190193.5426
R-QCh-051	216007.0075	8190630.9469	L-QCh-051	215955.7679	8190197.2732
R-QCh-052	216004.3696	8190646.8664	L-QCh-052	215960.1732	8190201.9564
R-QCh-053	216000.8766	8190664.9706	L-QCh-053	215966.8407	8190206.4675
R-QCh-054	215997.5789	8190675.7581	L-QCh-054	215972.5954	8190211.6269
R-QCh-055	215991.4045	8190683.0682	L-QCh-055	215975.4397	8190217.2493
R-QCh-056	215987.1182	8190688.8890	L-QCh-056	215976.0350	8190222.4087
R-QCh-057	215984.5253	8190695.4507	L-QCh-057	215975.3735	8190227.5681
R-QCh-058	215985.8482	8190701.6684	L-QCh-058	215974.5136	8190232.1983
R-QCh-059	215989.9757	8190710.9553	L-QCh-059	215973.1246	8190236.3655
R-QCh-060	215994.0239	8190731.9897	L-QCh-060	215970.4787	8190242.5171
R-QCh-061	215998.8657	8190747.3620	L-QCh-061	215966.9068	8190251.4468
R-QCh-062	216001.4454	8190751.4895	L-QCh-062	215962.9381	8190263.0223
R-QCh-063	216004.2167	8190754.9383	L-QCh-063	215962.2766	8190276.5822
R-QCh-064	216006.8430	8190758.3555	L-QCh-064	215961.5490	8190285.1812
R-QCh-065	216010.8514	8190764.8246	L-QCh-065	215961.3506	8190291.7297

Margen Derecha			Margen Izquierda		
CODIFICACIÓN	COORDENADAS		CODIFICACIÓN	COORDENADAS	
	ESTE - X (m)	NORTE - Y (m)		ESTE - X (m)	NORTE - Y (m)
R-QCh-066	216015.9182	8190774.0321	L-QCh-066	215963.1365	8190296.9552
R-QCh-067	216022.1157	8190785.6356	L-QCh-067	215965.6501	8190302.7099
R-QCh-068	216026.6867	8190792.7117	L-QCh-068	215967.8990	8190307.6047
R-QCh-069	216034.7433	8190794.7887	L-QCh-069	215970.1480	8190315.0130
R-QCh-070	216039.6117	8190802.6733	L-QCh-070	215971.4709	8190323.8766
R-QCh-071	216043.3688	8190809.9388	L-QCh-071	215971.8016	8190330.8881
R-QCh-072	216048.8192	8190819.4109	L-QCh-072	215971.2725	8190337.2381
R-QCh-073	216051.3063	8190823.5384	L-QCh-073	215970.7168	8190340.8607
R-QCh-074	216054.2696	8190829.2005	L-QCh-074	215968.6928	8190347.3694
R-QCh-075	216057.7621	8190835.9209	L-QCh-075	215965.3275	8190358.8070
R-QCh-076	216063.7153	8190847.4303	L-QCh-076	215961.4073	8190374.8297
R-QCh-077	216070.6209	8190859.8128	L-QCh-077	215960.7194	8190390.1227
R-QCh-078	216077.2884	8190871.8778	L-QCh-078	215962.0423	8190401.4469
R-QCh-079	216086.5753	8190889.1816	L-QCh-079	215964.0002	8190410.8660
R-QCh-080	216094.4467	8190904.2232	L-QCh-080	215967.4927	8190420.3381
R-QCh-081	216102.0535	8190917.8493	L-QCh-081	215971.6202	8190431.5565
R-QCh-082	216109.3957	8190932.0707	L-QCh-082	215975.5625	8190439.4146
R-QCh-083	216116.5394	8190945.5644	L-QCh-083	215980.0075	8190450.2097
R-QCh-084	216120.7728	8190953.3697	L-QCh-084	215984.2673	8190458.3192
R-QCh-085	216124.9400	8190962.3655	L-QCh-085	215988.9637	8190467.8442
R-QCh-086	216132.0176	8190975.3963	L-QCh-086	215994.1892	8190478.6260
R-QCh-087	216140.9473	8190992.0651	L-QCh-087	216000.5762	8190498.4211
R-QCh-088	216144.1884	8190997.5419	L-QCh-088	216003.6148	8190516.3935
R-QCh-089	216140.4578	8191005.5588	L-QCh-089	216005.6986	8190523.0761
R-QCh-090	216144.2678	8191015.7982	L-QCh-090	216008.6090	8190528.8969
R-QCh-091	216147.2047	8191021.2751	L-QCh-091	216012.6440	8190535.5776
R-QCh-092	216152.6022	8191033.4989	L-QCh-092	216019.9862	8190542.1261
R-QCh-093	216153.0833	8191045.8331	L-QCh-093	216027.2622	8190548.8068
R-QCh-094	216150.1729	8191050.3972	L-QCh-094	216032.9508	8190556.9428
R-QCh-095	216140.7140	8191059.1285	L-QCh-095	216036.4565	8190564.6819
R-QCh-096	216134.0994	8191070.3071	L-QCh-096	216043.0443	8190581.3625
R-QCh-097	216129.7686	8191079.4703	L-QCh-097	216049.6857	8190599.1439
R-QCh-098	216128.5780	8191087.8709	L-QCh-098	216052.5300	8190613.5770
R-QCh-099	216129.1072	8191096.3376	L-QCh-099	216053.6280	8190631.6084
R-QCh-100	216130.9424	8191105.0233	L-QCh-100	216054.6519	8190648.4349
R-QCh-101	216134.1656	8191107.8119	L-QCh-101	216053.7074	8190656.3734
R-QCh-102	216144.0875	8191115.8288	L-QCh-102	216051.2071	8190666.1564
R-QCh-103	216150.4472	8191119.3645	L-QCh-103	216051.0483	8190674.8877
R-QCh-104	216161.5289	8191121.6422	L-QCh-104	216052.0008	8190685.7621
R-QCh-105	216164.6637	8191129.2577	L-QCh-105	216052.6953	8190695.9499
R-QCh-106	216166.7804	8191135.7401	L-QCh-106	216053.9257	8190703.5170
R-QCh-107	216168.7647	8191141.9578	L-QCh-107	216055.7381	8190712.5172
R-QCh-108	216172.9319	8191162.0000	L-QCh-108	216057.1007	8190719.1936
R-QCh-109	216176.6361	8191169.9375	L-QCh-109	216060.0243	8190729.4506
R-QCh-110	216181.0811	8191173.1258	L-QCh-110	216063.5697	8190739.6106
R-QCh-111	216190.3416	8191178.4836	L-QCh-111	216066.9564	8190748.5518
R-QCh-112	216199.3374	8191181.6586	L-QCh-112	216074.0146	8190754.7858
R-QCh-113	216219.4822	8191188.5510	L-QCh-113	216080.9996	8190760.7389
R-QCh-114	216226.8641	8191190.9322	L-QCh-114	216088.0640	8190767.4858
R-QCh-115	216232.1822	8191202.8385	L-QCh-115	216100.2150	8190781.8367
R-QCh-116	216235.8335	8191221.2536	L-QCh-116	216110.3325	8190796.5689
R-QCh-117	216241.3897	8191255.2261	L-QCh-117	216116.5046	8190807.3848
R-QCh-118	216247.2106	8191263.8780	L-QCh-118	216118.8196	8190811.6977

Margen Derecha			Margen Izquierda		
CODIFICACIÓN	COORDENADAS		CODIFICACIÓN	COORDENADAS	
	ESTE - X (m)	NORTE - Y (m)		ESTE - X (m)	NORTE - Y (m)
R-QCh-119	216257.7939	8191281.6051	L-QCh-119	216135.7950	8190839.9818
R-QCh-120	216265.2728	8191302.9482	L-QCh-120	216147.5425	8190859.5610
R-QCh-121	216279.4221	8191326.3150	L-QCh-121	216156.9617	8190870.3560
			L-QCh-122	216169.1325	8190885.8077
			L-QCh-123	216184.7622	8190911.1670
			L-QCh-124	216192.5631	8190929.5304
			L-QCh-125	216194.8501	8190945.6037
			L-QCh-126	216194.9824	8190958.0391
			L-QCh-127	216195.5203	8190968.7901
			L-QCh-128	216203.0654	8190985.6617
			L-QCh-129	216213.6488	8191012.9138
			L-QCh-130	216219.0397	8191030.8129
			L-QCh-131	216223.1407	8191042.9838
			L-QCh-132	216227.1095	8191053.4348
			L-QCh-133	216232.0043	8191068.6484
			L-QCh-134	216239.4126	8191083.8620
			L-QCh-135	216250.6574	8191109.6589
			L-QCh-136	216261.3731	8191128.4444
			L-QCh-137	216266.6978	8191138.9417
			L-QCh-138	216281.1007	8191155.7306
			L-QCh-139	216301.1466	8191180.5343
			L-QCh-140	216311.0685	8191192.7581
			L-QCh-141	216322.6838	8191209.1358
			L-QCh-142	216334.2196	8191224.0160
			L-QCh-143	216346.9990	8191240.7642
			L-QCh-144	216354.6456	8191268.3660

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

- El modelamiento hidráulico de la Quebrada Los Andenes, se realizó utilizando un caudal determinado de manera indirecta, a través de un modelo hidrológico cuyos caudales máximos se han determinado con hietogramas a partir de curvas IDF de la estación Alfredo Rodríguez Guillén con datos de precipitaciones máximas de 24 horas. El caudal máximo asociado a un periodo de retorno de 100 años es de 39.48 m³/s, y con este parámetro crucial, sumado a la información topográfica post-procesada del trabajo de fotogrametría con Aeronave (Dron), se ha realizado la simulación de inundabilidad en el software Iber, para una longitud de 2.16 Km.
- Utilizando los mapas de inundación generados, se procedió con la delimitación de la faja marginal de la Quebrada Los Andenes, a una distancia de diez (10) metros a partir del Borde de Inundación, que coincide con las huellas máximas visibles en campo y en la ortofoto.
- Para la identificación de la Faja Marginal de la Quebrada Los Andenes, se definieron en total 265 vértices que se encuentran georreferenciados en Coordenadas Proyectadas Universal Transversal Mercator - Sistema WGS84 - Zona 19 Sur, subdivididos en 144 para margen izquierda y 121 para margen derecha; además la longitud del eje es de 2.16 km de longitud.

7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la entidad encargada evalúe y apruebe el presente estudio de delimitación de faja marginal de la Quebrada Los Andenes, para evitar que el fenómeno antrópico de ocupaciones informales y perjudique la intangibilidad de los bienes asociados al agua.
- Se recomienda considerar realizar estudios para la construcción de infraestructura de protección del cauce de la Quebrada Los Andenes; como: diques, defensas ribereñas y defensas vivas para disminuir la erosión superficial y otros daños asociados.

ANEXOS

ANEXO 01: PLANOS DE DELIMITACIÓN DE FAJA MARGINAL