



Ministerio
de Desarrollo Agrario
y Riego



ADMINISTRACION LOCAL DE AGUA CHILI

**“Estudio de delimitación de la faja marginal en el
cauce de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo
Pumacahua - Miraflores”**

Arequipa, Setiembre del 2024

Tabla de contenido

I.	GENERALIDADES	5
1.1	INTRODUCCIÓN	5
1.2	OBJETIVO Y METAS	6
1.2.1	OBJETIVO GENERAL	6
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
1.2.3	METAS	6
1.3	JUSTIFICACIÓN	6
1.4	ALCANCES	7
II.	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRAMO DE ESTUDIO.....	9
2.1	UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA	9
2.2	UBICACIÓN HIDROGRÁFICA	9
2.3	DESCRIPCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO	12
III.	ANÁLISIS DE MAXIMAS AVENIDAS	15
3.1	METODO PARA DETERMINACIÓN DE MAXIMAS AVENIDAS. –	15
3.1.1	MODELO DIGITAL DE TERRENO Y SUS APLICACIONES	16
3.1.2	DELIMITACIÓN DE SUBCUENCAS Y PUNTOS DE DRENAJE DE LA ZONA DE ESTUDIO	25
3.1.3	PARÁMETROS FÍSICOS E HIDROLÓGICOS DE LOS SECTORES DEFINIDOS	27
3.1.4	DISTRIBUCIÓN EN HIETOGRAMAS DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS	27
3.2	DETERMINACIÓN DE CAUDALES MAXIMOS	48
IV.	TOPOGRAFIA.....	51
4.1	INTRODUCCIÓN. –	51
4.1.1	OBJETIVOS	51
4.1.2	UBICACIÓN	51
4.2	RECURSOS:	53
4.2.1	PERSONAL.....	53
4.2.2	EQUIPOS	53
4.3	PUNTOS DE CONTROL	54
4.3.1	MÉTODO EMPLEADO	54
4.4	PLANEAMIENTO DE VUELO.	54
4.4.1	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	54
4.4.2	DESCARGA DE IMÁGENES	55
4.4.3	AERO TRIANGULACIÓN	55
4.4.4	OBTENCIÓN DE MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN	55
4.4.5	OBTENCIÓN DE ORTOFOTO.....	56
4.4.6	OBTENCIÓN DE CURVAS DE NIVEL.....	57
4.4.7	REALIZACIÓN DE PLANOS	58
4.5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
4.6	PANEL FOTOGRAFICO.....	59
V.	SIMULACIÓN HIDRAULICA	62
5.1	DESCRIPCION DEL MODELO. –	62
5.2	CONFIGURACIÓN DEL MODELO	62
5.2.1	PROCEDIMIENTO.....	63
5.2.2	GEOMETRÍA DEL CAUCE	66

5.2.3	PREPARACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO CON IBER.	66
5.2.4	DATOS DEL MÓDULO HIDRODINÁMICO DE IBER.	67
5.2.5	DATOS DE LA RUGOSIDAD DE ACUERDO AL USO DE SUELO.	68
5.3	SIMULACION HIDRAULICA.	71
5.4	GENERACIONES DE MAPAS DE INUNDACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA RIBERA.	72
VI.	DELIMITACIÓN DE LA FAJA MARGINAL.	79
6.1	DIMENSIONAMIENTO DE LA FAJA MARGINAL. –	79
6.2	DIMENSIONAMIENTO DEL CAUCE. –	82
VII.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	85
7.1	CONCLUSIONES.	85
7.2	RECOMENDACIONES.	86
ANEXO 01: PLANOS DE DELIMITACIÓN DE FAJA MARGINAL.		¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.

Contenido de Tablas

Tabla 1 - Ubicación del tramo de estudio (Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19S)	12
Tabla 2 - Parámetros físicos de la Cuenca de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua.	25
Tabla 3 - Ubicación del Punto de Salida del Área de estudio (Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19S)	25
Tabla 4 - Parámetros de las Subcuencas: Tiempo de Concentración	27
Tabla 5 - Parámetros de las Subcuencas: Tiempo de retardo	27
Tabla 6 - Red de estaciones Pluviométricas seleccionadas	29
Tabla 7 - Precipitaciones Máximas en 24 horas	29
Tabla 8 - Distribución de probabilidades pluviométricas mediante Gumbel	32
Tabla 9 - Probabilidades pluviométricas mediante distribución normal	35
Tabla 10 - Calculo de Precipitaciones diarias máximas probables asociados a distintos periodos de retorno	37
Tabla 11 - Precipitaciones máximas probables para diferentes tiempos de duración de lluvias	37
Tabla 12 - Regresiones IDF para TR: 50 años.	38
Tabla 13 - Regresiones IDF para TR: 100 años.	39
Tabla 14 - Intensidades de Precipitaciones máximas	41
Tabla 15 – Métodos para el cálculo del tiempo de concentración	42
Tabla 16 – Coeficientes de escorrentía Método Racional - Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2013	43
Tabla 17 – Obtención de Hietograma para un Periodo de Retorno de 50 años.	45
Tabla 18 – Obtención de Hietograma para un Periodo de Retorno de 100 años.	47

Contenido de ilustraciones

<i>Ilustración 1 - Ubicación del Área de Proyecto.</i>	<i>9</i>
<i>Ilustración 2 - Mapa Hidrológico de la Cuenca Quilca Chili</i>	<i>10</i>
<i>Ilustración 3 - Mapa Hidrológico UH Nivel 5 Medio Quilca Vitor Chili</i>	<i>11</i>
<i>Ilustración 4 - Ubicación tramo a delimitar en la microcuenca de la Quebrada San Lázaro – Sector Mateo Pumacahua</i>	<i>13</i>
<i>Ilustración 53 - Valores de Kn para datos dudosos.</i>	<i>32</i>
<i>Ilustración 6 - Regresiones IDF para TR: 50 años.</i>	<i>39</i>
<i>Ilustración 7 - Regresiones IDF para TR: 100 años.</i>	<i>40</i>
<i>Ilustración 8 - Curva de Intensidad Duración y Frecuencia</i>	<i>41</i>
<i>Ilustración 9 - Reemplazo de fórmula de Intensidad con información de la microcuenca en estudio.</i>	<i>42</i>
<i>Ilustración 10 - Hietograma de TR: 50 años para la subcuenca en estudio</i>	<i>46</i>
<i>Ilustración 11 - Hietograma de TR: 100 años para la subcuenca en estudio</i>	<i>48</i>
<i>Ilustración 12 - Aerotriangulación</i>	<i>55</i>
<i>Ilustración 13 - modelo digital de elevaciones (MDE)</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 14 - Obtención de ortofoto</i>	<i>56</i>
<i>Ilustración 15 - Curvas de nivel</i>	<i>57</i>
<i>Ilustración 16 - Verificación de la información topográfica con el software civil 3D</i>	<i>58</i>

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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua., en una longitud total de 2.30 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-escurrimiento 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, según corresponda. 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua., en una longitud total de 2.30 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua.
- Proponer el ancho de cauce y faja marginal en la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua.
- 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua, cuya longitud total es de 2.30 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 periodos 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua; 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua, se ubica en el distrito de Miraflores, en la Provincia de Arequipa y Región de Arequipa; y es donde el tramo de estudio se sitúa.

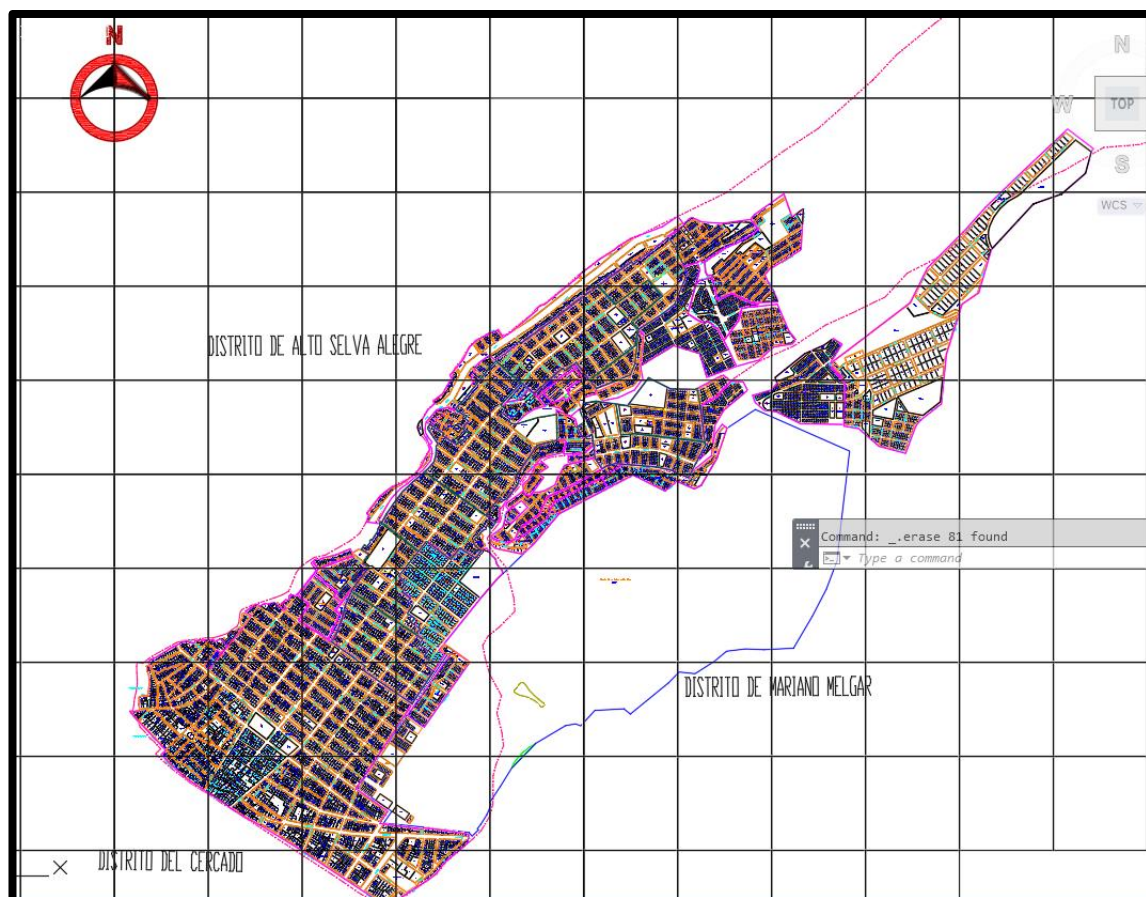


Ilustración 1 - Ubicación del Área de Proyecto.

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).

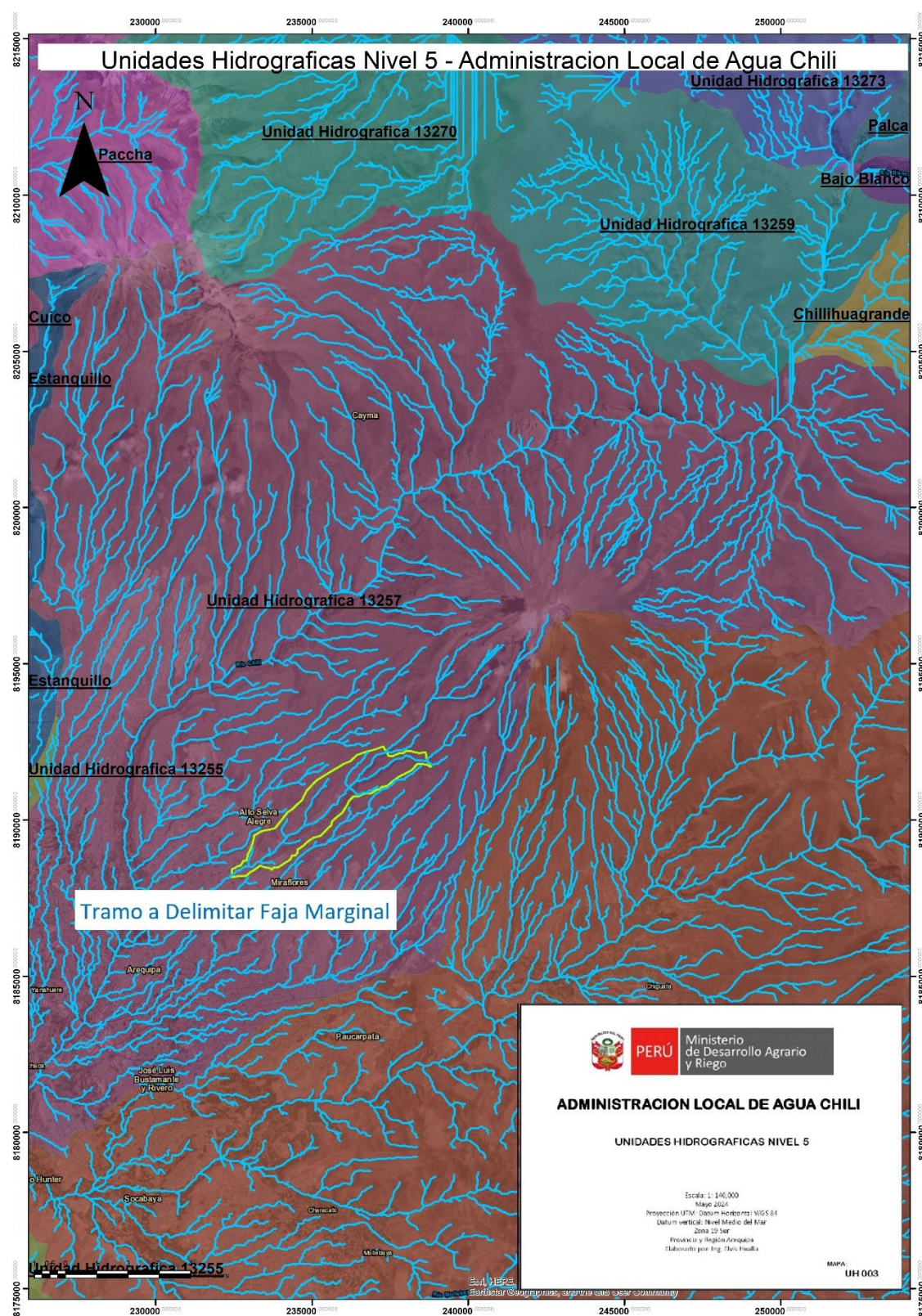


Ilustración 3 - Mapa Hidrológico UH Nivel 5 Medio Quilca Vitor Chili

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:

Yarabamba. 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: 13257

2.3 DESCRIPCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO

El área de interés corresponde a un tramo de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua., 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 del P.P.J.J. Mateo Pumacahua - Miraflores, en una extensión de 2.30 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua son:

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

TRAMO	INICIO	FIN
<u>ESTE</u>	<u>234256.449</u>	<u>232480.180</u>
<u>NORTE</u>	<u>8189516.840</u>	<u>8188256.901</u>

Fuente: Elaboración Propia

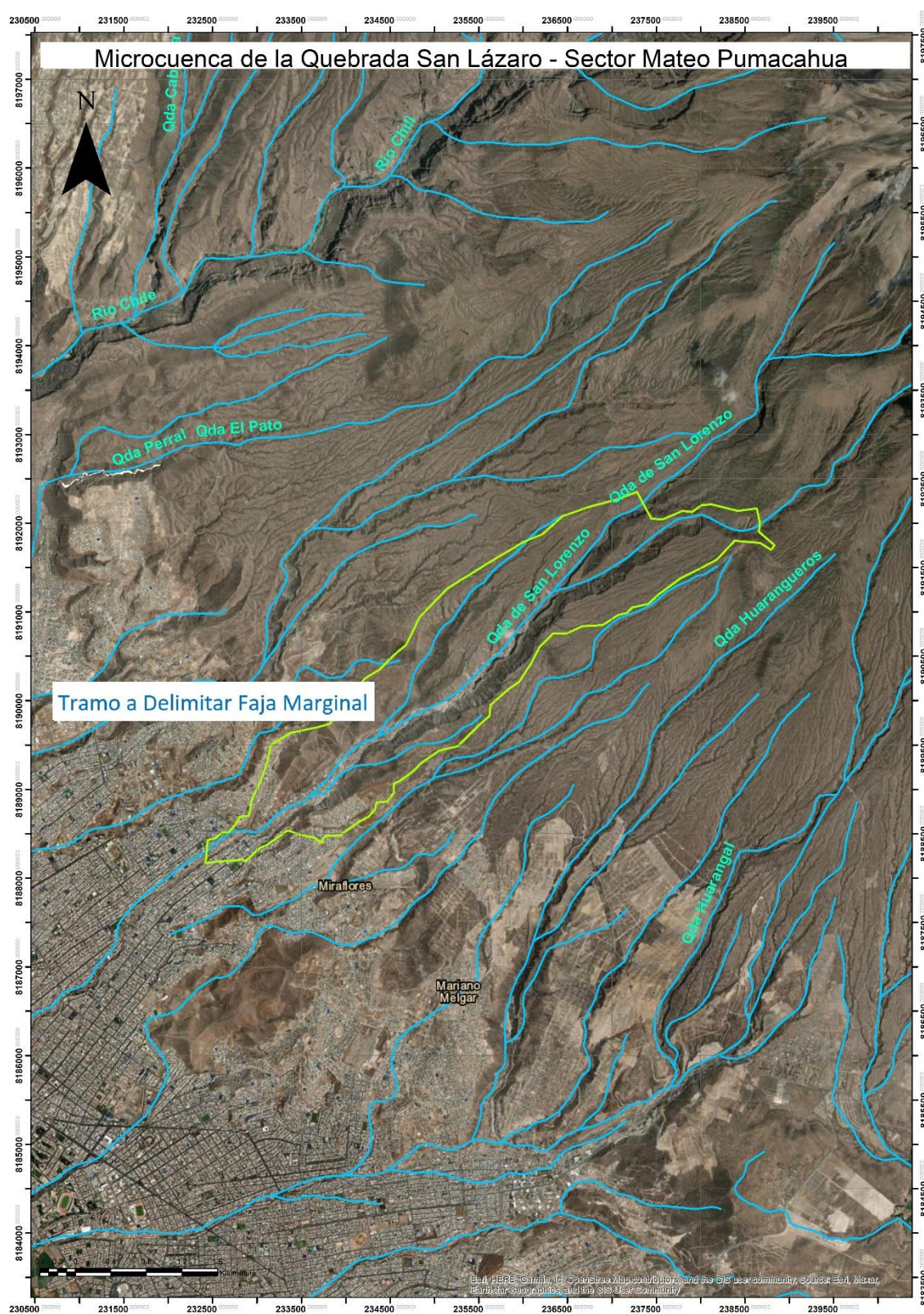


Ilustración 4 - Ubicación tramo a delimitar en la microcuenca de la Quebrada San Lázaro – Sector Mateo Pumacahua

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.

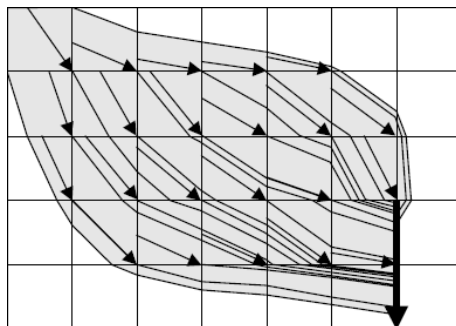


Ilustración 5 - Celdas donde se da la Acumulación y Dirección de flujo

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

Coeficiente 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:

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

Donde:

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

A: Área de la cuenca (km)

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.

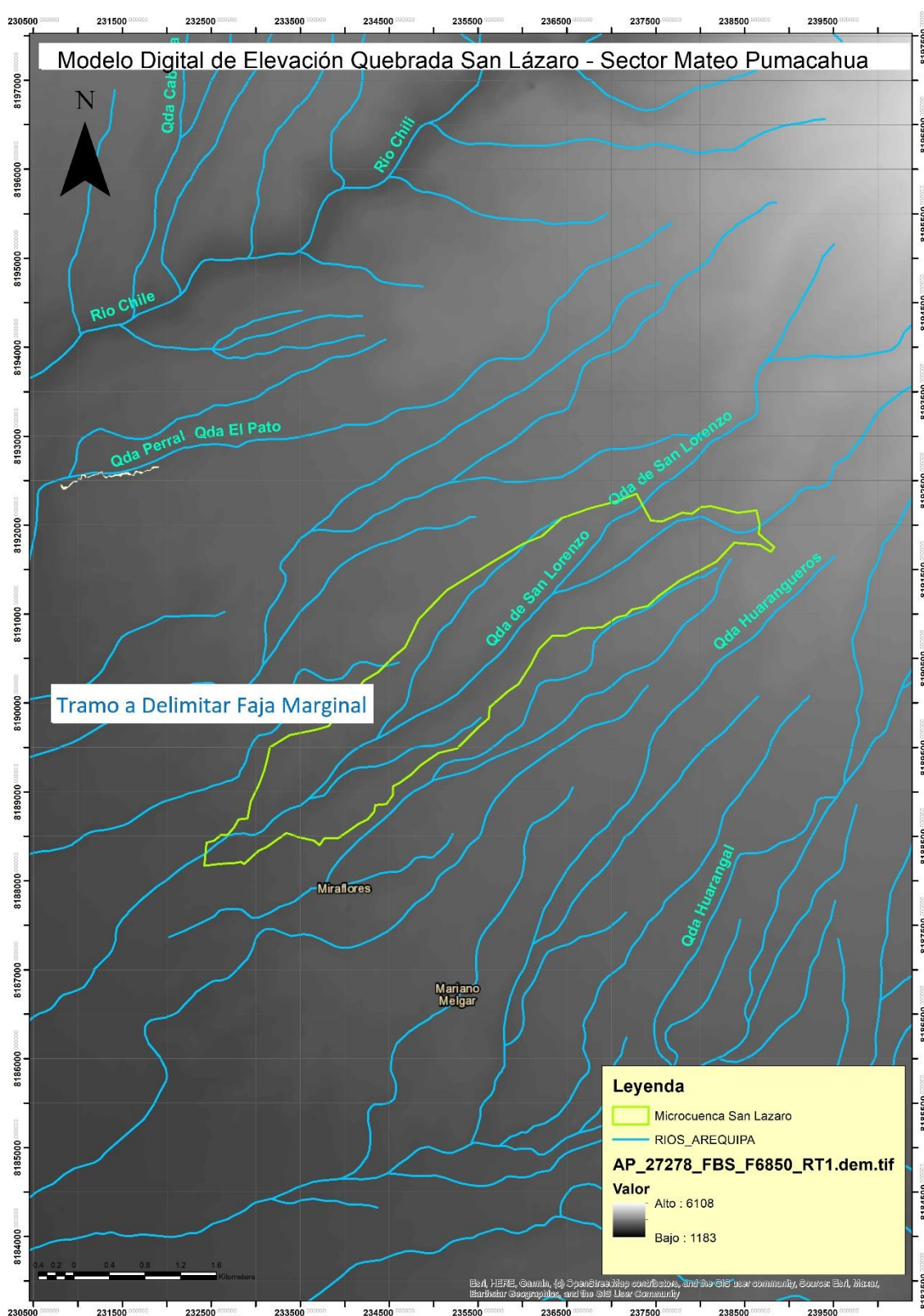


Ilustración 6 - Modelo de Elevación Digital Seleccionado. Fuente: ALOS PALSAR NASA

- 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 (MDFA). 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 Accumulation**)

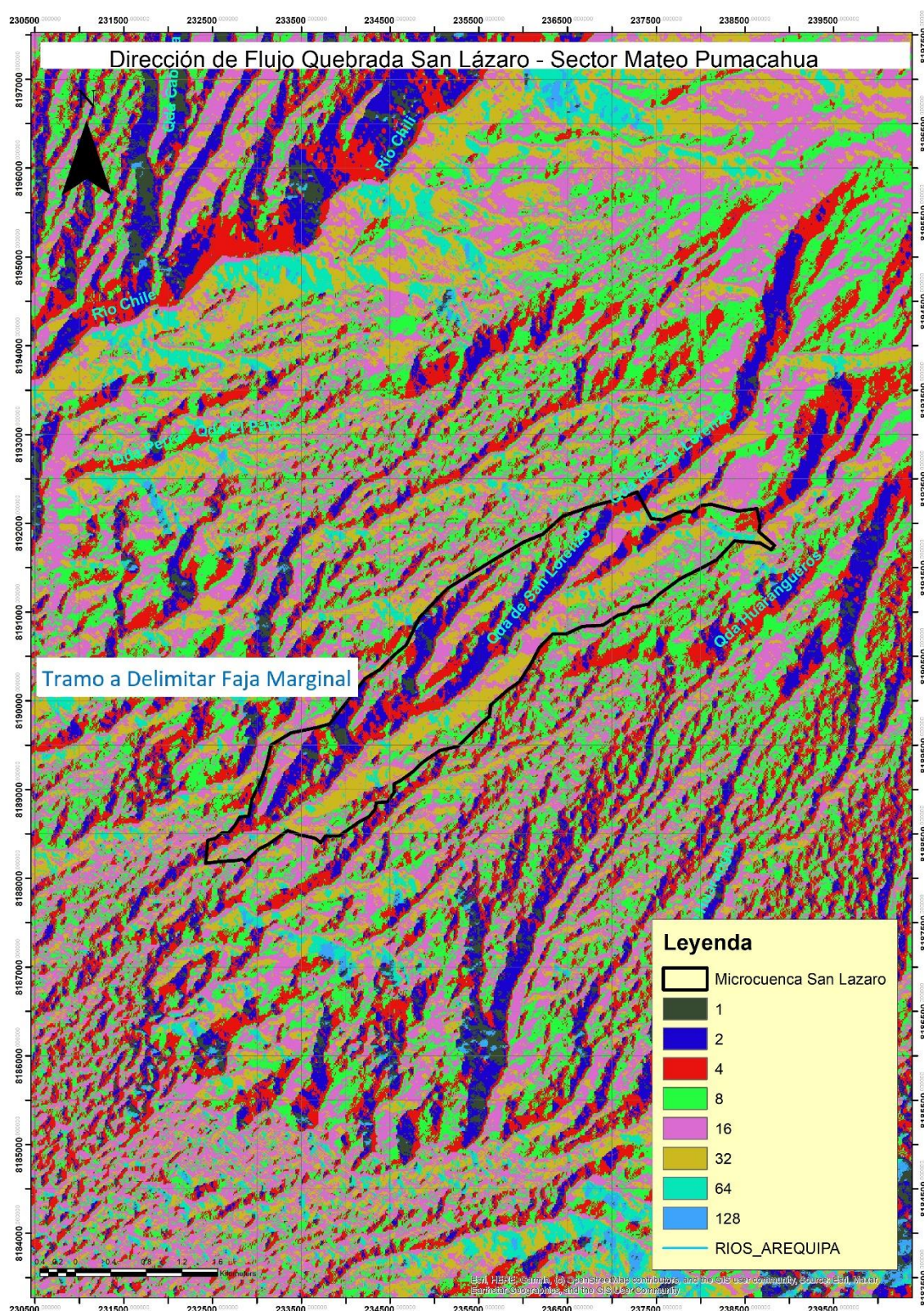


Ilustración 7 – Modelo Digital de Elevación de Dirección de Flujo de la Cuenca Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua.

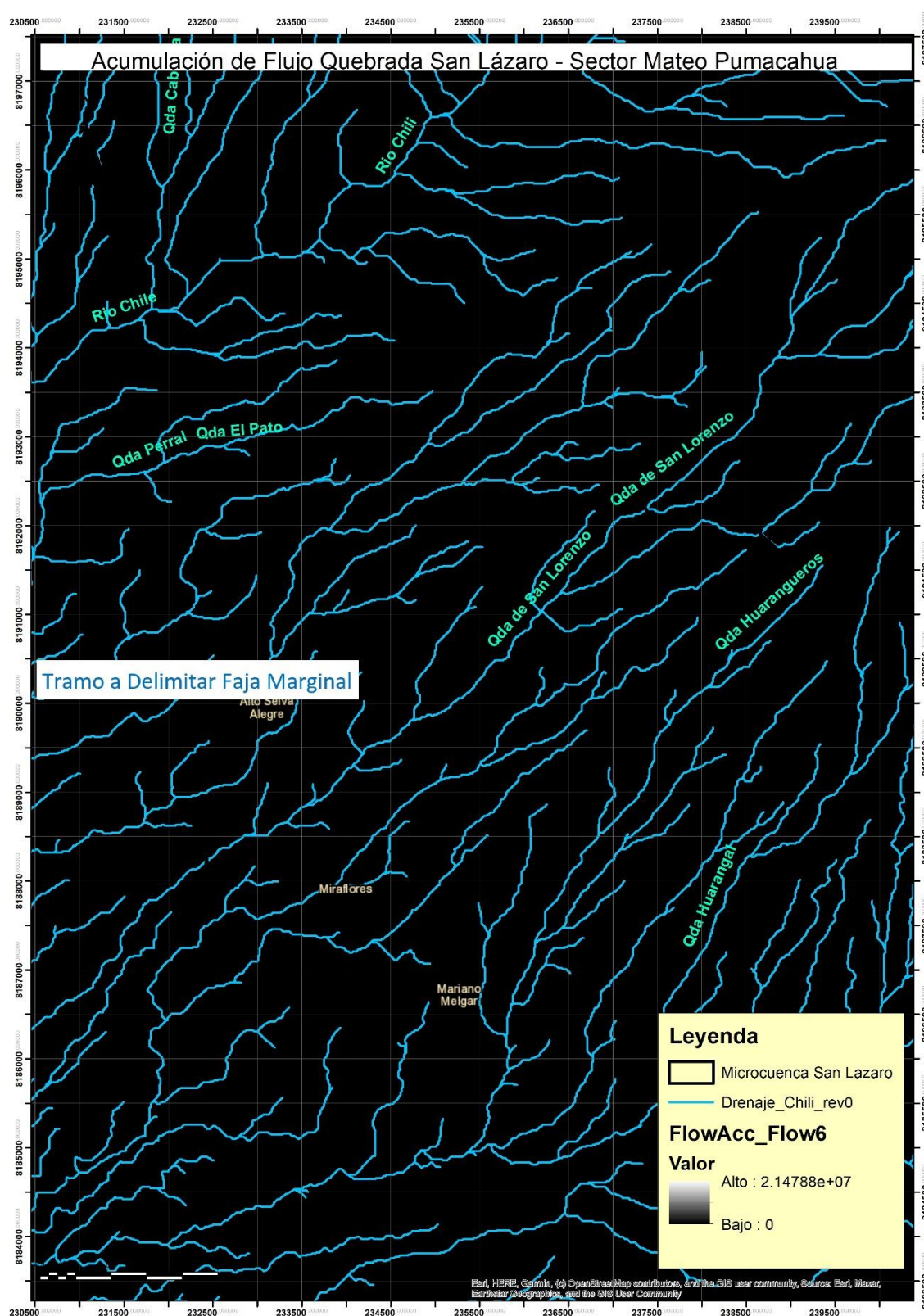


Ilustración 8 - Modelo Digital de Flujo Acumulado de la Cuenca Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua.

- 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.

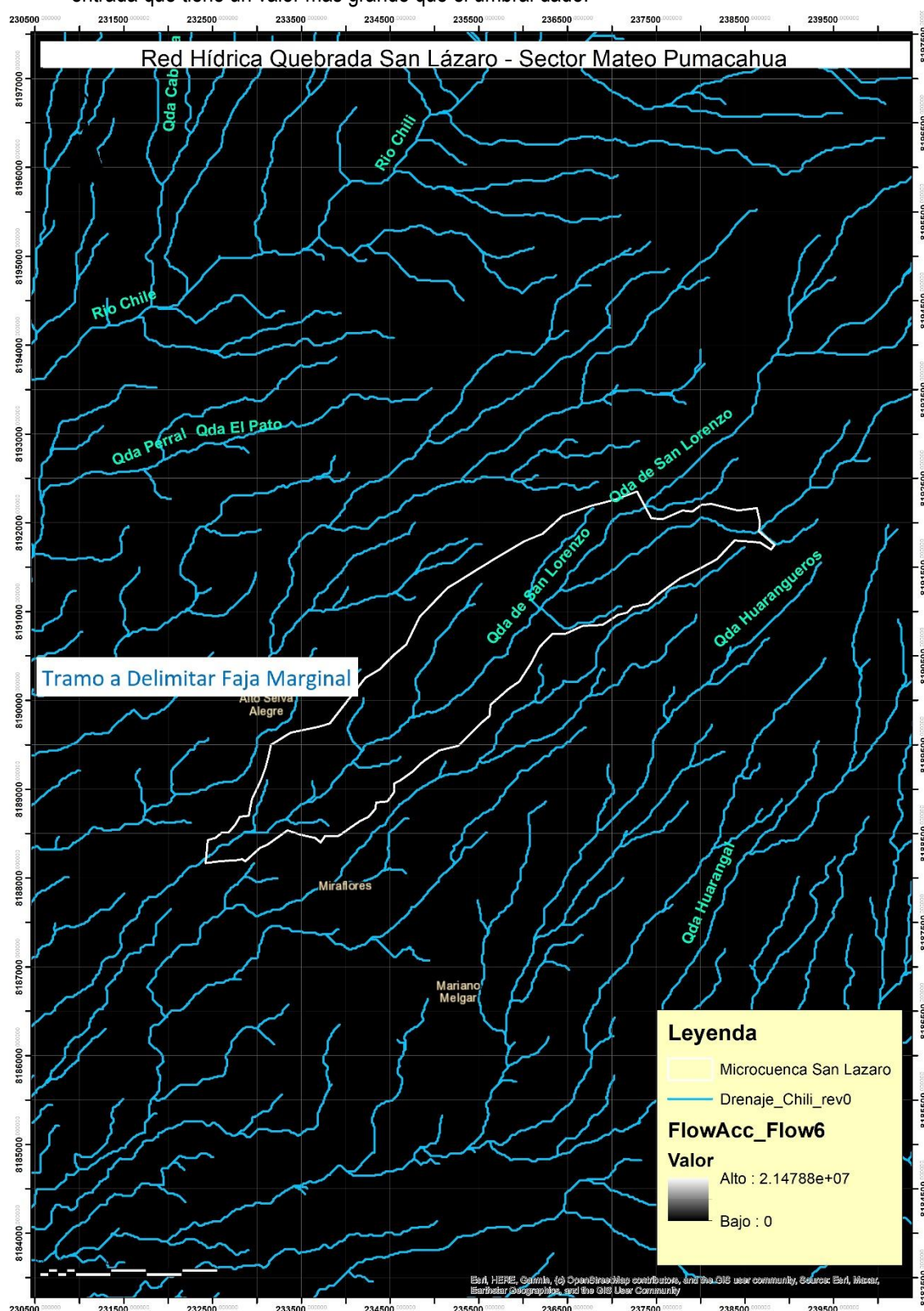


Ilustración 9 – Red Hídrica de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua.

A través de estos procedimientos se ha culminado con la caracterización física de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua., y se detallará a continuación.

Microcuenca	Área (km ²)	Área (Ha)	Perímetro (km)	Longitud (km)	Kc
MC-Q San Lázaro	7.28	728	17.01	6.59	1.765

Tabla 2 - Parámetros físicos de la Cuenca de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua.

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 delineación 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua (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	232428.91	8188170.31

Fuente: Elaboración Propia

Habiéndose definido el área de influencia de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua., se determinará los caudales extremos en el tránsito de máximas avenidas.

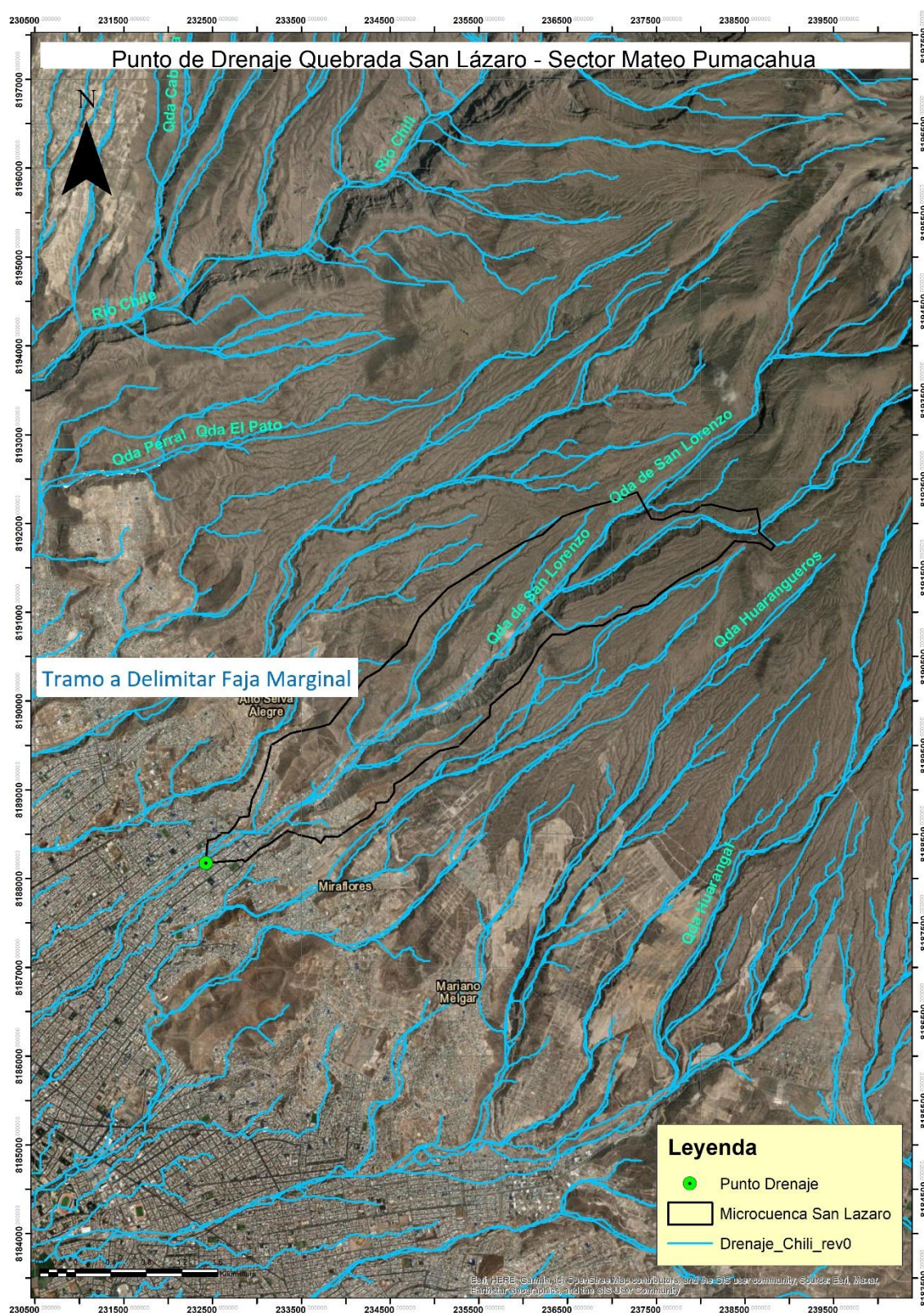


Ilustración 10 - Definición del punto de drenaje y área de Estudio requerida.

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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua, 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 California, que es esencialmente la fórmula de Kirpich, desarrollada para cuencas pequeñas

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

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)
MC-Q San Lázaro	6.59	42.67

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 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)
MC-Q San Lázaro	0.71	25.60

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 6.

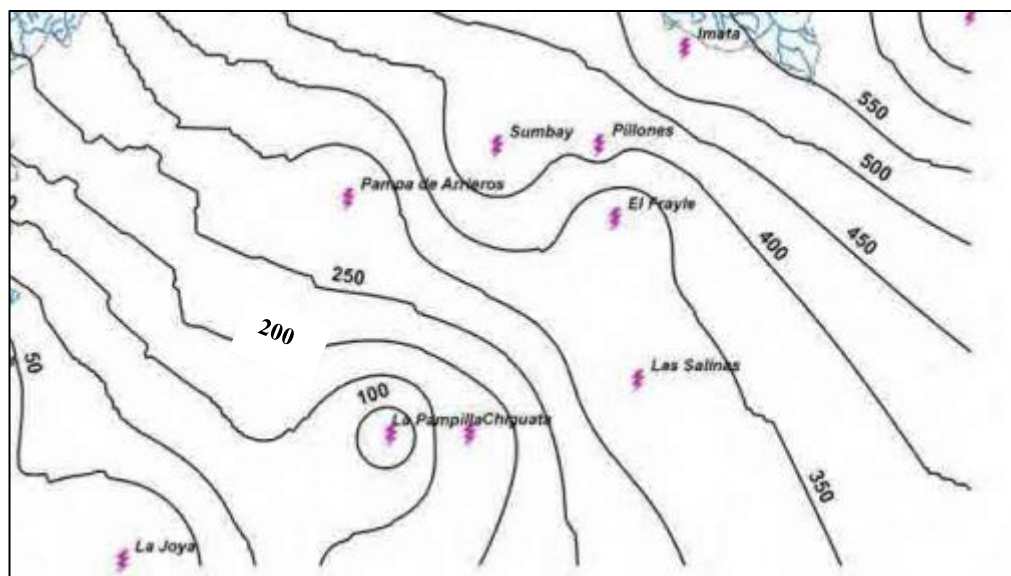


Ilustración 11 – Mapa de Isoyetas en la zona de estudio requerida.

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 de la estación Alfredo Rodríguez Ballón.

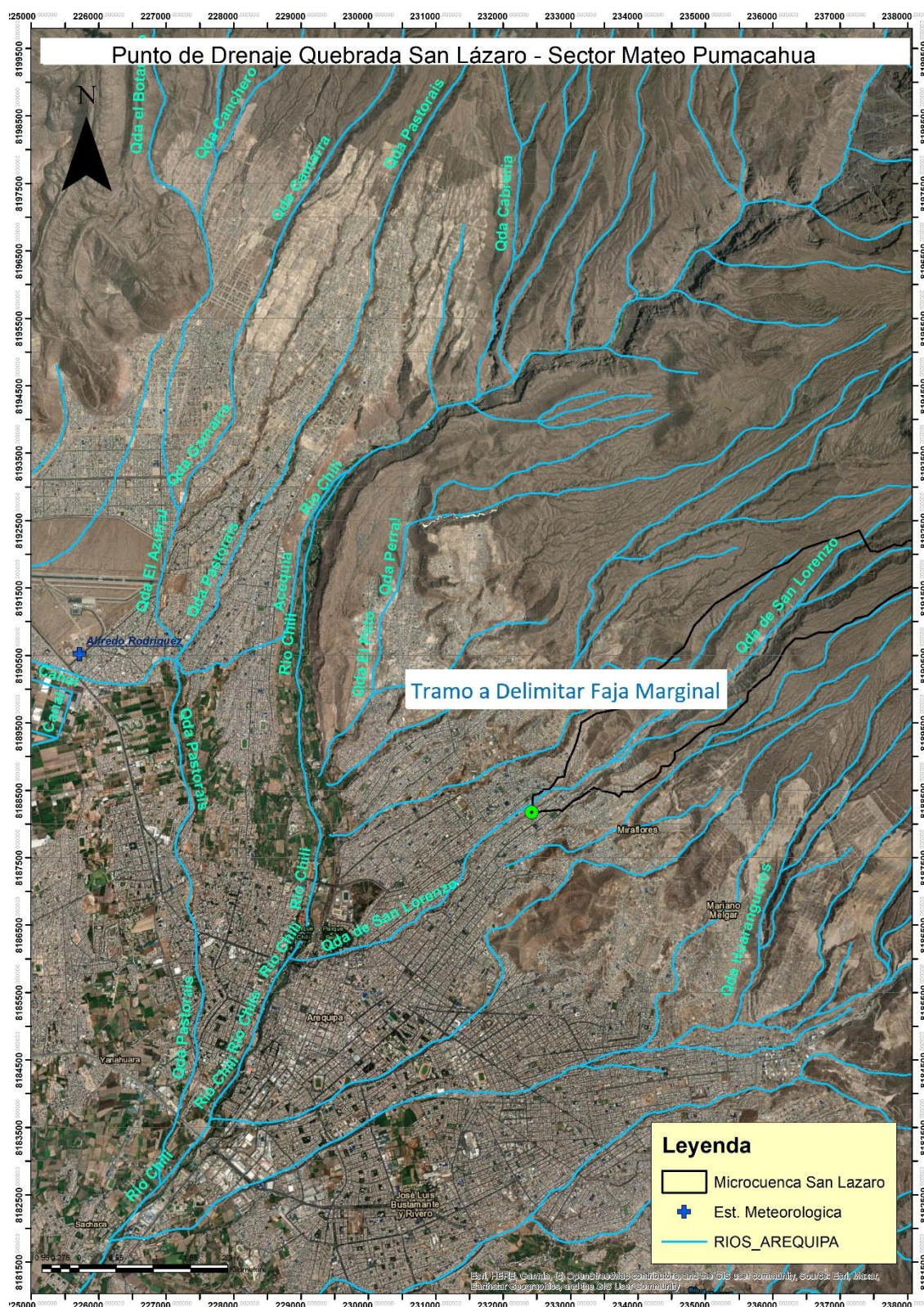


Ilustración 12 - Estaciones Pluviométricas utilizadas en el presente Estudio.

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>	Tamaño de muestra <i>n</i>	<i>K_n</i>	Tamaño de muestra <i>n</i>	<i>K_n</i>	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 53 - 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	0.79
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
Coeficiente Variación	0.827	0.317
Coeficiente de Sesgo	0.9584	-0.300
Coeficiente 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

$$y_H = 1.298 + 2.692 * 0.412$$

$$y_H = 2.406$$

Precipitación Maxima Aceptada

$$PH = 10^{y_H}$$

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

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

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

Umbral de Datos Dudosos Bajos

$$y_L = 1.298 - 2.692 * 0.412$$

$$y_L = 0.190$$

Precipitación Minima Aceptada

$$PL = 10^{y_L}$$

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

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

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 periodo 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 (X_m)= 29.0712

Parámetro de escala (S)= 24.0413

Con momentos lineales:

Media lineal (X_l)= 29.0712

Desviación estándar lineal (S_l)= 23.2547

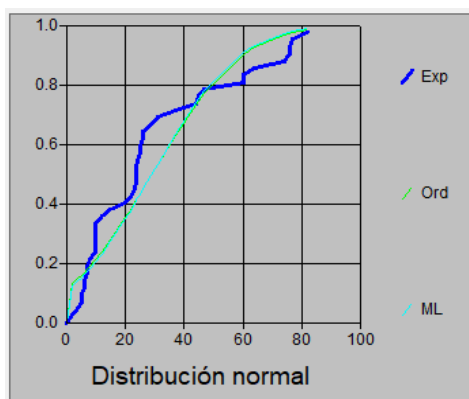


Tabla 9 - Probabilidades pluviométricas mediante distribución normal

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	0.7938	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 - Cálculo 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	0.790	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 = 91%	32.8491	55.7090	67.6757	80.4221	88.6598	96.0613	102.8413
18 hr	X18 = 80%	29.8927	50.6952	61.5849	73.1841	80.6804	87.4158	93.5856
12 hr	X12 = 68%	26.2793	44.5672	54.1406	64.3377	70.9278	76.8490	82.2730
8 hr	X8 = 61%	22.3374	37.8821	46.0195	54.6870	60.2887	65.3217	69.9321
6 hr	X6 = 57%	20.0380	33.9825	41.2822	49.0575	54.0825	58.5974	62.7332
5 hr	X5 = 52%	18.7240	31.7541	38.5751	45.8406	50.5361	54.7549	58.6195
4 hr	X4 = 46%	17.0815	28.9687	35.1914	41.8195	46.1031	49.9519	53.4775
3 hr	X3 = 39%	15.1106	25.6261	31.1308	36.9942	40.7835	44.1882	47.3070
2 hr	X2 = 30%	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.

Periodo 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

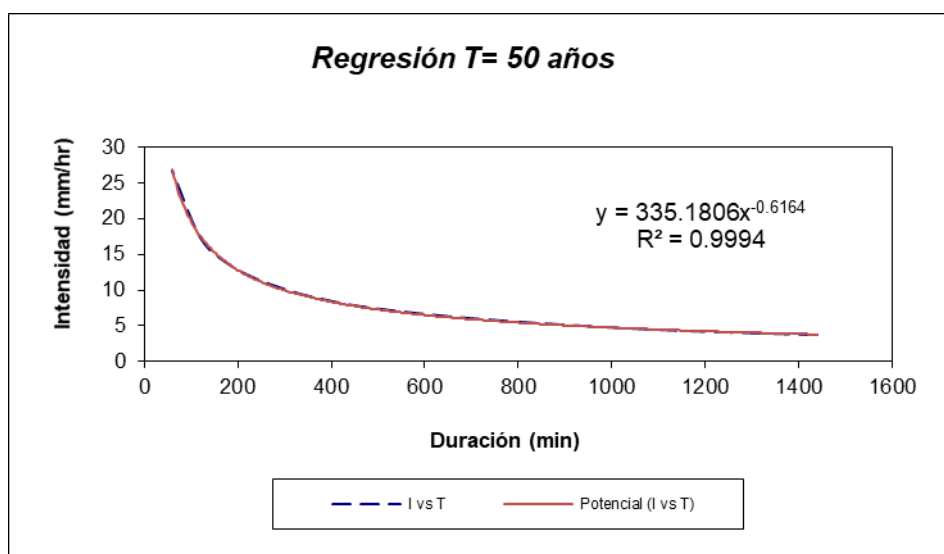


Ilustración 6 - Regresiones IDF para TR: 50 años.

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

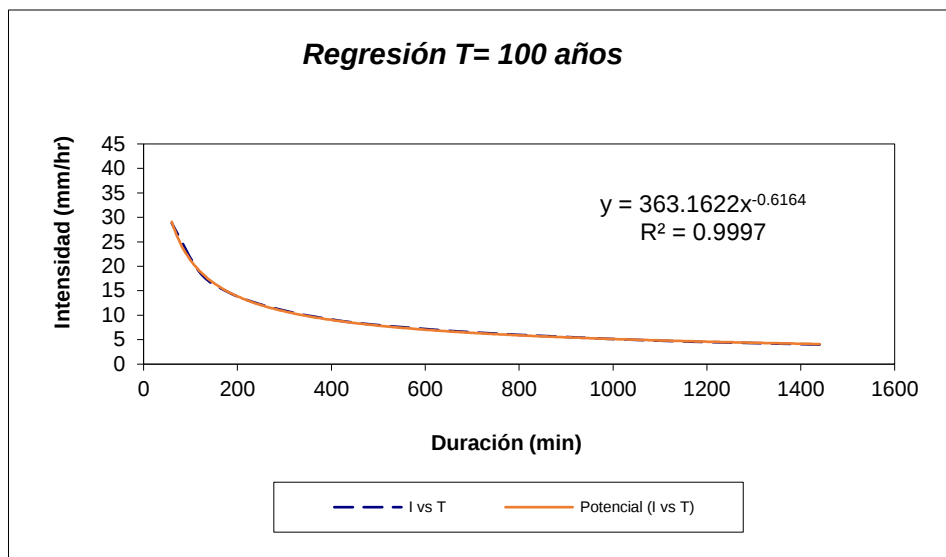


Ilustración 7 - Regresiones IDF para TR: 100 años.

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 San Lazaro Sector Mateo Pumacahua., 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

Ilustración 8 - 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua:

Tiempo de concentración de la cuenca (Fórmula California)

L cauce ppal: 6.59 km
Pendiente = 0.09 m/m

Tiempo concentración = 0.71236461 h

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

Curvas IDF de la cuenca

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

Donde:

I = intensidad de precipitación (mm/hr)

T = Periodo de Retorno (años)

t = Tiempo de duración de precipitación (min)

Ilustración 9 - Reemplazo de fórmula de Intensidad con información de la microcuenca en estudio.

Tabla 15 – Métodos para el cálculo del tiempo de concentración

MÉTODO Y FECHA	FÓRMULA PARA t_c (minutos)	OBSERVACIONES
Kirpich (1940)	$t_c = 0.01947 L^{0.77} S^{-0.385}$ L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m. S = pendiente promedio de la cuenca, m/m	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)	$t_c = 0.0195 \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ L = longitud del curso de agua más largo, m. H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.	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)
MC-Q San Lazaro	6586	3183	2580	603	42.67	42.60	72.05

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

Coeficientes de Escorrentía Metodo Racional

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

Manual de Hidrología, Hidráulica y Drenaje, 2013

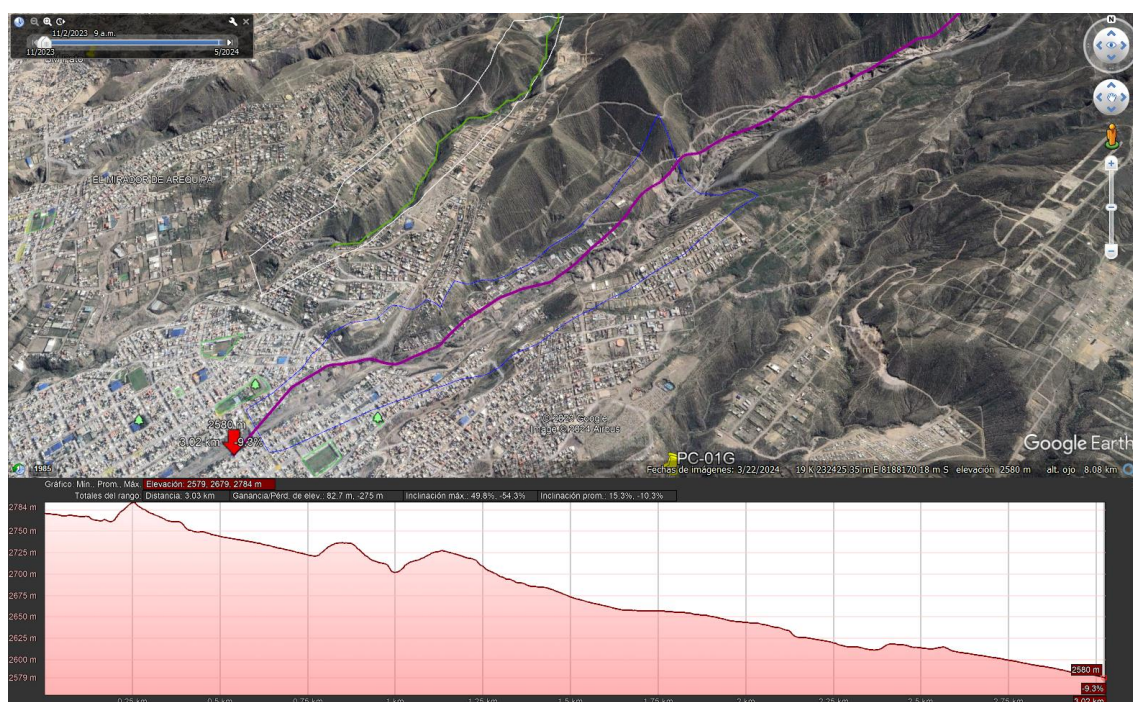


Ilustración 13 – Perfil Longitudinal grafico de la microcuenca - Quebrada San Lazaro Sector Mateo Pumacahua.

Para la estimación de caudales se utilizará el método racional por la caracterización de la cuenca y principalmente por tratarse de una microcuenca pequeña. Luego de realizar el prorratio con los tipos de cobertura en la zona de estudio se determinó que el coeficiente de escorrentía más adecuado será de 0.45.

Microcuenca	Coefficiente de Escorrentía
Q San Lazaro	0.45

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

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 50 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		3	180 min			
Intesidad 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

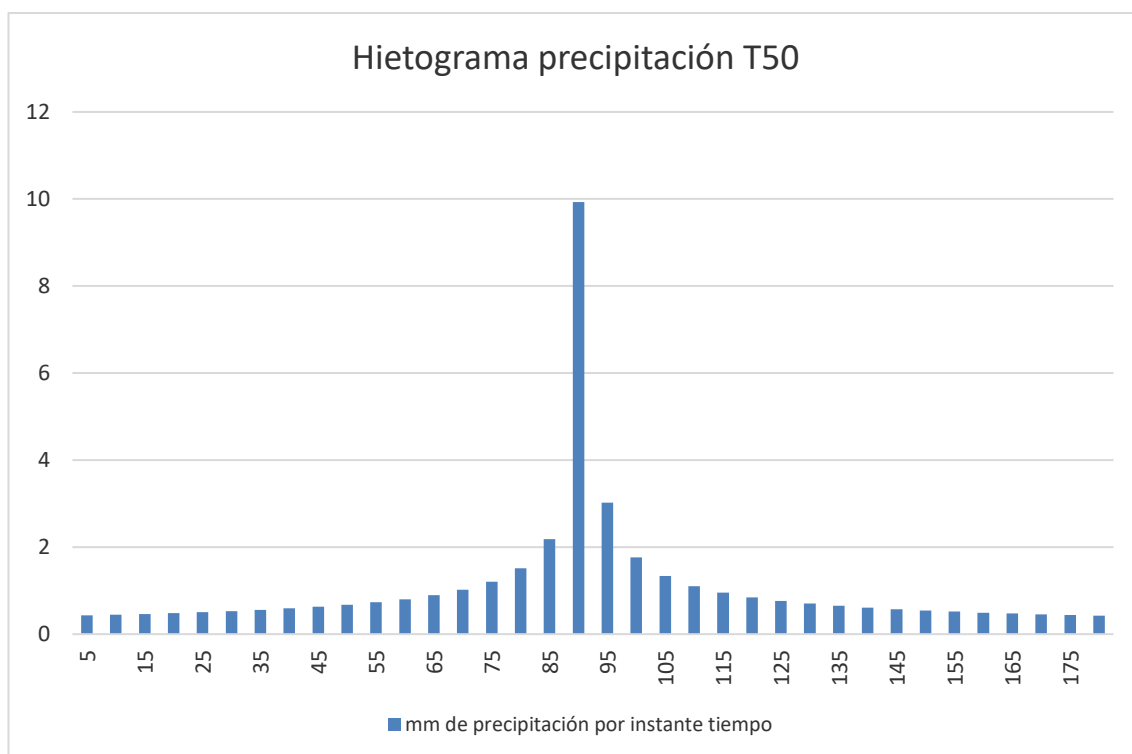


Ilustración 10 - Hietograma de TR: 50 años para la subcuenca en estudio

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

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		3	180 min			
Intesidad 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

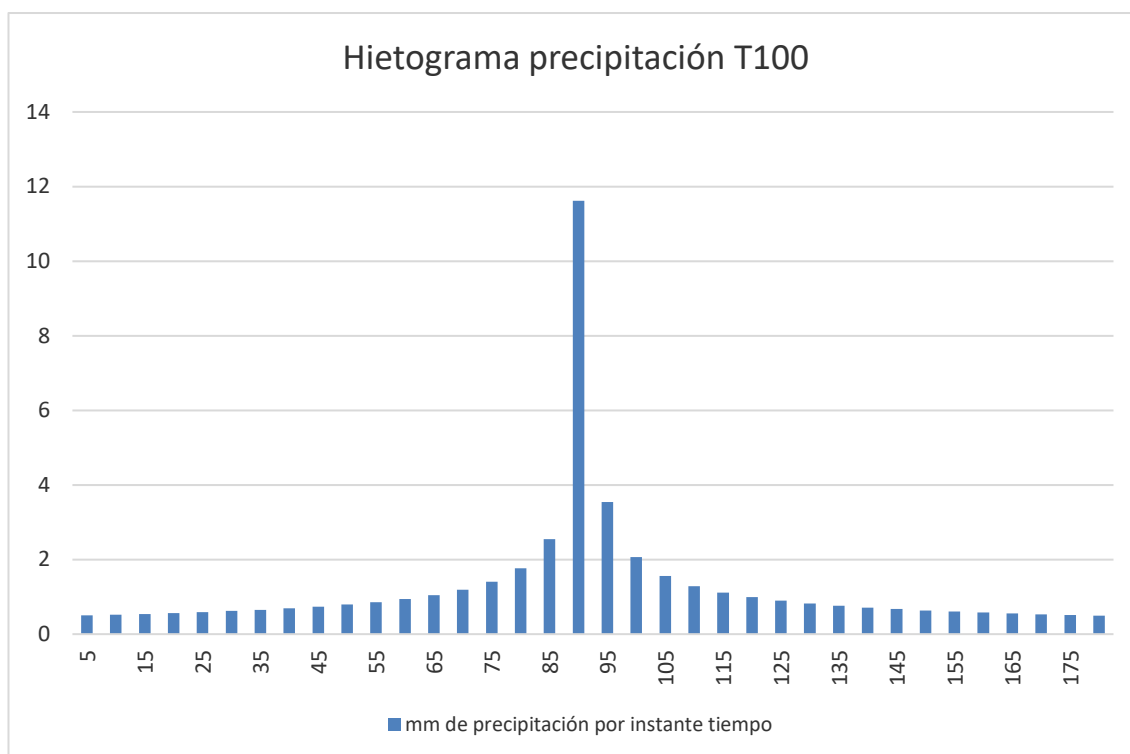


Ilustración 11 - Hietograma de TR: 100 años para la subcuenca en estudio

3.2 DETERMINACIÓN DE CAUDALES MAXIMOS

Método Racional

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:

$$Q = 0.278 * CIA$$

Donde:

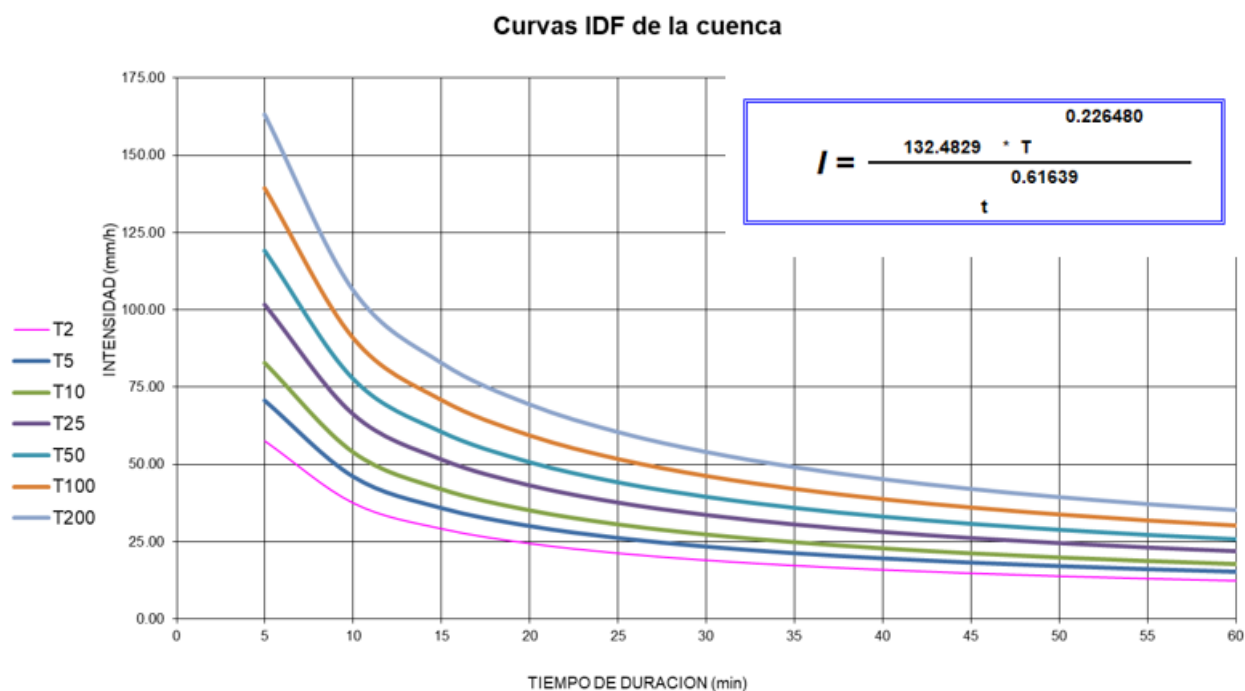
Q: Descarga máxima de diseño (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía

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:



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 19 – Obtención de Hietograma para 2 diferentes escenarios

Item	Escenario	Micro- cuenca	Tc	T (años)	I (mm/h)	Área	Coef. Esc. C	Caudal Diseño Q(m3/s)	Tipo de Periodo Retorno
			(min)			(Km2)			
1	1	Quebrada San Lazaro	43.00	50	31.63	7.280	0.45	28.81	Agrícola
2	2	Quebrada San Lazaro	43.00	100	37.01	7.280	0.45	33.70	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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua.”

En la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua. en un tramo de 2.30 km, se ha visto que en el área de cauce se han conformado zonas de riesgo por la erosión lateral del curso de agua, 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 “San Lázaro Sector Mateo Pumacahua” 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 computacionales 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 innominada que inicia en el sector P.P.J.J. Mateo Pumacahua.

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, en formato vectorial CAD.
- Secciones transversales en formato vectorial CAD.
- Perfil longitudinal del cauce, en formato vectorial CAD.
- 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.

4.1.2 Ubicación

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

- Sector : Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua.
- Distrito : Miraflores
- Provincia : Arequipa
- Departamento : Arequipa

— Región : Arequipa

La zona de estudio total abarca 2.30 km a lo largo de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua - Miraflores.

Tabla 20 - Ubicación del tramo de estudio (Coordenadas UTM WGS 84 Zona 19S)

<u>TRAMO</u>	<u>ESTE</u>	<u>NORTE</u>	<u>ALTITUD (msnm)</u>
<u>Inicio</u>	<u>234256.449</u>	<u>8189516.840</u>	<u>2756.04</u>
<u>Fin</u>	<u>232480.180</u>	<u>8188256.901</u>	<u>2626.44</u>

Fuente: Elaboración Propia

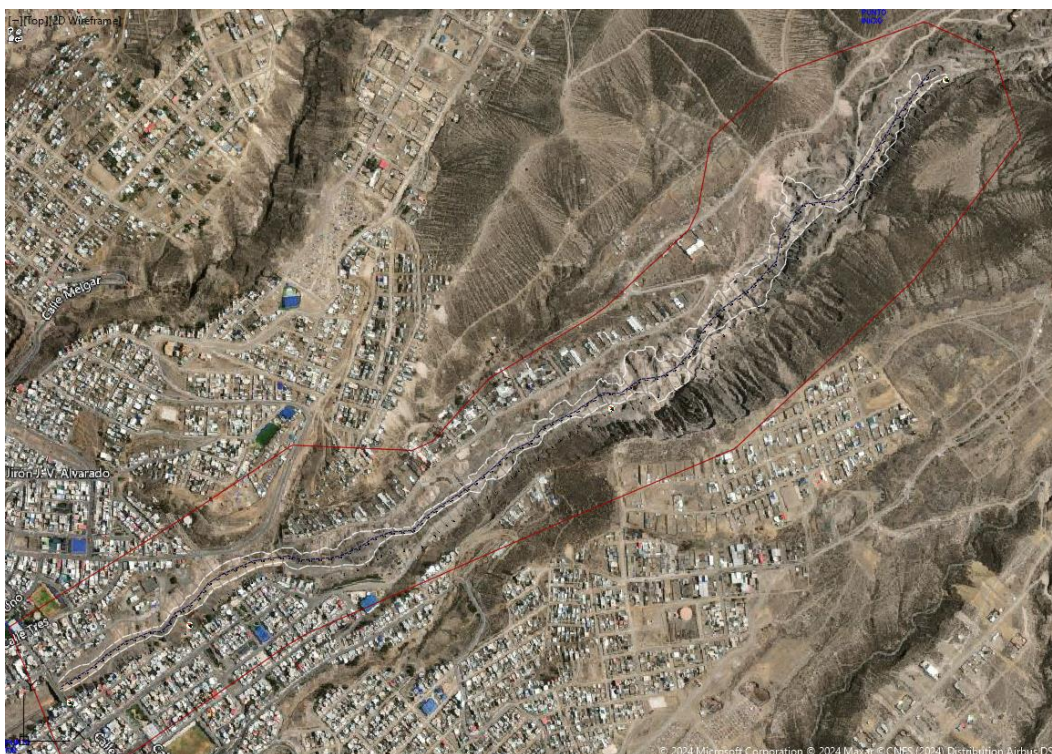


Ilustración 14 - Vista panorámica del tramo de Estudio (Elaboración Propia)

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
- Un equipo GPS: Garmin
- Una cámara fotográfica digital.
- Equipo informático de Procesamiento de datos: Torre de Trabajo Z8 Marca hewlett packard

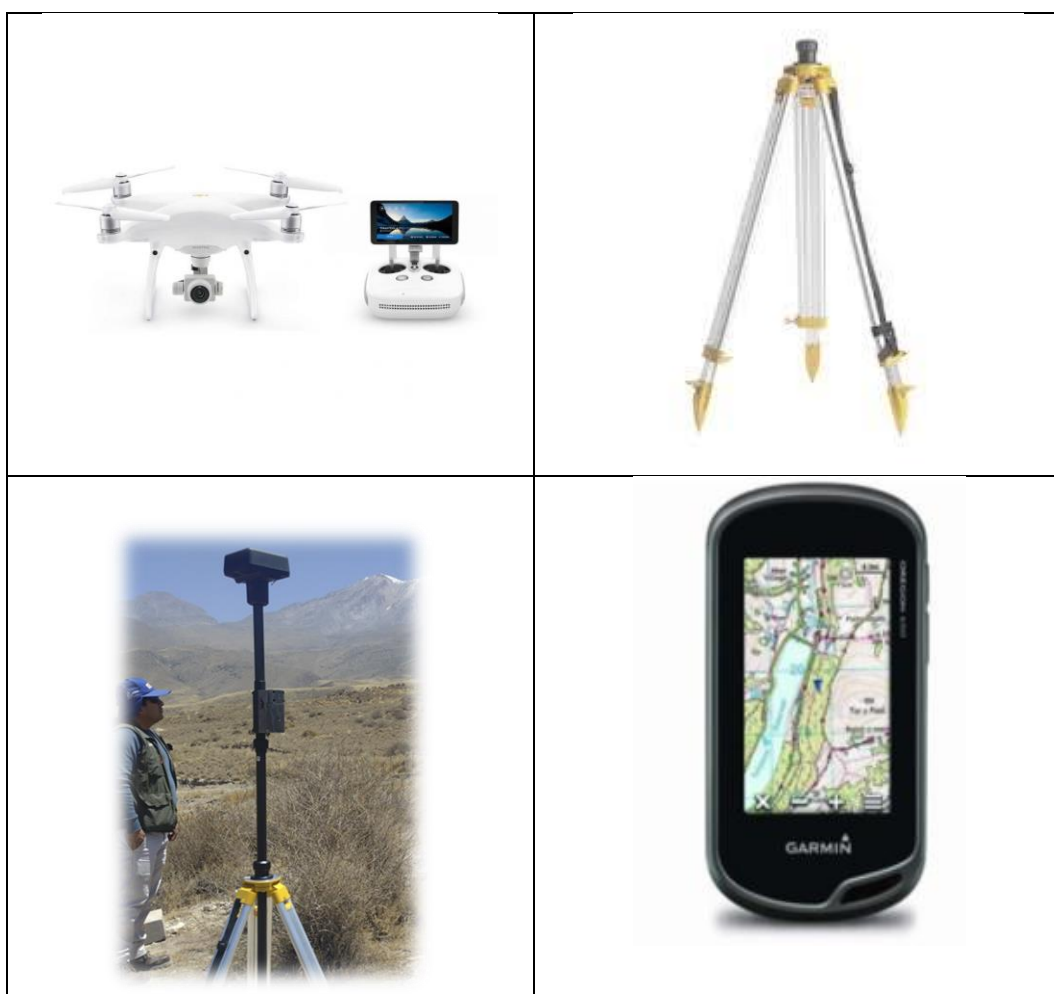




Ilustración 15 – Equipos utilizados durante los trabajos topográficos.

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.
- Identificación de 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 la ubicación conocida, 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 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua. en un tramo de 2.30 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.

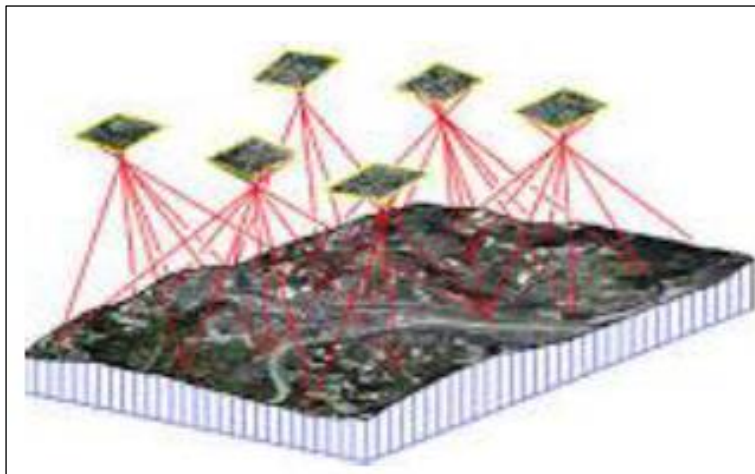


Ilustración 12 - Aerotriangulación

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 13 - modelo digital de elevaciones (MDE)

4.4.5 Obtención de ortofoto

Se ha realizado la obtención de la 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.

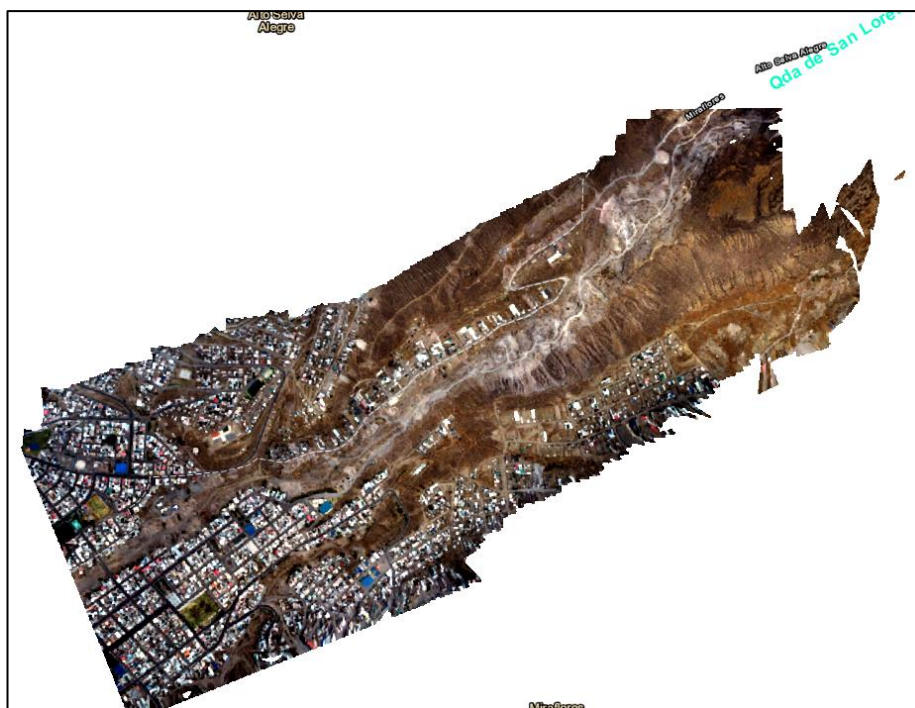


Ilustración 14 - Obtención de ortofoto

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.

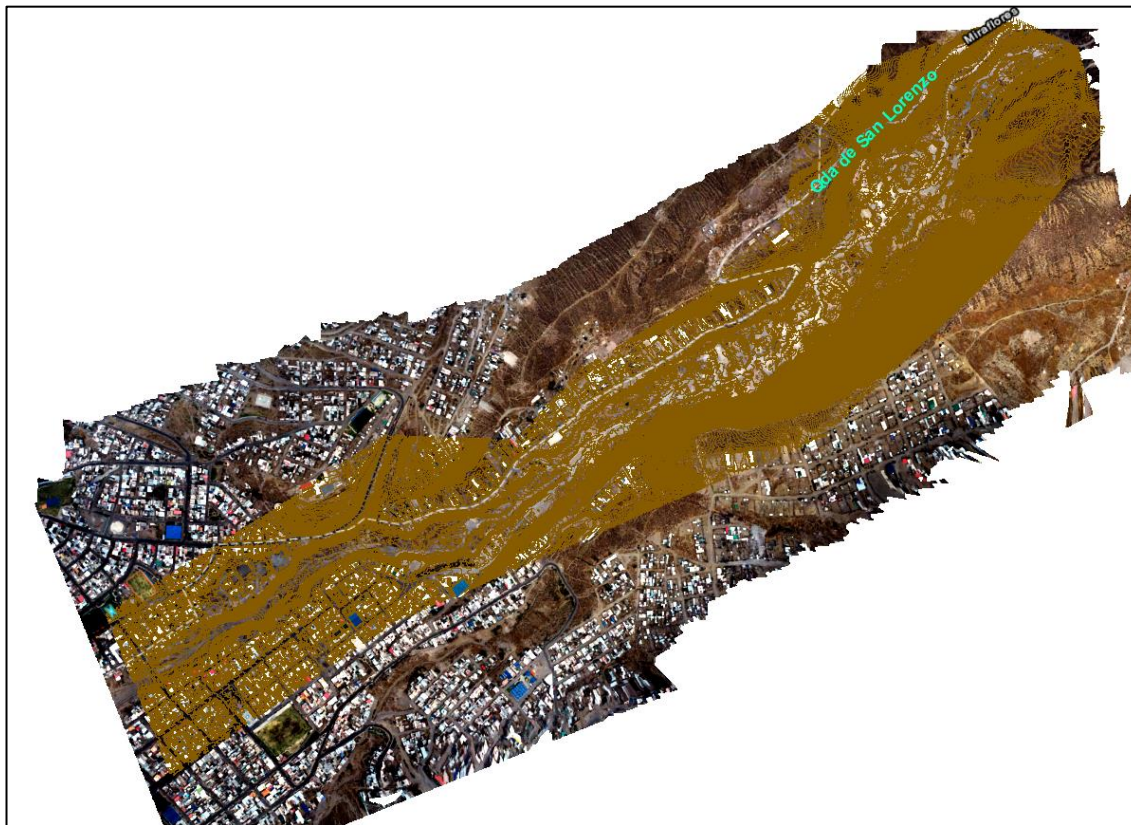


Ilustración 15 - Curvas de nivel

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.

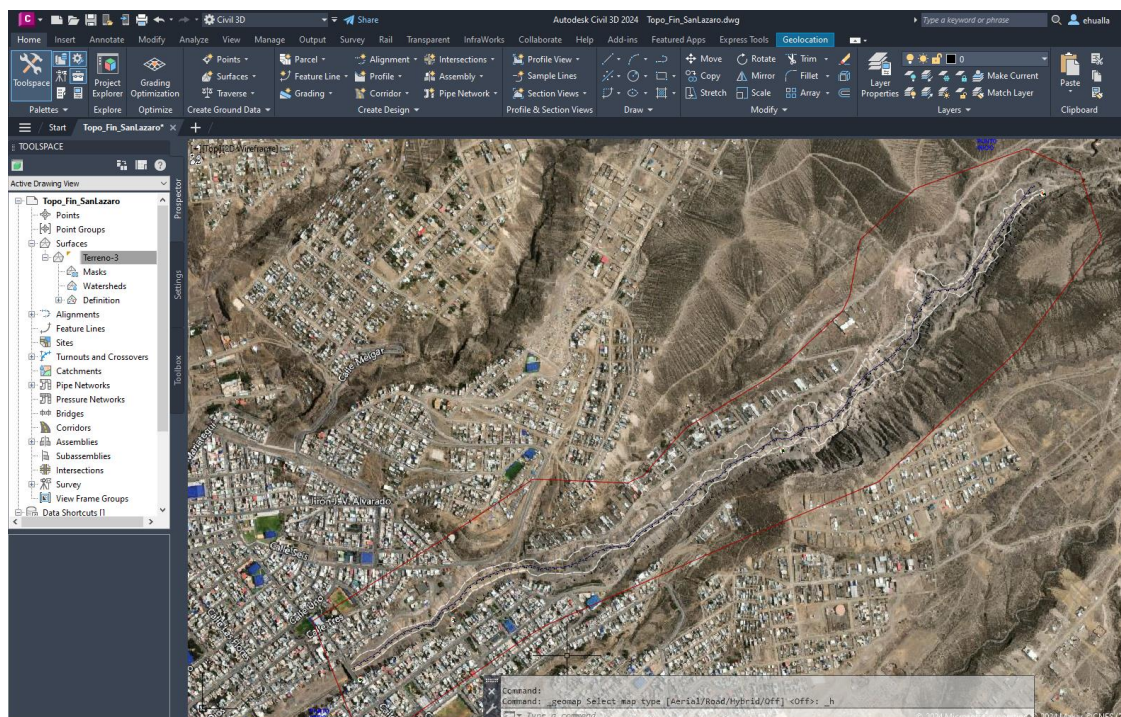


Ilustración 16 - Verificación de la información topográfica con el software civil 3D

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 buscó un punto de control topográfico denominado PC-01G, ubicado muy cerca de la zona del levantamiento topográfico, próximo a la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua, cuyas coordenadas son E: 233895 metros y N: 8187976 metros, el cual es un punto geodésico de Orden “C” y está enlazado con la red geodésica nacional del IGN.
- 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 22 – Vista Panorámica de la Quebrada San Lázaro donde se aprecia un acueducto.



Ilustración 23 – Vista Panorámica de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua aguas arriba



Ilustración 24 – Vista Panorámica de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua aguas abajo



Ilustración 25 – Vista Panorámica de la Quebrada San Lázaro aguas abajo

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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua. y su correspondiente eje, huella máxima y/o límites del cauce, en un tramo de 2.30 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.

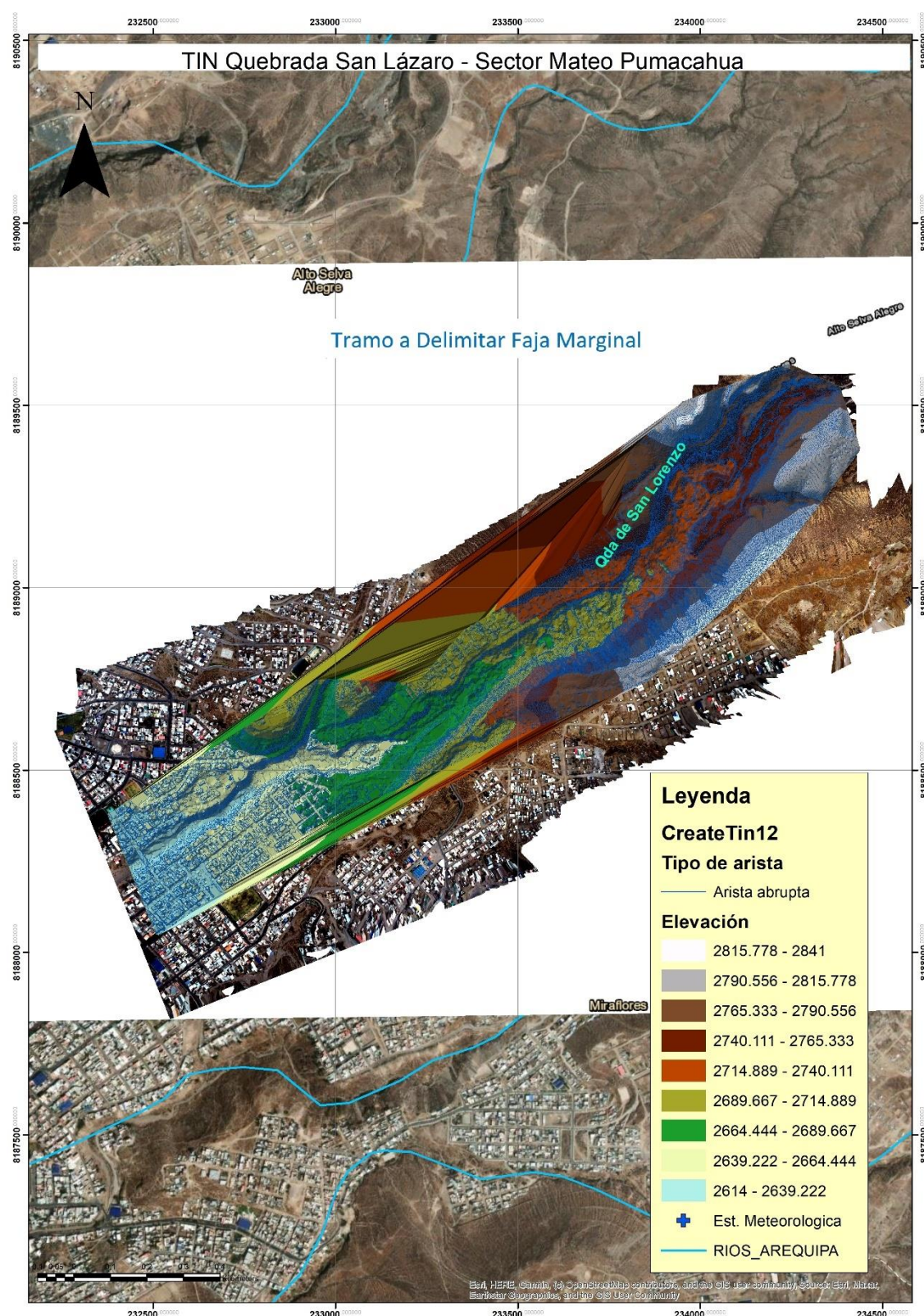


Ilustración 27 - Obtención del TIN a partir de las Curvas de Nivel Obtenidas del trabajo de Campo

5.2.2 Geometría del cauce

Una vez generado el TIN, se procederá a convertir este archivo de datos en un ráster, cuya información matricial servirá para transicionar de un software al otro. El siguiente paso es convertir dicho archivo ráster 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 importará este archivo ASCII con el fin de crear una geometría de la zona en estudio, que luego deberá ser colapsada.

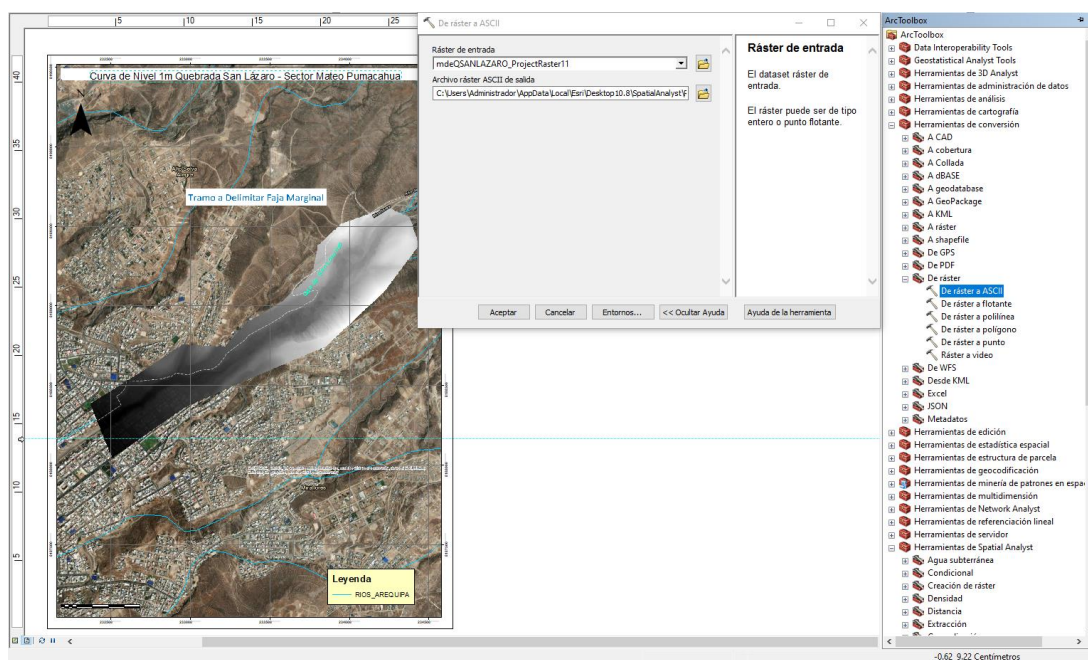


Ilustración 28 – Herramienta de conversión de ráster a ASCII para la creación de la geometría

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 seleccionará 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 0.50 m, lado máximo de 2 metros y lado mínimo de 1 metro.

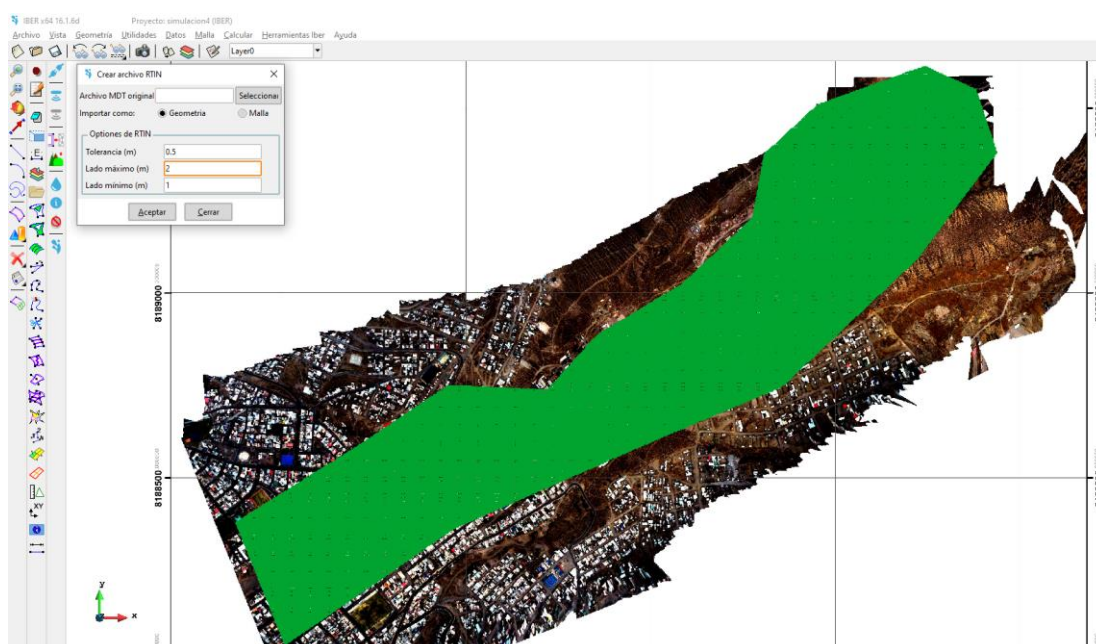


Ilustración 29 – Importación del archivo ASCII y creación de la Geometría RTIN de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua. en el software Iber.

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.

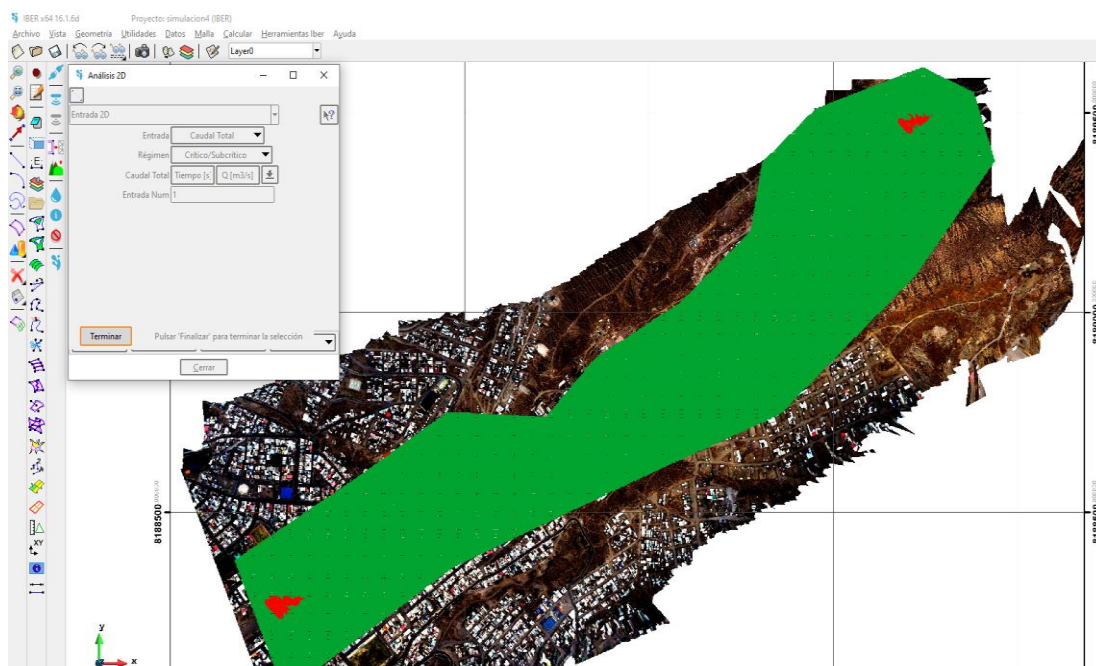


Ilustración 30 - Ingreso de Condiciones de Contorno: Input a través de Caudal Máximo en el software Iber

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.

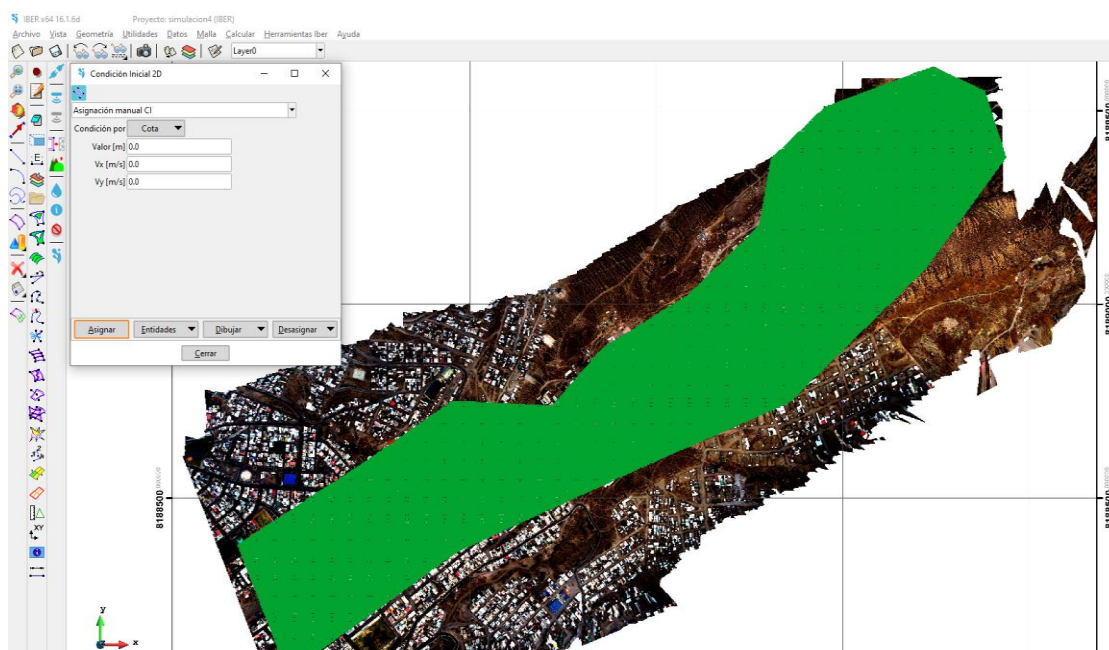


Ilustración 31 - Condición Inicial Seleccionada de elevación cero en el software Iber.

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 21 - Coeficientes de Manning para diversas condiciones de revestimiento

condiciones del canal			valores
Material considerado	tierra	n_0	0.020
	roca		0.025
	grava fina		0.024
	grava gruesa		0.028

Grado de irregularidad	liso	n_1	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		0.790

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 vegetación dispersa (0.08), residencial (0.15) y cultivos (0.045). Luego para poder transicionar de un software a otro, volveremos a hacer uso de la herramienta de conversión Raster to ASCII.

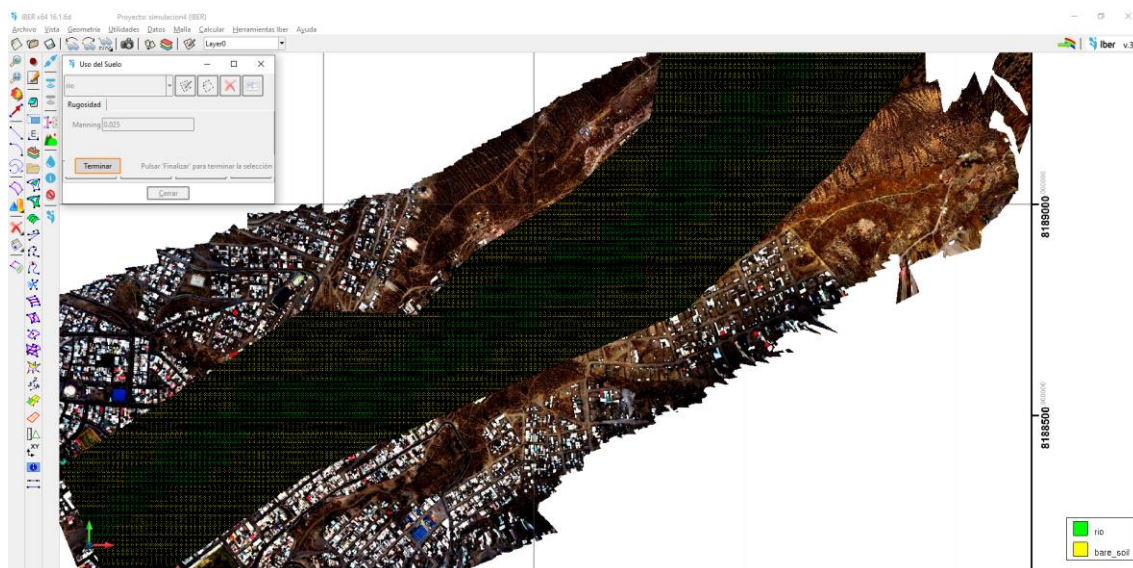


Ilustración 32 – Coeficientes de Rugosidad de Manning asignados en el mallado del software Iber

5.3 SIMULACION HIDRAULICA.

El software Iber simulará el tránsito de avenidas en la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua. 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).

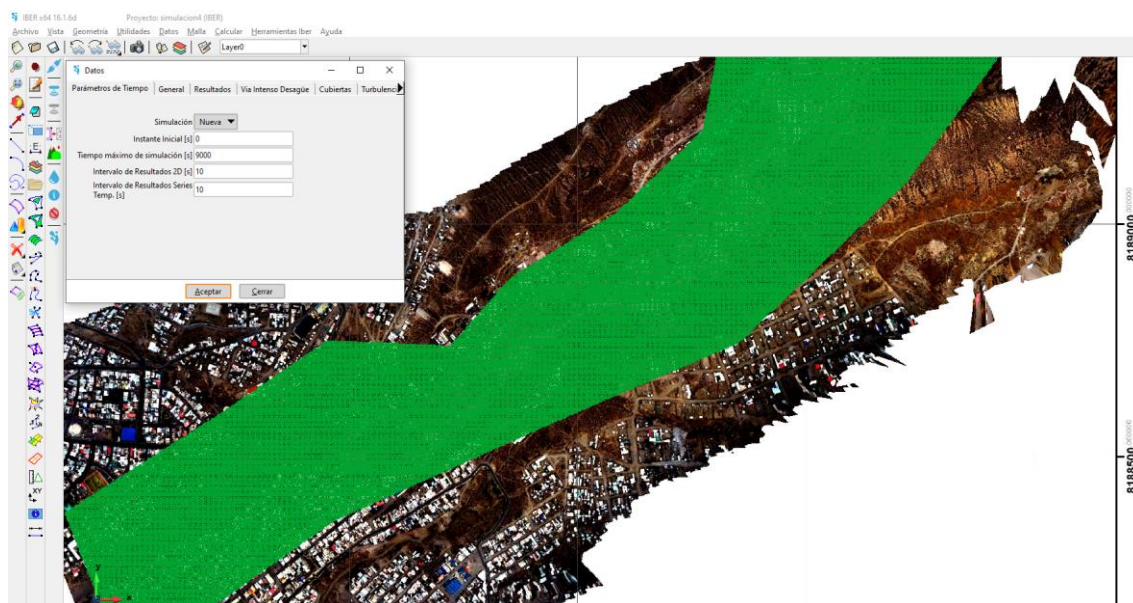


Ilustración 33 – Configuración de Iber previo a la corrida del modelo hidráulico de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua para periodo de retorno de 100 años

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.

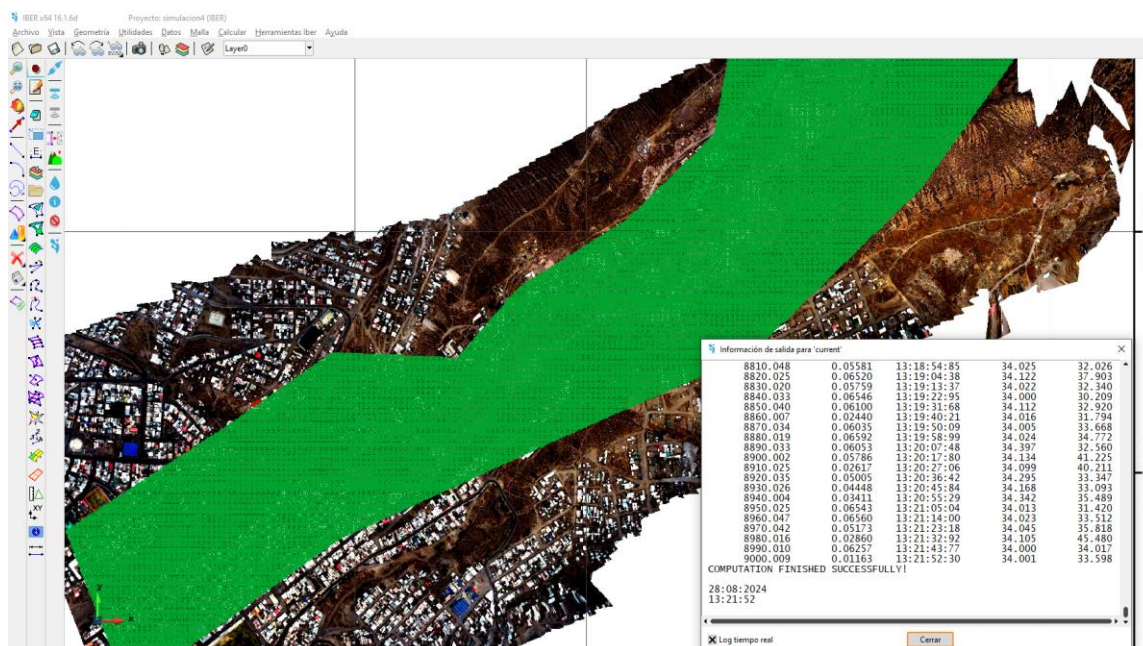


Ilustración 34 - Simulación Iber en la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua para periodo de retorno de 100 años

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

Concluido el cálculo computacional con el programa IBER se genera un ráster 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua., en cada intervalo de tiempo simulado.

En el siguiente mapa se muestra los datos exportados del modelo Iber denominado Modelo3-1.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 (tirante hidráulico) en una escala de colores ascendente que va desde el 0.01 metros (azul) hasta el 10.59 metros (rojo).

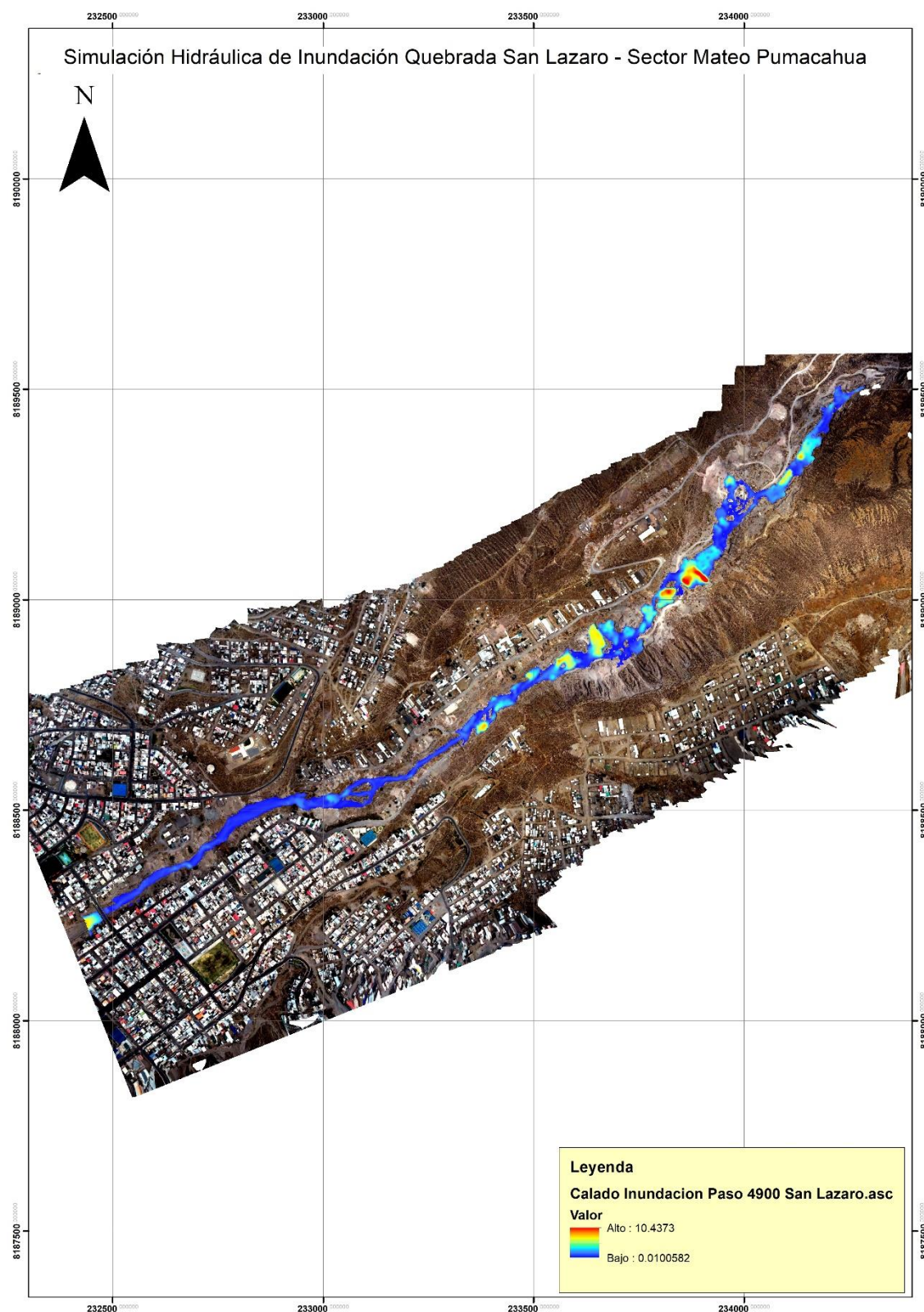
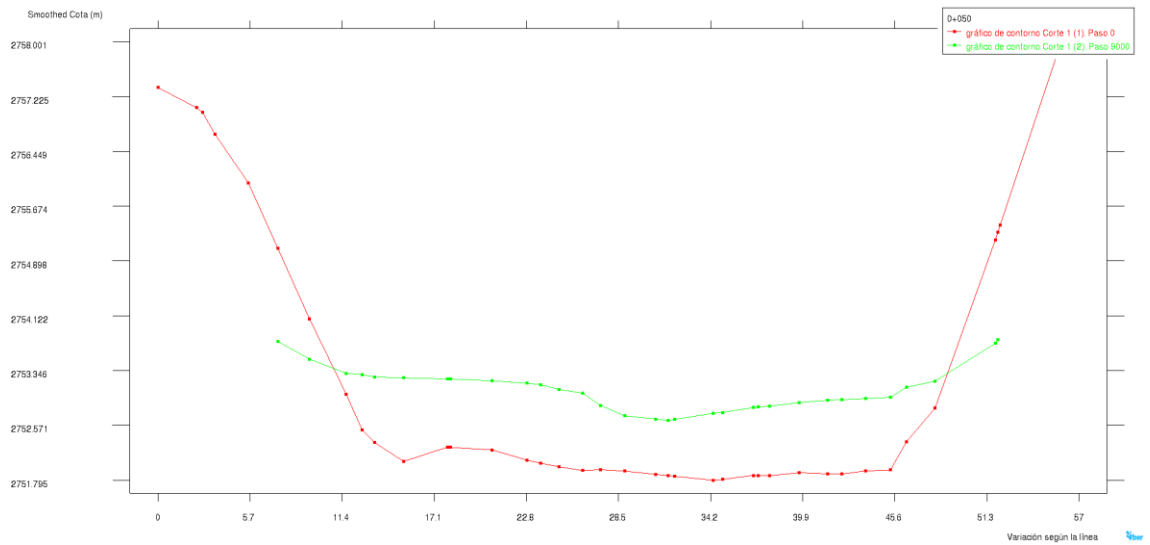


Ilustración 35 - Polígono de Inundación en la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua para un periodo de retorno de 100 años

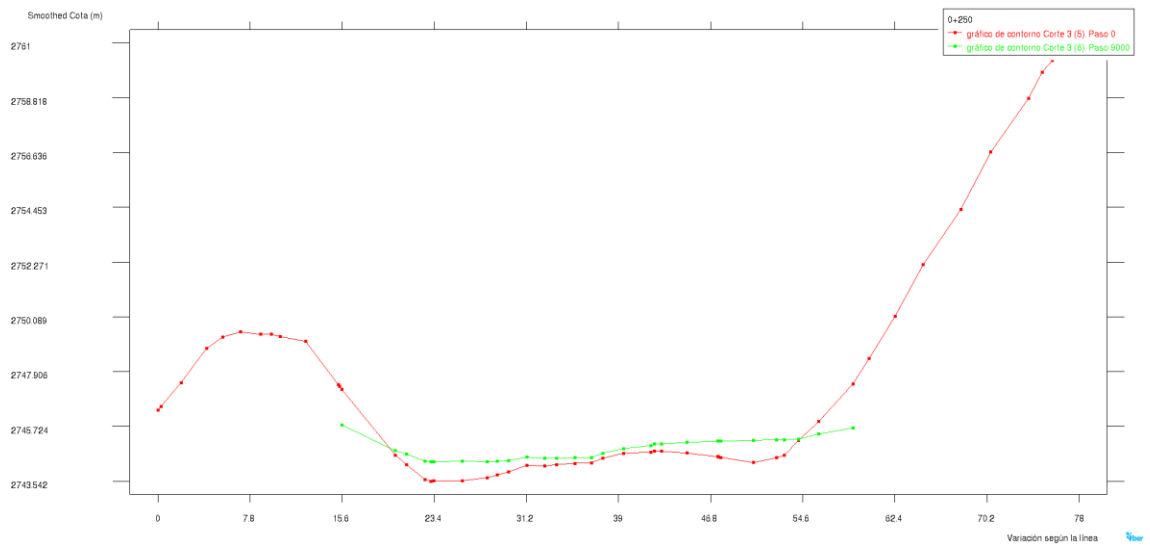
El resultado es satisfactorio, el modelo computacional Iber calculó un área de inundación correcta para un periodo de retorno de 100 años y su caudal máximo asociado de 33.7 m³/s.

Secciones Hidráulicas simuladas:

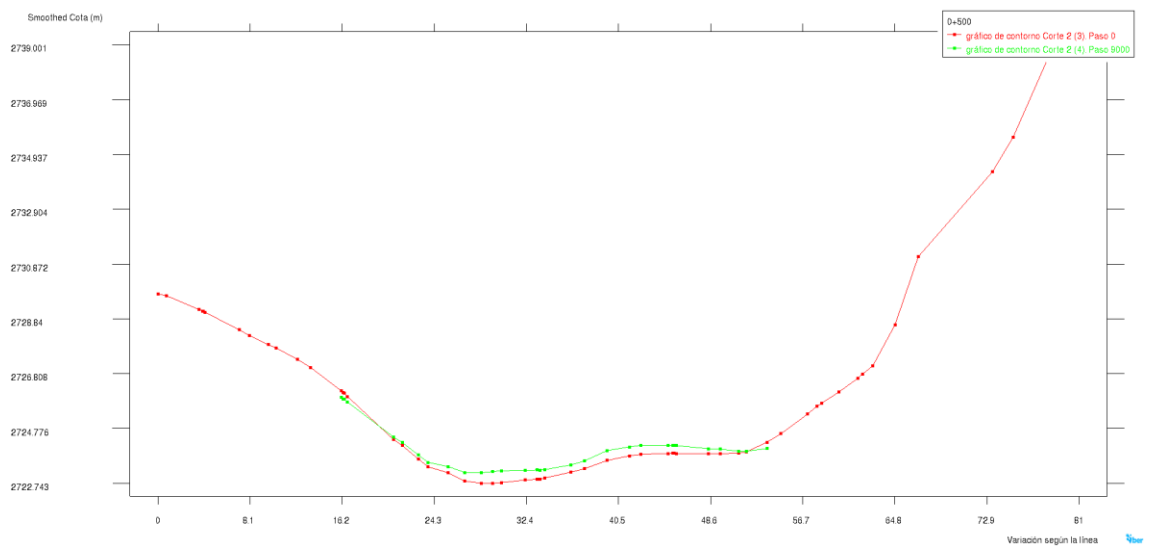
0+000



0+250

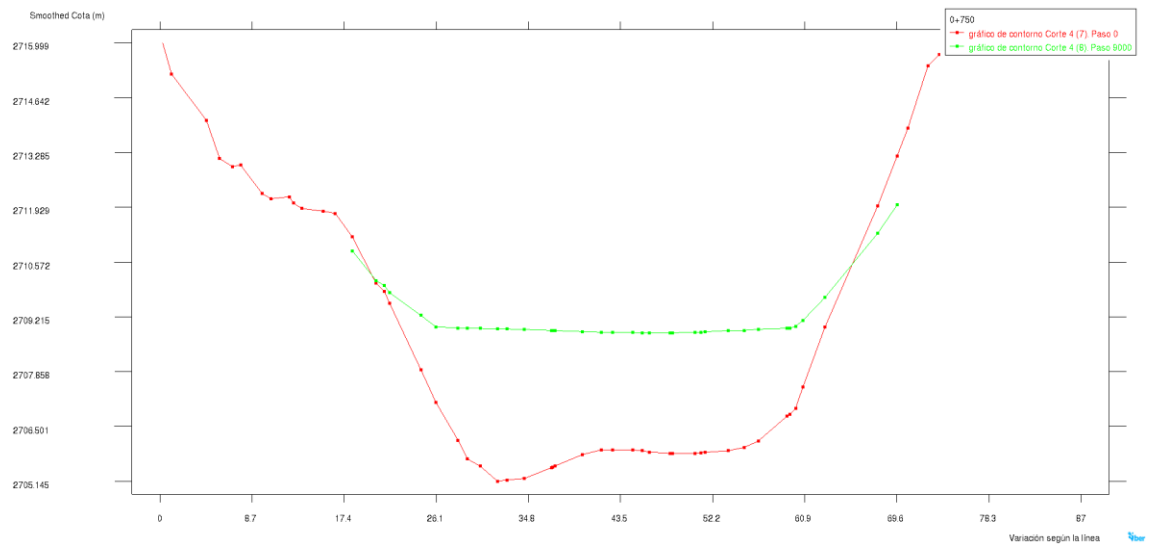


0+500

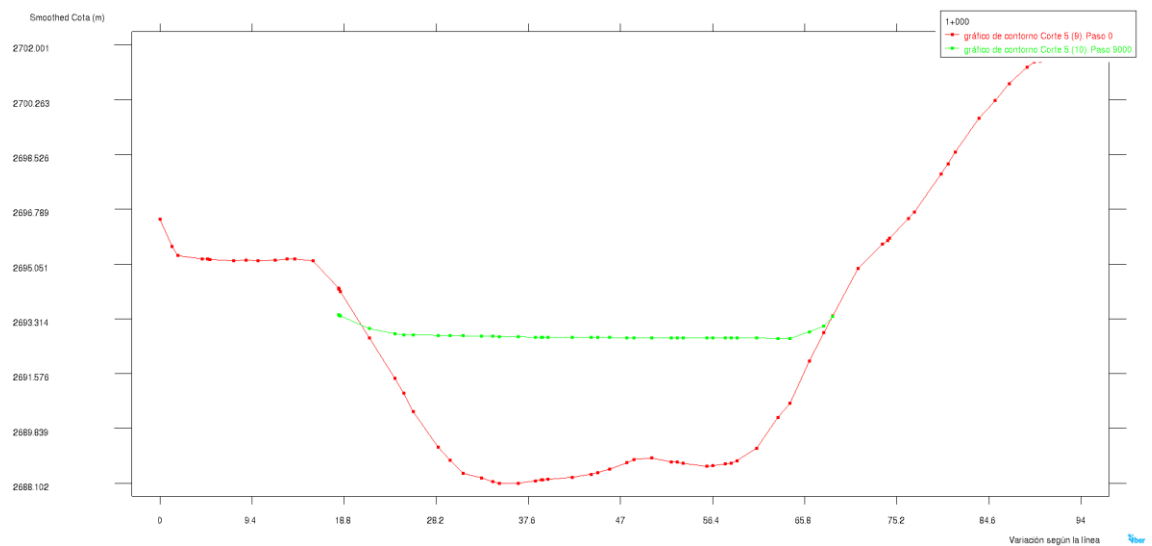


Estudio de delimitación de faja marginal en el Cauce de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo
Pumacahua - Miraflores

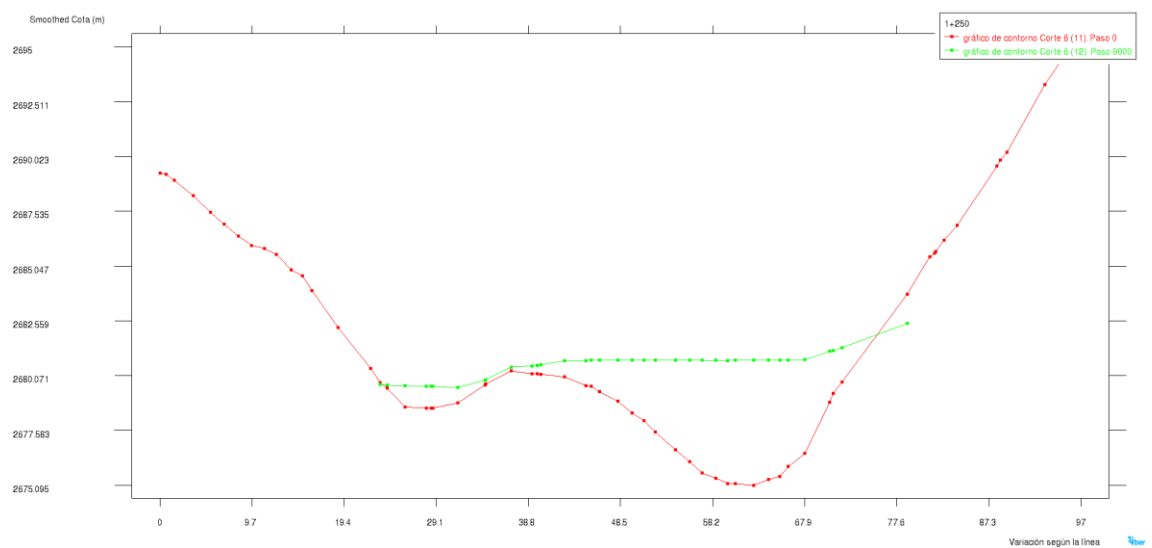
0+750



1+000

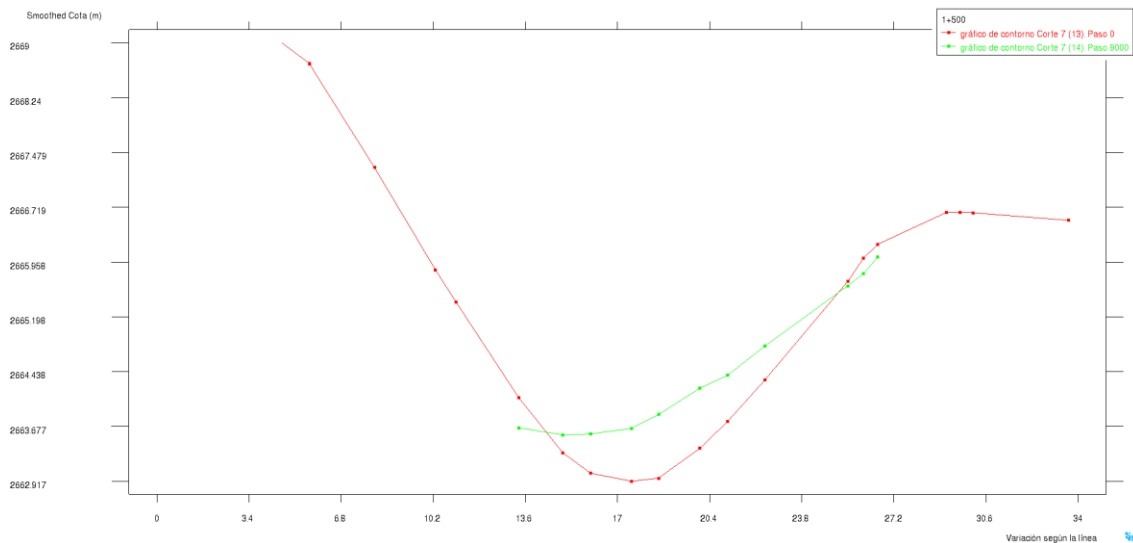


1+250

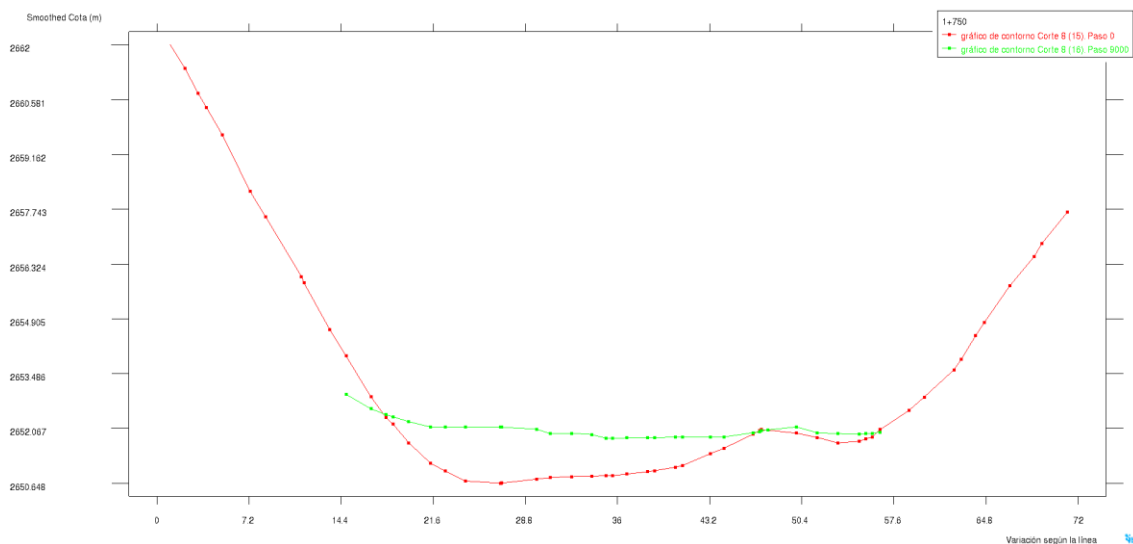


Estudio de delimitación de faja marginal en el Cauce de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua - Miraflores

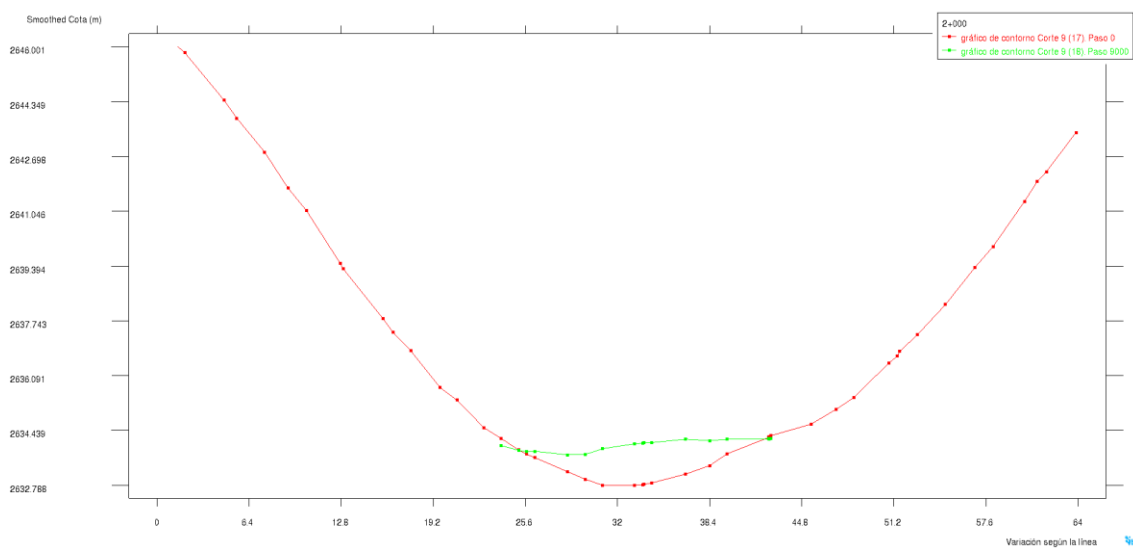
1+500



1+750

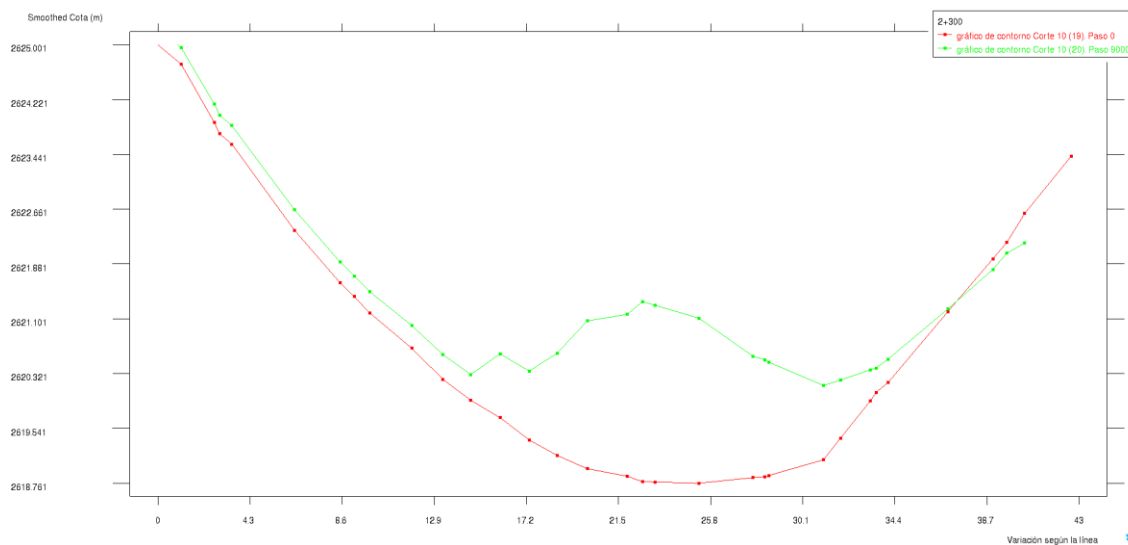


2+000



Estudio de delimitación de faja marginal en el Cauce de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua - Miraflores

2+300



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 28.8 m³/s para un periodo de retorno de 50 años, y de 33.7 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua., 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua de Miraflores, 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 22 - 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 20 metros como mínimo 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 Misti, 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 23 - Vértices de la delimitación de faja marginal de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua. en el tramo del distrito Miraflores, en DATUM WGS 84, zona 19.

Margen Derecha			Margen Izquierda		
NOMENCLATURA	COORDENADAS		NOMENCLATURA	COORDENADAS	
	ESTE (m)	NORTE (m)		ESTE (m)	NORTE (m)
R-SL-028	232493.8403	8188308.3745	L-SL-028	232541.3784	8188254.2224
R-SL-029	232540.9650	8188339.3775	L-SL-029	232584.8891	8188288.1733
R-SL-030	232587.0563	8188381.5417	L-SL-030	232622.5169	8188313.3495
R-SL-031	232633.3543	8188400.1436	L-SL-031	232660.3381	8188332.1869
R-SL-032	232670.4976	8188411.5851	L-SL-032	232719.3544	8188347.9195
R-SL-033	232707.0742	8188449.7395	L-SL-033	232748.8316	8188375.0457
R-SL-034	232737.7876	8188468.7102	L-SL-034	232799.5291	8188419.0949
R-SL-035	232775.9648	8188519.0227	L-SL-035	232824.9512	8188441.3071
R-SL-036	232831.8032	8188533.5827	L-SL-036	232860.4415	8188469.3179

Margen Derecha			Margen Izquierda		
NOMENCLATURA	COORDENADAS		NOMENCLATURA	COORDENADAS	
	ESTE (m)	NORTE (m)		ESTE (m)	NORTE (m)
R-SL-037	232885.0690	8188562.7959	L-SL-037	232896.2406	8188488.7361
R-SL-038	232946.6534	8188557.9655	L-SL-038	232938.1525	8188484.4476
R-SL-039	232986.7203	8188557.7047	L-SL-039	232993.4087	8188475.1244
R-SL-040	233031.1537	8188574.7371	L-SL-040	233052.6170	8188456.1721
R-SL-041	233066.7899	8188587.5205	L-SL-041	233119.5402	8188469.3316
R-SL-042	233120.7818	8188593.4103	L-SL-042	233152.0394	8188489.5843
R-SL-043	233175.0184	8188618.4278	L-SL-043	233214.6440	8188491.6479
R-SL-044	233229.2691	8188674.8904	L-SL-044	233270.4808	8188534.2305
R-SL-045	233299.3892	8188746.5011	L-SL-045	233309.2554	8188556.7649
R-SL-046	233382.8194	8188817.4848	L-SL-046	233353.1387	8188583.4701
R-SL-047	233469.3728	8188862.9609	L-SL-047	233394.0817	8188621.5463
R-SL-048	233550.0868	8188908.4121	L-SL-048	233434.5869	8188664.1327
R-SL-049	233636.6539	8188963.9273	L-SL-049	233511.2221	8188738.4671
R-SL-050	233708.4510	8188991.9819	L-SL-050	233640.3143	8188765.7438
R-SL-051	233781.9915	8189043.2632	L-SL-051	233696.1872	8188763.9647
R-SL-052	233847.4859	8189131.2083	L-SL-052	233805.0205	8188759.3705
R-SL-053	233890.9396	8189173.6962	L-SL-053	233895.2605	8188800.7361
R-SL-054	233868.2944	8189276.0779	L-SL-054	234038.9594	8188895.6472
R-SL-055	233961.0882	8189382.7504	L-SL-055	234118.3941	8188947.7070
R-SL-056	234011.6760	8189389.9963	L-SL-056	234216.9865	8189012.9816
R-SL-057	234046.5878	8189418.3225	L-SL-057	234319.3780	8189240.9060
R-SL-058	234101.0679	8189509.5515	L-SL-058	234377.0308	8189313.1038
R-SL-059	234174.7112	8189576.4913	L-SL-059	234435.3299	8189386.2950

- b) De acuerdo artículo 117 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos y el artículo 15 de la Resolución Jefatural 332-2016-ANA, se debe disponer la autorización de colocación de hitos físicos de forma de tronco de pirámide y puede ser de material noble (concreto armado) u otro material que no se desagrade (roca), cuya colocación garantice su visibilidad y permanencia, estos delimitarán el lindero exterior de la faja marginal. Para el cual se debe colocar los hitos físicos de acuerdo al siguiente detalle:

Se recomienda colocar cada 50 metros los hitos o señalización de forma de tronco piramoide y de material lo suficientemente resistente y durable, por ejemplo: concreto de resistencia a la compresión uniaxial $f'c = 175 \text{ Kg/cm}^2$). Su colocación debe garantizar una adecuada visibilidad, para que pueda cumplir con su función de señalar un área intangible.

Los hitos se numerarán o codificarán de manera correlativa, según las progresivas existentes del curso fluvial y en concordancia con la propuesta de instalación de hitos. A continuación, se presenta

el Presupuesto Unitario de cada hito y luego la posterior estimación del Presupuesto Total para la cantidad total de hitos.

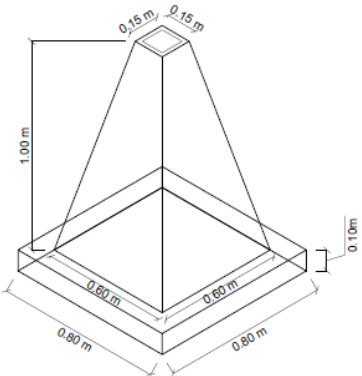
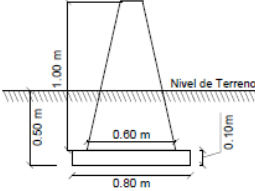
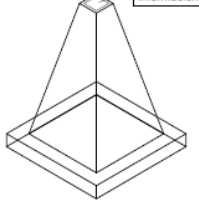
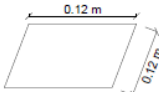
ESQUEMA TÍPICO: HITO PARA SEÑALIZAR LA DEMARCACIÓN DE FAJAS MARGINALES														
ESQUEMA DE LOS HITOS		ESPECIFICACIONES TÉCNICAS SOBRE LOS HITOS												
1. ESQUEMA Y DIMENSIONES DEL HITO 		1. CONSIDERACIONES BÁSICAS Los hitos tienen la forma de pirámide de 1.0 m de altura con base cuadrada de 0.60x0.60 m y en la parte superior de 0.15x0.15 m (Mampostería de piedra) Los hitos serán enterrados en el terreno a una profundidad de 0.40m, medido desde el nivel del suelo hacia el subsuelo. Concreto = 175 kg/cm² + 25%PM Donde: PM = Piedra Mediana 2. MATERIALES -Cemento Portland Tipo I -Piedra Mediana(PM) -Hormigon 3. METRADO <table border="1"> <thead> <tr> <th>INSUMOS</th><th>UNIDAD</th><th>CANTIDAD</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>cemento portland Tipo I</td><td>Bolsas</td><td>1.34</td></tr> <tr> <td>Piedra Mediana</td><td>m3</td><td>0.02</td></tr> <tr> <td>Hormigon</td><td>m3</td><td>0.17</td></tr> </tbody> </table>	INSUMOS	UNIDAD	CANTIDAD	cemento portland Tipo I	Bolsas	1.34	Piedra Mediana	m3	0.02	Hormigon	m3	0.17
INSUMOS	UNIDAD	CANTIDAD												
cemento portland Tipo I	Bolsas	1.34												
Piedra Mediana	m3	0.02												
Hormigon	m3	0.17												
1.- SECCIÓN TRANSVERSAL a. Sección A-A  b. Dibujo Isométrico del Monumento Hito  c. Dimensiones de la Placa  d. Contenido de La Placa 		4. SEÑALIZACIÓN: El hito será identificado con letras de color amarillo, estará enumerado en forma correlativa a partir del punto de partida (aguas abajo) hasta el punto de llegada (coincidente al plano del topografo). 5. DESCRIPCIÓN DEL CONTENIDO DE LA PLACA A INSTALAR EN EL HITO: En cada hito se instalará una placa metálica- galvanizada de dimensiones de 0.12x0.12 m y espesor (e) de 2 a 3 mm , en dicha placa se colocará la información según el grafico indicado en la sección d. que consigne: Ministerio de Agricultura y Riego = MINAGRI Autoridad Nacional del Agua = ANA Plan de Gestión de Recursos Hídricos = PGRH Administración Local del Agua = ALA Código del Hito = CÓDIGO Fecha de la colocación del Hito = FECHA												

Ilustración 36 - Modelo para la instalación de hitos en el cauce de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua., jurisdicción del distrito de Miraflores, provincia y región de Arequipa.

6.2 DIMENSIONAMIENTO DEL CAUCE. –

Como se ha delimitado la faja marginal y como un parámetro adicional para diferenciar con mayor claridad el cauce o álveo y la faja marginal propiamente dicha se establecieron algunos vértices de cauce de agua, información que se generó mediante una simulación hidráulica con el software a través de un mapa de inundabilidad asociada al tránsito de un caudal de 100 años de periodo de retorno asociado, tal como se resumen en la tabla siguiente:

Tabla 25 - Vértices del cauce asociado a la faja marginal de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua. en el tramo del distrito Miraflores, 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)
C-RSL-001	232474.9313	8188265.3565	C-LSL-001	232485.4050	8188248.4828

Margen Derecha			Margen Izquierda		
CODIFICACIÓN	COORDENADAS		CODIFICACIÓN	COORDENADAS	
	ESTE - X (m)	NORTE - Y (m)		ESTE - X (m)	NORTE - Y (m)
C-RSL-002	232557.4337	8188318.7665	C-LSL-002	232569.8228	8188304.9615
C-RSL-003	232645.3022	8188370.1923	C-LSL-003	232651.8182	8188353.7222
C-RSL-004	232725.6924	8188422.9137	C-LSL-004	232738.7993	8188406.5129
C-RSL-005	232791.0271	8188494.2852	C-LSL-005	232809.5070	8188465.2286
C-RSL-006	232891.3881	8188533.3775	C-LSL-006	232893.7181	8188505.5840
C-RSL-007	232991.0833	8188530.4539	C-LSL-007	232991.1072	8188504.5147
C-RSL-008	233070.8818	8188562.6273	C-LSL-008	233095.2466	8188506.8431
C-RSL-009	233177.1387	8188579.6665	C-LSL-009	233178.6249	8188568.2307
C-RSL-010	233257.8896	8188634.0649	C-LSL-010	233262.0232	8188623.7690
C-RSL-011	233330.8745	8188698.2726	C-LSL-011	233349.4588	8188679.9867
C-RSL-012	233406.8895	8188771.1693	C-LSL-012	233422.9073	8188740.3119
C-RSL-013	233486.3051	8188828.2476	C-LSL-013	233502.1860	8188795.8143
C-RSL-014	233574.0144	8188875.1537	C-LSL-014	233600.9193	8188837.6787
C-RSL-015	233666.1690	8188944.0778	C-LSL-015	233698.9212	8188838.5254
C-RSL-016	233751.5079	8188939.5128	C-LSL-016	233767.2467	8188924.7050
C-RSL-017	233799.4789	8189027.6294	C-LSL-017	233835.3342	8188997.0832
C-RSL-018	233875.6533	8189096.0812	C-LSL-018	233919.4783	8189058.6592
C-RSL-019	233926.0737	8189160.7492	C-LSL-019	233965.6928	8189153.2657
C-RSL-020	233979.4859	8189285.9367	C-LSL-020	234012.6630	8189206.0924
C-RSL-021	234079.3708	8189277.8394	C-LSL-021	234100.4103	8189255.4266
C-RSL-022	234132.6253	8189358.9834	C-LSL-022	234167.5521	8189338.2714
C-RSL-023	234183.7446	8189457.3870	C-LSL-023	234208.0092	8189428.3930
C-RSL-024	234240.2939	8189528.6298			

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 CONCLUSIONES

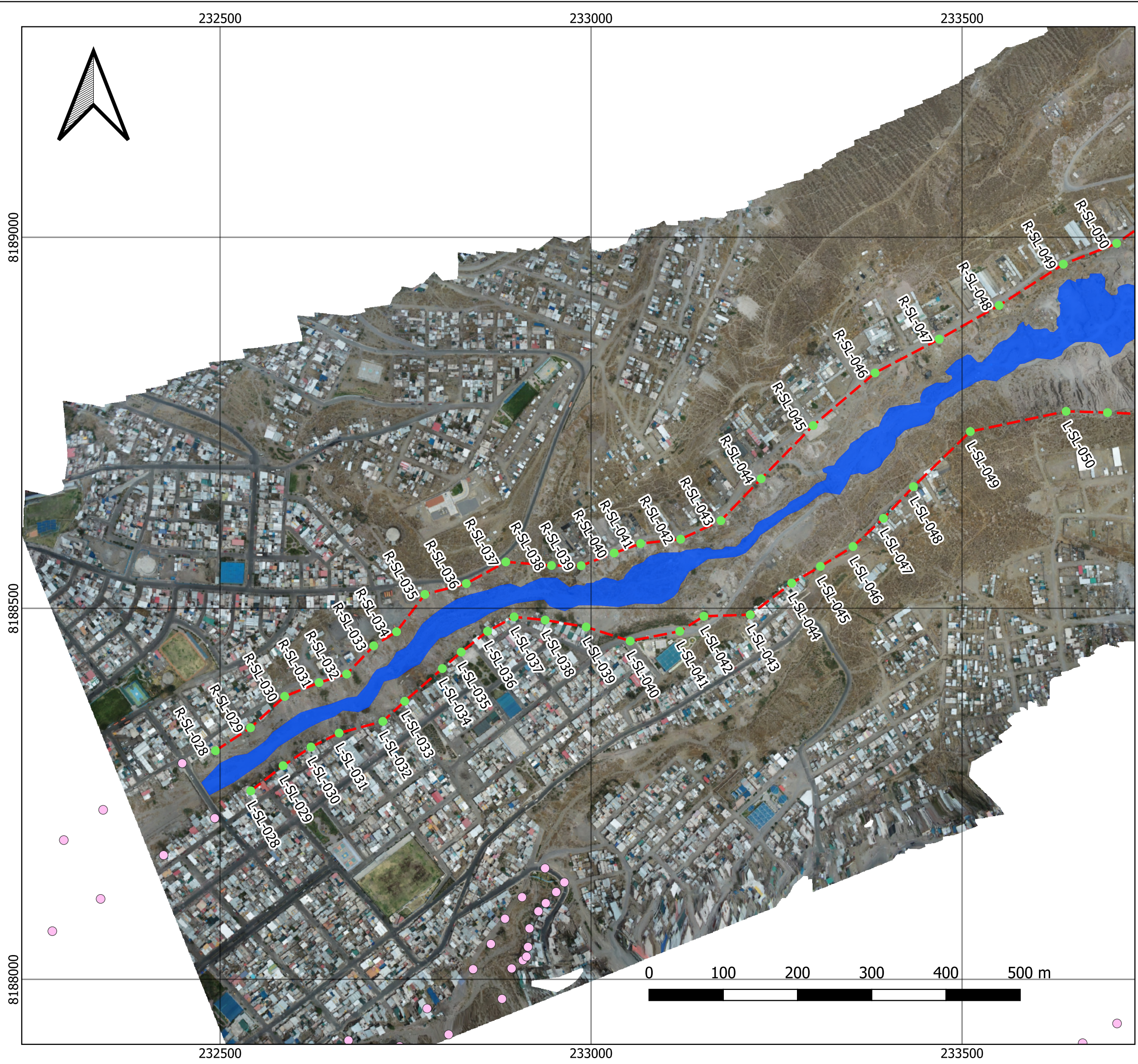
- El modelamiento hidráulico de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua., se realizó utilizando un caudal determinado de manera indirecta, a través de un modelo hidrológico cuyos caudales máximos se han determinado con hietogramas a partir de curvas IDF de la estación Alfredo Rodríguez Guillén con datos de precipitaciones máximas de 24 horas. El caudal máximo asociado a un periodo de retorno de 100 años es de 33.7 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 2.30 Km.
- Utilizando los mapas de inundación generados, se procedió con la delimitación de la faja marginal de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua, a una distancia de veinte (20) metros como mínimo a partir del Borde de Inundación (variable), que coincide con las huellas máximas visibles en campo y en la ortofoto.
- Para la identificación de la Faja Marginal de la Quebrada San Lázaro Sector Mateo Pumacahua, se definieron en total 64 vértices, subdivididos en 32 para margen izquierda y 32 para margen derecha, donde los vértices R-SL-028 y L-QSL-028 se empalma en línea recta a los vértices R-SL-027, L-SL-027 de la resolución RD.1300-2019-ANA/AAA I C-O; además la longitud del eje es de 2.30 km de longitud.
- Las características del tramo delimitado; es:

Característica		Descripción
Ubicación política		Departamento: Arequipa Provincia: Arequipa Distrito: Alto Selva Alegre
Ubicación Hidrográfica		Unidad Hidrográfica nivel 1: Región Hidrográfica del Pacífico - 1 Unidad Hidrográfica nivel 2: Unidad Hidrográfica - 13 Unidad Hidrográfica nivel 3: Quilca Vitor Chili - 132 Unidad Hidrográfica nivel 4: Medio Quilca Vitor Chili - 1325 Unidad Hidrográfica nivel 5: Unidad Hidrográfica - 13257
Quebrada San Lázaro	Ubicación geográfica	Coordenada de inicio: 232428.40E y 8188224.60N Coordenada final: 234285.60E y 8189507.39N Carta nacional: 33S - Arequipa
	Características	Ancho de faja marginal: hasta 20 metros Número de Vértices: 32 margen derecha y 32 margen izquierda Longitud margen Derecha: 2,25 Km Longitud margen Izquierda: 2,37 Km Longitud de eje: 2,26 Km Caudal: 33,7 m ³ /s Periodo de retorno: 100 años

7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la entidad encargada de la monumentación de los hitos físicos y que ponga en marcha la ejecución de los trabajos de instalación cada 50 metros, para evitar que el fenómeno antrópico de ocupaciones informales 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 San Lázaro Sector Mateo Pumacahua; como: diques, defensas ribereñas y defensas vivas para disminuir la erosión superficial y otros daños asociados.

ANEXOS



Vértices de delimitación de faja marginal

Quebrada San Lázaro					
Margen derecha			Margen izquierda		
Código	Este (x)	Norte (y)	Código	Este (x)	Norte (y)
R-SL-028	232493.8403	8188308.3745	L-SL-028	232541.3784	8188254.2224
R-SL-029	232540.9650	8188339.3775	L-SL-029	232584.8891	8188288.1733
R-SL-030	232587.0563	8188381.5417	L-SL-030	232622.5169	8188313.3495
R-SL-031	232633.3543	8188400.1436	L-SL-031	232660.3381	8188332.1869
R-SL-032	232670.4976	8188411.5851	L-SL-032	232719.3544	8188347.9195
R-SL-033	232707.0742	8188449.7395	L-SL-033	232748.8316	8188375.0457
R-SL-034	232737.7876	8188468.7102	L-SL-034	232799.5291	8188419.0949
R-SL-035	232775.9648	8188519.0227	L-SL-035	232824.9512	8188441.3071
R-SL-036	232831.8032	8188533.5827	L-SL-036	232860.4415	8188469.3179
R-SL-037	232885.0690	8188562.7959	L-SL-037	232896.2406	8188488.7361
R-SL-038	232946.6534	8188557.9655	L-SL-038	232938.1525	8188484.4476
R-SL-039	232986.7203	8188557.7047	L-SL-039	232993.4087	8188475.1244
R-SL-040	233031.1537	8188574.7371	L-SL-040	233052.6170	8188456.1721
R-SL-041	233066.7899	8188587.5205	L-SL-041	233119.5402	8188469.3316
R-SL-042	233120.7818	8188593.4103	L-SL-042	233152.0394	8188489.5843
R-SL-043	233175.0184	8188618.4278	L-SL-043	233214.6440	8188491.6479
R-SL-044	233229.2691	8188674.8904	L-SL-044	233270.4808	8188534.2305
R-SL-045	233299.3892	8188746.5011	L-SL-045	233309.2554	8188556.7649
R-SL-046	233382.8194	8188817.4848	L-SL-046	233353.1387	8188583.4701
R-SL-047	233469.3728	8188862.9609	L-SL-047	233394.0817	8188621.5463
R-SL-048	233550.0868	8188908.4121	L-SL-048	233434.5869	8188664.1327
R-SL-049	233636.6539	8188963.9273	L-SL-049	233511.2221	8188738.4671
R-SL-050	233708.4510	8188991.9819	L-SL-050	233640.3143	8188765.7438

SIMBOLOGIA

Vértices aprobados por Resolución

Límite de faja marginal

Área de inundación

Vértices de delimitación de faja marginal

PERÚ
Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego

AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA I CAPLINA OCOÑA

DELIMITACIÓN LA FAJA MARGINAL EN EL CAUCE DE LA QUEBRADA SAN LÁZARO – UNIDAD HIDROGRAFICA 13257 – SECTOR MATEO PUMACAHUA

Departamento: Arequipa Provincia: Arequipa

Distrito: Selva Alegre

Escala: 1:5000

Mayo, 2025

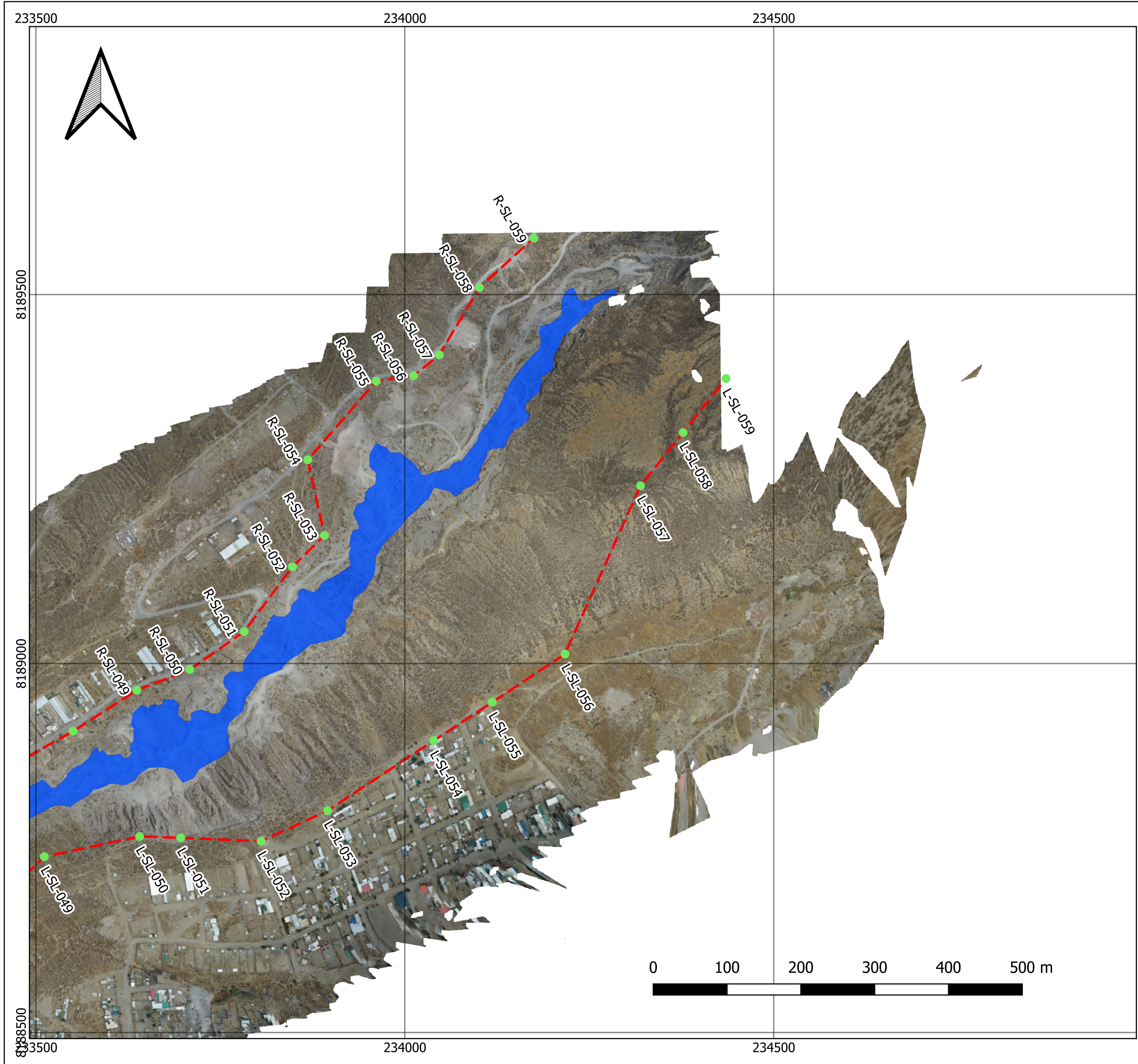
Proyección Universal Transverse Mercator

Datum horizontal: WGS 84

Datum vertical: Nivel medio del mar

Zona:19 sur

Mapa: SL-01



Vértices de delimitación de faja marginal

Quebrada San Láaro					
Margen derecha			Margen izquierda		
Código	Este (x)	Norte (y)	Código	Este (x)	Norte (y)
R-SL-049	233636.6539	8188963.9273	L-SL-049	233511.2221	8188738.4671
R-SL-050	233708.4510	8188991.9819	L-SL-050	233640.3143	8188765.7438
R-SL-051	233781.9915	8189043.2632	L-SL-051	233696.1872	8188763.9647
R-SL-052	233847.4859	8189131.2083	L-SL-052	233805.0205	8188759.3705
R-SL-053	233890.9396	8189173.6962	L-SL-053	233895.2605	8188800.7361
R-SL-054	233868.2944	8189276.0779	L-SL-054	234038.9594	8188895.6472
R-SL-055	233961.0882	8189382.7504	L-SL-055	234118.3941	8188947.7070
R-SL-056	234011.6760	8189389.9963	L-SL-056	234216.9865	8189012.9816
R-SL-057	234046.5878	8189418.3225	L-SL-057	234319.3780	8189240.9060
R-SL-058	234101.0679	8189509.5515	L-SL-058	234377.0308	8189313.1038
R-SL-059	234174.7112	8189576.4913	L-SL-059	234435.3299	8189386.2950

SIMBOLOGIA

- Vértices aprobados por Resolución
- Límite de faja marginal
- Área de inundación
- Vértices de delimitación de faja marginal



PERÚ

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA I CAPLINA OCOÑA

DELIMITACIÓN LA FAJA MARGINAL EN EL CAUCE DE LA QUEBRADA SAN LÁZARO – UNIDAD HIDROGRAFICA 13257 – SECTOR MATEO PUMACAHUA

Departamento: Arequipa Provincia: Arequipa
Distrito: Selva Alegre

Escala: 1:5000
Mayo, 2025

Proyección Universal Transverse Mercator
Datum horizontal: WGS 84
Datum vertical: Nivel medio del mar
Zona:19 sur

Mapa:
SL-02