



CUT: 192665-2024

## **RESOLUCION DIRECTORAL N° 0546-2025-ANA-AAA.CO**

Arequipa, 10 de julio de 2025

### **VISTOS:**

El expediente administrativo ingresado con **CUT N° 192665-2024**, sobre delimitación de faja marginal en el cauce de la quebrada El Pato que comprende al distrito de Alto Selva Alegre, provincia y departamento de Arequipa, en el ámbito de la Administración Local del Agua Chili; y,

### **CONSIDERANDO:**

#### **RESPECTO A LA DEFINICION DE FAJA MARGINAL**

**Que**, según establece el artículo 74 de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos, 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.

**Que**, el artículo 113 del Reglamento de la precitada ley, aprobado por Decreto Supremo N° 001-2010-AG, establece que las fajas marginales son bienes de dominio público, están conformadas por las áreas inmediatas superiores a las riberas de las fuentes de agua, naturales o artificiales, la Autoridad Administrativa del Agua fija las dimensiones en una o ambas márgenes de un cuerpo de agua, de acuerdo con los criterios establecidos en el Reglamento. Por otro lado, el artículo 6° de la Ley de Recursos Hídricos, establece que las fajas marginales son bienes asociados al agua.

#### **RESPECTO A LA DELIMITACION DE FAJAS MARGINALES**

**Que**, en este mismo sentido, el inciso ñ) del artículo 46° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del agua, señala que, es función de las Autoridades Administrativas del Agua en su respectivo ámbito jurisdiccional, aprobar la delimitación de fajas marginales.

**Que**, el numeral 2 del artículo 113 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, señala que *"Las dimensiones en una o ambas márgenes de un cuerpo de agua son fijadas por la Autoridad Administrativa del Agua, de acuerdo con los criterios establecidos"*. Los criterios para la delimitación de la faja marginal se recogen en el artículo 114° del referido Reglamento.

*"La delimitación de la faja marginal se realiza de acuerdo con los siguientes criterios:*

- a) La magnitud e importancia de las estructuras hidráulicas de las presas, reservorios, embalses, canales de derivación, entre otros.*
- b) El espacio necesario para la construcción, conservación y protección de las defensas ribereñas y de los cauces.*
- c) El espacio necesario para los usos públicos que se requieran.*
- d) La máxima crecida o avenida de los ríos, lagos, lagunas y otras fuentes naturales de agua. No se considerarán las máximas crecidas registradas por causas de eventos excepcionales"*

**Que**, asimismo, el referido Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales, contempla en el numeral 18.2 del artículo 18 que la *"Autoridad Administrativa del Agua expide la resolución de delimitación de faja marginal y comunica a las autoridades competentes en materia de saneamiento físico legal, tales como Municipalidades, Superintendencia Nacional de Registros Públicos, Organismo de Formalización de la Propiedad Informal, y La Superintendencia de Bienes Estatales"*.

**Que**, de acuerdo al artículo 115 del Reglamento de la Ley de Recursos hídricos, indica que las actividades prohibidas en las fajas marginales son:

**115.1** *Está prohibido el uso de las fajas marginales para fines de asentamiento humano, agrícola u otra actividad que las afecte. La Autoridad Nacional del Agua en coordinación con los gobiernos locales y Defensa Civil promoverán mecanismos de reubicación de poblaciones asentadas en fajas marginales.*

**115.2** *La Autoridad Administrativa del Agua autoriza la ejecución de obras de defensa ribereña y la utilización de materiales ubicados en las fajas marginales necesarios para tal fin"*.

## **RESPECTO A OBJETO DE LA DELIMITACIÓN DE FAJAS MARGINALES**

**Que**, el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales; contempla en artículo 3, que: *"las Fajas marginales son bienes de dominio público hidráulico por lo que tienen la condición de inalienables e imprescriptibles. La Autoridad Administrativa del Agua (AAA) autoriza la ejecución de cualquier actividad o instalación que se pretenda ejecutar en las fajas marginales, dentro del marco permitido por la Ley de Recursos Hídricos y su Reglamento"*.

**Que**, asimismo, los numerales 17.1 y 17.2 del artículo 17 del referido reglamento, establecen que:

17.1 *"La AAA puede autorizar la ocupación futura de la faja marginal para la ejecución de obras de infraestructura hidráulica o de servicios públicos. Esta autorización se otorga por un periodo de dos (02) años y no faculta la ejecución de obra o actividades en la faja marginal"*.

17.2 *"La solicitud de autorización de ejecución de obras de infraestructura hidráulica o de servicios que se realicen en las fajas marginales debe estar acompañada de la autorización señalada en el numeral precedente, salvo que se tramiten en un solo procedimiento de forma acumulativa"*.

**Que**, tomando en consideración lo contenido en el marco legal vigente anteriormente expuesto, en el Procedimiento y guía para la Delimitación de Faja Marginal; si bien existen áreas colindantes con los cauces ocupados por cuerpos de agua, que cuentan con títulos

reconocidos y registrados, siendo estas propiedades individuales o comunales. Sin embargo, la necesidad de establecer una faja marginal de ancho mínimo para los fines que establece la Ley de Recursos Hídricos obliga a restringir el uso de áreas donde se emplaza y/o emplazara la faja marginal, sin perjuicio del derecho de propiedad, restricciones que se enmarcan en los siguientes criterios:

- No se desarrollarán áreas agrícolas.
- Se conservará el ecosistema natural existente.
- Se permitirá el ejercicio de las funciones y/o usos asignados a la faja marginal según lo establecido en el Artículo 74 de la Ley de Recursos Hídricos.

## RESPECTO A LA APROBACION DE LA DELIMITACION DE FAJA MARGINAL

**Que**, al respecto el artículo 12 del Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales aprobado por Resolución Jefatural 332-2016-ANA, señala los criterios generales para determinar el ancho mínimo de la faja marginal y el artículo 13 del mismo cuerpo normativo establece los criterios para determinar un ancho mayor de las fajas marginales de los cauces naturales; criterios que la Autoridad Administrativa del Agua debe considerar en un informe técnico justificado; así tenemos, el Informe Técnico N° 0161-2025-ANA-AAA.CO/MATL, mediante los cuales el Área Técnica de la Autoridad Administrativa del Agua Caplina Ocoña concluye con opinión favorable para aprobar el “Delimitación la faja marginal en el cauce de la quebrada El Pato – Unidad Hidrográfica 13257 – Sector Nuevo Amanecer”; teniendo en cuenta lo establecido en la Resolución Jefatural 332-2016-ANA; y, las siguientes consideraciones técnicas para establecer la faja marginal:

- El caudal calculado de la Quebrada El Pato es de 23 m<sup>3</sup> /s, para un periodo de 100 años, de acuerdo a en concordancia artículo 9, numeral 2 de la RJ 332- 2016-ANA; el que indica que en cauces naturales de agua colindantes a asentamientos poblacionales se considera un periodo de 100 años.
- De acuerdo a las condiciones morfológicas del cauce, se considera un ancho hasta 30 metros a partir del modelo de inundación, el mismo que permite la ejecución de actividades de conservación y protección del cauce y riberas.
- En el tramo delimitado existe vegetación como: Encelia Canescens “Sunchu”, Ambrosia artemisioides “Tola negra”; Tarasa operculata; Weberbauerocereus weberbaueri “huarango”; etc.; además, se debe considerar que los cauces de quebrada son parte de las áreas de recarga natural del acuífero<sup>1</sup> del Valle Chili; por lo que se debe mantener un área libre después de los taludes del cauce para acciones de forestación, conservación; desarrollo de proyectos de forestación con fines de protección al cauce y acuífero del Valle Chili.

**Que**, a través del Informe Legal N° 0303-2025-ANA-AAA.CO/YISG, se analizó todos los actuados en el presente procedimiento, al respecto se tiene; que el presente expediente se está delimitando la faja marginal de un tramo del cauce de la quebrada el pato, distrito de Alto Selva Alegre, provincia y departamento de Arequipa; en el que se aprecia se han cumplido con lo dispuesto en el Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales contenido en la Resolución Jefatural N° 332-2016-ANA.

**Que**, debe tenerse en cuenta que el Decreto Supremo 094-2018-PCM, Ley que aprueba disposiciones de carácter extraordinario para las intervenciones del gobierno nacional frente a desastres y que dispone la creación de la Autoridad para la Reconstrucción con cambios, cuya Quinta Disposición Complementaria Final, establece “*Declárese como zonas intangibles los cauces de las riberas, las fajas marginales...*”. Asimismo, en la octava disposición indica:

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado de ANA, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S 026-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de: <https://sisged.ana.gob.pe/consultas> e ingresando la siguiente clave : 28A4C7A1

*“Dispóngase que las fajas marginales, quebradas y borde costero determinados por la autoridad competente, **son consideradas como riesgos no mitigables**” (el resaltado es nuestro); esto, en concordancia con lo establecido en la Ley N° 30645, que modifica la Ley N° 29869, Ley de Reasentamiento Poblacional para Zonas de Muy Alto Riesgo No Mitigable que en su artículo 4 establece “*Declárese como zona intangible e inhabitable aquellas áreas que se encuentren en condición de riesgo no mitigable, por lo que está prohibido el otorgamiento de titularidad y dotación de servicios públicos. De igual modo, queda prohibida la adquisición de la propiedad vía prescripción adquisitiva de dominio respecto de aquellos inmuebles que se encuentren **en zonas de riesgo no mitigable** y en zona de riesgo recurrente por deslizamientos, huaicos y desbordes de ríos.*” Por lo que se le recomienda a la municipalidad de la jurisdicción de intervención, que gestione con la municipalidad provincial, conforme a lo establecido por su Ley Orgánica de Municipalidades, Ley N° 27972 que en su 79 señala que es función de los gobiernos locales la organización del espacio físico y uso del suelo aprobando el plan de acondicionamiento territorial de nivel provincial, que identifique las áreas urbanas y de expansión urbana, así como áreas de protección o de seguridad por riesgos naturales, las áreas agrícolas y las áreas de conservación ambiental.*

**Que**, en relación a los hitos, conforme el artículo 15 de la Resolución Jefatural N° 332-2016-ANA la señalización de las fajas marginales están a cargo de los gobiernos locales y regionales, operadores de infraestructura hidráulica entre otros; esta disposición en concordancia con el artículo 73 de la Ley Orgánica de Municipalidades, Ley N° 27972, dispone que es competencia de las municipalidades planificar integralmente el ordenamiento del territorio; de la misma forma, que los gobiernos locales están a cargo de gestionar el riego de desastres; y, conforme el Texto Único Ordenado de la Ley N° 30556, el gobierno local debe priorizar la monumentación mediante la colocación de los hitos, de las fajas marginales. En consecuencia, dentro del marco de sus facultades en el presente caso la Municipalidad Distrital del Alto Selva Alegre, deberá realizar la monumentación de los hitos en el lindero exterior del límite de la faja marginal en ambas márgenes del tramo delimitado de acuerdo a las necesidades de la zona; debiendo comunicar a esta Autoridad Administrativa del Agua para su registro correspondiente en el inventario de hitos; asimismo, debe tenerse en cuenta que de acuerdo artículo 117 del Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos y el artículo 15 de la Resolución Jefatural N° 332-2016-ANA, los hitos físicos son de forma de tronco de pirámide y puede ser de material noble (concreto armado) u otro material que no se degrade (roca), cuya colocación garantice su visibilidad y permanencia, estos delimitarán el lindero exterior de la faja marginal.

**Que**, estando con el visto del Área Legal y Área Técnica; así como lo establecido en el inciso ñ) del artículo 46° del Reglamento de Organización y Funciones de la Autoridad Nacional del Agua, esta Autoridad Administrativa del Agua I Caplina – Ocoña; y con lo establecido en la Resolución Jefatural N° 0243-2022-ANA.

## SE RESUELVE:

**ARTÍCULO 1°.- Aprobar** la delimitación de faja marginal con modelamiento hidráulico en el cauce de la quebrada El Pato, sector Nuevo Amanecer de la Unidad Hidrográfica 13257, distrito de Alto Selva Alegre, provincia y departamento de Arequipa; conforme al Informe Técnico N° 0161-2025-ANA-AAA.CO/MATL; y, de acuerdo a los criterios para la delimitación de la faja marginal establecidos en el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos, la Resolución Jefatural N° 332-2016-ANA y a los fundamentos glosados en la parte considerativa de la presente resolución.



**ARTÍCULO 2º.-** La ubicación del tramo a delimitar es de acuerdo con el siguiente detalle:

**Tabla N° 01: Ubicación del tramo a delimitar la faja marginal del cauce de la quebrada El Pato – Sector Nuevo Amanecer de la Unidad Hidrográfica 13257, Distrito de Alto Selva Alegre, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa. DATUM WGS 84, zona 19S**

| Característica                |                             | Descripción                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Ubicación política</b>     |                             | <b>Departamento:</b> Arequipa<br><b>Provincia:</b> Arequipa<br><b>Distrito:</b> Alto Selva Alegre                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Ubicación Hidrográfica</b> |                             | <b>Unidad Hidrográfica nivel 1:</b> Región Hidrográfica del Pacífico - 1<br><b>Unidad Hidrográfica nivel 2:</b> Unidad Hidrográfica - 13<br><b>Unidad Hidrográfica nivel 3:</b> Quilca Vitor Chili - 132<br><b>Unidad Hidrográfica nivel 4:</b> Medio Quilca Vitor Chili - 1325<br><b>Unidad Hidrográfica nivel 5:</b> Unidad Hidrográfica - 13257 |
| <b>Quebrada El Pato</b>       | <b>Ubicación geográfica</b> | <b>Coordenada de inicio:</b> 230805,53E y 8192446,94N<br><b>Coordenada final:</b> 231914,31E y 8192653,10N<br><b>Carta nacional:</b> 33S – Arequipa                                                                                                                                                                                                |
|                               | <b>Características</b>      | <b>Ancho de faja marginal:</b> Mínimo 30 metros<br><b>Número de Vértices:</b> 19 margen derecha y 18 margen izquierda<br><b>Longitud margen Derecha:</b> 1,078 Km<br><b>Longitud margen Izquierda:</b> 1,290 Km<br><b>Longitud de eje:</b> 1,356 Km<br><b>Caudal:</b> 23 m <sup>3</sup> /s<br><b>Periodo de retorno:</b> 100 años                  |

**ARTÍCULO 3º.-** Establecer los vértices de la delimitación faja marginal en el cauce de la quebrada El Pato sector Nuevo Amanecer, distrito de Alto Selva Alegre, provincia y departamento de Arequipa; conforme al Informe Técnico N° 0161-2025-ANA-AAA.CO/MATL; y, al siguiente detalle:

**Tabla N° 02: Vértices de delimitación de faja marginal del cauce de la quebrada El Pato – Sector Nuevo Amanecer de la Unidad Hidrográfica 13257, Distrito de Alto Selva Alegre, Provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa. DATUM WGS 84, zona 19S.**

| Margen derecha |             |              | Margen izquierda |             |              |
|----------------|-------------|--------------|------------------|-------------|--------------|
| Código         | Este (x)    | Norte (y)    | Código           | Este (x)    | Norte (y)    |
| R-QEP-001      | 230859,2392 | 8192586,8470 | L-QEP-001        | 230867,5529 | 8192303,4678 |
| R-QEP-002      | 230916,6178 | 8192618,2382 | L-QEP-002        | 230931,2786 | 8192279,0518 |
| R-QEP-003      | 231005,1624 | 8192649,2021 | L-QEP-003        | 230987,3704 | 8192284,3434 |
| R-QEP-004      | 231062,9566 | 8192667,3315 | L-QEP-004        | 231027,0580 | 8192312,9185 |
| R-QEP-005      | 231119,7195 | 8192689,5923 | L-QEP-005        | 231077,5556 | 8192348,7574 |
| R-QEP-006      | 231173,8748 | 8192689,1430 | L-QEP-006        | 231121,4626 | 8192378,4910 |
| R-QEP-007      | 231228,5264 | 8192685,1514 | L-QEP-007        | 231197,7878 | 8192402,7838 |
| R-QEP-008      | 231280,3327 | 8192690,7758 | L-QEP-008        | 231257,5798 | 8192417,8900 |
| R-QEP-009      | 231331,6382 | 8192689,1293 | L-QEP-009        | 231319,0621 | 8192392,7664 |
| R-QEP-010      | 231370,7547 | 8192684,8993 | L-QEP-010        | 231381,0077 | 8192380,4804 |
| R-QEP-011      | 231440,7072 | 8192666,5675 | L-QEP-011        | 231434,9828 | 8192388,4179 |
| R-QEP-012      | 231487,8017 | 8192667,9840 | L-QEP-012        | 231486,9575 | 8192403,6744 |

| Margen derecha |             |              | Margen izquierda |             |              |
|----------------|-------------|--------------|------------------|-------------|--------------|
| Código         | Este (x)    | Norte (y)    | Código           | Este (x)    | Norte (y)    |
| R-QEP-013      | 231559,7033 | 8192680,5048 | L-QEP-013        | 231540,1553 | 8192446,1968 |
| R-QEP-014      | 231638,8771 | 8192689,4796 | L-QEP-014        | 231610,6558 | 8192437,1870 |
| R-QEP-015      | 231710,8439 | 8192692,6546 | L-QEP-015        | 231708,0385 | 8192434,1692 |
| R-QEP-016      | 231765,3508 | 8192693,9758 | L-QEP-016        | 231772,4261 | 8192441,3322 |
| R-QEP-017      | 231822,3269 | 8192713,0382 | L-QEP-017        | 231881,0380 | 8192483,9977 |
| R-QEP-018      | 231865,3218 | 8192734,8663 | L-QEP-018        | 231945,4566 | 8192505,6157 |
| R-QEP-019      | 231899,1198 | 8192752,4445 |                  |             |              |

**ARTÍCULO 4º.- Disponer** que la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre, realice la correspondiente monumentación de los hitos en el lindero exterior del límite de la faja marginal en ambas márgenes del tramo delimitado; dentro del marco de sus competencias y las consideraciones establecidas en la presente resolución; debiendo comunicar a esta Autoridad Administrativa del Agua en el plazo de 30 días hábiles para su registro correspondiente. Asimismo, precisar que los hitos físicos a instalar son de forma de tronco de pirámide y puede ser de material noble (concreto armado) u otro material que no se degrade en el tiempo (roca), cuya colocación garantice su visibilidad y permanencia.

**ARTÍCULO 5º.- Disponer** que, en la faja marginal aprobada queda prohibida las actividades de asentamientos humanos, actividades agrícolas permanentes o intensivas, construcción de infraestructuras temporales o permanentes u otras que las afecte, bajo apercibimiento de iniciar procedimientos administrativo sancionador que diera lugar. Se debe considerar que el bien de dominio público hidráulico es inalienable e imprescriptible.

**ARTÍCULO 6º.- Disponer** que la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre, en el tramo delimitado que comprenda su jurisdicción administrativa, deberán actuar, en lo que corresponda a cauces, riberas y fajas marginales, de acuerdo a lo establecido en las disposiciones complementarias finales, del Decreto Supremo 094-2018-PCM, que aprueba el texto único ordenado de la ley 30556, “Ley que aprueba disposiciones de carácter extraordinario para las intervenciones del gobierno nacional frente a desastres y que dispone la creación de la Autoridad para la reconstrucción con cambios”.

**ARTÍCULO 7º.- Notificar** la presente resolución a la Municipalidad Distrital de Alto Selva Alegre, Oficina del Instituto Municipal de Planeamiento de la Municipalidad Provincial de Arequipa, Oficina Regional de Planeamiento, presupuesto y ordenamiento territorial del Gobierno Regional de Arequipa, Gerencia Regional de Agricultura del Gobierno Regional de Arequipa, Superintendencia Nacional de Registros Públicos – SUNARP, Organismo de Formalización de la propiedad Informal – COFOPRI y Superintendencia Nacional de Bienes estatales – SBN.

**ARTÍCULO 8º.- Notificar** la presente resolución directoral al Instituto Geográfico Nacional – IGN - Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico – INGEMMET, Instituto Nacional de Defensa Civil – INDECI, Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción de Riesgo de Desastres – CENEPRED, Administración Técnica Forestal y de Fauna Silvestre Arequipa ATFFS Arequipa – SERFOR, Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA, Autoridad Nacional de Infraestructura – ANIN, Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento – MVSC, Ministerio de Economía y Finanzas – MEF, Dirección de Catastro y Saneamiento Físico Legal del Ministerio de Cultura – MINCU, Dirección de Disponibilidad de predios del Ministerio de Transportes y Comunicaciones – MTC, Sociedad Eléctrica del Sur Oeste S.A., Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Arequipa – SEDAPAR, Centro de

Operaciones de Emergencias Regional – COER Arequipa, para conocimiento y acciones correspondientes.

Regístrese y comuníquese,

**FIRMADO DIGITALMENTE**

**RONAL HAMILTON FERNANDEZ BRAVO**  
DIRECTOR  
AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA - CAPLINA OCOÑA

RHFB/YISG.



PERÚ

Ministerio  
de Desarrollo Agrario  
y Riego



---

## ADMINISTRACION LOCAL DE AGUA CHILI

**“Estudio de delimitación de la faja marginal en el  
cauce de la Quebrada El Pato Sector Nuevo  
Amanecer – Alto Selva Alegre”**

**Arequipa, Julio del 2024**

## INDICE

|             |                                                                                                                                                                                                                                      |           |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>I.</b>   | <b>GENERALIDADES .....</b>                                                                                                                                                                                                           | <b>5</b>  |
| 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         |
| <b>II.</b>  | <b>DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRAMO DE ESTUDIO.....</b>                                                                                                                                                                                 | <b>9</b>  |
| 2.1         | UBICACIÓN POLÍTICA Y GEOGRÁFICA .....                                                                                                                                                                                                | 9         |
| 2.2         | UBICACIÓN HIDROGRÁFICA .....                                                                                                                                                                                                         | 9         |
| 2.3         | DESCRIPCIÓN DEL TRAMO DE ESTUDIO.....                                                                                                                                                                                                | 12        |
| <b>III.</b> | <b>ANÁLISIS DE MÁXIMAS AVENIDAS .....</b>                                                                                                                                                                                            | <b>15</b> |
| 3.1         | MÉTODO PARA DETERMINACIÓN DE MÁXIMAS 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 MÁXIMOS.....                                                                                                                                                                                               | 48        |
|             | MÉTODO RACIONAL .....                                                                                                                                                                                                                | 48        |
|             | ESTE MÉTODO ES PRÁCTICO Y ESTIMA EL CAUDAL MÁXIMO EN BASE A LAS INTENSIDADES DE LAS PRECIPITACIONES,<br>RESUME TODAS LAS VARIABLES HIDROLÓGICAS EN EL COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA. MUY USADO PARA CUENCAS<br>PEQUEÑAS Y MEDIANAS..... | 48        |
|             | LA DESCARGA MÁXIMA DE DISEÑO SE OBTIENE A PARTIR DE LA SIGUIENTE EXPRESIÓN: .....                                                                                                                                                    | 48        |
|             | 48                                                                                                                                                                                                                                   |           |
| <b>IV.</b>  | <b>TOPOGRAFIA.....</b>                                                                                                                                                                                                               | <b>51</b> |
| 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        |
|             | ILUSTRACIÓN 14 - OBTENCIÓN DE ORTOFOTO.....                                                                                                                                                                                          | 56        |
| 4.4.6       | OBTENCIÓN DE CURVAS DE NIVEL.....                                                                                                                                                                                                    | 57        |
|             | ILUSTRACIÓN 15 - CURVAS DE NIVEL.....                                                                                                                                                                                                | 57        |

|                                                                                            |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| ILUSTRACIÓN 16 - VERIFICACIÓN DE LA INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA CON EL SOFTWARE CIVIL 3D ..... | 58        |
| 4.4.7 REALIZACIÓN DE PLANOS .....                                                          | 58        |
| 4.5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                                                    | 58        |
| 4.6 PANEL FOTOGRAFICO.....                                                                 | 59        |
| <b>V. SIMULACIÓN HIDRAULICA .....</b>                                                      | <b>63</b> |
| 5.1 DESCRIPCION DEL MODELO. – .....                                                        | 63        |
| 5.2 CONFIGURACIÓN DEL MODELO .....                                                         | 63        |
| 5.2.1 PROCEDIMIENTO.....                                                                   | 64        |
| SE HA ESTRUCTURADO EN TRES PARTES: PREPROCESO, CÁLCULO Y POSTPROCESO .....                 | 64        |
| 5.2.2 GEOMETRÍA DEL CAUCE .....                                                            | 67        |
| 5.2.3 PREPARACIÓN DEL MODELO HIDRÁULICO CON IBER.....                                      | 67        |
| 5.2.4 DATOS DEL MÓDULO HIDRODINÁMICO DE IBER .....                                         | 68        |
| 5.2.5 DATOS DE LA RUGOSIDAD DE ACUERDO AL USO DE SUELO .....                               | 70        |
| 5.3 SIMULACION HIDRAULICA.....                                                             | 73        |
| 5.4 GENERACIONES DE MAPAS DE INUNDACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA RIBERA.....                   | 74        |
| <b>VI. DELIMITACIÓN DE LA FAJA MARGINAL .....</b>                                          | <b>80</b> |
| 6.1 ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES .....                                                 | 80        |
| 6.2 DIMENSIONAMIENTO DE LA FAJA MARGINAL. – .....                                          | 81        |
| 6.3 DIMENSIONAMIENTO DEL CAUCE. – .....                                                    | 84        |
| <b>VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>                                           | <b>87</b> |
| 7.1 CONCLUSIONES .....                                                                     | 87        |
| 7.2 RECOMENDACIONES.....                                                                   | 87        |
| <b>ANEXO 01: PLANOS DE DELIMITACIÓN DE FAJA MARGINAL .....</b>                             | <b>89</b> |

## 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. ....            | 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 .....                                   | 33 |
| Tabla 9 - Probabilidades pluviométricas mediante distribución normal .....                                      | 36 |
| 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. ....                                  | 44 |
| 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, Fuente: CINGEA</i>                                               | 9  |
| <i>Ilustración 2 - Mapa Hidrológico de la Cuenca Quilca Chili</i>                                                   | 10 |
| <i>Ilustración 3 - Mapa Hidrológico UH Nivel 5 Medio Quilca Vitor Chili</i>                                         | 11 |
| <i>Ilustración 4 - Ubicación tramo a delimitar en la microcuenca de la Quebrada El Pato – Sector Nuevo Amanecer</i> | 13 |
| <i>Ilustración 53 - Valores de Kn para datos dudosos.</i>                                                           | 32 |
| <i>Ilustración 6 - Regresiones IDF para TR: 50 años.</i>                                                            | 39 |
| <i>Ilustración 7 - Regresiones IDF para TR: 100 años.</i>                                                           | 40 |
| <i>Ilustración 8 - Curva de Intensidad Duración y Frecuencia</i>                                                    | 41 |
| <i>Ilustración 9 - Reemplazo de fórmula de Intensidad con información de la microcuenca en estudio.</i>             | 42 |
| <i>Ilustración 10 - Hietograma de TR: 50 años para la subcuenca en estudio</i>                                      | 46 |
| <i>Ilustración 11 - Hietograma de TR: 100 años para la subcuenca en estudio</i>                                     | 48 |
| <i>Ilustración 12 - Aerotriangulación</i>                                                                           | 55 |
| <i>Ilustración 13 - modelo digital de elevaciones (MDE)</i>                                                         | 56 |
| <i>Ilustración 14 - Obtención de ortofoto</i>                                                                       | 56 |
| <i>Ilustración 15 - Curvas de nivel</i>                                                                             | 57 |
| <i>Ilustración 16 - Verificación de la información topográfica con el software civil 3D</i>                         | 58 |
| <i>Ilustración 17-Imagen Google Earth del 27 de diciembre del 2004.</i>                                             | 80 |
| <i>Ilustración 18- Imagen Google Earth del 05 de junio del 2012.</i>                                                | 80 |
| <i>Ilustración 19- Imagen Google Earth del 03 de julio del 2018.</i>                                                | 81 |
| <i>Ilustración 20 - Imagen Google Earth del 21 de octubre del 2024.</i>                                             | 81 |

## **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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., en una longitud total de 1.30 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-escorrentía a partir de los datos de lluvia sobre la cuenca y de las características físicas de la misma.

Para realizar la simulación se ha realizado un modelo hidrológico. Cuyos resultados obtenidos son los caudales correspondientes a avenidas cuyos periodos de retorno son 50 y 100 años, 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., en una longitud total de 1.30 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A.
- Proponer el ancho de cauce y faja marginal en la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A.
- 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., cuya longitud total es de 1.30 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 períodos de invierno, período de estiaje, se presentan los menores caudales.

El marco legal regulatorio indica:

- La Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos, en su Título V: Protección del Agua, establece en la Faja Marginal, en los terrenos aledaños a los cauces naturales o artificiales, se mantiene una Faja Marginal de terreno necesaria para la protección, el uso primario del agua, el libre

- tránsito, la pesca, caminos de vigilancia u otros servicios. El reglamento determina su extensión.
- Artículo 119° de la Ley 29338, la Autoridad Nacional del Agua, conjuntamente con los Consejos de Cuenca respectivos, fomenta programas integrales de control de avenidas, desastres naturales o artificiales y prevención de daños por inundaciones o por otros impactos del agua y sus bienes asociados, promoviendo la coordinación de acciones estructurales, institucionales y operativas necesarias.
  - D.S. N° 001-2010-AG (24-03-2010): Reglamento de la Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos”.
  - R.J. N° 332-2016-ANA: Aprueban Reglamento para la Delimitación y Mantenimiento de Fajas Marginales, Lima, diciembre 2016.

#### **1.4 ALCANCES**

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

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

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

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

El estudio de la faja marginal permitirá establecer el dimensionamiento de la faja marginal, su señalización, las condiciones de los predios ubicados en las márgenes de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A.; 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., se ubica en el distrito de Alto Selva Alegre, en la Provincia de Arequipa y Región de Arequipa; y es donde el tramo de estudio se sitúa.

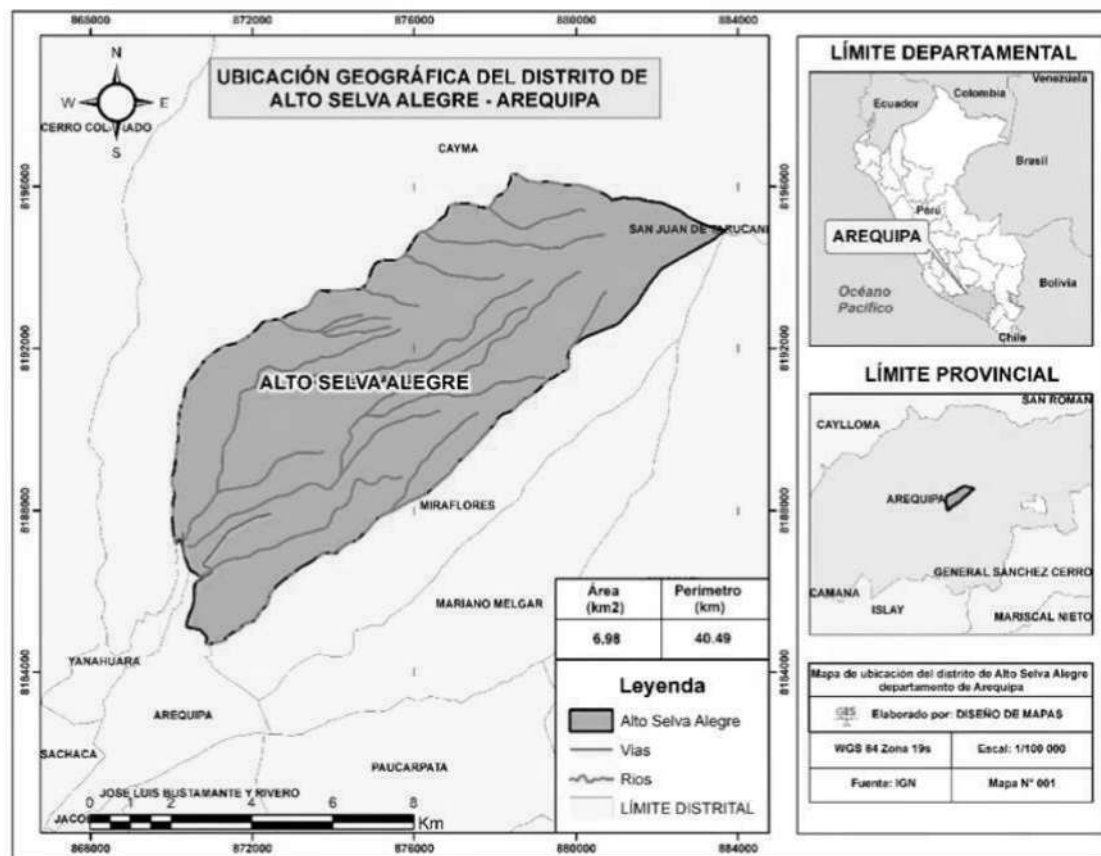


Ilustración 1 - Ubicación del Área de Proyecto, Fuente: CINGEA

### 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°37'50" y 16°47'10" y longitud Oeste 70°49'15" y 72°26'35".

Tiene una extensión total de 13 817 km<sup>2</sup>. La cuenca Quilca-Chili está dividida en 11 Unidades Hidrográficas de nivel 4, seis de las cuales son tributarias y cinco que conforman el cauce principal, además 4 unidades hidrográficas de nivel 5 (intercuencas).

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

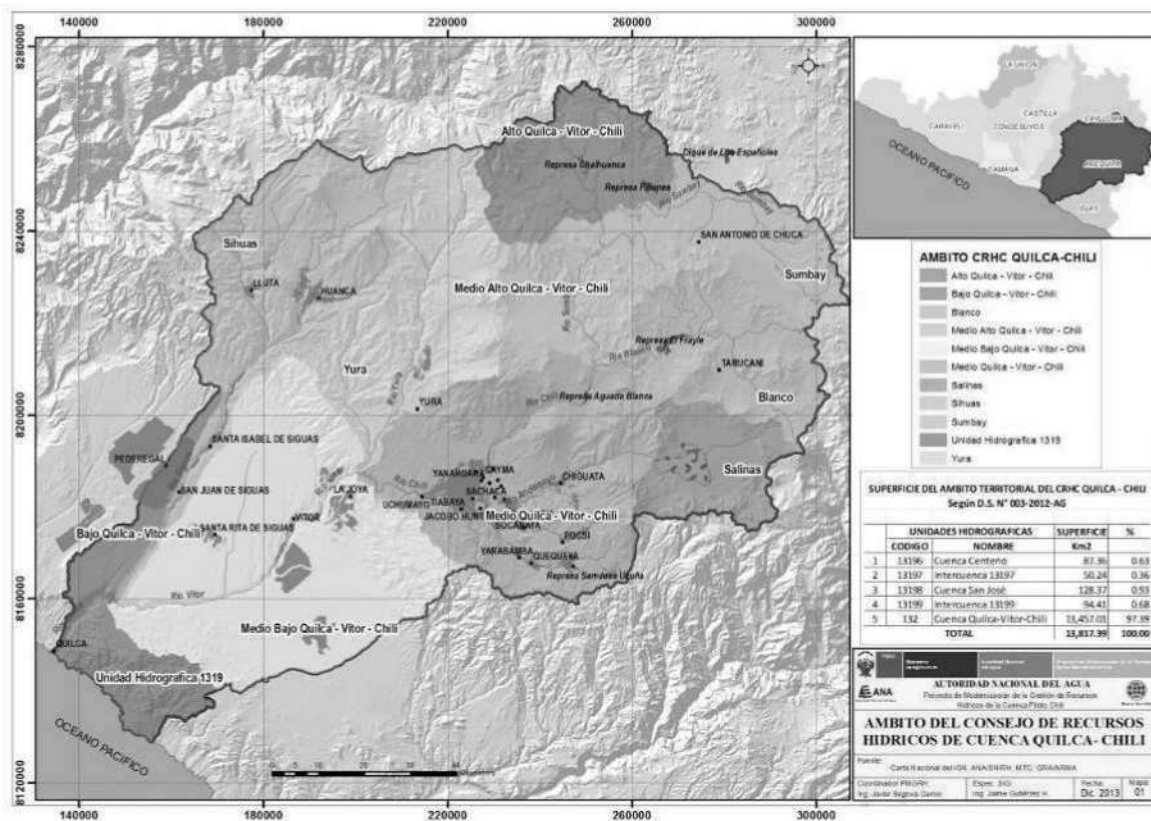


Ilustración 2 - Mapa Hidrológico de la Cuenca Quilca Chili

Fuente: Consejo de Recursos Hídricos de Cuenca Quilca - Chili



13257. 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., 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 C.P. Nuevo Amanecer - Alto Selva Alegre, en una extensión de 1.30 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. son:

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

| TRAMO | INICIO            | FIN               |
|-------|-------------------|-------------------|
| ESTE  | <u>231917.30</u>  | <u>230810.14</u>  |
| NORTE | <u>8192655.61</u> | <u>8192435.15</u> |

Fuente: Elaboración Propia





### **III. ANALISIS DE MAXIMAS AVENIDAS**

---

### III. ANALISIS DE MAXIMAS AVENIDAS

#### 3.1 METODO PARA DETERMINACIÓN DE MAXIMAS AVENIDAS. –

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

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

La secuencia de la metodología a desarrollarse es la siguiente:

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

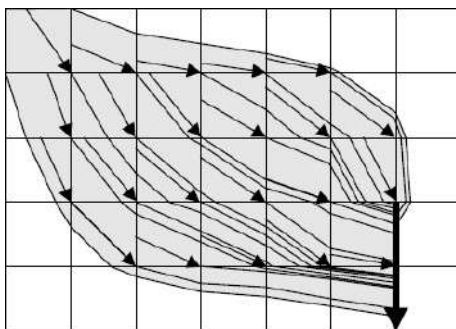


Ilustración 5 - Celdas donde se da la Acumulación y Dirección de flujo

Fuente: SAGA GIS / Forums / Open Discussion: Tools for flow accumulation in "Hydrology" ([sourceforge.net](http://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 km<sup>2</sup>.

### 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 (km<sup>2</sup>)

### 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.

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

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/km<sup>2</sup>.

### 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<sup>2</sup>)

### 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.

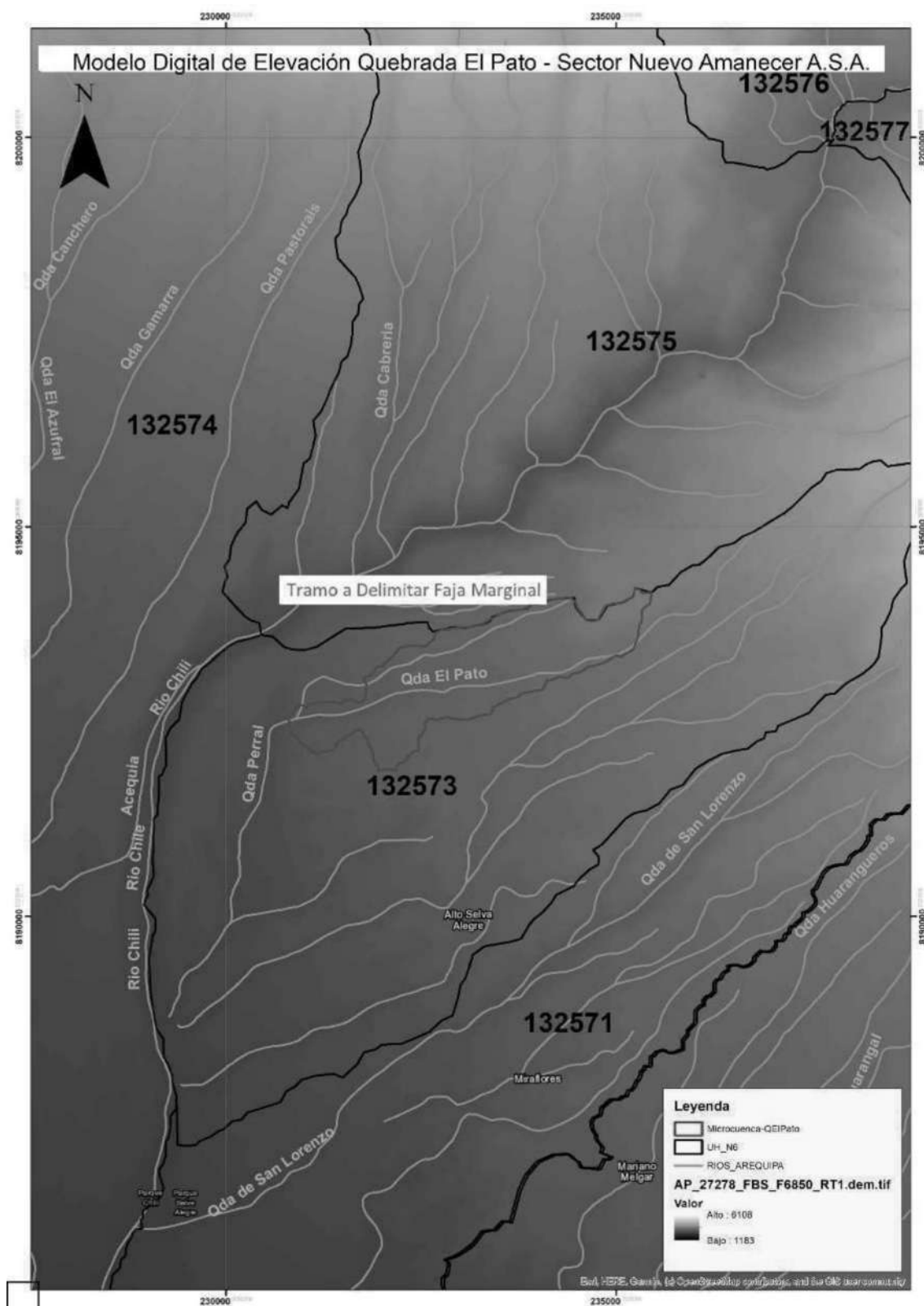


Ilustración 6 - Modelo de Elevación Digital Seleccionado. Fuente: ALOS PALSAR NASA



- 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**)



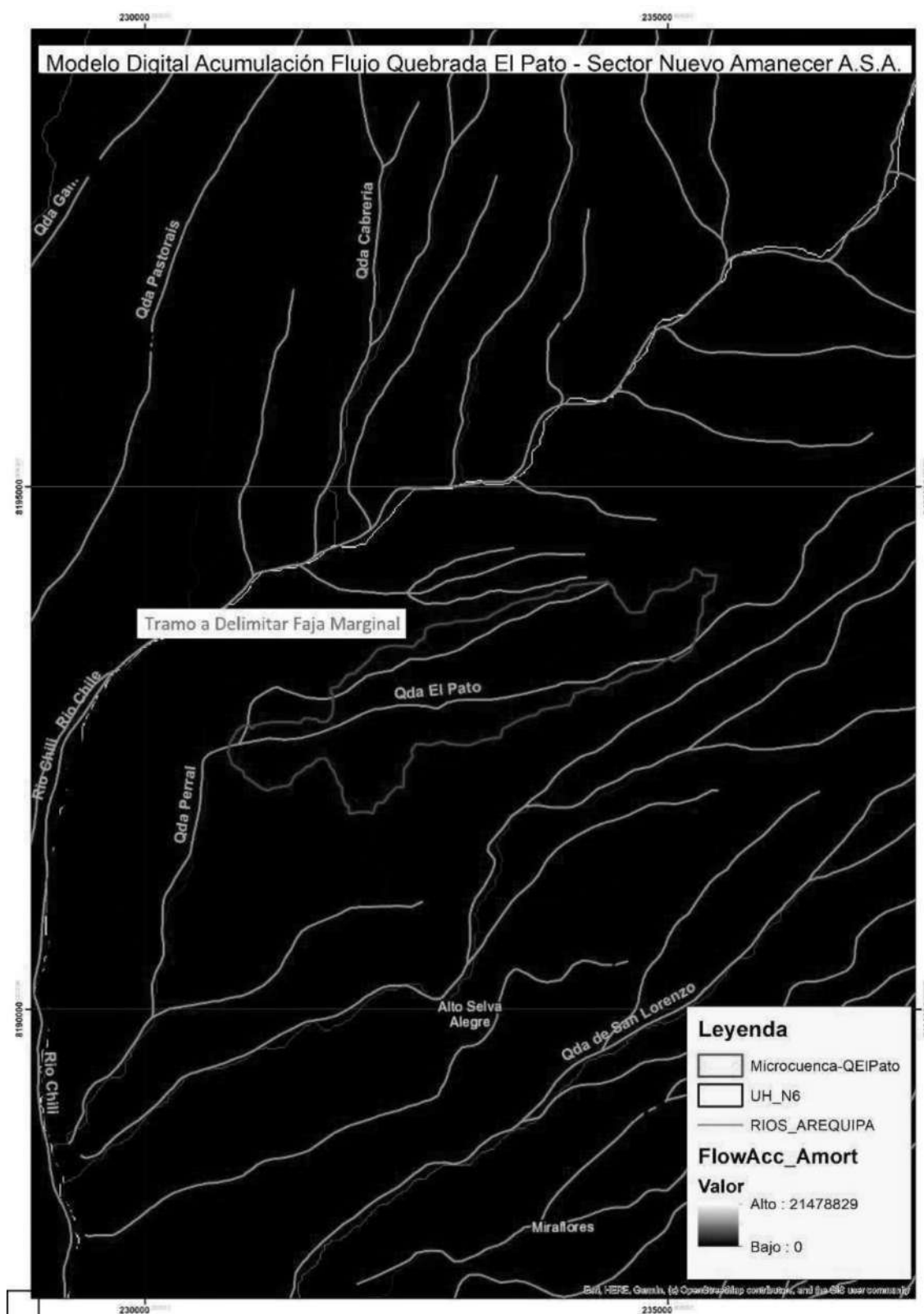


Ilustración 8 - Modelo Digital de Flujo Acumulado de la Cuenca Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A.

- 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.

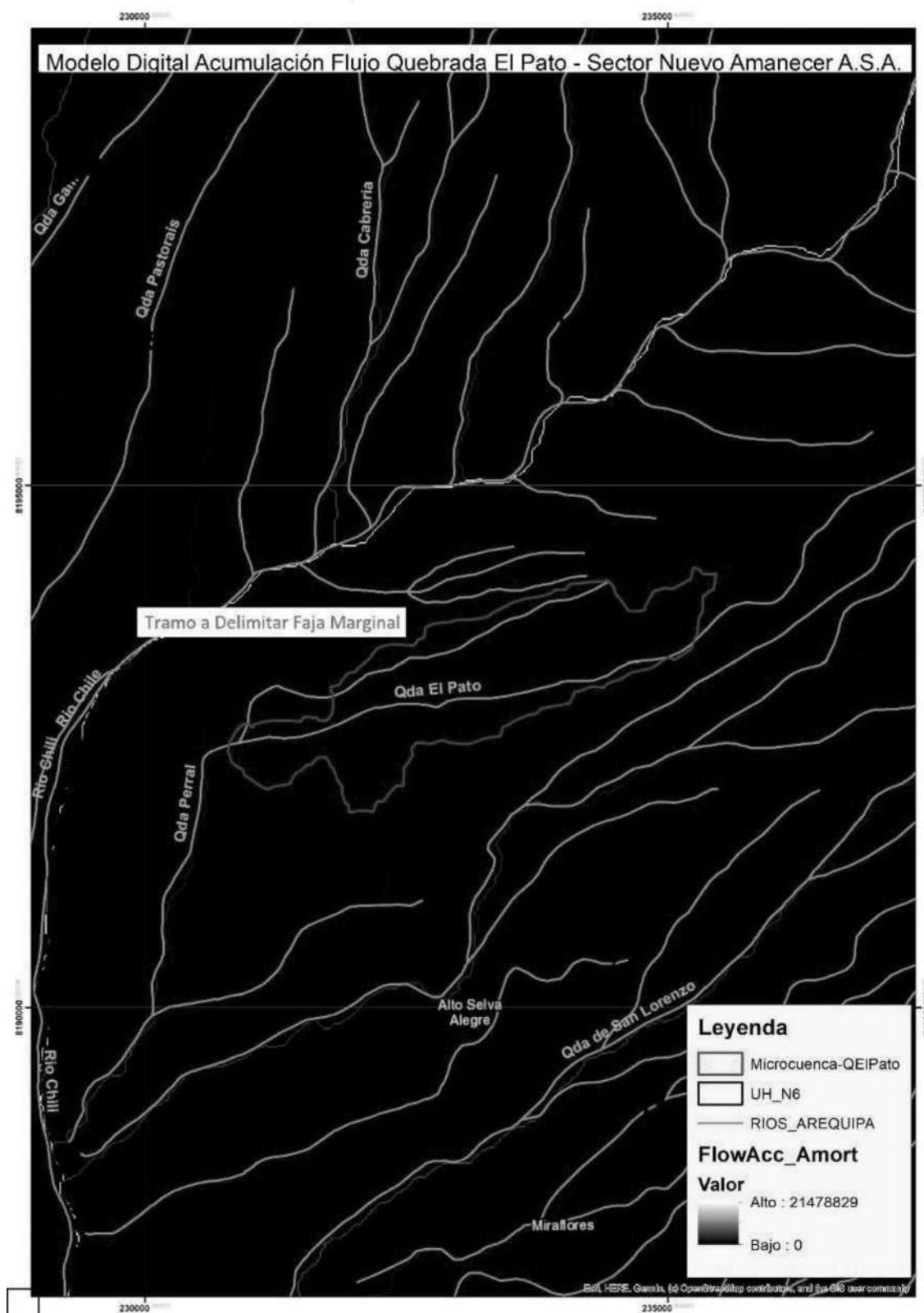


Ilustración 9 – Red Hídrica de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A.

A través de estos procedimientos se ha culminado con la caracterización física de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., y se detallará a continuación.

| Microcuenca  | Área (km <sup>2</sup> ) | Área (Ha) | Perímetro (km) | Longitud (km) | Kc    |
|--------------|-------------------------|-----------|----------------|---------------|-------|
| MC-Q El Pato | 4.18                    | 418       | 12.74          | 4.76          | 1.745 |

**Tabla 2 - Parámetros físicos de la Cuenca de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A.**  
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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. (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             |
|-------------------------|------------------|-------------------|
| <u>Punto de drenaje</u> | <u>230804.68</u> | <u>8192431.80</u> |

Fuente: Elaboración Propia

Habiéndose definido el área de influencia de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., se determinará los caudales extremos en el tránsito de máximas avenidas.

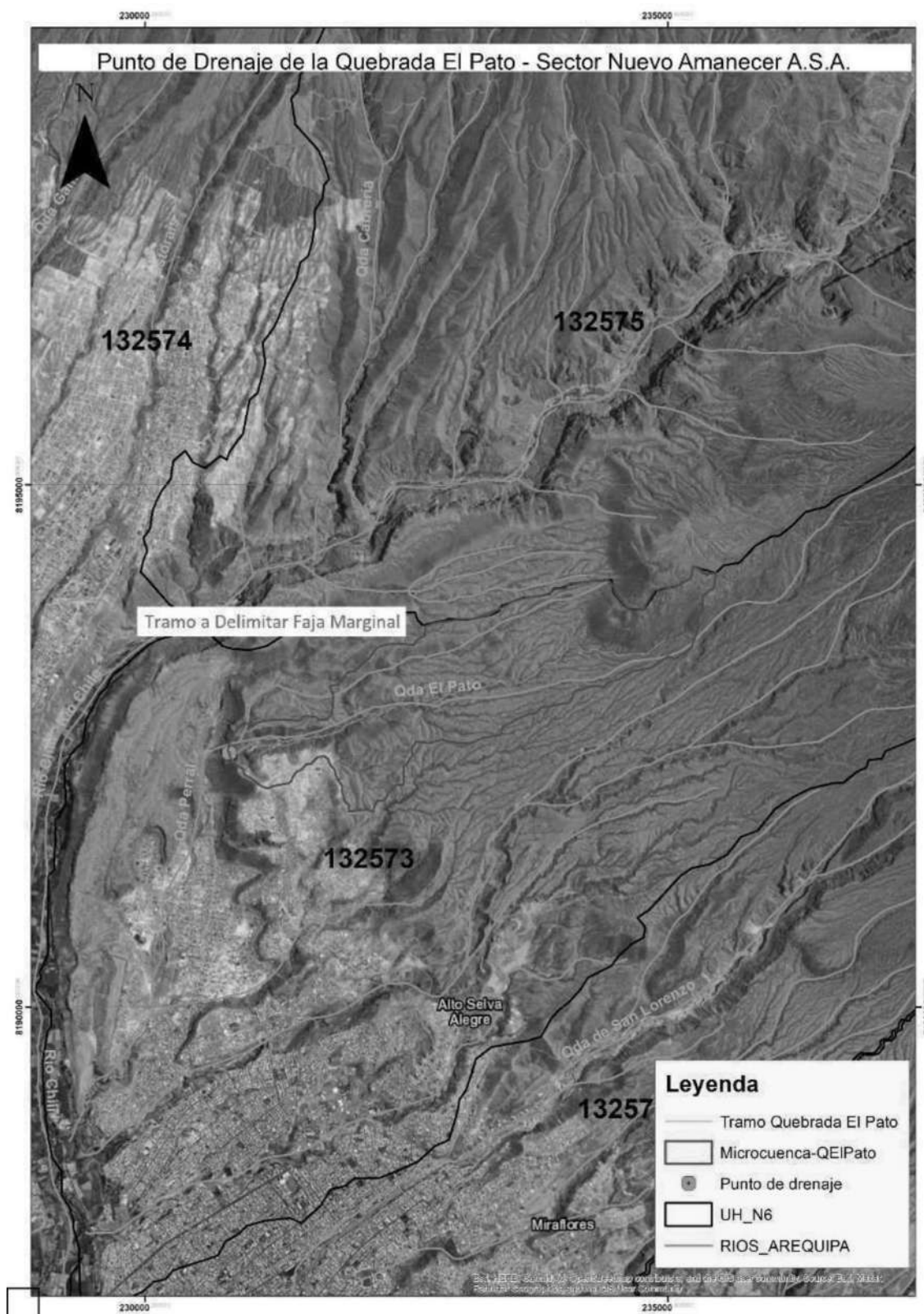


Ilustración 10 - Definición del punto de drenaje y área de Estudio requerida.

### 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., 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 Pasto Raíz  | 3.054               | 22.84              |

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 Pasto Raíz  | 0.40  | 14.38   |

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.



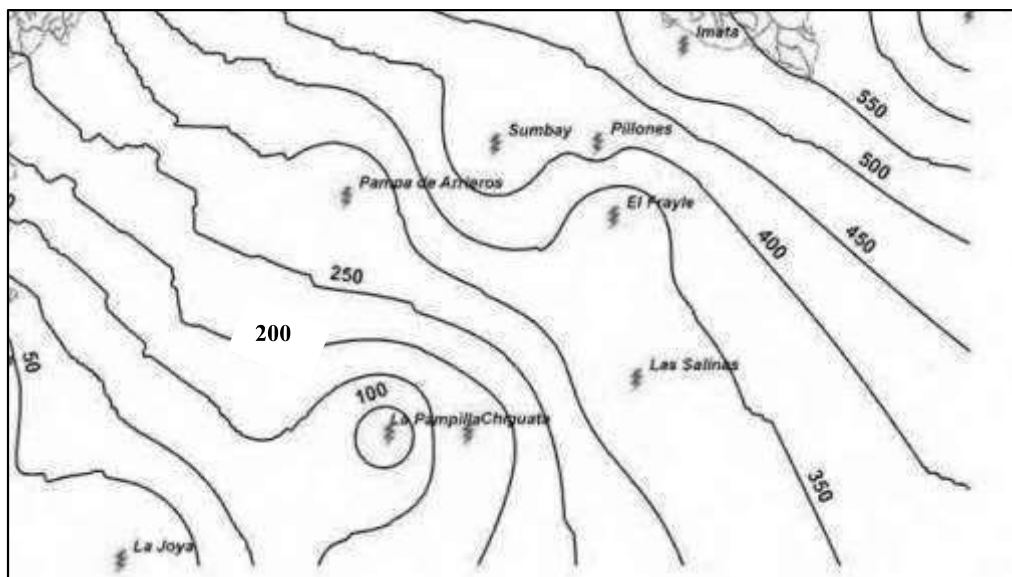


Ilustración 11 – Mapa de Isoyetas en la zona de estudio requerida.

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 Rodriguez Ballón | 225854.7 | 8190496.9 | 2540    | 1977-2017             |

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 7 - Precipitaciones Máximas en 24 horas

| N° | Año  | EM Alfredo Rodriguez |
|----|------|----------------------|
| 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 cercana 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.



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:

$$=^{-} +$$

$$=^{-} -$$

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 $n$ | $K_n$ | Tamaño de muestra $n$ | $K_n$ | Tamaño de muestra $n$ | $K_n$ | Tamaño de muestra $n$ | $K_n$ |
|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
| 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  $K_n$  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**

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

|      |       |      |
|------|-------|------|
| 2016 | 37.08 | 1.57 |
| 2017 | 43.94 | 1.64 |

La siguiente tabla resume los estadísticos descriptivos de las precipitaciones:

| Parámetros              | Muestrales | Muestrales Log |
|-------------------------|------------|----------------|
| Numero de datos         | 41         | 41             |
| Sumatoria               | 1191.92    | 53.17          |
| Valor máximo            | 82.04      | 1.91           |
| Valor mínimo            | 2.03       | 0.31           |
| Media                   | 29.0712    | 1.298          |
| Varianza                | 577.9831   | 0.169          |
| Desviación Estándar     | 24.0413    | 0.412          |
| 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**

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

2.406

**Precipitación Maxima Aceptada**

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

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

**Umbral de Datos Dudosos Bajos**

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

0.190

**Precipitación Minima Aceptada**

$$= \quad L \quad 1.55 \quad \text{mm}$$

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

Así mismo, también se calculará:

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

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

### Modelos de Distribución: Normal

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

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

Donde:

$f(x)$  = Función densidad normal de la variable  $x$

$x$  = Variable Independiente

$\mu$  = 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

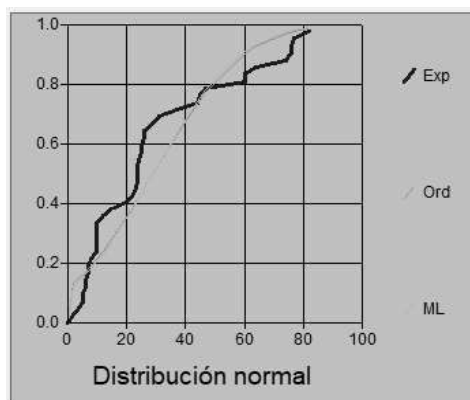


Tabla 9 - Probabilidades pluviométricas mediante distribución normal

| m  | X     | P(X)   | F(Z)<br>Ordinario | F(Z) Mom<br>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 | 1.3038 | 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                      | 1.300               | 32.85                             |

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

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

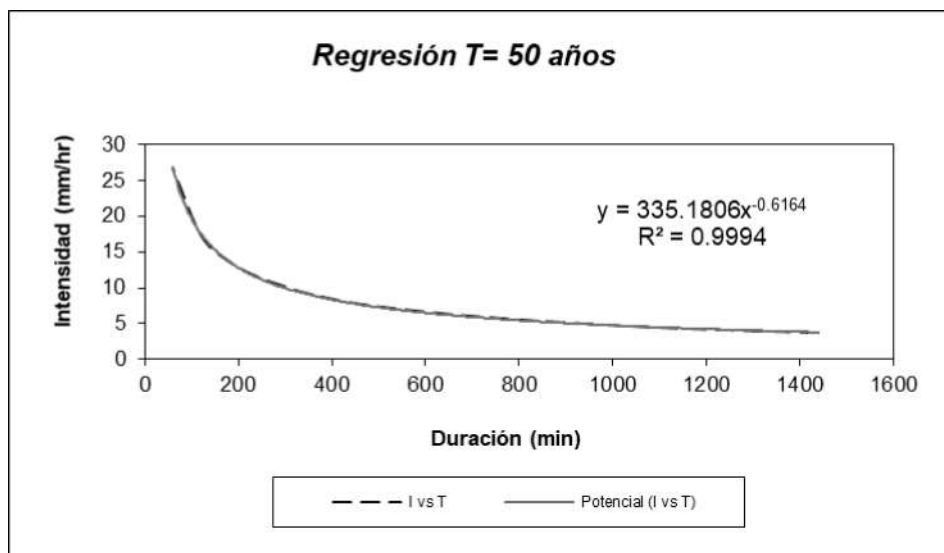


Ilustración 6 - Regresiones IDF para TR: 50 años.

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

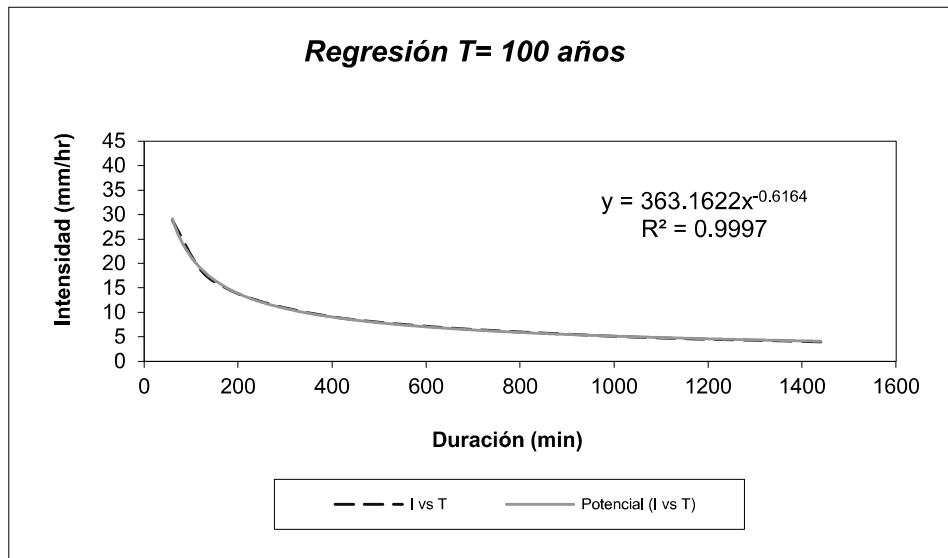


Ilustración 7 - Regresiones IDF para TR: 100 años.

**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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., 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<br>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  $\Delta t$
- 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  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ ,..., 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A.:

### Tiempo de concentración de la cuenca (Fórmula California)

L cauce ppal : 4.76 km  
Pendiente = 0.09 m/m

Tiempo concentración = 0.55175518 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<br>FECHA                                      | FÓRMULA PARA $t_c$ (minutos)                                                                                                                                                    | OBSERVACIONES                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Kirpich<br/>(1940)</b>                              | $t_c = 0.01947 L^{0.77} S^{-0.385}$ <p>L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, m.<br/>S = pendiente promedio de la cuenca, m/m</p>                           | Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales de Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar $t_c$ por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas. |
| <b>California<br/>Culverts<br/>Practice<br/>(1942)</b> | $t_c = 0.0195 \left( \frac{L^3}{H} \right)^{0.385}$ <p>L = longitud del curso de agua más largo, m.<br/>H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, m.</p> | Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California.                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

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

| MICRO-CUENCA | Longitud(m) | Cota Final | Cota Inicial | Desnivel(m) | California $T_c$ (min) | Kirpich $T_c$ (min) | SCS (min) |
|--------------|-------------|------------|--------------|-------------|------------------------|---------------------|-----------|
| MC-QEIPato   | 4760        | 3091       | 2657         | 434         | 33.28                  | 33.23               | 55.69     |

#### f) Coeficiente de Escorrentía

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

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

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

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

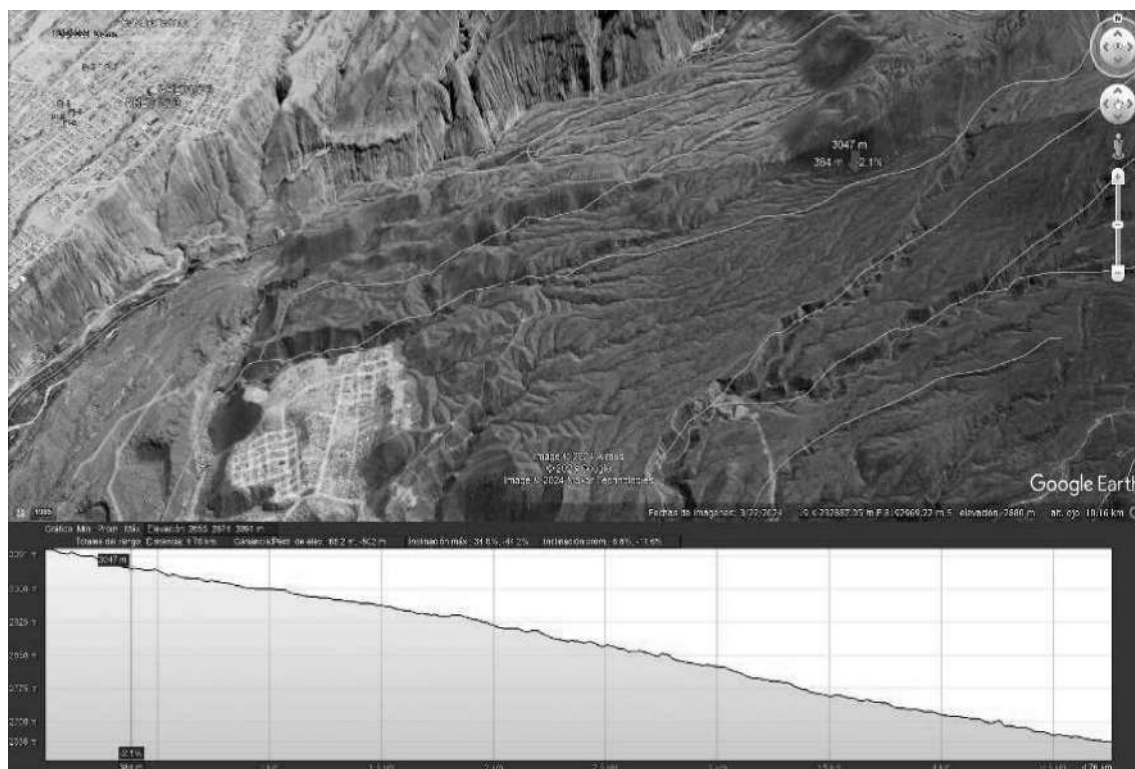


Ilustración 13 – Perfil Longitudinal grafico de la microcuenca - Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A.

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 prorrato con los tipos de cobertura en la zona de estudio se determinó que el coeficiente de escorrentía más adecuado será de 0.45.

| Microcuenca | Coeficiente de Escorrentía |
|-------------|----------------------------|
| Q El Pato   | 0.45                       |

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



**Estudio de delimitación de faja marginal en el Cauce de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer –  
Alto Selva Alegre**

| <b>HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 50 AÑOS</b> |                          |                                     | <b>180 min</b>            |                                  |                                     |                                    |
|------------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|
| <b>Duración de la tormenta (h)</b>             | <b>3</b>                 |                                     |                           |                                  |                                     |                                    |
| <b>Intensidad de lluvia (mm/h)</b>             | <b>13.09</b>             |                                     |                           |                                  |                                     |                                    |
| <b>Precipitación en 24 horas (mm)</b>          | <b>39.26</b>             |                                     |                           |                                  |                                     |                                    |
| <b>Intervalos de tiempo (min)</b>              | <b>5</b>                 |                                     |                           |                                  |                                     |                                    |
| <b>Instante (min)</b>                          | <b>Intensidad (mm/h)</b> | <b>Precipitación acumulada (mm)</b> | <b>Precipitación (mm)</b> | <b>Intensidad parcial (mm/h)</b> | <b>Precipitación Alternada (mm)</b> | <b>Int. Parcial Alternada (mm)</b> |
| 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

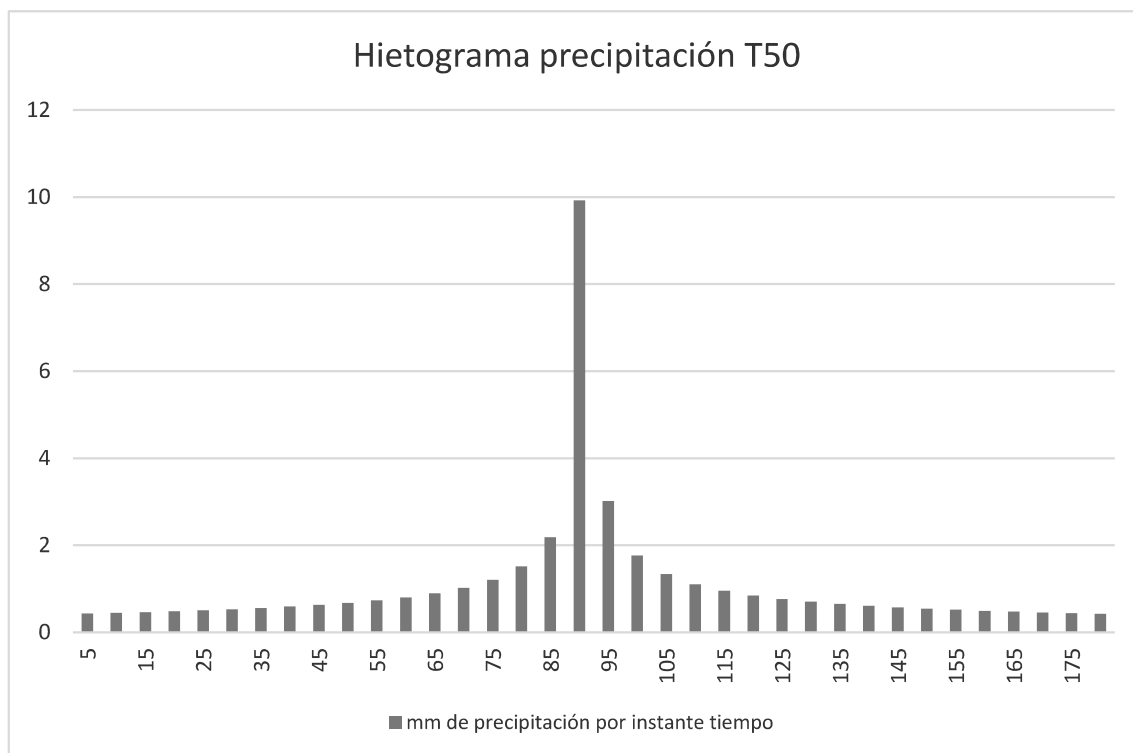


Ilustración 10 - Hietograma de TR: 50 años para la subcuenca en estudio

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

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

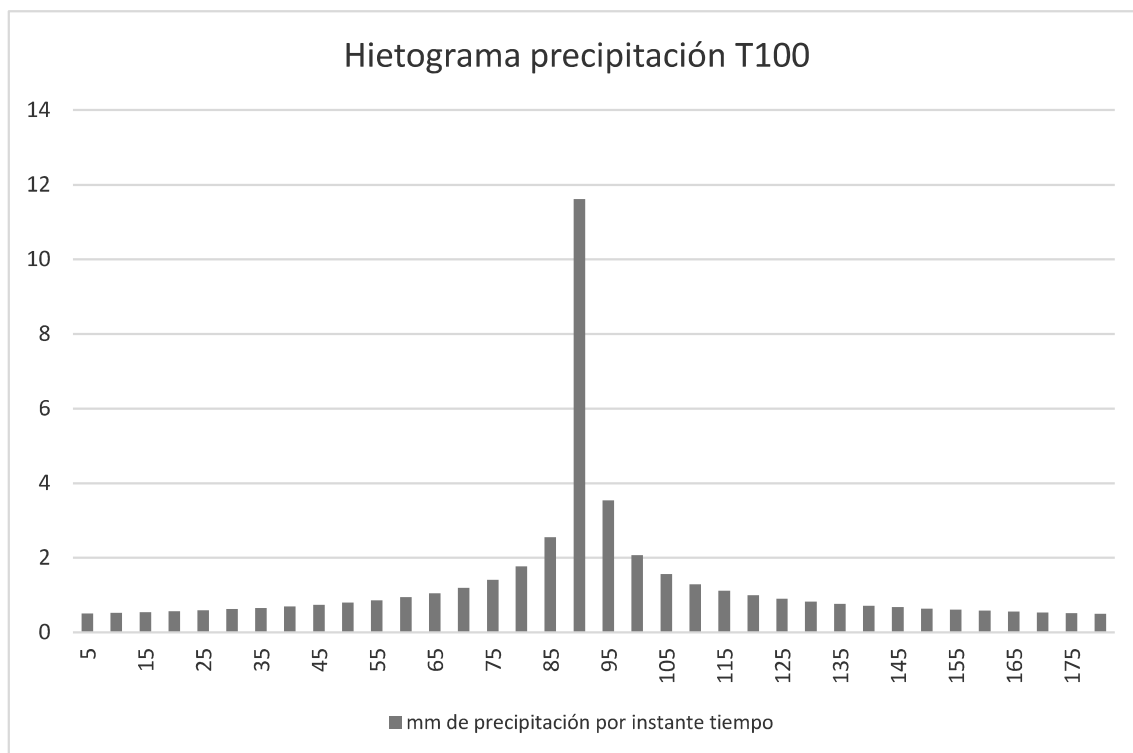


Ilustración 11 - Hietograma de TR: 100 años para la subcuenca en estudio

### 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:

$$Q = C \cdot I \cdot A$$

Donde:

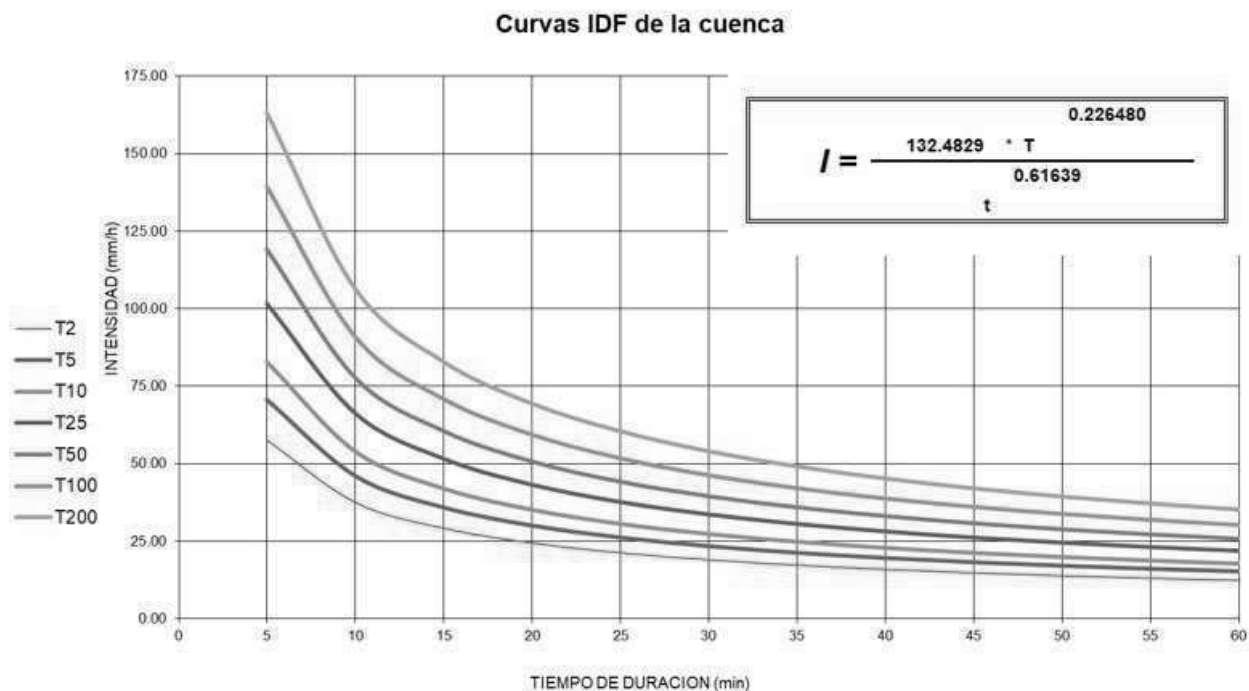
*Q*: Descarga máxima de diseño (m<sup>3</sup>/s)

*C*: Coeficiente de escorrentía

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

*A*: Área de la cuenca (Km<sup>2</sup>)

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<br>Q(m3/s) | Tipo de<br>Periodo<br>Retorno |
|------|-----------|--------------------|-------|----------|----------|-------|--------------|--------------------------|-------------------------------|
|      |           |                    | (min) |          |          | (Km2) |              |                          |                               |
| 1    | 1         | Quebrada PastoRaiz | 33.00 | 50       | 37.23    | 4.180 | 0.45         | 19.47                    | Agrícola                      |
| 2    | 2         | Quebrada PastoRaiz | 33.00 | 100      | 43.56    | 4.180 | 0.45         | 22.78                    | Residencial                   |
| 3    | 3         | Quebrada PastoRaiz | 33.00 | 200      | 50.97    | 4.180 | 0.45         | 26.65                    | Por encima                    |

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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A.”

En la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. en un tramo de 1.30 km, se ha visto que en el área de cauce se han conformado zonas de alto riesgo conformadas por Lahares, activándose periódicamente la erosión lateral del curso de agua, produciéndose en tramos vulnerables deslizamientos y derrumbes; por otro lado, la carga de sedimentos, las actividades antrópicas, la expansión urbana, la inadecua disposición de residuos sólidos, obstruyen el correcto funcionamiento del cauce. Por lo que es necesario, regular el bien de dominio público hidráulico de la quebrada “El Pato Sector Nuevo Amanecer” con la Autoridad Nacional del Agua, a través de un plan de trabajo para la cooperación interinstitucional para la delimitación de faja marginal.

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

#### 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A.
- Distrito : Alto Selva Alegre
- Provincia : Arequipa

- Departamento : Arequipa
- Región : Arequipa

La zona de estudio total abarca 1.30 km a lo largo de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer – Alto Selva Alegre. La selección de esta longitud de tramo fue adecuada para cerrar la delimitación de la quebrada, que cuenta con sendos actos resolutivos aguas abajo y aguas arriba.

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>231917.30</u> | <u>8192655.61</u> | <u>2790</u>           |
| <u>Fin</u>    | <u>230810.14</u> | <u>8192435.15</u> | <u>2692</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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. en un tramo de 1.30 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.

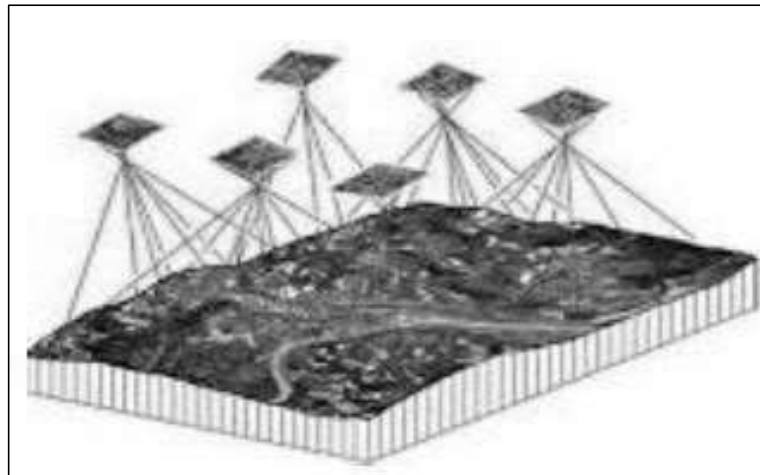
Posteriormente con el software Civil 3D, se procedió a realizar los planos topográficos requeridos. El procesamiento de información de vuelo con el Drone Phantom 4 Pro, consiste en realizar el levantamiento topográfico por el método de Fotogrametría.

#### **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**

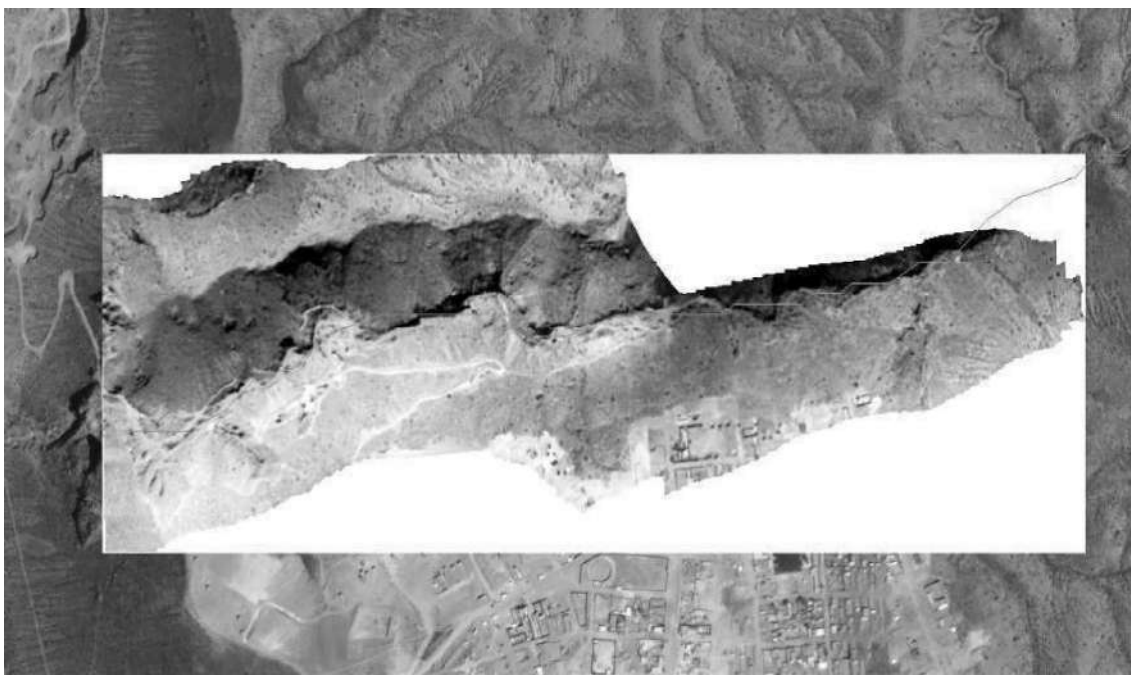
Una vez realizada la corrección y restitución fotogramétrica se procedió a la obtención de la topografía por medio del modelo digital de elevaciones (MDE)



*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.

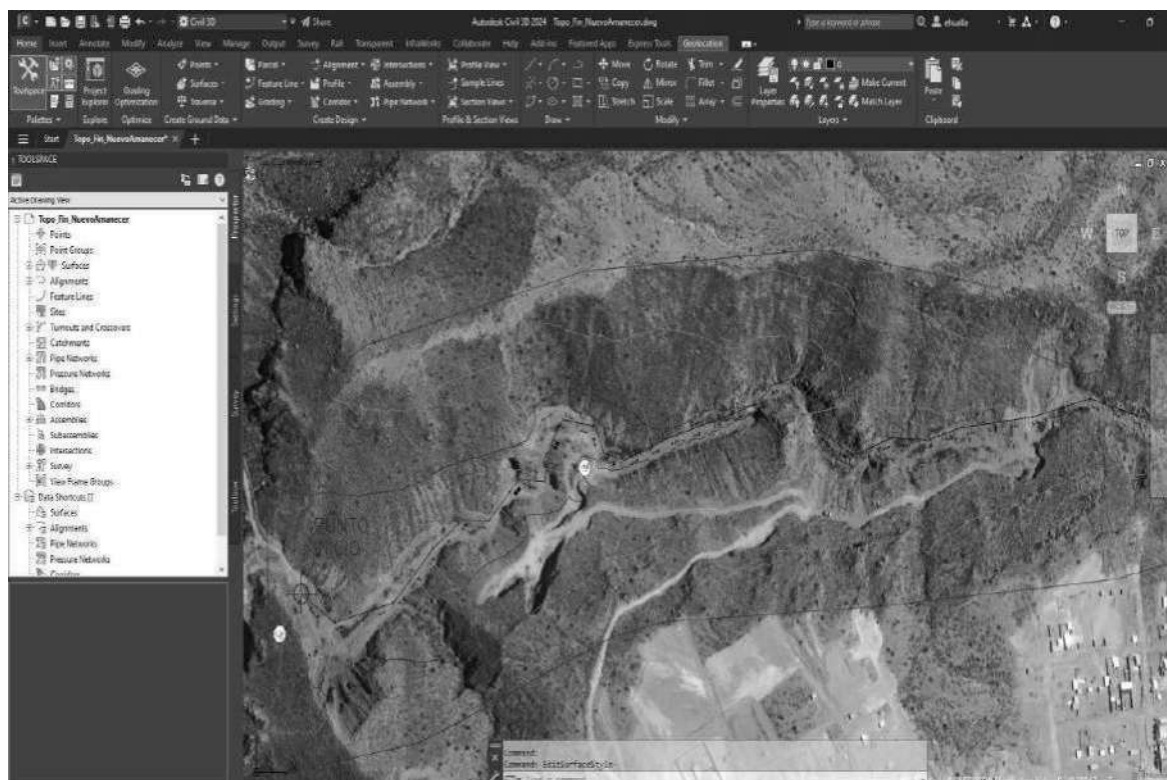


Ilustración 16 - Verificación de la información topográfica con el software civil 3D

#### 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 ASVE-01, ubicado muy cerca de la zona del levantamiento topográfico, próximo a la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer, cuyas coordenadas son E: 231108.83 metros y N: 8190437.978 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 20 – Ejecución del plan de vuelo del tramo a delimitar de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer*



*Ilustración 21 –Vista Panorámica del trabajo de campo: emplazamiento de la estación RTK*



*Ilustración 22 – Vista Panorámica de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer*



*Ilustración 23 – Ejecución del Plan de Vuelo de la Quebrada El Pato en el sector de Nuevo Amanecer Alto Selva Alegre*





*Ilustración 24 – Vista Panorámica de la Quebrada El Pato en el sector de Nuevo Amanecer, donde se aprecia el emplazamiento de viviendas contiguas a dicho cauce.*



*Ilustración 25 – Ubicación del punto ASCE-01 (Punto geodésico: E 231108.83, N 8190437.978 Cota: 2604.634)*

## **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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. y su correspondiente eje, huella máxima y/o límites del cauce, en un tramo de 2.00 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 26 - Curvas de Nivel Obtenidas del trabajo de Campo

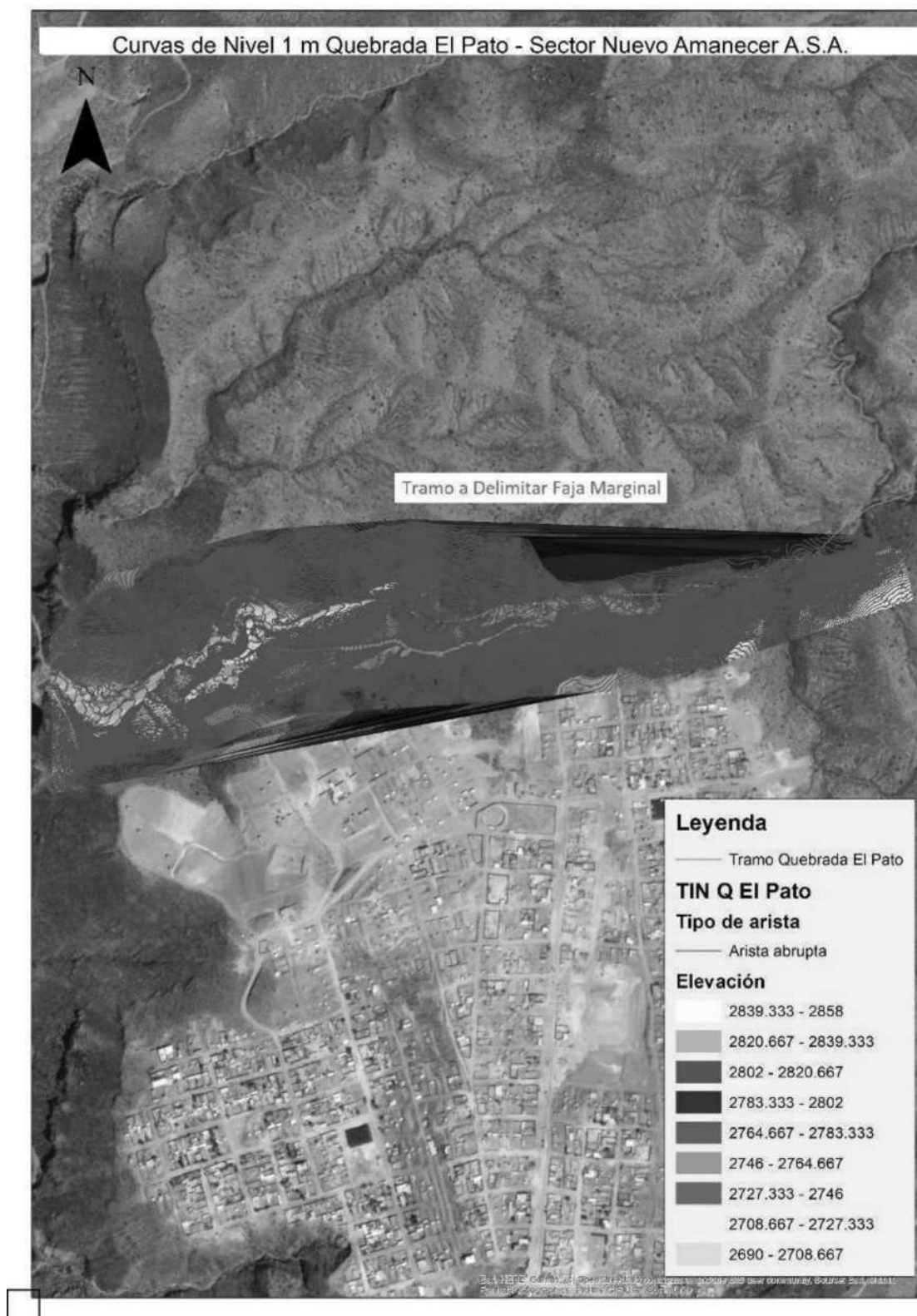


Ilustración 27 - Obtención del TIN a partir de las Curvas de Nivel Obtenidas del trabajo de Campo

## 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.

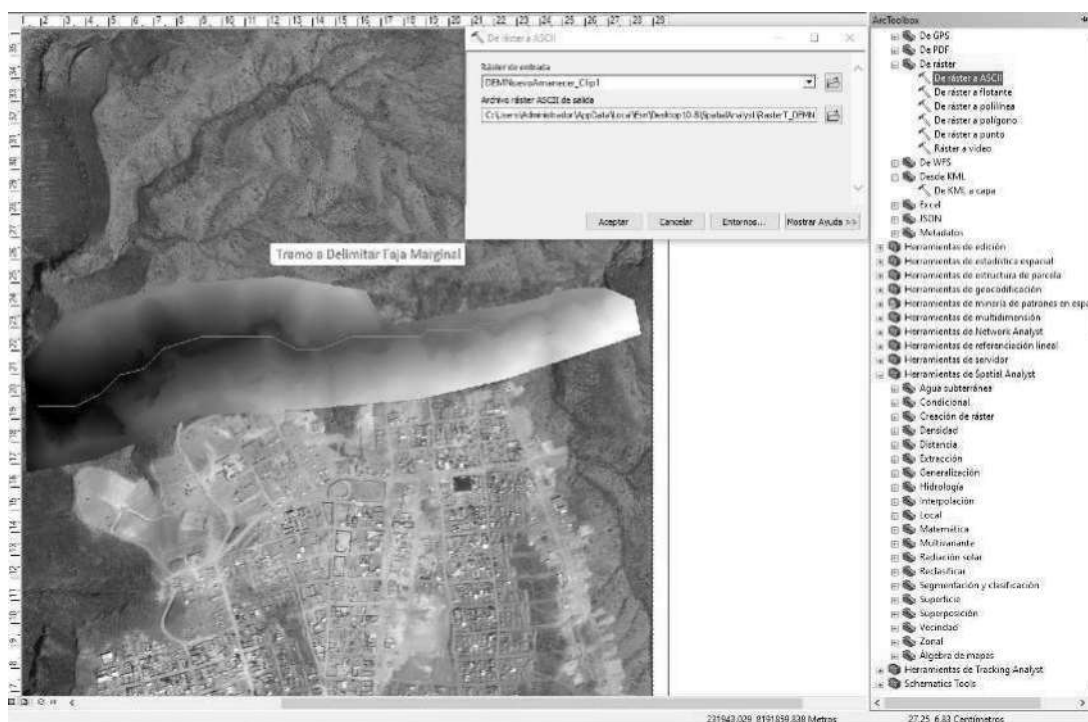


Ilustración 28 – Herramienta de conversión de ráster a ASCII para la creación de la geometría

## 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 10 metros y lado mínimo de 1 metro.

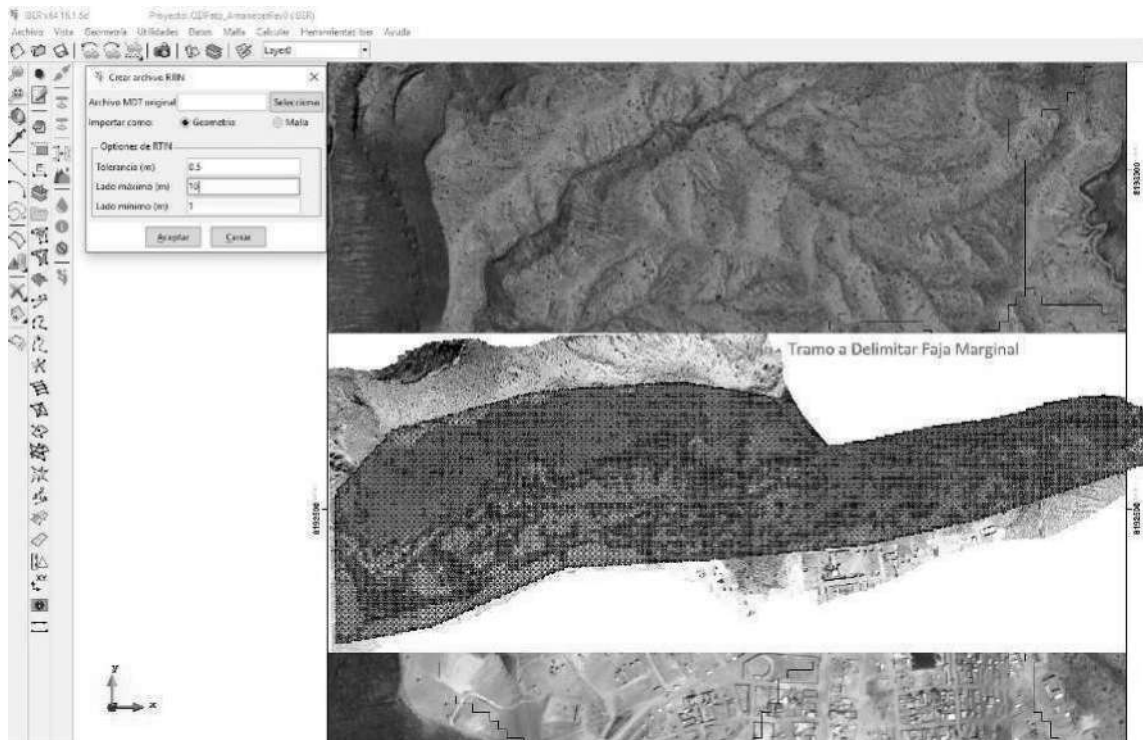


Ilustración 29 – Importación del archivo ASCII y creación de la Geometría RTIN de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. en el software Iber.

#### 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.



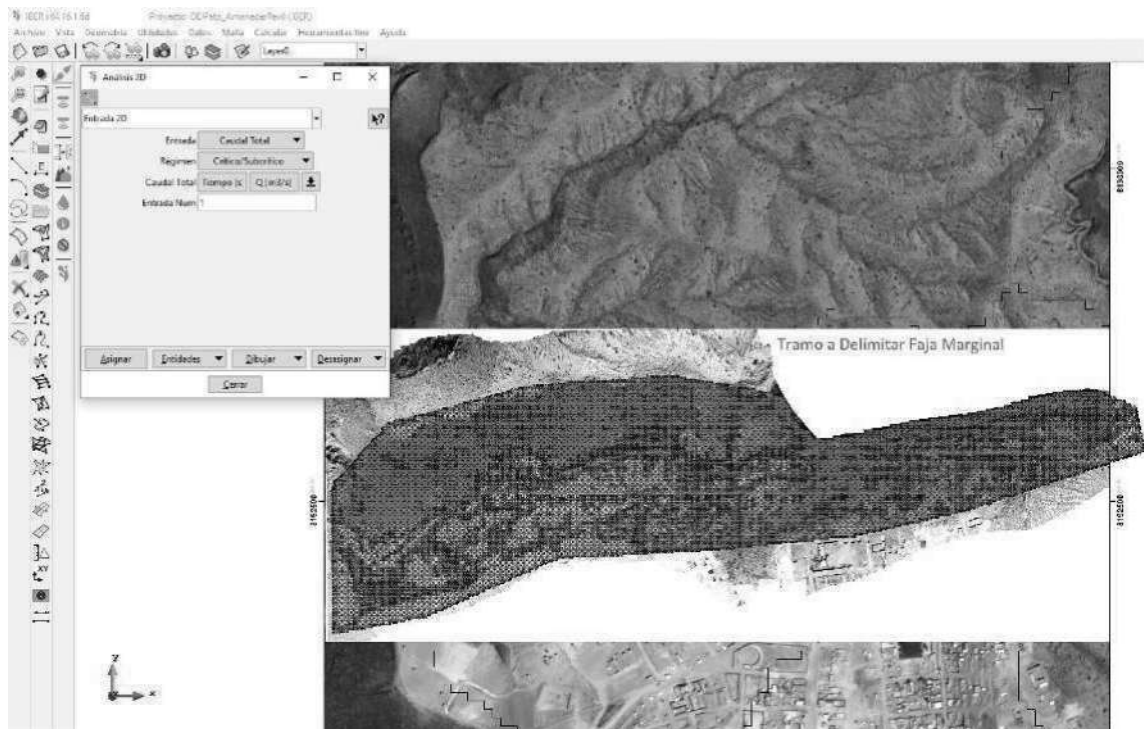


Ilustración 30 - Ingreso de Condiciones de Contorno: Input a través de Caudal Máximo en el software Iber

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.

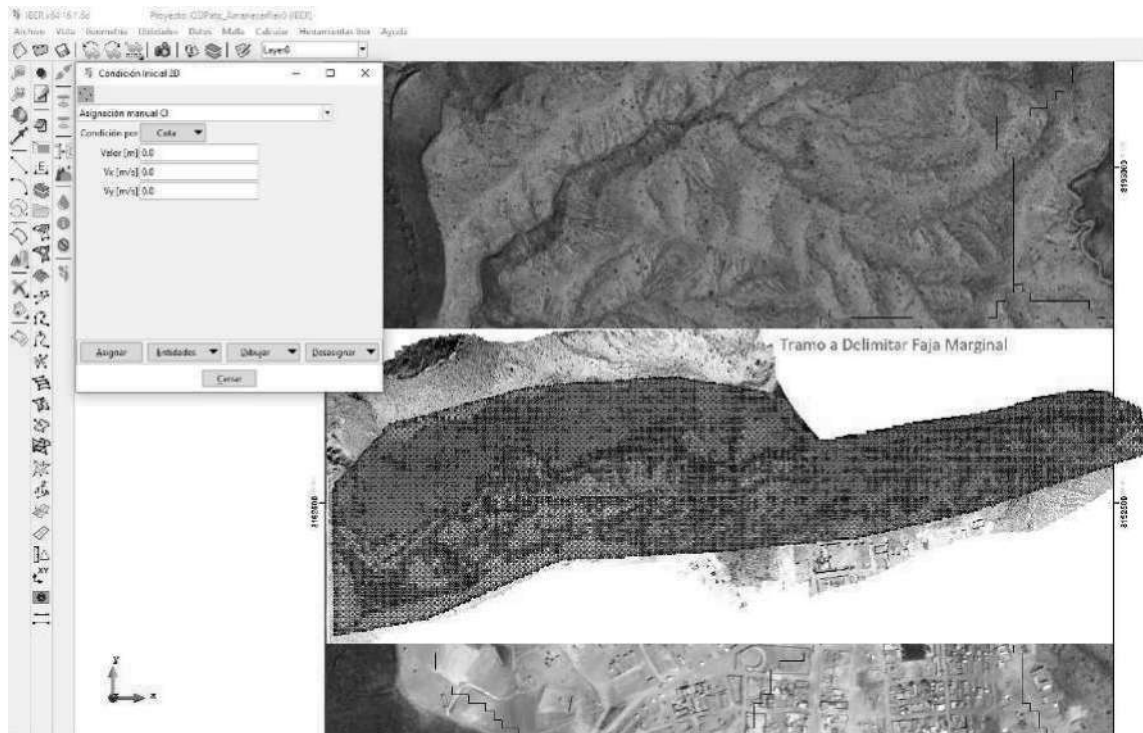


Ilustración 31 - Condición Inicial Seleccionada de elevación cero en el software Iber.

### 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       | ~ | 0.020   |
|                                                 | roca         |   | 0.025   |
|                                                 | grava fina   |   | 0.024   |
|                                                 | grava gruesa |   | 0.028   |
| Grado de irregularidad                          | liso         | ^ | 0.000   |
|                                                 | menor        |   | 0.005   |
|                                                 | moderado     |   | 0.010   |
|                                                 | severo       |   | 0.020   |
| Variaciones de la sección transversal del canal | gradual      |   | 0.000   |

|                                           |                           |   |            |
|-------------------------------------------|---------------------------|---|------------|
|                                           | ocasionalmente alternante | 0 | 0.005      |
|                                           | frecuentemente alternante |   | 0.01-0.015 |
| <b>Efectivo relativo de obstrucciones</b> | despreciable              | 0 | 0.000      |
|                                           | menor                     |   | 0.01-0.015 |
|                                           | apreciable                |   | 0.02-0.03  |
|                                           | severo                    |   | 0.04-0.06  |
| <b>Vegetación</b>                         | baja                      | 1 | 0.005-0.01 |
|                                           | media                     |   | 0.01-0.025 |
|                                           | alta                      |   | 0.025-0.05 |
|                                           | muy alta                  |   | 0.05-0.1   |
| <b>Cantidad de meandros</b>               | menor                     | 1 | 1.000      |
|                                           | apreciable                |   | 1.150      |
|                                           | severa                    |   | 1.300      |

Fuente: Hidráulica de canales Ven Te Chow

Con fines de tener mayor precisión con la asignación de los coeficientes de rugosidad de Manning, nos apoyaremos en la herramienta automatizada de Iber, que faculta poder asignar la rugosidad de acuerdo a su distribución en el espacio. Para lo cual nos apoyaremos en ArcGis para definir polígonos que demarquen las áreas de: cauce de quebrada (0.025) y área poblacional de suelo en construcción (0.04), y área de tejido urbana continua (0.10). 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. 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).

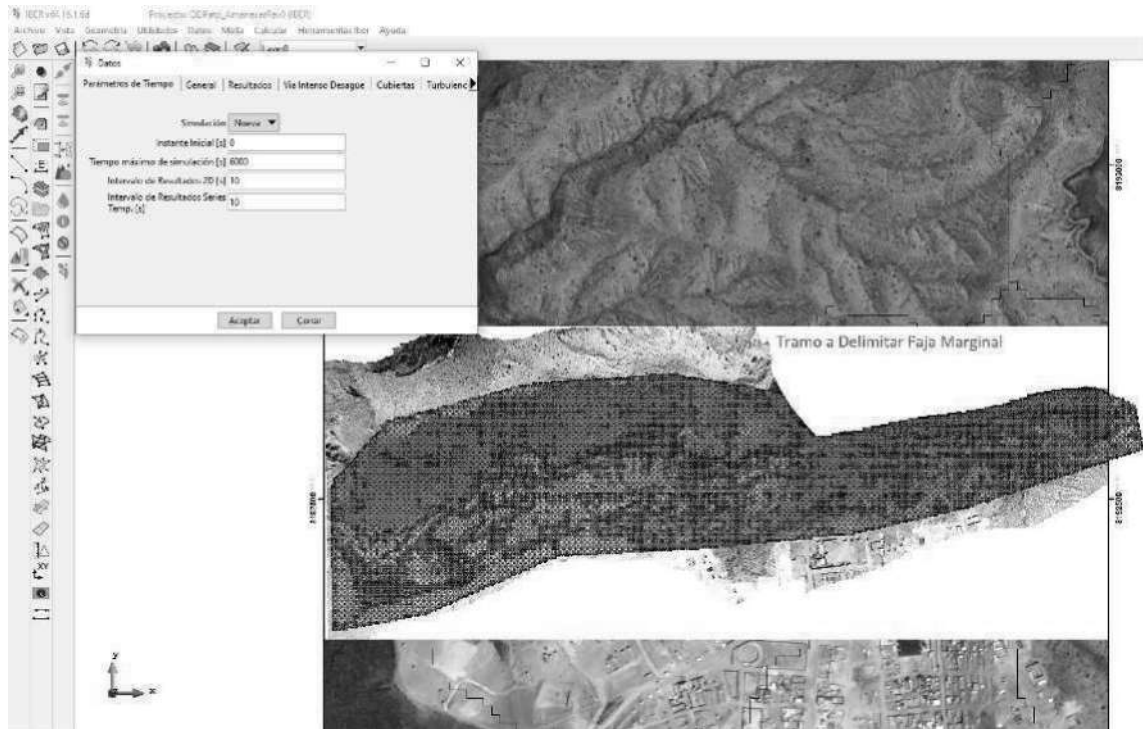


Ilustración 33 – Configuración de Iber previo a la corrida del modelo hidráulico de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. para periodo de retorno de 100 años

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.

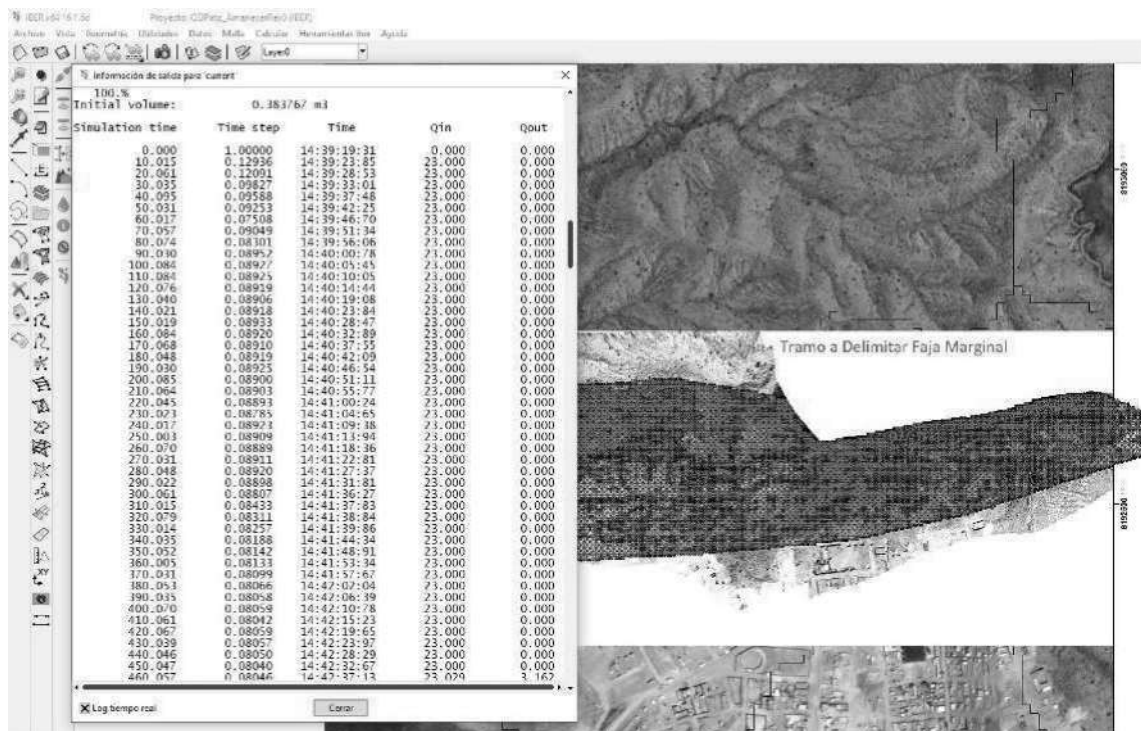


Ilustración 34 - Simulación Iber en la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. para periodo de retorno de 100 años

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

Concluido el cálculo computacional con el programa IBER se genera un raster de resultados de: mapa de máximos para los parámetros de calado, velocidad y caudal específico; esta información matricial deberá ser trabajada en el Software ARCGIS para obtener una visualización adecuada del comportamiento hidráulico de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., 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 4.87 metros (rojo).

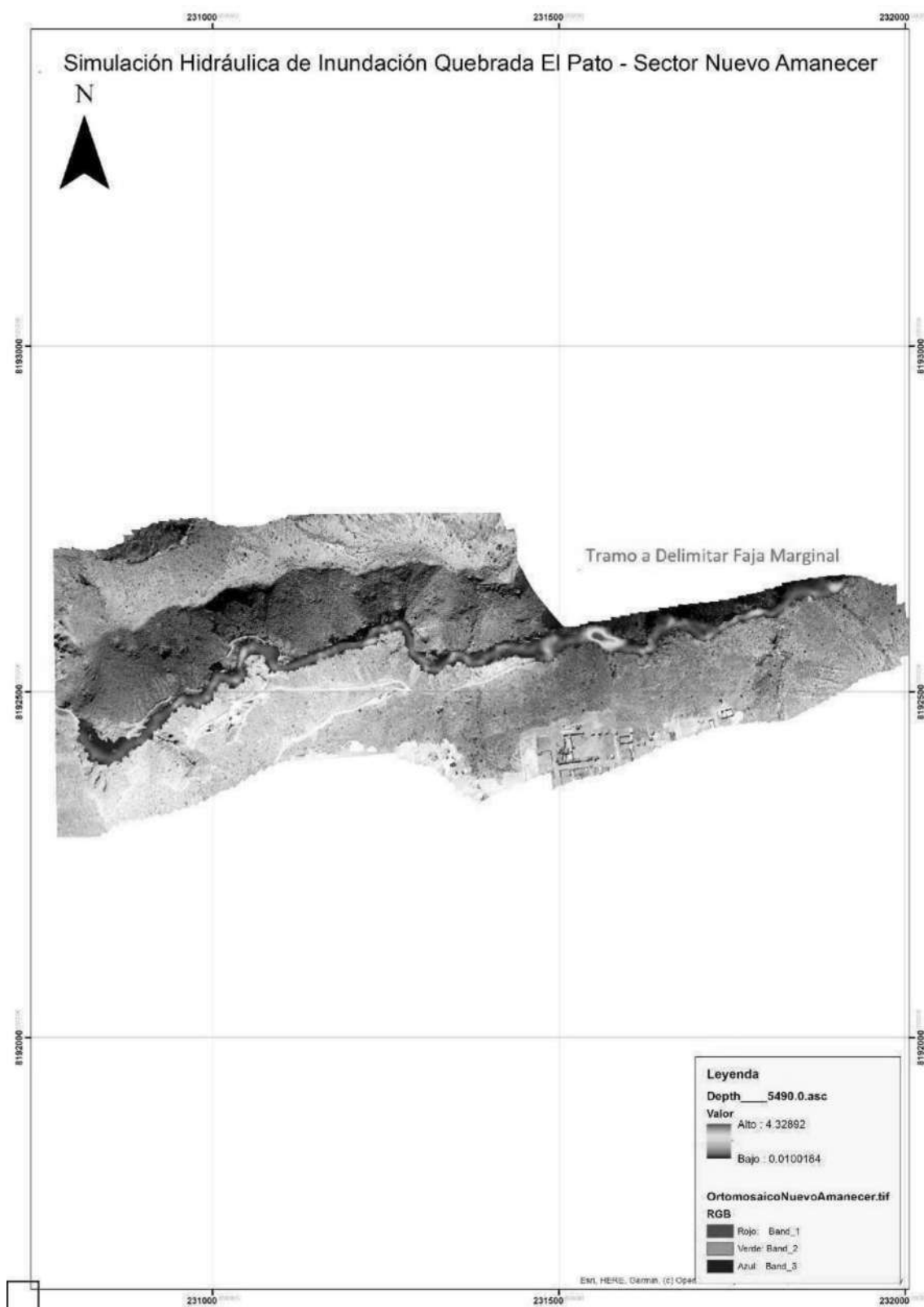
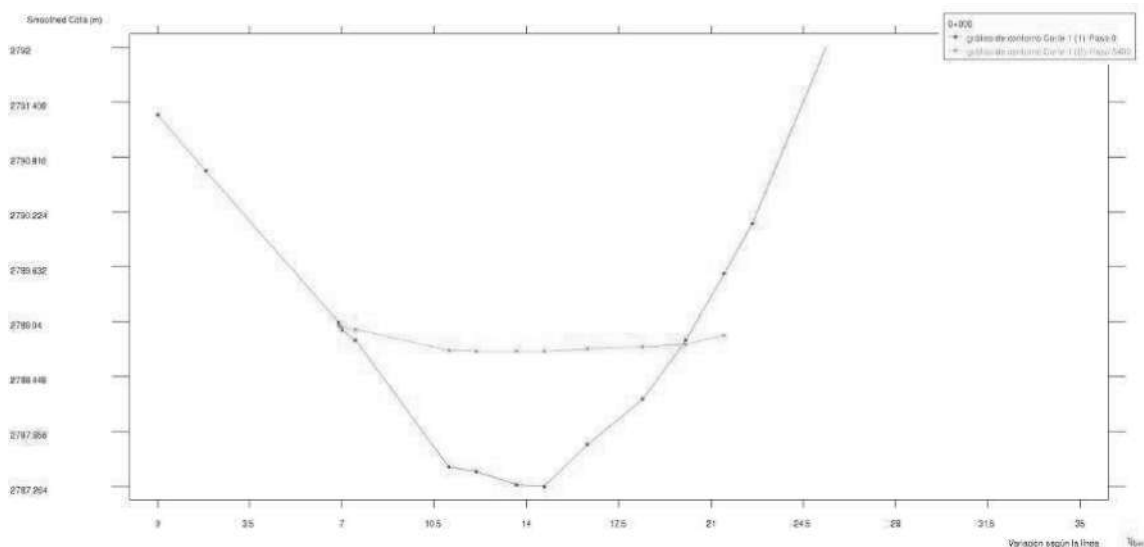


Ilustración 35 - Polígono de Inundación en la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. para un periodo de retorno de 100 años

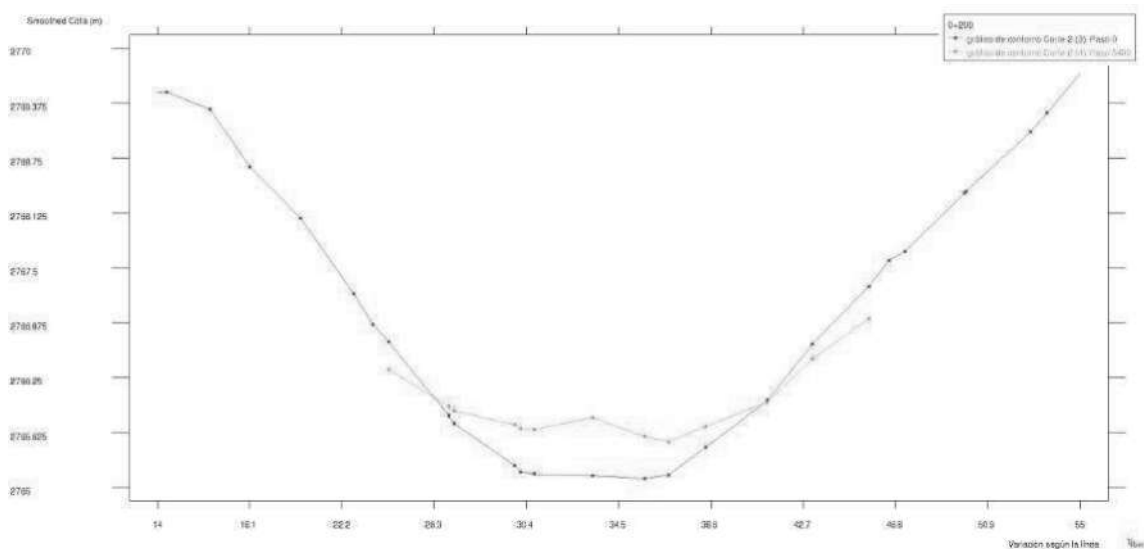
El resultado es satisfactorio, el modelo computacional Iber calculó un área de inundación correcta para un periodo de retorno de 100 años y su caudal máximo asociado de 23 m<sup>3</sup>/s.

**Secciones Hidráulicas simuladas:**

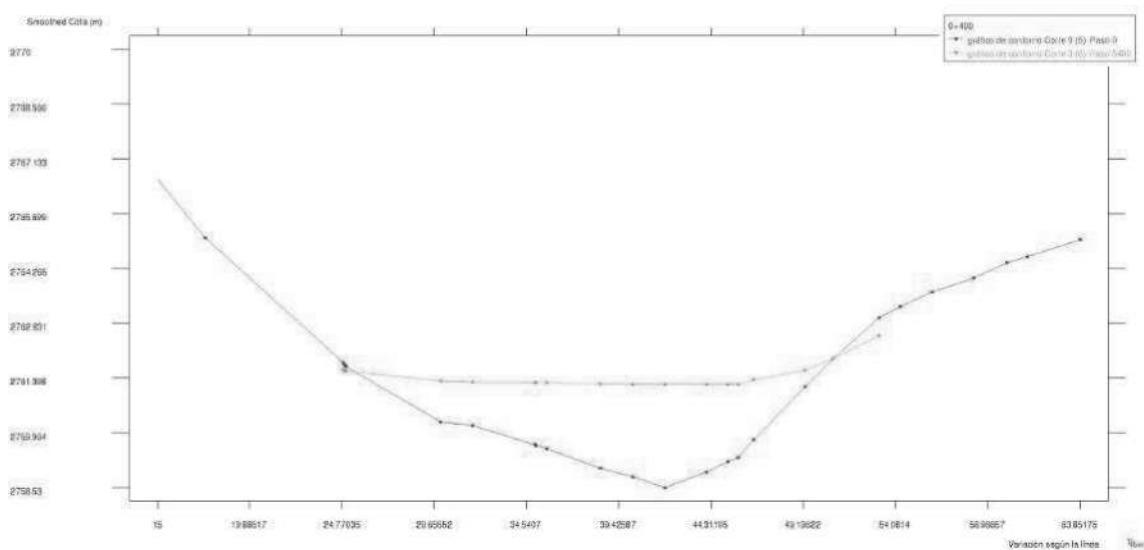
0+000



0+200

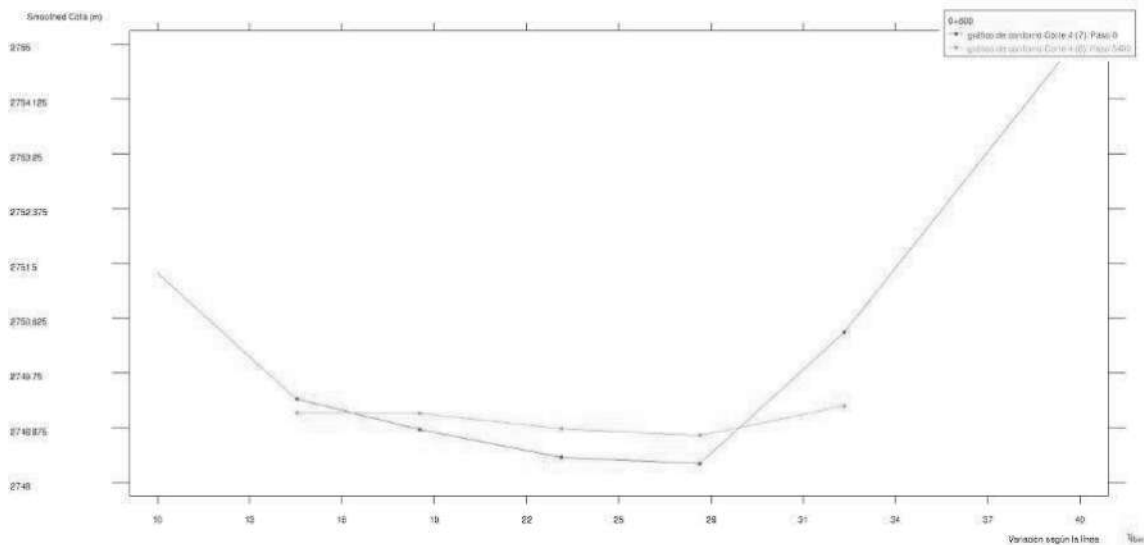


0+400

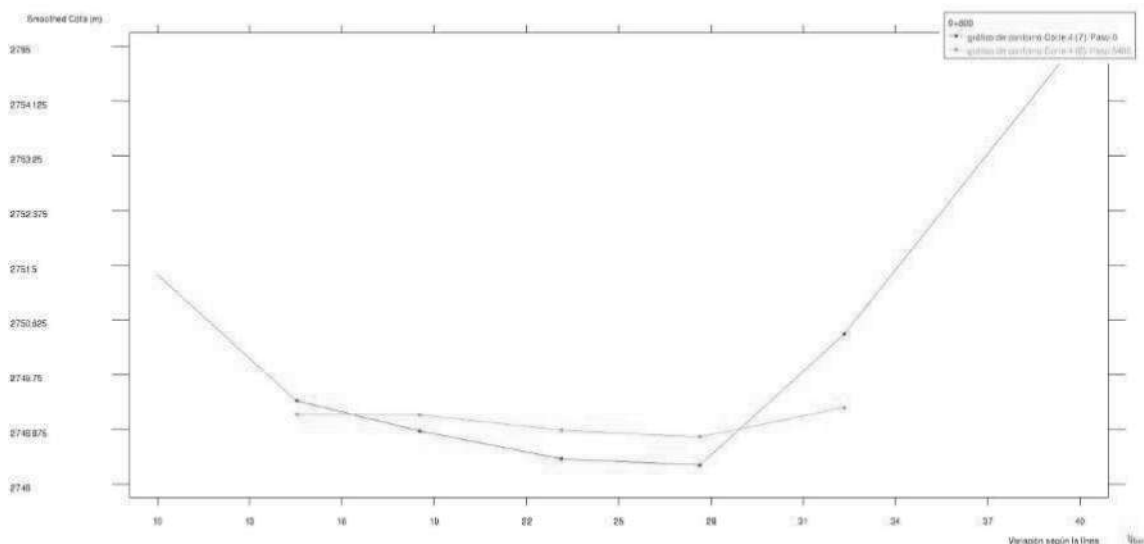




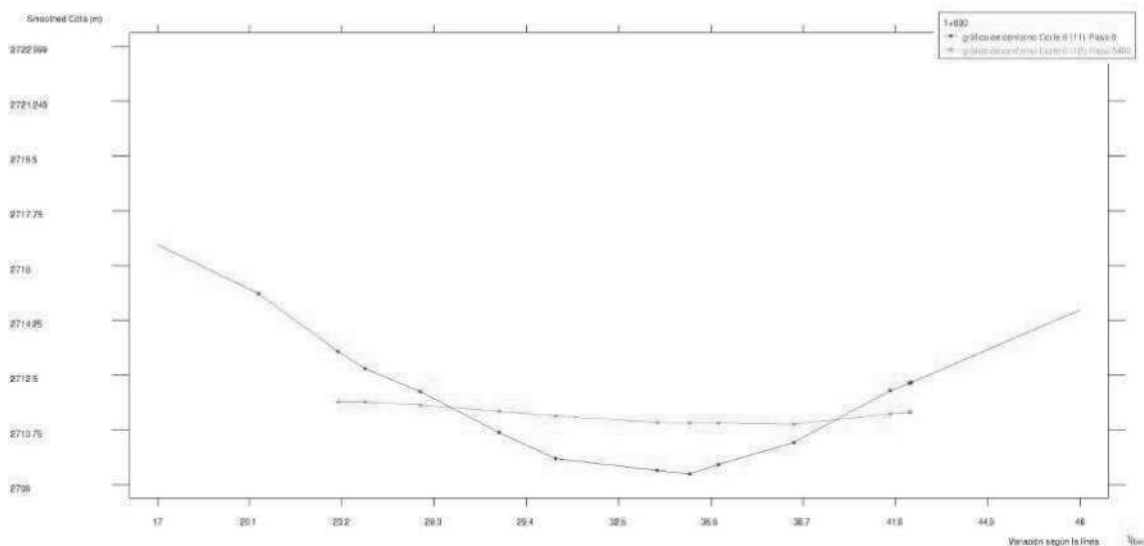
0+600



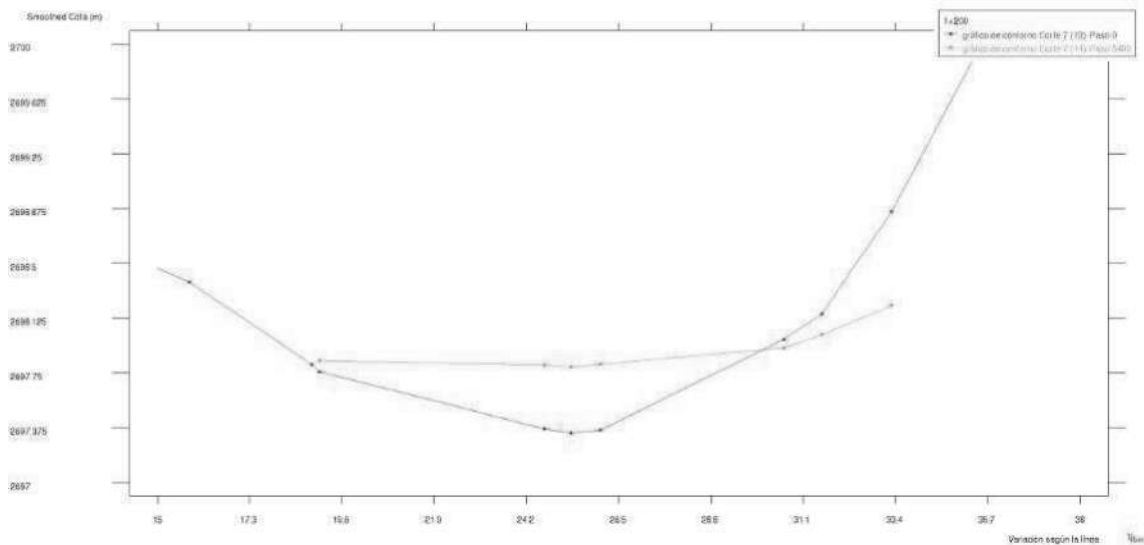
0+800



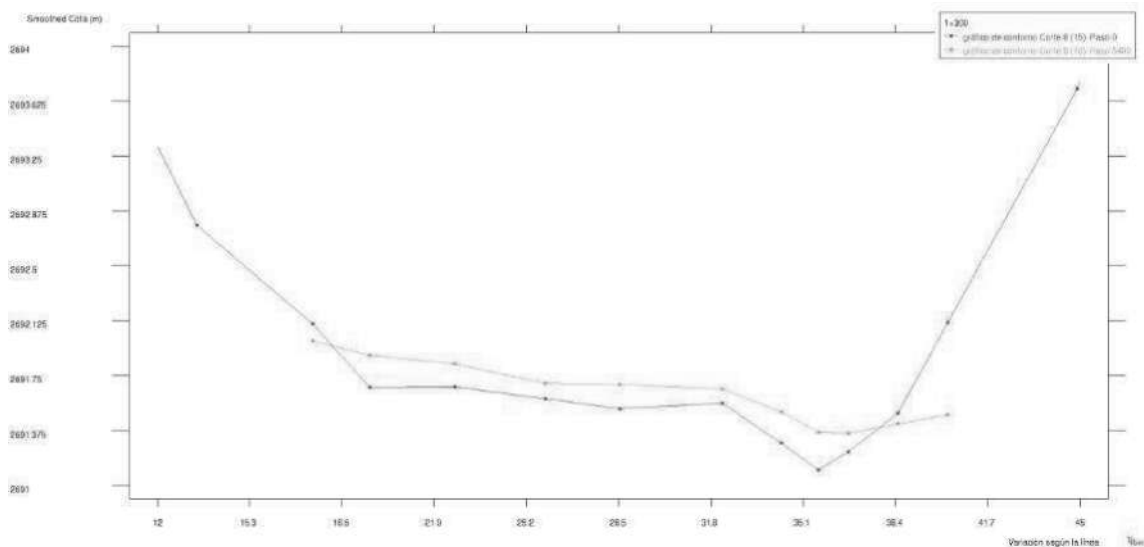
1+000



1+200



1+300



## **VI. DELIMITACIÓN DE LA FAJA MARGINAL**

---

## VI. DELIMITACIÓN DE LA FAJA MARGINAL

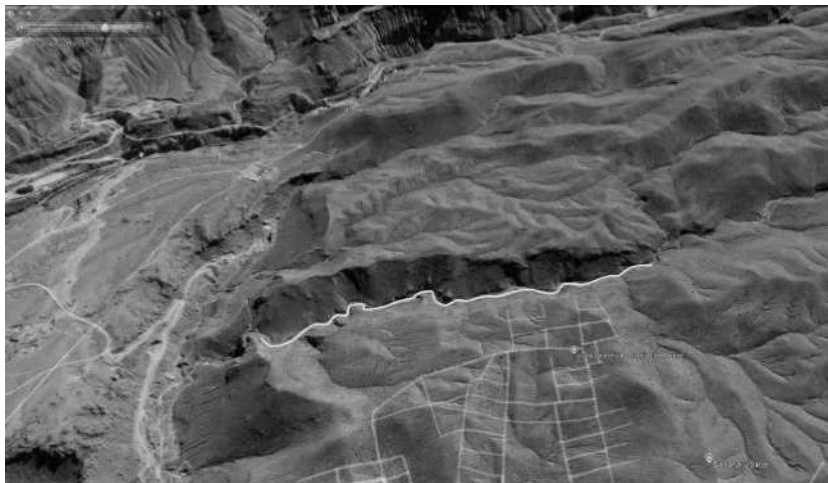
### 6.1 ANALISIS DE IMÁGENES SATELITALES

#### 6.1.1. Análisis de la quebrada El Pato

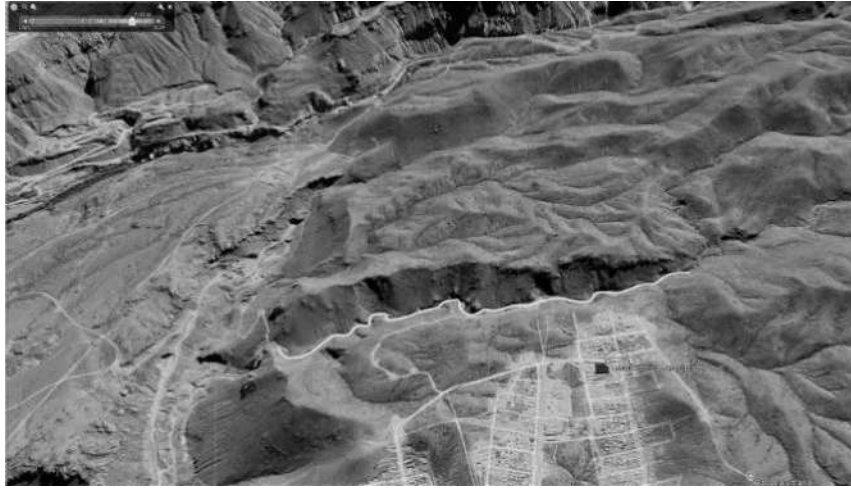
El cauce de quebrada El Pato aguas arriba se evidencia que existe modificación por acciones antropogénicas que han alterado el cauce natural; tal como se identifica en las imágenes satelitales de Google Earth del 27/12/2004 en comparación con la del 21/10/2024.



*Ilustración 17-Imagen Google Earth del 27 de diciembre del 2004.*



*Ilustración 18- Imagen Google Earth del 05 de junio del 2012.*



*Ilustración 19- Imagen Google Earth del 03 de julio del 2018.*



*Ilustración 20 - Imagen Google Earth del 21 de octubre del 2024.*

## **6.2 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 19.5 m<sup>3</sup>/s para un periodo de retorno de 50 años, y de 23.0 m<sup>3</sup>/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 (Ortofotografía y TIN), se puede apreciar que cubren el ancho del cauce de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., 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 Sin Nombre Sector Jazmines de Alto Selva Alegre, 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 esta 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.**

| <b>Tipo de Fuente</b>                                                                                                                     | <b>Ancho mínimo (m)<sup>(1)</sup></b> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|
| 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                                    |
| <sup>(1)</sup> 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 30 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 Chachani, por lo cual se debería considerar un factor de seguridad adicional.
- Y tercero y mucho más importante, con fines de salvaguardar la integridad de las personas ante posibles escenarios de riesgos de desastres al encontrarse dentro de una área Vulnerable y Riesgosa.

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

**Tabla 23 - Vértices de la delimitación de faja marginal de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. en el tramo del distrito Alto Selva Alegre, en DATUM WGS 84, zona 19.**

| Margen derecha |             |              | Margen izquierda |             |              |
|----------------|-------------|--------------|------------------|-------------|--------------|
| Código         | Este (x)    | Norte (y)    | Código           | Este (x)    | Norte (y)    |
| R-QEP-001      | 230859.2392 | 8192586.8470 | L-QEP-001        | 230867.5529 | 8192303.4678 |
| R-QEP-002      | 230916.6178 | 8192618.2382 | L-QEP-002        | 230931.2786 | 8192279.0518 |
| R-QEP-003      | 231005.1624 | 8192649.2021 | L-QEP-003        | 230987.3704 | 8192284.3434 |
| R-QEP-004      | 231062.9566 | 8192667.3315 | L-QEP-004        | 231027.0580 | 8192312.9185 |
| R-QEP-005      | 231119.7195 | 8192689.5923 | L-QEP-005        | 231077.5556 | 8192348.7574 |
| R-QEP-006      | 231173.8748 | 8192689.1430 | L-QEP-006        | 231121.4626 | 8192378.4910 |
| R-QEP-007      | 231228.5264 | 8192685.1514 | L-QEP-007        | 231197.7878 | 8192402.7838 |
| R-QEP-008      | 231280.3327 | 8192690.7758 | L-QEP-008        | 231257.5798 | 8192417.8900 |
| R-QEP-009      | 231331.6382 | 8192689.1293 | L-QEP-009        | 231319.0621 | 8192392.7664 |
| R-QEP-010      | 231370.7547 | 8192684.8993 | L-QEP-010        | 231381.0077 | 8192380.4804 |
| R-QEP-011      | 231440.7072 | 8192666.5675 | L-QEP-011        | 231434.9828 | 8192388.4179 |
| R-QEP-012      | 231487.8017 | 8192667.9840 | L-QEP-012        | 231486.9575 | 8192403.6744 |
| R-QEP-013      | 231559.7033 | 8192680.5048 | L-QEP-013        | 231540.1553 | 8192446.1968 |
| R-QEP-014      | 231638.8771 | 8192689.4796 | L-QEP-014        | 231610.6558 | 8192437.1870 |
| R-QEP-015      | 231710.8439 | 8192692.6546 | L-QEP-015        | 231708.0385 | 8192434.1692 |
| R-QEP-016      | 231765.3508 | 8192693.9758 | L-QEP-016        | 231772.4261 | 8192441.3322 |
| R-QEP-017      | 231822.3269 | 8192713.0382 | L-QEP-017        | 231881.0380 | 8192483.9977 |
| R-QEP-018      | 231865.3218 | 8192734.8663 | L-QEP-018        | 231945.4566 | 8192505.6157 |
| R-QEP-019      | 231899.1198 | 8192752.4445 |                  |             |              |

Cabe indicar que entre los vértices L-QEP-0016 y L-QEP-0017 se identifica la presencia de un afluente, el cual deberá ser objeto de delimitación futura mediante el establecimiento de su respectiva faja marginal.

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 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.

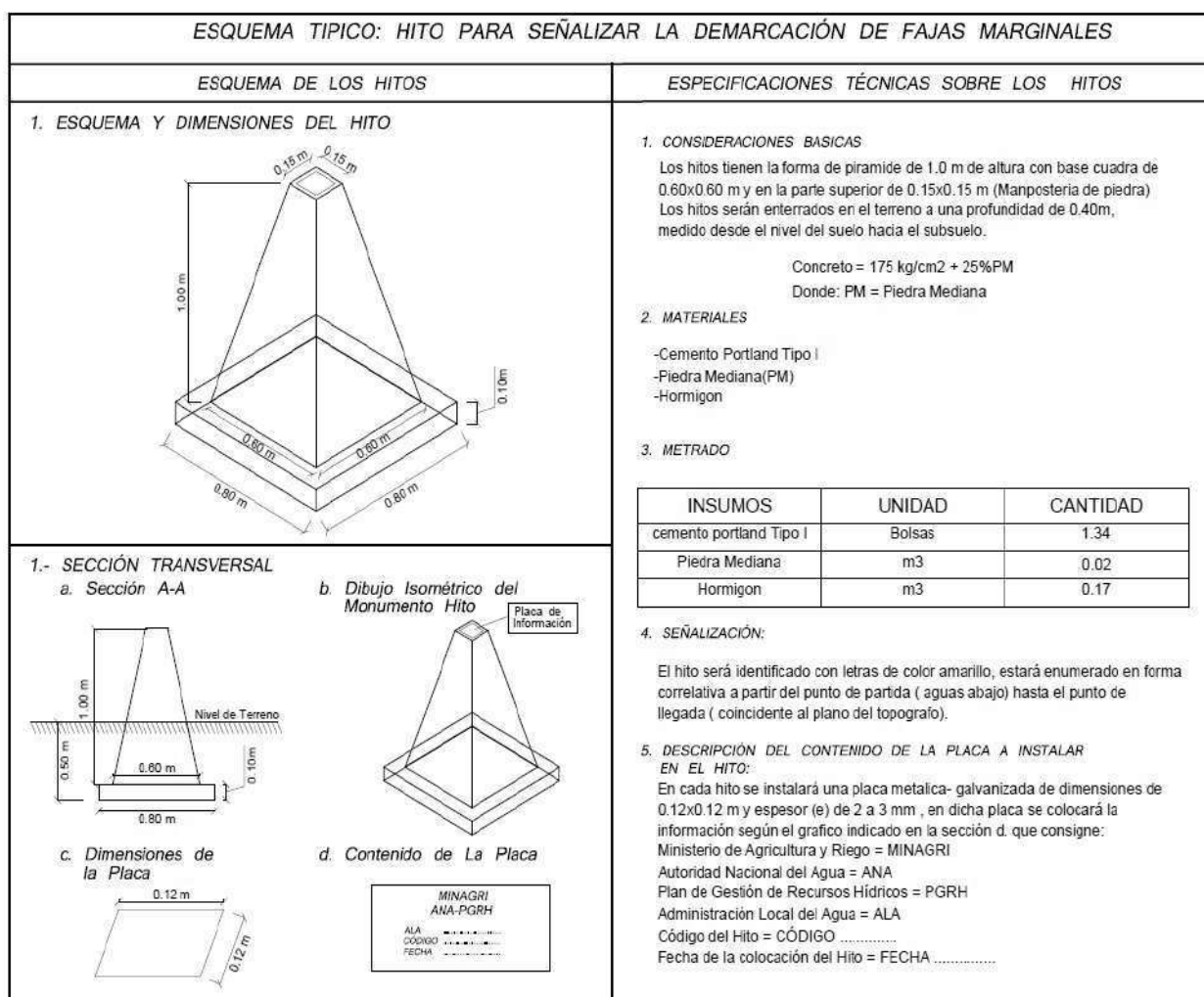


Ilustración 36 - Modelo para la instalación de hitos en el cauce de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., jurisdicción del distrito de Alto Selva Alegre, provincia y región de Arequipa.

### 6.3 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A. en el tramo del distrito Alto Selva Alegre, en DATUM WGS 84, zona 19.

| Margen derecha |             |              | Margen izquierda |             |              |
|----------------|-------------|--------------|------------------|-------------|--------------|
| Código         | Este (x)    | Norte (y)    | Código           | Este (x)    | Norte (y)    |
| R-QEP-001      | 230859.2392 | 8192586.8470 | L-QEP-001        | 230867.5529 | 8192303.4678 |
| R-QEP-002      | 230916.6178 | 8192618.2382 | L-QEP-002        | 230931.2786 | 8192279.0518 |
| R-QEP-003      | 231005.1624 | 8192649.2021 | L-QEP-003        | 230987.3704 | 8192284.3434 |
| R-QEP-004      | 231062.9566 | 8192667.3315 | L-QEP-004        | 231027.0580 | 8192312.9185 |
| R-QEP-005      | 231119.7195 | 8192689.5923 | L-QEP-005        | 231077.5556 | 8192348.7574 |
| R-QEP-006      | 231173.8748 | 8192689.1430 | L-QEP-006        | 231121.4626 | 8192378.4910 |
| R-QEP-007      | 231228.5264 | 8192685.1514 | L-QEP-007        | 231197.7878 | 8192402.7838 |
| R-QEP-008      | 231280.3327 | 8192690.7758 | L-QEP-008        | 231257.5798 | 8192417.8900 |
| R-QEP-009      | 231331.6382 | 8192689.1293 | L-QEP-009        | 231319.0621 | 8192392.7664 |
| R-QEP-010      | 231370.7547 | 8192684.8993 | L-QEP-010        | 231381.0077 | 8192380.4804 |
| R-QEP-011      | 231440.7072 | 8192666.5675 | L-QEP-011        | 231434.9828 | 8192388.4179 |
| R-QEP-012      | 231487.8017 | 8192667.9840 | L-QEP-012        | 231486.9575 | 8192403.6744 |
| R-QEP-013      | 231559.7033 | 8192680.5048 | L-QEP-013        | 231540.1553 | 8192446.1968 |
| R-QEP-014      | 231638.8771 | 8192689.4796 | L-QEP-014        | 231610.6558 | 8192437.1870 |
| R-QEP-015      | 231710.8439 | 8192692.6546 | L-QEP-015        | 231708.0385 | 8192434.1692 |
| R-QEP-016      | 231765.3508 | 8192693.9758 | L-QEP-016        | 231772.4261 | 8192441.3322 |
| R-QEP-017      | 231822.3269 | 8192713.0382 | L-QEP-017        | 231881.0380 | 8192483.9977 |
| R-QEP-018      | 231865.3218 | 8192734.8663 | L-QEP-018        | 231945.4566 | 8192505.6157 |
| R-QEP-019      | 231899.1198 | 8192752.4445 |                  |             |              |

## **VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

## VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 7.1 CONCLUSIONES

- El modelamiento hidráulico de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., 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 23 m<sup>3</sup>/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 1.30 Km.
- Utilizando los mapas de inundación generados, se procedió con la delimitación de la faja marginal de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., a una distancia de veinte (20) metros a partir del Borde de Inundación, que coincide con las huellas máximas visibles en campo y en la ortofoto.
- Para la identificación de la Faja Marginal de la Quebrada El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A., se definieron en total 33 vértices, subdivididos en 17 para margen izquierda y 16 para margen derecha; además la longitud del eje es de 1.30 km de longitud.
- Se propusieron un total de 17 hitos de monumentación, los cuales fueron codificados de forma correlativa, y se encuentran georreferenciados en Coordenadas Proyectadas Universal Transversal Mercator - Sistema WGS84 - Zona 19 Sur.

### 7.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda que la entidad encargada de la monumentación de los hitos físicos ponga en marcha la ejecución de los trabajos de instalación, 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 El Pato Sector Nuevo Amanecer - A.S.A.; como: diques, defensas ribereñas y defensas vivas para disminuir la erosión superficial y otros daños asociados.

# ANEXOS

## **ANEXO 01: PLANOS DE DELIMITACIÓN DE FAJA MARGINAL**

VERTICES DE DELIMITACION DE FAJA MARGINAL.

| Margen derecha |             |              |           | Margen izquierda |              |        |           |
|----------------|-------------|--------------|-----------|------------------|--------------|--------|-----------|
| Código         | Este (x)    | Norte (y)    | Código    | Este (x)         | Norte (y)    | Código | Norte (y) |
| R-QEP-001      | 230859.2392 | 8192586.8470 | L-QEP-001 | 230867.5529      | 8192303.4678 |        |           |
| R-QEP-002      | 230916.6178 | 8192618.2382 | L-QEP-002 | 230931.2786      | 8192279.0518 |        |           |
| R-QEP-003      | 231005.1624 | 8192649.2021 | L-QEP-003 | 230987.3704      | 8192284.3434 |        |           |
| R-QEP-004      | 231062.9566 | 8192667.3315 | L-QEP-004 | 231027.0580      | 8192312.9185 |        |           |
| R-QEP-005      | 231119.7195 | 8192689.5923 | L-QEP-005 | 231077.5556      | 8192348.7574 |        |           |
| R-QEP-006      | 231173.8748 | 8192689.1430 | L-QEP-006 | 231121.4626      | 8192378.4910 |        |           |
| R-QEP-007      | 231228.5264 | 8192685.1514 | L-QEP-007 | 231197.7878      | 8192402.7838 |        |           |
| R-QEP-008      | 231280.3327 | 8192690.7758 | L-QEP-008 | 231257.5798      | 8192417.8900 |        |           |
| R-QEP-009      | 231331.6382 | 8192689.1293 | L-QEP-009 | 231319.0621      | 8192392.7664 |        |           |
| R-QEP-010      | 231370.7547 | 8192684.8993 | L-QEP-010 | 231381.0077      | 8192380.4804 |        |           |
| R-QEP-011      | 231440.7072 | 8192666.5675 | L-QEP-011 | 231434.9828      | 8192388.4179 |        |           |
| R-QEP-012      | 231487.8017 | 8192667.9840 | L-QEP-012 | 231486.9575      | 8192403.6744 |        |           |
| R-QEP-013      | 231559.7033 | 8192680.5048 | L-QEP-013 | 231540.1553      | 8192446.1968 |        |           |
| R-QEP-014      | 231638.8771 | 8192689.4796 | L-QEP-014 | 231610.6558      | 8192437.1870 |        |           |
| R-QEP-015      | 231710.8439 | 8192692.6546 | L-QEP-015 | 231708.0385      | 8192434.1692 |        |           |
| R-QEP-016      | 231765.3508 | 8192693.9758 | L-QEP-016 | 231772.4261      | 8192441.3322 |        |           |
| R-QEP-017      | 231822.3269 | 8192713.0382 | L-QEP-017 | 231881.0380      | 8192483.9977 |        |           |
| R-QEP-018      | 231865.3218 | 8192734.8663 | L-QEP-018 | 231945.4566      | 8192505.6157 |        |           |
| R-QEP-019      | 231899.1198 | 8192752.4445 |           |                  |              |        |           |

SIMBOLOGIA

Inundación

Faja Marginal con RD

Carta Nacional

Vertices de Faja Marginal

Limite de Faja Marginal

Eje del Cauce

Google Satellite



PERÚ

Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



Autoridad Nacional del Agua

AUTORIDAD ADMINISTRATIVA DEL AGUA

I CAPLINA OCOÑA

“DELIMITACIÓN LA FAJA MARGINAL EN EL CAUCE DE LA QUEBRADA EL PATO – UNIDAD HIDROGRAFICA 13257 – SECTOR NUEVO AMANECER”

Departamento : Arequipa

Provincia: Arequipa

Distrito: Alto Selva Alegre

ALA: Chili

Escala: 1/5'000

Proyeccion Universal Transverse Mercator

Datum: WGS 84

Vertical: Nivel medio del mar

Zona: 19 sur



Source: Esri, Maxar, Earthstar Geographics, and the GIS User Community