



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SAN TIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA GEOLOGÍA Y MINAS

OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXPLOTACIÓN EN LA
ZONA MINERA DE ÁRIDOS Y PÉTREOS DEL RÍO UPANO

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:
INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

AUTOR:
CARLOS DIEGO REYES BARRERA

Macas- Ecuador

2021



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SAN TIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA GEOLOGÍA Y MINAS

**OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXPLOTACIÓN EN LA
ZONA MINERA DE ÁRIDOS Y PÉTREOS DEL RÍO UPANO**

Trabajo de Titulación

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

AUTOR: CARLOS DIEGO REYES BARRERA

DIRECTOR: Ing. Marco Antonio Mejía Flores Mgs.

Macas- Ecuador

2021

@2021, Carlos Diego Reyes Barrera

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, CARLOS DIEGO REYES BARRERA declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Macas, 07 de septiembre de 2021

A handwritten signature in blue ink, consisting of the letters 'CRB' in a stylized, cursive font. Below the initials, the name 'Carlos Reyes' is written in a smaller, simpler script.

Carlos Diego Reyes Barrera

010535881-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
SEDE MORONA SANTIAGO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA GEOLOGÍA Y MINAS

El Tribunal del Trabajo de Titulación certifica que: El trabajo de Titulación: Tipo: Proyecto Técnico: **OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXPLOTACIÓN EN LA ZONA MINERA DE ÁRIDOS Y PÉTREOS DEL RÍO UPANO**, realizado por el señor: **CARLOS DIEGO REYES BARRERA**, ha sido minuciosamente revisado por los miembros del Tribunal del Trabajo de Titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos y legales; en tal virtud, el Tribunal autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Gregory Guillermo Cuesta Andrade M.Sc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: GREGORY GUILLERMO CUESTA ANDRADE	2021-09-07
Ing. Marco Antonio Mejía Flores Mgs. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	 Firmado electrónicamente por: MARCO ANTONIO MEJIA FLORES	2021-09-07
Ing. David Isaac Cuenca Gualán Mgs. MIEMBRO DE TRIBUNAL	 Firmado electrónicamente por: DAVID ISAAC CUENCA	2021-09-07

DEDICATORIA

Este trabajo lo dedico con mucho cariño a todas esas personas que a pesar de las adversidades siempre creyeron en mí, a mis padres que sin ellos nada de esto fuera posible y a mi hermosa hija Abigail que es el motor que impulsa mi vida.

Carlos

TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE ECUACIONES	xiii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1.	MARCO REFERENCIAL	3
1.1.	Antecedentes	3
1.2.	Planteamiento del problema	3
1.3.	Justificación	4
1.4.	Objetivos	4
1.4.1.	<i>Objetivo general</i>	4
1.4.2.	<i>Objetivos específicos</i>	4
1.5.	Planteamiento de la hipótesis.....	4
1.6.	Generalidades	4
1.6.1.	<i>Ubicación del área de estudio</i>	4
1.6.2.	<i>Accesibilidad</i>	5
1.6.3.	<i>Clima y temperatura</i>	6

CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO	7
2.1.	Geología regional.....	7
2.2.	Marco legal	8
2.2.1.	<i>Ley de minería</i>	8
2.2.2.	<i>Ordenanza Municipal</i>	9
2.3.	<i>Materiales de explotación áridos y pétreos</i>	9
2.4.	<i>Métodos de explotación</i>	10
2.4.1.	<i>Extracción directa</i>	10

2.4.2.	<i>Diques transversales</i>	10
2.5.	Consideraciones para extracción de materiales	11
2.6.	Estimación de reservas	11
2.7.	Ensayo granulométrico	12
2.8.	Ensayo de abrasividad	13
2.9.	Hidrología de la zona de estudio	13
2.10.	Morfología de valles fluviales	14
2.11.	Cuenca hidrográfica	14
2.12.	Morfología del cauce	15
2.13.	Parámetros técnicos	15
2.14.	Sistemas de información Geográfica (SIG)	17
2.15.	Modelos de datos espaciales	17
2.16.	Álgebra de mapas	18
2.17.	Lógica Fuzzy o difusa	18
2.17.1.	<i>Casos en Lógica Fuzzy</i>	20
2.18.	Actividad eruptiva del volcán Sangay	21

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	24
3.1.	Descripción del área de estudio	24
3.2.	Geología local	27
3.3.	Ensayos de abrasividad	28
3.4.	Ensayos granulométricos	30
3.5.	Análisis del método de explotación en las playas del río Upano.	33
3.6.	Parámetros técnicos de diseño	34
3.7.	Optimización de los procesos mineros.	35
3.8.	Teoría de colas o líneas de espera	37
3.8.1.	<i>Factor de utilización (Pk)</i>	37
3.8.2.	<i>Probabilidad de no tener clientes en el sistema (Po)</i>	37
3.8.3.	<i>Número de clientes</i>	37
3.8.4.	<i>Tiempo de espera</i>	38
3.8.5.	<i>Costos</i>	38
3.8.6.	<i>Número de máquinas desocupadas (MD)</i>	38
3.9.	Cálculo de líneas de espera	39
3.10.	Análisis de amenazas por susceptibilidad	44

3.10.1.	<i>Contexto geográfico de la zona de inundación</i>	44
3.10.1.1.	<i>Máximas crecidas</i>	45
3.10.1.2.	<i>Franjas de protección</i>	47
3.10.2.	<i>Evaluación del riesgo de inundación</i>	47
3.10.2.1.	<i>Modelo de susceptibilidad a inundaciones</i>	47
3.10.2.2.	<i>Elementos susceptibles a riesgo de inundación</i>	49
3.11.	Inventario de zonas de extracción minera en el Upano	50
3.12.	Determinación de zonas idóneas para extracción de material pétreo	51

CAPITULO IV

4.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
4.1.	Polígonos de alta sensibilidad	53
4.2.	Propuesta de polígonos de extracción pétreo	55
4.3.	Resultados del ensayo de Abrasión	58
4.4.	Ensayo granulométrico.	60
4.5.	Análisis del método de explotación por franjas paralelas	62
4.6.	Discusión	62

CONCLUSIONES	64
---------------------------	----

RECOMENDACIONES	65
------------------------------	----

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1:	Georreferencia	5
Tabla 1-2:	Clasificación del suelo	12
Tabla 1-3:	Resumen de titulares mineros en el cantón	27
Tabla 2-3:	Resultados del ensayo de abrasión	30
Tabla 3-3:	Resultados del ensayo de granulometría	32
Tabla 4-3:	Maquinaria existente	39
Tabla 5-3:	Parámetros requeridos para el cálculo	39
Tabla 6-3:	Análisis y comparación de resultados	43
Tabla 7-3:	Ponderación de variables en el modelamiento espacial	48
Tabla 1-4:	Efectos en el medio ambiente	53
Tabla 2-4:	Evaluación de las condiciones de explotación	54
Tabla 3-4:	Superficie de los polígonos propuestos	56
Tabla 4-4:	Otros polígonos propuestos para explotación	58
Tabla 5-4:	Resultados ensayo de abrasión	59
Tabla 6-4:	Resultados del ensayo granulométrico	60
Tabla 7-4:	Resultados ensayo granulométrico 2019	61

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-2:	Curva de probabilidad de un fenómeno natural	19
Gráfico 2-2:	Primer caso de lógica Fuzzy	20
Gráfico 3-2:	Segundo caso de lógica Fuzzy	21
Gráfico 4-2:	Tercer caso de lógica Fuzzy	21
Gráfico 1-3:	Curva granulométrica	32
Gráfico 1-4:	Curva de granulometría – Ensayo material del río Upano.....	60
Gráfico 2-4:	Curva granulométrica 2019.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1:	Mapa de ubicación de la zona de estudio	5
Figura 2-1:	Probabilidad de precipitación en Macas	6
Figura 1-2:	Medidor de abrasión.....	13
Figura 2-2:	Características hidrológicas del río Upano	14
Figura 3-2:	Morfología hidrológica.....	15
Figura 4-2:	Método de extracción por franjas paralelas	16
Figura 5-2:	Modelo de dispersión de ceniza – volcán Sangay.....	22
Figura 6-2:	Río Upano (izq.) y material volcánico (der.)	22
Figura 7-2:	Estimación matemática de los potenciales peligros del volcán Sangay	23
Figura 1-3:	Terrazas de transición en el río Upano	24
Figura 2-3:	Concesiones mineras en el cantón Morona.....	25
Figura 3-3:	Zonas de extracción minera.....	26
Figura 4-3:	Material acumulado en la zona de estudio	28
Figura 5-3:	Material de la zona de estudio	28
Figura 6-3:	Recolección de muestras	29
Figura 7-3:	Colocación de muestras en medidor de abrasión	29
Figura 8-3:	Colocación de muestras en tamices de granulometría	31
Figura 9-3:	Pesaje del tamaño de grano por tamiz de muestra analizada.....	31
Figura 10-3:	Método de explotación: empírico	33
Figura 11-3:	Zona piloto 1: criterios de franjas paralelas	33
Figura 12-3:	Zona piloto 2: criterios de franjas paralelas	33
Figura 13-3:	Esquema de extracción por franjas	34
Figura 14-3:	Mapa de la cuenca hidrográfica del río Upano	45
Figura 15-3:	Mapa de ubicación de construcciones y equipamientos en el cauce	46
Figura 16-3:	Área inundable en un periodo de retorno de 100 años.....	46
Figura 17-3:	Margen de protección del río Upano	47
Figura 18-3:	Modelo de susceptibilidad de inundación (Lógica Fuzzy).....	49
Figura 19-3:	Mapa de concesiones mineras en el río Upano	50
Figura 20-3:	Determinación de volúmenes de reserva (corte posible zona)	51
Figura 21-3:	Mapas de vías de acceso a las zonas de explotación.....	52
Figura 22-3:	Asentamiento humanos, cercanías del río Upano	52
Figura 1-4:	Estratificación y ubicación de las concesiones mineras	54
Figura 2-4:	Propuesta de polígonos de extracción.....	55

Figura 3-4:	Ubicación del área 4 para extracción de material pétreo.....	57
Figura 4-4:	Ubicación de las áreas 5 y 6 para extracción de material pétreo	57
Figura 5-4:	Implementación del método de extracción por franjas paralelas	63

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1:	Porcentaje de desgaste (abrasión).....	13
Ecuación 2:	Ecuación de van der Waals.....	15
Ecuación 3:	Probabilidad	19
Ecuación 4:	Probabilidad (función seno cuadrado)	19
Ecuación 5:	Factor de utilización (Teoría de colas).....	37
Ecuación 6:	Probabilidad de no clientes (Teoría de colas)	37
Ecuación 7:	Número de clientes en cola (Teoría de colas)	37
Ecuación 8:	Número de clientes en el sistema (Teoría de colas)	37
Ecuación 9:	Tiempo de espera en la cola.....	38
Ecuación 10:	Tiempo de espera en el sistema	38
Ecuación 11:	Costo de espera (Teoría de colas)	38
Ecuación 12:	Costo de servicio (Teoría de colas).....	38
Ecuación 13:	Costo total (Teoría de colas).....	38
Ecuación 14:	Número de máquinas desocupadas	38

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo optimizar los procesos de explotación en la zona minera de áridos y pétreos del río Upano del Cantón Morona. La descripción del área de estudio aplicó una investigación descriptiva de las particularidades de la roca mediante la revisión bibliográfica y observación in situ en las zonas de extracción; se identificaron las propiedades físicas del material pétreo mediante una investigación experimental con enfoque cuantitativo en la medición de abrasividad y granulometría de las muestras recolectadas. La investigación de campo utilizó como técnica la observación pasiva e instrumento el registro fotográfico, determinando los métodos de extracción de material pétreo utilizados actualmente. La metodología de líneas de espera en la optimización de carguío-transporte permitió medir el tiempo de espera de la volqueta en función del número de retroexcavadoras, para determinar el costo total por cada circuito completo de carguío y transporte. Se utilizó la metodología Fuzzy con la herramienta de álgebra de mapas para el modelamiento digital a través del software ArcGIS, dando como resultado el mapa de susceptibilidad, mismo que identificó los posibles escenarios y nivel de amenazas durante la explotación minera del río Upano. Las posibles zonas de explotación se establecieron en función del volumen de reserva, vías de acceso y asentamientos humanos aledaños, generando tres polígonos con una superficie aproximada de 45.22 hectáreas. El ensayo de abrasión determinó un desgaste del 30.25% y el ensayo granulométrico evidenció un 80% de cantos rodados y bloques, y un 20% de arena. Se concluye que el material es apto para construcciones civiles y la explotación por franjas reduciría el tiempo de transporte; además el manejo de tres retroexcavadoras reduciría los costos de operación a \$1,713.76. Se recomienda formalizar la actividad minera de acuerdo con las ordenanzas establecidas por los organismos competentes.

Palabras clave: <MATERIAL PÉTREO>, <OPTIMIZACIÓN>, <ABRASIÓN>, <GRANULOMETRÍA>, <ÁLGEBRA DE MAPAS>, <VOLÚMENES DE RESERVA>

Inés
Zapata

Firmado digitalmente por Inés Zapata
DN: cn=Inés Zapata, gn=Inés Zapata,
o=ES Spain, l=ES Spain, o=ESPOCH,
ou=DBRAI,
e=ines.zapata@epoch.edu.ec
Motivo: Apruebo este documento
Ubicación:
Fecha: 2021-12-06 15:44:05:00



2208-DBRAI-UPT-2021

ABSTRACT

The purpose of the current research work was to optimize the exploitation processes in the aggregate and stone mining area of the Upano River located in Morona County. The description of the study area applied a descriptive investigation of the rocks peculiarities through a bibliographic review, and in situ observation in the extraction zones. On the other hand, it identified the physical properties of the stone material by means an experimental investigation with a quantitative approach about measurement of abrasiveness and granulometry of the collected samples. The field research used passive observation as technique and a photographic record as instrument in order to determine the stone material, also extraction methods that are currently applied. The methodology for production lines in the loading and transport optimization allowed to measure the waiting time of the dump truck, based on the number of backhoes to determine the total cost for each complete loading and transportation circuit. It used the Fuzzy methodology with the map algebra tool for digital modeling through ArcGIS software to obtain the susceptibility map which identified the possible places and level of threats during the mining in the Upano River. The possible areas of exploitation were established based on the volume of the reserve, access roads and surrounding human settlements that generate three industrial zones with an approximate area of 45.22 hectares. The abrasion test determined: wear of 30.25% and the granulometry test showed 80% of pebbles and blocks, and 20% of sand. It concluded that the material is suitable for civil constructions taking into account the exploitation by strips would reduce the transport time, besides the management of three backhoes would reduce operating costs to \$ 1,713.76. Finally, it recommends formalizing the mining activity in accordance with the regulations established by the relevant agencies.

Keywords: <STONE MATERIAL>, <OPTIMIZATION>, <ABRASION>, <GRANULOMETRY>, <MAP ALGEBRA>, <RESERVE VOLUMES>

LEONARDO
MAURICIO
MARTINEZ PAREDES

Firmado digitalmente por
LEONARDO MAURICIO
MARTINEZ PAREDES
Fecha: 2021.12.07
20:20:35 -05'00'

INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad que se ha desarrollado a lo largo de la historia; desde la época de los primeros humanos se evidencia que se aprovecharon los minerales y rocas para uso diario en actividades como la caza, agricultura, entre otras. Actualmente no estamos alejados de esta realidad, pues encontramos insumos creados a partir de la minería como medicinas, herramientas de uso cotidiano, tecnología para la fabricación de aparatos electrónicos, etc., es decir, que esta actividad se ha convertido en una parte importante para el desarrollo de nuestro diario vivir.

Existen dos métodos de explotación minera, debido a que los yacimientos y depósitos minerales se encuentran ocupando diferentes lugares en la naturaleza, algunos son superficiales o que están a escasa distancia de la superficie terrestre y otros que se encuentran subterráneos, es decir, que su distancia de la superficie terrestre es mayor a la que se podría aplicar un método de explotación superficial.

Aquellos yacimientos que se encuentran en la superficie o a escasos metros de la misma, se los explota mediante el método de cielo abierto, tal es el caso de los libres aprovechamientos de los áridos y pétreos, y, materiales de construcción. Como todo método de explotación, debe realizarse de manera técnica, amigable con el ambiente y optimizando los procesos mineros, esto con la finalidad de generar el menor número de impactos y el mayor rendimiento posible durante el tiempo de vida útil del proyecto. En la etapa de explotación minera, se deben realizar múltiples esfuerzos para optimizar los procesos de beneficio, durante el diseño de explotación se debe de seleccionar el método más efectivo que permita obtener no solo el mayor rendimiento posible, sino que éste sea económico y aplicable. Los procesos mineros están encaminados a generar rentabilidad en un proyecto, es decir que se obtendrá el máximo beneficio posible o conocido como “ganar – ganar”.

La cuenca del Río Upano se encuentra caracterizada por la presencia de material pétreo, mismo que es principalmente usado para la ejecución de obras no solo en el sector público, sino también para la construcción de viviendas y por empresas privadas. Es por esto que la demanda en el mercado es alta, y como en todo tipo de industria, igual que en el caso de la minera, es necesario guiar los procesos a la optimización y tener un rendimiento alto.

La actividad minera de áridos y pétreos en el cantón Morona por más de 10 años ha contribuido en el desarrollo económico de varios pobladores del territorio, promoviendo y generando plazas de trabajo de manera directa e indirecta. El río Upano localizado en la ciudad de Macas es el principal río utilizado para mencionada actividad debido a la gran cantidad de material que puede reponer en sus distintas crecidas y las óptimas características del mismo que sirve para ser utilizado en la industria de la construcción, comercialización y elaboración de productos derivados. La extracción del material pétreo se realiza en su totalidad de forma artesanal, que no

cuenta con un sistema de extracción acorde a las condiciones cambiantes del terreno, al igual que la falta de asesoramiento técnico, información y un método de explotación adecuado, problemática que está ocasionado un encarecimiento en los costos de extracción, transporte e impactos visuales, así como también generando alteraciones al cauce natural de río y posteriores afectaciones a las vías utilizadas por los mineros.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

En la provincia de Morona Santiago, cantón Morona en la parroquia Macas, hacia el noreste de la ciudad, se encuentra ubicado el río Upano, que será el área de estudio. El río Upano nace en las estribaciones de la cordillera real en la parroquia de Zúñac y en su trayectoria incorpora pequeños ríos simples a su cauce natural entre ellos: río Volcán, río Jurumbaino, río Abanico, entre muchos otros que alimentan su cauce, así como materiales pétreos provenientes en su mayoría del volcán Sangay.

Las características del material y los volúmenes acumulados en las riberas del río Upano ha hecho que esta zona sea atractiva para la extracción de material pétreo para su posterior utilización en la construcción y elaboración de derivados. En la Constitución, en su artículo 264 numeral 12, establece que los GAD Municipales tendrán la competencia exclusiva de regular, autorizar y controlar la explotación de materiales pétreos en los lechos de los ríos. En la zona de estudio se encuentran ubicadas varias áreas de extracción, su forma empírica de explotación ha causado afectaciones a la zona, alteración del cauce natural, aumento de su capacidad erosiva y a futuro posibles daños a asentamientos humanos cercanos, por lo que es importante definir un sistema de explotación técnico que permita optimizar los procesos de explotación y reducir en lo posible cualquier afectación que se pueda generar por dicha actividad.

1.2. Planteamiento del problema

En la zona minera del río Upano no se aplican correctamente las técnicas de extracción de áridos y pétreos; lo que ha originado alteraciones en el cauce del río y disparidad en volúmenes extraídos lo que ocasiona que entre tramo y tramo exista una sobreacumulación y/o sobreexplotación del material, afectando la reposición natural de pétreos, la productividad minera y el aspecto paisajístico de la zona.

Por este motivo se plantea realizar una “OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXPLOTACIÓN EN LA ZONA MINERA DE ÁRIDOS Y PÉTREOS DEL RÍO UPANO DEL CANTÓN MORONA”.

1.3. Justificación

El río Upano es el principal proveedor de materiales áridos y pétreos en la parroquia Macas, por sus características y volúmenes de reservas es un atractivo para los sectores mineros de no metálicos. El presente trabajo de investigación pretende generar información que permita a los sectores mineros ubicados en la playa del río Upano optimizar todos sus procesos, desde la extracción y transporte de materiales áridos y pétreos, de esta manera se espera reducir las afectaciones que se producen al entorno ambiental y cauce del río en lo mejor posible.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Optimizar los procesos de explotación en la zona minera de áridos y pétreos del río Upano del Cantón Morona.

1.4.2. Objetivos específicos

- Inventariar y delimitar las zonas destinadas para extracción minera en el río Upano cantón Morona.
- Determinar parámetros técnicos para una óptima extracción de material pétreo en el río Upano.
- Determinar zonas idóneas para extracción de material pétreo y zonas de alta sensibilidad.

1.5. Planteamiento de la hipótesis

La productividad minera de áridos y pétreos del río Upano del cantón Morona, mejora con los procesos técnicos de explotación.

1.6. Generalidades

1.6.1. Ubicación del área de estudio

El área de estudio se encuentra en el cantón Morona, parroquia Macas en el sector noreste de la ciudad vía al Puyo en el río Upano a la altura del puente sobre el mencionado río, en las siguientes coordenadas georreferenciadas en el Sistema de Referencia Geodésico WGS84.

Tabla 1-1: Georreferencia

Punto	Coordenada "x"	Coordenada "y"
Inicio	821989,8	9745422,1
Fin	821149,9	9742995,2

Fuente: Sistema de Referencia Geodésico WGS84, 2021.

Realizado por: Reyes, 2021.

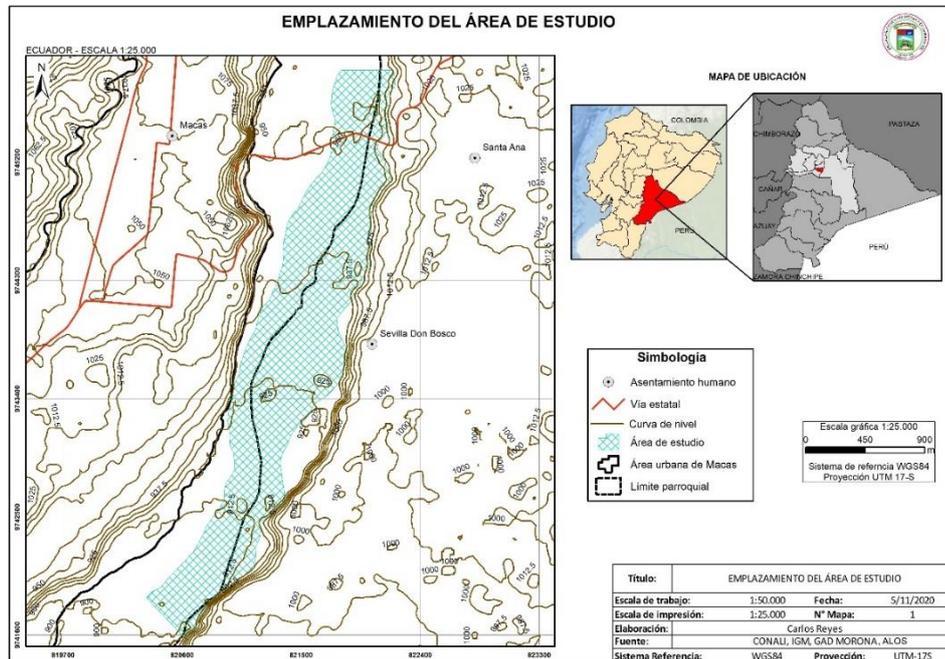


Figura 1-1: Mapa de ubicación de la zona de estudio

Fuente: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2019.

1.6.2. Accesibilidad

Al área de estudio se puede acceder de dos maneras, la primera por la vía de primer orden ruta E-45 Macas – Puyo, desde el sector conocido como La Barbacoa, recorreremos aproximadamente unos 4.3 km donde llegaremos a nuestro punto de partida de estudio. La segunda ruta de acceso es desde el vecino cantón Sucúa ubicado en la parte sur, por las comunidades Seipa, San Luis aproximadamente unos 23 km de distancia.

1.6.3. *Clima y temperatura.*

La temperatura promedio de la parroquia Macas varía entre los 20 a 22 grados Celsius con una humedad ambiental alrededor del 88%. Las precipitaciones van desde los 2000 mm a 2500 mm anuales. Macas está en una zona de clima húmedo, subhúmedo y lluviosa. Los meses de mayor precipitación son abril, julio y octubre (Weather Spark, 200, párr. 1-6).



Figura 2-1: Probabilidad de precipitación en Macas

Fuente: Weather Spark, 2020.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Geología regional

En la parroquia Macas, se encuentra ubicada el área de estudio, la cual se caracteriza por estar en la cordillera oriental, limitada al Oeste con el valle interandino y al Este por la zona subandina. “El río Upano es un río doble con característica de tipo anastomosado en un valle aluvial, con sedimentos provenientes principalmente del volcán Sangay. Las características del material van desde finos hasta grandes bloques de composición andesíticas basáltica” (Baldock,1982; citado en Quintuña, 2019, p. 5).

La geología de la zona de estudio se detalla a continuación:

Formación Mera: (cuaternario)

“Posee terrazas jóvenes cuyos depósitos están compuestos por abanicos de piedemonte del período cuaternario que consisten en areniscas tobáceas y arcillas” (Baldock,1982; citado en Quintuña, 2019, p. 5).

Formación Hollín

“Constituido principalmente por cuarcitas y areniscas, tiene un espesor aproximado de 80 a 240 metros que incluye lutitas fracturadas” (Baldock,1982; citado en Quintuña, 2019, p. 5).

Las principales estructuras geológicas de influencia en la zona de estudio son:

Zona subandina:

“La zona subandina resulta del contacto entre los andes orientales y la cuenca Oriente caracterizada por pliegues y cabalgamientos con dirección NNE. Las estructuras que predominan dentro de dicha zona son al sur levantamiento Napo, depresión Pastaza, levantamiento Cutucú y la cordillera del Cóndor” (Litherland,1994; citado en Quintuña, 2019, p. 5).

Valle del Río Upano

“La superficie Mera-Upano indica que en el pleistoceno medio y superior se depositaron lahares en el valle del Upano, provenientes del volcán Sangay debido al resultado de dos colapsos sucesivos del edificio del volcán en 260 y 50 ka BP” (Rivadeneira & Barragán 2004; citado en Quintuña, 2019, p. 5).

2.2. Marco legal

2.2.1. Ley de minería

Como establece el artículo 264, numeral 12 de la Constitución de la República del Ecuador, “Los Gobiernos Municipales tienen competencia exclusiva para regular, autorizar, y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos que se encuentren en los lechos de los ríos, lagos, playas de mar y canteras” (Decreto ejecutivo 1279, 2012).

Art. 9.- Competencia de los Gobiernos Municipales. – Los Gobiernos Municipales, otorgarán la autorización para el inicio de la explotación de materiales áridos y pétreos en los lechos de los ríos, lagos, lagunas, playas de mar y canteras, a favor de personas naturales o jurídicas que fueren suscriptores de los mismos y que se encontraren en pleno ejercicio de los derechos mineros respectivos (Ley de Minería, 2009, p. 2).

En el río Upano se realiza operaciones mineras de tipo artesanal en su mayoría y de pequeña minería que hasta la actualidad sus operaciones se encuentran paralizadas.

Art. 134.- Minería artesanal, Capacidad de producción y procesamiento. – En consideración a la diferente naturaleza y concentración de los minerales y en función de la distribución de la mineralización, así como de los métodos de explotación y/o procesamientos técnicamente seleccionados para su aprovechamiento racional, se establecen las siguientes capacidades de producción bajo el régimen de minería artesanal de material mineralizado (Ley de Minería, 2009, p. 21).

- *Para minerales no metálicos: Hasta 50 toneladas por día.*
- *Para materiales de construcción: Hasta 100 metros cúbicos por día para minería de aluviales o materiales no consolidados; y, 50 toneladas métricas por día en minería a cielo abierto en rocas duras.*

Art. 138.- Pequeña minería. – Se considera pequeña minería aquella que, en razón de las características y condiciones geológico mineras de los yacimientos de substancias minerales metálicas, no metálicas y materiales de construcción, así como de sus parámetros técnicos y económicos, se hace viable su explotación racional en forma directa, sin perjuicio de que le precedan labores de exploración, o de que se realicen simultáneamente las labores de exploración y explotación (Ley de Minería, 2009, p. 22).

Capacidad de producción bajo el régimen de pequeña minería:

- *Para minerales no metálicos: hasta 1000 toneladas por día.*
- *Para materiales de construcción: hasta 800 metros cúbicos para minería en terrazas aluviales; y, 500 toneladas métricas por día en minería a cielo abierto en roca dura (cantera).*

2.2.2. Ordenanza Municipal

El Gobierno Municipal del Cantón Morona con la finalidad de promover el desarrollo sustentable y de su circunscripción territorial cantonal, el ordenamiento de su territorio, para garantizar la realización del buen vivir a través de la implantación de políticas cantonales, en el marco de sus competencias exclusivas, ha decidido elaborar el marco jurídico cantonal para ejercer de forma responsable con la competencia para regular, autorizar y controlar la explotación de materiales áridos y pétreos.

Donde contempla lo siguiente:

- Delimitación de las áreas de explotación;
- Explotación de materiales de construcción;
- Requisitos para la concesión;
- Procedimiento de aprobación;
- Tipos de actividad permitidas;
- De los libres aprovechamientos;
- Transporte de material;
- Regulación;
- Sanciones (GAD Morona, 2015, pp. 9-12).

2.3. Materiales de explotación áridos y pétreos

Según Herrera (2006) define los materiales pétreos de la siguiente manera:

Los materiales pétreos o de construcción, consisten en rocas y derivados de las rocas, sean estas de naturaleza ígnea, sedimentaria o metamórfica tales como: andesitas, 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 de diferente granulometría cuyo procesamiento no implique un proceso industrial (Herrera & Pla, 2006; citados en Mejía & Quintuña, 2019, p. 414).

2.4. Métodos de explotación

2.4.1. 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; citado en Feijoo, 2016, p. 22).

2.4.2. Diques transversales

Es un método de explotación utilizado en la extracción del material de arrastre, que utilizalo mínimo en recursos económicos proporcionando una mejor producción y manteniendo siempre una armonía con el medio ambiente ésta es una técnica vital en la producción de este material, de igual manera ayuda a mitigar los impactos generados por este tipo de minería. El diseño de estos diques depende del caudal presente en el río (Mojica & Manrique, 2008; citado en Feijoo, 2016, p. 23).

Este método consiste en la colocación de una línea de rocas de sobre tamaño, o bloques de concreto perpendiculares a la corriente del río y a distancias de 50 metros con el fin de retener el material conducido por la corriente (Mojica & Manrique, 2008; citado en Feijoo, 2016, p. 23).

La disposición del material en el lecho del río y los volúmenes a extraer son variables importantes que se deben considerar a la hora de un diseño de cantera en las playas del río Upano, en vista de que la maquinaria a utilizar como establece la ley de minería es de máximo 90 hp con un cucharón de 0.63 m³ y una profundidad máxima de excavación de 5 metros para minería artesanal. Considerando las características de la zona, capacidad de reposición natural del río, dirección y caudal del mismo, ordenanza Municipal y la ley de minería se establece que el método de explotación más óptimo para los mineros de la zona es el de extracción mediante franjas paralelas al cauce natural.

Éste tipo de método de explotación es el más usado en zonas con características similares a la zona de estudio, ya que la deposición del material es de tipo meandriformes, es decir que en este sistema fluvial predomina las formas sinuosas, por lo que se desarrollan islas con grandes volúmenes de material, fino y grueso, de igual manera uno de los beneficios es que el material que es extraído, en su posterior, en los distintos periodos de crecentada del río se repondrá, obteniendo una reducción sustancial de los costos (Mojica & Manrique, 2008; citado en Feijoo, 2016, p. 23).

Las ventajas que presenta este método son que el impacto ambiental es reducido a lo mínimo, ya que el cauce natural del río no se ve modificado y las reservas de material son recuperadas de forma natural en las distintas crecidas del río.

2.5. Consideraciones para extracción de materiales

Para una extracción óptima de materiales de construcción, los parámetros técnicos a ser considerados deberán garantizar los procesos, alcanzar la producción esperada, contribuir a la reducción de daños al entorno y para precautelar la seguridad de las operaciones, se detallan a continuación:

- *Banco.* - Es el escalón comprendido entre los niveles que constituyen el área donde se está explotando el material y que es objeto de excavación desde un punto del espacio hasta su terminación o estructura final.
- *Altura del banco.* - Es la distancia comprendida entre la vertical y la horizontal, es decir desde la parte más baja hasta la cabeza o parte más alta del mismo
- *Talud del banco.* - Es el ángulo delimitado entre la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco.
- *Bermas.* - Son las plataformas o espacios de seguridad entre las plataformas horizontales, que ayudan a mejorar la estabilidad del talud y la seguridad del personal y equipos.
- *Pistas.* - Son caminos carrozables por donde la maquinaria circulará o a su vez por donde los equipos realizan los movimientos para la extracción del material.
- *Patios de stock.* - Son áreas destinadas para la acumulación y posterior clasificación del material extraído del lecho del río (Quintuña, 2019, p. 6).

2.6. Estimación de reservas

El cálculo de las reservas posibles y probables de material que se encuentra en la zona es un dato de suma importancia a la hora de elegir un área para extracción, puesto que, de esta manera podemos determinar si presentará una rentabilidad a largo o corto plazo, así como la selección del método de explotación a implementar.

- *Reserva probada.* - Es la parte económicamente explotable de recurso minero, donde contempla con un alto nivel de confianza el volumen de material que se puede extraer y que garantiza que la actividad resulte rentable. Se basa en la exploración detallada e información

confiable en lugares apropiados que pueden ser zanjas y afloramientos (Código de Australasia para la presentación de informes, resultados de exploración, recursos minerales y reservas de mineral (JORC), 1999, párr. 15).

- *Reserva probable.* - Es la parte económicamente explotable que puede estimarse con un nivel razonable de confianza el volumen de material (m³) que se encuentra presente en la zona. Está basada en prospecciones en terrazas, zanjas o afloramientos (Código de Australasia para la presentación de informes, resultados de exploración, recursos minerales y reservas de mineral (JORC), 1999, párr. 16).

2.7. Ensayo granulométrico

Las propiedades físicas y químicas de los sólidos varían de acuerdo a la distribución granulométrica de los materiales. Para poder efectuar controles de calidad en los materiales granulados es indispensable conocer la distribución del material de acuerdo al tamaño de partículas que lo conforman (Quintuña, 2019, p. 10).

Para la determinación del contenido de bloques, gravas y arenas en el área de estudio se realizará un ensayo granulométrico con los tamices que van 150 um (No. 100), 300 um (No. 50), 600 um (No. 30), 1.18 mm (No. 16), 2.36 (No. 8), 4.75 mm (No. 4), 9.5 mm (3/8 pulg), 19.0 mm (3/4 pulg), 37.5 mm (1 1/2 pulg), de esta manera se podrá determinar el contenido de material de acuerdo a su tamaño.

Tabla 1-2: Clasificación del suelo

Fracción del suelo	Sistema del Dpto. USA	Sistema Internacional
	Diámetro en mm	Diámetro en mm
Arena muy gruesa	1,0 – 2,0	
Arena gruesa	0,5 – 1,0	0,2 – 2,0
Arena media	0,25 – 0,5	
Arena fina	0,1 – 0,25	0,02 – 0,2
Arena muy fina	0,005 – 0,1	0,002 – 0,02
Limos	0,002 – 0,05	
Arcillas	<0,002	<,002

Fuente: Sistemas de USA e internacional, 2015.

Realizado por: Reyes, 2021.

2.8. Ensayo de abrasividad

La abrasión de las rocas es “el desgaste causado por la acción de elementos que, al entrar en contacto con la superficie, retiran una pequeña o gran cantidad de material de la superficie y afirman que es un factor importante de envejecimiento de la piedra natural, incrementándose su acción con el tiempo” (Sánchez-Delgado et al., 2016, p. 349).

Para determinar el porcentaje de desgaste que sufre las rocas en el área de estudio se aplicará el método de desgaste por impacto en la máquina de los ángeles, que consiste en la trituración de los materiales por un periodo de tiempo. Aplicando la ecuación descrita a continuación determinamos el porcentaje de desgaste:

Ecuación 1: Porcentaje de desgaste (abrasión)

$$\%P = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

%P= Porcentaje de desgaste

M_i= Masa inicial

M_f= Masa final



Figura 1-2: Medidor de abrasión

Fuente: LABTOP Ciencia y Tecnología, 2021.

2.9. Hidrología de la zona de estudio

El río Upano presenta características muy definidas y usuales de un río de tipo anastomosado o río trezado, es decir, que tiene en su cauce una red de pequeños canales que están separados por pequeñas islas de materiales de la zona. Esta característica es usual en ríos con unas pendientes variables y gran cantidad de sedimentos. En la actualidad el aumento de material proveniente del volcán Sangay ha ocasionado que se formen grandes bancos de materiales de diámetros variables, así como una variación en la topografía de todo el lecho del río Upano (Quintuña, 2019, p. 11).



Figura 2-2: Características hidrológicas del río Upano

Fuente: Quintuña, 2019, p. 11.

2.10. Morfología de valles fluviales

La geomorfología fluvial es la ciencia que estudia el trabajo que realiza el río en su recorrido desde su nacimiento hasta su desembocadura en el océano. Los procesos y las formas fluviales forman parte del sistema fluvial y, por lo tanto, también construyen los espacios fluviales (Charlton, 2007, p. 54).

El estudio de la geomorfología fluvial permite analizar la dinámica no sólo del agua del río sino también la del valle fluvial y comprender los mecanismos de las inundaciones para mitigar los riesgos (Luna, Gordon, & John, 2020, p. 40-45).

2.11. Cuenca hidrográfica

Es una unidad geográfica delimitada por la divisoria de aguas o *divortium aquarum* que drena o conduce el agua hacia un punto en común en su parte inferior. Se suele entender como una unidad para la gestión que se realiza dentro de la cuenca hidrográfica (Ordoñez, 2012, p. 8).

En la cuenca hidrográfica, se distinguen por lo general tres sectores característicos: Alto, Medio y Bajo, los cuales en función a las características topográficas del medio pueden influir en sus procesos Hidrometeorológico y en el uso de sus recursos (Llerena, 2003, pp. 9-12).

Una cuenca incluye ecosistemas terrestres y acuáticos, y sus límites se establecen por el parteaguas desde donde escurre el agua que se precipita en el territorio delimitado por éste, hasta un punto de salida (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013, pp. 7-12).

2.12. Morfología del cauce

VARIABLES como la naturaleza de los sedimentos, la magnitud de las crecidas y su frecuencia de ocurrencia, el tipo de roca que está presente en el cauce y el predominio de un mecanismo de transporte de materiales, condicionan la morfología del canal principal del río (Charlton, 2007, p.54). La interacción de las variables mencionadas, producen distintas formas del cauce, entre las más representativas se tienen: rectos, meandriiformes, y trenzados o anastomosados (Knighton, 1998, pp. 94-100).



Figura 3-2: Morfología hidrológica

Fuente: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos naturales, 2021.

Ecuación 2: Ecuación de van der Waals

$$P_1 = \frac{PV_1 + PV_2 + PV_3 + \dots + PV_n}{n} \quad (\text{Ec. 2})$$

2.13. Parámetros técnicos

Los parámetros técnicos que influyen en la selección del método de explotación en áreas mineras son:

Erosión progresiva. - Al momento de depositarse el material en la piscina, el caudal del río aguas abajo de la excavación recupera las características que tenía aguas arriba, la capacidad de transporte se ve afectada y para compensar este déficit se produce una erosión progresiva en el lecho y orillas del río hasta conseguir su flujo natural.

Erosión remontante. - Ocurre aguas arriba del lugar donde se empieza las actividades, esto debido al aumento de la pendiente, es decir que el cauce del río incrementa por la piscina excavada produciendo una erosión.

Erosión regresiva. - Cuando el cauce de un río se ve afectado por cualquier cambio natural o antrópico se produce la erosión por socavación, esto afecta directamente a la roca madre o *bed rock*, produciendo un desequilibrio de la dinámica natural.

Piscinas o dársenas. - Consiste en la excavación de piscinas para el almacenamiento del material por arrastre del río, estas piscinas pueden ser excavadas a un costado del río o en el lecho vivo del río y serán rellenas en las avenidas del mismo.

Profundidad del espejo de agua. - El nivel de profundidad irregular con respecto al espejo de agua y la superficie subacuática del lecho del río.

Ancho de la piscina. - Es el ancho de la piscina donde se almacenará el material de arrastre, este parámetro depende de la topografía donde se planea realizar la explotación y la experiencia del técnico a cargo.

Longitud de la piscina. - Las dimensiones deben cumplir la relación (L/B), largo y ancho.

Profundidad de excavación. - Corresponde a la profundidad de trabajo, depende de la potencia del depósito obedeciendo a la relación (L/H), largo y profundidad, es importante el evitar en lo mayor posible los cambios en la pendiente de circulación del cauce y dañar la roca madre.

Plataforma de trabajo. - Es donde se desarrollarán los trabajos de manera normal, movimiento de maquinaria y personal.

Dique longitudinal de protección. - Para que las actividades de explotación se desarrollen de manera adecuada es necesario diseñar un dique, tiene la función de evitar daños durante el arranque de material y conservar el cauce natural del río.

Borde de seguridad entre piscinas. - Es la distancia que debe existir entre cada dársena excavada, sirve para llevar una correcta explotación de manera organizada y disminuirá el impacto paisajístico.

Canal de desagüe. - Corresponde a la excavación realizada para desalojar el agua infiltrada a la zona de explotación ya sea por producto de inundación u otros.

Borde de seguridad de la ribera o zona de amortiguación. - Evita el desbordamiento, dentro de esta no se debe realizar ninguna explotación para evitar posibles problemas.

Vía de acceso de la maquinaria y equipos. - Para la circulación de la maquinaria que se encuentra trabajando y para el transporte del material hacia la planta de beneficio.

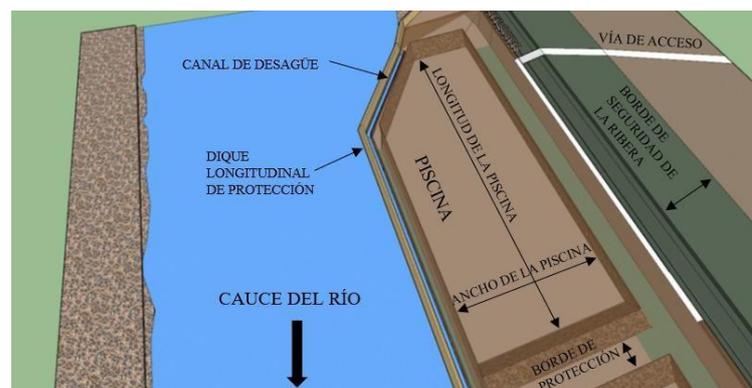


Figura 4-2: Método de extracción por franjas paralelas

Fuente: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2014.

2.14. Sistemas de información Geográfica (SIG)

Un SIG es un sistema para la administración, procesamiento, análisis y visualización de información geográfica que se estructura en distintos conjuntos de insumos: modelos de geoprocésamiento, datos geográficos, mapas interactivos, modelos de datos, metadatos.

Una implementación correcta de un SIG considera que todos sus elementos fundamentales, tales como: software, hardware, datos, métodos y el personal calificado (ESRI, 2016). Además, la representación digital del mundo real supone conceptualizar el espacio, lo cual se realiza a través de los modelos de datos. Muchas veces los datos se obtienen de forma indirectamente, habiendo sido generados por terceros. En estos casos la información puede ser utilizada inmediatamente, o casi de inmediato, ya que lo habitual es que los datos previamente necesiten una conversión de formato o una transformación del sistema de referencia. En otros casos el trabajo se centra en un área de estudio de la que no se dispone de información, haciéndose indispensables funciones para la introducción de datos en el sistema. Con la intención de superar estas limitaciones la mayor parte del software SIG incluye funciones de digitalización, verificación de datos, rasterización y georreferenciación (ESRI, 2016, párr. 1-10).

Los programas SIG recogen un número considerable de funciones para el análisis espacial, ya que es uno de sus puntos fuertes y distintivos. Entre ellas se incluyen la superposición de mapas, el análisis de proximidad, el cálculo de áreas, perímetros y volúmenes, el análisis de rutas, la elaboración de estadísticas y mapas algebraicos, entre otros (Chamorro, 2014, pp. 32-33).

2.15. Modelos de datos espaciales

La mayoría de los elementos que existen en la naturaleza pueden ser representados mediante formas geométricas: puntos, líneas, polígonos (vector) o, mediante celdas, tesales o píxeles con información (ráster). Son formas de representar los elementos objeto de estudio según su naturaleza y según la forma de ilustrar el espacio. La selección de un formato u otro dependerá de si las propiedades topológicas son más ventajosas para el análisis a realizar. Si es así, el modelo de datos vectorial es la mejor opción, sin embargo, su estructura de datos, aunque muy precisa, es mucho más compleja y dispendiosa en tiempo de procesamiento, ralentizar su ejecución. Por ello, si el análisis de interés no requiere acudir a las propiedades topológicas, es más aconsejable, sencillo y eficaz usar el modelo ráster.

También resulta más fácil decantarse por la estructura de datos vectorial en casos como cuando se desea reflejar más de un atributo geográfico en el mismo espacio de trabajo, mientras que, al usar el modelo ráster, se condiciona a generar una capa (layer) individual para cada atributo geográfico (Palacios, 2020, p. 21).

2.16. Álgebra de mapas

El álgebra de mapas es una herramienta de trabajo diseñada específicamente para SIG, mediante la información en modelo ráster. Esta álgebra de mapas permite al usuario ordenar y formular sus pensamientos y ofrece reglas o condicionantes y sintaxis necesaria para comunicar con el computador (Palacios, 2020). Para manipular los mapas o producir nuevos, se utilizan comandos y operadores. Los comandos son instrucciones principalmente para el manejo de las celdas (ráster). Los operadores desarrollan cálculos matemáticos dentro y entre píxeles, con valores enteros o flotantes, generando nuevas celdas. Los valores enteros o flotantes están relacionados con el concepto de precisión, el cual a su vez tiene implicaciones en capacidad de almacenamiento.

2.17. Lógica Fuzzy o difusa

La Lógica Fuzzy también es conocida como Lógica Difusa o Lógica Borrosa, y se basa en lo relativo de lo observado. En la lógica clásica (booleana) se tienen solo dos estados posibles: 1 - 0 (verdadero y falso), mientras que en la lógica multivariada se incluyen sistemas lógicos que admiten varios valores de verdad posibles; en la lógica difusa se asigna valores intermedios dentro de una escala a fin de cuantificar una incertidumbre (Palacios, 2020, pp. 4-7).

Fuzzy es una de las herramientas de la inteligencia artificial que utiliza la experiencia del ser humano para producir un razonamiento que permite la toma de decisiones. A través esta herramienta se puede representar un sistema de gestión mediante un modelo matemático no-lineal, para ello se hace uso de variables lingüísticas y una serie de condiciones previamente definidas.

Según la lógica clásica, un elemento pertenece o no al conjunto, sin embargo, la lógica borrosa lo que hace es poner un grado de pertenencia al conjunto. Este grado de pertenencia se define a través de una función característica asociada al conjunto difuso, donde: para cada valor que puede tomar la variable x , la función característica $\mu_A(x)$ proporciona el grado de pertenencia de ese valor x al conjunto difuso A (Shahabi, Hashim, & Ahmad, 2015, pp. 8647-8668). Esta teoría nos permite manejar y procesar ciertos tipos de información en los cuales se manejen términos inexactos, imprecisos o subjetivos. De una manera similar a como lo hace el cerebro humano, es posible ordenar un razonamiento basado en reglas imprecisas y en datos incompletos (Godínez, 2011, pp. 1-5).

La clasificación difusa, borrosa o Fuzzy evalúa la posibilidad de que cada elemento o píxel pertenezca a un determinado sistema o fenómeno (Guo, Fang, & Zhou, 2008), éste puede ser el caso de píxeles que pertenezcan o no a una clase específica en una banda de una imagen satelital. (Palacios & Cepeda, 2018, p. 682-683). Para esto analizaremos tres posibles escenarios o casos, a los cuales se pueden ajustar la probabilidad de ocurrencia del evento estudiado y sus

correspondientes variables.

Se usará la curva del seno cuadrado, para obtener una curva donde el rango sea de [0,1,0], y no obtener valores negativos, como sería el caso de tomar la curva seno no cuadrático. El eje x se convierte en la probabilidad y el ángulo de la función, que se lo llamará α , estará en función de la variable del evento.

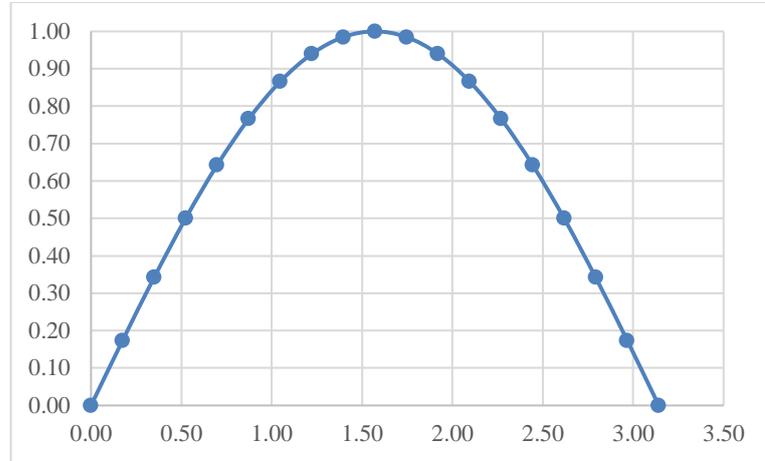


Gráfico 1-2: Curva de probabilidad de un fenómeno natural

Fuente: Padilla, 2007.

Es así que la probabilidad se define de la siguiente forma:

Ecuación 3: Probabilidad

$$P = f(\sin \alpha) \quad (Ec. 3)$$

Dónde:

P = probabilidad de ocurrencia del evento o fenómeno

α = variable en función del evento o fenómeno

Mínima P = 0 o 0%

Máxima P = 1 o 100%

Para obtener una curva donde el rango sea de [0, 1,0], usamos la función cuadrada del seno:

Ecuación 4: Probabilidad (función seno cuadrado)

$$P = f(\sin^2 \alpha) \quad (Ec. 4)$$

Existen diversas aplicaciones que se puede realizar con esta metodología, como, por ejemplo: modelamiento de ubicación de especies, susceptibilidad a riesgos naturales; en teledetección se usa para clasificar imágenes satelitales en la obtención de una o varios elementos, como puede ser un tipo de vegetación, una clase de suelo específico, entre otros. En cualquiera de estas situaciones existen más de dos variables que se encuentran involucradas al elemento a obtenerse,

es así que la probabilidad de modelar este elemento corresponde al producto de todas esas variables (Palacios,2020, pp. 4-7).

Dónde

Pt = es la probabilidad total de obtención de un fenómeno

PV1...PVn: = son las probabilidades individuales, obtenidas mediante lógica Fuzzy de cada variable.

n = número total de variables.

2.17.1. Casos en Lógica Fuzzy

La Lógica Fuzzy tiene una gama intermedia, o posibles respuestas entre el sí y el no, de forma cualitativa. Es decir, que aplicando Fuzzy son valores numéricos probables entre el 0 y el 1, de forma cuantitativa. Con esta metodología las funciones trigonométricas que se aplican son el Seno y el Coseno, ya que, el rango en el que se trabaja es entre 0 y 1 (Andocilla, 2012).

Los casos de Fuzzy son:

- Primer caso. - El rango a ser utilizado en el análisis es de [0,1], y no obtener valores negativos, como sería el caso de tomar la curva seno no cuadrático, es decir, se utiliza la función seno desde 0 hasta π .
- Segundo caso. - Son aquellos donde la probabilidad de ocurrencia es inversamente proporcional al evento analizado, es decir, se utiliza la función coseno desde 0 hasta $\pi/2$.
- Tercer caso. - Son aquellos donde la probabilidad de ocurrencia es directamente proporcional al evento analizado, es decir, se utiliza la función seno desde 0 hasta $\pi/2$.

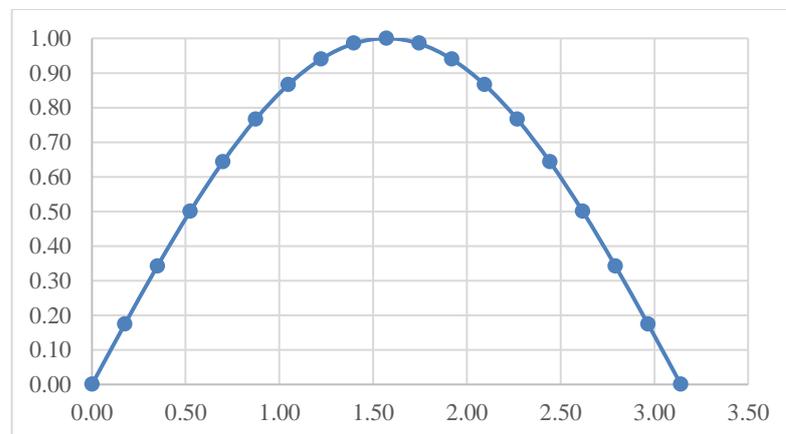


Gráfico 2-2: Primer caso de lógica Fuzzy

Fuente: Padilla, 2007.

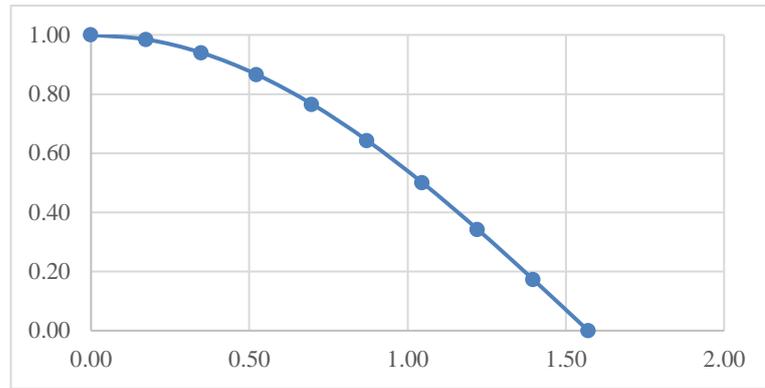


Gráfico 3-2: Segundo caso de lógica Fuzzy

Fuente: Padilla, 2007.

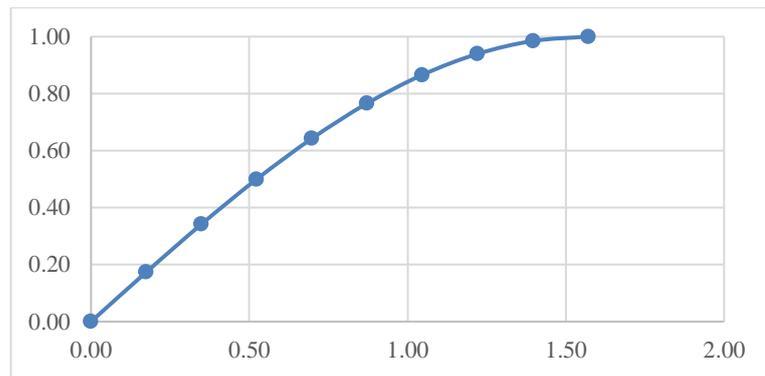


Gráfico 4-2: Tercer caso de lógica Fuzzy

Fuente: Padilla, 2007.

2.18. Actividad eruptiva del volcán Sangay

El Volcán Sangay es el último volcán al sur del Ecuador, ubicado en la Cordillera Real, en la provincia de Morona Santiago. Tiene una altura aproximada de 5230 msnm con laderas de 35° de inclinación. Se trata de un estrato-volcán cuyo período eruptivo se registra constante desde 1628. Actualmente, está en una etapa eruptiva de considerables proporciones, con flujos de lava y columnas de ceniza que han afectado a ciudades de otras provincias, llegando incluso hasta Guayaquil. Modelos de dispersión de ceniza, como el realizado por el Instituto Geofísico Nacional muestran el alcance que pueden tener estas.

Los modelos matemáticos nuevamente, permiten aproximar las afectaciones que se generaron por el flujo piroclástico desde el volcán hasta el lugar de estudio, como lo muestra en la figura siguiente:

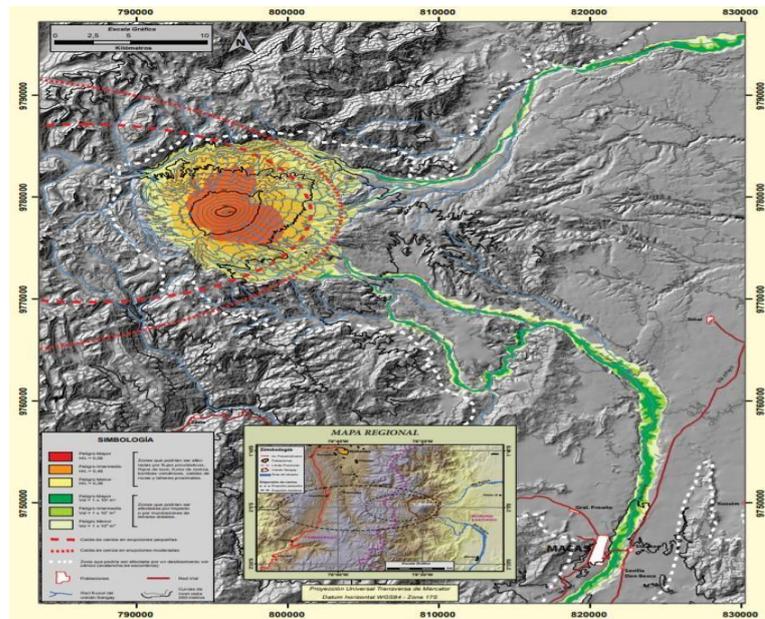


Figura 7-2: Estimación matemática de los potenciales peligros del volcán Sangay

Fuente: Instituto Geofísico – Escuela Politécnica Nacional, 2020.

Como se observa en la figura anterior, el material proveniente del Sangay alcanza el lugar de estudio por lo cual es un factor a considerar en la influencia que puede tener para la determinación y ubicación de los lugares más factibles a ser explotados.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

La metodología implementada en el presente estudio se ha dividido en dos: primero, trabajo de oficina, que consistió en la recopilación de información bibliográfica referente a la zona de estudio para su posterior interpretación; Segundo, trabajo de campo en toda el área de estudio, para lo cual se trazó una metodología que se dividió en un levantamiento de información local, caracterización de la zona, identificación de las áreas mineras operativas, las inactivas y aquellas que han sido abandonadas, así mismo el nivel de afectación al entorno que han tenido estas actividades a lo largo del tiempo. Como un aporte adicional a la presente investigación se realizó un ensayo de abrasión para determinar la calidad del material y su clasificación granulométrica para conocer el porcentaje de finos y gruesos en un área determinada.

3.1. Descripción del área de estudio

Mediante un recorrido de campo en el lecho del río se tomó como referencia del puente sobre el Río Upano 1 kilómetro aguas arriba del puente sobre el Río Upano y 4.5 km aguas abajo, se pudo visualizar grandes depósitos de material pétreo que ha sido transportado por el río en las distintas crecidas y son depositados en zonas donde la topografía es irregular.

La topografía irregular de la zona de estudio y el aumento de material pétreo que se ha generado en estos meses debido a las constantes erupciones del volcán Sangay han formado nuevas terrazas de transición de dimensiones variadas ya sea de arena, grava o roca.



Figura 1-3: Terrazas de transición en el río Upano

Realizado por: Reyes, 2021.

Las características del material y los volúmenes de reservas probadas son un atractivo para los sectores mineros artesanales que se dedican a la extracción procesamiento y comercialización del mismo. Se puede visualizar un gran número de maquinaria, 6 retroexcavadoras, 1 gallineta y alrededor de 6 volquetes que se encuentran trabajando en el lecho del río Upano, todas ellas de uso propio de los titulares mineros y del GAD Municipal.

La falta de una aplicación técnica, como un método de explotación acorde a las características de la zona, como también las especificaciones técnicas de los equipos mínimos de uso de acuerdo a la normativa legal para los permisos han ocasionado afectaciones al cauce natural del río, impacto visual, afectaciones a la vía y asentamientos irregulares en la zona.

Dentro de la jurisdicción del cantón Morona y en la zona de estudio se cuenta con 28 permisos de minería Artesanal, y una concesión de pequeña minería dando un total de 29 títulos mineros. De los 29 títulos mineros en el cantón Morona para la explotación de áridos y pétreos únicamente 3 áreas se encuentran en producción y las 26 se encuentran inactivas (GAD de Morona; 2020).

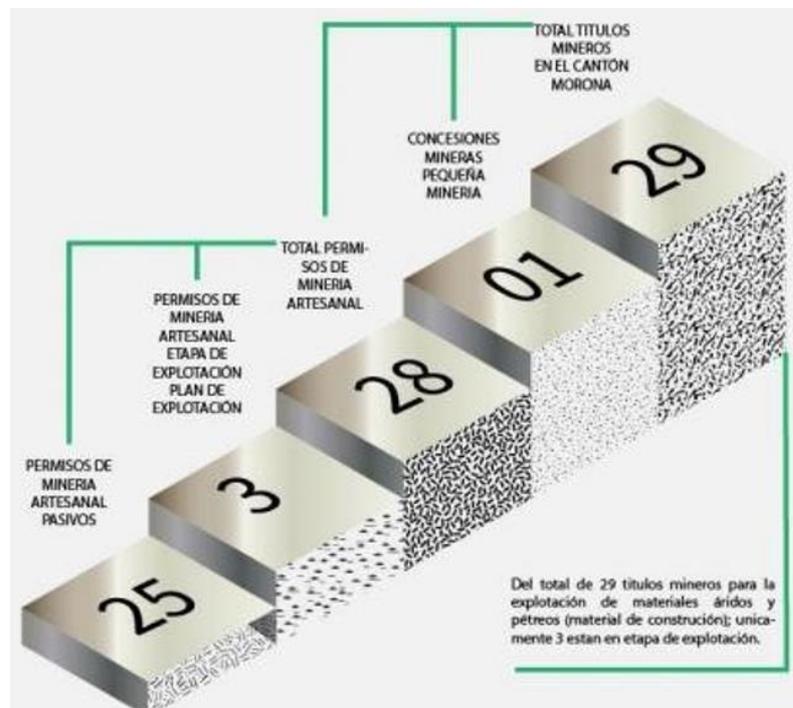


Figura 2-3: Concesiones mineras en el cantón Morona

Fuente: GAD Morona, 2019-2023.

Según el levantamiento de información que se realizó en el GAD de Morona hasta la presente fecha se ha archivado un total de 10 títulos mineros, por renuncia voluntaria. Las razones principales son de índole económico y de accesibilidad hacia las áreas mineras.

La mayoría de titulares mineros no se encuentran realizando labores de explotación, únicamente mantienen los títulos mineros, pero no utilizan las áreas; además muchos de los titulares mineros se encuentran participando de la minga intersectorial convocada por el Gobierno Municipal.



Figura 3-3: Zonas de extracción minera

Realizado por: Reyes, 2021.

Las 3 áreas en producción se estima que aproximadamente extraen 30.720 m³ anuales (información en base a los planes de explotación presentados) por lo que esa cantidad de material extraído no representa una afectación al volumen total de material útil del río, a su vez la maquinaria utilizada para la extracción no cumple con lo establecido en la normativa establecida por ARCOM, que es de 90 HP de potencia y de 0,65 m³ de cucharón.

En la zona de estudio se encuentra operativo un libre aprovechamiento, Morona Pétreos que en base a la solicitud presentada extraen 202.752,00 m³ de material pétreos.

Con las 3 áreas activas sumada el libre aprovechamiento da un total de 233.472,00 m³ de material áridos y pétreos que son extraídos de manera anual en las playas del río Upano.

Además de lo mencionado, es inevitable señalar que, 25 permisos de minería artesanal no cuentan con la autorización municipal de explotación, a pesar de contar con el resto de documentación, sin este permiso no es posible que operen, por lo que solo 3 están actualmente activos.

Esto se debe a que los derechos mineros fueron adquiridos antes de la transferencia de los áridos y pétreos, a las administraciones de los GADs aun no regularizándose a la ordenanza municipal del ramo, por lo que, entre los motivos, a más de la licencia municipal faltante, no se explotan estos polígonos debido a: inexistencia de accesos, encontrarse en medio del río y no poseer maquinaria para extraer dicho material.

La ley de minería establece actos administrativos previos para la obtención de un permiso de funcionamiento, sumado a esto, el GAD Municipal solicita al titular minero presentar un instructivo Municipal donde contemplará los parámetros técnicos para la extracción de material y las medidas de seguridad que implementará para garantizar la salud de quienes realicen actividades en el área minera.

A continuación, se visualiza el total de titulares mineros que han presentado los requisitos para la obtención de su permiso de extracción minera.

Tabla 1-3: Resumen de titulares mineros en el cantón

REQUISITOS	CUMPLE	NO CUMPLE
Título minero	3	26
Ficha ambiental	28	1
Trámite administrativo favorable de uso y aprovechamiento del agua	20	9
Declaración Juramentada	28	1
Autorización Municipal de explotación (Instructivo Municipal).	3	26

Realizado por: Reyes, 2021.

3.2. Geología local

El río Upano se encuentra dentro del tipo anastomosado, esto se debe a que posee una serie de canales formados por la acumulación de materiales de distintos tamaños que establecen terrazas de transición.

En la actualidad las constantes erupciones del volcán Sangay han generado grandes terrazas de material, debido a la topografía irregular del terreno y a la disminución del caudal que hace que el arrastre del material sea menor.

El río Upano se encuentra en un valle fluvial delimitado en su margen izquierdo y derecho por taludes de aproximadamente 40 metros de edad cuaternaria, constituidos por lahares con intercalaciones de material sedimentario, estas secuencias se caracterizan por tener una matriz compactada y con aglomerados de distintos tamaños.

En toda su dimensión el río Upano presenta acumulación de material, arena, grava y cantos rodados de distintos tamaños de tipo ígneo específicamente andesitas basálticas provenientes del volcán Sangay. En su mayoría se visualiza un dominio de bloques desde 0.20 cm hasta los 0.50 cm de forma redondeada, lo que hace que sus características sean idóneas para ser usadas en la construcción. A simple vista se puede estimar que existe un 75% de bloques y un 25 % de arena gruesa y fina en toda el área de estudio.



Figura 4-3: Material acumulado en la zona de estudio

Realizado por: Reyes, 2021.



Figura 5-3: Material de la zona de estudio

Realizado por: Reyes, 2021.

3.3. Ensayos de abrasividad

Para conocer el nivel de abrasión que tiene las rocas ubicadas en las playas del río Upano se procedió a realizar el ensayo de laboratorio en el concejo provincial. Para el cual se utilizó la máquina de Los Ángeles cuya función es determinar el porcentaje de desgaste de la roca.

Para realizar el ensayo se siguieron los pasos descritos a continuación:

- Se procedió a identificar una zona que presenta las características óptimas para la toma de una muestra representativa de la zona.
- Se realizó la recolección de 4 muestras de aproximadamente 10 kg cada una utilizando baldes.
- Las muestras recolectadas fueron llevadas al laboratorio, donde fueron lavadas y secadas para un posterior roleo y homogenización de la misma para obtener una muestra representativa de la zona.

- La muestra obtenida se hace pasar por los tamices de $1\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{1}{2}$, y por último la de $\frac{3}{8}$. En cada uno de los tamices el peso será de 1250 gr que en su totalidad suma 5000 gr que serán sometidos análisis en la máquina de los ángeles.
- Para el análisis en la maquina los ángeles se debe adicionar 12 bolas de acero que dan un total de 5000 gr y se les deja moler por un tiempo de 15 minutos a una velocidad operativa de 30 a 33 rpm.
- Una vez terminado el tiempo de operación se extrae el producto de la molienda y se realiza una comparación entre la muestra inicial menos la muestra final, y se obtiene el porcentaje de desgaste de la muestra.

Para el análisis de las muestras se utilizó el laboratorio ubicado en el concejo provincial, de igual manera la ficha para el cálculo de abrasión.



Figura 6-3: Recolección de muestras

Realizado por: Reyes, 2021.



Figura 7-3: Colocación de muestras en medidor de abrasión

Realizado por: Reyes, 2021.

Tabla 2-3: Resultados del ensayo de abrasión

	ENSAYO DE ABRASIÓN			
	INEM 860 AASHTOT T-96			
PROYECTO: PLAYA UPANO NORTE				
Yacimiento	playas del río	Muestra:	1	
Fecha:	18/12/2020	Profundidad:	3 m	
Muestra:	base del río Upano			
Ensayo de abrasión - Los Ángeles				
Tipo	Masa inicial	Masa final	% abrasión	
	gr	gr		
A	5,000	2,139	42,78%	
Especificaciones:		< 40,00% SÍ CUMPLE		
Porcentaje de desgaste:		42,78%		

Fuente: GAD Provincial de Morona Santiago, 2020.

Realizado por: Reyes, 2021.

Según la Norma Ecuatoriana de Vialidad, donde establece que si la roca presenta un desgaste de 50% o mayor las características de la misma no son las idóneas para ser usadas en vías o construcción.

3.4. Ensayos granulométricos

Para la determinación del porcentaje de contenido de arena, grabas y bloques y aquel que predomina en la zona de estudio se realizó un ensayo granulométrico de 1 m³ de muestra. Para el presente ensayo se realizaron los siguientes pasos:

- A un m³ de material se lo hizo pasar por una criba clasificadora utilizada por los mineros de la zona donde aproximadamente el 80% del material fue retenido.
- Se procedió a colocar en un recipiente el pasante para luego ser llevado al laboratorio para su análisis.
- En el laboratorio se realizó un roleo para su homogenización y obtención de una muestra representativa.
- A la muestra representativa se la hizo pasar por los tamices 2", 1", 3/4", 4", 8", 16", 32" y así se procedió a pesar la cantidad de material retenido en cada tamiz.

Realizando todos estos pasos se pudo obtener la clasificación granulométrica y así determinar el contenido de finos, gruesos y cantos en un área determinada. Este dato nos permitió establecer y estimar la distribución granulométrica de todo el material que se encuentra depositado en las playas del río Upano.

Para el presente análisis se coloca toda la muestra en los tamices de mayor a menor y el material que se retiene en cada tamiz es pesado hasta la muestra final, con la ayuda de una tabla en el

formato proporcionado por el Gobierno Provincial se van colocando los pesos desde el tamiz 3/8 hasta el 200 y se va obteniendo el peso acumulado que es la suma del material retenido en cada tamiz. Para la obtención del porcentaje de material retenido se divide el peso retenido acumulado por la sumatoria del peso total por 100. Para el porcentaje pasante es la sumatoria del porcentaje retenido de cada tamiz.



Figura 8-3: Colocación de muestras en tamices de granulometría

Realizado por: Reyes, 2021.



Figura 9-3: Pesaje del tamaño de grano por tamiz de muestra analizada

Realizado por: Reyes, 2021.

Tabla 3-3: Resultados del ensayo de granulometría

Granulometría (ASTM D422)						
TAMIZ	ABERTURA	PESO RET.	PESO RET.	%	%	%
	mm	PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO	QUE PASA	ESPECIFICADO
N 3/8	9	0,45	20,45	20,45	79,55	
N 40	0,42	0,55	25,00	45,45	54,55	
N 50	0,8	0,49	22,27	67,72	32,28	
N 80	0,18		0,00	67,72	32,28	
N 100	0,155	0,57	25,91	93,63	6,37	
N 200	0,07	0,14	6,36	100,00	0,00	
<N 200						
TOTAL		2,2	100,00		GRUESO	17,25%
					MEDIO	15,12%
					FINO	67,63%

Fuente: GAD Provincial de Morona Santiago, 2020.

Realizado por: Reyes, 2021.

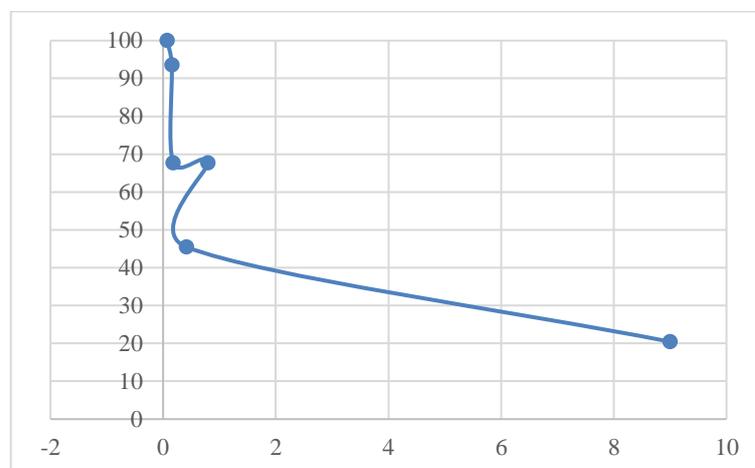


Gráfico 1-3: Curva granulométrica

Fuente: GAD Provincial de Morona Santiago, 2020.

Realizado por: Reyes, 2021.

Como se muestra en la tabla 7 de resultado del ensayo, se puede visualizar que del 100 % de la muestra analizada se obtuvo que el porcentaje de retenido en la muestra es de 17.25% de grueso, 15.12% de árido medio y de 67.33% de finos dando un total de 100% de muestra. Por lo que se puede determinar que el tipo de material que se encuentra es un suelo arenoso con clastos de tipo Andesito basáltico.

3.5. Análisis del método de explotación en las playas del río Upano.

Con las visitas técnicas realizadas a la zona de estudio y la información recopilada sobre toda el área, se pudo visualizar que las áreas mineras que se encuentran realizando actividad minera en los márgenes del río Upano no implementan una metodología técnica acorde a las condiciones de la zona, a la ley minera, reglamento minero y a la ordenanza e instructivo Municipal.



Figura 10-3: Método de explotación: empírico

Realizado por: Reyes, 2021.



Figura 11-3: Zona piloto 1: criterios de franjas paralelas

Realizado por: Reyes, 2021.



Figura 12-3: Zona piloto 2: criterios de franjas paralelas

Realizado por: Reyes, 2021.

En la figura 12-3 se puede visualizar que los titulares mineros realizan excavaciones en distintas zonas de manera aleatoria. La variable que ellos analizan a la hora de la selección de una zona de extracción es únicamente el volumen de material acumulado en dicha zona, es decir, no se realiza un análisis general de la ubicación, accesos y los factores que implican la extracción, transporte y clasificación del material. Las afectaciones que se producen en el entorno, los costos de transporte, los tiempos y las alteraciones al cauce natural del río son evidentes.

En base a lo antes mencionado se propuso realizar un plan piloto (figuras 11-3 y 12-3) con dos áreas mineras, la primera ubicada bajo el puente del río Upano donde se realizó una piscina de 5 metros de profundidad, 5 metros de ancho y 3 de largo ubicado en dirección de avance del río. Al aplicar este método de extracción se pudo comprobar en campo que los tiempos de remoción de material en relación a la forma de extracción cotidiana aplicado por los mineros de la zona es menor, la maquinaria ya no ingresa al cauce del río por lo que no existe partículas en suspensión que aumenten la turbiedad del río y la extracción es más ordenada.

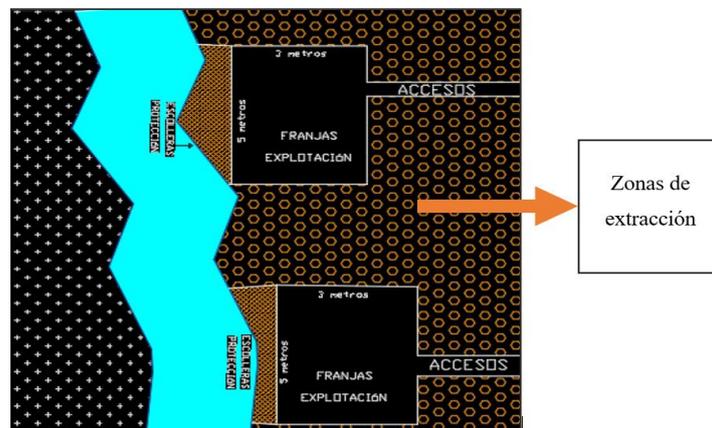


Figura 13-3: Esquema de extracción por franjas

Realizado por: Reyes, 2021.

Como se muestra en la ilustración anterior, el método óptimo de extracción de material en las playas del río Upano debe realizarse de la manera que se visualiza. En las zonas idóneas de extracción se realiza franjas de explotación en dirección al avance del río con las dimensiones establecidas. Los bloques no consolidados con dimensiones mayores a 50 cm son colocados como escolleras de protección para evitar posibles afectaciones por el cauce del río.

3.6. Parámetros técnicos de diseño

Para la selección de un método de explotación para materiales se debe tener en cuenta varios parámetros como, dársenas, ancho de la piscina, profundidad de espejo de agua, longitud de la piscina, profundidad de excavación, plataforma de trabajo, dique longitudinal de protección, borde de seguridad entre piscinas, canal de desagüe, borde de seguridad de la ribera o zona de

amortiguación vía de acceso de la maquinaria y equipos. La ley de minería establece ya algunos parámetros a cumplir a la hora de la selección de un método de explotación, como es la capacidad máxima de la maquinaria y los volúmenes permitidos de extracción.

La elección de la maquinaria es un punto muy importante dentro del diseño de explotación y dependerá muchas veces del tipo de actividades a realizar, del volumen de material que se planea explotar, la capacidad de la planta de beneficio, entre otros. La maquinaria existente en las concesiones de materiales pétreos son excavadoras, volquetes, gallinetas y trituradoras de mandíbulas, para la elección de estos equipos se debe considerar las características físico-mecánicas de la roca.

Para el presente estudio los parámetros que se consideraron para determinar un óptimo proceso de extracción son:

- Teoría de cola o líneas de espera.
- Ley de minería, donde se establece las especificaciones y restricciones para cada fase de explotación mineral
- Ordenanza Municipal, (Instructivo Municipal), contempla las especificaciones a cumplir por los titulares mineros.
- Características físicas del entorno, como son la geología del terreno, topografía de la zona, máximas crecientes del Upano y diámetro del material. Esta información se la obtuvo con levantamientos continuos de campo en toda la zona de estudio.
- Potencia de la maquinaria de extracción y transporte, de acuerdo a lo establecido por la entidad competente de control GAD Morona, quien otorga los permisos de explotación, la potencia máxima de maquinaria permitida es de 90 hp con 0.63 m³ de cucharón, volquetes de 8 m³ de capacidad de carga y dimensiones máximas de excavación.

3.7. Optimización de los procesos mineros.

Por optimización entendemos realizar un trabajo o actividad de manera más eficiente usando la menor cantidad de recursos, en minería se optimiza para aumentar la producción, reducir los costos, mejorar la estabilidad, disminuir el impacto generado por las actividades; el recurso más importante durante la ejecución de las actividades es el tiempo, es así como nos enfocamos principalmente en este parámetro, en el tiempo de un ciclo de trabajo, un ciclo de explotación está comprendido desde que se arranca el material con la excavadora del frente de explotación hasta llegar a la zaranda de clasificación.

Lo necesario para optimizar un proceso es el conocimiento de la actividad, para después de realizado una comparación sea posible aplicar los correctivos, cada actividad efectuada tiene su grado de afectación en la siguiente, en minería se trabaja con actividades en ciclo, por tal motivo cada una de las actividades depende de la anterior a esta.

La correcta planificación minera aporta en gran manera a la optimización de los procesos, para iniciar las operaciones se necesita planificar las actividades a realizar, esta puede ser determinada para un período de un mes, medio año o años, el éxito de las planificaciones es cumplir lo propuesto, se debe mencionar que en los planes desarrollados se encuentra considerado los imprevistos que pueden ocurrir al momento de las actividades.

Cuando planificamos desarrollamos un cronograma para cada actividad y el tiempo invertido en esta, también se considera el costo por metro cúbico (costos directos e indirectos), depreciación de equipos (insumos utilizados), las limitaciones de la planta de beneficio (volumen de producción), el método de explotación, jornada diaria, etc., para comprender de una manera sencilla, se describe el qué, cómo, cuándo y dónde extraer el material a ser procesado de la manera más efectiva.

En las concesiones existentes en el Río Upano se presentan muchas problemáticas en lo que concierne al método de explotación, una de las más importantes es el manejo de los tiempos para el carguío y transporte del material, la existencia de tiempos muertos disminuye en gran parte a la eficiencia en la explotación provocando así un déficit, de igual manera se debe considerar las afectaciones que se producen al río durante la extracción del material, la distancia de transporte y el método de explotación.

Muchas de las concesiones existentes no cuentan con un diseño de explotación técnico que garantice no sólo un rendimiento y rentabilidad, sino que esté apegado a las normas y reglamentos ambientales; se ha observado en campo que predominan los métodos rudimentarios y la falta de asesoramiento por un técnico ha dado lugar a que el curso natural del río no se mantenga, produciendo cambios en el medio visual, a esto también se debe añadir que el represamiento producido aguas arriba, específicamente a la altura de la unión entre el Río Volcán y el Río Upano ha contribuido a que existan avenidas frecuentes produciendo inconvenientes en la cuenca del río. Para optimizar el carguío y transporte del material pétreo hacia la planta de beneficio se aplicará la teoría de las colas o de líneas de espera, este método permite realizar variantes continuas al momento de la explotación y se asemeja a la realidad para el caso de la minería artesanal de áridos y pétreos.

Consiste en realizar la colmatación del balde de los volquetes según estos lleguen hasta el sitio donde se encuentre realizando el arranque de material, se considera el costo unitario del servicio, el costo de espera, como resultado obtendremos la cantidad de maquinaria desocupada o que estaría estacionaria sin realizar actividad.

3.8. Teoría de colas o líneas de espera

Las variables que intervienen en la teoría de colas son:

K = puntos de servicio

n = clientes

$K > n$ no debe existir colas

$K \leq n$ cola al infinito

μ = tasa de servicio

3.8.1. Factor de utilización (P_k)

Ecuación 5: Factor de utilización (Teoría de colas)

$$P_k = \frac{\lambda}{k * \mu} \quad (\text{Ec. 5})$$

$P_k \geq 1$ cola al infinito

$P_k < 1$ resolución del problema

3.8.2. Probabilidad de no tener clientes en el sistema (P_0)

Ecuación 6: Probabilidad de no clientes (Teoría de colas)

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{i=0}^{k-1} \frac{\lambda^i}{i!} + \frac{\lambda^k}{k!} \left(\frac{\mu * k - \lambda}{\mu} \right)} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$\left\{ \left[\sum_{i=1}^{i=k-1} (i!) (\mu) \right] + [k! (\mu) (\mu * k - \lambda)] \right\}$$

3.8.3. Número de clientes

Número de clientes en la cola (E_w)

Ecuación 7: Número de clientes en cola (Teoría de colas)

$$E_w = \frac{\lambda * \mu \left(\frac{\lambda}{\mu} \right) * P_0}{(k-1) * (\mu * k - \lambda)^2} \quad (\text{Ec. 7})$$

Número de clientes en el sistema (E_n)

Ecuación 8: Número de clientes en el sistema (Teoría de colas)

$$E_n = E_w + \frac{\lambda}{\mu} \quad (\text{Ec. 8})$$

3.8.4. Tiempo de espera

Tiempo de espera en la cola (Ey)

Ecuación 9: Tiempo de espera en la cola

$$Ey = \frac{\mu \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k P_0}{(k-1) * (\mu * k - \lambda)^2} \quad (\text{Ec. 9})$$

Tiempo de espera en el sistema (Ev)

Ecuación 10: Tiempo de espera en el sistema

$$Ev = Ey + \frac{1}{\mu} \quad (\text{Ec. 10})$$

3.8.5. Costos

Costo de espera (CE)

Ce – costo unitario de espera

Ecuación 11: Costo de espera (Teoría de colas)

$$CE = En * Ev * Ce \quad (\text{Ec. 11})$$

Costo de servicio (CS)

Cs – costo unitario de servicio

Ecuación 12: Costo de servicio (Teoría de colas)

$$CS = k * Cs \quad (\text{Ec. 12})$$

Costo total (CT)

Ecuación 13: Costo total (Teoría de colas)

$$CT = CE + CS \quad (\text{Ec. 13})$$

3.8.6. Número de máquinas desocupadas (MD)

Ecuación 14: Número de máquinas desocupadas

$$MD = k - (k * Pk) \quad (\text{Ec. 14})$$

Para el cálculo de la maquinaria que se encuentra inoperativa o creando tiempos muertos durante el proceso de explotación se procedió a realizar una visita de campo en todo el sector de las concesiones, encontrando así la maquinaria detallada en la siguiente tabla:

Tabla 4-3: Maquinaria existente

MAQUINARIA	
Descripción	Cantidad
Volquetas	5
Excavadoras	4
Gallinetas	3
Tolvas	9

Realizado por: Reyes, 2021.

También se debe de considerar la existencia de maquinaria en calidad de chatarra o abandonada que existe en ciertos puntos, de igual manera tolvas que están en mal estado y producen pérdidas al momento de realizar el beneficio del material. El costo de la maquinaria fue obtenido en campo, de igual manera los datos para el ejercicio.

3.9. Cálculo de líneas de espera

Tabla 5-3: Parámetros requeridos para el cálculo

Descripción	Simbología	Valor
Costo unitario de espera de las volquetas	Ce	45 \$/h
Costo unitario de servicio de las excavadoras	Cs	58 \$/h
Tasa de arribo	λ	5 volquetas/h
Tasa de servicio	μ	3 vol_car/h
Canales o puntos de carga	k	4 excavadoras
Turno		8 h/día

Realizado por: Reyes, 2021

Cálculo de Pk

$$Pk = \frac{5}{4 \cdot 3} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$Pk = \frac{5}{12} = 0.4167$$

$$Pk < 1 \quad 0.4167 < 1$$

Pk < 1 resolución del problema

Cálculo de Po

$$Po = \frac{1}{\frac{1}{1 \cdot 5} + \frac{1}{2 \cdot 5} + \frac{1}{3 \cdot 5} + \frac{1}{4 \cdot 5} + \frac{1}{3 \cdot 4}} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$Po = \{[(1!)(3)^1 + (2!)(3)^2 + (3!)(3)^3] + [(4!)(3)^4(3 \cdot 4 - 5)]\}$$

$$Po = 0.2284$$

Cálculo del número de clientes

$$Ew = \frac{5 \cdot 3 \left(\frac{5}{3}\right)^4 \cdot 0.2284}{(4-1) \cdot (3 \cdot 4 - 5)^2} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$Ew = 0.0899$$

$$En = 0.0899 + \frac{5}{3} \quad (\text{Ec. 8})$$

$$En = 1.7565$$

Cálculo del tiempo de espera

$$Ey = \frac{3 \left(\frac{5}{3}\right)^4 \cdot 0.2284}{(4-1) \cdot (3 \cdot 4 - 5)^2} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$Ey = 0.01798$$

$$Ev = 0.01798 + \frac{1}{3} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$Ev = 0.351$$

Cálculo de costos

$$CE = 27.76 \frac{\$}{h} * 8 \frac{h}{\text{turno}} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$CE = 222.08 \frac{\$}{\text{turno}}$$

$$CS = k * Cs \quad (\text{Ec. 12})$$

$$CS = 4 * 58$$

$$CS = 235 \frac{\$}{h} * 8 \frac{h}{\text{turno}}$$

$$CS = 1856 \frac{\$}{\text{turno}}$$

$$CT = CE + CS \quad (\text{Ec. 13})$$

$$CT = (222.08 + 1856) \frac{\$}{\text{turno}}$$

$$CT = 2078.08 \frac{\$}{\text{turno}}$$

Cálculo de máquinas desocupadas

$$MD = k - (k * Pk) \quad (\text{Ec. 14})$$

$$MD = 4 - (4 * 0.416)$$

$$MD = 2.33 \text{ excavadoras desocupadas}$$

Durante la explotación del material pétreo existe maquinaria que se encuentra estacionaria, tal es el caso para las concesiones observadas en la cuenca del Río Upano donde el principal problema es que existen excavadoras que en determinado momento no realizaran ninguna actividad.

Para evidenciar esto se procedió a aplicar la Teoría de Colas o Líneas de espera donde encontramos que 2 (2.33) excavadoras, se encontrarían sin realizar tareas, tomando en cuenta esto se plantea realizar el cálculo para un menor número de excavadoras con la finalidad de encontrar el equipo óptimo con el que se pueden realizar las actividades.

Para el caso de 3 excavadoras procedemos a realizar el cálculo:

Cálculo de Pk

$$Pk = \frac{5}{3*3} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$Pk = \frac{5}{9} = 0.555$$

$$Pk < 1 \quad 0.555 < 1$$

Cálculo de Po

$$Po = \frac{1}{\frac{1}{5} \frac{1}{5} \frac{1}{5} \frac{3}{3}} \quad (\text{Ec. 6})$$

$$Po = \{[(1!)(3)^1 + (2!)(3)^2] + [(3!)(3)^3(3 * 3 - 5)]\}$$

$$Po = 0.2087$$

Cálculo del número de clientes

$$Ew = \frac{5*3\left(\frac{5}{3}\right)^3*0.1487}{(3-1)*(3*3-5)^2} \quad (\text{Ec. 7})$$

$$Ew = 0.4529$$

$$En = 0.4529 + \frac{5}{3} \quad (\text{Ec. 8})$$

$$En = 2.1195$$

Cálculo del tiempo de espera

$$Ey = \frac{3\left(\frac{5}{3}\right)^3 * 0.1487}{(3-1)(3*3-5)^2} \quad (\text{Ec. 9})$$

$$Ey = 0.0884$$

$$Ev = 0.0884 + \frac{1}{3} \quad (\text{Ec. 10})$$

$$Ev = 0.4217$$

Cálculo de costos

$$CE = 35.53 \frac{\$}{h} * 8 \frac{h}{\text{turno}} \quad (\text{Ec. 11})$$

$$CE = 321.76 \frac{\$}{\text{turno}}$$

$$CS = k * Cs \quad (\text{Ec. 12})$$

$$CS = 3 * 58$$

$$CS = 174 \frac{\$}{h} * 8 \frac{h}{\text{turno}}$$

$$CS = 1392 \frac{\$}{\text{turno}}$$

$$CT = CE + CS \quad (\text{Ec. 13})$$

$$CT = (321.76 + 1392) \frac{\$}{\text{turno}}$$

$$CT = 1713.76 \frac{\$}{\text{turno}}$$

Cálculo de máquinas desocupadas

$$MD = k - (k * Pk) \quad (\text{Ec. 14})$$

$$MD = 4 - (4 * 0.416)$$

$$MD = 2.33 \text{ excavadoras desocupadas}$$

La cantidad de excavadoras desocupadas es 1.335 y el costo total disminuye a \$ 1713.16, es decir que el sistema puede trabajar únicamente con 2 excavadoras teniendo una eficiencia mayor y evitando menos puntos muertos. Si realizamos el cálculo para 2 excavadoras existiría un punto de déficit, el costo aumentaría y no podríamos cumplir con la optimización del sistema. La cantidad de máquinas desocupadas con 2 excavadoras es 0.334.

Cálculo de Pk

$$Pk = \frac{5}{2*3} \quad (\text{Ec. 5})$$

$$Pk = \frac{5}{6} = 0.833$$

$$Pk < 1 \quad 0.833 < 1$$

Cálculo de máquinas desocupadas

$$MD = k - (k * Pk) \quad (\text{Ec. 14})$$

$$MD = 2 - (2 * 0.833)$$

$$MD = 0.334 \text{ excavadoras desocupadas}$$

Se recomienda minimizar el número de excavadoras para que no exista la presencia de puntos muertos al momento de realizar el arranque del material pétreo y aplicar métodos de minería que sean técnicos y apegadas a la normativa ambiental.

Tabla 6-3: Análisis y comparación de resultados

Número de canales (k)	4	3	2
Descripción			
Factor de utilización – Pk	0.416	0.555	0.833
Probabilidad de no tener volquetas – Po	0.228	0.208	0.099
Tiempo de espera en la cola – Ey	0.017	0.088	0.833
Tiempo total de volqueta en el sistema - Ev	0.351	0.421	1.166
Número de volquetas en la cola - Ew	0.089	0.452	4.166
Número de volquetas en el sistema - En	1.757	2.112	5.833
Costo de espera – CE	\$ 222.08	\$ 321.76	\$ 2449.84
Costo del servicio – CS	\$ 1856.00	\$ 1392.00	\$ 928.00
Costo total – CT	\$ 2078.08	\$ 1713.76	\$ 3377.84
Máquinas desocupadas – MD	2.33	1.33	0.334

Realizado por: Reyes, 2021.

Como se puede observar en la tabla 4, se representa el análisis realizado de acuerdo al número de excavadoras operativas en la zona de estudio, dando como resultado que el número óptimo de retroexcavadoras que deben ser utilizadas es de 3 ya que en ese caso los costos de extracción resultarían más económicos para los titulares mineros, dando un valor de operación de \$ 1713.16 y un mayor rendimiento de trabajo. En la zona de estudio se observa que trabajan alrededor de 4 retroexcavadoras teniendo un costo de operación de \$ 2078.08 y con un rendimiento de trabajo menor al deseado.

3.10. Análisis de amenazas por susceptibilidad

Para el estudio realizado, se recopiló información de dos instancias oficiales: instituciones gubernamentales, y el GAD Morona. De las instancias nacionales se obtuvo información cartográfica siguiente:

- Límites político-administrativos;
- Cobertura y uso del suelo;
- Ríos simples;
- Ríos dobles;
- Vías estatales;
- Concesiones mineras;
- Microcuencas nivel 6;
- Microcuencas nivel 7.

Por otro lado, de la municipalidad, se obtuvo la siguiente información cartográfica:

- Asentamientos humanos;
- Vías rurales;
- Márgenes de protección de ríos;
- Polígono de aprovechamiento extractivo de material pétreo;
- Margen de máxima crecida del río Upano;
- Modelo ráster de susceptibilidad a inundaciones.
- Área urbana de la ciudad de Macas

Los insumos cartográficos de las instituciones del Estado se encuentran a escalas menores, desde 1:100.000 a 1:25.000, mientras que la data local se encuentra entre 1:25.000 a 1:5.000.

3.10.1. Contexto geográfico de la zona de inundación

El río Upano, forma parte de la cuenca del río Paute (nivel 5), y que a su vez pertenece a la cuenca del Amazonas que finalmente desemboca en el océano Atlántico. Según la clasificación del anterior Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA), la cuenca hidrográfica del Upano es de nivel 6, y a su vez está conformada por nueve cuencas de nivel 7.

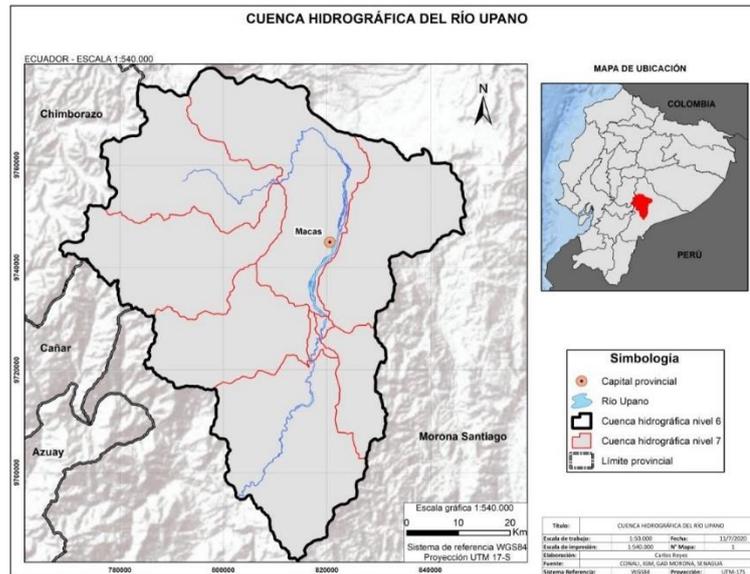


Figura 14-3: Mapa de la cuenca hidrográfica del río Upano

Realizado por: Reyes, 2021.

La cuenca hidrográfica del Upano cuenta con una superficie de aproximadamente 3899.083 Km² siendo una de las más representativas, junto a la del río Morona, para el cantón (Morona).

3.10.1.1. Máximas crecidas.

Este río, que nace en el complejo lacustre de Atillo, específicamente de la Laguna negra, en su recorrido con su cauce trezado, ha sido históricamente uno de los causantes de avenidas muy fuertes, hasta los días actuales, con pérdidas materiales y humanas. En el área de estudio, que se centra en el cantón Morona, el puente sobre río Upano, es conexión fundamental entre Macas y el norte del país por la Troncal Amazónica. Este eje vial ha sufrido afectaciones en varias ocasiones debido a las crecidas del río Upano especialmente en los meses de mayor precipitación que son junio y septiembre, el último evento registrado produjo un socavón en la parte inferior de la calzada inhabilitando la circulación vehicular y destruyendo los espigones de encausamiento, alertando a toda la población y autoridades de turno.

En las riberas del río Upano, se encuentran las trituradoras del material pétreo extraído del mismo cuerpo de agua, tanto de los GAD cantonal, provincial, así como particulares e incluso del Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), mismos que se han visto afectados por las crecidas del río. Además, debido a una falta de control, políticas claras por las autoridades competentes, se ha permitido que existan asentamientos humanos e incluso parcelaciones dentro del cauce del río, poniendo en alto riesgo a la población y sus pertenencias.

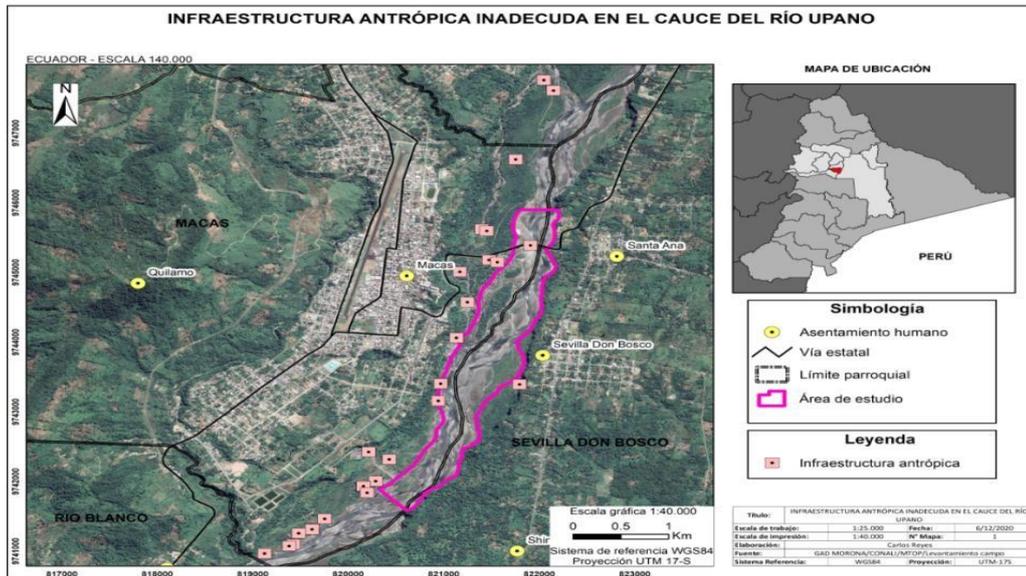


Figura 15-3: Mapa de ubicación de construcciones y equipamientos en el cauce

Realizado por: Reyes, 2021.

Un estudio llevado a cabo por la Municipalidad del Cantón Morona determinó el área inundable del río Upano, en un periodo de 100 años de retorno. El resultado del estudio ha sido considerado hasta ahora, como un insumo para la toma de decisiones. En la figura siguiente, se muestra lo descrito.

Como se observa en la figura anterior, el cuerpo de agua cubriría todo el ancho de su cauce natural, lo que conllevaría a que el agua afecte a las viviendas, trituradoras y demás construcciones que se encuentran en su paso, por lo cual, es importante considerar este tipo de estudios y profundizar con otras técnicas y herramientas como son los Sistemas de Información Geográfica (SIG).

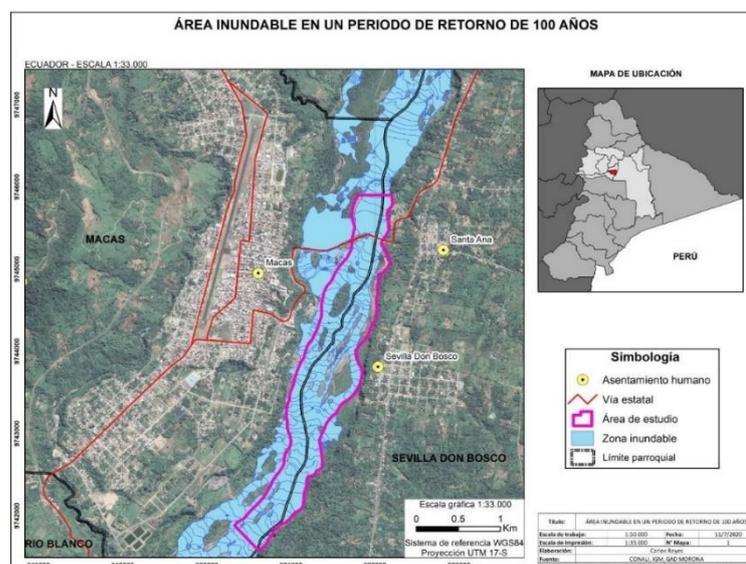


Figura 16-3: Área inundable en un periodo de retorno de 100 años

Realizado por: Reyes, 2021.

3.10.1.2. Franjas de protección

Dentro de lo que se encuentra estipulado en el GAD de Morona que es una fuente oficial de información cantonal respecto a los márgenes de protección para cuerpos de agua. En dicho plan se consideró para el caso del río Upano, un margen (buffer) de protección de 50 metros a ambos lados, a partir del límite de máxima crecida del río (mostrado en la Fig. 31) (GAD Morona, 2020). Esto va de la mano en lo señalado en el Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua (LORHUAA), en su artículo 64.

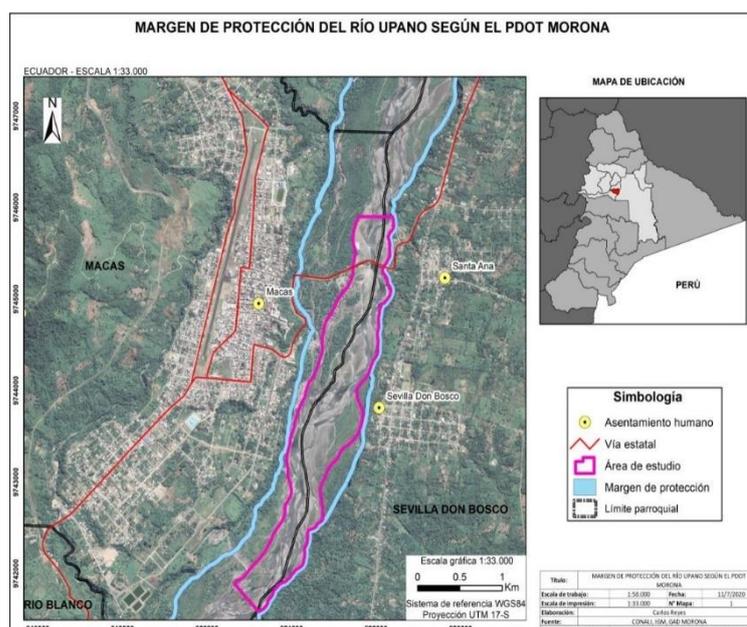


Figura 17-3: Margen de protección del río Upano

Realizado por: Reyes, 2021.

3.10.2. Evaluación del riesgo de inundación

3.10.2.1. Modelo de susceptibilidad a inundaciones

Una de las herramientas más importantes para el análisis, prevención y respuesta ante amenazas, son los modelos espaciales obtenidos mediante técnicas SIG. El modelo espacial utilizado en esta investigación es el de formato ráster, con valores continuos analizados en campo en la zona estudio, de esta forma es posible conocer en toda el área de trabajo, como se comporta la variable en el espacio, identificando puntos críticos (susceptibilidad alta) y sus posibles afectaciones. La metodología aplicada en esta investigación de amenazas naturales, es Lógica Fuzzy, también conocida como lógica difusa o borrosa, en este método multicriterio, tomamos como base lo observado, así mismo las unidades geomorfológicas, litología, ríos, cobertura vegetal, isoyetas,

y pendientes. A las unidades mencionadas en base a un criterio técnico se les dio una valoración, es decir un peso de 0 a 1, aquellas que se considere que generan mayor probabilidad de ocurrencia al evento estudiado.

A cada variable se la transformó en ráster, con distancias euclidianas para los ríos, mientras que se asignó un valor a las categorías de las variables unidades geomorfológicas, litología, cobertura vegetal, isoyetas. Una vez obtenido los ráster con valores continuos y discretos, se procedió a normalizar sus valores para trabajar en una misma escala todas las variables, en este caso, entre 0 y 1, siendo la unidad la mayor probabilidad de ocurrencia del evento.

Se asignó una ponderación a cada variable, basado en el criterio técnico y bibliográfico para con estos pesos, multiplicar por cada valor normalizado de la variable, a manera de una combinación lineal ponderada. En la tabla siguiente se muestran las ponderaciones dadas a las variables usadas en la determinación de la susceptibilidad a inundaciones.

Tabla 7-3: Ponderación de variables en el modelamiento espacial

Variable	Peso
Pendiente	6
Unidades geomorfológicas	5
Isoyetas	4
Ríos	3
Cobertura vegetal	2
Litología	1

Realizado por: Reyes, 2021.

Finalmente, se utilizó una calculadora ráster dentro de un software SIG para realizar el álgebra de mapas, ingresando el ráster y multiplicando con su respectivo peso, obteniendo como resultados el modelo de susceptibilidad a inundación para la zona de estudio

Con esta información se pudo dar respuesta y realizar una interpretación de cuáles son los posibles escenarios y el nivel de amenaza que se encuentra la zona ante posibles inundaciones.

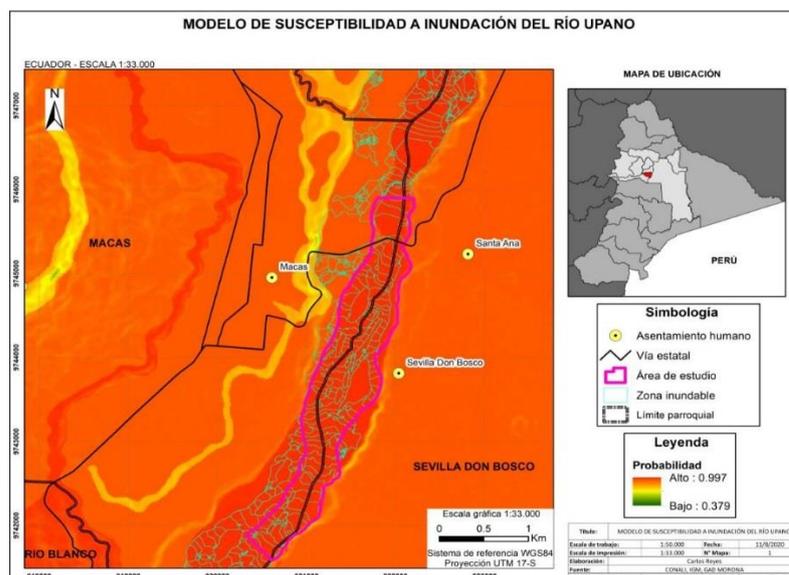


Figura 18-3: Modelo de susceptibilidad de inundación (Lógica Fuzzy)

Fuente: GAD Morona Santiago, 2020.

Al analizar la figura 21, se puede observar todas las zonas con una susceptibilidad a inundaciones desde pequeñas zonas en la parte sur, y una en la parte sur con alta susceptibilidad a inundación. Otra diferencia que se puede apreciar entre este modelo de susceptibilidad y el de margen de protección (imagen 20) es que a más de indicar la zona con alta probabilidad a inundación (color rojo), este modelo también indica otras áreas con susceptibilidad media (anaranjado – amarillo) y baja (verde), lo que permite analizar de forma más integral la variable estudiada, en este caso, la inundación en el río Upano.

3.10.2.2. Elementos susceptibles a riesgo de inundación.

Además de las construcciones particulares que lastimosamente se permitieron hacer en el cauce natural del río Upano (ver Figura 21), existen otros elementos expuestos al riesgo de inundación, como son la vegetación riparia propia del río, gruta del milagro de la Purísima de Macas, trituradoras de material.

En cuanto a la vegetación riparia presente en el río Upano, comprende un ecosistema único que alberga especies emblemáticas para el cantón, como por ejemplo el Arrayán (*Myrcianthes rhopaloides*), la Uvilla (*Cavendishia bacteata*) y el Laurel de cera (*Morella pubescens*), muy conocidas en las estribaciones del río Upano, y con servicios ambientales importantes para el estado de conservación de este lugar.

Por otro lado, la gruta del milagro de la Virgen se encuentra ubicada en la margen oriental del río Upano, cerca del actual poblado de Sevilla Don Bosco, a escasos metros de las aguas del río. Este importante hito turístico – religioso para Macas y el cantón, se vería afectado por las avenidas de

este cuerpo de agua, por lo que es necesario considerar medidas de mitigación o prevención para salvaguardar dicho sitio religioso.

Las trituradoras de material pétreo que se encuentran asentadas a lo largo de la playa del río Upano, pertenecen a dependencias públicas como son el GAD municipal, provincial, parroquial e incluso nacional (MTO), así también con privadas, que en algunas ocasiones se han visto perjudicadas por las crecidas del Upano, arrastrando maquinaria, infraestructura y los productos áridos y pétreos generados en estos lugares. Precisamente, uno de los objetivos del presente estudio, es considerar las posibles afectaciones por inundaciones y determinar los lugares óptimos para que esta actividad se desarrolle de la mejor forma y con rendimientos superiores.

3.11. Inventario de zonas de extracción minera en el Upano

En la figura a continuación, se resume el inventario de zonas de extracción minera en el río Upano, en el tramo comprendido entre las parroquias Macas, Sevilla Don Bosco y Río Blanco, que incluye el área de estudio para la presente tesis. Para la generación del mapa de zonas susceptibles a inundación en las playas del río Upano, se acudió a ARCOM, GAD de Morona y a su vez un reconocimiento en campo donde se validaron los datos que se nos facilitó en formato shape.

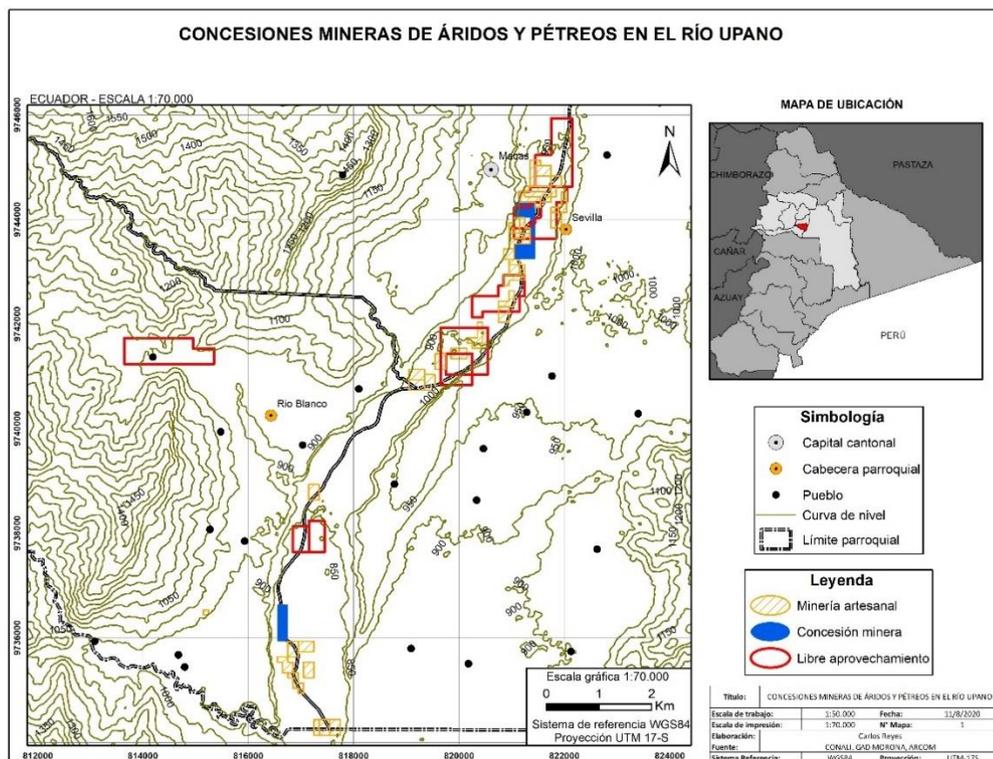


Figura 19-3: Mapa de concesiones mineras en el río Upano

Fuente: GAD Municipal de Morona, 2020.

Como se describe en el Informe de resumen de títulos mineros en el cantón Morona del 2020 (GAD Morona, 2020), a nivel cantonal se cuenta con 29 títulos mineros para la explotación de materiales de áridos y pétreos (libre aprovechamiento), 28 permisos de minería artesanal y 1 concesión de pequeña minería.

Al analizar la ubicación de los polígonos mostrados en la figura anterior, se denota casi en su totalidad de los títulos mineros se encuentran dentro del cauce del río, por lo que es posible inferir que su producción se vea condicionada a las fuertes crecidas del mismo, y, por ende, sea necesario un estudio como el pretendido en esta tesis, para determinar los sitios más idóneos para esta actividad.

3.12. Determinación de zonas idóneas para extracción de material pétreo

El análisis realizado para la determinación de las posibles zonas de explotación minera se detalla a continuación:

Volumen de reserva. - Los volúmenes de reserva probables es un parámetro importante que se analizó, para lo cual se realizó un corte de 184300 m² en la zona 1 y se obtuvo un volumen de reserva de material de 921395.35 m³. Las características de la zona de extracción están ligadas al instructivo Municipal que establece como un máximo de profundidad de 5 metros en base a nivel general del área de estudio.

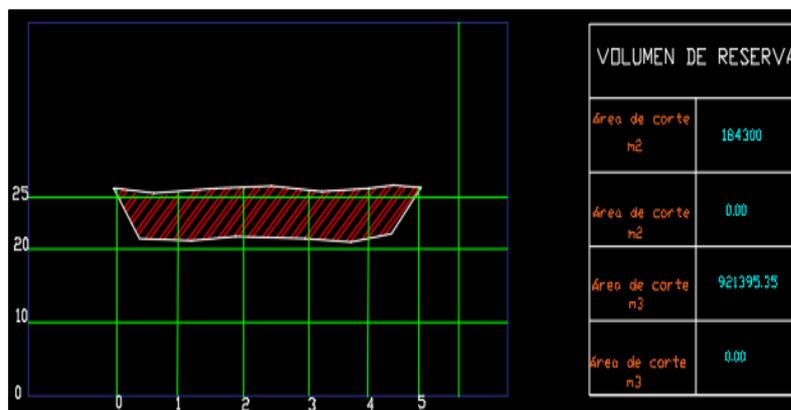


Figura 20-3: Determinación de volúmenes de reserva (corte posible zona)

Realizado por: Reyes, 2021.

Vías de acceso. - Uno de los factores de suma importancia que se consideraron para la determinación de posibles áreas mineras es la accesibilidad a dicha zona, el estado en que se encuentran, el ancho y el área de maniobras. En el sector se encuentran dos vías en buen estado que servirán como medio para el transporte del material.

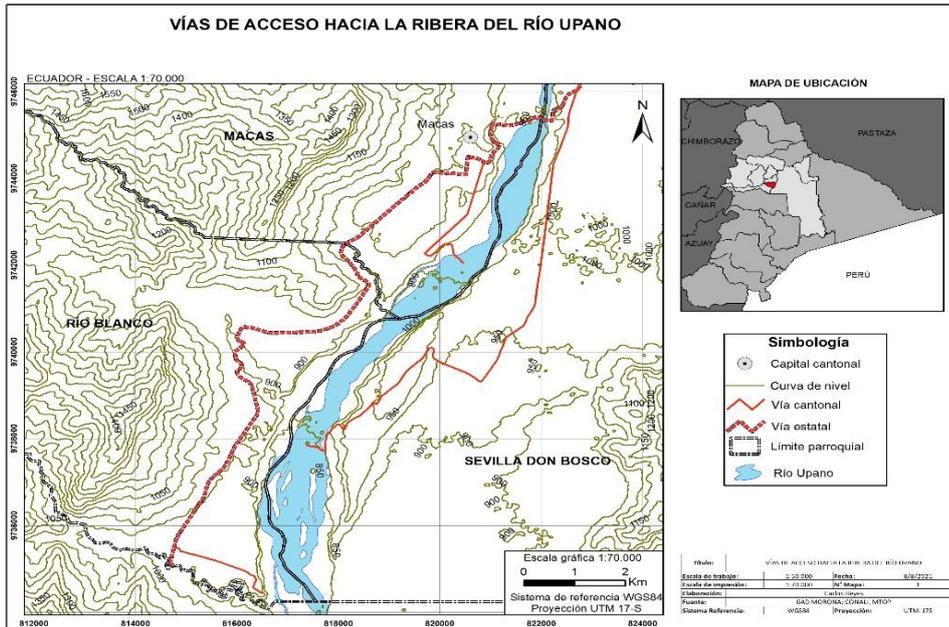


Figura 21-3: Mapas de vías de acceso a las zonas de explotación

Realizado por: reyes, 2021.

Asentamientos humanos. - Para garantizar que no exista población afectado por la extracción del material pétreo en la playa del río Upano, se verificó que no se encuentren asentamientos humanos en la zona de influencia de las actividades que pudieran verse afectados en caso de desvío del cauce natural de río. De igual manera como una herramienta de apoyo se realiza un mapa de susceptibilidad a inundación de todas estas áreas para determinar cuáles son las zonas de mayor riesgo.

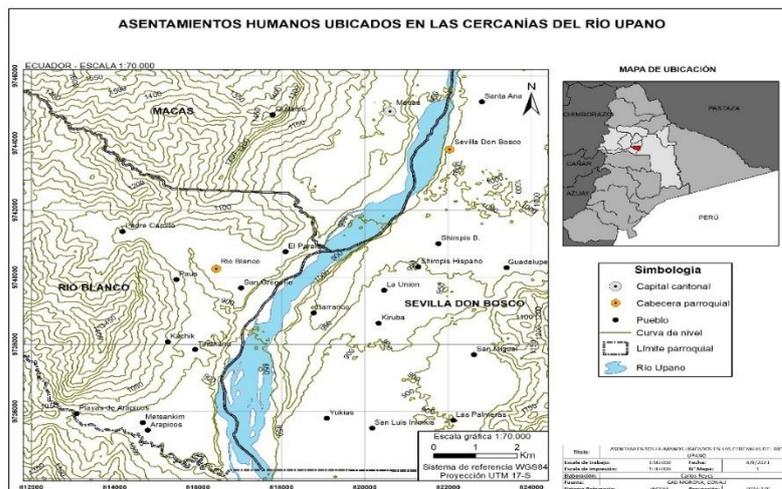


Figura 22-3: Asentamiento humanos, cercanías del río Upano

Fuente: GAD Municipal de Morona, 2021.

Realizado por: reyes, 2021.

CAPITULO IV

4. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. Polígonos de alta sensibilidad

Para la determinación de las áreas donde existe mayor conflicto, se consideraron las interacciones de variables como: polígonos de concesiones mineros, modelo de susceptibilidad a inundación, cobertura vegetal, infraestructura presente en las riberas del río y flujos del material del Sangay. En primer lugar, se usó una imagen satelital para identificar los polígonos de áreas mineras en conflicto en el área de estudio, para lo cual se solicitó al Gobierno Municipal del cantón Morona que nos facilite con los polígonos de delimitación minera, a su vez el archivo general (shape). Se identificó que la mayoría de polígonos de concesiones mineras existentes de aprovechamiento extractivo se encuentran dentro del cauce actual del río Upano, por lo que resulta inapropiado su extracción ya que conllevaría a un daño significativo del río como las variantes en su cauce produciendo afectaciones a la vía utilizada por los mismos mineros, además, de que no es recomendable que maquinaria ingrese al cauce del río ya que podría existir derrame de combustible, lubricantes mismos que utilizan la maquinaria. El reglamento ambiental para actividades mineras en el “Art 47 Frecuencia de presentación de informes de monitoreo y seguimiento ambiental presentados en el plan de manejo ambiental en pequeña minería, mediana y gran minería” (Reglamento Ambiental Minero, 2014), para el caso puntual de la zona de estudio en vista de que no se realiza actividad minera categorizada como pequeña, media o gran minería, los titulares mineros presentan únicamente una ficha ambiental registrada en el SUIA.

Tabla 1-4: Efectos en el medio ambiente

Severidad de las consecuencias de un suceso		
Categoría	Descripción	Efectos sobre el medio ambiente
I	Seguro	Efecto insignificante en el medio ambiente
II	Marginal	El fracaso degradara el medio ambiente, en cierta medida, pero no provocara daños mayores.
III	Crítico	El fracaso degradara el medio ambiente, en cierta medida, pero provocara daños mayores a largo plazo.
IV	Severo	El fracaso producirá degradación ambiental severa.
V	Muy severo	En ausencia de medias correctoras se producirá degradación ambiental.

Fuente: Ministerio del Ambiente, 2020.

Aplicando los criterios de severidad de las consecuencias de un suceso a los parámetros mínimos en campo exigidos por la entidad competente GAD de Morona y se obtiene los siguientes resultados.

Tabla 2-4: Evaluación de las condiciones de explotación

Parámetro	Estado de severidad	Categoría
Maquinaria	Seguro	I
Método de explotación	Marginal	II
Zonas de acopio	Seguro	I
Bodega	Marginal	II
Accesos	Seguro	I

Realizado por: Reyes, 2021.

Con un chequeo visual de la maquinaria se puede comprobar que la misma se encuentra en una categoría segura para su funcionalidad, el método de explotación genera alteraciones al cauce natural del mismo que a la larga si no se corrigen podría generar daños. Las zonas de acopio no afectan el entorno de la zona de estudio ya que el material extraído y de ser necesario una clasificación es ubicado cerca de la zona de extracción, de igual manera los accesos.

La bodega donde se almacena aceites, lubricantes y combustibles caen en una categoría marginal, al ser una actividad artesanal las cantidades utilizadas a un largo plazo no representan un daño al entorno ambiental. En la imagen a continuación (ver figura 1-4) se muestra lo descrito en el párrafo anterior:

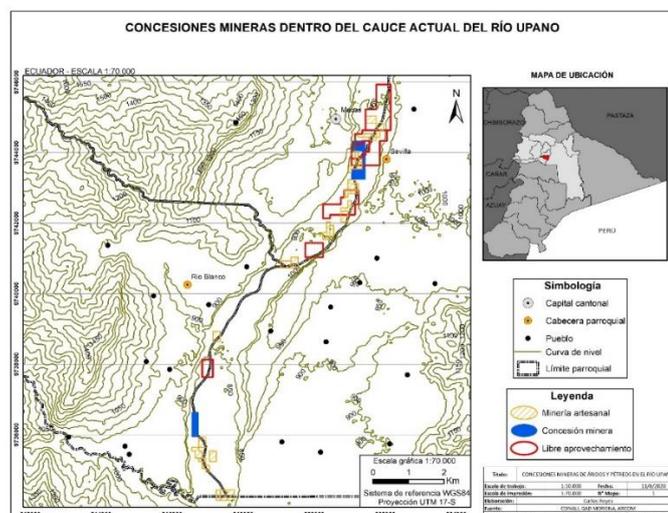


Figura 1-4: Estratificación y ubicación de las concesiones mineras

Fuente: GAD Municipal de Morona, 2020.

Realizado por: Reyes, 2021.

Como se observa, las áreas mineras se ubican dentro del cauce del río, por tanto, hay que considerar aspectos ambientales como el derramamiento de aceites, gasolina u otros fluidos de las volquetas y maquinaria pesada que se utiliza para la extracción del material pétreo. Asimismo, el hecho de que existan concesiones autorizadas para la actividad extractiva es un llamado de atención tanto a las autoridades a nivel municipal (por ser rectoras en el uso y ocupación del suelo), y la autoridad ambiental nacional, por pasar por alto el impacto causado por la explotación sin cuidado ambiental.

Vale la pena mencionar, que al extraer el material que se encuentra dentro de las aguas del río, se pueden producir una contaminación por el derrame de aceite y lubricantes que utilizan la maquinaria, de igual manera el nivel de turbiedad aumenta y se produce un impacto visual en la zona. Es por eso, la importancia de contar con investigaciones como la presente, para proponer alternativas de bajo impacto ambiental y con rendimientos iguales o mayores.

4.2. Propuesta de polígonos de extracción pétreo

La propuesta de ubicación de las áreas más factibles para la extracción de material pétreo consideró, volumen de reserva, vías de acceso y asentamientos humanos mencionados en el apartado anterior.

Dentro del área de estudio, se propuso tres polígonos, ubicados en la parte sur del valle del Upano. Estos polígonos cubren una superficie aproximada de 45.22 hectáreas, y están ubicadas de tal forma que se aproveche las avenidas futuras que pueda tener el río Upano, depositando su material en las playas del cauce del río, ya que en esta parte de la cuenca es más explayado y por tanto su velocidad y fuerza de arrastre es menor. En la figura a continuación se indican los polígonos propuestos.

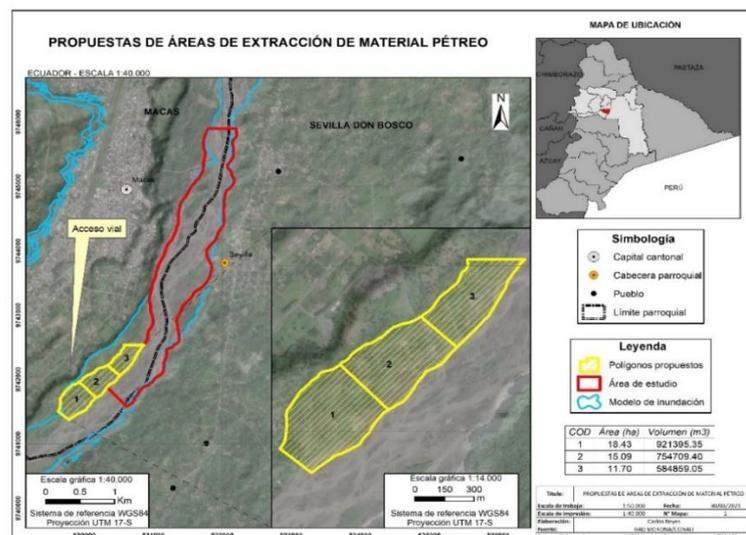


Figura 2-4: Propuesta de polígonos de extracción

Realizado por: Reyes, 2021.

Los tres polígonos propuestos presentan las condiciones necesarias para ser utilizadas como posibles áreas de extracción por los titulares mineros que se encuentran realizando actividades hasta la actualidad, ya que se ubican en el área de transición de la zona de aprovechamiento extractivo de material pétreos, por lo que el material extraído en las periódicas crecentadas del Upano se repondrá de manera natural, de la misma forma se minimiza el impacto visual causado por las actividades extractivas que se realicen en la zona. En la tabla siguiente se resumen las áreas de cada polígono.

Tabla 3-4: Superficie de los polígonos propuestos

Polígono	Superficie (ha)	Volumen (m3)
1	18.43	921395.35
2	15.09	754709.40
3	11.69	584859.05

Realizado por: Reyes, 2021.

Como se observa en la figura anterior, existe una vía de ingreso hacia el lugar donde se propuso el área nueva de extracción pétreo, además, en este lugar no existe un proceso de consolidación urbana ni tampoco se identificaron equipamientos urbanos que puedan verse afectados por esta actividad, por lo que se está cumpliendo con las determinaciones buscadas en esta investigación. Además de las áreas identificadas en la figura anterior, se sugieren dos polígonos más a ser considerados para la extracción pétreo, que cumplen con las determinantes establecidas, es decir no se encuentran asentamientos humanos que pueden verse afectados, existen vías de acceso y el material en la zona al ser el mismo en todo el cauce del río Upano sus propiedades son las adecuadas para ser usadas en la construcción, a continuación, se muestran las dos áreas recomendadas fuera de la zona de estudio.

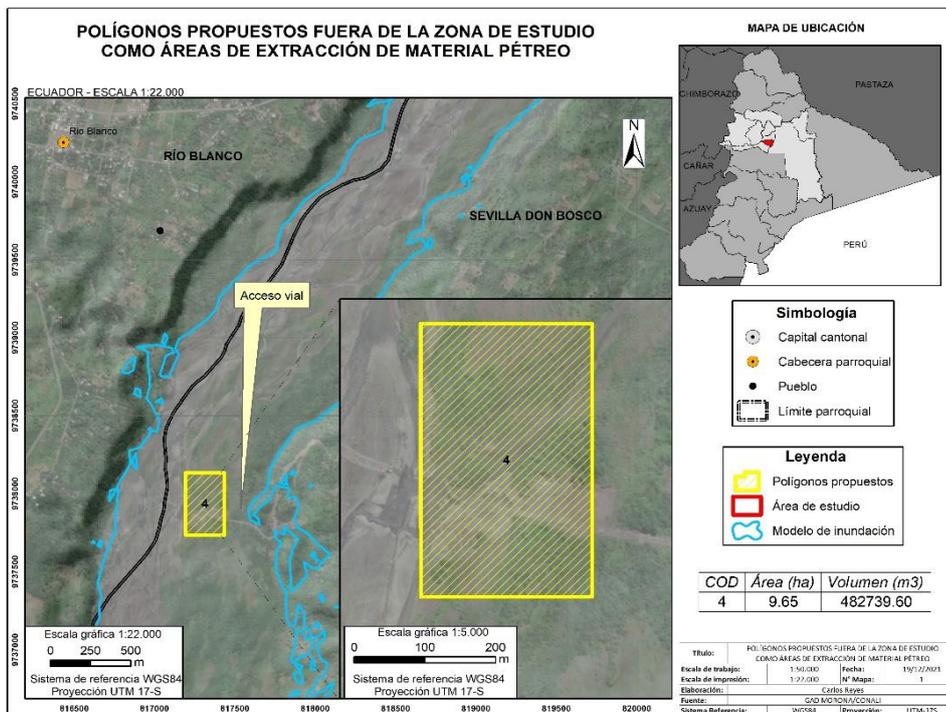


Figura 3-4: Ubicación del área 4 para extracción de material pétreo

Realizado por: Reyes, 2021.

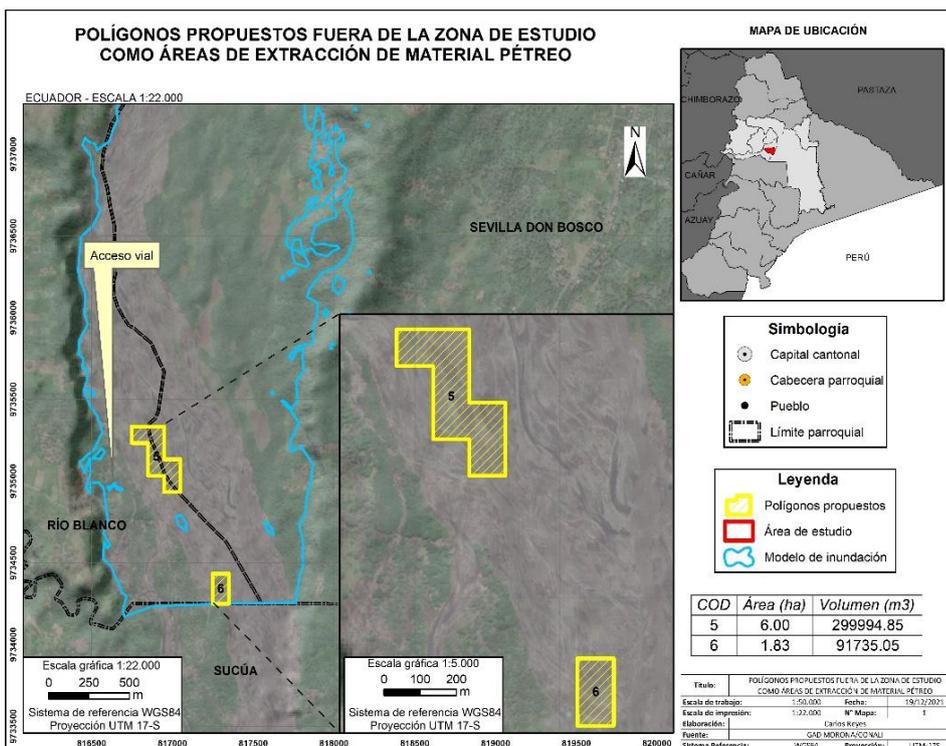


Figura 4-4: Ubicación de las áreas 5 y 6 para extracción de material pétreo

Realizado por: reyes, 2021.

En las figuras anteriores se identifican los polígonos 4, 5 y 6, ubicados aguas abajo a la altura de los poblados de Arapicos y Metsankim en la parroquia Río Blanco, y de la comunidad de Barranco en la parroquia de Sevilla Don Bosco. En la tabla a continuación, se resumen la información de los polígonos propuestos.

Tabla 4-4: Otros polígonos propuestos para explotación

Polígono	Superficie (ha)	Volumen (m3)
4	9.65	482739.60
5	5.99	299894.85
6	1.83	91735.05

Realizado por: Reyes, 2021.

Como base técnica por lo mencionado se tomó como fuente la tesis realizada por Quintuña Pedro, 2019 “ESTUDIO BATIMÉTRICO Y DE CAPACIDAD DE REPOSICIÓN NATURAL DE MATERIAL PÉTREO PARA LA APLICACIÓN DE UN MANEJO DE EXPLOTACIÓN EN UN TRAMO DE 6 KM DEL RÍO UPANO” donde se determinó el volumen y la capacidad de reposición que tiene el río Upano en sus distintas crecidas en dos zonas definidas, una de 600 metros y la otra de 400 metros la cual demostró que el río Upano repuso aproximadamente 171973.50 m³ de material pétreo.

De esta forma, en total la superficie que barca el área propuesta como de mayor factibilidad, comprendida entre los polígonos antes mencionados, es de aproximadamente 62.71 hectáreas. Si se considera una profundidad promedio de “piscinas” realizadas en las concesiones de material pétreo, así como la capacidad de reposición natural del Upano, se puede decir que, a 3.4 metros de profundidad (Quintuña, 2019, p. 47), se tendría un volumen de material pétreo en las áreas propuestas para su extracción en este estudio de aproximadamente 2'132140 m³, demostrando el abasteciendo suficiente del material para la ciudad de Macas principalmente, que en promedio se utilizan 2264m³/día (GAD Morona, 2012), y sumado a esto la continua reposición natural del río.

4.3. Resultados del ensayo de Abrasión

Para determinar el porcentaje de desgaste que tiene el material rocoso en las playas del río Upano se procedió a realizar un ensayo donde la roca fue sometida a abrasión, impacto y cizalla. Estos datos nos permitirán conocer el tipo de roca y si cumple con los parámetros establecidos por ASTTHO T-96 que establece que si el desgaste es menor a o igual a 50 % la roca si presta las condiciones para ser utilizado como material de construcción.

Tabla 5-4: Resultados ensayo de abrasión

	ENSAYO DE ABRASIÓN		
	INEM 860 AASHTOT T-96		
PROYECTO: TESIS DE GRADO - CARLOS REYES			
Yacimiento	Playas del río	Muestra: 1	
Fecha:	18/12/2020	Profundidad:	3 m
Muestra:	Base del río Upano		
Ensayo de abrasión - Los Ángeles			
Tipo	Masa inicial	Masa final	% abrasión
	gr	gr	
A	5,000	3486,000	30,25%
Especificaciones:		< 40,00% SÍ CUMPLE	
Porcentaje de desgaste:		30,25%	

Fuente: GAD Provincial de Morona Santiago, 2021.

Realizado por: Reyes, 2021.

Se sometió al ensayo una muestra de 5000 gr por un periodo de 15 minutos como establece los parámetros de desgaste y a una revolución de trabajo de 30 a 33 RPM. El resultado de la muestra sometida al ensayo fue pesado y se obtuvo un peso total de 3486.00 gr. El porcentaje de desgaste se determina restando la muestra inicial por la muestra final en porcentaje lo que dio como resultado un

30.25 % de desgaste. Por lo que se determina que el material presenta las condiciones necesarias para ser utilizadas como material de construcción.

Según la Norma Ecuatoriana de Vialidad, donde establece que si la roca presenta un desgaste de 50% o mayor las características de la misma no son las idóneas para ser usadas en vías o construcción. De acuerdo al resultado obtenido de 30.25% de desgaste podemos decir que el material pétreo sujeto a estudio es óptimo para ser utilizado en labores de construcción.

Como una comparación de ensayos realizados en el río Upano se tomó como referencia la tesis realizada por Pedro Quintuña denominada “ESTUDIO BATIMÉTRICO Y DE CAPACIDAD DE REPOSICIÓN NATURAL DE MATERIAL PÉTREO PARA LA APLICACIÓN DE UN MANEJO DE EXPLOTACIÓN EN UN TRAMO DE 6 KM DEL RÍO UPANO” donde establece en la tabla 3 que el porcentaje de desgaste de la muestra analizada es de 41.56 % lo cual indica que la roca está dentro de los parámetros establecidos por las Normas Ecuatorianas Viales.

4.4. Ensayo granulométrico

Realizando el ensayo granulométrico de una muestra obtenida en las playas del río Upano en puntos establecidos para obtener una mayor homogenización de la misma. Para la misma se realizó una clasificación de la muestra en arenas, cantos rodados, bravas o bloques de mayor diámetro. Se considera bloques aquellos que presentan un diámetro mayor a 10 cm, para el presente se pudo comprobar que casi un 80 % de la muestra representa a material mayor a 10 cm y un 20% de material fino.

Tabla 6-4: Resultados del ensayo granulométrico

Granulometría (ASTM D422)						
TAMIZ	ABERTURA mm	PESO RET. PARCIAL	PESO RET. ACUMULADO	% RETENIDO	% QUE PASA	% ESPECIFICADO
N 3/8	9	0,45	20,45	20%	79,55%	
N 40	0,42	0,55	25,00	45%	54,55%	
N 50	0,8	0,49	22,27	68%	32,28%	
N 80	0,18		0,00	68%	32,28%	
N 100	0,155	0,57	25,91	9%	6,37%	
N 200	0,07	0,14	6,36	100%	0,00%	
<N 200						
TOTAL		2,2	100,00		GRUESO	17,25%
					MEDIO	15,12%
					FINO	67,63%

Fuente: GAD Provincial de Morona Santiago, 2021.

Realizado por: Reyes, 2021.

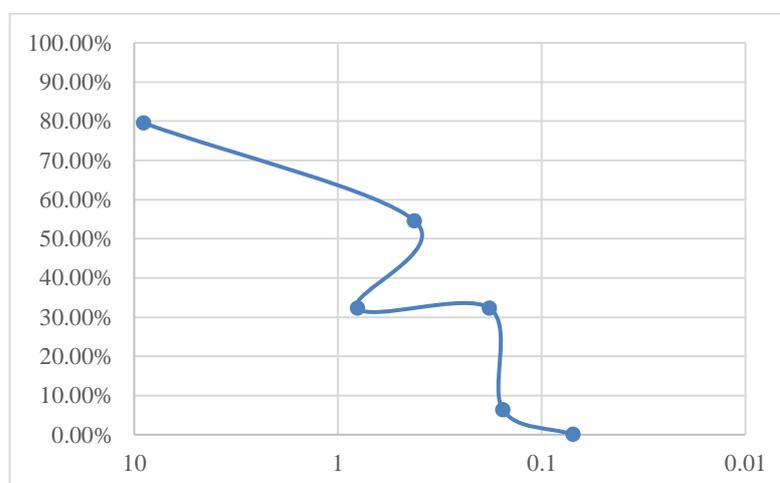


Gráfico 1-4: Curva de granulometría – Ensayo material del río Upano

Realizado por: Reyes, 2021.

La finalidad del presente ensayo fue conocer de una manera general la clasificación granulométrica respecto al material pétreo que suministra el río Upano. Es importante mencionar que los titulares mineros cuentan con plantas de trituración para obtener el material que ellos requieran en base a las necesidades que lo requieran. Como se muestra en la tabla 7 en el resultado del ensayo, se puede visualizar que del 100 % de la muestra analizada se obtuvo que el porcentaje de retenido en la muestra es de 17.25% de grueso, 15.12% de árido medio y de 67.33% de finos dando un total de 100% de muestra. Por lo que se puede determinar que el tipo de material que se encuentra es un suelo arenoso con clastos de tipo Andesito basáltico.

Tabla 7-4: Resultados ensayo granulométrico 2019

Granulometría (ASTM D422)						
TAMIZ	ABERTUR A	PESO RET.	PESO RET.	%	%	%
	mm	PARCIAL	ACUMULAD O	RETENID O	QUE PASA	ESPECIFICAD O
N 3/8	9,5	0,48	0,50	19,12%		
N 40	0,42	0,56	1,10	44,73%	66,27%	
N 50	0,3	0,61	1,70	70,46%	28,64%	
N 80	0,18		0,00	0,00%	0,00%	
N 100	0,15	0,57	0,60	23,33%	78,12%	
N 200	0,07	0,15	0,70	30,17%	69,83%	
<N 200				2%	93,50%	
TOTAL		2,37	2,40		GRUESO	19,12%
					MEDIO	11,06%
					FINO	69,83%

Fuente: Quintuña, 2019, p. 42.

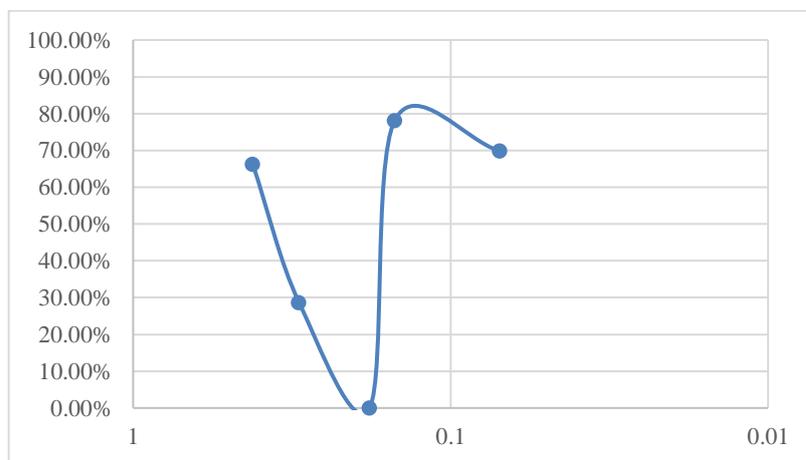


Gráfico 2-4: Curva granulométrica 2019

Fuente: Quintuña, 2019, p. 42.

Realizado por: Reyes, 2021.

Como una comparación de resultados obtenidos de los ensayos realizados en el río Upano se tomó como referencia la tesis realizada por Pedro Quintuña denominada “ESTUDIO BATIMÉTRICO Y DE CAPACIDAD DE REPOSICIÓN NATURAL DE MATERIAL PÉTREO PARA LA APLICACIÓN DE UN MANEJO DE EXPLOTACIÓN EN UN TRAMO DE 6 KM DEL RÍO UPANO” donde se analizó un ensayo granulométrico obteniendo resultados similares al presente.

4.5. Análisis del método de explotación por franjas paralelas

Aplicando la metodología de piscinas paralelas al cauce del río, y con el análisis de tiempos de operación con la teoría de colas aplicados en las playas del río Upano, se puede comprobar que las afectaciones realizadas al cauce del río disminuyen, ya que la maquinaria no está en contacto directo, así mismo los volquetes no circularían por el cauce. De igual manera en los costos de operación (tabla 4) se puede comprobar una reducción durante la actividad de extracción minera, ya que los titulares mineros realizan sus actividades con 2 excavadoras generando de esta manera un gasto de operación aproximado de \$ 3377.84, para el caso de los libres aprovechamientos realizan sus actividades con 4 excavadoras generando un gasto aproximado de \$ 2078.08. Realizando un análisis final con 3 excavadoras considerando las características mencionadas sobre río Upano, se obtuvo un costo de operación total de \$ 1713.76 lo que representa un ahorro para los propietarios mineros de \$ 1000 dólares por costo de operación.

Sumado al análisis de método de colas, realizar una explotación mediante franjas paralelas se obtienen grandes ventajas, como el nivel de afectación a la circulación natural del río disminuye, se optimiza el transporte ya que la distancia de recorrido de los volquetes será menor (se pueden realizar las operaciones desde la parte más alejada de hasta la más cercana a la planta de beneficio), la recuperación de las reservas es de hasta un 90 %, este método se puede aplicar en zonas donde el río Upano tiene un ancho considerable.

4.6. Discusión

El Gobierno Provincial de Morona Santiago puso en ejecución como proyecto piloto la metodología mencionada en la presente tesis, en la cual, se pudo comprobar una mejora en todo el proceso de trabajo ya que los periodos de espera, ciclo de trabajo, extracción y carguío de material los tiempos disminuyeron, para los volquetes de 8 m³ un tiempo de 19 minutos ahora a un tiempo de 10 minutos y para los de 13 m³ un tiempo de 22 minutos a un tiempo de 15 minutos, por lo que se puede comprobar que la optimización del proceso de explotación por franjas paralelas es eficiente en los procesos mineros realizados en la playa del río Upano. A su vez mediante el análisis de colas, se demostró que la manera de optimizar los recursos económicos y obtener un mejor rendimiento de las operaciones es realizar las actividades mineras utilizando 3

retroexcavadoras ya que los costos totales serían de \$ 1713.76 a comparación de si se harían con 2 o 4 donde los costos serían de \$ 3377.84.

Dentro del territorio cantonal no se han realizado estudios a detalle sobre la aplicación de métodos de explotación por franjas paralelas y más aún una comparación de costos de producción y extracción, por lo que este trabajo de titulación sería el primero en realizarse en la zona de estudio mencionada.



Figura 5-4: Implementación del método de extracción por franjas paralelas

Realizado por: reyes, 2021.

CONCLUSIONES

- Realizando el ensayo de abrasión se pudo determinar que el nivel de desgaste de la roca es de un 30.25% por lo que presenta las condiciones óptimas para ser utilizado en vías y en la construcción, de la misma forma el ensayo granulométrico evidencia que existe una relación aproximada de 80% de cantos rodados y bloques y de un 20% de arena, esta relación es en la zona de estudio propuesta.
- En la zona de estudio ubicada en la playa del río Upano hay 29 áreas mineras, 28 permisos de minería artesanal y una concesión del régimen de pequeña minería, estando de este grupo solamente 3 permisos de minería artesanal operativos con los documentos habilitantes para realizar las actividades de explotación de material pétreo.
- En función a la accesibilidad vial, zonas de inundación, población expuesta y volúmenes de reservas. El área total de deposición de material pétreo óptimo para explotación es de 62.71 hectáreas, de las cuales 45.22 hectáreas se encuentran dentro del área de estudio.
- Con la aplicación de metodología de colas, extracción paralela al cauce del río, acorde a las características de la zona y la normativa legal vigente; se realizó el dimensionamiento de la flota básica de equipos para la explotación de cielo abierto por frente; determinándose que se necesitaría de 3 excavadoras. Del mismo modo se determina que los costos de producción por frente bordean los \$ 1713.16, lo que demuestra una optimización en la metodología de explotación, ya que en la actualidad las áreas mineras gastan \$ 2078.08 hasta \$ 3373.84. En cuanto a los tiempos cronometrados obtenidos en el diagnóstico de campo es de 19 minutos para los volquetes de 8 m³ y de 22 minutos para los volquetes de 13 m³: Con la aplicación del método de explotación de franjas paralelas los tiempos acortaron a 10 minutos para los volquetes de 8 m³ y a 15 minutos para los volquetes de 13 m³.

RECOMENDACIONES

- Conforme al análisis de colas, se recomienda minimizar el número de excavadoras para que no exista la presencia de puntos muertos al momento de realizar el arranque del material pétreo y aplicar métodos de minería que sean técnicos y apegadas a la normativa ambiental.
- La propuesta de delimitación de áreas para la extracción de áridos y pétreos se tome en cuenta para estudios de mayor profundidad como el batimétrico, o levantamiento con scanner o tomografía geológica para la elaboración de planeaciones anuales posteriores
- Es importante la actividad minera se formalice en la zona de acuerdo a la ordenanza e instructivo municipal vigente; para una correcta administración y control del departamento municipal pertinente con la respectiva capacitación técnica y ambiental a los mineros.

BIBLIOGRAFÍA

ANDOCILLA, L. (2012). Implementación del Algoritmo de Lógica Fuzzy aplicado a la determinación del grado de susceptibilidad a deslizamientos en el área Monjas - Ferroviaria - La Magdalena- Itchimbia del distrito metropolitano de Quito. Sangolquí: Tesis de grado: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.

ASAMBLEA NACIONAL. Código orgánico de organización territorial, autonomía y descentralización. Quito. 2010.

CEPEDA, M., PALACIOS, I., TIERRA, A., & KIRBY, E. “Multiresolution analysis in the visible spectrum of Landsat-TM images through wavelet transform”. *Geographia Technica*. 2018, 13(1), pp. 20-29. doi:10.21163/GT_2018.131.03

CHAMORRO MOYA, Armando Rafael. Análisis de confiabilidad entre métodos de predicción de deslizamientos: Mora-Vahrson, Lógica Fuzzy e INDECI, para determinar cuál es el que mejor representa la realidad de la microcuenca del Río Cristal, provincia de Bolívar (Proyecto de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Departamento de Ciencias de la tierra y construcción, Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. 2014, pp. 32-33. [Consulta: 5 abril 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/9475/1/T-ESPE-048221.pdf>

CHARLTON, R. *Fundamentals of Fluvial Geomorphology*. London: Routledge, 2007.

FEIJOO CALLE, Ernesto Patricio. Diseño de explotación para materiales pétreos en el Río Boladel de la concesión minera María Felicia [en línea] (Trabajo de graduación) (Pregrado). Universidad del Azuay, Facultad de Ingeniería en Minas. Cuenca, Ecuador. 2016, pp. 22 – 23. Disponible en: <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5831/1/12151.pdf>

INSTITUTO AUSTRALIANO DE MINERÍA Y METALURGIA, INSTITUTO AUSTRALIANO DE GEOCIENTÍFICOS & CONSEJO DE MINERALES DE AUSTRALIA. Código de Australasia para la presentación de informes, resultados de exploración, recursos minerales y reservas de mineral (JORC). 1999. Disponible en: <https://post.geoxnet.com/codigo-jorc-recursos-y-reservas-minerales/>

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE SISTEMAS AMBIENTALES [ESRI].

Introducción a SIG [blog]. Estados Unidos. [Consulta: 22 mayo 2021]. Disponible en: [https://resources.](https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm)

[arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm](https://resources.arcgis.com/es/help/getting-started/articles/026n0000000t000000.htm)

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN MORONA. Plan Cantonal de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Morona 2012 - 2020. Macas. 2012.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DEL CANTÓN MORONA. Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Morona 2015- 2019. Macas. 2015.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE MORONA SANTIAGO. *Ordenanza que regula, autoriza y controla la explotación de materiales áridos y pétreos en los lechos de los ríos, lagos y canteras existentes en la jurisdicción del cantón Morona.* 2015. Disponible en: <http://www.morona.gob.ec/sites/default/files/ORDENANZAS/O.%20ORDENANZA%20DE%20C3%81RIDOS%20Y%20P%20C3%89TREOS..pdf>

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE MORONA SANTIAGO. Ordenanza que regula, autoriza y controla la explotación de materiales áridos y pétreos en los lechos de los ríos, lagos y canteras existentes en la jurisdicción del Cantón Morona. Macas. 2015.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE MORONA SANTIAGO. Informe de resumen de títulos mineros en el cantón Morona. Macas: Departamento de Gestión Ambiental y Servicios Públicos. 2020.

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL DE MORONA SANTIAGO. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del gobierno autónomo descentralizado municipal del cantón Morona 2019 -2032. Macas. 2020

GODÍNEZ LÓPEZ, Roberto. “Modelo de un sistema experto a partir de la aplicación de la lógica difusa para ayudar en las decisiones bursátiles”. Revista de la Universidad del SABES [en línea]. 2011, 1, pp. 1-15. [Consulta: 29 julio 2021]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/322580724_Modelo_de_un_sistema_experto_a_partir_de_la_aplicacion_de_la_logica_difusa_para_ayudar_en_las_decisiones_bursatiles

KNIGHTON, D. *Fluvial Forms and Processes. A New Perspective*. 2° Ed. London: Routledge, 1998, pp. 94 – 100.

LLERENA, Carlos. “Servicios ambientales de las cuencas y producción de agua, conceptos, valoración, experiencias y sus posibilidades de aplicación en el Perú”. Tercer Congreso Latinoamericano de Manejo de Cuencas Hidrográficas. 2003 (Perú), pp. 9-12. [Consulta: 24 junio 2021]. Disponible en: <https://www.iai.int/admin/site/sites/default/files/uploads/BR-2003-11-Servicios-ambientales-de-las-cuencas-Spanish-Carlos-A.-Llerena.pdf>

LUNA, L., GORDON, W., & JOHN, M. *Fluvial processes in geomorphology*. 2° Ed. New York: Dover Publications, 2020. ISBN 9780486845524, pp. 40 – 45.

MEJÍA, Marco Antonio. & QUINTUÑA, Pedro. “Determinación de capacidad de reposición natural de material pétreo en el tramo del río Upano denominado La Barranca para un manejo de explotación”. *Ciencia Digital* [en línea]. 2019, (Ecuador) 3(3.1), pp. 409-427. [Consulta: 18 junio 2021]. Disponible en: <file:///D:/Downloads/711-Texto%20del%20art%C3%ADculo-3130-2-10-20190726.pdf>

ORDÓÑEZ GÁLVEZ, Juan Julio. *Cartilla Técnica: Aguas subterráneas - Acuíferos*. Lima: Sociedad Geográfica de Lima, 2012, p. 8.

PADILLA, O. “Fundamento teórico para la modelización de variables ambientales mediante operadores difusos”. *Revista Geoespacial*, 2027, 4, pp. 56-62.

PALACIOS, I. “Aplicación del modelo de Christaller para la distribución espacial de supermercados”. *MASKANA*, 2018. 9 (2), pp. 9-16. doi:10.18537/mskn.09.02.02

PALACIOS, I. “Evaluación multicriterio para la ubicación de un relleno sanitario en la ciudad de Macas, a través de la ponderación de sus variables con el Proceso Analítico Jerárquico, AHP”. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, 2018. 3(3), pp. 83-94.

PALACIOS OREJUELA, Iván Fernando. Generación de un modelo de predicción de la variable ondulación geoidal, para la zona rural del cantón Guayaquil, mediante el uso del método Cokriging (Trabajo de titulación) (Pregrado) [en línea]. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, Carrera de Ciencias de la Tierra y Construcción. Sangolquí-Ecuador. 2019, pp. 27-54. [Consulta: 12 julio 2021]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/15738/1/T-ESPE-040805.pdf>

PALACIOS OREJUELA, Iván Fernando. Generación de un modelo de crecimiento tendencial urbano de la ciudad de Macas (Ecuador) al año 2030, mediante técnicas de modelación espacial multivariable (Trabajo de titulación) (Mestría) [en línea]. Universitat de Barcelona, Facultat de Geografia e Historia. 2020, p. 21. Disponible en: http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/171813/1/TFM_Palacios%20Orejuela_Ivan%20Fernando.pdf

PALACIOS OREJUELA, Iván Fernando. “Susceptibilidad a deslizamientos en la vía Aloag – Santo Domingo, mediante Lógica Difusa”. Revista Geoespacial [en línea]. 2020, (Sangolquí, Ecuador) 17(2), pp. 1-12. [Consulta: 14 mayo 2021]. ISSN: 2600-5921. Disponible en: <file:///D:/Tami/Downloads/1571-7244-1-PB.pdf>

PALACIOS, I., & CEPEDA, M. “Elimination of White Noise from Time Series through the Wavelet Transform”. Modern Environmental Science and Engineering [en línea]. 2018, 4(7), pp. 681-685. [Consulta: 02 junio 2021]. ISSN: 2333.2581. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/335833408_Elimination_of_White_Noise_from_Time_Series_through_the_Wavelet_Transform

PALACIOS, I., & RODRÍGUEZ, F. “Economic Valuation of Environmental Goods and Services of the Protector Forest Kutukú – Shaimi, SE Ecuador”. International Journal of Energy, Environment, and Economics. 2021, 27(2). Disponible en: http://www.novapublishers.org/catalog/product_info.php?products_id=66314

PALACIOS, I., & TOULKERIDIS, T. “Evaluation of the susceptibility to landslides through diffuse logic and analytical hierarchy process (AHP) between Macas and Riobamba in Central Ecuador”. Seventh International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG). 2020 (Buenos Aires/Argentina), pp. 201-207. doi:10.1109/ICEDEG48599.2020.9096879
cangahuosos, con fines de agricultura comunitaria en el Ilaló. Ciencia del Suelo, 38(2), 295-309.

QUINTUÑA GALLARDO, Pedro Nicolás. “Estudio batimétrico y de capacidad de reposición natural de material pétreo para la aplicación de un manejo de explotación en un tramo de 6 km del Río Upano” [en línea]. (Trabajo de titulación) (Pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Carrera de Ingeniería en Geología y Minas. Riobamba, Ecuador. 2019, pp. 5-53. [Consulta: 02 mayo 2021]. Disponible en: <http://dspace.esepoch.edu.ec/bitstream/123456789/10760/1/53T0040.pdf>

REGISTRO OFICIAL N° 517. *Ley de minería.* 2009. Disponible en: <https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/06/Ley-de-Mineria.pdf>

SÁNCHEZ-DELGADO, N.; “Revisión crítica de los ensayos de abrasividad en las rocas y de la influencia de las características petrográficas”. Universidad de Oviedo [en línea]. 2016, (España) (36), pp. 347 – 366. [Consulta: 25 julio 2021]. Disponible en: [file:///D:/Downloads/12970-Texto%20del%20art%C3%ADculo-26398-1-10-20180911%20\(1\).pdf](file:///D:/Downloads/12970-Texto%20del%20art%C3%ADculo-26398-1-10-20180911%20(1).pdf)

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES. *Cuencas hidrográficas. Fundamentos y perspectivas para su manejo y gestión* [en línea]. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2013. [Consulta: 12 junio 2021]. Disponible en: <https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/Libros2013/CD001596.pdf>

SHAHABI, H., HASHIM, M., & AHMAD, B. “Remote sensing and GIS-based landslide susceptibility mapping using frequency ratio, logistic regression, and fuzzy logic methods at the central Zab basin, Irán”. *Environmental Earth Sciences* [en línea]. 2015, 73(12), pp. 8647-8668. [Consulta: 28 junio 2021] ISSN: 1866-6280. Disponible en:

WEATHER SPARK. *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Macas* [blog]. [Consulta: 15 mayo 2021]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/y/20012/Clima-promedio-en-Macas-Ecuador-durante-todo-el-a%C3%B1o>



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
DIRECCIÓN DE BIBLIOTECAS Y RECURSOS
PARA EL APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN



UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS
REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

FECHA DE ENTREGA: 08/ 12/ 2021

INFORMACIÓN DEL AUTOR

NOMBRES – APELLIDOS: CARLOS DIEGO REYES BARRERA

INFORMACIÓN INSTITUCIONAL

FACULTAD: RECURSOS NATURALES

CARRERA: GEOLOGÍA Y MINAS

TÍTULO A OPTAR: INGENIERO EN GEOLOGÍA Y MINAS

F. ANALISTA DE BIBLIOTECA RESPONSABLE:

Lcda. INÉS ZAPATA ZUMÁRRAGA Mgtr.

Inés
Zapata

Firmado digitalmente por Inés Zapata
DN: cn=Inés Zapata, gn=Inés Zapata
o=ES, Spain, InÉS Spain, ou=ESPOCH
ou=DBRA, e=ines.zapata@esPOCH.edu.ec
Motivo: Apruebo este documento
Ubicación:
Fecha: 2021.12.08 16:19:05:00



08-12-2021
2208-DBRA-UTP-2021