



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES

ESCUELA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

**“BATIMETRÍA EN EL RÍO UPANO TRAMO TUNTAIME - SERA
PARA EL MANEJO DE MATERIAL PÉTREO, ENFOCADO A LA
EXPLOTACIÓN CON REPOSICIÓN DEL MATERIAL EN LOS
SECTORES DE TUNTAIME Y CENTRO SERA”.**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PRESENTADO
PROYECTO TÉCNICO PARA TITULACIÓN DE GRADO**

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:**

INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

DARIO FABRICIO MÉNDEZ ABARCA.

MACAS – ECUADOR

2019

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TEMA DE TESIS



ESPOCH

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

EXTENSIÓN MORONA SANTIAGO

INFORME DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Macas, febrero 18 del 2019

Ing. Romané Peñafiel Mgs.
Directora de la ESPOCH Extensión Morona Santiago

Su despacho

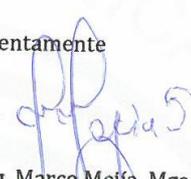
De mi consideración

Reciba un cordial y atento saludo, a la vez deseándole éxito en las funciones que desempeña; en respuesta al **Oficios No. 40- D-ESPOCH-EXT-MS-2019** emitido el 14 de febrero del 2019, con respecto al borrador del trabajo de Titulación denominado **"BATIMETRÍA EN EL RÍO UPANO TRAMO TUNTAIME-SERA PARA EL MANEJO DE MATERIAL PÉTREO, ENFOCADO A LA EXPLOTACIÓN CON REPOSICIÓN DEL MATERIAL EN LOS SECTORES TUNTAIME Y CENTRO SERA"** desarrollado por la señor egresado **DARÍO FABRICIO MÉNDEZ ABARCA** ; una vez realizada la revisión remitimos los siguientes criterios:

- 1.- El trabajo escrito se encuentra conforme a la investigación realizada apegado a los parámetros de redacción técnica.
- 2.- El trabajo escrito refleja el 100% de la investigación efectuada, complementada con el seguimiento técnico continuo.
- 3.- Con la presentación del documento escrito da por culminado el proceso del trabajo investigación encontrándose habilitado para realizar la solicitud de defensa publica del mismo y la continuación de los trámites pertinentes subsiguientes.

Si más que adicionar y agradeciendo su gentil atención nos suscribimos.

Atentamente


Ing. Marco Mejía. Mgs.
Director del trabajo de titulación


Ing. Jenny Granja Carrera Mgs.
Asesor del trabajo de titulación

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, **Darío Fabricio Méndez Abarca**, con numero de cedula 140066032 -8, estudiante de la carrera de ingeniería en Geología y minas, soy responsable del trabajo expuesto con sus ideas, planteamientos, resolución y resultados expuestos en este proyecto técnico de titulación y el patrimonio intelectual de este trabajo pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Los textos y documentos que provienen de autores están debidamente citados y referenciados.

Macas, 07 de febrero del 2019.

Atentamente.



Darío Fabricio Méndez Abarca.

CI: 140066032 - 8

DEDICATORIA

El presente trabajo de Titulación se lo dedico a mi querido padre, quien partido de este mundo dejando un gran dolor en mi corazón pero también me quedan sus grandes consejos que me ayudaran a enfrentar la vida de la mejor manera y así llegar a ser una gran persona como lo era él, siempre lleno de bondad, humildad y apoyo para todo aquel que lo necesite.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, me gustaría agradecer a Dios, a mi creador por permitirme estar aquí, el cual siempre me ha levantado de mis tropiezos, a mis padres, por ser el pilar fundamental y brindarme su gran apoyo incondicional desde que era pequeño con cariño y paciencia, siempre brindándome su sincero amor, gracias por ser los promotores de mis sueños, gracias por confiar y creer en mis expectativas, gracias a mi madre por siempre ser el motor que me impulsa a seguir adelante, por cada uno de sus consejos y también por sus palabras de aliento que me han guiado toda la vida, a mis hermanos que han estado siempre junto a mi brindándome su apoyo y su ayuda incondicional.

Al Ing. Marco Mejía e Ing. Jenny Granja por su gran apoyo, seguimiento y la supervisión continúa para la culminación de este trabajo de titulación.

Al Ing. Mario Arce por su apoyo, ayuda y supervisión en el campo y en la representación de los datos obtenidos.

A la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL CHIMBORAZO-EXT. MORONA SANTIAGO por darme la oportunidad de prepararme como profesional.

A la ILUSTRE MUNICIPALIDAD DEL CANTÓN SUCÚA por proporcionar la información necesaria y los equipos para el desarrollo de esta investigación.

Muchas gracias a todos y el mayor de los éxitos.

CONTENIDO

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DEL TEMA DE TESIS.....	II
DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD	III
DEDICATORIA	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
CONTENIDO	VI
ÍNDICE DE TABLAS.	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.	X
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
CAPÍTULO I	1
MARCO REFERENCIAL	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	1
1.3 JUSTIFICACIÓN.	2
1.4 OBJETIVOS.	2
1.4.1 Objetivo general.....	2
1.4.2 Objetivo específico.....	2
1.5 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.	2
1.6 GENERALIDADES.	3
1.6.1 Ubicación.	3
1.6.2 Acceso.	6
1.6.3 Clima.....	7
CAPÍTULO II.....	10
MARCO TEÓRICO.....	10
2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	10
2.2 FORMACIONES GEOLÓGICAS.....	10
2.2.1 Formación Mera (QM).....	11
2.2.2 Formación Hollín (KH).....	12
2.2.3 Formación Chapiza (JKCH).....	12
2.2.4 Formación Santiago (Js).....	12
2.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.	12

2.4	TECTÓNICA REGIONAL.....	13
2.5	HIDROLOGÍA.....	16
2.6	MORFOLOGÍA Y DINÁMICA FLUVIAL.....	16
2.6.1	Morfología Fluvial.	16
2.6.2	Sedimentos y formas del lecho.	18
2.6.3	Tipos de Socavaciones.	21
2.7	LA EXPLOTACIÓN MINERA EN RÍOS	23
2.8	LOS MATERIALES PÉTREOS.....	24
2.9	TERMINOLOGÍA.	26
2.9.1	Material árido y pétreo.....	26
2.9.2	Lecho o cauce de ríos.....	27
2.9.3	Canteras y materiales de construcción.	27
2.10	DISEÑO DE EXPLOTACIÓN.....	27
2.11	EXPLOTACIÓN POR DIQUES	28
2.11.1	Diques longitudinales.....	28
2.11.2	Extracción directa.....	29
2.11.3	Diques transversales.....	29
2.12	DIGITALIZACIÓN HEC – RAS 5.0	31
2.12.1	Interfaz de usuario.....	31
2.12.2	Componentes de análisis hidráulico.....	31
2.12.3	Perfiles de superficie de agua de flujo constante.	32
	CAPÍTULO III	34
	MÉTODOS Y TÉCNICAS.	34
3.1	METODOLOGÍA.	34
3.2	ESTUDIOS PREVIOS.....	34
3.3	TRABAJO DE CAMPO.	35
3.3.1	Exploración.	35
3.3.2	Selección de la malla de muestreo.	35
3.3.3	Ejecución de la malla de muestreo.....	36
3.3.4	Tabulación de datos recolectados.....	37
3.4	TOPOGRAFÍA.	37
3.5	CAUDAL DEL RÍO UPANO.....	37
3.6	DISEÑO DE DIQUES TRANSVERSALES.....	39
3.7	CONSTRUCCIÓN DE LOS DIQUES.	43

3.7.1	Profundidad del espejo de agua.....	43
3.7.2	Ancho del dique.	44
3.8	TRABAJO DE OFICINA.	45
3.8.1	Procesado de la información.	45
3.8.2	Obtención de perfiles.	48
3.8.3	Cálculo de reservas.	48
CAPÍTULO IV.....		50
INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		50
4.1	ANÁLISIS BATIMÉTRICO	50
4.2	ANÁLISIS DE PERFILES LATERALES.	55
4.3	INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES BATIMÉTRICOS.	58
4.4	ANÁLISIS DEL CÁLCULO DE RESERVAS.	60
4.5	ANÁLISIS DEL DISEÑO Y MAQUINARIA.	61
CAPITULO V		66
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.		66
5.1	CONCLUSIONES.	66
5.2	RECOMENDACIONES.	66
BIBLIOGRAFÍA		68
ANEXOS		71

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1: Tabla climática - Datos históricos del tiempo Sucúa.....	7
Tabla 2: Datos climatológicos estación (M1040).....	8
Tabla 3-1: Relación de granulometría.....	19
Tabla 3-2: Escala de tamaño de sedimentos.....	19
Tabla 4: Potenciales efectos de la extracción de materiales de arrastre en ríos.....	24
Tabla 5: Criterios de clasificación de los materiales pétreos.....	25
Tabla 6: Tipos de caudales de Río.....	30
Tabla 7: Relación Dique/Caudal.....	30
Tabla 8-1: Profundidad del Espejo de Agua – Mina Tuntaime.....	43
Tabla 8-2: Profundidad del Espejo de Agua – Mina Sera.....	44
Tabla 9-1: Dimensiones de los dique mina Tuntaime.....	54
Tabla 9-2: Dimensiones de los dique mina Sera.....	54
Tabla 10: Maquinaria del GAD Sucúa.....	63

ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1: Mapa del Ecuador – Provincia de interés – Ciudad de interés.....	3
Figura 2-1: Ubicación del área principal de estudio Tuntaime.....	4
Figura 2-2: Ubicación del área principal de estudio Sera.....	5
Figura 3-1: Recorrido desde la capital Quito – Sucúa	6
Figura 3-2: Recorrido desde Guayaquil – Sucúa	7
Figura 4-1: Geología regional del cantón Sucúa.....	11
Figura 4-2: Geología regional del cantón Sucúa realizado en la concesión Sera.....	11
Figura 5-1: Modelo numérico de relieves de la Superficie Mera-Upano.....	14
Figura 5-2: Bloque morfo-tectónico 3D de la Cordillera del Cutucú.....	15
Figura 5-3: Modelado y secciones litológicas del valle del Upano.....	15
Figura 6: Tipos de trazado del sistema fluvial.....	18
Figura 7: Tipos de formas de los lechos.....	20
Figura 8: Tipos de rápidos y remansos.....	21
Figura 9: Dique tentativo para caudales normales o medios.....	31
Figura 10: Coeficiente de rugosidad de Manning.....	32
Figura 11: Toma de datos para la batimetría.....	36
Figura 12-1: Río Upano en la Concesión Tuntaime.	38
Figura 12-2: Río Upano en la Concesión Sera.....	38
Figura 13: Perfil de diques transversales.....	39
Figura 14 - 1: Características de la excavadora case CX210B.....	40
Figura 14 - 2: Datos de rendimiento de la excavadora case CX210B.....	41
Figura 15-1: Superficie - Río Upano de la concesión minera Tuntaime.....	42
Figura 15-2: Superficie - Río Upano de la concesión minera Sera.....	42
Figura 16: Mapa geométrico tridimensional.....	51
Figura 17-1: Mapa topográfico concesión minera Tuntaime.....	52
Figura 17-2: Mapa topográfico concesión minera Sera.....	53
Figura 18-1: Perfil del Río Upano en la Concesión Minera Tuntaime.....	57
Figura 18-2: Perfil del Río Upano en la Concesión Minera Sera.....	57
Figura 19-1: Perfil batimétrico de la sección 1– Concesión minera Tuntaime.....	58
Figura 19-2: Perfil batimétrico de la sección 1– Concesión minera Sera.....	59
Figura 20: Perfil batimétrico de la sección 5– Concesión minera Sera.....	59
Figura 21: Perfil batimétrico de la sección 9– Concesión minera Sera.....	60
Figura 22: Dimensiones establecidas del dique.....	62

Figura 23: Perfil del diseño de los diques.....	64
Figura 24: Diseño 3D de los diques de la mina Sera – Vista Lateral.....	64
Figura 25: Diseño 3D de los diques de la mina Tuntaime – Vista Superior.....	65

RESUMEN

La investigación propuesta, consiste en establecer un modelo geométrico preciso del río y de su entorno con la metodología de la batimetría que posibilitan el cálculo de zonas inundables y la deposición de los materiales pétreos por inundación; durante este proceso de obtención de información sobre el área de estudio, se llevó a cabo la etapa de exploración, el trabajo de campo permitió descubrir en el terreno una serie de elementos importantes, fue posible determinar a través de la interpretación realizada mediante percepción remota; se reconoció la zona y se registró la ubicación geográfica de todos los puntos de interés, como también de su relieve y composición. Mediante la estación total y el GPS delimitando las zonas de interés con sus respectivas coordenadas y elevaciones, las cuales se registró en una bitácora y a su vez la presentación de resultados sobre la topografía, la geología local con cálculos de reservas probables, dinámica del río, arrastre y deposición de los materiales y tipos de socavaciones existentes, con esto se pudo proponer un modelo de explotación acorde a estos factores y características. Con la información obtenida se clasificó las secciones geométricas en isométricas y asimétricas de acuerdo al relieve del terreno cubierto por el agua. El volumen total del material sin clasificar retenido en los diques en los sectores Tuntaime y Sera es de 34099,5 m³ en deposición continua, manteniendo el mismo ritmo de extracción versus el de reposición. Se presentan zonas de socavación de dos tipos mediante la digitalización de los perfiles laterales de cada una de las concesiones, en la concesión Tuntaime se establece una socavación normal y en la concesión Sera se determinó zonas de socavación en curva.

Palabras clave: LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO – SOCAVACIÓN - DINÁMICA FLUVIAL - MODELO GEOMÉTRICO -VOLUMEN DE MATERIAL.

Elaborado por: Darío Fabricio Méndez Abarca.



ABSTRACT

The following investigation's objective consists to establish a precise geometric model of the river and its surroundings with the methodology of the bathymetry that make possible the calculation of flood zones and the deposition of stony materials by flood; During this process of obtaining information about the study area, the exploration stage was carried out, the fieldwork allowed to discover in the field a series of important elements, it was possible to determine through the interpretation made by perception rowing The area was recognized and the geographical location of all points of interest was recorded, as well as its relief and composition. Through the total station and the GPS delimiting the areas of interest with their respective coordinates and elevations, which are recorded a log and in turn the presentation of results on the bathymetry -topo, the local geology with calculations of probable reserves, river dynamics, drag and deposition of existing materials and types of scour, with this it was possible to propose an exploitation model according to these factors and characteristics. With the information obtained, the geometric sections are classified into isometric and asymmetric according to the relief of the land covered by the water. The total volume of unsorted material retained in the dams in the Tuntaime and Sera sectors is 34099.5m^3 in a continuous deposition, maintaining the extraction rate versus the replacement rate. Scour zones of two types are presented by digitizing the lateral profiles of each of the concessions, in the Tuntaime concession a normal scour is established and in the concession. Scour areas were determined in a curve.

Keywords. BATHYMETRIC LIFTING - SCOUR - DYNAMICS FLUVIAL-GEOMETRIC MODEL -VOLUMEN OF MATERIAL.



INTRODUCCIÓN

En la actualidad la minería es una ciencia que se encarga del estudio de diseños de explotación basándolo en el tipo de material a explotar, su forma, su origen, cantidad y sus propiedades físico - mecánicas.

La batimetría se refiere al levantamiento topográfico del relieve de superficies del terreno cubierto por el agua, sea este el fondo del mar o el fondo de los lechos de los ríos, ciénagas, humedales, lagos, embalses, etc., es decir, la cartografía de los fondos de los diferentes cuerpos de agua. En el campo de la batimetría, en los últimos años, la modelación geométrica ha adquirido cada vez más importancia. Un ejemplo se da en el campo de la hidrodinámica, gran parte de las decisiones que se toman hoy en día son en base a modelos geométricos. Al respecto, los modelos hidrodinámicos son utilizados para cuantificar la producción de los proyectos, o para evaluar la pertinencia de una obra en particular, lo que los convierte en una herramienta fundamental en la toma de decisiones. Las personas encargadas de estos estudios de la topo - batimetría, se ocupan de la recolección de datos directamente del campo para poder determinar la dinámica del río y las condiciones del material.

En la ley minera para la extracción de materiales pétreos para la construcción, ha creído conveniente la necesidad de normar sus actividades acorde a lo que dictamina la Legislación Ambiental, por tal razón, la necesidad de obtener materiales pétreos para la venta y así poder satisfacer las necesidades que determine la utilización de estos recursos ya sea para obras de ingeniería, la construcción, mejoramiento y mantenimiento de vías, por circunstancias productivas del país; se encuentra generando un interés por la comunidad de Sucúa de valorar el material que se encuentra en la superficie de la jurisdicción de la misma, de tal manera que a petición escrita de su representante legal se procede a realizar el presente trabajo de titulación, con el tema “BATIMETRÍA EN EL RÍO UPANO TRAMO TUNTAIME - SERA PARA EL MANEJO DE MATERIAL PÉTREO, ENFOCADO A LA EXPLOTACIÓN CON REPOSICIÓN DEL MATERIAL EN LOS SECTORES DE TUNTAIME Y CENTRO SERA”.

CAPÍTULO I

MARCO REFERENCIAL

1.1 ANTECEDENTES.

Bajo los estatutos legales de la constitución de nuestro país se puede realizar un estudio de pre-factibilidad en los ríos. Dentro de la jurisdicción política del cantón Sucúa; provincia de Morona Santiago, se establece dos sectores de vital importancia para la zona que es el sector Tuntaime y sector Centro Sera, dichas áreas están concesionadas a nombre del GAD de Sucúa, donde se encuentran depósitos de material pétreo de gran importancia para la construcción y desarrollo de nuestra ciudad. Las concesiones no han sido estudiadas aún para determinar su profundidad, dinámica de deposición de material, desconociendo sus parámetros geológicos y técnicos mineros.

El ilustre municipio del cantón Sucúa conjuntamente con la comunidad solicita un estudio batimétrico del tramo del sector Tuntaime – Centro Sera, por lo cual diseñe el siguiente tema para el trabajo de titulación “BATIMETRÍA EN EL RÍO UPANO TRAMO TUNTAIME - SERA PARA EL MANEJO DE MATERIAL PÉTREO, ENFOCADO A LA EXPLOTACIÓN CON REPOSICIÓN DEL MATERIAL EN LOS SECTORES DE TUNTAIME Y CENTRO SERA”.

El siguiente trabajo de titulación representa el estudio realizado en el campo, en el cual hice una exploración geológica minera del tramo indicado a lo largo del río Upano, determinando sus variaciones del cauce, sus zonas de depósito de material, volumen del material depositado y el planteamiento de un diseño de explotación con reposición del material con el fin de generar un beneficio a la comunidad.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La batimetría ha desarrollado una intensa actividad en el campo de la hidrología y la hidráulica. La misma comprende desde la realización de estudios y proyectos específicos que ayudan al diseño y planificación de obras civiles y de explotación minera, en que los aspectos hidrológicos e hidráulicos han tenido un papel muy importante para el desarrollo humano y la producción sostenible.

En el cantón Sucúa, no hay registros de información sobre estudios de batimetría, con el estudio de la batimetría se demuestra la falta de un sistema correcto de explotación en las diferentes zonas de extracción de materiales, tales casos se pueden observar en la zona de Sucúa, a lo largo del río Upano.

El presente trabajo tiene como finalidad realizar un modelamiento del río para determinar

las características de la deposición del material. Con estos modelos geométricos de ríos, se han confeccionado diferentes modelos hidráulicos que posibilitan el cálculo de zonas inundables y la elaboración de los mapas de deposición por inundación.

Por su gran extensión del río Upano y sus diferentes zonas de ingreso es necesario ejecutar el estudio en los sectores señalados, el cual es realizado por un estudiante aspirantes a obtener el título de Ingeniero e Ingeniera en Geología y Minas.

1.3 JUSTIFICACIÓN.

El trabajo de investigación que se propone está sustentado en brindar información técnica acerca de las posibles zonas de explotación de material pétreo, lo cual influye directamente a la parte económica del cantón ya que se utiliza en las obras civiles y construcciones de la población presente en la zona de estudio.

Con estos modelos geométricos del río, se han confeccionado diferentes modelos hidráulicos que posibilitan al desarrollo de los mapas para la ubicación de los diferentes tipos de zonas existentes en el lugar, como son las zonas de deposición, zonas de inundación, etc.

1.4 OBJETIVOS.

1.4.1 Objetivo general.

Establecer un modelo geométrico preciso del río y de su entorno con la metodología de la batimetría que posibilitan el cálculo de zonas inundables y la deposición de los materiales pétreos por inundación.

1.4.2 Objetivo específico.

- Elaborar el modelo hidráulico - geométrico de la zona de estudio, utilizando el software Hec-Ras y Arcmap.
- Determinar los volúmenes almacenados en los cuerpos de agua y conocer la dinámica de los lechos del río identificando zonas de socavación y áreas de depósito.
- Realizar el estudio batimétrico en el tramo Tuntaime – Sera.
- Realizar el cálculo de zonas inundables y la deposición de los materiales pétreos por inundación en el sector Tuntaime y sector Sera.

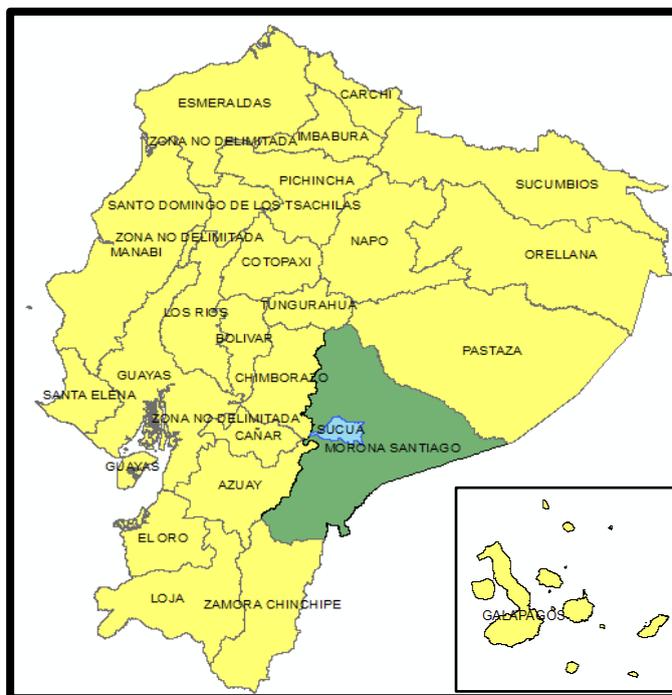
1.5 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS.

¿El estudio batimétrico permitirá establecer las zonas de socavación y anomalías dentro del río Upano en la zona a estudiar?

1.6 GENERALIDADES.

1.6.1 Ubicación.

El área de estudio se ubica en la provincia de Morona Santiago, dentro de la jurisdicción política del cantón Sucúa, en la parroquia de Sucúa.



*Figura 1: Mapa del Ecuador – Provincia de interés – Ciudad de interés.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.*

Para el siguiente estudio se han identificado dos zonas de interés a las cuales llamaremos área 1 y área 2.

- El área 1 para la explotación de materiales de construcción en el río Upano se ha denominado “TUNTAIME”; perteneciente al cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago.
- El área 2 para la explotación de materiales de construcción en el río Upano se ha denominado “SERA”; perteneciente al cantón Sucúa, provincia de Morona Santiago.

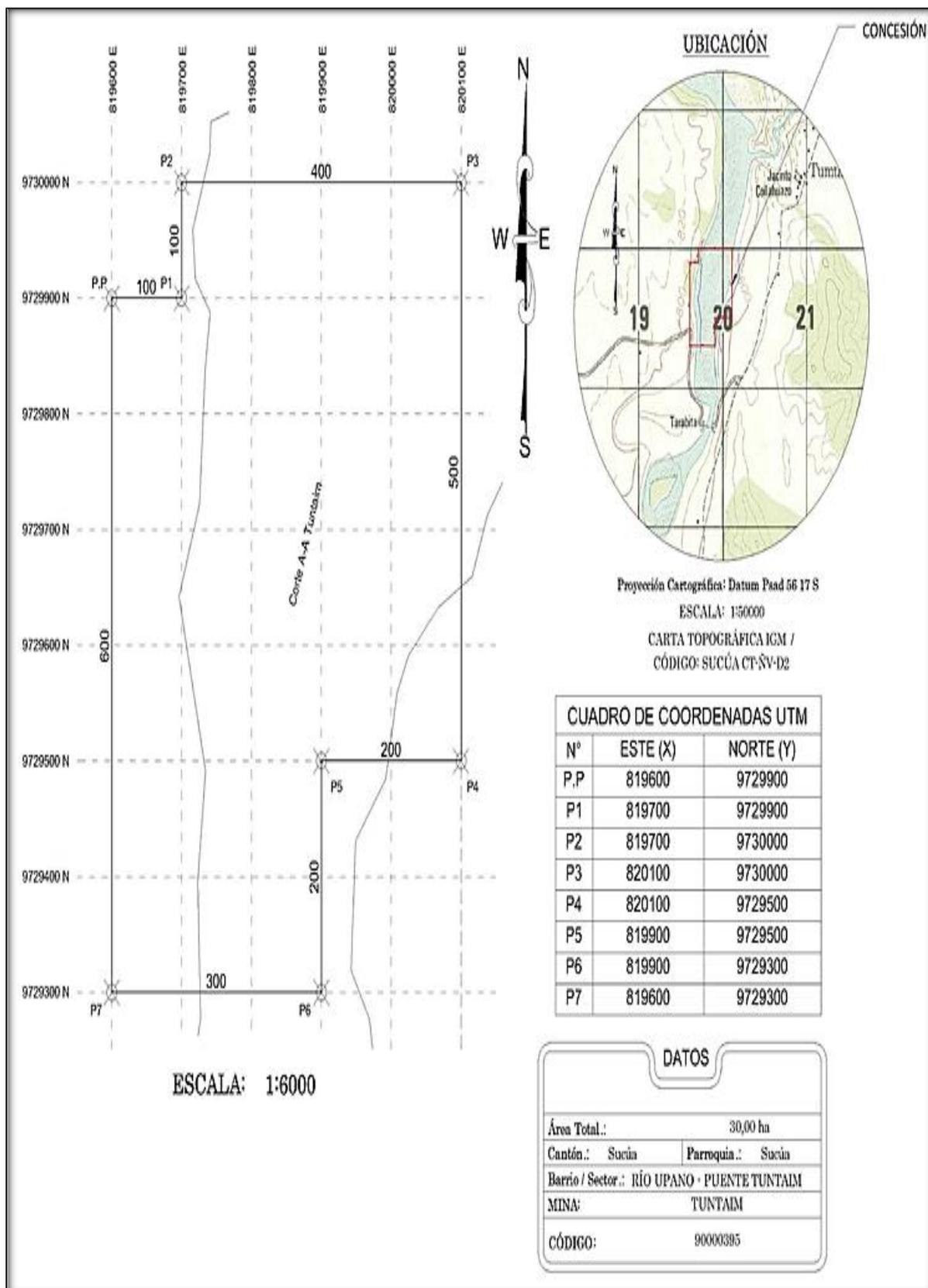
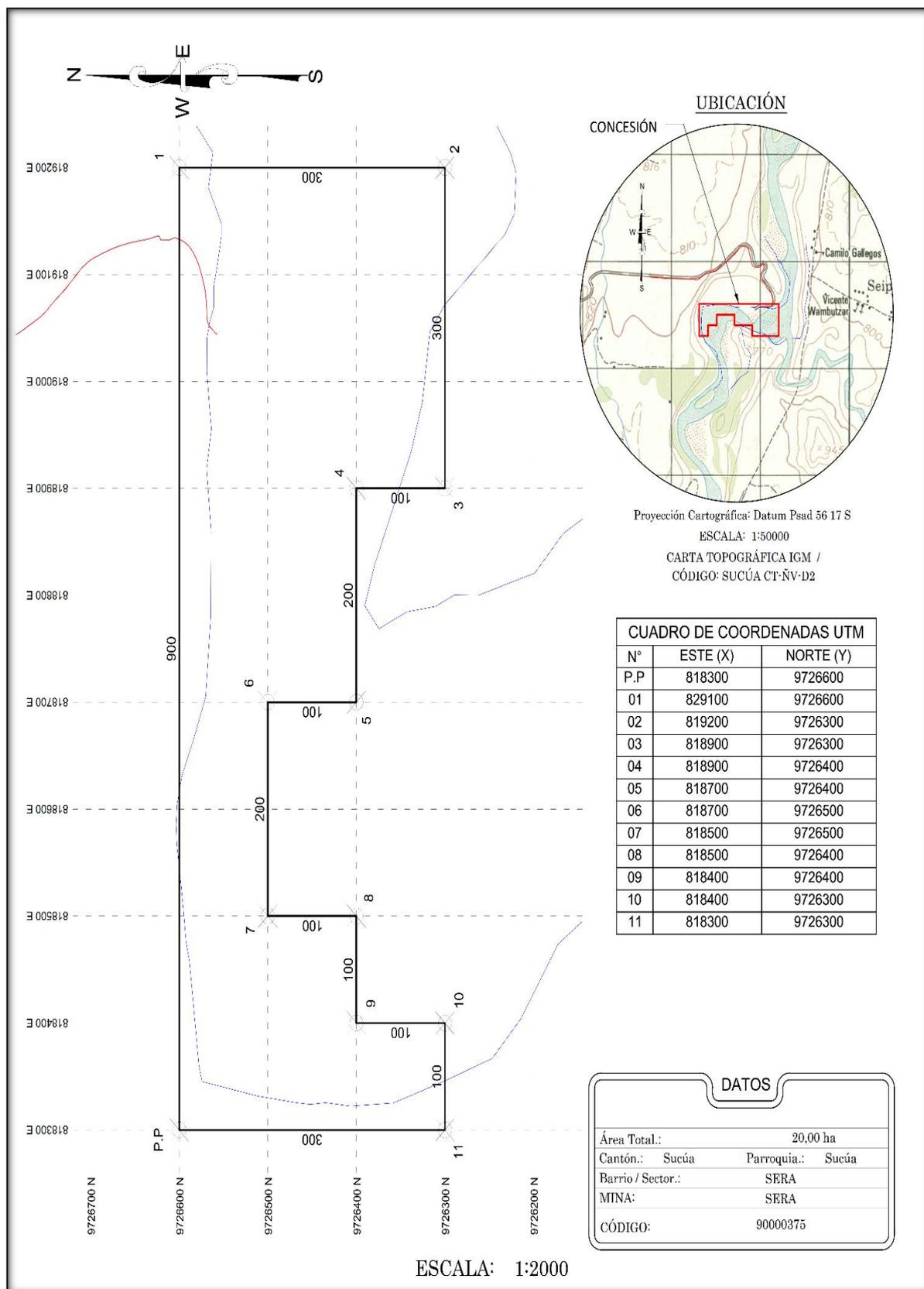


Figura 2-1: Ubicación del área principal de estudio Tuntaim.
 Elaborado por: Méndez, D. 2019.



**Figura 2-2: Ubicación del área principal de estudio Sera.
 Elaborado por: Méndez, D. 2019**

1.6.2 Acceso.

Se puede acceder por vía terrestre desde la ciudad de Quito descendiendo por vía interprovincial E35 que pasa por la ciudad de Latacunga, la ciudad de Ambato hasta la ciudad de Riobamba, en la ciudad de Riobamba se toma la vía interprovincial E46 hasta la ciudad de Macas desde el casco urbano de la cabecera cantonal por medio de la Troncal Amazónica E45 se llega a la ciudad de Sucúa, la zona se encuentra con vía de acceso existente, capa de rodadura de lastre (vía de segundo orden en ambas áreas de estudio) que conduce desde el centro Urbano de Sucúa a la playa del río Upano sector SERA, lugar donde se encuentra el libre aprovechamiento solicitado, existiendo una longitud total de 6,70 Km.

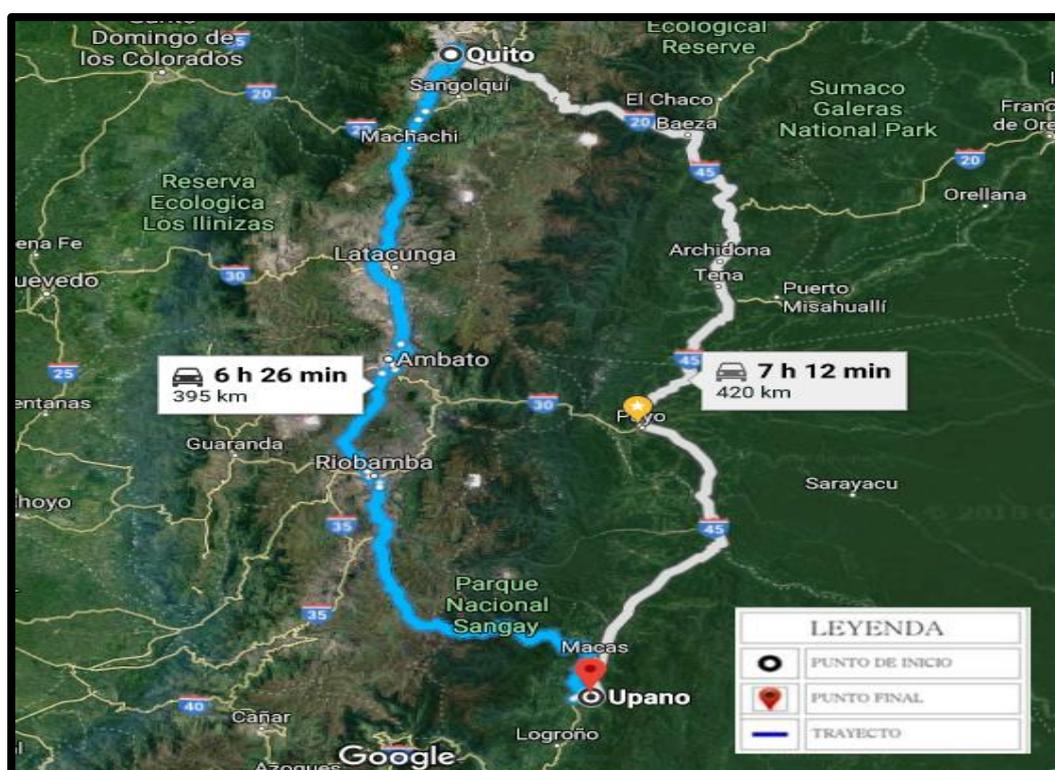
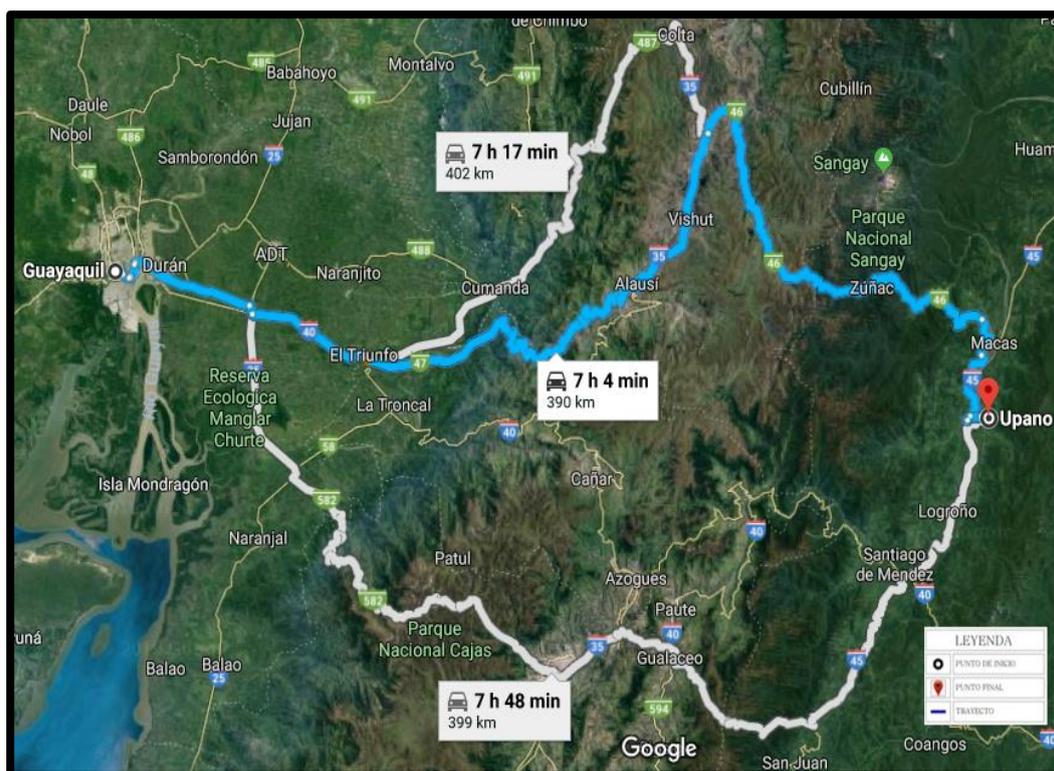


Figura 3-1: Recorrido Quito – Sangolquí – Machachi - Latacunga – Ambato - Macas – Sucúa (395 km aproximadamente, tiempo de duración de viaje 6 horas y 26 min.).

Elaborado por: Méndez, D. 2019



*Figura 3-2: Recorrido Guayaquil – Durán – Triunfo – Alausí – Vishut – Zúñac - Macas – Sucúa (390 km aproximadamente, tiempo de duración de viaje 7 horas y 4 min.).
Elaborado por: Méndez, D. 2019*

1.6.3 Clima.

“El cantón Sucúa está sujeto a la influencia amazónica, las precipitaciones internas que ocurren en diciembre es el resultado de esa acción, sin embargo, predomina el régimen oriental y el comportamiento climático es predecible”. (GAD Sucúa, 2014)

1.6.1.1 Temperatura promedio anual.

“Debido a las características de relieve del territorio, se presenta una variabilidad en cuanto a la temperatura media anual, en la zona baja del valle oriental la temperatura es de 26 °C”. (GAD Sucúa, 2014)

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Agos	Sept	Oct	Nov	Dic
Temperatura media. (C°)	22.7	23.1	22.6	22.8	22.7	22.1	21.4	21.8	22.3	23.1	23.5	23.3
Temperatura min. (C°)	17.9	17.9	17.9	18	18.1	17.6	17.1	17.1	17.3	17.9	18.1	17.9
Temperatura max.(C°)	27.6	28.5	27.4	27.6	27.3	26.6	28.8	26.6	27.3	28.3	28.9	28.7
Temperatura media. (F°)	72.9	73.6	72.7	73	72.9	71.8	70.5	71.2	72.1	73.6	74.3	73.9
Temperatura min. (F°)	64.2	64.2	64.2	64.4	64.6	63.7	62.8	62.8	63.1	64.2	64.6	64.2

Temperatura max.(F°)	81.7	82.9	91.3	91.7	91.1	79.9	78.4	79.9	81.1	82.9	84	83.7
Precipitación (mm)	162	152	222	227	238	242	216	164	178	187	150	123

Tabla 1: Tabla climática - Datos históricos del tiempo Sucúa.

Fuente: (Gobierno Municipal del Cantón Sucúa., 2014).

Hay una diferencia de 119 mm de precipitación entre los meses más secos y los más húmedos. Las temperaturas medias varían durante el año en un 2.1 °C.

1.6.1.2 Precipitación promedio anual.

“En el cantón la precipitación media anual es de 1750 mm que es una de las características principales de la Amazonía, a más de la humedad con lluvias abundantes durante todo el año”. (GAD Sucúa, 2014).

Según el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de la República del Ecuador., 2012) los meses de mayor precipitación son enero, febrero, marzo, abril, mayo y junio; mientras que los de menor precipitación son julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre y diciembre:

Mes	Humedad Rel. %	Nubosidad Media (Octas)	Precipitación (mm)
Enero	85	5	337,1
Febrero	84	5	185,6
Marzo	83	5	376,6
Abril	83	5	301,3
Mayo	82	5	257,7
Junio	83	5	280,6
Julio	83	5	235,9
Agosto	81	3	201,7
Septiembre	81	4	153,9
Octubre	82	4	122,4
Noviembre	82	4	126,2
Diciembre	83	4	257,2
Prom. Anual	82	5	2836,2

Tabla 2: Datos climatológicos estación (M1040) Macas San Isidro-PNS.

Fuente: Anuario (Anuario meteorológico Nro. 52-2012., 2012).

“La humedad está presente en toda la región amazónica, debido a esto el clima asociado a esta región se llama “cálido húmedo”. Es un factor indispensable en el mantenimiento y el desarrollo del espacio amazónico puesto que forma parte del ciclo”. (GAD Sucúa, 2014).

1.6.1.3 Humedad relativa anual.

“En el territorio es de 82%, siendo la más elevada en el mes de enero (85%) y la más baja en los meses de agosto y septiembre (81%)”. (INAMHI, 2012).

“Los vientos calientes, la humedad y la evapotranspiración constituyen tres factores fundamentales, que inciden en el tipo de clima del cantón. Razón por la cual la densa vegetación amazónica”. (GAD Sucúa, 2014).

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO.

2.1 GEOLOGÍA REGIONAL.

La zona de estudio se halla entre la Cordillera Real (Oriental) y la cordillera sub-andina de Cutucú, que constituye la parte sur del pie de monte oriental de los Andes ecuatorianos.

“La deformación sub-andina en Ecuador es compresiva y es controlada por corrimientos de basamento de alto ángulo. El pie de monte sub-andino está constituido por la culminación relativamente simple del anti forme Napo (Levantamiento Napo) en el Norte y la estructura compleja de la cordillera de Cutucú en el Sur, ambas separadas por la Depresión Pastaza, donde se desarrolló un abanico aluvial tropical y húmedo a gran escala”. (Baby, Rivadeneira, & Barragan, 2004).

“La cordillera de Cutucú está deformada significativamente por un complejo sistema de fallas inversas relacionado a la inversión de tipo transgresivo de un ríff abortado triásico y jurásico orientado NNE-SSW”. (Baby, Rivadeneira, & Barragan, 2004).

“Este sistema de Ríff desaparece en dirección noreste bajo los depósitos terciarios de la adyacente Cuenca Oriente de ante-país”. (Baby, Rivadeneira, & Barragan, 2004).

“El núcleo de la cordillera de Cutucú está constituido por la Formación Santiago, que corresponde al relleno sedimentario levantado a superficie del Ríff triásico-jurásico”. (Baby, Rivadeneira, & Barragan).

“Los marcadores geomorfológicos cuaternarios, como las terrazas aluviales del valle del río Upano en la parte trasera de la cordillera de Cutucú, están deformadas por fallas de corrimiento”. (Baby, Rivadeneira, & Barragan).

2.2 FORMACIONES GEOLÓGICAS.

Dentro de nuestra área de estudio se encuentran las siguientes formaciones geológicas entre las que se describen de la más nueva a la más antigua:

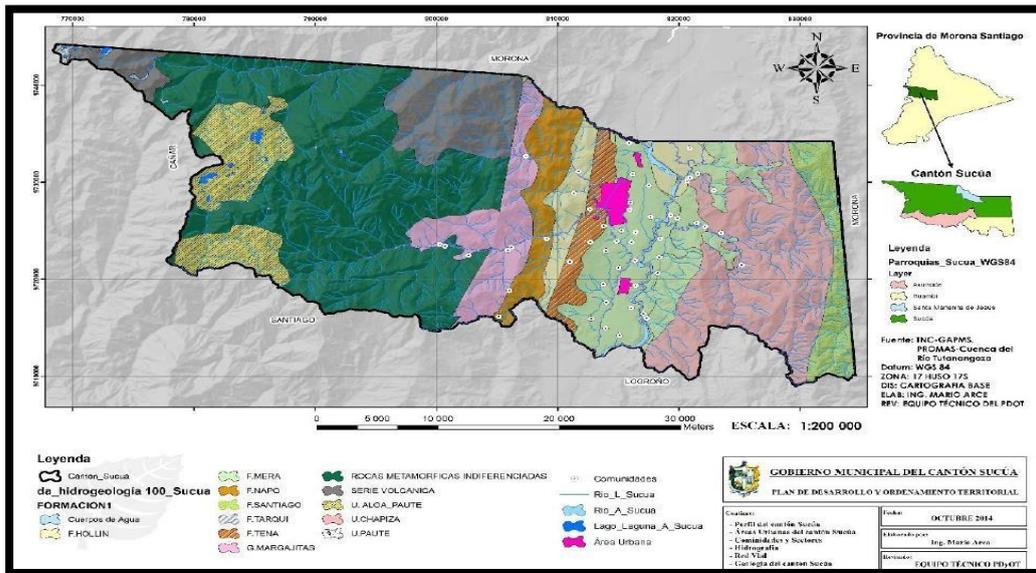


Figura 4-1: Geología regional del cantón Sucúa.
Fuente: (Gobierno Municipal del Cantón Sucúa, 2014).

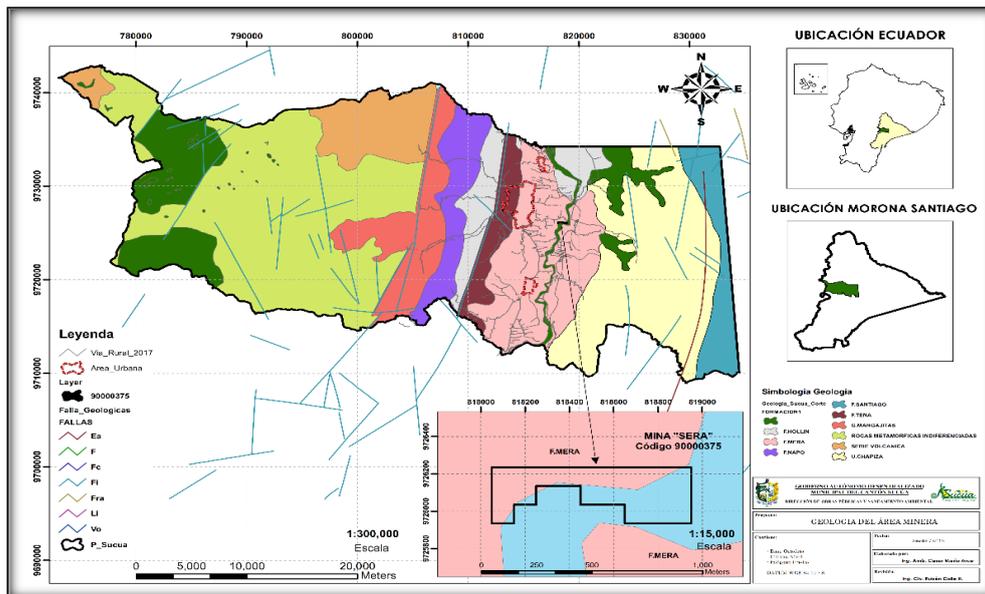


Figura 4-2: Geología regional del cantón Sucúa realizado en la concesión Sera.
Fuente: (Gobierno Municipal del Cantón Sucúa, 2018).

2.2.1 Formación Mera (QM).

“Consiste de terrazas más jóvenes de depósitos compuestos por abanicos de piedemonte del Cuaternario, areniscas tobaceas y arcillas, las que post-datan al último periodo importante de fallamiento y levantamiento, y están menos disectadas que las terrazas remanentes de la Formación Mesa (Rotuno). Hacia el Este los sedimentos de las terrazas disminuyen en espesor, tamaño del grano y altitud, eventualmente gradan transicionalmente hacia el aluvión del Cuaternario parcialmente retrabajado de las cuencas de drenaje actuales”. (Baldock, 1982).

2.2.2 Formación Hollín (KH).

“Compuesta por areniscas cuarzosas blancas de grano medio a grueso, compactas, de textura azucarada y de coloración blanca amarillenta. Las areniscas blancas presentan una clasificación que va de moderada a pobre, presentando una estratificación cruzada y en ocasiones vetillas de carbón. Se observa lutitas de color negro las que se presentan interestratificadas con las areniscas y tienen una potencia de 50cm, también contienen cierta cantidad de asfalto. En la faja sub-andina esta formación ha sido metamorfozada encontrándose cuarcitas donde se observa que el cemento se ha recristalizado alrededor de los granos de cuarzo. El espesor de la formación es de 80-240 m”. (Bristow & Hoffstetter, 1979).

2.2.3 Formación Chapiza (JKCH).

“Se deposita en un ambiente continental y está expuesta únicamente al Sur del Ecuador, en donde descansa discordante sobre la Formación Santiago o sobre la Macuma. Comprende una sección de sedimentos clásticos (rocas fragmentarias) continentales sobrepuestos por depósitos clásticos y piroclásticos (Miembro Misahualli). El espesor de la secuencia varía de 600 a 4500m, encontrándose las facies volcánicas más predominantes hacia el norte. La formación ha sido subdividida en tres partes: La Chapiza inferior roja y gris, con un espesor máximo de 1500m, consiste de lutitas, areniscas y delgados horizontes de anhidrita, dolomita y yeso. La Chapiza superior o Miembro Misahualli, alcanza los 2000 m en espesor y consiste de lutitas rojas, arenisca y conglomerados interestratificados con tobas violáceas, grises y verdes brechas tobaceas y basaltos”. (Baldock, 1982).

2.2.4 Formación Santiago (Js).

“Una potente secuencia de calizas marinas del Jurásico inferior, con intercalaciones de lutitas, areniscas y piroclásticos forma gran parte de la Cordillera del Cutucú. Hacia el lado Este de su afloramiento la Santiago comprende una monótona secuencia de calizas silíceas grises, areniscas calcáreas y lutitas negras. Hacia el Oeste, la Formación empieza a ser más volcánica, con abundantes intercalaciones intraformacionales de brechas, tobas y mantos volcánicos. Es pobre en fósiles, pero los amonites (Arietitos) hallados establecen una edad Sinemuriense (Liásico). Las calizas Santiago en el Oeste están directamente cubiertas por rocas indiferenciadas del Albiano grupo Cretácico Superior del Grupo Limón (equivalentes de las Formaciones Hollín, Napo y Tena)”. (Baldock, 1982).

2.3 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.

“Para la descripción de la geomorfología se indica que la zona de Sucúa se extiende desde

la cordillera Real, pasa por la llanura del valle del Upano hasta la cordillera del Cutucú. El relieve presente en el territorio es muy irregular excepto en la zona central donde se tiene una fisionomía homogénea, en la cual están los distintos asentamientos humanos”. (GAD Sucúa, 2014)

Se identifican tres unidades geomorfológicas en el sentido Oeste – Este:

- **Primera Unidad:** “Corresponde al flanco oriental de la cordillera de los Andes donde existen vertientes irregulares, lagunas glaciares, las características de las vertientes es que son estrechas, forman valles profundos y profusas caídas de agua, presentan un control estructural por fallas y fracturas, asociados a control litológico”. (GAD Sucúa, 2014)

- **Segunda Unidad:** “Los valles de los ríos Tutanangoza y Upano forman una extensa terraza de características fluvio glaciales, por este valle discurren los principales ríos como el Upano, formando valles amplios con márgenes verticales y el flujo es de características anastomosado”. (GAD Sucúa, 2014).

- **Tercera Unidad:** “Constituida por el flanco occidental de la cordillera del Cutucú, corresponde a un relieve de lomas redondeadas donde los drenajes forman cauces profundos y estrechos, discurren formando cascadas y son frecuentes los flujos cársticos de agua subterránea”. (GAD Sucúa, 2014).

2.4 TECTÓNICA REGIONAL.

“El sistema sub-andino constituye la parte aflorante de la Cuenca Oriente y permite observar el estilo de las deformaciones recientes. La zona sub-andina está estructurada por fallas inversas de orientación N-S a NNE-NNW. Las secciones de sismica de reflexión muestran que estas fallas son generalmente de alto ángulo (Rivadeneira & Baby citados en (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004, pág. 154)), y probablemente de escala cortical. La mayoría de esas fallas corresponden a antiguas fallas normales invertidas, que controlan la sedimentación triásica y jurásica”. (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004).

“Todo el Oriente a profundidad es subyacente por rocas cristalinas arcaicas del Escudo Guayanés, sobre el cual se depositaron los sedimentos del Paleozoico y Mesozoico inferior de la plataforma epicontinental (Formaciones Pumbuiza, Macuma y Santiago, actualmente expuestas solo en la zona sub-andina), durante varias transgresiones marinas de diferente extensión. En el Mesozoico Superior (Chapiza) las condiciones continentales fueron sucedidas por una transgresión marina cretácica, durante la cual se depositaron sedimentos delgados (miogeosinclinal) (Hollín, Napo, Tena), sobre una amplia cuenca ante país (Pericratónica). Los sedimentos del Cenozoico llegan a un espesor de 1500 a 2000 metros en el extremo Este

del Ecuador (Plataforma Tiputini) pero alcanzan un espesor de 2500 a 4000 metros, en una cuenca alargada Tras-Arco con rumbo Norte-Sur. La depresión es limitada al Oeste por el cinturón de pliegues volcados hacia el interior, del Tras-Arco (Back-Arc) de la zona sub-andina la que fue sometida al levantamiento en el Terciario Superior (Levantamiento Napo y Cutucú)". (Baldock, 1982).

“La morfología sub-andina conduce a diferenciar, del norte al sur, tres unidades morfo-tectónicas: el levantamiento Napo, la depresión Pastaza y la Cordillera del Cutucú”. (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004).

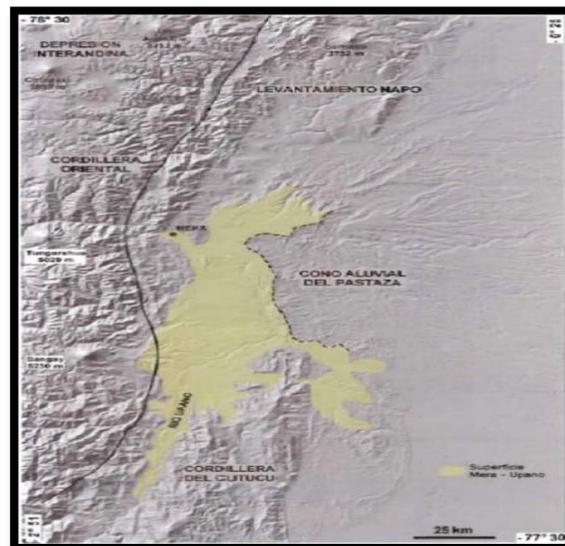


Figura 5-1: Modelo numérico de relieves (Savane©IRD) de la zona ecuatoriana y ubicación de la Superficie Mera-Upano.

Fuente: Cuenca Oriente: geología y petróleo, 2004.

“La Cordillera del Cutucú corresponde a una antiforme compleja desarrollada al frente de la Cordillera Oriental y deformada por la inversión de un riff de edad triásica a jurásica”. (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004).

Entre la Cordillera Oriental y la Cordillera del Cutucú, se desarrolla el valle del Upano donde se acumularon gran parte de los depósitos volcano-clásticos del volcán Sangay. (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004).

“El río Upano y el río Pastaza son los medios de transporte principales de los depósitos aluviales de la zona sub-andina. La superficie Mera-Upano se formó encima de los conos aluviales alimentados por esos dos ríos, y en gran parte por los sedimentos volcano-clásticos producidos por los volcanes Tungurahua y Sangay. Esta superficie de extensión regional corresponde a un nivel endurecido oxidado característico de las superficies de erosión sub-aérea llamadas “glacis” en francés”. (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004)

“En el valle del Upano, en la espalda de la cordillera de Cutucú, la Superficie Mera-Upano se desarrolló al tope de depósitos de lahares que provienen de los colapsos sucesivos del volcán Sangay (Monzier et al.. 1999 citado en (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004, pág. 162)). Se calculó que en el valle del Upano se depositó alrededor de 60 km^3 de lahares (Bés de Berc, 2003 citado en (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004, pág. 162)). La incisión del río Upano es más o menos de 100 m de profundidad, y alcanzó el substrato de los depósitos de lahar que corresponden a la Fm. Napo o a la Fm. Hollín de edad cretácica. Localmente sobre la superficie Mera-Upano, se encontró depósitos fluviales del antiguo cauce del río Upano”. (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004).

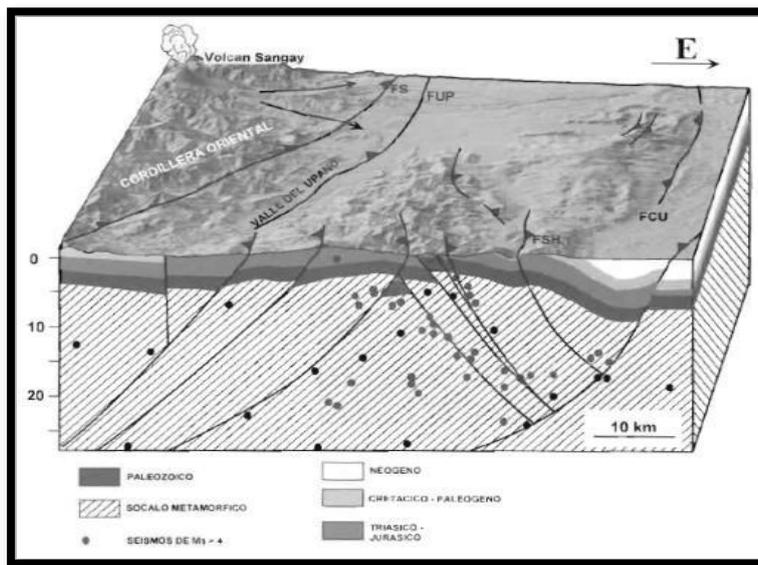


Figura 5-2: Bloque morfo-tectónico 3D de la Cordillera del Cutucú.
Fuente: Cuenca Oriente: geología y petróleo, 2004.

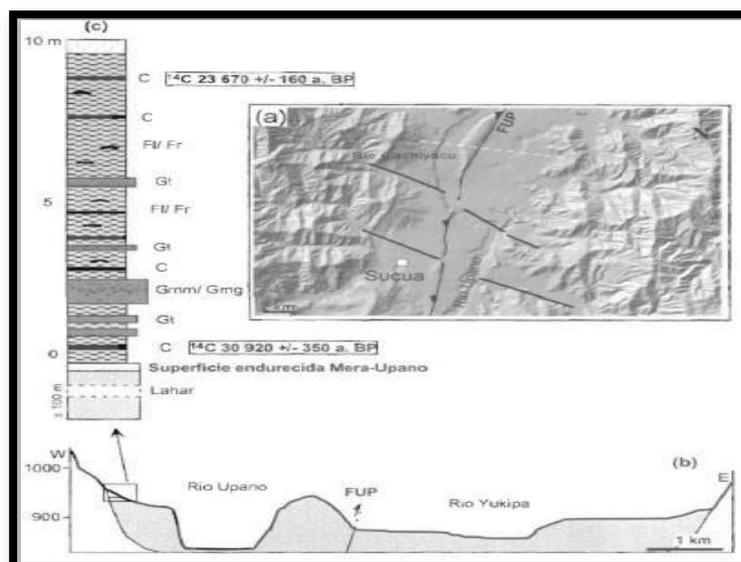


Figura 5-3: Modelado y secciones litológicas del valle del Upano.
Fuente: Cuenca Oriente: geología y petróleo, 2004.

En las figuras 5-2 y 5-3 las siglas que se aprecian en los gráficos corresponden a: FS: Falla de corrimiento subandina; FUP: Falla Upano; FSH: Falla de retro-corrimiento de Shaime; FCU: Falla de corrimiento del Cutucú. Descripción de facies según la nomenclatura de Miall (1996).

“Las dataciones Mera y del Upano muestran que la Superficie Mera-Upano empezó a formarse antes de 30920 +/- 350 a. BP, y fue preservada por lo menos hasta 17920 a. +/- 100 BP. Este periodo corresponde a la última gran glaciación puesta en evidencia por Claperton (1993) entre 32000 a. BP y 14000 a. BP. En la cuenca amazónica fue un periodo de clima frío y seco donde pudo desarrollarse una superficie de erosión tal como la de Mera-Upano”. (Baby, Rivadeneira, & Barragán, 2004).

En los gráficos podemos observar:

- a) Modelado numérico de relieves (Savane©IRD) del valle del Upano.
- b) Sección litológica de los depósitos vulcano-sedimentario del valle del Upano.
- c) Sección litológica de los depósitos fluviales que sellan la Superficie Mera Upano.

2.5 HIDROLOGÍA.

La hidrología estudia la circulación ininterrumpida del agua entre la tierra y la atmósfera, cubriendo todas las fases del agua en la tierra, los procesos hidrológicos influenciados por el clima, superficie y subsuperficial del suelo.

La comprensión de las interacciones entre la hidrología y el ecosistema, permite transferir predicciones hidrológicas de una zona a otra, aunque la escala espacial juega un rol muy importante en la comparación de los procesos hidrológicos.

“Las diferencias hidrológicas son muy importantes, en virtud que sus resultados determinan distintos planteamientos sobre la gestión hídrica”. (Mecca Juan Carlos, 2008).

Los principales sistemas hídricos que abarca la provincia de Morona Santiago pertenecen a 3 cuencas que son: Pastaza, Morona y Santiago.

El sistema hidrográfico principal del Cantón Sucúa está comprendido por subcuencas de los ríos Upano, y Tutanangoza.

2.6 MORFOLOGÍA Y DINÁMICA FLUVIAL.

2.6.1 Morfología Fluvial.

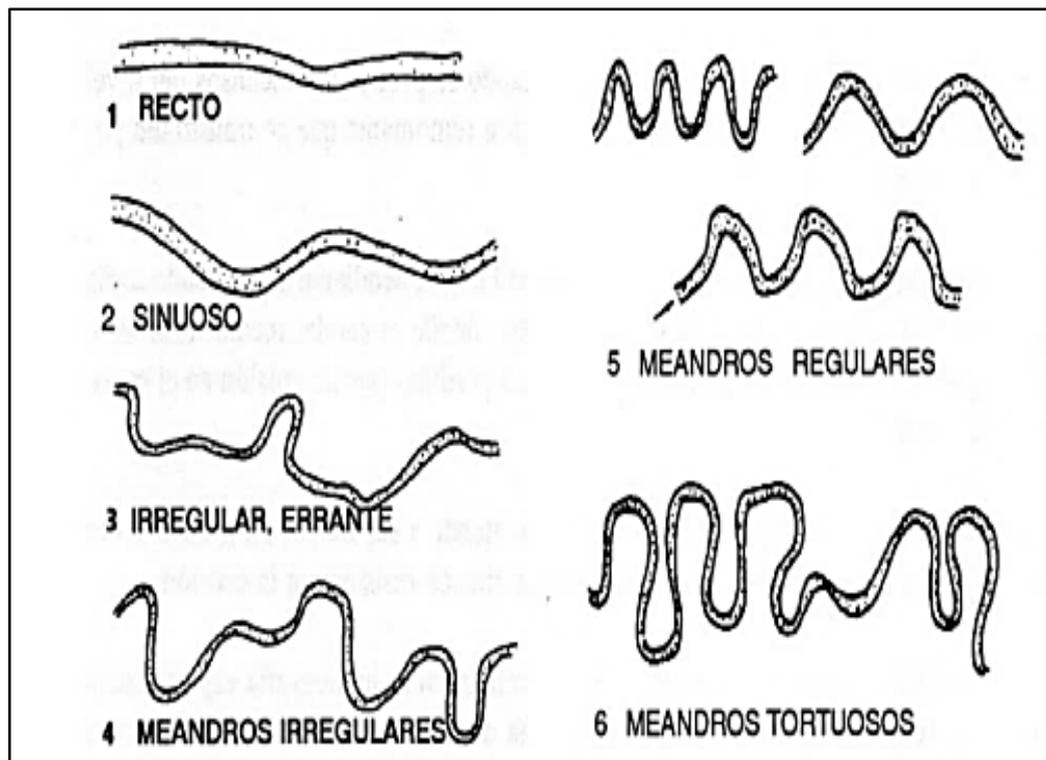
- 1. Perfil longitudinal del cauce.** - El perfil longitudinal de un río, describe la forma en el que éste varía su cota a lo largo de su longitud y recorrido; de tal modo que el perfil longitudinal reflejará la pendiente de cada tramo, determinada por las condiciones

impuestas por el tramo aguas arriba.

“En líneas generales la pendiente tiende a ser mayor en tramos que discurren sobre sustratos duros por su resistencia a la erosión. También se pueden dar cambios bruscos de pendiente “Knickpoint” en zonas de confluencia de ríos, cambios geológicos y procesos erosivos generados por actividades humanas. La pendiente es quizás una de las variables principales en el proceso de ajuste o adaptación del cauce ante cambios del régimen de caudales”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

2. Trazado del sistema fluvial. - El trazado de un cauce fluvial se refiere a la forma de la trayectoria que desarrolla el río en su recorrido. La diferente sinuosidad estimada como el cociente entre la longitud del río y la longitud del valle en un determinado tramo permiten diferenciar tres tipos de trazados:

- **Trazado recto.** – “Con coeficientes de sinuosidad inferiores a 1,5 donde no se aprecian curvas en el cauce, si bien la línea del thalweg se desplaza Alternativamente de una orilla a la otra haciéndose más visibles en aguas bajas”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).
- **Trazado meandriforme.** – “Coeficiente de sinuosidad superior a 1,5 debido a las curvas que desarrolla el cauce desplazándose en sentido transversal del valle. El tipo de curvas puede ser muy diferente de unos ríos a otros pudiéndose diferenciar en subtipos como los que se representan a continuación”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).
- **Trazado trenzado.** – “Se desarrolla en tramos de mayor pendiente o cuando la carga sólida es elevada y se caracteriza por la formación de un curso de agua ancho y poco profundo que se divide en varios brazos dejando islas intercaladas uniéndose aguas abajo y volviéndose a separar a modo de trenzas”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).



*Figura 6: Tipos de trazado del sistema fluvial.
Fuente: (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).*

2.6.2 Sedimentos y formas del lecho.

“Desde el punto de vista de análisis y estructura morfológica del río es necesario considerar los tipos de sedimentos, su naturaleza, granulometría y distribución. Teniendo en cuenta que estos aspectos hacen que muchas obras de ingeniería fracasen por no tener cuidado en la influencia de los sedimentos en el cauce”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

“Respecto a la naturaleza y origen de los mismos, podemos considerar una fracción que se encuentra representada en el lecho del río y eventualmente en movimiento por los caudales mayores durante un corto periodo de tiempo en lo que se denomina “carga de fondo” y otra fracción más pequeña procedente de la erosión de las laderas y orillas del cauce que no está representada en el lecho y sí en suspensión en el agua efectuando recorridos mucho más largos constituyendo lo que se llama “carga de lavado”. Esta diferenciación no siempre es clara, pero responde a fines prácticos y así es considerada en la mayoría de tratados de hidráulica fluvial”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

“En relación con la granulometría, la más utilizada es la propuesta por el Subcomité de Terminología de Sedimentos de la American Geophysical Unión según se aprecia en la tabla anexa”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

TIPO DE CAUDAL SÓLIDO	MEDIO DE TRANSPORTE	ORIGEN
Carga de lavado	Suspensión	Erosión en la cuenca Erosión en márgenes (partículas finas)
Carga de fondo	Acarreo Saltación	Erosión en el cauce Erosión de margen (partículas gruesas)

Tabla 3-1: Relación de granulometría.
Fuente: (American Geophysical Unión).

TAMAÑO (mm)	CLASES
4000 – 250	Cantos rodados
250 – 64	Guijarros
64 – 2	Gravas
2 – 0,062	Arenas
0,062 – 0,004	Limos
0,004 – 0,00024	Arcillas

Tabla 3-2: Escala de tamaño de sedimentos.
Fuente: American Geophysical Unión.

“El tamaño del sedimento tiene gran importancia, pues determina la tensión crítica de la corriente que es capaz de ponerlos en movimiento, según se representa en la figura 7, de modo que se muestra la relación entre el tamaño de las partículas y la velocidad del agua necesaria para su movimiento lo cual va estrechamente ligada a la tensión crítica mencionada. Las partículas de mayor tamaño pesan más y ofrecen más dificultad al inicio de su movimiento mientras que la mayor resistencia ofrecida por las más pequeñas responde a su cohesión”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

- 1. Forma de los lechos.** – Los sucesivos y continuos procesos de erosión y sedimentación dan lugar a diferentes formas del lecho con una redistribución de partículas formando acumulaciones más o menos regulares. En tramos o ríos arenosos se desarrollan las denominadas rizaduras, dunas, lecho liso o antidunas, en función del tipo de régimen de los caudales tal como nuestro en la figura:

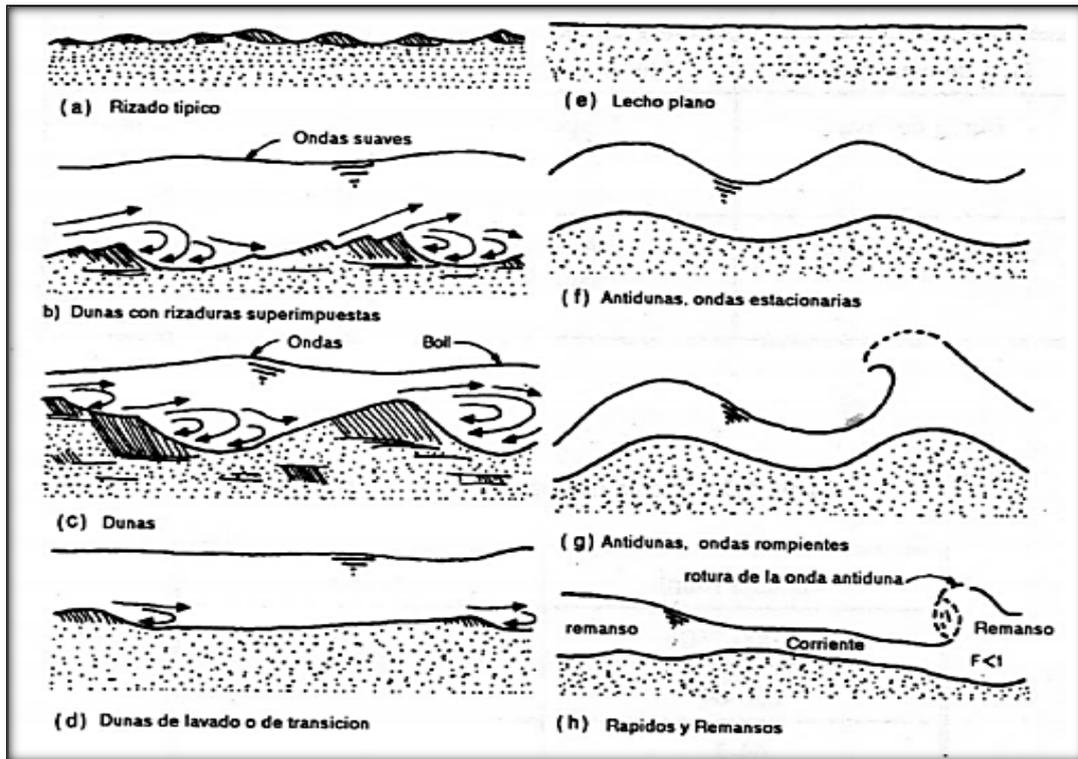


Figura 7: Tipos de formas de los lechos.
Fuente: (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

2. **Rápidos y remansos.** – “Estas formaciones son una constante de gran importancia en la diversidad de hábitats y especies que viven en el agua. Los rápidos son zonas muy productivas para los macroinvertebrados y los remansos adquieren especial importancia al servir de refugio a numerosas especies. Una de las características más significativas en la secuencia de rápidos y remansos es su regular espaciamiento a una distancia entre 5 – 7 veces la anchura del cauce. Los remansos se localizan en las pozas “pools” donde el río es más profundo y los rápidos “riffles” se centran en las secciones de más anchura y menor profundidad como se aprecia en las figuras”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

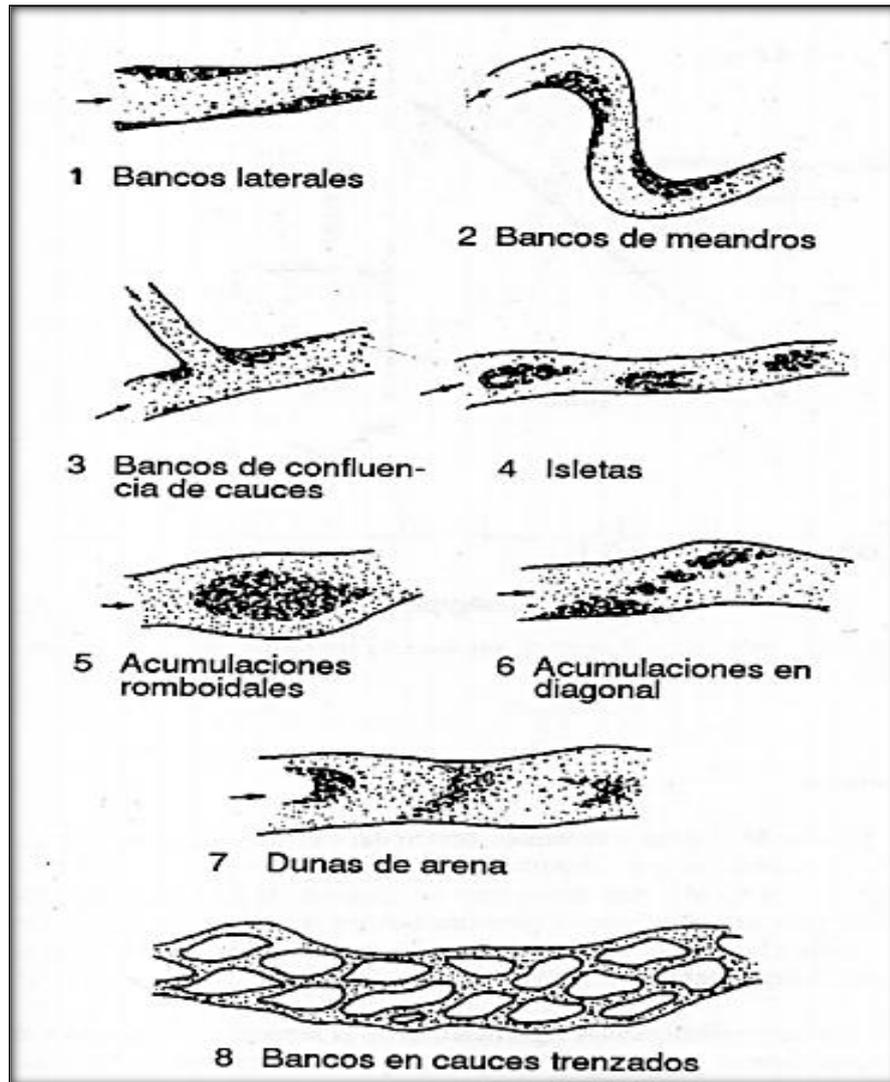


Figura 8: Tipos de rápidos y remansos.
Fuente: (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

2.6.3 Tipos de Socavaciones.

La socavación es el resultado de la acción erosiva del flujo de agua que arranca y acarrea material de lecho y de las bancas de un cauce, convirtiéndose en una de las causas más comunes de falla en puentes.

A. Socavación normal o general: “Se entiende por socavación general el descenso del fondo de un río que se produce al presentarse una creciente y es debida al aumento de la capacidad de arrastre de material sólido que en ese momento adquiere la corriente, en virtud de su mayor velocidad. La erosión del fondo de un cauce definido por el cual discurre una corriente es una cuestión de equilibrio entre el aporte sólido que pueda traer el agua a una cierta sección y el material que sea removido por el agua de esa sección y al aumentar la velocidad del agua, aumenta también la capacidad de arrastre”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

B. Socavación en estrechamientos: “Se entiende por socavación en estrechamientos la que se produce por el aumento en la capacidad de arrastre de sólidos que adquiere una corriente cuando su velocidad aumenta por efecto de una reducción de área hidráulica en su cauce. El efecto es muy importante en puentes, donde por lo común y por razones de economía suelen ocurrir las mencionadas reducciones, si bien puede presentarse en otros lugares del curso del río, en que un estrechamiento más o menos brusco tenga lugar”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

Los cambios que la presencia de un puente impone a la corriente son principalmente los siguientes:

- Cambio de la velocidad del flujo del agua en el cauce principal.
- Cambio en la pendiente de la superficie libre del agua, hacia arriba y hacia abajo del puente.

Esto origina un mayor arrastre del material del fondo en la sección del cauce y, cuando ello es posible, un ensanchamiento del cauce.

C. Socavación en curvas: “Cuando un río describe una curva existe una tendencia en los filetes líquidos situados más lejos del centro de curvatura a caminar más aprisa que los situados más hacia el interior; como consecuencia, la capacidad de arrastre de sólidos de los primeros es mayor que la de los segundos y la profundidad de erosión es mayor en la parte del cauce exterior a la curva que en la interior. El efecto es importante y ha de ser tenido en cuenta en la construcción de puentes en curvas de río o en el diseño de enrocamientos de protección en los mismos lugares pues al disminuir la velocidad la curva aumenta el depósito en esta zona y, por ello, disminuye la zona útil para el flujo del agua y al aumentar la profundidad y el área hidráulica, aumenta el gasto”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

D. Socavación local en estribos: “Desde el punto de vista de definición, la socavación local en estribos es análoga a la que se presenta en las pilas de los puentes, sin embargo, se le distingue por existir algunas diferencias en los métodos teóricos y aun experimentales para su evaluación”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

E. Socavación local en pilas: “Cuando se coloca una pila de puente en la corriente de un río se produce un cambio en las condiciones hidráulicas de ésta, y, por lo tanto, en su capacidad para producir arrastre sólido. Si la capacidad de arrastre supera localmente el aporte del gasto sólido del río, ocurrirá en la pila una socavación local”. (Hidráulica de Canales Abiertos 2004).

2.7 LA EXPLOTACIÓN MINERA EN RÍOS

La minería de ríos para la explotación de materiales pétreos es una actividad primordial para el desarrollo de las obras arquitectónicas y civiles de la sociedad y el ser humano.

Son muchos los ríos a nivel mundial en los cuales se aprovechan las gravas y las arenas, los cantos rodados y el ripio, entre otros los cuales son explotados de una manera masiva para ser usados en construcciones de edificaciones e infraestructura, ya sea por las propiedades físico-mecánicas o como materia prima para la elaboración de agregados para la construcción.

“Los costos de explotación son también un factor importante a considerar ya que son bajos en comparación a los materiales de canteras, de igual manera los costos de transporte y procesamiento ya que los materiales aluviales tienen un proceso mínimo en su tratamiento operativo”. (Ramírez, 2011)

“Hay que tener mucha precaución porque “esta minería intensiva origina graves efectos en el sistema fluvial debido al desbalance causado en el transporte de sedimentos en el sitio de extracción; se origina una erosión general del cauce que puede alcanzar grandes distancias aguas arriba y aguas abajo, generando a su vez la inestabilidad de las orillas, cambios en la morfología del cauce, erosión regresiva en los afluentes, descenso en el nivel freático, afectación de la flora y fauna acuática y riparias, y, además poniendo en riesgo las diferentes estructuras localizadas a los largo del cauce y sus tributarios (puentes, captaciones, muros de protección, entre otros.” (Ramírez, 2011)

En los ríos de nuestro país se han explotado sus lechos de manera irresponsable, pensando solo en el factor dinero y no en las consecuencias ambientales que estos provocan, es por eso que en este proyecto se demostrará que existen maneras técnicas, ambientales, sociales de generar una minería responsable con el medio ambiente, para lo cual hemos sido formados académicamente. Calculando los volúmenes óptimos de explotación, la calidad de los materiales explotados, cumplir con un ciclo de minado y sobre todo dar cumplimiento total con las diferentes leyes que están ponderadas en nuestro país.

Existen algunos efectos que conlleva el realizar una explotación minera en ríos, algunas veces puede generar serios impactos ambientales ya que principalmente el río sufre cambios en sus condiciones geométricas e hidráulicas en los sitios en donde se ejecuta la explotación, también se podría alterar la capacidad de transporte de la corriente y los sedimentos transportados.

“La incisión del cauce puede inducir otros efectos, tales como, inestabilidad y erosión de las orillas, cambios en la morfología del cauce, erosión remontante en los afluentes, descenso del nivel freático en la planicie aluvial cercana al cauce (disminuyendo los niveles de aguas en los

pozos cercanos), variación en el tamaño de los materiales del lecho y ampliación del cauce, deterioro de la calidad del agua (incrementando la turbiedad) lo cual afecta a los usuarios aguas abajo y a la fauna y flora acuática”. (Ramírez, 2011).

EFFECTOS LOCALES	EFFECTOS AGUAS ARRIBA	EFFECTOS AGUAS
<ul style="list-style-type: none"> • Erosión de orillas. • Descenso de nivel freático. • Menos velocidad del flujo. • Descenso de los niveles del fondo y del agua. • Socavación de puentes y estructuras. • Destrucción de hábitats ripariós y acuáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento del gradiente hidráulico. • Mayor velocidad del flujo. • Erosión remontante. • Acorazamiento del lecho. • Socavación de orillas y ensanchamiento del cauce. • Erosión de afluentes. • Descenso de los niveles del fondo y del agua. • Socavación de puentes y estructuras. • Destrucción de hábitats ripariós y acuáticos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Erosión del lecho. • Incremento de la turbiedad y de los sedimentos suspendidos. • Mayor inestabilidad de las bancas y el lecho. • Obstrucción de captaciones y vertientes por sedimentos en suspensión. • Descenso de los niveles del fondo y del agua • Socavación de puentes y estructuras. • Destrucción de os hábitats ripariós y acuáticos.

Tabla 4: Potenciales efectos de la extracción de materiales de arrastre en ríos.

Fuente: (Ramírez, 2011).

2.8 LOS MATERIALES PÉTREOS.

“Los materiales pétreos son los materiales naturales o estos adaptados por el hombre que sirven como materia prima para la elaboración de obras civiles o arquitectónicas. Estos materiales provienen de rocas o derivados de rocas sean estas ígneas, sedimentarias y metamórficas, todos los materiales que en su procesamiento no implique un proceso industrial diferente a la trituración y/o clasificación granulométrica”. (Bañón, 2009)

Existen diferentes maneras de obtener estos materiales, la principal, la explotación en lechos de ríos, seguida por la explotación de canteras y el aprovechamiento de sectores con cantidades considerables de material.

CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE LOS MATERIALES PÉTREOS			
Atendiendo a su naturaleza	Atendiendo a su origen	Atendiendo a su tamaño.	Atendiendo a su adhesividad con los ligantes.
Ígneos	Naturales	Árido grueso	Ácidos
Compactos, duros muy resistentes.	Procedentes de Yacimientos Naturales.	Gravas de tamaño superior a 5 mm.	Silíceos, hidrófilos, mala adhesividad.
Sedimentarios	Artificiales	Árido fino	Básicos
Abundante, baratos y fácilmente pulibles.	Sometidos a un proceso de machaqueo.	Arenas comprendidas entre 5 a 0.02 mm.	Alcalinos, hidrófobos, buena adhesividad.
Metamórficos	Sintéticos	Filler	
Lajosos, alterados poco utilizables.	Obtenidos mediante medios industriales.	Polvo ultra fino inferior a 0.02 mm.	

Tabla 5: Criterios de clasificación de los materiales pétreos.

Fuente: (Blázquez, 2009).

La procedencia de estos materiales se ve expuesta a diferentes criterios, diferentes formas de obtener la materia prima.

- 1. Áridos Naturales:** “dentro de este grupo se engloban aquellos áridos que se encuentra ya machacados, pudiendo ser directamente empleados tal y como se encuentran en la naturaleza; únicamente es necesario someterlos a un proceso de selección, refinado y clasificación por tamaños. Se hallan en graveras, canteras y otro tipo de yacimientos al aire libre, por lo que su extracción es relativamente sencilla”. (Blázquez, 2009)
Son estos los materiales que se les dará importancia en este trabajo, ya que como podemos entender la definición anterior, los materiales explotados sin mayor complicidad y derivados de canteras, ríos o yacimientos al aire libre. En este tipo de explotación se tendrá muy en cuenta los procesos de extracción de las arenas, ripios y algunos otros agregados para la construcción o como materia prima.
- 2. Áridos artificiales o de machaqueo:** “obtenidos a partir de la disgregación de un macizo rocoso, empleando generalmente procedimientos de voladura con explosivos. Necesitan un mayor tratamiento que los anteriores, por lo que es necesario procesarlos en plantas de machaqueo; en ellas, el material es limpiado, machacado, clasificado y

almacenado en acopios”. (Blázquez, 2009)

“Son materiales que requieren obligadamente de un pequeño proceso en su tratamiento, deben cumplir diferentes ciclos para darles su disposición final. Generalmente estos materiales se los encuentra en yacimientos y su método de explotación es más laborioso, además que su costo de explotación es superior a los áridos naturales”. (Blázquez, 2009)

- 3. Productos Sintéticos Industriales:** “este grupo lo componen materiales de diversa índole, como productos de desecho o subproductos de procesos industriales, materiales calcinados, procedentes de la demolición y reciclado de firmes existentes o áridos manufacturados con características mejoradas”. (Blázquez, 2009)

Estos materiales son un grupo de áridos más elaborados, derivados algunos de diferentes procesos industriales, procesos complementarios como el reciclaje y el aprovechamiento de todos los materiales derivados por ejemplo de las demoliciones, son materiales mejorados y reutilizados.

2.9 TERMINOLOGÍA.

Es importante tener una definición clara y contundente de la terminología que vamos a aplicar en este trabajo, es así que he creído conveniente citar el decreto ejecutivo 1279 en cual se estable que en ejercicio de las atribuciones que le otorga el numeral 13 del artículo 147 de la Constitución de la República del Ecuador, decreta: Expedir el reglamento especial para la explotación de materiales áridos y pétreos. En el cual se establece las disposiciones fundamentales, las definiciones de los materiales áridos y pétreos en lechos o cauces de ríos, lagos, lagunas, playas de mar y canteras, su competencia, jurisdicción, control y coordinación de explotación de los materiales pétreos en los lechos del río a los GAD municipales para el Reglamento especial para explotación de materiales áridos y pétreos en el Ecuador, 2012; en este decreto encontraremos algunas definiciones que nos servirán en el transcurso de este trabajo de grado.

2.9.1 Material árido y pétreo.

Para fines de aplicación del presente reglamento, se considera material árido aquel que resulta de la disgregación y desgaste de las rocas y se caracteriza por su estabilidad química, resistencia mecánica y tamaño; y, se consideran materiales pétreos, los agregados minerales que son suficientemente consistentes y resistentes a agentes atmosféricos, provenientes de macizos rocosos, generalmente magmáticos. (Art. 2)

2.9.2 Lecho o cauce de ríos.

Se entiende como lecho o cauce de un río el canal natural por el que discurren las aguas del mismo, en el que se encuentran materiales granulares resultantes de la disgregación y desgaste de rocas de origen ígneo, sedimentario o metamórfico.

El lecho menor, aparente o normal es aquel por el cual discurre el agua incluso durante el estiaje, en tanto que, se denomina, lecho mayor o llanura de inundación al que contiene el indicado lecho menor y es solo invadido por las aguas en el curso de las crecidas y en general en la estación anual en la que el caudal aumenta. (Art. 4)

2.9.3 Canteras y materiales de construcción.

En concordancia con lo establecido en el inciso segundo del artículo 45 del Reglamento General de la Ley de Minería, se entiende por cantera al depósito de materiales construcción, o macizo constituido por una o más tipos de rocas ígneas, sedimentarias o metamórficas, que pueden ser explotados a cielo abierto y que sean de empleo directo principalmente en la industria de la construcción.

De igual modo, se entienden como materiales de construcción a las rocas y sus derivados, sean estos de naturaleza ígnea, sedimentaria o metamórfica tales como: andesita, basaltos, dacitas, riolitas, granitos, cenizas volcánicas, pómez, materiales calcáreos, arcillas superficiales; arenas de origen fluvial o marino, gravas; depósitos tipo aluviales, coluviales, flujos laharíticos y en general todos los materiales cuyo procesamiento no implique un proceso industrial diferente a la trituración y/o clasificación granulométrica o en algunos casos tratamientos de corte y pulido, entre su explotación y su uso final y los demás que establezca técnicamente el Ministerio Sectorial previo informe del Instituto Nacional Geológico, Minero, Metalúrgico. (Reglamento Especial para Explotación de Materiales Áridos y Pétreos. Decreto 1279, 2012)

2.10 DISEÑO DE EXPLOTACIÓN.

“Diseñar es darle las correctas directrices para un desempeño eficiente de la mina. Manteniendo en cuenta aspectos como la geología, hidrogeología, metalurgia, exploración inicial y avanzada, entre otros. Es limitar los procesos de explotación y utilizar la cantidad adecuada de recursos económicos, humanos, sociales e ingenieriles”. (Chile, 2004)

“Programar acertadamente las actividades que implica el correcto desempeño de la mina, para el caso particular de esta investigación, la maquinaria a utilizar, el sitio a explotar, las dimensiones de las obras de diseño minero, el almacenamiento interno de los materiales, el tipo y calidad de materiales a explotar, el transporte interno del material, entre otros”. (Chile, 2004)

“Un tema con no menor importancia es el ámbito ambiental y la ventaja que se obtiene sobre el lecho de río al utilizar diseños adecuados y acordes a la situación ambiental, social y económica del sector, teniendo en cuenta que es una zona en donde el agua de los ríos es uno de los recursos comunes y muy utilizados por los habitantes de ese sector. Además, la afectación ambiental que se verá sin lugar a dudas disminuida por los procesos técnico-ambientales que se utilizarán, garantizando así la armonía y una relación normal empresa/comunidad”. (Chile, 2004)

“El diseño de explotación de una mina engloba factores que se analizarán al transcurso de este trabajo tales como: transporte, diseño de diques, volumen a explotar, ciclo del minado, parámetros de la legislación minera y ambiental, uso del agua, entre otros. Son todas las formas operacionales posibles existentes en el medio las cuales junto a un conjunto de características del yacimiento tales como: geología, geomecánica, límite de destape, recuperación, dilución, entre otros. Ayudan a explotar de la mejor manera un yacimiento cumpliendo estándares técnicos, ambientales, legales y económicos”. (Chile, 2004)

“Diseñar una etapa de explotación es darle un curso sistemático a las operaciones mineras, tales como vías, métodos de explotación, maquinaria, capacidad de planta, para así lograra un correcto funcionamiento y operación de la mina”. (Chile, 2004)

2.11 EXPLOTACIÓN POR DIQUES

Existen diferentes sistemas de diques que nos permiten un correcto desenvolvimiento en nuestra explotación, siendo los diques transversales, longitudinales y una extracción directa.

2.11.1 Diques longitudinales.

Son obras en las cuales se construyen diques que siguen el cauce del río, tiene algunas ventajas y desventajas. Son métodos muy conocidos en el campo de la explotación de los materiales de arrastre.

Existen principalmente ciertos beneficios:

- Alta producción en la explotación
- El ámbito económico ocupa un lugar exclusivo en este método, ya que como tenemos una producción elevada, los avances económicos son positivos.

Tienen algunas desventajas:

- Genera un impacto ambiental significativo, debido a la construcción y operación de los diques.
- No se tienen precaución en el cuidado ambiental en los bordes del río.
- Aumenta la probabilidad de los bordes del río.

En la construcción de estas obras se deben utilizar materiales con una resistencia muy elevada, ya que, debido a la condición de construcción, estos materiales deben resistir los caudales de los ríos en donde se los emplace. (Mojica & Manrique, 2008)

2.11.2 Extracción directa.

“Este método, es el más utilizado en las empresas y concesiones que se dedican a la explotación de materiales pétreos: Consiste en que la maquinaria utilizada para la explotación (retroexcavadoras, volquetas, entre otros) siga el cauce y dirección el río, para lo cual se necesita que las vías hacia los sectores de explotación estén en excelente estado; los volquetes son los encargados de transportar el material extraído del lugar de explotación a las zonas de stock y clasificación del mismo”. (Chile, 2004)

“Los bajos costos de explotación, la cantidad elevada de materiales extraídos, y el valor económico alto en la recaudación son las principales ventajas de este método”. (Chile, 2004)

2.11.3 Diques transversales.

“Es el método minero - ambiental más estable del campo ingenieril, puesto que además de lograr un mayor aprovechamiento del cauce natural del río, extraer material de arrastre o pétreo, aumentar la producción, logra generar impactos ambientales que no alteran considerablemente el estado actual del sector, es más, de acuerdo al diseño se puede generar impactos ambientales positivos ya que es muy propenso a la mejora del cauce del río, a la estabilidad de las laderas del río, al mantener en un ámbito técnico la sedimentación generada naturalmente en el río”. (Mojica & Manrique, 2008)

“Diques transversales es un método de explotación utilizado en la extracción del material de arrastre, que utiliza lo mínimo en recursos económicos proporcionando una mejor producción y manteniendo siempre una armonía con el medio ambiente” (Mojica & Manrique, 2008).

Los principales beneficios del método de explotación por diques transversales son:

- Un incremento significativo en la producción de material de arrastre depositado por el río (gravas, cantos y arena)
- Una reducción sustancial en los costos para la extracción del material
- Mitigación de los impactos ambientales producidos en el lecho y ribera del río.

En este método existen ciertas herramientas que para su correcta operación son básicas, estas son:

- Retroexcavadoras

- Volquetas para el carguío y transporte
- Herramientas manuales.

La capacidad de estas herramientas variará lógicamente de acuerdo a las condiciones geométricas del río en donde se emplazará el método. Es por esto que es muy importante estudios topográficos y batimétricos de la zona a explotar.

Es importante conocer la geología del sector, las dimensiones totales y reales del río, la topografía de la zona y su batimetría, el cauce y caudal del río estos datos son proporcionados por algunas entidades encargadas de la hidrografía e hidrogeología del país como: Servicio Meteorológico del Ecuador INAMHI, Secretaria Nacional del Agua SENAGUA.

El diseño de los Diques Transversales depende del caudal presente en el río de los cuales existen tres clases:

CAUDAL DE ESTIAJE O CAUDAL MÍNIMO	CAUDAL NORMAL O CAUDALES MEDIOS	CAUDALES EXTRAORDINARIOS
Este caudal obedece a períodos largos de sequía y corre por un canal que se denomina canal de estiaje.	Corresponde a condiciones climáticas tipo de la cuenca. Su caudal de recorrido toma el nombre de lecho natural y su capacidad es para las crecidas periódicas normales.	Rebasan el canal normal de crecida, transcurren por la llanura de inundación que en muchos lugares de nuestro territorio está siendo ocupado por la población y por cultivos agrícolas.

Tabla 6: Tipos de caudales de Río.

Fuente: Briones Sánchez, 1997.

TIPO DE CAUDAL	TIPO DE DIQUE
Caudal de estiaje	Dique de madera
Caudal Normal	Dique de gaviones
Caudal extraordinario	Diques de concreto

Tabla 7: Relación Dique/Caudal.

Fuente: Briones Sánchez, 1997.

“El diseño de los diques es similar, consiste en la colocación de una línea de rocas de sobre tamaño, cajones de madera o bloques de concreto, perpendiculares a la corriente del río y distanciados cada 50 metros, con el fin de retener el material conducido por la corriente, este

método para la extracción del material de arrastre o pétreo, es apropiado porque no altera el lecho ni las riberas del río” (Mojica & Manrique, 2008)

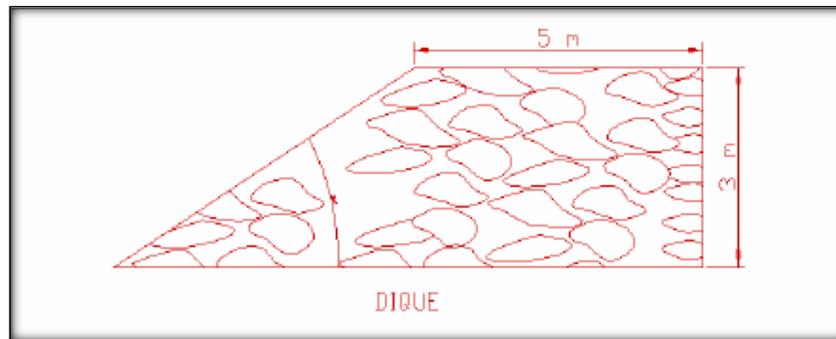


Figura 9: Dique tentativo para caudales normales o medios
Fuente: (Mojica & Manrique, 2008).

2.12 DIGITALIZACIÓN HEC – RAS 5.0

“Para el tratamiento de los datos recopilados en el campo se empleará el Software HEC-RAS, que está diseñado para realizar cálculos hidráulicos en una y dos dimensiones para una red completa de canales naturales y construidos. La siguiente es una descripción de las principales capacidades de HEC-RAS”. (US Army Corps of Engineers, 2011)

- Interfaz de usuario
- Componentes de análisis hidráulico
- RAS Mapper

2.12.1 Interfaz de usuario.

“El usuario interactúa con HEC-RAS a través de una interfaz gráfica de usuario (GUI). El enfoque principal en el diseño de la interfaz fue facilitar el uso del software, a la vez que mantiene un alto nivel de eficiencia para el usuario. La interfaz proporciona las siguientes funciones”. (US Army Corps of Engineers, 2011):

- Gestión de archivos
- Entrada y edición de datos
- Análisis hidráulicos
- Tabulación y pantallas gráficas de datos de entrada y salida
- Mapeo de inundaciones y animaciones de propagación del agua.
- Instalaciones de informes
- Ayuda sensible al contexto

2.12.2 Componentes de análisis hidráulico.

El sistema HEC-RAS contiene varios componentes de análisis de ríos para:

- Cálculos de perfil de superficie de agua de flujo constante.
- Simulación de flujo inestable unidimensional y bidimensional.
- Cálculos de transporte de sedimentos de frontera móvil.

“Un elemento clave es que los cuatro componentes utilizan una representación de datos geométricos comunes y rutinas de computación geométrica e hidráulica comunes”. (US Army Corps of Engineers, 2011)

“Además de estos componentes de análisis de ríos, el sistema contiene varias características de diseño hidráulico que pueden invocarse una vez que se calculan los perfiles básicos de la superficie del agua, un dato importante que cabe recalcar es el coeficiente Manning el cual nos da la elevación promedio en ríos libres de vegetación y son de forma lineal”. (US Army Corps of Engineers, 2011)

Descripción de la corriente	Mínimo	Normal	Máximo
A Cauces naturales			
A.1 Cursos secundarios (ancho de la superficie libre en crecida < 30 m)			
A.1.1 Cursos en planicies			
- Limpios, rectos, sin fallas ni pozos	0,025	0,030	0,033
- Rectos con algunas piedras y pastos	0,030	0,035	0,040
- Limpios con meandros, con algunos pozos y bancos	0,033	0,040	0,045
- Meandros con algunas piedras y pastos	0,035	0,045	0,050
- Meandros con muchas piedras	0,045	0,050	0,060
- Tramos sucios, con pastos y pozos profundos	0,050	0,070	0,080
- Tramo con mucho pasto, pozos profundos y cauce en crecida con muchos arbustos y matorral	0,075	0,100	0,150
A.1.2 Cursos montañosos, carentes de vegetación en el fondo, laderas con pendientes pronunciadas y árboles y arbustos en las laderas que se sumergen en niveles de crecida			
- Cauce de grava, cantos rodados y algunas rocas	0,030	0,040	0,050
- Cauce de cantos rodados, con grandes rocas	0,040	0,050	0,070
A.2 Cursos en planicies inundadas			
A.2.1 Zonas de pastos, sin arbustos			
- Pasto corto	0,025	0,030	0,035
- Pasto alto	0,030	0,035	0,050
A.2.2 Zonas cultivadas			
- Sin cultivo	0,020	0,030	0,030
- Cultivos sembrados en línea en fase de madurez fisiológica	0,025	0,035	0,045
- Cultivos sembrados a voleo en fase de madurez fisiológica	0,030	0,040	0,050
A.2.3 Zonas arbustivas			
- Escasos arbustos y pasto abundante	0,035	0,050	0,070
- Pequeños árboles y arbustos sin follaje (parada invernal)	0,035	0,050	0,060
- Pequeños árboles y arbustos con follaje (fase vegetativa)	0,040	0,060	0,080
- Arbustos medianos a densos durante la parada invernal	0,045	0,070	0,110
- Arbustos medianos a densos durante la fase vegetativa	0,070	0,100	0,160
A.2.4 Zonas arbóreas			
- Sauces densos, temporada invernal	0,110	0,140	0,200
- Terreno claro con ramas sin brotes	0,030	0,040	0,050
- Terreno claro con ramas con gran crecimiento de brotes	0,050	0,060	0,080
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación por debajo de las ramas	0,080	0,100	0,120
- Zonas de explotación maderera con árboles caídos, poco crecimiento en las zonas bajas y nivel de inundación que alcanza a las ramas	0,100	0,120	0,160
A.3 Cursos importantes (ancho de la superficie libre en crecida > 30 m)			
En este caso, los valores del coeficiente n son inferiores a los correspondientes de cauces secundarios análogos, ya que los bancos ofrecen una resistencia efectiva menor,			
- Sección regular sin rocas ni arbustos	0,025		0,060
- Sección irregular y rugosa	0,035		0,100

Figura 10: Coeficiente de rugosidad de Manning.

Fuente: (Ven Te Chow, 2004).

2.12.3 Perfiles de superficie de agua de flujo constante.

“Este componente del sistema de modelado está diseñado para calcular perfiles de superficie

de agua para un flujo constante y gradualmente variado. El sistema puede manejar una red completa de canales, un sistema dendrítico o un solo alcance de río. El componente de flujo constante es capaz de modelar perfiles de superficie de agua subcríticos, supercríticos y de flujo mixto”. (US Army Corps of Engineers, 2011)

“El procedimiento computacional básico se basa en la solución de la ecuación de energía unidimensional. Las pérdidas de energía se evalúan por fricción (ecuación de Manning) y contracción / expansión (coeficiente multiplicado por el cambio en la velocidad de la cabeza). La ecuación de impulso se puede utilizar en situaciones en las que el perfil de la superficie del agua varía rápidamente. Estas situaciones incluyen cálculos de régimen de flujo mixto (es decir, saltos hidráulicos), hidráulica de puentes y evaluación de perfiles en confluencias de ríos (uniones de arroyos)”. (US Army Corps of Engineers, 2011)

CAPÍTULO III MÉTODOS Y TÉCNICAS.

3.1 METODOLOGÍA.

Para obtener los objetivos planteados en este estudio, se acudió al empleo de la investigación científica.

La investigación documental, se recopiló información apoyándose en fuentes de carácter documental, como la bibliográfica y la archivista. (Rivero, 2008). Tomando en cuenta esto las características meteorológicas, el mapa de las formaciones geológicas y la geomorfología regional del Cantón Sucúa. Estudios realizados por el INAMHI, ECORAE, MAGAP, entre otros, que ayudaron a corroborar entre si la información sobre la zona de interés. La geología y tectónica regional en Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragan, R. (2004). Cuenca Oriente: geología y petróleo. Quito, Ecuador: Institut de Recherche pour le Developpement (IRD).

La investigación de campo, nos indica que se apoya en informaciones que provienen entre otras, de entrevistas, cuestionarios, encuestas y observaciones, la mayor parte de la información que se recolectó en esta fase fue a través de la observación, el levantamiento topográfico, levantamiento topo – batimétrico, geología local, trabajos de exploración (recolección de muestras de y/o suelos).

La investigación experimental, es el diseño experimental típico que se aplica en el laboratorio y posee dos características distintivas esenciales como el control o manipulación activa de una o más variables independientes y la utilización de una regla de asignación aleatoria para asignar a los sujetos a las condiciones de tratamiento.

La investigación descriptiva y de correlación, señala sus características y propiedades que permiten comprender cómo se puede comportar una variable conociendo el comportamiento de otras variables relacionadas (Díaz, 2009) se analizó los resultados y se emitieron tablas para indicar el volumen del material.

3.2 ESTUDIOS PREVIOS.

De acuerdo a informes técnicos de las zonas de interés, proporcionados por el departamento de áridos y pétreos del Municipio del cantón Sucúa, en la concesión minera Sera se establece una demanda de 140 000 m³ para el mejoramiento y mantenimiento vial del cantón y para la construcción de obras civiles, el volumen a extraer diario es de 400 m³. La forma de extracción del material pétreo es a cielo abierto en el lecho del río Upano, mediante un sistema continuo, de esta forma garantizan una gradual recuperación y se contribuye al control de los efectos negativos contra los márgenes de protección, el sistema de explotación que se encuentra

ejecutando es por franjas longitudinales de un ancho de 5 metros por 1,5 metros de excavación, todo esto se realiza dentro de una área de 20 hectáreas.

En la concesión minera Tuntaime la cual consta de 30 hectáreas mineras contiguas, tiene una demanda de 86 017,6 m³ de materiales áridos y pétreos los cuales se extraen directamente de terrazas aluviales del río Upano para la construcción de obras civiles.

3.3 TRABAJO DE CAMPO.

(Tupack, 2010) Nos indica que el trabajo de campo nos va a permitir descubrir en el terreno una serie de elementos importantes y que no fue posible determinar a través de la interpretación realizada mediante percepción remota.

Durante este proceso de obtención de información sobre el área de estudio (medición de datos en la zona de interés), la geomorfología local, se llevara a cabo la etapa de exploración (elección y ejecución de la malla de muestreo), la descripción de las terrazas y playas del lecho del río, se reconocerá la zona y se registrará la ubicación geográfica de todos los puntos de interés, como también de su relieve y composición.

El equipo con el que se realizará el trabajo estará compuesto por un GPS, libreta de campo, esferos, pintura, cantimplora, machete, mochila, cámara fotográfica, flexómetro (5 m), combo, bolsas para muestras, cinta métrica (50 m), estación total, un nivel de altimetría y una plomada.

Mediante el GPS delimitamos las zonas de interés con sus respectivas elevaciones, cuales fueron registradas por una bitácora, la cual se desarrolló por el autor, la cual está compuesta por los caracteres que se necesitaban para este proyecto.

3.3.1 Exploración.

Las campañas de exploración tienen por objetivo fundamental determinar la elevación (h), la medición del calado y la determinación de la posición de cada perfil para obtener una idea preliminar del relieve de dichas zonas. El modelado se realizó mediante el uso de un GPS modelo 64st Garmin, en las coordenadas UTM PSAD 56, mediante este trabajo se delimita el ancho, la longitud del cauce y las mediadas de la profundidad, para ello se ocupó el nivel alimétrico y la plomada en metros (S.I).

La modalidad del trabajo fue recorrer toda la zona de interés tomando coordenadas del perfil, datos del caudal como morfología, sedimentación y tipos los de deposiciones, como también identificar fuentes de agua, drenajes, vías, posibles lugares de muestreo, entre otros.

3.3.2 Selección de la malla de muestreo.

El tipo de muestreo seleccionado para aplicarlo en este trabajo es el muestreo dirigido y la

distancia entre punto de muestreo es de 100 metros en la zona de interés. Se eligió este tipo de muestreo debido a la topografía del lugar, cauce del río y con conocimiento de los datos, las formas del lecho del río, dirección, tipos sedimentación y bancos.

3.3.3 Ejecución de la malla de muestreo.

Las ubicaciones de los perfiles se establecieron de acuerdo a las coordenadas obtenidas en el campo por medio del GPS 64st Garmin, procediendo a tomar los valores de las dimensiones: altura (h), ancho (x) y profundidad (y).

La delimitación se realizó con marca de pintura roja al margen del río Upano, en las cuales se colocaba también sus respectivas coordenadas, midiendo el margen del espejo de agua con precipitación baja o caudal mínimo y de precipitación alta o con el margen de caudal máximo. Con la estación total se realizó la toma de elevaciones necesarias para luego poder realizar un mapa topográfico de la zona de interés con sus respectivas curvas de nivel.

Para el estudio batimétrico el equipo se instala en el costado del río, a fin de poder cruzar la sección desde una orilla hasta la otra se traza una línea con una cuerda que está anclada en ambos extremos del río, por aquella línea se mantendrá fijo el bote, el cual no permite obtener los datos requeridos para cada una de las de celdas de información en que se divide la sección.

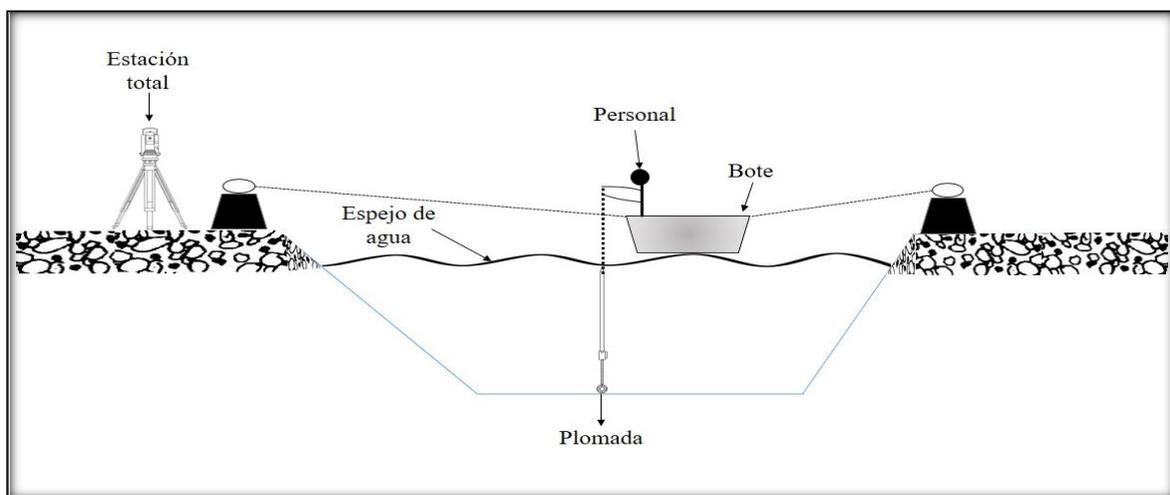


Figura 11: Toma de datos para la batimetría.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

El equipo mide la sección de forma continua del lecho del río, a diferencia de las verticales discretas empleadas en los métodos tradicionales.

Esto permite obtener datos muy precisos de batimetría, distribución del material, profundidad y anchura del caudal entre otros, de cortes verticales o secciones de interés. Para cada celda de superficie conocida, se medirá las secciones del caudal con una separación de 100 metros de sección a sección de manera longitudinal. Se utiliza un GPS con lo que se

pueden realizar batimetrías precisas, estudiar y cuantificar la distribución espacial de las secciones. En fin, el cálculo del caudal de las secciones estudiadas, integrando el caudal unitario de cada celda.

3.3.4 Tabulación de datos recolectados.

Los datos obtenidos en el campo se registraran en una bitácora, en la cual están registrados los caracteres que se necesita para la modelación digital del río como es la elevación del espejo de agua del río, coordenadas de los perfiles, ancho del cauce y profundidad del cauce, entre otros.

3.4 TOPOGRAFÍA.

Para elaboración del “Diseño de explotación para materiales pétreos de la concesión minera Tuntaimé y Sera” se debe conocer la superficie real del terreno, estudio que nos brinda la topografía, para ello se utilizó la estación total del GAD municipal del cantón Sucúa dirigida por el técnico del municipio y también como herramienta de apoyo el GPS en el sector que ocupa la concesión, los datos obtenidos con la estación total fueron correlacionado con una orto foto zona de interés la cual nos brinda las curvas de nivel la zona y con ayuda de la estación total y el GPS se pudo definir con mayor precisión las elevaciones de las curvas.

Al delimitar la zona de estudio obteniendo la información y las medidas necesarias se realiza el mapa topográfico en cual se encuentra las dimensiones de área de interés como también sus elevaciones, el cual nos permitirá realizar el diseño de explotación tomando en cuenta varios factores del entorno y así poder establecer el punto más adecuado donde se colocará los diques transversales tomando en cuenta el área de desalojo del material, área de maniobrabilidad para la maquinaria, como es también la zona de acceso y las elevaciones de las terrazas.

3.5 CAUDAL DEL RÍO UPANO.

El río Upano nace en las alturas de las lagunas Tinguichaca. Recibe como afluentes en su margen izquierda a los ríos Cugusha, Salado Grande, Salado Chico, Abanico, Domono, Copueno, Jurumbaino y Arapicos, y por su margen derecha a los ríos Anguchaca, Samingo, Sangay, Volcán y Yuquipa. En su recorrido de norte a sur forma el valle del mismo nombre. El río Upano luego de salir del Cantón sigue hacia el sur para unirse con el río Paute y formar el río Namangoza que se unirá con el río Zamora para formar el Santiago que desembocará en el Marañón.

Dentro del diseño de explotación en este caso de estudio es necesario entender que la “determinación de la carga de sedimentos esperada en el río a partir de la curva de duración de la carga anual de sedimentos de acuerdo con las condiciones climáticas e hidrológicas

esperadas para el año de explotación, así: para un año húmedo o de invierno la carga anual de sedimentos será aquella con permanencia del 25% para un año de caudales medios la carga tendrá una permanencia del 50% y para un año cálido o seco la carga con la permanencia concurrirá con el 75%.” (Gárate, 2016).



Figura 12-1: Río Upano en la Concesión Tuntaime.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.



Figura 12-2: Río Upano en la Concesión Sera.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

Según Briones Sánchez, Gregorio en su obra Aforo del Agua, 1997 el caudal pertenece a un caudal normal o caudal medio: corresponde a condiciones climáticas tipo de la cuenca. Su caudal de recorrido toma el nombre de lecho natural y su capacidad es para las crecidas normales periódicas.

TIPO DE CAUDAL	TIPO DE DIQUE
Caudal de estiaje	Dique de madera
Caudal Normal	Dique de gaviones
Caudal extraordinario	Diques de concreto

Los datos de los caudales son muy importantes en el desarrollo del diseño de los diques ya que en el caso específico del diseño de explotación para materiales pétreos de la concesión minera Tuntaime y Sera, se usarán diques de gaviones comprendidos acorde a las especificaciones técnicas sugeridas y al material existente en la concesión.

3.6 DISEÑO DE DIQUES TRANSVERSALES.

Se trazan secciones geológicas verticales en las que a intervalos regulares se representa la forma del depósito y el área que ocupa en cada sección y dentro del hueco proyectado. La reserva se calcula multiplicando el área de cada sección por la equidistancia entre ellas y sumando a continuación los volúmenes obtenidos, como se muestra en la Figura 13. Es el método más utilizado junto con el del modelo de bloques.

$$(1) VT = \sum A1 * L1$$

Donde:

VT = Volumen total de áridos (m³)

A1 = Área del depósito en la sección S1 (m²)

L1 = Espesor del bloque representado por la sección S1 (m)

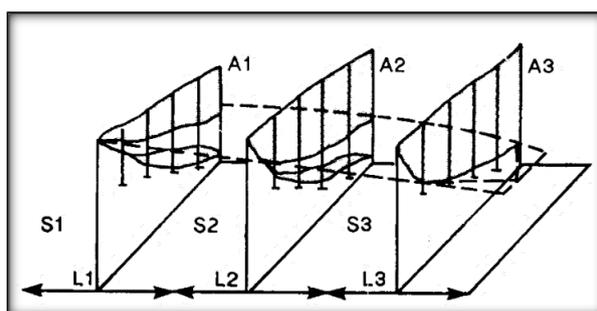


Figura 13: Perfil de diques transversales.

Fuente: Vadillo. F, & D' Lucas. López. (Mojica & Manrique, 2008).

Después de haber analizado el caudal del río Upano y siguiendo las especificaciones técnicas en la construcción de los diques transversales, la construcción de los mismos se hará con diques de gaviones longitudinales al espejo de agua y a la corriente de río.

El ancho del dique se obtiene por la siguiente expresión:

$$AD = AE + (2 * \text{FACTOR DE SEGURIDAD})$$

Fuente: (Gárate, 2016) De donde:

AD= ancho del dique

AE= ancho de la excavadora

Factor de seguridad = ancho de la excavadora.

Este factor de seguridad es esencial en la construcción del dique ya que cada obra transversal tendrá dos frentes de explotación.

Para la elaboración de este proyecto se tomó las características de la excavadora case CX210B, maquinaria que pertenece al GAD de cantón Sucúa.

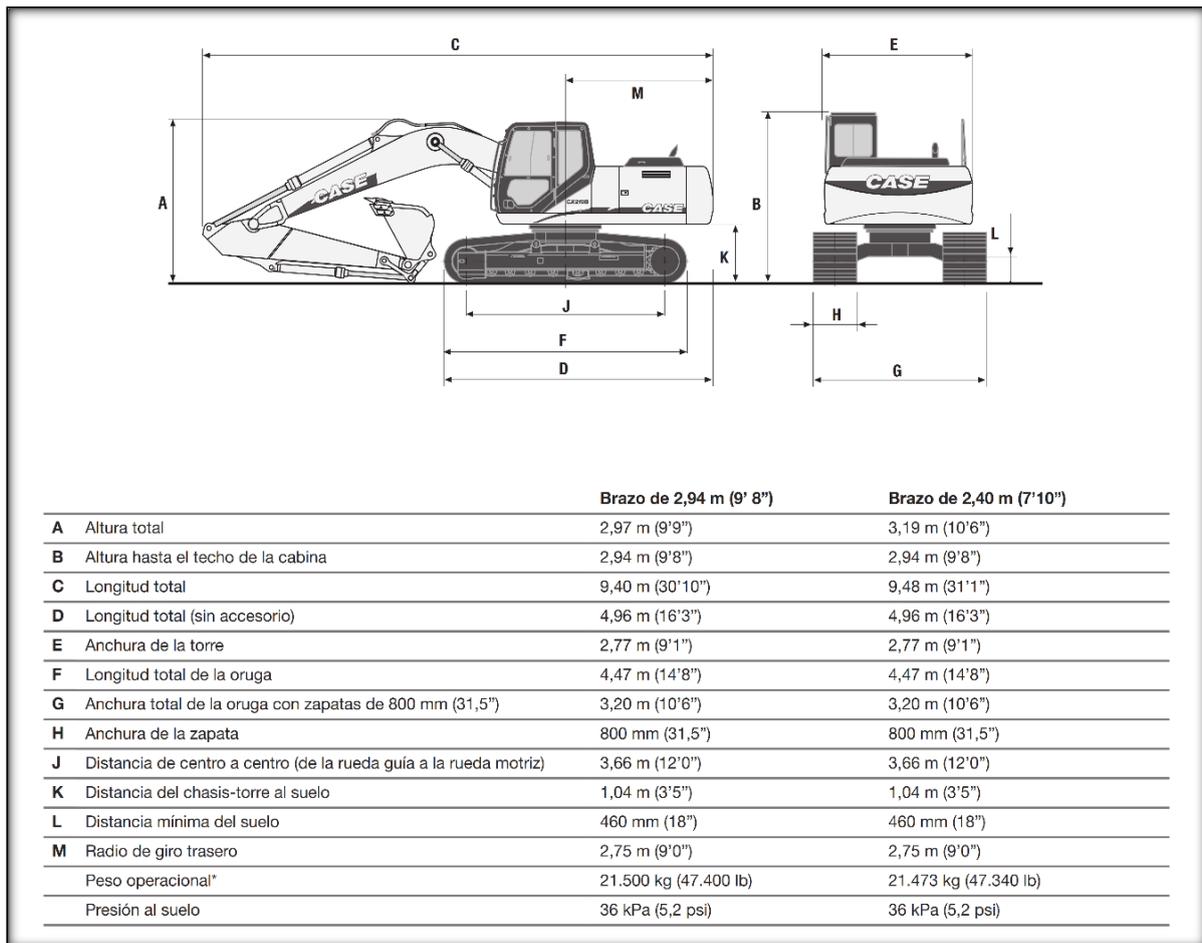


Figura 14 - 1: Características de la excavadora case CX210B.

Fuente: (Encarte CX210B - CCE-C1B-E01.indd 2).

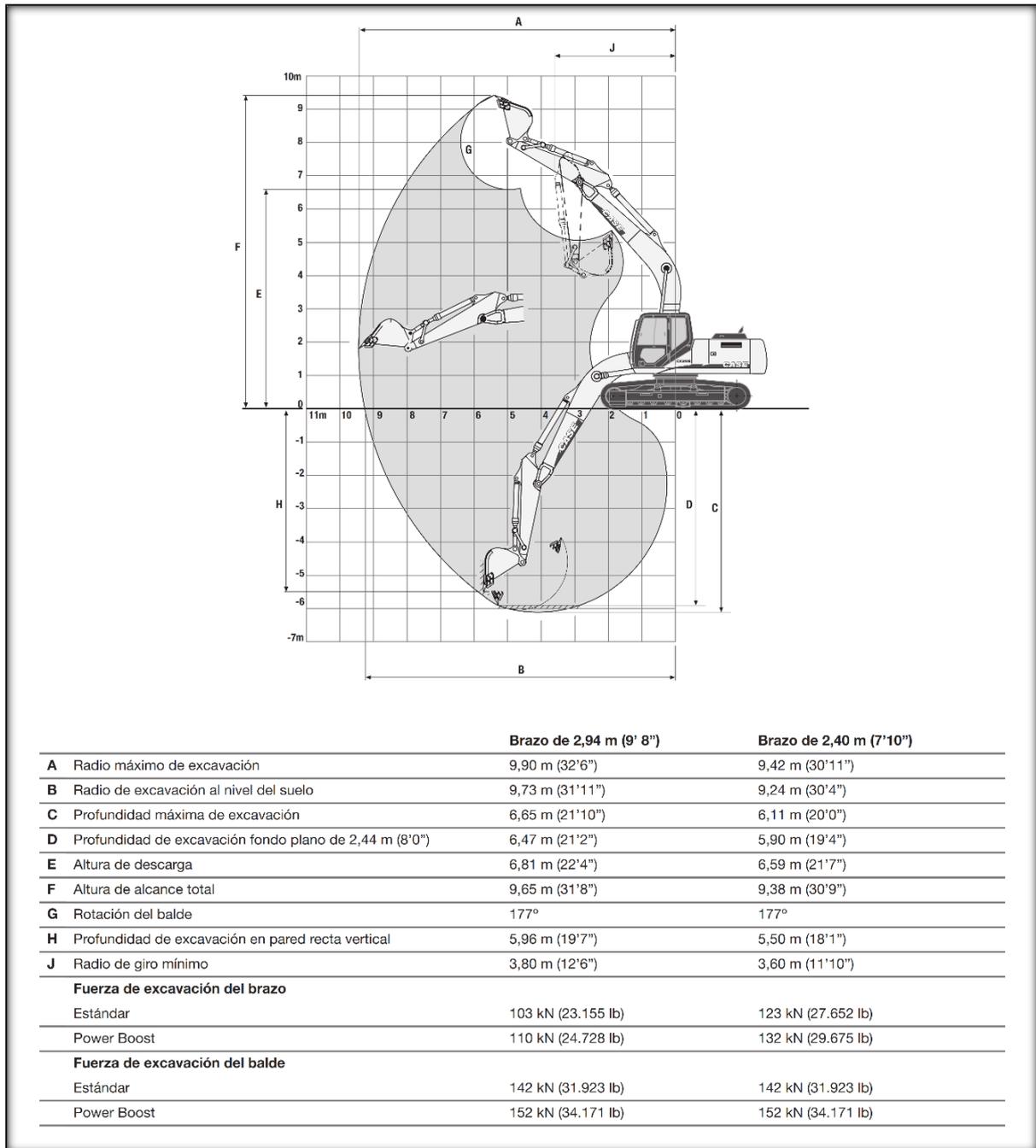


Figura 14 - 2: Datos de rendimiento de la excavadora case CX210B.

Fuente: (Encarte CX210B - CCE-C1B-E01.indd 2).

Según la topografía obtenida y conociendo el sector en donde se emplazará la construcción de las obras transversales, tendremos:

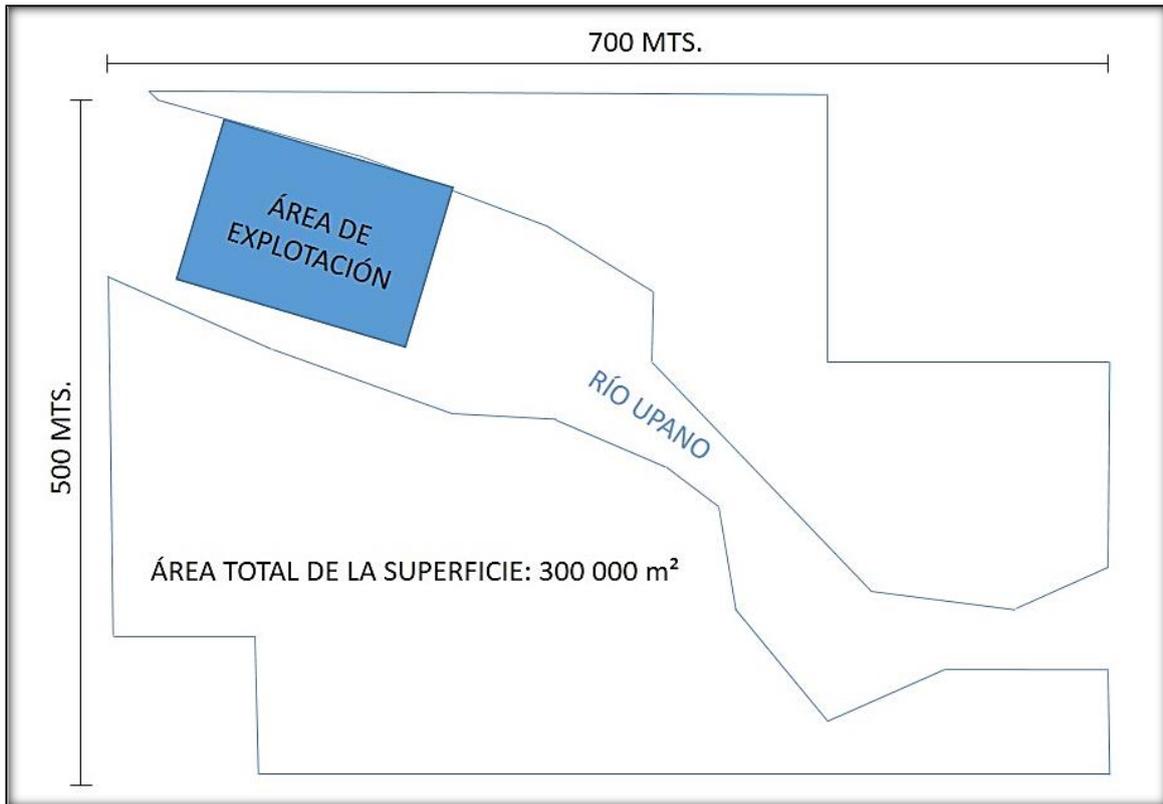


Figura 15-1: Superficie - Río Upano de la concesión minera Tuntaime.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

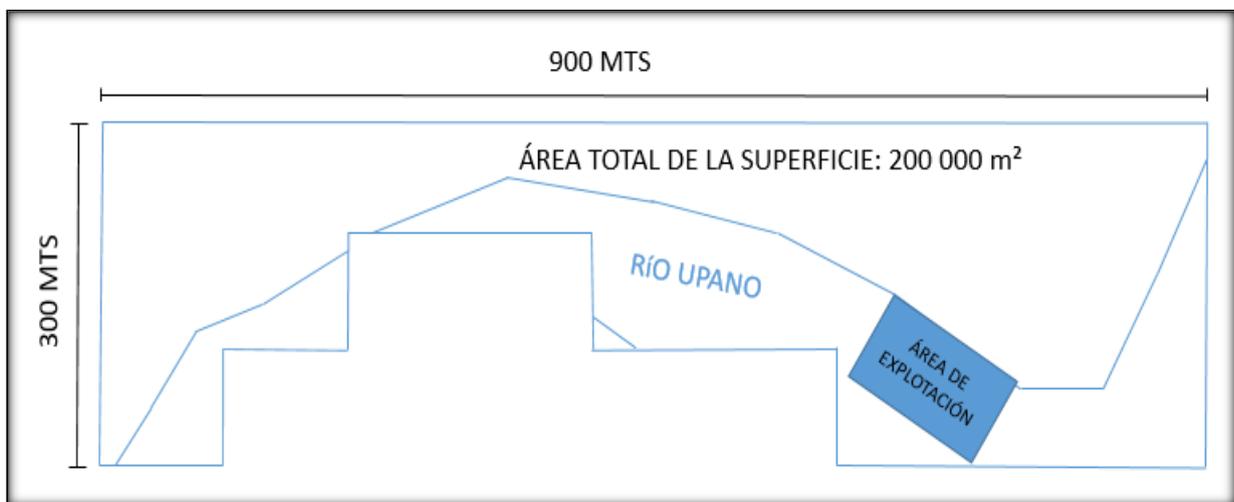


Figura 15-2: Superficie - Río Upano de la concesión minera Sera.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

Tomando en cuenta las características técnicas sugeridas por los autores, se desarrollará la construcción de las obras civiles cada 50 m.

Dentro de la superficie aprovechable y la zona más estable, se tomó la decisión de realizar la construcción de 3 diques transversales en el sector, esto debido a que el comportamiento del río y el área concesionada no nos permiten realizar más diques.

Los diques estarán diseñados siguiendo líneas específicas en:

Cuidado ambiental:

- Cumpliendo con factores de cuidado de los márgenes del río
- Previendo la erodabilidad de los márgenes del río
- Sin impacto visual en la zona de explotación
- Cuidando el cauce normal del río

Factores Técnicos:

- Cumpliendo con factores de seguridad estandarizados
- Delimitando la explotación
- Cuidando el BedRock
- Aprovechando la corriente del río
- Longitudinalmente guardando y preservando los márgenes del río

Factores operacionales:

- Utilizando la maquinaria existente en la concesión
- Utilizando la mano de obra necesaria
- Utilizando caminos ya construidos existentes en la concesión

3.7 CONSTRUCCIÓN DE LOS DIQUES.

La materia prima que se estableció para la construcción de los diques son los de materiales de sobre tamaño de la explotación y rocas existentes en la zona con un tamaño mayor a 50 cm y para su encaje rocas con tamaños entre 20 y 50 cm, este tipo de rocas existen en la zona, y, es una manera de aprovechar y optimizar los recursos de la zona.

3.7.1 Profundidad del espejo de agua.

De acuerdo al levantamiento topográfico del río y las normas de seguridad y de protección en el ambiente, de acuerdo a la situación actual de la concesión tendremos diferentes profundidades:

MINA TUNTAIME	
Profundidad del Espejo de Agua	Metros (m)
Dique 1	2.43
Dique 2	1.72
Dique 3	1.73

Tabla 8-1: Profundidad del Espejo de Agua – Mina Tuntaime.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

MINA SERA	
Profundidad del Espejo de Agua	Metros (m)
Dique 1	2.2
Dique 2	1.46
Dique 3	1.33

Tabla 8-2: *Profundidad del Espejo de Agua – Mina Sera.*
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

En las tablas nos damos cuenta que existe una zona en la parte superior de cada concesión en donde el río es más profundo por ende los primeros diques tienen más profundidad, esto a su vez se convierte en una ventaja ya que por factores de diseño este dique aseguraría el arrastre y sería una protección para los otros diques.

Para este diseño de explotación por diques transversales cabe recalcar que es muy importante entender las condiciones climáticas ya que la determinación de la carga de sedimentos esperada en el río, su carga anual de sedimentos de acuerdo con las condiciones climáticas e hidrológicas esperadas para el año de explotación.

3.7.2 Ancho del dique.

El ancho del dique se obtiene por la siguiente formula:

$$AD = AE + (2 * FACTOR DE SEGURIDAD)$$

Fuente: (Gárate, 2016) De donde:

AD= ancho del dique

AE= ancho de la excavadora

Factor de seguridad= ancho de la excavadora que se va a ocupar.

Este factor de seguridad es esencial en la construcción del dique ya que cada obra transversal tendrá dos frentes de explotación.

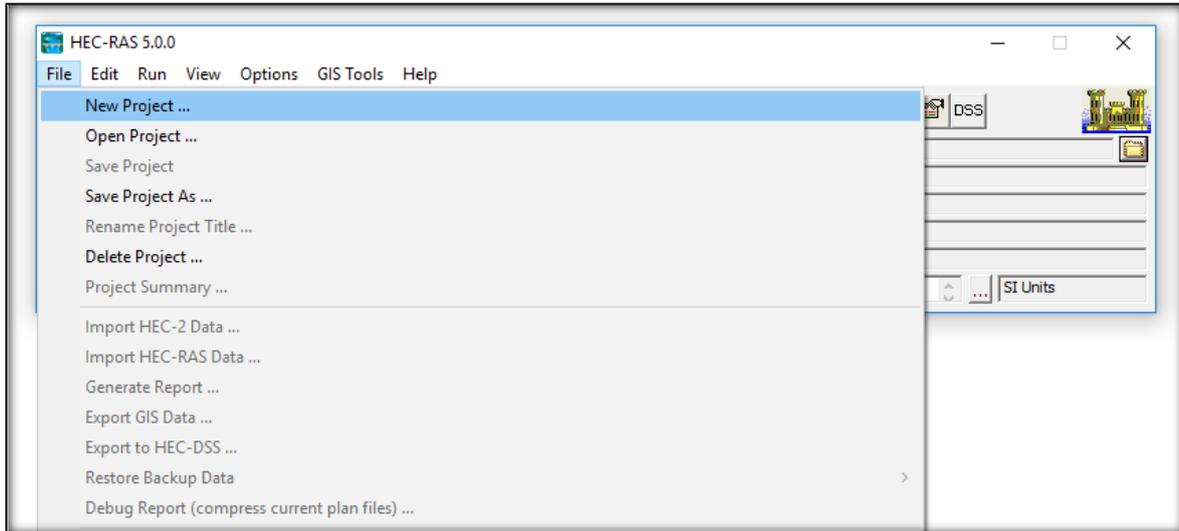
Como se observa en la tabla 2 (tabla de precipitación promedio) se determina que el promedio de precipitación de la cuenca del río Upano es de 236,35 mm, para nuestro estudio se puede afirmar que en transcurso del año la precipitaciones importantes, teniendo en cuenta que las son las del mes de enero, marzo, abril, mayo, junio, julio y diciembre son las más altas y mantienen un promedio entre ellas.

3.8 TRABAJO DE OFICINA.

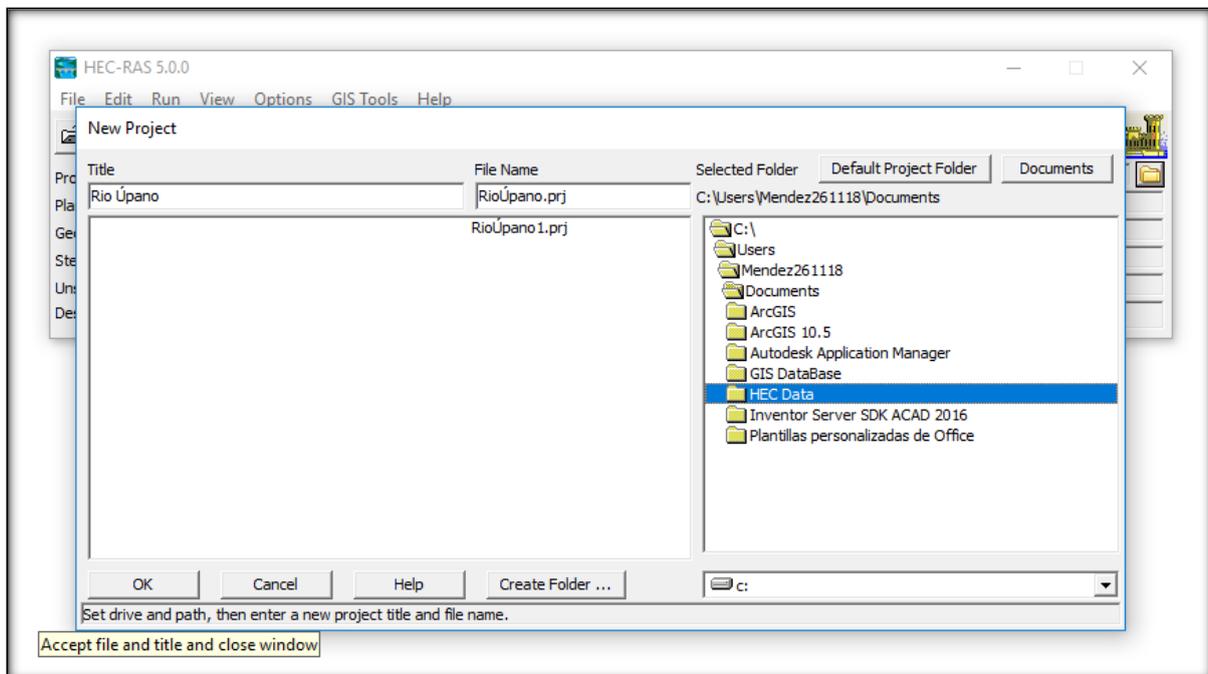
3.8.1 Procesado de la información.

Para la digitalización de las secciones ocupamos el programa HEC – RAS 5.0, para ello lo realizamos mediante los siguientes pasos:

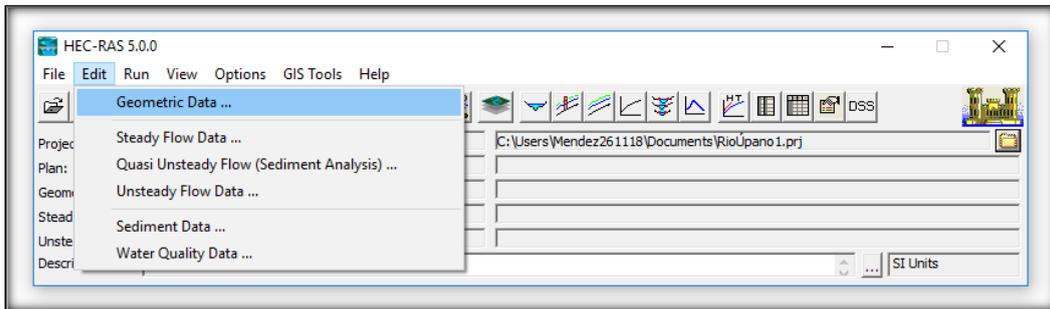
- Abrimos HEC – RAS versión 5.0, presionamos File y luego New Project.



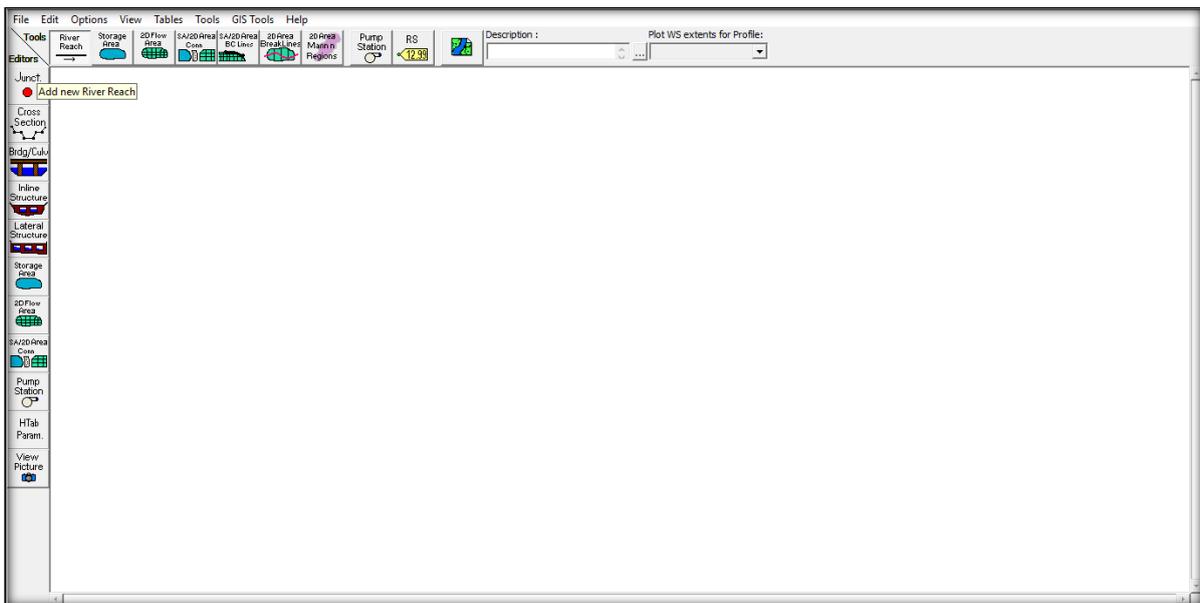
- Colocamos el nombre del proyecto, seleccionamos el lugar donde vamos a guardar el archivo y presionamos OK.



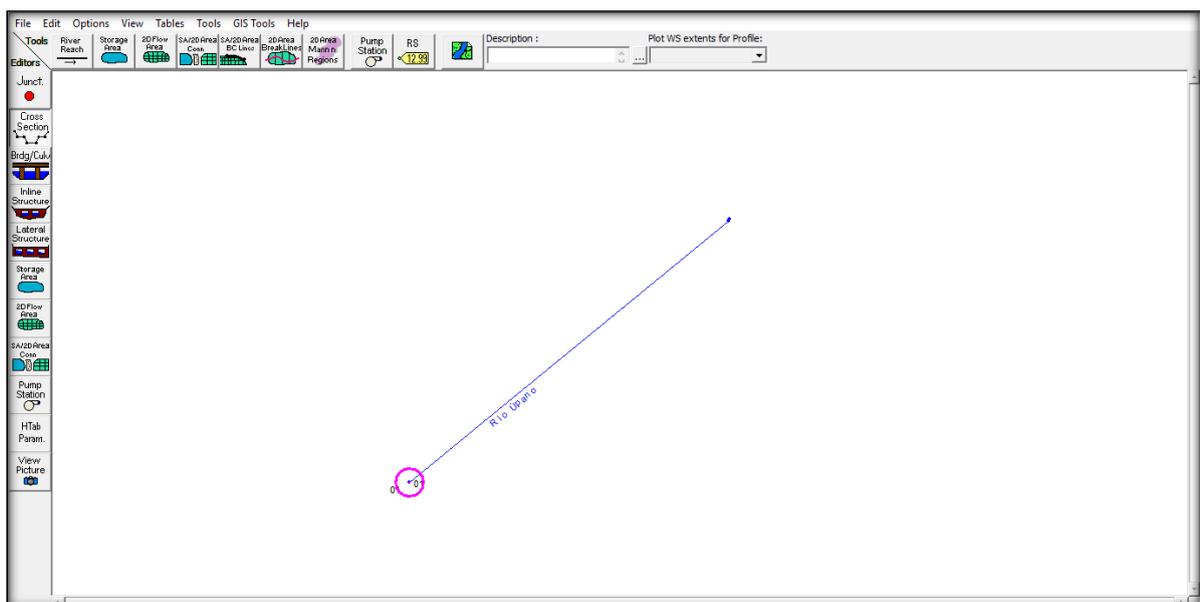
- Luego vamos a Edit, presionamos Geometric Data.



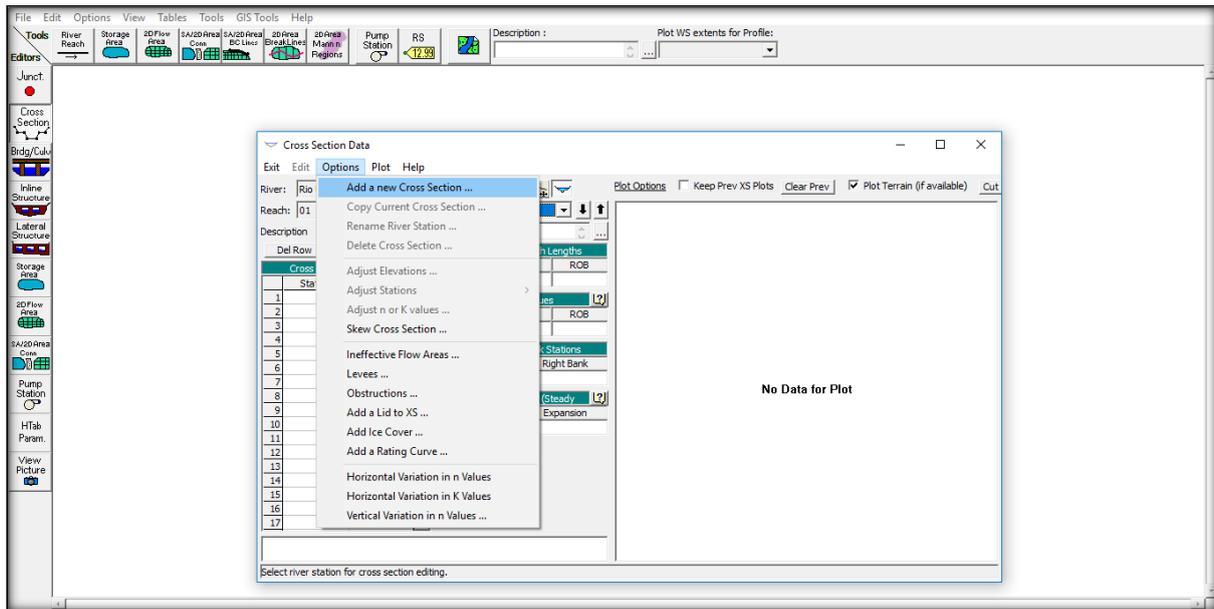
- Presionamos River Reach, dibujamos el tramo del río que vamos hacer.



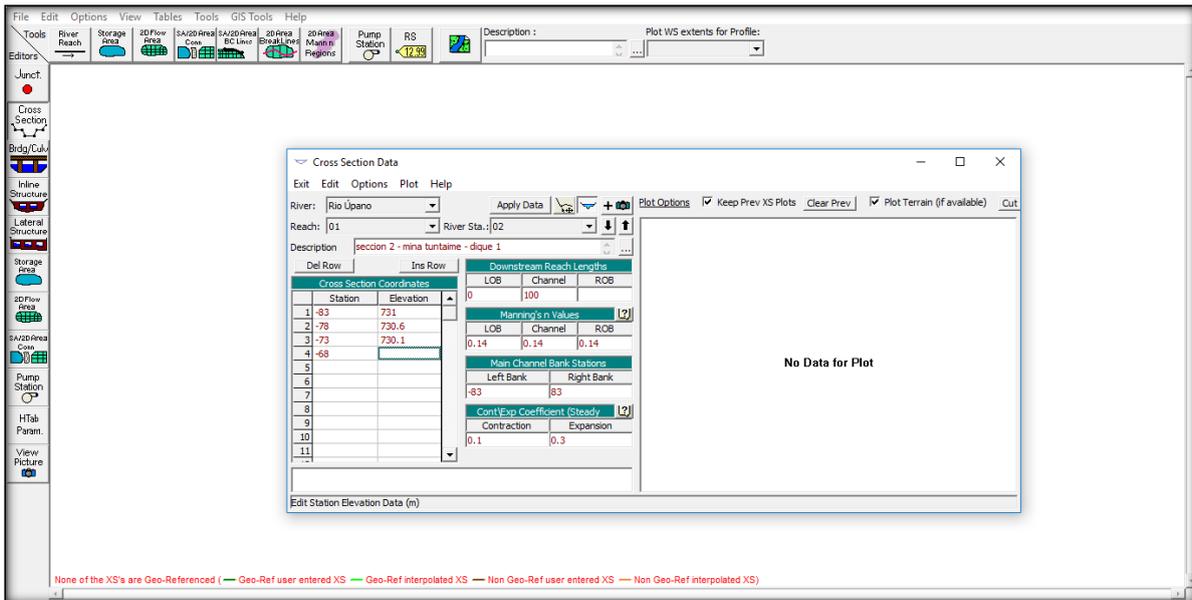
- Presionamos Cross Section para construir las secciones del río.



- Luego en Cross Section seleccionamos Options, Add a new Cross Section para añadir una sección al río, la cual será sección 01.



- Ingresamos una descripción al río “Sección 01 – Mina Tuntaime, como será la primera sección, la distancia entre secciones será de 0 por ser el punto de partida del tramo del río, el coeficiente Manning es de 0,14 que en la metodología ya describe la razón de el porque se utiliza en este valor, las estaciones del río van desde -74 a 74 en este caso debido a que el río tiene un ancho de 148 metros en esta sección (las estaciones siempre tienen la misma distancia y van de negativo a positivo, siempre van en números enteros), luego ingresamos cada estación con su respectiva elevación, las estaciones tienen un intervalo de 5 metro ya que esa fue la distancia con la cual se fue tomando cada profundidad, una vez termina de ingresar los datos de cada una de las estaciones y elevaciones presionamos Apply Data y se nos presenta el perfil de la figura 19–1.
- Terminada la sección 01, repetimos el procedimiento para la sección 02 con la diferencia que en la distancia de sección a sección es de 100 metros que es la distancia en la que se realizó la toma de datos de cada una de las secciones del río.



Una vez realizado los perfiles de cada sección podemos realizar el cálculo de las reservas, sin duda alguna la cubicación de las reservas, es la labor que adquiere un carácter más crítico, pues nos permitirá describir las características generales del área de extracción, en cuanto a la cantidad de material que tenemos a disposición para ser extraído, así como la morfología de los cuerpos en el interior del río, su geometría y así poder establecer la zona de depósito de cada uno de los materiales pétreos de interés.

3.8.2 Obtención de perfiles.

Mediante el empleo del software AutoCAD 2016 y los datos obtenidos de la geometría del río, se realiza los perfiles laterales del río en cada área de estudio, con la cual se puede analizar, comprender y explicar el comportamiento del río Upano y para luego interpretar su comportamiento en los perfiles de cada sección de la batimetría. Cabe recalcar que las mediciones se realizaron en temporadas de baja precipitación, en el estudio se determinó que los 5 días siguientes de luna llena es cuando menor precipitación existe y los días de mayor precipitación son días del cambio de luna (cuando 'NO' hay luna), pero también existe una grandes áreas de deposición de arena en las playas donde se encuentra un remanso o la unión de dos brazos del mismo río, debido a su incremento de acumulación de agua el río tiende a tener una disminución de corriente y una mayor concentración de arenas y materiales finos.

3.8.3 Cálculo de reservas.

Si bien las labores de muestreo y la determinación de la ley media ocupan un lugar muy importante en la evaluación de los recursos minerales, sin duda alguna la cubicación de las

reservas, es la labor que adquiere un carácter más crítico, pues va a permitir avanzar con las características generales del yacimiento en cuanto a las toneladas de metal/mineral útil presentes, así como la morfología de los cuerpos mineralizados, lo que incidirá, posteriormente en el método minero a elegir. (Bustillo & López, 1997).

3.8.3.1 Selección del método para el cálculo de reservas.

El método elegido para realizar el cálculo de las reservas es uno de los métodos clásicos o geométricos conocido como método de los perfiles. Se ha elegido este método debido a que nos indica que posee varias ventajas como la facilidad de aplicación, comunicación y entendimiento, y facilidad de adaptación a todo tipo de mineralización. (Carras, 1987).

CAPÍTULO IV

INTERPRETACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.

4.1 ANÁLISIS BATIMÉTRICO

La obtención de los datos nos brindó la información necesaria para poder caracterizar el área del proyecto, como son su ubicación exacta, sus dimensiones, curvas de nivel, tipo y forma de yacimiento según su deposición y en dependencia de su arrastre, las características del material de interés tanto cuantitativa como cualitativa para poder realizar la modelación de la zona de estudio.

En la figura 16 observamos el modelo tridimensional, en el cual se puede ver la variación de elevación, el área de estudio no presenta grandes cambios debido a que el color de los contornos de los cuerpos no presentan un cambio brusco de tonalidad. Las zonas de estudio presenta grandes terrazas de material pétreo donde se puede observar la deposición del materiales en dependencia de la corriente y el arrastre del río, existen terrazas aluviales con elevaciones de hasta 1,5 metros con respecto al espejo de agua.

En la figura 17-1 la elevación más alta en la concesión minera Tuntaime es de 810 msnm y la más baja de 720 msnm. En la concesión minera Sera figura 17-2 la elevación es menor debido a que se encuentra más hacia el sur debajo del nivel de la concesión Tuntaime, la elevación más alta en la concesión minera Tuntaime es de 760 msnm y la más baja de 698 msnm.

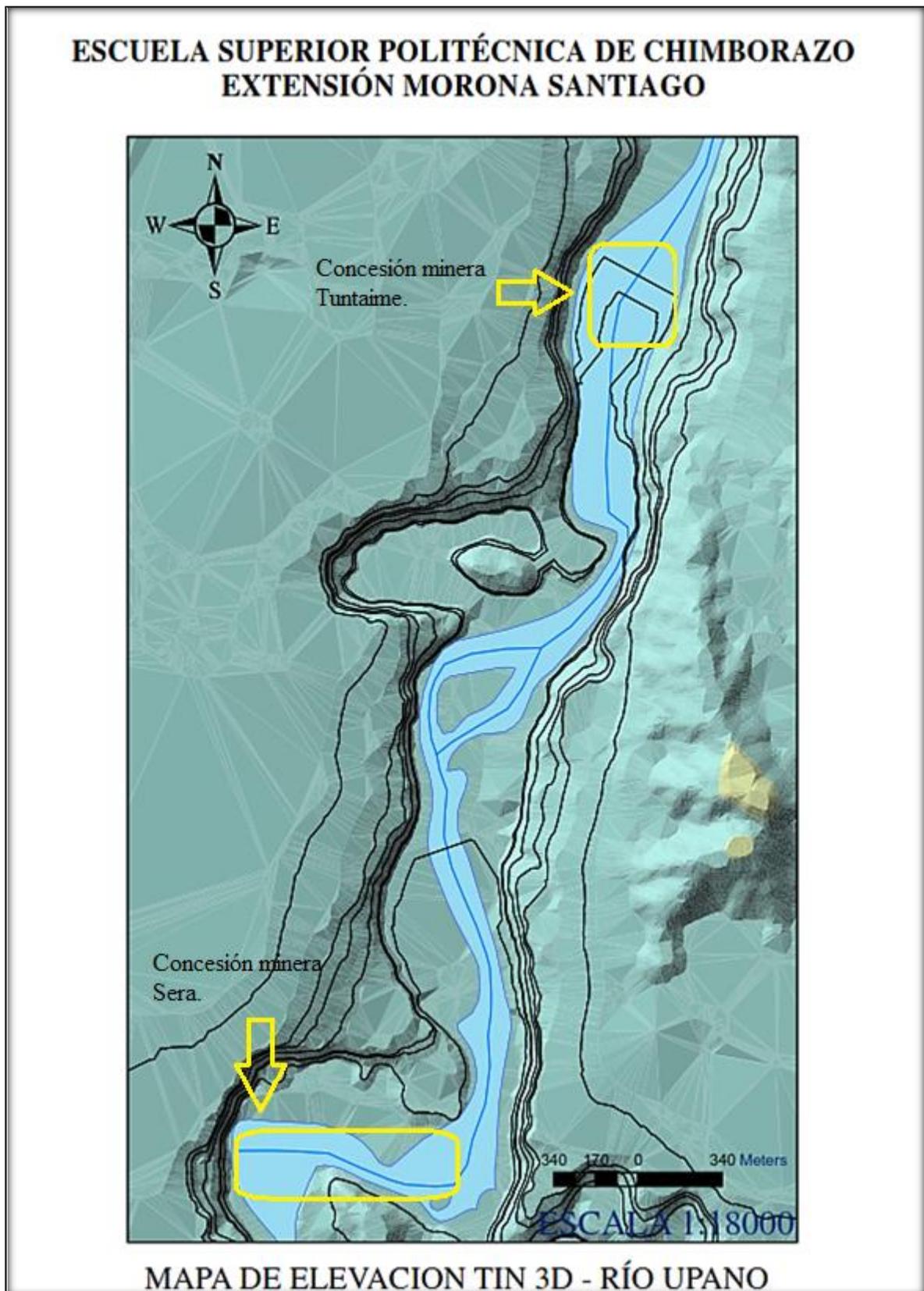


Figura 16: Mapa geométrico tridimensional.

Elaborado por: Méndez, D. 2019.

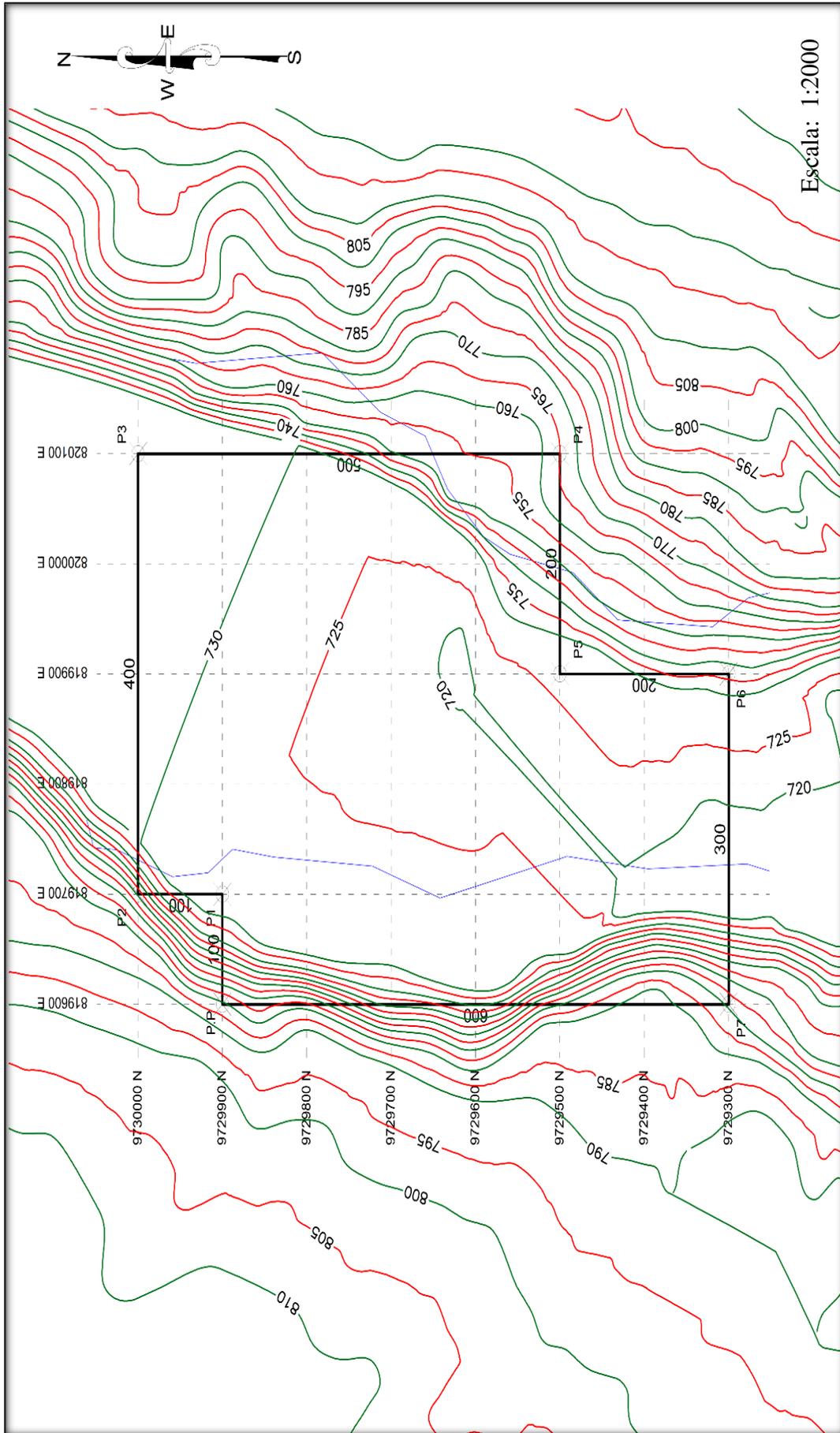
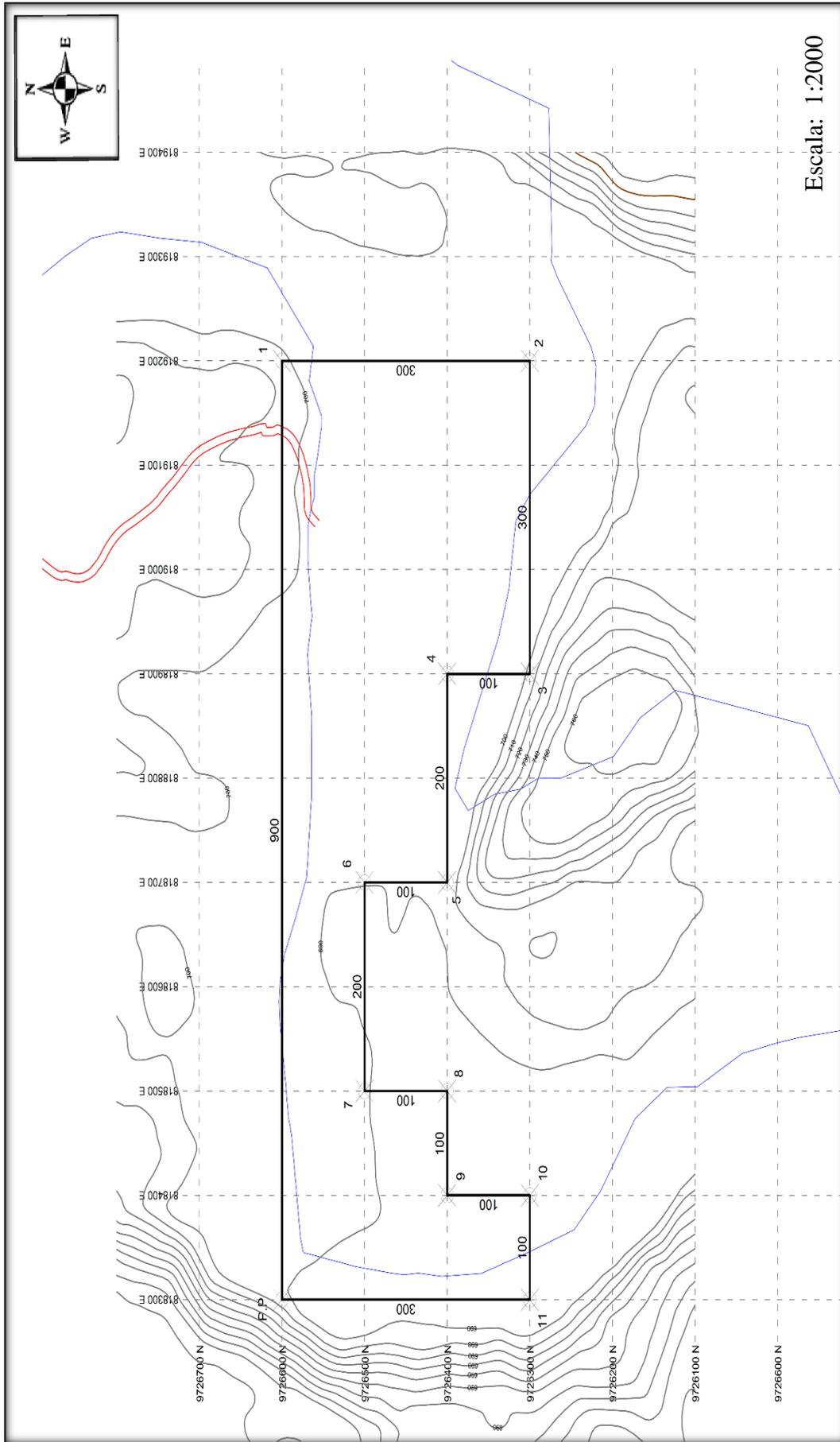


Figura 17-1: Mapa topográfico concesión minera Tuntaipe.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.



**Figura 17-2: Mapa topográfico concesión minera Sera.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.**

Para la elaboración del diseño y cálculos de los diques se realizó mediante fórmulas ya establecidas, donde cada sección es dividida verticalmente, para luego calcular su área, los intervalos de cada sección por motivos de seguridad y prevención de impacto ambiental y visual se realizó cada 50 metros, la reserva se calculó multiplicando el área de cada sección por la equidistancia entre ellas y sumando a continuación los volúmenes obtenidos.

Una vez obtenido los datos necesarios se puede realizar los cálculos para el ancho del dique:

# DIQUE	AREA DEL DIQUE	COORDENADAS		DISTANCIA ENTRE DIQUES
		X	Y	
Dique 1	129,74 m ²	819 930	9 726 900	50 m.
Dique 2	104,28 m ²	819 878	9 726 850	50 m.
Dique 3	115,19 m ²	819 827	9 726 800	50 m.

Tabla 9-1: Dimensiones de los dique mina Tuntaime.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

$$VT = \sum A1 * L1$$

$$VT = (129,74 \text{ m}^2 + 104,28 \text{ m}^2 + 115,19 \text{ m}^2) * 50\text{m}$$

$$VT = 349,21 \text{ m}^2 * 50\text{m}$$

$$VT = 17460,5 \text{ m}^3$$

Donde:

VT = Volumen total de áridos (17460,5 m³).

A1 = Área del depósito en la sección (349,21 m²).

L1 = Espesor del bloque representado por la sección (50 m).

# DIQUE	AREA DEL DIQUE	COORDENADAS		DISTANCIA ENTRE DIQUES
		X	Y	
Dique 1	180 m ²	819 000	9 726 343	50 m.
Dique 2	82,45 m ²	819 950	9 726 390	50 m.
Dique 3	70,33 m ²	818 900	9 726 438	50 m.

Tabla 9-2: Dimensiones de los dique mina Sera.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

$$VT = \sum A1 * L1$$

$$VT = (180 \text{ m}^2 + 82,45 \text{ m}^2 + 70,33 \text{ m}^2) * 50 \text{ m}$$

$$VT = 332,78 \text{ m}^2 * 50 \text{ m}$$

$$VT = 16,639 \text{ m}^3$$

Donde:

VT = Volumen total de áridos (16,639 m³).

A1 = Área del depósito en la sección (332,78 m²).

L1 = Espesor del bloque representado por la sección (50 m).

Los cálculos se realizaron en dependencia de las dimensiones de la máquina excavadora Case CX210B, el cálculo del ancho del dique será la misma en las dos áreas de estudio debido a que se ocupará la misma maquinaria, cabe recalcar que el GAD de Sucúa posee otra excavadora pero es de dimensiones más pequeñas la excavadora Daewoo SOLAR S220LC-V, debido a ello el cálculo será el mismo con las características de la excavadora Case CX210B con la fórmula que ya estableció con anterioridad en la metodología:

$$AD = AE + (2 * \text{FACTOR DE SEGURIDAD})$$

$$AD = 3,20 \text{ m} + (2 * 3,20 \text{ m})$$

$$AD = 9,6 \text{ m}$$

Fuente: Gárate, 2016

De donde:

AD= ancho del dique 9,6 m. = por cuestión de seguridad 10 metros.

AE= ancho de la excavadora 3,2 m.

Factor de seguridad = ancho de la excavadora 3,2 m.

4.2 ANÁLISIS DE PERFILES LATERALES.

Mediante la digitalización de los perfiles laterales figuras 18-1 y 18-2 de cada una de las concesiones, se pudo identificar zonas de socavación con profundidades de hasta 8 metros en la concesión Tuntaimé debido a una gran roca existente en el medio de cauce provocando la socavación a su alrededor, en la concesión Sera la profundidad máxima con respecto al espejo de agua es de 3 metros, en su mayoría son en los choques del río con una peña formando remansos en su mayoría, en lugares donde se encajona el cauce del río tiende a ser de un

caudal rápido y profundo, el material que se deposita es de dimensiones mediano – grueso, en las partes donde el río es más ancho y de poca profundidad existen depósitos de materiales medianos , la deposición de arenas en las orillas son en las zonas donde el río es ancho y profundo.

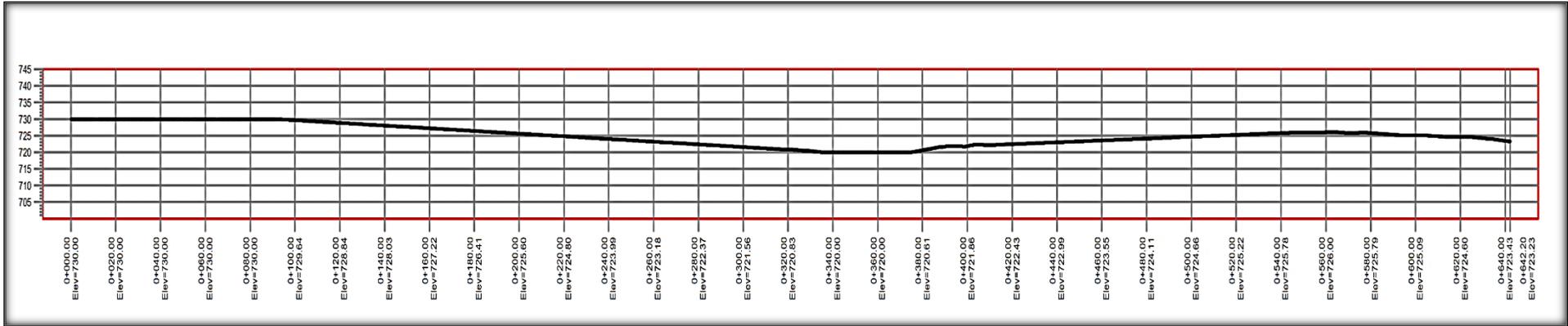


Figura 18-1: Perfil del Río Upano en la Concesión Minera Tuntaime – vista margen derecho.

Elaborado por: Méndez, D. 2019.

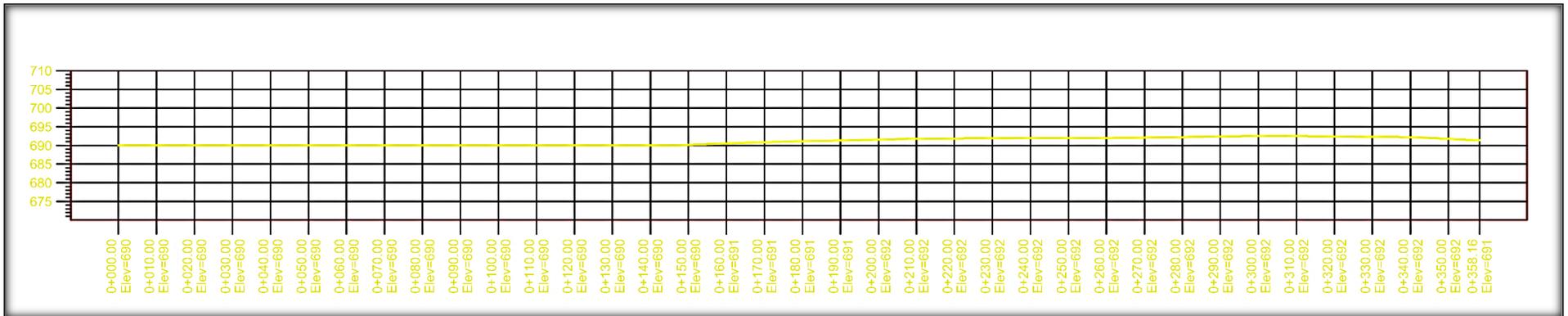


Figura 18-2: Perfil del Río Upano en la Concesión Minera Sera – vista margen izquierdo.

Elaborado por: Méndez, D. 2019.

4.3 INTERPRETACIÓN DE LOS PERFILES BATIMÉTRICOS.

Una vez obtenidos los datos para plasmar la geometría del río en un perfil digital, como son la elevación del espejo de agua, el ancho del río y su profundidad se procedió, en dependencia del tipo de caudal, el coeficiente de Manning es de 0,14, con estos y con ayuda del programa HEC – RAS se procedió a realizar la gráfica de las secciones tomadas en cada una de las áreas de estudio:

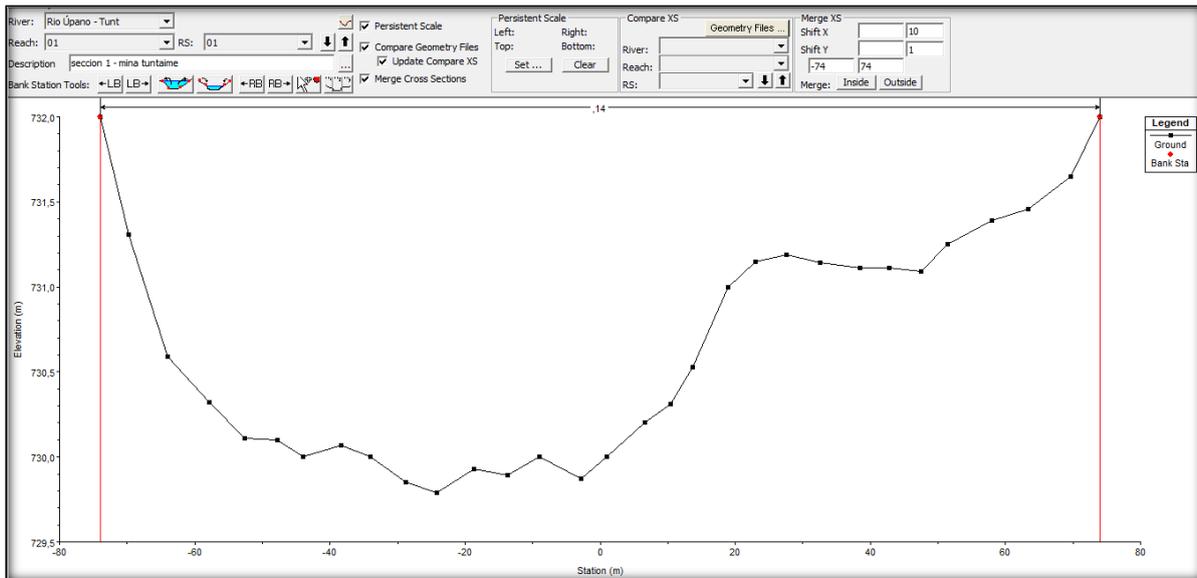


Figura 19-1: Perfil batimétrico de la sección 1– Concesión minera Tuntaime.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

En la figura 19-1 podemos ver que el perfil batimétrico de la sección 1 de la concesión minera Tuntaime, el cual tiene una geometría isométrica debido a que tiene la misma distancia de eje y su elevación de la superficie es la misma en cada extremo pero su distribución dentro del río no es la misma, el ancho del río en este punto es de 148 metros y tiene una profundidad máxima de 2.2 metros con respecto al espejo de agua, estas dimensiones y geometría de la sección nos da una acumulación de material medio – grueso, con una velocidad de caudal lenta.

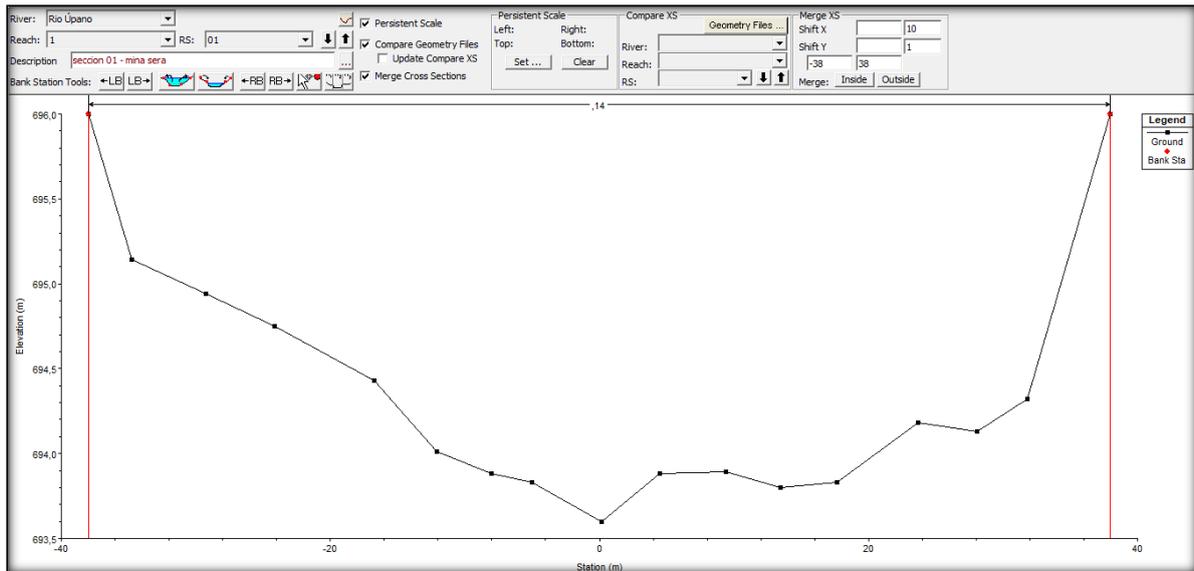


Figura 19-2: Perfil batimétrico de la sección 1– Concesión minera Sera.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

En la figura 19-2 podemos ver que el perfil batimétrico de la sección 1 de la concesión minera Sera, el cual tiene también una geometría isométrica, el ancho del río en este punto es de 78 metros y tiene una profundidad máxima de 2.4 metros, al ser más angosto el agua tiende a ganar velocidad estas, debido a estas dimensiones y geometría de la sección nos da una acumulación de material grueso, con una velocidad de caudal medio - rápida.

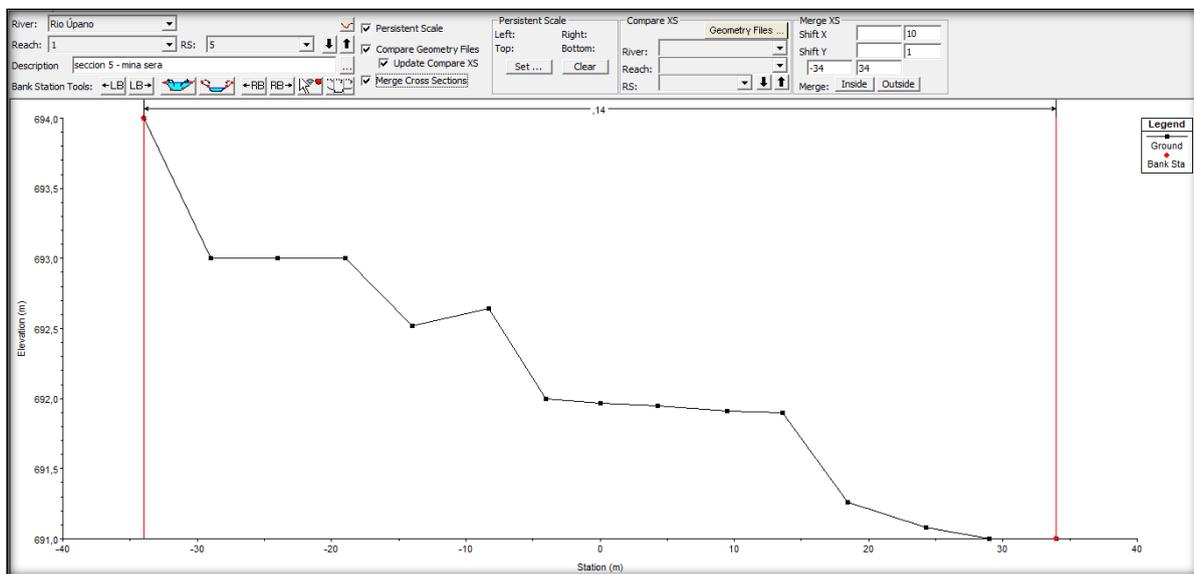


Figura 20: Perfil batimétrico de la sección 5– Concesión minera Sera.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

En la figura 20 podemos ver que el perfil batimétrico de la sección 5 de la concesión minera Sera, el cual tiene también una geometría asimétrica, debido a que tiene la misma distancia de eje, pero la elevación de cada extremo de la superficie no es la misma ya que su extremo tiene contacto con la peña, el ancho del río en este punto es de 68 metros y

tiene una profundidad máxima de 3 metros, al ser más angosto el agua tiende a encajonarse en uno de sus extremos y a ganar velocidad, debido a estas dimensiones y geometría de la sección nos da una acumulación de material grueso, con una velocidad de caudal rápida al extremo que tiene contacto con la peña.

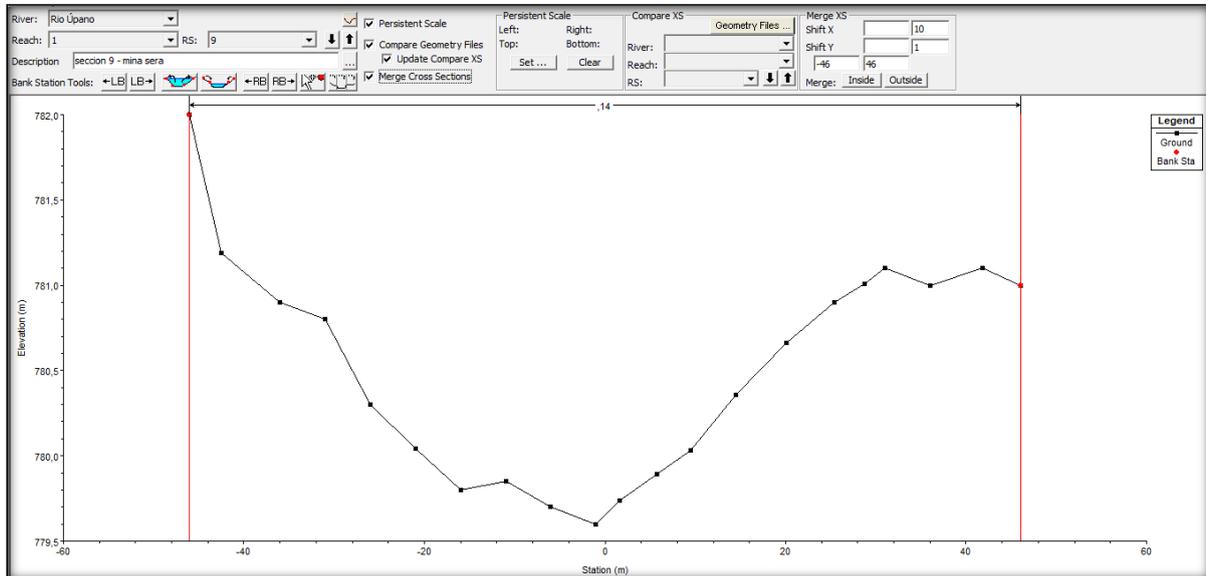


Figura 21: Perfil batimétrico de la sección 9– Concesión minera Sera.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

En la figura 21 podemos ver que el perfil batimétrico de la sección 9 de la concesión minera Sera, el cual se considera como geometría asimétrica, debido a que se une con el río Seipa y no se puede determinar el ancho ni tampoco la elevación de un extremo, el ancho del río en este punto es de 92 metros y tiene una profundidad máxima de 2.4 metros con respecto al espejo de agua, debido a su gran dimensión el agua tiende a perder velocidad, debido a estas dimensiones y geometría de la sección nos da una acumulación de material medio, con una velocidad de caudal media.

4.4 ANÁLISIS DEL CÁLCULO DE RESERVAS.

Debido al método de explotación que se estableció el volumen de las reserva de material pétreo es misma cantidad del volumen total de los áridos que los diques tienen la capacidad de retener, basándome en la fórmula de cálculo de volumen de áridos del autor Garate se obtuvo los siguientes valores de un volumen de material pétreo que tenemos a disposición en cada una de las concesiones mineras que son Tuntaime y Sera:

# DIQUE	AREA DEL DIQUE	COORDENADAS		DISTANCIA ENTRE DIQUES
		X	Y	
Dique 1	129,74 m ²	819 930	9 726 900	50 m.
Dique 2	104,28 m ²	819 878	9 726 850	50 m.
Dique 3	115,19 m ²	819 827	9 726 800	50 m.

VT – MINA TUNTAIME = Volumen total de áridos (17460,5 m³)

# DIQUE	AREA DEL DIQUE	COORDENADAS		DISTANCIA ENTRE DIQUES
		X	Y	
Dique 1	180 m ²	819 000	9 726 343	50 m.
Dique 2	82,45 m ²	819 950	9 726 390	50 m.
Dique 3	70,33 m ²	818 900	9 726 438	50 m.

VT – MINA SERA= Volumen total de áridos (16639 m³)

El volumen total de material pétreo que se obtiene con este diseño es la sumatoria de los volúmenes totales obtenidos en ambas concesiones mineras:

$$VT = \sum VTMT + VTMS$$

$$VT = 17460,5 \text{ m}^3 + 16639 \text{ m}^3$$

$$VT = 34099,5 \text{ m}^3$$

4.5 ANÁLISIS DEL DISEÑO Y MAQUINARIA.

En la figura 22 se estable el modelo del dique con las dimensiones requerida para la operación adecuada de la maquinaria a ocupar, el ancho calculado es de 10 metros, para la extracción del material pétreo con los máximos coeficientes de seguridad para el personal como también para la maquinaria.

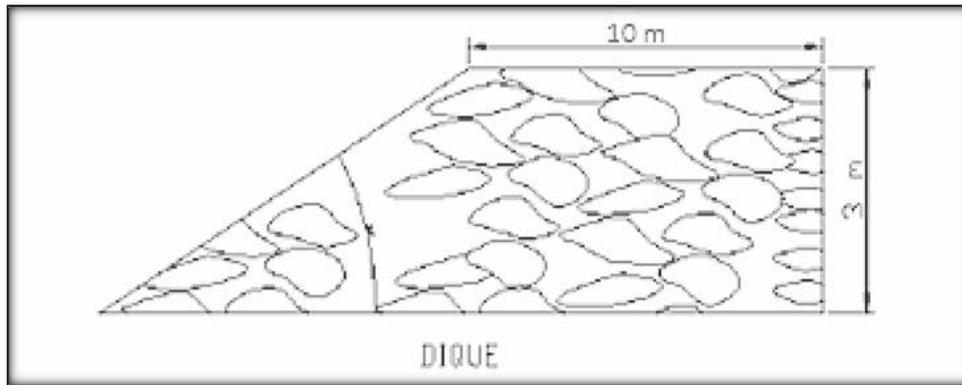


Figura 22: Dimensiones establecidas del dique.

Elaborado por: Méndez, D. 2019.

Tipo	Modelo	Número de Serie	Motor	Capacidad de Carga (m ³)
Volqueta	GH1JGUD	JHDGH1JGU9XX 11391	J08CTT34797	7.5
Volqueta	GH1JGUD	JHDGH1JGU9XX 11400	J08CTT34521	7.5
Volqueta	GH1JGUD	JHDGH1JGU9XX 11428	J08CTT34797	7.5
Volqueta	GH8JGSD TM 7.68 2P 4X2	9F3GH8JGSCXX1 2400	J08EUD16985	7.5
Volqueta	GH8JGSD TM 7.68 2P 4X2	9F3GH8JGSCXX1 2401	J08EUD16986	7.5
Volqueta	GH8JGSD TM 7.68 2P 4X2	9F3GH8JGSCXX1 2468	J08EUD17441	7.5
Volqueta	FS1ELVD TM 12.9 2P 6X4	JHDFS1ELVDXX 16782	E13CTM15641	21.00
Volqueta	FS1ELVD TM 12.9 2P 6X4	JHDFS1ELVDXX 16695	E13CTM15611	21.00

Cama baja	CWB459H TLB	JNBCWB4599AH 03453	PF61769388
Excavadora	SOLAR S220LC-V	2018	DB58TI- 300610EA
Excavadora	CX210B		DAC210K5N8SA H2316
Excavadora	R220LC-9S	HHKHZ614KG00 0A913	22219824
Motoniveladora	120H	5FM03067	4TF855544
Motoniveladora	GD555-3	H925	
Retroexcavadora	580 SN 4WD	JJGN58SRKCC56 66965	001010457
Retroexcavadora	580 SUPER N	JJGN58SRPHC744 007	001464037
Rodillo vibratorio	VM 115		SC320/40090U24 93207
Rodillo vibratorio	BW 212 D- 40		101582432367
Cargadora frontal sobre ruedas	426ZX	JCB426Z0A81232 46	21855370
Tractor de Orugas	D65PX- 15E0	71674	

Tabla 10: Maquinaria del GAD Sucúa que se ocupara para la explotación.
Fuente: (Gobierno Municipal del Cantón Sucúa, 2018).

En la figura 23 se observa el diseño del perfil del dique transversal con muro de gaviones, donde se ve la operación de una volqueta ingresando para el carguío del material extraído.

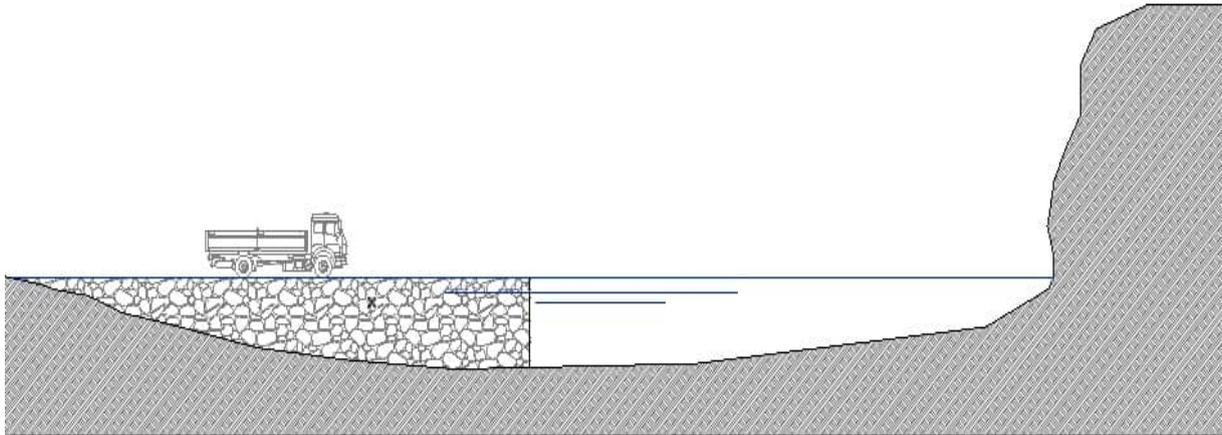


Figura 23: Perfil del diseño de los diques.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

En la figura 24 podemos observar el sistema de explotación por diques, donde vemos que una de las volquetas está siendo cargada directamente con el material acumulado en los diques por el río, también se observa una excavadora extrayendo arena del mismo dique para luego ser cargada a una volqueta y transportada por la misma.



Figura 24: Diseño 3D de los diques de la mina Sera – Vista Lateral.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.

En la figura 25 se observa el proceso minero del diseño de explotación por medio de diques transversales lo que es extracción, acumulación del material, carguío y transporte, todos estos procesos realizados con la maquinaria del GAD Sucúa.



*Figura 25: Diseño de planta en 3D de los diques de la mina Tuntaime – Vista Superior.
Elaborado por: Méndez, D. 2019.*

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

5.1 CONCLUSIONES.

- Las secciones se las clasifico en isométricas y asimétricas (ver figuras 19 – 21), de acuerdo al relieve del terreno cubierto por el agua, del trazado fluvial en el valle y su dinámica de arrastre y sedimentación.
- El volumen total del material sin clasificar retenido en los diques en los sectores Tuntaime y Sera es de 34099,5 m³ en deposición continua, manteniendo el mismo ritmo de extracción versus el de reposición. El volumen total de material sin clasificar en el sector Tuntaime es de 17460,5 m³ y del sector Sera es de 16,639 m³.
- Las áreas de riffles se centran en las secciones anchas y de poca profundidad, formando fondos de lecho tipo dunas con rizadura donde la velocidad del caudal es más rápido que la de los pools y la granulometría de deposición de los materiales son finos a medios, en zonas de pools se ubican en zonas profundas y la velocidad es lenta constituyendo fondos de lechos tipo duna donde se forman remansos, esto ayuda a la deposición de materiales medianos - gruesos como son ripios y gravas.
- La zona de inundación en el área de interés fue delimitada en dependencia del largo de diques hasta su máximo de inundación normal, estableciendo el área de inundación dentro de los estándares, los cuales permiten realizar una deposición de material de manera que el material más pesado queda en el primer dique. En el segundo dique la deposición es de ripios y en el tercer dique se tiene concentración de arena.
- Se establecen zonas de socavación mediante la digitalización de los perfiles laterales de cada una de las concesiones (Figura 18-1 y 18-2), en la concesión Tuntaime se establece una socavación normal con una profundidad de 8 metros y un trazado recto del río en este tramo, en la concesión Sera se determinó zonas de socavación en curva siendo el río un trazado sinuoso que se forma por el choque del río con el talud de un macizo rocoso formando remansos en su mayoría con profundidades de hasta 3 metros.

5.2 RECOMENDACIONES.

- Recomiendo que en los proyectos de explotación por diques transversales se evite el exceso de reposo del material y también evitar la sobre explotación de los mismos para que así el diseño sea mucho más rentable para el GAD del cantón Sucúa.
- Recomiendo que los proyectos de explotación minera en los lechos de los ríos deben ser realizados con menor impacto visual, ambiental y social para obtener mejores resultados,

implementando nuevos diseños de explotación amigables con el ambiente con el mínimo de daño en los sectores de interés.

- Recomiendo realizar estudios con equipos de rayos láser o equipos de telemetría para poder obtener más información en zonas en las zonas que no se pudo ingresar debido a que no hay acceso o son zonas de alta peligrosidad por la corriente del río y así poder cumplir dicho objetivo de realizar una descripción más detallada de dichas zonas.
- Recomiendo que para todo proyecto de extracción minera realizado por una persona o empresa ya sea pública o privada, se debe realizar una etapa de socialización con el objetivo de evitar conflictos sociales y generar convenios que beneficien a la población de la zona.

BIBLIOGRAFÍA

- Baby, P., Rivadeneira, M., & Barragan, R. (2004). Cuenca Oriente: geología y petróleo (1a octubre 2004 ed.). Institut de Recherche pour le Développement (IRD). Recuperado el 22 de enero de 2016, de http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/doc34-08/010036207.pdf. Quito - Ecuador
- Baldock, J. W. (1982). Boletín de la Explicación del Mapa Geológico de la República del Ecuador Escala 1:1000000. Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, División general de Geología y Minas. Quito – Ecuador
- Bañón, L. (2009). Materiales Pétreos. Medellín – Colombia.
- Blázquez, L. B. (2009). Materiales Pétreos. Madrid - España
- Briones Sánchez, G. (1997). Aforo del Agua. Santiago - Chile
- Case. (2010) Encarte CX210B - CCE-C1B-E01.indd 2. Tokio - Japón
- Chow, T. V. (2004). Hidráulica de Canales Abiertos. Oregón – Estados Unidos
- Duarte, M. (2014). Ley de Minería. Ley de Minería del Ecuador. Quito - Ecuador.
- Escobar, G., & Ramírez, E. (2003). Marco conceptual para la elaboración de un instrumento Línea de Base de acceso a recursos naturales de poblaciones rurales.RIMISP/FOS. Recuperado el 28 de febrerode 2016, de <http://www.rimisp.org/wp-content/uploads/2013/11/0241-000877- marcoconceptual.pdf>
- Gárate, J. (2016). Diseño de explotación de los materiales de construcción del lecho del río Paute sector Caguazhún, mediante el método de diques transversales. Cuenca - Ecuador
- Gobierno Municipal del Cantón Sucúa. (2014). Plan de desarrollo y ordenamiento Territorial Sucúa. Recuperado el 19 de noviembre de 2015, de [ttp://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/1460000880001_Diagnostico_Componentes_PDyOT_Sucua_2015_10-03-2015_10-38-29.pdf](http://app.sni.gob.ec/visorseguimiento/DescargaGAD/data/sigadplusdiagnostico/1460000880001_Diagnostico_Componentes_PDyOT_Sucua_2015_10-03-2015_10-38-29.pdf)

Gutiérrez, J. (junio de 2004). Guía teórica de geomorfología. Recuperado el 25 de junio de 2016, de <http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/jgutie/materias/Geomorfologia/Geomorfologia%20EDaGu%20EDa.pdf>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología de la República del Ecuador. (2012). Anuario meteorológico Nro. 52-2012. Recuperado el 18 de enero de 2016, de <http://www.serviciometeorologico.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202012.pdf>

Instituto Tecnológico GeoMinero de España. (1997). Manual de evaluación técnico-económica de proyectos mineros de inversión. (IGME, Ed.) Recuperado el 03 de febrero de 2016, de http://info.igme.es/SidPDF%5C067000%5C513%5C67513_0001.pdf

Mojica, R., & Manrique, A. (2008). Diques transversales: método de explotación minero - ambiental. Bogotá – Colombia.

Ramírez, B. S. (2011). Metodología para estimar los volúmenes máximos de explotación de materiales de arrastre en un río. Ingeniería y Competitividad. México - México. Pg. 2-9.

Rascón, A. (2007). Metodología para la elaboración de la línea base y para la implementación del monitoreo biofísico y socioambiental de la cogestión de cuencas en América Central. Recuperado el 17 de enero de 2016. Quito - Ecuador <http://unciencia.ambientalex.info/infoCT/Metelalinbasimpmonbiosococgueamece ncr.pdf>

Rivero, D. S. (2008). Metodología de la investigación. Recuperado el 05 de mayo de 2016, de <http://rdigital.unicv.edu.cv/bitstream/123456789/106/3/Libro%20metodologia%20investigacion%20este.pdf>

Rodríguez, E. (24 de Diciembre de 2015). Descubrir Compartir Presente. Recuperado el 02 de enero de 2016, de <http://www.docfoc.com/metodo-de-perfiles>

Tupack, O. (junio de 2010). Criterios mínimos para el Trabajo geológico de campo. Recuperado el 07 de abril de 2016, de <http://www.monografias.com/trabajos->

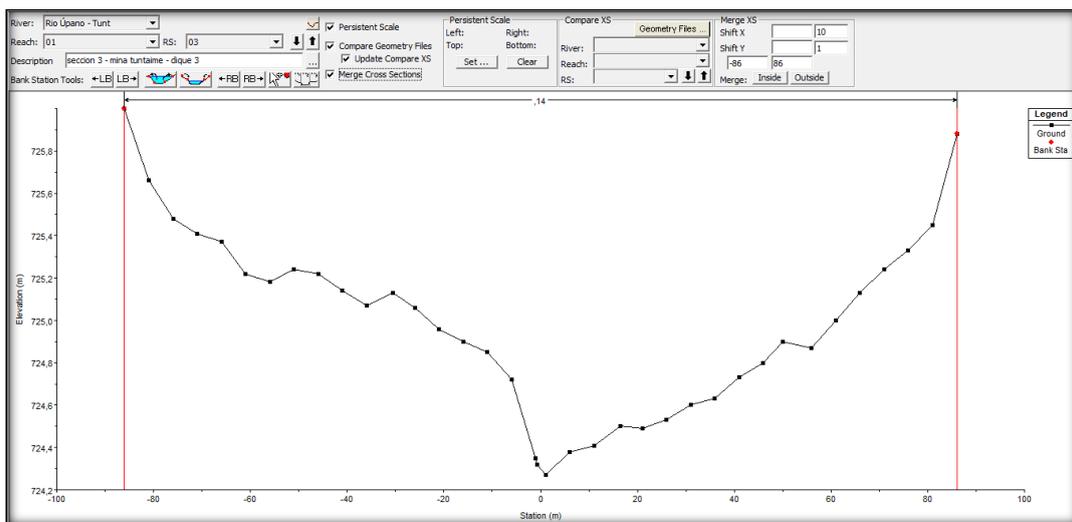
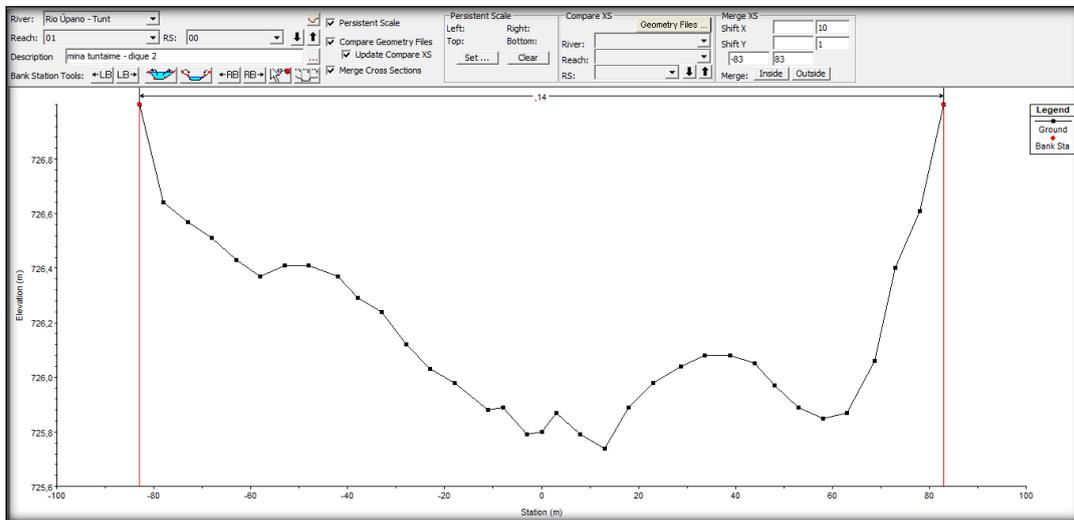
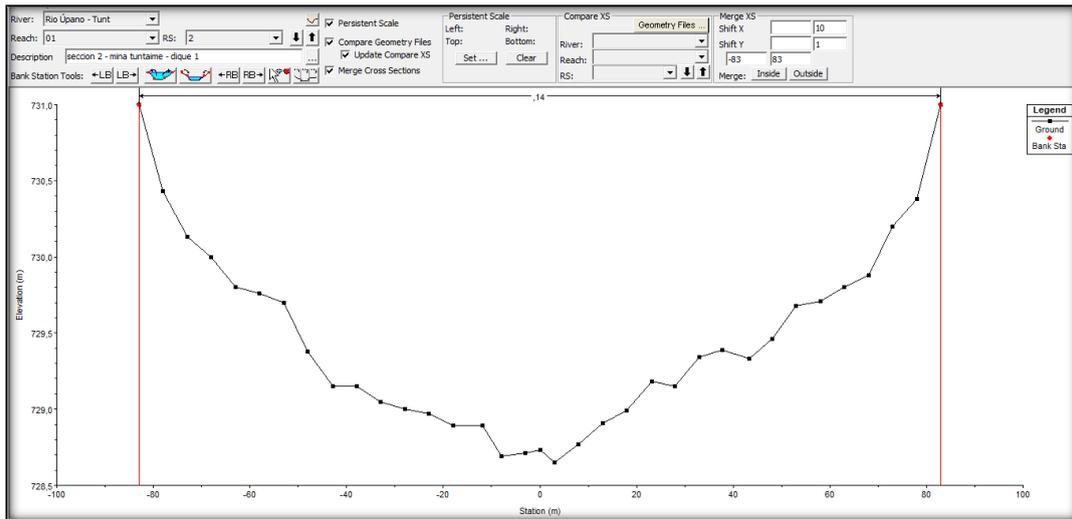
pdf4/criterios-minimos-trabajo-geologico-campo/criterios-minimos-trabajo-geologico-campo.pdf

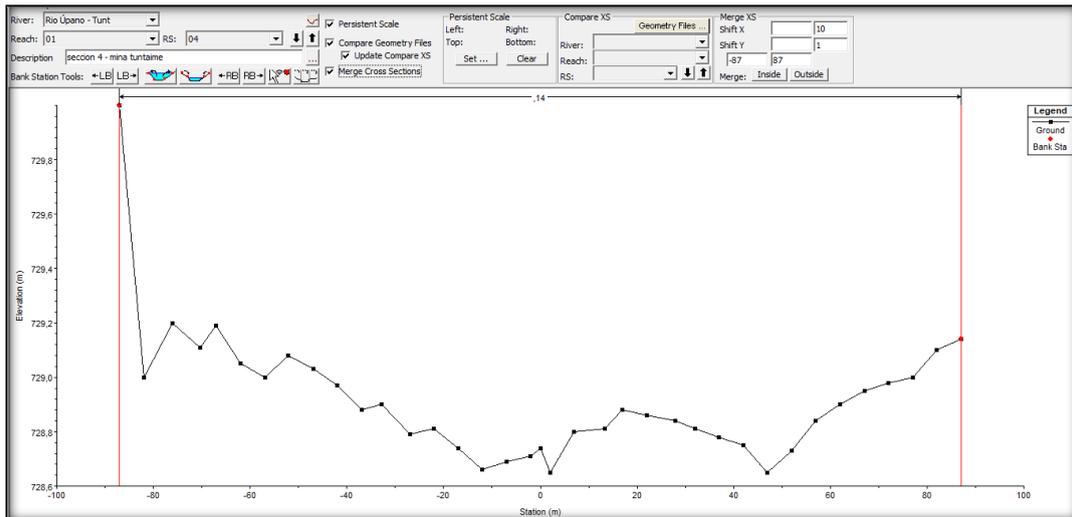
Unión Cementera Nacional. (2016). Secador G204. Recuperado el 21 de enero de 2016, de <http://www.industriasguapan.com.ec/noticia/proyecto-secador-de-puzolana-inicia-operacion/5>

United States Army Corps of Engineers. (2011). Centro de Ingeniería Hidrológica. Obtenido de Centro de Ingeniería Hidrológica. Recuperado el 18 de mayo de 2017 de: <https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/>

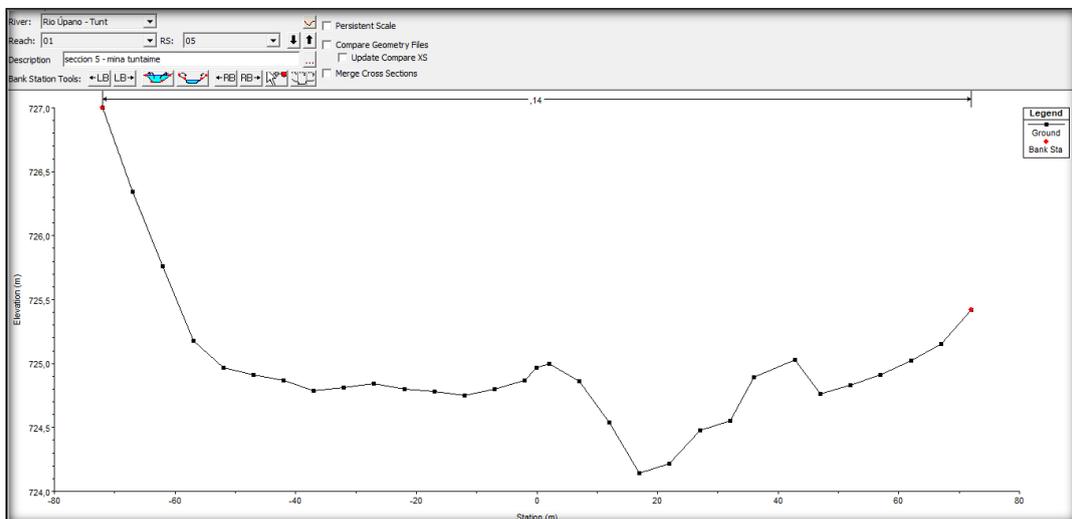
Universidad Nacional de Chile. (2004). Diseño de Minas a Cielo Abierto. Santiago - Chile.

ANEXOS

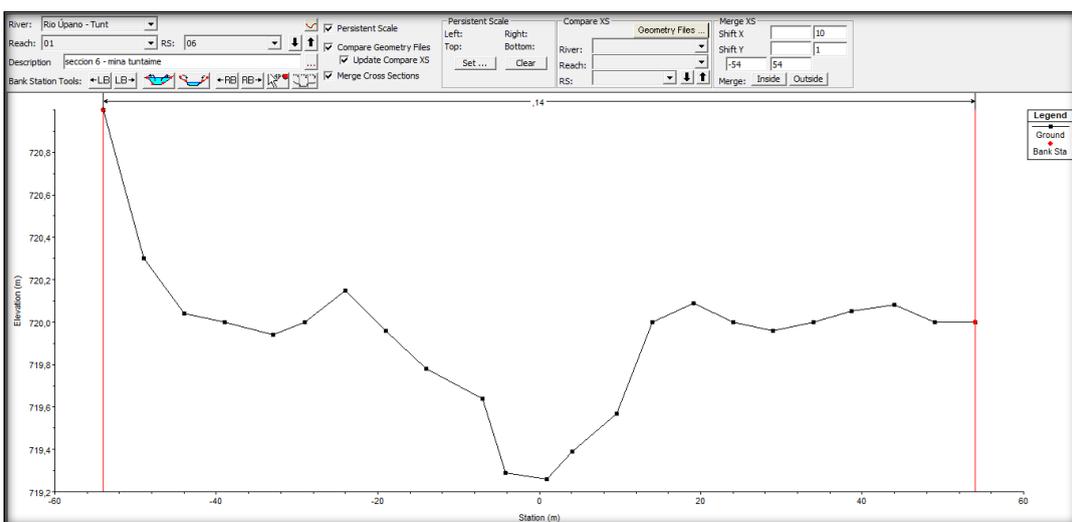




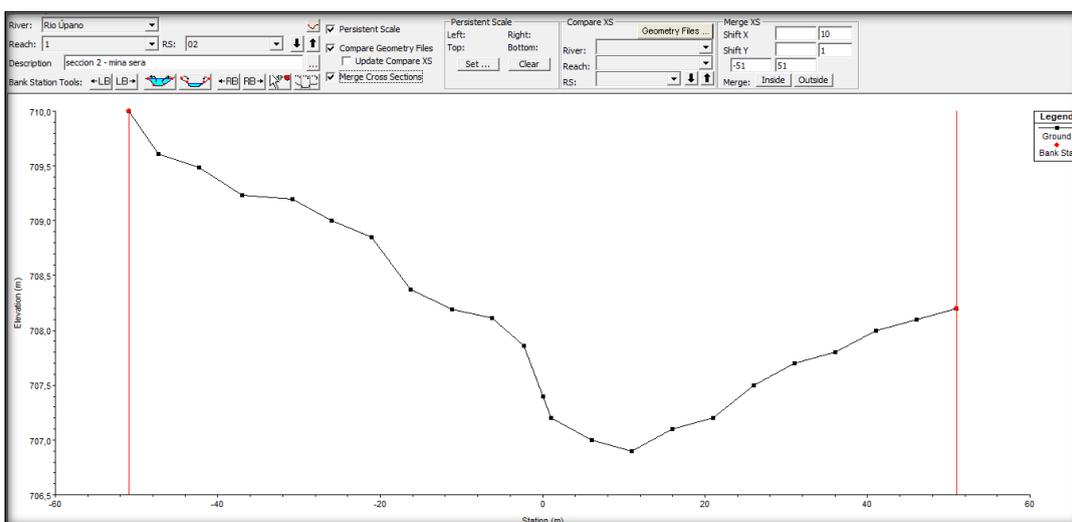
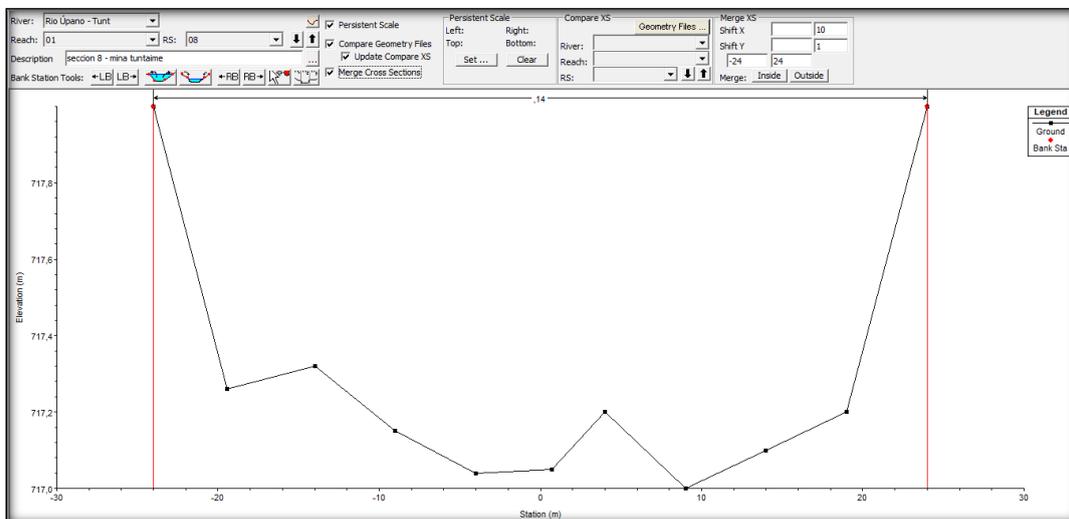
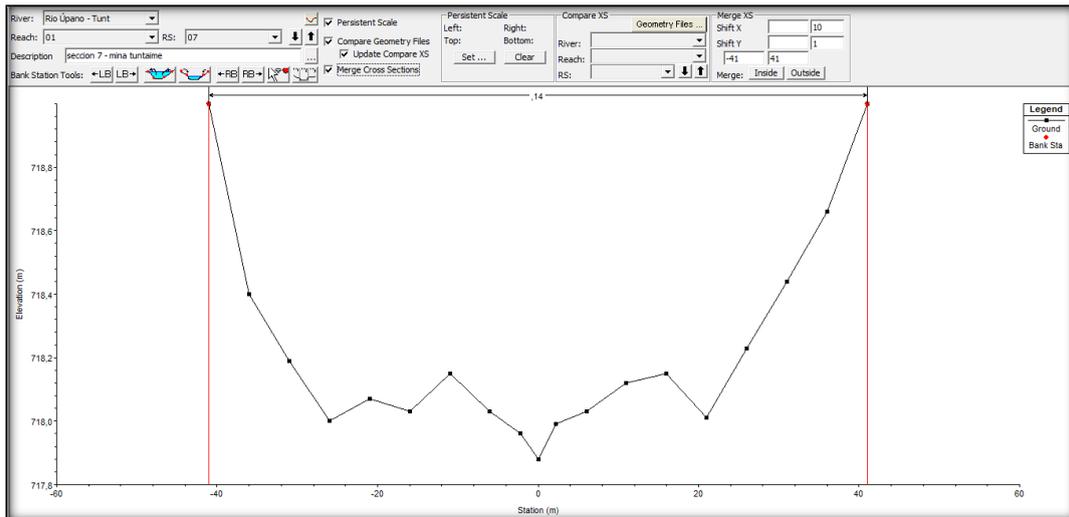
Anexo 4: Perfil batimétrico de la sección 4 – Concesión minera Tuntaime.

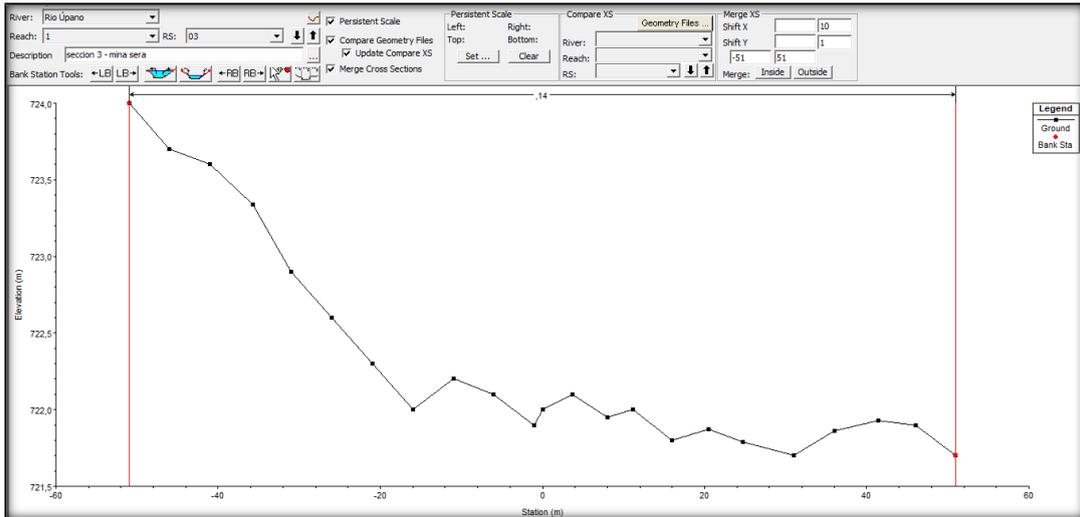


Anexo 5: Perfil batimétrico de la sección 5 – Concesión minera Tuntaime.

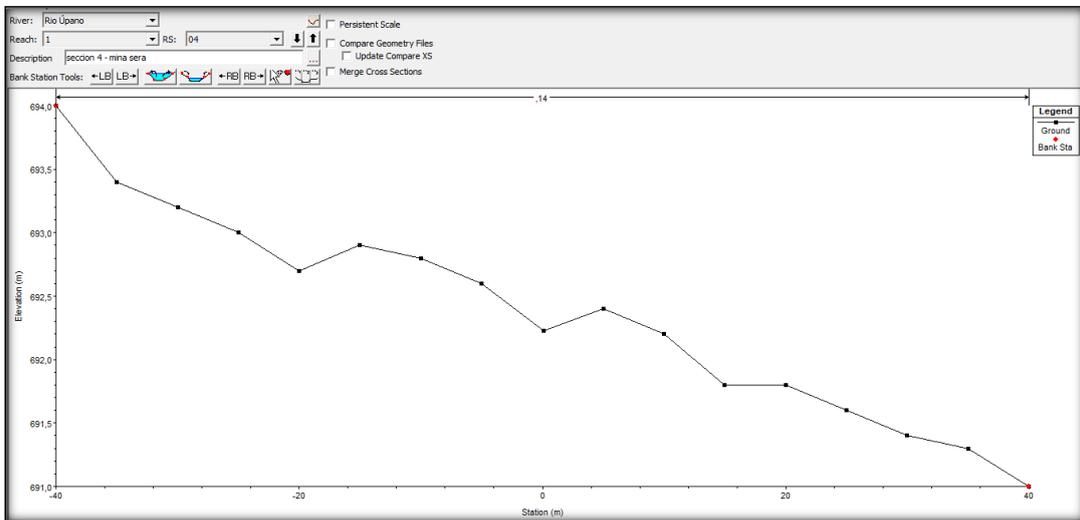


Anexo 6: Perfil batimétrico de la sección 6 – Concesión minera Tuntaime.

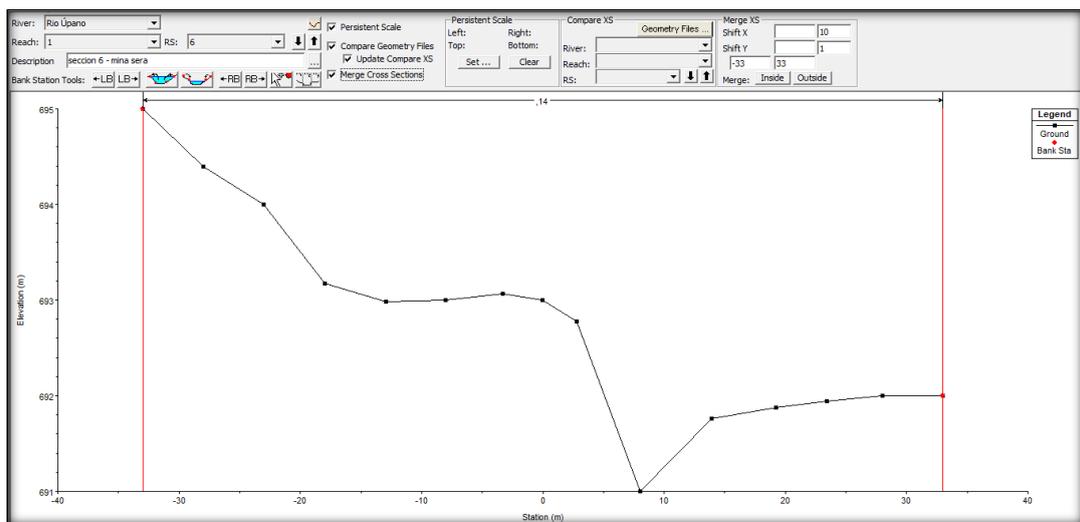




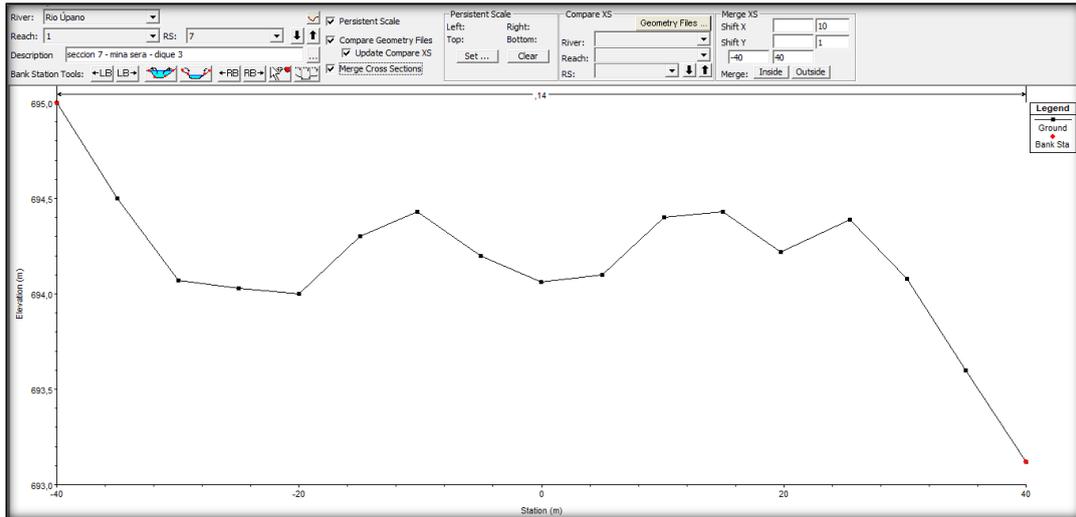
Anexo 10: Perfil batimétrico de la sección 3 – Concesión minera Sera.



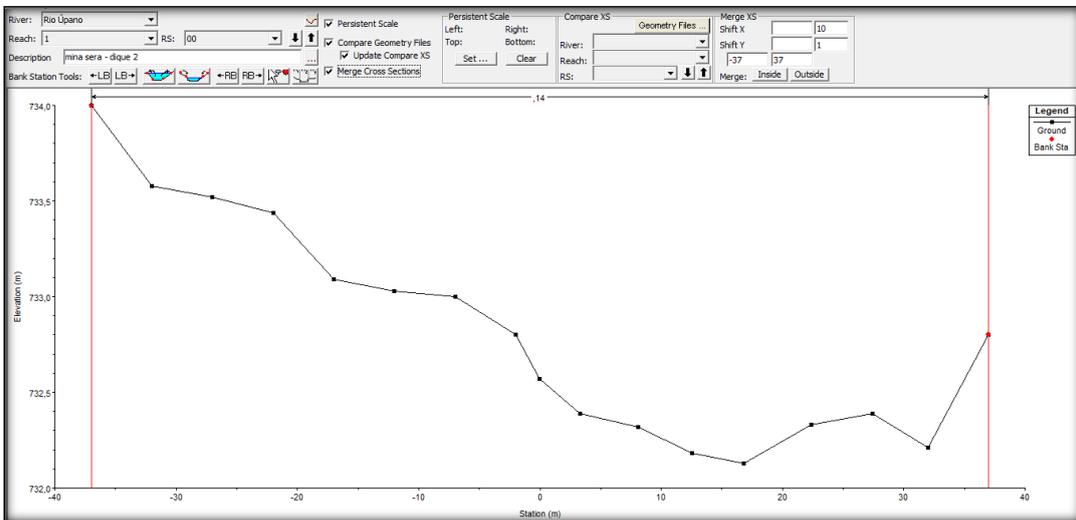
Anexo 11: Perfil batimétrico de la sección 4 – Concesión minera Sera.



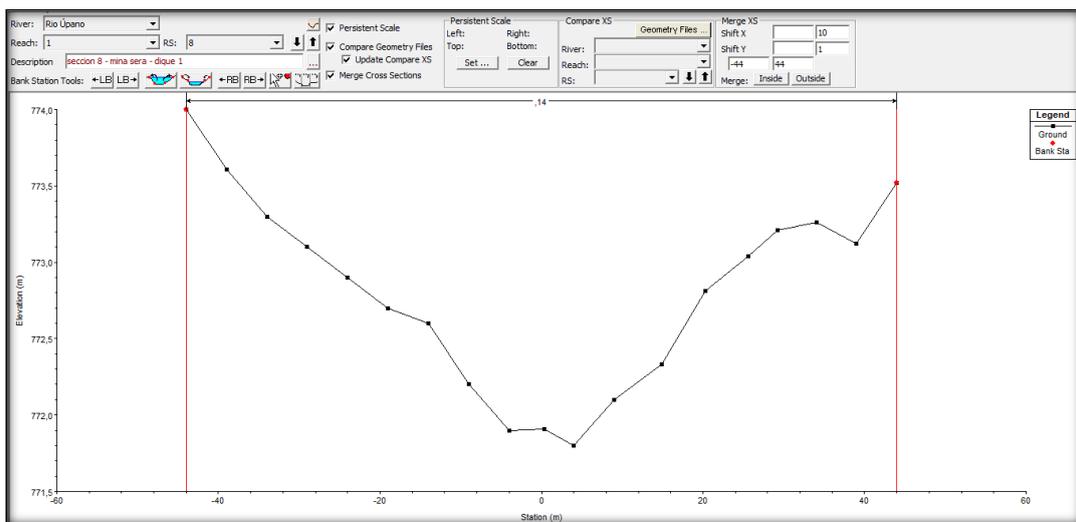
Anexo 12: Perfil batimétrico de la sección 6 – Concesión minera Sera.



Anexo 13: Perfil batimétrico de la sección 7, dique 3 – Concesión minera Sera.



Anexo 14: Perfil batimétrico de la sección 00, dique 2 – Concesión minera Sera.



Anexo 15: Perfil batimétrico de la sección 8, dique 1 – Concesión minera Sera.



Anexo 16-1: Vía de acceso mina Tuntaime.



Anexo 16-2: Vía de acceso mina Sera.



Anexo 17-1: Punto R. para la toma de datos.



Anexo 17-2: Punto R. para la toma de datos.



Anexo 18: Trazado de línea guía con una cuerda.



Anexo 19: Trazado de línea guía con una cuerda.



Anexo 20: Trazado de línea guía con una cuerda.



Anexo 21: Trazado de línea guía con una cuerda.



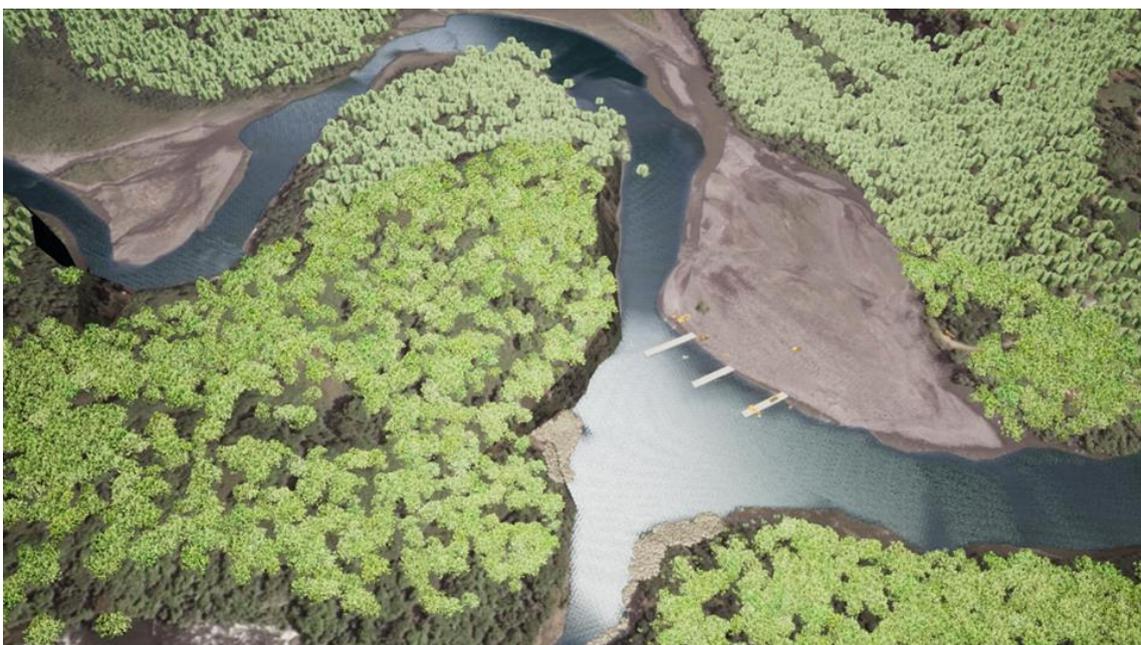
Anexo 22: Trazado de línea guía para la siguiente sección.



Anexo 23: Trazado de línea guía para la siguiente sección.



Anexo 24: Trazado de línea guía para la siguiente sección.



Anexo 25: Diseño 3D de los diques de la mina Sera.



Anexo 26: Diseño 3D de los diques de la mina Sera.



Anexo 27: Diseño 3D de los diques de la mina Sera.



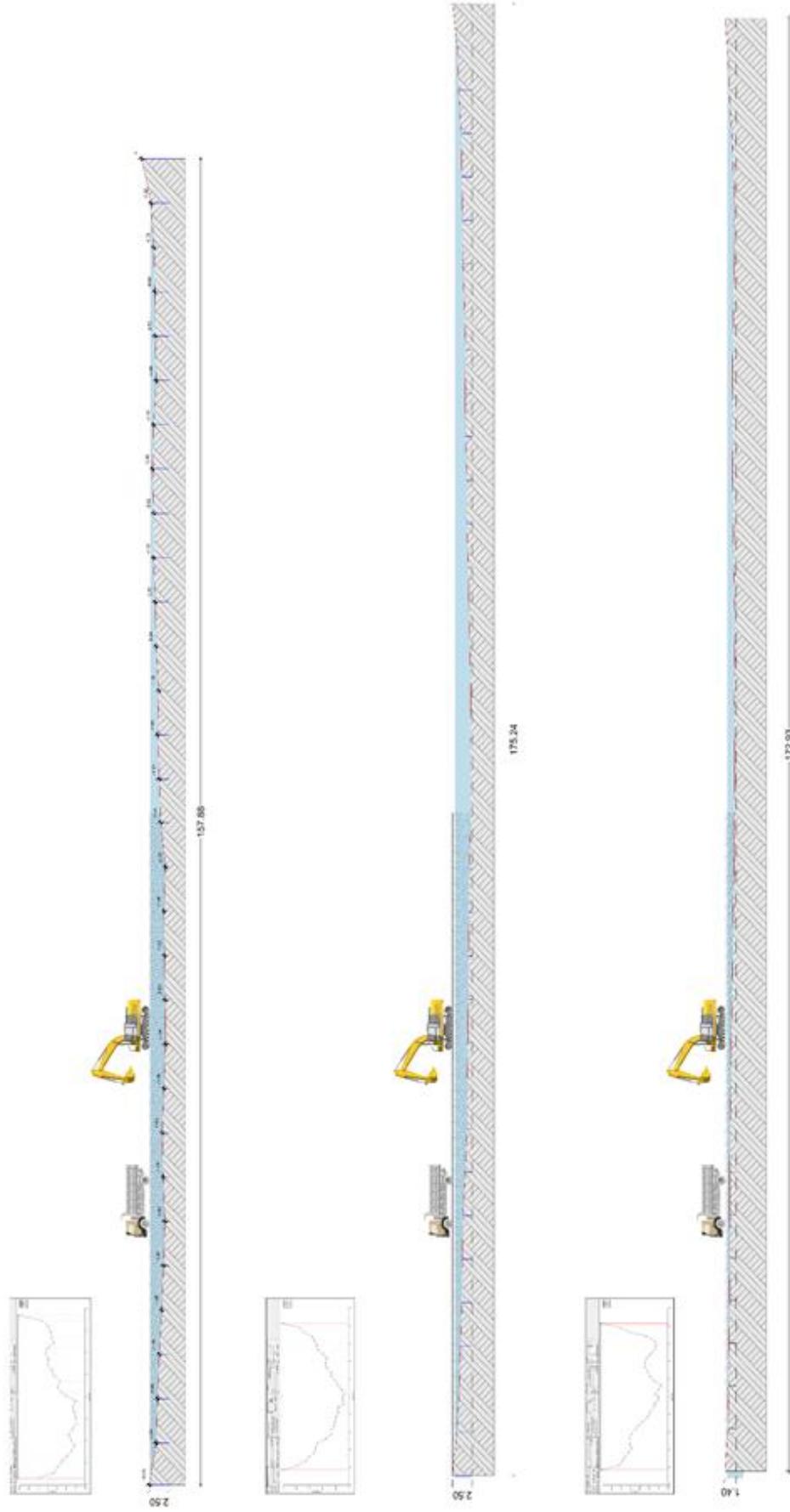
Anexo 28: Diseño 3D de los diques de la mina Tuntaime.



Anexo 28: Diseño 3D de los diques de la mina Tuntaime.

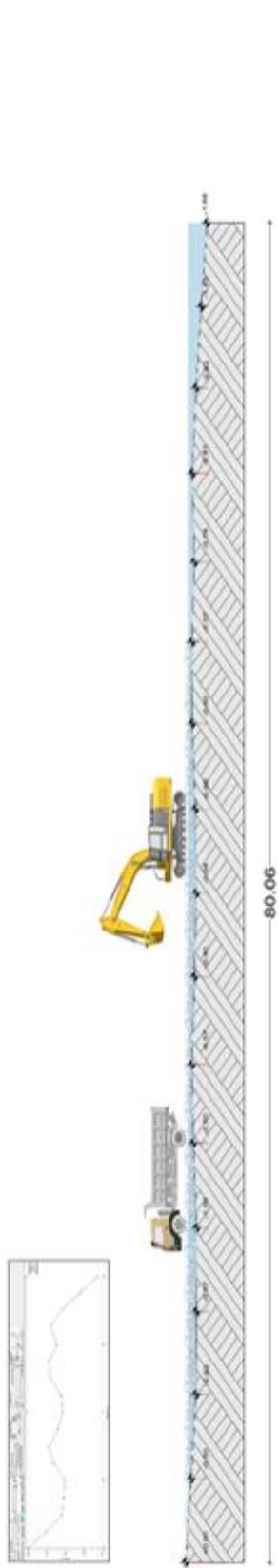


Anexo 28: Diseño 3D de los diques de la mina Tuntaimine.

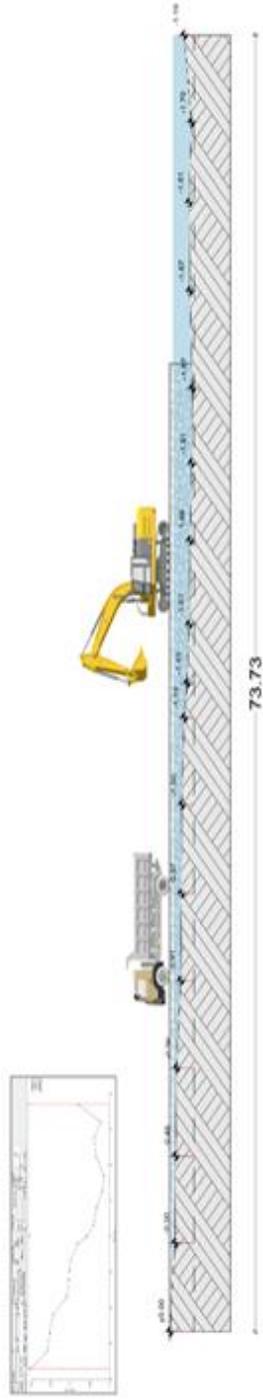


Anexo 29: Diseño de los diques de las secciones de la mina Tuntaimine.

Elaborado por: Méndez, D. 2019



Esc 1:500



Esc 1:500



Esc 1:500

Anexo 30: Diseño de los diques de las secciones de la mina Sera.

Elaborado por: Méndez, D. 2019