



UNIVERSIDAD DEL AZUAY

DEPARTAMENTO DE POSGRADOS

“Caracterización de los materiales pétreos del río Upano, entre los sectores teniente Hugo Ortiz y la Barranca con extensión de 60 hectáreas en el cantón Morona provincia Morona Santiago”

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:
Magíster en Minas con mención en Planeamiento Minero

Autor:

MARCO ANTONIO MEJIA FLORES

Director:

ERNESTO PATRICIO FEIJOO CALLE

CUENCA, ECUADOR

2025

Marco Mejía ii

Marco Antonio Mejía Flores

Trabajo de Titulación

Ing. Ernesto Patricio Feijoo Calle

Septiembre, 2025

“Caracterización de los materiales pétreos del río Upano, entre los sectores teniente

Hugo Ortiz y la Barranca con extensión de 60 hectáreas en el cantón Morona provincia

Morona Santiago”

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con profundo amor a mis seres queridos que, aunque ya no están físicamente conmigo, siento presentes en cada paso que doy. Su recuerdo me acompaña, me inspira y me da fuerzas para seguir adelante.

También dedico estas páginas a mis familiares, amigos y colegas, quienes, con su apoyo moral, palabras de aliento y cercanía, han sido parte esencial en este proceso continuo de formación. Gracias a su compañía y aliento constante, hoy puedo dar un paso más y ver realizado este sueño que nació del compromiso y del corazón.

Marco Antonio Mejía Flores

AGRADECIMIENTO

Deseo expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas e instituciones que hicieron posible la realización de esta investigación en el marco de mis estudios de Maestría.

En primer lugar, extiendo mi sincero reconocimiento a mis **profesores y tutor**, quienes con su guía académica, rigurosidad científica y constante apoyo, contribuyeron significativamente al desarrollo de este trabajo. Sus observaciones y sugerencias enriquecieron cada etapa del proceso investigativo.

Agradezco especialmente a los **colaboradores** que participaron directa o indirectamente en este proyecto, ya sea mediante el intercambio de ideas, el acompañamiento en el trabajo de campo o el apoyo logístico. Su disposición y compromiso fueron fundamentales para el avance de esta investigación.

Mi gratitud también para el equipo de **laboratoristas**, por su asistencia técnica, paciencia y profesionalismo. Su colaboración fue indispensable para la ejecución de los procedimientos experimentales y el análisis de resultados.

Marco Antonio Mejía Flores

RESUMEN

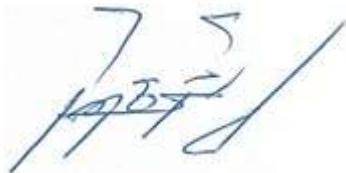
El presente estudio tiene como objetivo analizar la caracterización de los materiales pétreos del río Upano, ubicado en la parroquia Macas, cantón Morona, provincia Morona Santiago. Estos materiales son procedentes del lecho de río tipo valle La caracterización de este recurso natural se considera primordial por su uso creciente en actividades de construcción dentro y fuera de la región.

Como parte del proceso investigativo, se realizó el muestreo del material pétreo con el fin de obtener muestras representativas que permitan un análisis preciso.

Para ello, se llevaron a cabo ensayos de laboratorio orientados a determinar las propiedades físico- mecánicas del material, tales como granulometría, densidad, resistencia, forma y dureza.

En conclusión, esta caracterización no solo aporta información técnica relevante, sino que también contribuye a una gestión más eficiente y sostenible de los recursos naturales de la zona, orientando su aprovechamiento hacia fines constructivos que impulsen el desarrollo local.

Palabras clave: Caracterización, Material pétreo



Ing. Patricio Feijoo Calle

Director del trabajo de titulación

ABSTRACT:

This study aims to analyze the characteristics of the stone materials from the Upano River, located in the Macas parish, Morona canton, Morona Santiago province. These materials originate from the riverbed of a valley-type river. Characterizing this natural resource is considered essential due to its increasing use in construction activities both within and outside the region.

As part of the research process, the stone material was sampled to obtain representative samples for accurate analysis.

Laboratory tests were conducted to determine the material's physical and mechanical properties, such as particle size distribution, density, strength, shape, and hardness.

In conclusion, this characterization not only provides relevant technical information but also contributes to more efficient and sustainable management of the area's natural resources, guiding their use toward construction projects that promote local development.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
Introducción	1
CAPÍTULO 1	2
1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Antecedentes.	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4. Objetivos.	5
3.1. Objetivo general:.....	5
1.4.1. Objetivos específicos:	5
1.5. Resultados esperados	5
CAPÍTULO 2.....	6
2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS	6
3.2. Geología regional.	6

2.1.2.	Procesos fluviales.....	10
3.3.	Material Pétreo.....	14
2.1.3.	Definición.....	14
2.1.4.	Propiedades de los materiales pétreos.....	14
3.4.	Ensayos de laboratorio.....	16
2.1.5.	Humedad natural.....	16
2.1.6.	Distribución granulométrica.....	17
2.1.7.	Proctor modificado.....	17
2.1.8.	Ensayo de la relación de soporte de california (CBR).....	18
2.1.9.	Ensayo de desgaste de los Ángeles.....	18
2.1.10.	Contenido de materia orgánica.....	19
2.1.11.	Resistencia al sulfato de sodio.....	19
2.1.12.	Diseño de hormigón	20
CAPÍTULO 3.....		21
3.	EXPERIMENTACIÓN	21
3.1.	Geología Local.....	21
3.2.	Determinación del Sistema de muestreo.....	25
3.3.	<i>Determinación del contenido de humedad.....</i>	31
3.4.	Densidad.....	34

3.5.	Determinación colorimétrica de la presencia de impurezas orgánicas en las arenas para hormigones: NCh 166	39
3.6.	Ensayo de abrasividad.....	41
3.8.	Análisis granulométrico de la llenante mineral utilizado en la elaboración de mezclas asfálticas I.N.V. E – 215 – 13.	53
3.9.	Método del Hidrómetro de Bouyoucos para la Determinación de la Textura del Suelo.	
	54	
•	<u>Dispersión de la muestra</u>	<u>56</u>
3.10.	Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino I.N.V. E – 222 – 13 59	
3.11.	<i>Difracción de rayos X (RDX)</i>	64
3.13.	<i>Micro barras de hormigón</i>	68
3.13.4.	Procedimiento de almacenamiento y medición de las micro barras	71
3.14.	Ultra acelerado de primas de hormigón.	72
CAPÍTULO 4	.....	75
4.	<u>PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</u>	
	<u>75</u>	
Frecuencia del muestreo. -	75	
4.1.	Propiedades físicas	78
4.1.1	Densidad	78
4.1.2.	<i>Abrasión.....</i>	81

4.1.4.	<i>Distribución Granulométrica del Agregado Fino.....</i>	87
4.12.	<i>Ensayos de Fluorescencia de Rayos X (FRx) y Difracción de Rayos X (DRx).</i>	92
4.13.	<i>Solubilidad de la sílice.....</i>	95
4.4.1.	<i>Sílice disuelta.....</i>	95
4.5.	Ensayos de expansión.....	97
CAPÍTULO 5.....		106
5.	CONCLUSIONES	106
Bibliografía		111

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Descripción geológica bloque morfo-tectónico 3d de la cordillera del Cutucú. los sismos representados son los del experimento de Legrand et al.....	10
Figura 2 Proceso de transporte por tracción o por rodadura.....	11
Figura 3:Procesos de saltación de las partículas de arena.	13
Figura 4: Delimitación del área de estudio	26
Figura 5 : Estados de contenido de humedad de material pétreo.	32
Figura 6:Agregado saturado de agua.	35
Figura 7: Método gravimétrico, densidad.....	38
Figura 8: Modelo de tabla del laboratorio para ensayo de abrasión.....	43
Figura 9: Máquina de Los Ángeles y carga abrasiva compuesta por esferas de acero.....	44
Figura 10: Recolección in situ de las muestras de material pétreo.....	45
Figura 11: Procedimiento de recolección en campo de muestras de material pétreo.....	46
Figura 12: Preparación del material y equipo para realizar el ensayo granulométrico.	46
Figura 13: Realización del ensayo granulométrico.	47
Figura 14: Resultado de curva granulo métrica.....	52
Figura 15:Proceso de secado de la muestra mediante una estufa en laboratorio.....	53
Figura 16: Lavado de material.....	54

Figura 17: Secado de la muestra hasta masa constante	60
Figura 18: Muestra sumergida en agua durante 24 horas.....	60
Figura 19: Ensayo de inmersión: muestra pétreas	61
Figura 20 Secado y Conservación de Finos en Muestras Pétreas.....	61
Figura 21:Prevención de la pérdida de finos mediante dispersión controlada de la muestra	62
Figura 22: Ensayo del Cono: Determinación de la Condición SSD del Agregado	62
Figura 23 Método gravimétrico, mediante el picnómetro; aforo del instrumento.....	63
Figura 24: Muestra representativa de material y secado en horno a 110 °	64
Figura 25: Cuarteo y la trituración primaria realizadas para la preparación de las muestras	65
Figura 26: Pulverización de las muestras en Tituladora de Anillos.	66
Figura 27: Pie de Rey	67
Figura 28:Moldes para método de Micro barras de hormigón	69
Figura 29: Proceso de curado de las micro barras de hormigón.....	70
Figura 30 Medición de las barras	72
Figura 31:Moldes para método Ultra Acelerado de prismas de hormigón.....	73
Figura 32: Ubicación geográfica	77
Figura 33: Curva granulométrica del agregado grueso.	85
Figura 34: Curva granulométrica del agregado fino.....	87

Figura 35: Láminas delgadas de la muestra MUP1	89
Figura 36: Diagrama de discriminación Q-A-P de la muestra MUP1	90
Figura 37::Láminas delgadas de la muestra MUP2.....	91
Figura 38: Diagrama de discriminación Q-A-P de la muestra MUP2.....	92
Figura 39:Resultados de reducción de alcalinidad vs sílice disuelta en agregado	96
Figura 40Expansion de micro barras de hormigón con cemento Selva Alegre a 14 días	99
Figura 41:Expansion de micro barras de hormigón con cemento Guapán a 14 días.....	101
Figura 42:Análisis de resultados de ensayo ultra acelerado de prismas de hormigón resultados con cementos Selva Alegre, tipo IP.....	103
Figura 43Análisis de resultados de ensayo ultra acelerado de prismas de hormigón resultados con cementos Selva Alegre, tipo IP.....	104

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Levantamiento geológico afloramiento Mirador.....	22
Tabla 2:Levantamiento geológico Afloramiento río Upano 1.....	23
Tabla 3:Levantamiento geológico afloramiento río Upano 2.....	24
Tabla 4: Equipo y materiales para realizar el muestreo.....	29
Tabla 5:Parámetros de la muestra para la determinación de humedad.....	32
Tabla 6: Determinación del contenido de humedad w.	33
Tabla 7:Parámetros de la muestra para la determinación de humedad.....	40
Tabla 8: Contenido estimado materia orgánica	40
Tabla 9: Parámetros de la muestra para la determinación de abrasividad.....	42
Tabla 10: Modelo de tabla del laboratorio para ensayo granulométrico con los datos obtenidos.....	47
Tabla 11: Granulometría para muestras de ensayo de Abrasión	49
Tabla 12: Modelo de tabla del laboratorio para ensayo granulométrico con los datos obtenidos.....	50
Tabla 13:Materiales y equipos utilizados en el laboratorio la determinación de la distribución granulométrica.	55
Tabla 14:Reactivos utilizados en el laboratorio	56
Tabla 15:Distribución granulométrica del rio Upano según Boyocus	58

Tabla 16:Distribución granulométrica del río Upano según Boyocus.	59
Tabla 17: Características cemento Guapán tipo GU	66
Tabla 18: Características del Cemento Selva Alegre tipo IP.....	67
Tabla 19: Dosificación cemento Selva Alegre tipo IP	69
Tabla 20: Dosificación para prismas de hormigón.....	73
Tabla 21: Coordenadas de puntos de muestreo de campo.....	76
Tabla 22:Densidad de agregado grueso.....	79
Tabla 23:Densidad de agregado fino.....	81
Tabla 24:Porcentaje de pérdida por abrasión.	82
Tabla 25: Resultados de ensayo granulométrico del agregado grueso.	84
Tabla 26: Resultados de ensayo granulométrico del agregado fino.	86
Tabla 27: Resultados de DRX y FRX de la muestra MFUP1	92
Tabla 28: Resultados de DRX y FRX de la muestra MFUP2	94
Tabla 29: Resultados de reducción de alcalinidad vs sílice disuelta en agregado.....	96
Tabla 30: Resultados de reducción de alcalinidad vs sílice disuelta en agregado.....	98

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Resultados de Laboratorio UCEM..... 109

Introducción

El tramo del río Upano ubicado en el cantón Morona; entre las parroquias Macas y Sevilla Don Bosco está constituido por un lecho con canales anastomosados; por ende, posee un alto potencial de reposición de material pétreo; particularidad que permite la extracción de dicho material destinado a la construcción pública y privada. Desde el año 2018, se ha producido mayor actividad en el Volcán Sangay, con la emisión de cenizas volcánicas, las mismas que se depositan en sus flancos y por acción de la lluvia son acarreadas a quebradas o riachuelos contribuyentes menores al río Volcán o Sangay principales afluentes del Río Upano, que en épocas de mayor pluviosidad se produce mayor arrastre y sedimentación de material en el pie de monte y en el valle del Upano.

Con el interés de identificar las características naturales del material pétreo y sus propiedades como material de construcción; se procede a la aplicación de un conjunto de técnicas y ensayos de laboratorio a muestras recolectadas en el campo. Actividades que permiten efectuar la caracterización composicional, mineralógica y textural del material, así como también la determinación de sus propiedades físicas. En la ciencia existen cinco líneas de investigación cada una de ellas con su respectivo objetivo y definidas en su aplicación.

- a. Análisis químico
- b. Análisis mineralógico petrográfico
- c. Análisis físico o mecánico
- d. Ensayo de alteración de laboratorio
- e. bio-deterioro.

Concentrándonos en el análisis mineralógico y físico mecánico.

CAPÍTULO 1

1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.

1.1. Antecedentes.

El río Upano constituye una de las principales fuentes fluviales del cantón Morona, en la provincia de Morona Santiago, Ecuador. Su cauce atraviesa el territorio cantonal en dirección norte-noroeste a sur-este, dividiendo geográficamente las parroquias Macas y Sevilla Don Bosco. Esta condición ha influido en la configuración territorial y en el desarrollo de la infraestructura vial de la zona (Llivilsaca, 2023).

Desde el punto de vista geomorfológico, el río Upano se caracteriza por poseer un lecho amplio tipo valle y por presentar una alta capacidad de reposición natural de material pétreo de origen volcánico. Estos sedimentos son transportados y depositados principalmente durante la temporada de lluvias, lo que da lugar a una recarga continua de agregados a lo largo de su zona de influencia pluvial. El material predominante está compuesto por gravas, arenas y cantes rodados, de diversa granulometría, lo que lo convierte en un recurso idóneo para su utilización en obras civiles. (Pedro, 2022)

Cabe señalar que en el sector en estudio se encuentra ubicado un puente de importancia estratégica que conecta el centro urbano de Morona con la parroquia Sevilla Don Bosco, constituyéndose en una vía esencial para la articulación interprovincial hacia ciudades como Puyo y Tena.

En los alrededores del cauce a través del tiempo se han desarrollado múltiples actividades de explotación minera, tanto mediante concesiones formales como de aprovechamientos libres, destinados principalmente al abastecimiento de materiales de construcción. Estos recursos

han sido utilizados en la ejecución de obras públicas tanto a nivel cantonal como provincial, lo que evidencia un antecedente técnico y logístico importante para futuras intervenciones de ingeniería civil en la región (ASOBANCA, 2022).

1.2. Planteamiento del Problema.

El río Upano está ubicado en el cantón Morona; entre las parroquias Macas y Sevilla Don Bosco tiene un recorrido preferencial de NE a SO, en el sector del estudio, el río tiene una anchura promedio de 200 m, está constituido de lechos con canales anastomosados razón por la cual tiene un potencial de reposición considerable de material de diferente génesis tipo andesítico, basáltico y diorítico (Reyes Barrera, 2021). Razón por la cual se ha aprovechado este material pétreo para la construcción pública y privada. Desde el 2018 por actividad del Volcán Sangay el cual ha generado emisión de cenizas volcánicas las mismas que han sido dispersadas en sus flancos y transportadas en temporadas de lluvia por riachuelos y quebradas formando acumulaciones de gran proporción como es el caso del río Volcán, en el cual a la altura de la desembocadura con el río Upano se ha formado un dique natural, que en épocas de mayor pluviosidad se produce desfogues con arrastre de material volcánico, el cual cambia las propiedades del sedimento en el río Upano, las propiedades físicas más visibles que han sido modificadas son: el aumento de su densidad y variaciones en su compactación lo cual ha ocasionado el empleo de maquinaria de mayor potencia; el contener partículas muy finas, ha ocasionado un cierto desinterés en el mercado; también incertidumbre por parte de los clientes sobre la calidad del material pétreo; esto se suma el no tener un estudio actualizado sobre las propiedades intrínsecas y extrínsecas del material pétreo lo cual ha provocado una disminución en sus ventas afectando a los pequeños mineros y a los mineros artesanales (Pedro, 2022).

1.3. Justificación.

El río Upano, ubicado en el cantón Morona, provincia de Morona Santiago, Ecuador, constituye una fuente significativa de materiales pétreos empleados en la construcción de obras civiles. Su lecho de tipo valle y la constante reposición natural de sedimentos de origen volcánico durante la temporada de lluvias aseguran una disponibilidad continua de gravas y arenas y cantes rodados, las cuales han sido históricamente aprovechadas tanto por concesiones formales como por explotaciones informales.

Estos agregados han sido utilizados recurrentemente en proyectos de infraestructura vial y obras públicas, incluida la construcción y mantenimiento del puente estratégico que conecta el centro urbano de Morona con la parroquia Sevilla Don Bosco. Sin embargo, pese a su prolongado uso y evidente valor técnico y económico, hasta la fecha no se ha realizado un estudio sistemático de caracterización físico-mecánica de estos materiales pétreos, ni un análisis detallado de su comportamiento en mezclas de hormigón.

La ausencia de una caracterización adecuada impide conocer con precisión parámetros críticos como resistencia, absorción, forma y textura superficial de los agregados, los cuales influyen directamente en las propiedades del hormigón, tales como trabajabilidad, durabilidad y resistencia mecánica. Asimismo, la falta de ensayos experimentales sobre su comportamiento estructural en distintas dosificaciones limita el diseño y desarrollo de mezclas óptimas y seguras, especialmente para aplicaciones que requieren altos estándares técnicos.

Este vacío técnico representa una limitación importante para el aprovechamiento racional, eficiente y sostenible de los recursos del río Upano. En consecuencia, se hace necesario emprender un estudio integral que permita caracterizar las propiedades físico-mecánicas del material pétreo disponible y evaluar su desempeño en mezclas de hormigón, con el fin de

establecer su idoneidad, optimizar procesos constructivos y contribuir a una gestión responsable del recurso natural.

1.4.Objetivos.

3.1.Objetivo general:

Analizar la caracterización de los materiales pétreos del río Upano, parroquia Macas, cantón Morona provincia Morona Santiago.

1.4.1.Objetivos específicos:

- Realizar el muestreo del material pétreo en el área delimitada del río Upano para obtener muestras representativas para el análisis de laboratorio.
- Caracterizar el material pétreo mediante ensayos de laboratorio especializados de las propiedades físicas mecánicas.
- Evaluar el potencial uso del material pétreo en función de sus propiedades físico-mecánicas para la construcción.

1.5.Resultados esperados

Se prevé obtener la identificación mineralógica, determinar su composición y sus propiedades físico mecánica para comparar su utilidad con normas internacionales.

CAPÍTULO 2

2. REVISIÓN DE LA LITERATURA O FUNDAMENTOS TEÓRICOS

3.2. Geología regional.

El área de estudio se encuentra ubicada geológicamente en la zona sub andina del Ecuador, específicamente en la franja de plegamiento y corrimiento del arco posterior, de acuerdo con el “Mapa de Rasgos Estructurales Principales del Ecuador” elaborado por Baldock (1982). Esta franja es distintiva por su actividad tectónica y su relevancia en la conformación del relieve de la región, situada junto a las estribaciones de la Cordillera Real o Cordillera Oriental, la cual se extiende a lo largo del país y constituye un componente importante de la estructura geológica andina. (*Baldock, 1982*)

De manera particular, el valle del río Upano está compuesto por materiales de los períodos Terciario y Cuaternario. En esta zona, se reconocen diversas formaciones geológicas de gran interés, como la Formación Hollín, la Formación Napo, la Formación Mera y la Formación Mesa, además de otros grupos de relevancia como el conjunto de margas, los depósitos coluviales y las terrazas aluviales. Estos elementos representan distintos procesos geológicos que han moldeado el valle a lo largo del tiempo, contribuyendo tanto a su geomorfología como a la diversidad de sus materiales sedimentarios (Baldock, 1982). Como se muestra en la fig. N°1 Descripción Geológica Bloque morfo-tectónico 3D de la Cordillera del Cutucú. Los sismos representados son los del experimento de Legrand et al. (Nieto, 2015)

2.1.1. Formaciones Geológicas.

2.1.1.1. Formación Mera (Cuaternario).

Consiste en terrazas muy recientes de depósitos conformados por abanicos de piedemonte del cuaternario, constituidos por areniscas tobáceas y arcillas, las que posdatan al último período portante de fallamiento y levantamiento. Hacia el Este los sedimentos de las terrazas disminuyen considerablemente en espesor, tamaño del grano y altitud” (Baldock, 1982). En la descripción del mapa regional también se observan conglomerados en esta formación geológica.

2.1.1.2. Formación Mesa (Plio - Pleistoceno).

Comprende una serie de terrazas disectadas, compuestas de depósitos clásticos de medios a gruesos, procedentes de la continua erosión de la Sierra; esta formación es más gruesa en la parte Oeste, cerca de la cordillera (c. 1000 m), mientras que al Este de la zona sub andina es de apenas 100 metros de espesor. Las terrazas muestran evidencia de fallamiento y levantamiento y están parcialmente cubiertas por depósitos Cuaternarios posteriores (Baldock, 1982, p. 16). Aunque todavía se encuentran varios horizontes tobáceos. Las terrazas muestran evidencia de fallamiento y levantamiento y están parcialmente cubiertas por depósitos Cuaternarios posteriores.

2.1.1.3. Formación Hollín (Cretácico inferior).

“Areniscas cuarzosas blancas epicontinentales de la Fm. Hollín sobre yacen a varias rocas Pre-Aptienses a través de la región Oriental del Ecuador; tiene un espesor de 80 a 240 metros e incluye lutitas fracturadas. Las cuarcitas de la Fm. Hollín afloran extensamente en la zona sub andina, particularmente estando ampliamente expuestas en algunas partes del levantamiento

Napo” (Baldock, 1982, p. 11). En el mapa regional también se observan lutitas carbonosas, areniscas arcillosas, areniscas cuarcíferas, rocas silíceas y micáceas y conglomerados de base.

2.1.1.4. Formación Napo ([Albiano inferior – Campaniano inferior] Cretácico).

“Es quizás la secuencia más importante en el Oriente Ecuatoriano; consiste en una sucesión de lutitas negras, calizas grises a negras y areniscas calcáreas. La formación varía en espesores menores de 200 metros a más de 700 m. Sobre yace continuamente a la Fm. Hollín por todo el Oriente; la Formación fue depositada en un ambiente marino en una cuenca de orientación N-S, o en un graben limitado por fallas con una plataforma mucho menos profunda hacia el Este, donde predominantemente es una facie más arenosa (orilla)” (Baldock, 1982, p. 11).

2.1.1.5. Formación Macuma (Carbonífero Superior).

La Formación Macuma también aflora solamente en la zona Sub andina; comprende una gruesa secuencia de 1500 metros de espesor de calizas bioclásticas con intercalaciones de pizarras, margas y finas areniscas de edad Carbonífero Superior (Westfaliense o Pensilvánico Inferior). Se ha hecho una subdivisión en dos miembros basada en la evidencia litológica y de fauna (Spirier, Fenestella, Terebratula, Fusulinella) (Bristow y Hoffstetter, 1977), además, la extensión de estos depósitos de plataforma no es desconocida. Las calizas de la Macuma sobre yacen a la “Pumbuiza”, en el Norte del levantamiento Cutucú; ellas están sobrepuertas por las capas rojas de la Formación Chapiza, que sugiere que la Formación Santiago se acuña y desaparece en el área del Cerro Macuma. (Baldock, 1982).

2.1.1.6. Formación Santiago (Jurásico inferior).

Una extensa secuencia de calizas marinas del Jurásico Inferior, intercalada con lutitas, areniscas y materiales piroclásticos, constituye gran parte de la Cordillera del Cutucú en el sureste de Ecuador. Esta formación se extiende hacia el sur, llegando hasta Perú, aunque no se encuentra en otras regiones del Ecuador. En la zona este de su afloramiento, la Formación Santiago presenta una semi invariable secuencia de calizas silíceas grises, areniscas calcáreas y lutitas negras. Sin embargo, hacia el oeste, la formación adquiere un carácter más volcánico, con abundantes intercalaciones de brechas, tobas y mantos volcánicos, producto de un intenso vulcanismo interno que caracteriza la región. (Baldock, 1982).

2.1.1.7. Valle del Upano.

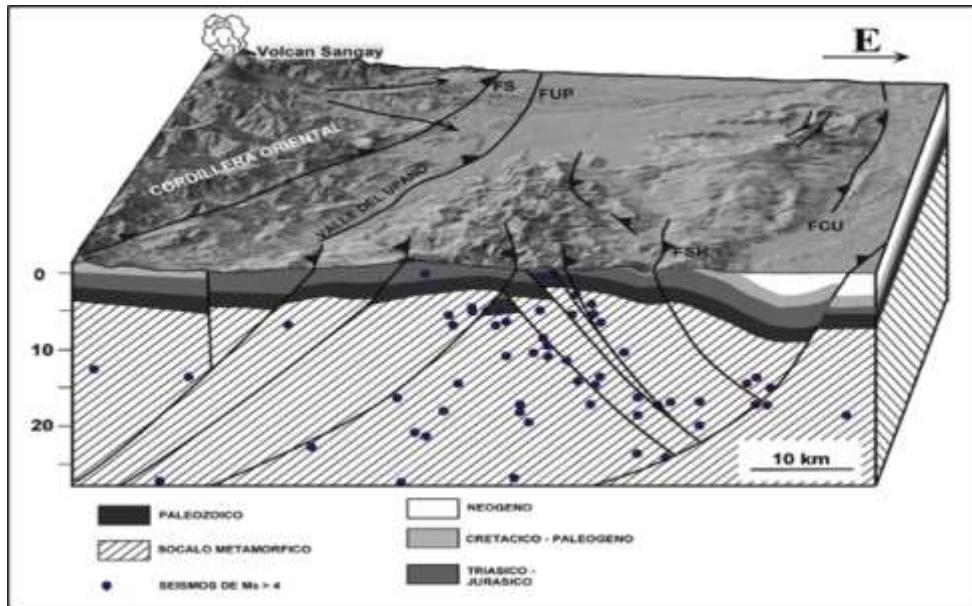
El río Upano y el río Pastaza son los medios de transporte principales de los depósitos aluviales de la zona sub andina. La **Superficie Mera-Upano** se desarrolló sobre los abanicos aluviales alimentados por los ríos Pastaza y Upano, y está compuesta en gran medida por depósitos vulcano-sedimentarios generados por los complejos volcánicos Tungurahua y Sangay. Según se describe en el modelo geológico del **bloque morfo-tectónico tridimensional de la Cordillera del Cutucú**, esta superficie constituye una unidad de gran extensión regional.

Los eventos sísmicos presentados corresponden al experimento sísmico realizado por **Legrand et al.**, ilustrados en la **Figura N°1**. La Superficie Mera-Upano se caracteriza por un horizonte endurecido y oxidado, típico de las superficies de erosión subaérea denominadas glacis en la literatura geológica francesa.

En los sectores superiores de los abanicos aluviales del Pastaza y del Upano, se obtuvieron dataciones tanto por encima como por debajo de esta superficie de erosión, lo que

permite establecer su cronología relativa y su relevancia estratigráfica (según (Patrice,, Rivadeneira, & Barragan, 2018).

Figura 1 : Descripción geológica bloque morfo-tectónico 3d de la cordillera del Cutucú. los sismos representados son los del experimento de Legrand et al.



Fuente: (andines, 2010)

2.1.2. Procesos fluviales.

“Las corrientes de agua disponen de potencia o energía suficiente para vencer las fricciones internas y externas, erosionar el lecho y transportar los sedimentos que arrastran; si esta potencia total supera las fricciones, el río erosiona; caso contrario, predominan los procesos de sedimentación” (Pozo, González , & Giner, 2004, p. 151).

2.1.2.1. Erosión.

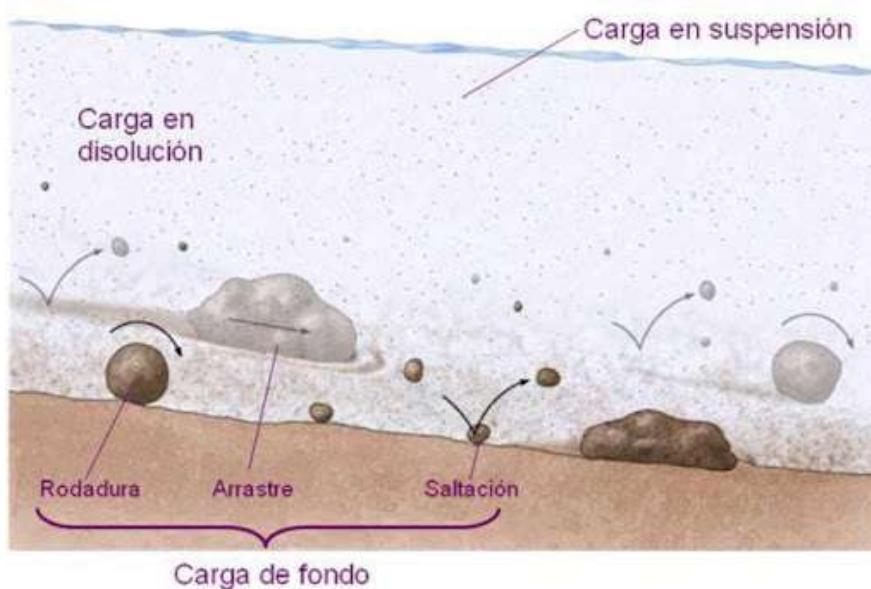
Este proceso toma tres modalidades: a) la erosión vertical, que es el resultado conjunto, de la abrasión ejercida por la carga de fondo transportada por el río (cuyo resultado es la

formación de profundas cubetas con forma circular en el fondo del cauce y que reciben el nombre de marmitas de gigante o Pilancones), de la acción hidráulica (debido a la velocidad de la corriente, que ahonda cada vez más en el cauce) y, por último, la disolución en materiales solubles, que pueden producir una intensa erosión química” (García Rodríguez, 2012).

2.1.2.2. Transporte

Los sedimentos que transporta una corriente de agua resultan de la degradación natural del suelo, ya que los materiales erosionados alcanzan las corrientes mediante tributarios menores. Esto ocurre debido a la capacidad de arrastre de sólidos que tiene el agua, la cual también es capaz de movilizar sedimentos a través de movimientos en masa, como desprendimientos, deslizamientos y otras formas de desplazamiento del suelo. (Alfredo, 2010) Figura N°2 Proceso de transporte por saltación o por rodadura.

Figura 2 Proceso de transporte por tracción o por rodadura.



Fuente: (Alfredo, 2010)

En un río, el material transportado desde aguas arriba puede seguir siendo arrastrado por la corriente, pero cuando la capacidad de transporte de esta disminuye, se acumula en forma de depósitos de sedimentos. Estos depósitos son formaciones importantes en la dinámica de los ríos, ya que alteran el flujo y la estructura del fondo, influyendo en la ecología del entorno acuático.

Existen diversos tipos de transporte de sedimentos según el tamaño y peso de las partículas. Uno de ellos es la **tracción**, que incluye tanto la rodadura como la reptación. En este tipo de transporte, las partículas son lo suficientemente pesadas como para mantenerse en contacto con el fondo del río, avanzando de forma continua debido al arrastre del agua, el viento o incluso el hielo. Estos materiales suelen desplazarse lentamente y acumularse en las zonas donde la corriente disminuye su velocidad. (Alfredo, 2010)

Otro tipo de transporte es la **saltación**, en el cual las partículas se mueven dando saltos intermitentes sobre el fondo. Este desplazamiento ocurre principalmente en partículas de tamaño intermedio, que son impulsadas y levantadas por el agua o el viento, para luego caer nuevamente. Este movimiento cíclico ayuda a desplazar sedimentos en menor medida que en la tracción, pero sigue siendo relevante en la dinámica sedimentaria. (Alfredo, 2010).

Por último, en el transporte por **suspensión**, las partículas son tan finas que permanecen suspendidas en el agua, sin necesidad de tocar el fondo. Este tipo de material, que incluye arcillas, limos y arenas finas, se desplaza a gran distancia y depende en gran medida de la velocidad de la corriente para mantenerse en suspensión. La presencia de estas partículas en el flujo es la que produce la turbidez en el agua, modificando su claridad y afectando a los ecosistemas acuáticos.

Figura 3: Procesos de saltación de las partículas de arena.



Fuente: (Alfredo, 2010)

2.1.2.3. Sedimentación.

“Cada vez que la velocidad de los ríos disminuye, lo hace junto con su habilidad para transportar materiales; esto deriva en la deposición de las partículas de los sedimentos (las de mayor tamaño primero) y proporciona un mecanismo por medio del cual se separan los clastos de diversos tamaños. Este proceso, denominado selección, explica por qué los granos de tamaño similar se depositan juntos. El término general utilizado para definir los sedimentos depositados por una corriente fluvial es aluvión” (Tarbuck & Lutgens, 2013, pág. 505).

3.3.Material Pétreo.

2.1.3. Definición.

El pétreo es un material que se extrae de la naturaleza que puede ser de un macizo rocoso o sustancia granular, producto de la erosión, transporte y sedimentación de las rocas y se utilizan principalmente en el ámbito de la construcción, sin un mayor proceso o tratamiento que se pueden llevar a cabo como lavado, trituración, clasificación o simplemente ser utilizado en forma directa. (Direccion General de desarrollo minero, Agosto 2015).

2.1.4. Propiedades de los materiales pétreos.

Las propiedades físicas son muy importantes como indicadores de la calidad de las rocas, para medir los cambios causados por los procesos de deterioro y para evaluar su durabilidad. (Maná Esbert, Ordaz, & Alonso, 2007)

La mayoría de las veces, las características mencionadas se agrupan en los siguientes epígrafes:

a.- Propiedades que caracterizan el aspecto y la constitución física de las rocas (propiedades físicas elementales:

- Color.
- Densidad.
- Porosidad.
- Distribución porométrica.

b.- Propiedades que caracterizan el comportamiento de las rocas frente al agua, relacionadas fundamentalmente con los procesos de captación, perdida y circulación de agua por su

interior.

Se agrupan bajo la denominación de propiedades hídricas, y entre ellas se incluyen:

- Absorción y desorción de agua.
- Absorción de vapor de agua: Higroscopidad.
- Succión capilar.
- Permeabilidad al vapor de agua.
- Expansión hídrica.

Dos propiedades que caracterizan el comportamiento de la deformación de las rocas, cuando se ven sometidas a diferentes tipos de tensiones: mecánicas, térmicas, dinámicas. Entre ellas se incluyen:

- Propiedades mecánicas
- Dureza.
- Resistencia a la abrasión.
- Resistencia al choque.
- Resistencia: compresión, tracción y flexión.
- Propiedades térmicas
- Calor específico.
- Conductividad térmica.
- Expansión térmica.
- Propiedades dinámicas
- Velocidad de propagación de ondas.

3.4. Ensayos de laboratorio.

2.1.5. Humedad natural.

La determinación del contenido de humedad es un procedimiento estándar en ensayos de laboratorio geotécnico, cuyo objetivo es cuantificar la cantidad de agua presente en una muestra de suelo en relación con su peso seco. Esta propiedad es fundamental para la caracterización del comportamiento mecánico e hidráulico de los suelos. (*Bowles, 1981, p. 11*)

El contenido de humedad, también denominado **relación de humedad** o **contenido de agua**, se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \text{ por ciento} \quad (1)$$

donde :

Ww peso de agua presente en la masa de suelos

Ws es el peso de los sólidos en los suelos.

El procedimiento experimental está regulado por la norma ASTM D2216 – "Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass", la cual establece las condiciones específicas para la obtención de resultados confiables y reproducibles.

Durante el ensayo, una muestra representativa del suelo se pesa inicialmente en su estado natural (húmedo) y posteriormente se somete a secado en un horno a una temperatura controlada (normalmente 105–110 °C) hasta alcanzar masa constante. La pérdida de masa registrada corresponde al agua evaporada, permitiendo así calcular el contenido de humedad en función de la masa seca.

2.1.6. Distribución granulométrica.

Este ensayo se realiza para conocer la proporción de cada material que tiene un suelo, utilizando la vía seca para partículas de tamaños superiores a 0,075 mm, y granulometría por sedimentación mediante vía húmeda para tamaños iguales o inferiores a 0,075 mm.

La muestra de suelo se la hace pasar por un conjunto de tamices (cuyos tamaños disminuyen en progresión geométrica), que se agitan manual o mecánicamente para agilizar el proceso. El resultado final de este ensayo es la curva de distribución granulométrica del suelo estudiado (González de Vallejo, 2002, p. 22). El procedimiento para la realización de esta prueba se especifica en la norma ASTM D-422: Método de prueba estándar para el análisis del tamaño de partículas de los suelos.

2.1.7. Proctor modificado.

Este ensayo se basa en la compactación de los suelos, la misma que consiste en la densificación del suelo por remoción de aire, lo que requiere energía mecánica. El grado de compactación es medido en términos de su peso específico seco y agregando agua durante la compactación; esta actúa como un agente ablandador de las partículas del suelo que hace que se deslicen entre sí y se muevan hacia una posición de empaque más denso. El peso específico seco se incrementa después de la compactación conforme aumenta el contenido de agua añadida (Braja, 2001, p. 51).

Este procedimiento es semejante al Proctor normal, pero se emplea una energía de compactación más alta y sólo se ensaya el material de granulometría inferior a 20 mm (González de Vallejo, 2002, p. 583); los pasos para la realización de este ensayo se especifican en la norma ASTM D-1557: Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada ($56000 \text{ pie}^3/\text{lb}$ [2700 kN-m/m^3]).

2.1.8. Ensayo de la relación de soporte de california (CBR).

Según Bowles (1981, p. 189) este procedimiento se desarrolló como una forma de clasificación de la capacidad de un suelo para ser utilizado como subrasante o material de base en construcción de carreteras. El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas y permite obtener un número de la relación de soporte (el cual no es constante para un suelo dado) que se obtiene como la relación de la carga unitaria necesaria para lograr una cierta profundidad de penetración del pistón de penetración dentro de la muestra compactada de suelo a un contenido de humedad y densidad dadas.

El método estandarizado para la realización de este ensayo se especifica en la norma ASTM D-1883: Método de prueba estándar para la CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en laboratorio.

2.1.9. Ensayo de desgaste de los Ángeles.

“La resistencia al desgaste se determina por medio de la máquina de los ángeles introduciendo de 5 a 10 kg de muestra de roca, con granulometría especificada, en un tambor giratorio junto con unas esferas de acero. La muestra se somete de 500 a 1000 vueltas de la máquina a una velocidad de 33 r.p.m. y luego se retira el material del tambor para separar los finos producidos por el desgaste y la rotura del material. El resultado es la diferencia entre la masa original de la muestra y la correspondiente al final del procedimiento, expresado en porcentaje de la masa original” (González de Vallejo, 2002, p. 584). El método estándar para la ejecución de este ensayo se indica en la norma ASTM C-131: Método de prueba estándar para la resistencia a la degradación

de los áridos gruesos de tamaño pequeño por el método de abrasión e impacto en la Máquina de Los Ángeles.

2.1.10. Contenido de materia orgánica.

“La materia orgánica (procedente de la descomposición de materia vegetal o animal) se considera una sustancia que puede perjudicar notablemente a la resistencia del hormigón, impidiendo parcial o totalmente el fraguado del cemento” (Sánchez de Guzmán, 2001, p. 101). El procedimiento para la realización del ensayo de contenido de materia orgánica se especifica en la norma ASTM C-40: Método de ensayo normalizado para la detección de impurezas orgánicas en agregados finos para concreto.

2.1.11. Resistencia al sulfato de sodio.

“Se realiza este ensayo para estimar, por medio de soluciones saturadas con sulfato de sodio, el desempeño de los áridos a la acción de la intemperie; especialmente los áridos que se utilizan para la fabricación del hormigón; se logra esta estimación mediante repetidas inmersiones del material en las soluciones saturadas, seguidas por secado al horno para deshidratar parcial o totalmente la sal precipitada en los espacios porosos permeables. La fuerza expansiva interna, derivada de la rehidratación de la sal en la inmersión, simula la expansión del agua al congelarse en el interior de los poros del árido” (INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN, 2011).

El método estandarizado para la realización de este ensayo se especifica en la norma ASTM C-88: Método de ensayo estándar para sanidad de los agregados mediante el uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio.

2.1.12. Diseño de hormigón

El hormigón, también conocido como concreto, es una mezcla compuesta por cemento, agregados, agua, aire atrapado de forma natural o intencionada, y aditivos. Su componente principal es el cemento Portland, el cual constituye entre el 7 % y el 15 % del volumen total de la mezcla y otorga propiedades de adherencia y cohesión que aseguran una alta resistencia a la compresión. Los agregados, que pueden ser naturales o artificiales, se clasifican en fracciones finas (arenas) y gruesas (gravas) por conveniencia, y representan entre el 59 % y el 76 % del volumen de la mezcla. El agua, por su parte, ocupa entre el 14 % y el 18 % del volumen total y es crucial para la hidratación del cemento Portland mediante complejas reacciones químicas. El aire atrapado de forma natural puede variar entre el 1 % y el 3 %, mientras que el aire añadido intencionalmente oscila entre el 1 % y el 7 % del volumen total de la mezcla. Finalmente, se incorporan aditivos con el objetivo de mejorar diversas propiedades del hormigón, como la aceleración o retardación del fraguado, la mejora de la trabajabilidad, la reducción de los requisitos de agua, el incremento de la resistencia, o la alteración de otras características específicas del material (Sánchez de Guzmán, 2001, p. 221).

Según Sánchez de Guzmán (2001, p. 221), "el diseño de mezclas de hormigón consiste en la selección de los ingredientes disponibles (cemento, agregados, agua, aditivos) y en la determinación de sus proporciones relativas, con el fin de producir hormigón que cumpla con los requisitos de manejabilidad y, al endurecerse a la velocidad adecuada, adquiera las propiedades de resistencia, durabilidad, peso unitario, estabilidad dimensional y apariencia necesarias, todo ello de manera económica eficiente.

CAPÍTULO 3

3. EXPERIMENTACIÓN

En el presente trabajo, la metodología de investigación se centra en el muestreo, ensayos de laboratorio, la caracterización y el análisis del material pétreo, así como en la evaluación de su potencial para aplicaciones específicas, incluyendo su uso en proyectos constructivos. Esta investigación tiene como objetivo principal determinar los componentes minerales de los materiales pétreos recolectados, así como evaluar su comportamiento.

El proceso de muestreo implica la recolección sistemática de muestras representativas en las áreas de estudio seleccionadas. Estas muestras son sometidas a un análisis detallado que incluye propiedades físicas, composición de agregados (gruesos y finos) y su ubicación geográfica. Para garantizar la precisión de los resultados, se utilizan técnicas avanzadas como ensayos de refracción y difracción de rayos X y pruebas de laboratorio standarizadas. Estas pruebas permiten verificar el cumplimiento de normas internacionales, como las ASTM, y nacionales, como las INEC.

3.1. Geología Local.

Para definir el área de estudio, se toma en consideración como punto centro el puente del Río Upano; desde este punto mencionado se estima 500 m. tanto aguas arriba como aguas abajo estableciendo una longitud total de 1 Km.

Tabla 1 : Levantamiento geológico afloramiento Mirador

Afloramiento Mirador
Coordenadas: 9°745.138N; 829.994E; altura 959 m.
Afloramiento Esquema

Descripción: <p>Estrato 1 (E 1): Coluviales. Constituido por clastos sub redondeados (de color gris a negro) aproximadamente hasta 15 cm, encastrados en una matriz fina limo-arenosa (de color crema). Los clastos en el estrato conforman un 10%; mientras que la matriz en un 90%. Litológicamente los clastos corresponden a lavas andesíticas, las cuales muestran una meteorización moderada; El estrato de coluvial alcanza una potencia de 2 m.</p> <p>Estrato2 (E 2): Aluvial.. Constituido por clastos sub redondeados a redondeados generalmente no mayores a 60 cm (color oscuro); litológicamente los clastos son lavas andesíticas y se observan casualmente en bloques de hasta 1 m. incrustados en una matriz fina arenosa con presencia de limo; por lo general el matiz tiene color gris; Los clastos en el estrato conforman un 60%; mientras que la matriz fina en un 40 %; el estrato aluvial alcanza una potencia de 3 m.</p> <p>Estrato 3 (E 3): Volcano clástico. Corresponde a un estrato compuesto por clastos angulosos andesíticos de tamaños promedios de 40 cm soportados por una matriz arcillo-arenosa de color gris y rojizo. El estrato <u>Volcano clástico alcanza</u> una potencia de 5 m .</p> <p>Estrato 4 (E 4): Lahar. Corresponde a flujos de lahares con bloques sub angulosos de litología andesítica, soportados en una matriz compactada fina arenolimosa. El tamaño de los clastos varía entre 1 y 10 cm y una potencia de estrato de 6 m.</p>

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2:Levantamiento geológico Afloramiento río Upano 1

Afloramiento río Upano 1
Coordenadas: 9°745.840N; 822.183 E; altura 947 m.
Afloramiento Esquema

Descripción:
Estrato 1 (E 1): Coluviales. Constituido por clastos sub redondeados (de tonalidad crema a pardo) aproximadamente hasta 15 cm, encastrados en una matriz fina limo-arenosa (de color crema). Los clastos en el estrato conforman un 10%; mientras que la matriz en un 90%. Litológicamente los clastos corresponden a lavas andesíticas, las cuales muestran una meteorización moderada; El estrato de coluvial tiene una potencia de 15 m.
Estrato 2 (E 2): Volcano clástico Corresponde a un estrato compuesto por clastos angulosos andesíticos de tamaños promedios de 40 cm soportados por una matriz arcillo-arenosa de color gris y rojizo. El estrato <u>Vulcano clástico</u> alcanza una potencia de 10 m.
Estrato 3 (E 3): Lahar Corresponde a flujos de lahares con bloques sub angulosos de litología andesítica, soportados en una matriz compactada fina arenolimosa. El tamaño de los clastos varía entre 1 y 10 cm y una potencia de estrato de 6 m.

Fuente: Elaboración propia

Tabla 3: Levantamiento geológico afloramiento río Upano 2

Afloramiento río Upano 2
Coordenadas: 9°17'44.931 N; 822.057E; altura 936 m.
Afloramiento Esquema

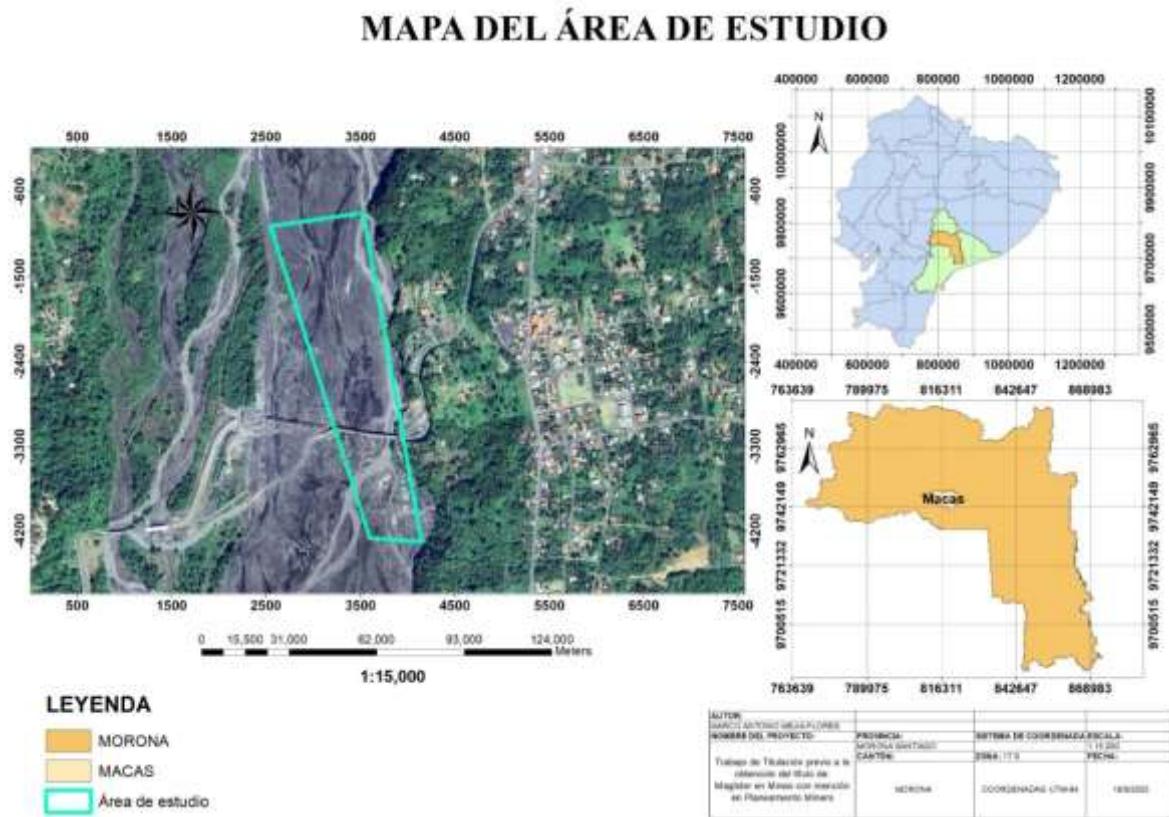

<p>Estrato 1 (E 1): Coluviales. Constituido por clastos sub redondeados (de color gris a negro) aproximadamente hasta 15 cm, encastrados en una matriz fina limo-arenosa (de color crema). Los clastos en el estrato conforman un 10%; mientras que la matriz en un 90%. Litológicamente los clastos corresponden a lavas andesíticas, las cuales muestran una meteorización moderada; El estrato de coluvial alcanza una potencia de 2 m.</p> <p>Estrato 2 (E 2): Volcano clástico. Corresponde a un estrato compuesto por clastos angulosos andesíticos de tamaños promedios de 40 cm soportados por una matriz arcillo-arenosa de color gris y rojizo. El estrato Volcano clástico alcanza una potencia de 5 m.</p>

Fuente: Elaboración propia

3.2. Determinación del Sistema de muestreo.

El río Upano es de tipo **meandriforme**, variando su capacidad erosiva y sedimentaria en toda la amplitud de su lecho, debido a la velocidad alterable de sus aguas, que se manifiestan en forma distinta en ambas orillas de cada meandro. A causa del incremento de la actividad del Volcán Sangay desde el 2019, se tiene una mayor cantidad de sedimento de origen volcánico; por consiguiente de un comportamiento aproximado a un río **anastomosado** pasa a definirse completamente sus características propias a un río **meandriforme**; afectando directamente la infraestructura física de un tramo de la vía Morona – Puyo, la misma que se encuentra al margen derecho del río asentada en parte de su zona de inundación: Taxativamente en los incrementos de pluviosidad en la zona alta de la cuenca del Upano, provoca que el río inunde todo el ancho de su lecho, dejando material de arrastre y modificando la superficie de sus márgenes de manera constante. Por lo expresado anteriormente para los fines de nuestra investigación no se puede mantener una malla de muestreo, de tal manera se define puntos de investigación en forma aleatoria sobre todo en bancos de arena y puntos de extracción. Manteniendo el principio que la muestra debe ser “representativa”, es decir, que muestre la verdadera naturaleza y condición (uniformidad y variabilidad) de todo el material existente.

Figura 4: Delimitación del área de estudio



Fuente: Elaboración propia.

Precauciones para la extracción de muestras: Para realizar el muestreo de forma segura en el lecho de Rio Upano se debe tomar en cuenta las siguientes recomendaciones.:

Equipo de protección personal (EPP): Utilizar botas de caucho, guantes resistentes, chalecos reflectantes y cascos, especialmente al trabajar en taludes o en áreas inestables con riesgo de caída de rocas u otros materiales.

Conocimiento del entorno: Es indispensable estar bien informado sobre las características morfológicas del área, incluyendo la distribución de los materiales depositados por el arrastre del río. Es crucial diferenciar entre zonas con sedimentos compactos y aquellas formadas por

arenales de baja estabilidad. Además, resulta fundamental conocer los niveles de agua, la inámica de las corrientes y los posibles riesgos, como incrementos repentinos en el caudal.

Acompañamiento: Realizar la labor en conjunto con otras personas, preferentemente con personal que conozca bien la zona, idealmente locales. Nunca llevar a cabo esta tarea de manera individual, especialmente en áreas de alto riesgo.

Instrumentos apropiados: Para el trabajo de muestro es fundamental evitar improvisar herramientas ya que cada equipo tiene su función; por tal razón es mejor contar con herramientas adecuadas como en nuestro caso una barreta, palas de diferentes capacidades; muestreadores manuales, cedazos para limpieza o clasificación preliminar realizada en campo

Limpieza del equipo: Es necesario mantener una disciplina de limpieza del equipo empleado en el muestreo, tanto previo como posterior a su uso en la actividad; a fin de prevenir contaminación entre las muestras.

3.2.1. Toma de muestras:

La recolección de muestras de agregados deberá realizarse directamente en el sitio de acopio o extracción, conforme a los procedimientos establecidos en la norma NTE INEN 695 o según lo estipulado por los métodos específicos de ensayo aplicables. En los casos en que únicamente se requiera la ejecución del análisis granulométrico, el volumen de muestra especificado en la NTE INEN 695 suele ser técnicamente adecuado para garantizar resultados representativos y estadísticamente válidos.

Cuando se van a realizar ensayos adicionales, el usuario debe asegurarse de que el tamaño inicial de la muestra in situ, es adecuado para llevar a cabo todos los ensayos previstos. Utilizar procedimientos similares para el árido producido en el laboratorio. (INEN, 2010)

De acuerdo con la norma NTE INEN 695:2010, específicamente en el apéndice W, literal W 2.2, el muestreo de áridos en un almacenamiento debe llevarse a cabo considerando tres secciones representativas del stock. Dichas secciones deben corresponder al tercio superior, al punto medio y al tercio inferior del depósito. Para realizar el muestreo, se deberá retirar la capa exterior del material y a continuación, extraer la muestra de la capa subyacente. Además, es imperativo que se seleccionen al azar un mínimo de tres muestras para depósitos de arena y grava, conforme lo estipula la norma NTE INEN 600 y 52010, en el apéndice X, literal X 32. (INEN, 2010)

En relación con los depósitos, la norma no especifica un proceso unificado; sin embargo, se recomienda seleccionar muestras de cada estrato diferenciado dentro del depósito, lo que permitirá estimar la proporción de los distintos materiales presentes. En depósitos de tipo banco abierto o en pozos, se debe realizar una excavación vertical desde la base hacia la parte superior, a fin de representar adecuadamente los materiales destinados a su uso. Es relevante excluir el material superficial o degradado de las muestras y llevar a cabo excavaciones y perforaciones en varios puntos del depósito.

El número y la profundidad de las perforaciones dependerán de diversos factores, tales como el caudal del material requerido, la topografía, la naturaleza del depósito, las características del material y su valor potencial. En caso de que existan variaciones sustanciales en las características del material, se deben seleccionar muestras de forma individualizada de cada estrato bien diferenciado. Finalmente, cada muestra debe ser cuidadosamente documentada y etiquetada, con el objetivo de obtener una cantidad mínima de 10 kg de arena o 15 kg de material grueso, dependiendo de la composición del depósito. (INEN, 2010).

3.2.2.1. Materiales y Equipos.

Tabla 4: Equipo y materiales para realizar el muestreo.

Materiales y herramientas utilizados en el muestreo en campo			
	1	Tenaza manual (Hoyadora)	Herramienta manual en forma de tenaza, con hojas de acero templado y mango de madera, diseñada para extraer muestras de suelo a profundidades entre 30 y 60 cm con eficiencia y precisión.
	1	Pala	Herramienta manual de uso frecuente, con cabeza de acero al carbono y mango de madera con puño metálico en "Y", ideal para extraer muestras, limpiar áreas, abrir trincheras y verter suelo en fundas correspondientes
	1	GPS de mano	Posicionamiento de los puntos de muestreo.

	100	Fundas grandes transparentes Flex up zipper	Almacenamiento de muestras sin aire para ser llevadas al laboratorio.
	1	Rotulador	Identificación de muestras mediante códigos

Fuente: Elaboración propia.

3.2.1.2. Reducción por cuarteo:

La cantidad de material extraído para muestreo debe ser unas cuatro veces la cantidad de muestra requerida por el laboratorio (10 Kg de muestra de campo).

Para los ensayos esta muestra debe ser reducida aún más mediante el procedimiento de cuarteo que puede ser mecánico o manual.

El procedimiento empleado es el manual; realizándose de la siguiente manera:

El material se revuelve y luego se amontona formando un cono.

Mediante pala el material se aplasta formando un círculo.

Se trazan dos ejes perpendiculares separando el material en cuatro cuadrantes.

Se eliminan dos cuadrantes opuestos.

Con los cuadrantes que quedan se prosiguen las reducciones hasta obtener el tamaño de muestra requerido según el ensayo (de 1 a 2 Kg.).

En las arenas resulta fácil el proceso si se humedece.

3.2.1.3. Tamaño de las muestras para laboratorio:

Se va a trabajar con un solo tipo de muestra de 10 kg ya que para nuestros fines de investigación es el saber la caracterización física mecánica y química del material pétreo no se está abarcando el comportamiento en hormigón armado por tanto son ensayos corrientes. Importante es el empaquetado de las muestras evitando contaminaciones e identificando bien las muestras: procedencia, ubicación, proyecto, etc.

3.2.1.4. Muestreo

El área total de estudio comprende aproximadamente 60 hectáreas. Sin embargo, debido a la constante variabilidad del lecho del río Upano y a los procesos naturales de erosión y deposición que afectan la reposición de material en la playa fluvial o zona de inundación, el área efectiva para el muestreo se reduce a 40 hectáreas.

El muestreo de materiales pétreos se realizó considerando los siguientes criterios: ubicación geográfica del punto de muestreo (aguas arriba, medias y abajo del cauce), profundidad del muestreo, volumen de muestra recolectada, y frecuencia según la época del año (seca y lluviosa).

3.3. Determinación del contenido de humedad.

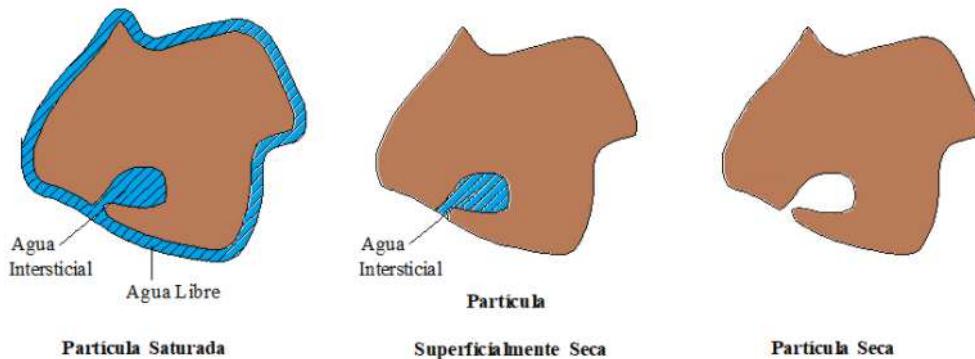
Se pretende determinar el contenido de agua que tiene un material y que está presente en las formas que se indican:

- agua gravitacional
- agua capilar
- agua de constitución o pelicular.

El agua de la muestra puede ser eliminada si se seca hasta 110°C. A un árido es posible encontrarlo bajo cuatro condiciones o estados de humedad;

- Húmedo con agua libre.
- Húmedo sin humedad libre o saturado superficialmente seco (sss).
- Parcialmente seco o semi-saturado.
- Finalmente, seco.

Figura 5 : Estados de contenido de humedad de material pétreo.



Fuente: Elaboración propia.

Procedimiento.

Se debe tomar una muestra de acuerdo al tamaño máximo de la muestra según la tabla 6:

Tabla 5:Parámetros de la muestra para la determinación de humedad.

Tamaño máximo (mm)	Cantidad a emplear (g)
50	3000
25	1000
12,5	750
5	500
2	100
0,5	10

Fuente: Elaboración propia.

1.- Determinar y registrar la masa del recipiente (Mr)

2.- Colocar la muestra en el recipiente y pesar (Mh)

3.- Secar en horno por 24 hr a 110 +/- 5 C°

4.- Determinar la masa de la muestra seca (Ms)

5.- Determinar la humedad con:

Fórmula a aplicar sin considerar recipiente:

$$w = \left(\frac{mh - ms}{ms} \right) * 100\% \quad (1)$$

Fórmula a aplicar cuando se considera recipiente: en que:

$$w = \frac{mh - ms}{ms - mr} * 100\% \quad (2)$$

mh = masa húmeda.

ms = masa seca.

mr = masa recipiente.

Tabla 6: Determinación del contenido de humedad w.

Muestras	mh masa húmeda.	ms masa seca.	mr masa recipiente.	Determinación del contenido de humedad w
mup 1	1000	954	45	5,06
mup 2	1000	957	44	4,71
mup 3	1000	960	45	4,37
mup 4	1000	963	44	4,03
mup 5	1000	966	45	3,69
mup 6	1000	969	45	3,35
mup 7	1000	955	44	4,94
mup 8	1000	956	44	4,82
mup 9	1000	957	45	4,71
mup 10	1000	958	45	4,6
mup 11	1000	959	45	4,49
mup 12	1000	963	44	4,03
mup 13	1000	954	45	5,06

mup 14	1000	960	45	4,37
mup 15	1000	955	45	4,95
mup 16	1000	952	45	5,29
mup 17	1000	954	45	5,06
mup 18	1000	957	45	4,71
mup 19	1000	952	45	5,29
mup 20	1000	954	44	5,05
mup 21	1000	954	44	5,05
mup 22	1000	954	45	5,06
mup 23	1000	955	45	4,95
mup 24	1000	955	44	4,94
mup 25	1000	956	45	4,83
mup 26	1000	964	45	3,92
mup 27	1000	959	45	4,48
mup 28	1000	954	45	5,06
mup 29	1000	952	45	5,29
mup 30	1000	957	45	4,71
mup 31	1000	963	46	4,03
mup 32	1000	958	44	4,6
mup 33	1000	960	44	4,37
mup 34	1000	959	45	4,49
mup 35	1000	957	44	4,71
mup 36	1000	955	44	4,94
mup 37	1000	962	45	4,14
mup 38	1000	956	45	4,83
mup 39	1000	959	45	4,48
mup 40	1000	963	45	4,03
mup 41	1000	954	44	5,05
mup 42	1000	954	44	5,05
mup 43	1000	960	45	4,37
mup 44	1000	955	45	4,95
mup 45	1000	952	44	5,29

Fuente: Elaboración propia.

3.4. Densidad.

Para la determinación de la densidad, se extrae una muestra representativa del saco y se realiza un cuarteo para obtener una porción adecuada para el análisis. Posteriormente, la muestra

se vierte sobre el tamiz INEN 4.75 mm para llevar a cabo el proceso de tamizado. El material retenido en dicho tamiz debe ser descartado, conservándose únicamente la fracción que lo atraviesa, la cual será utilizada en el análisis de densidad.

La muestra debe ser lavada para eliminar polvo y otros recubrimientos, posterior secar a una temperatura de $105^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$.

Luego de enfriarse a temperatura ambiente entre un periodo de una a 3 horas, sumergirla en agua por un periodo de 24 horas a temperatura ambiente.

La muestra debe ser retirada y enrollada con un paño absorbente para retirar todo el exceso de agua, se evita la evaporación y con ello se registra la masa del árido en estado saturado superficialmente seco, con una aproximación de 0.5g.

A partir de la muestra ya procesada y estado saturado superficialmente seco se sumerge en agua a una temperatura de $23 \pm 1.7^{\circ}\text{C}$, esto nos dará el agregado en estado saturado; figura N° 6Agregado saturado de agua.

Figura 6:Agregado saturado de agua.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, la muestra se seca a una temperatura de $105^\circ \pm 5^\circ\text{C}$, y luego se enfriá a temperatura ambiente por 3 horas, y se registra su masa.

Gruesos:

- **Densidad de volumen del árido grueso** en estado seco, se usa la siguiente ecuación:

$$\rho_s = \frac{A}{B-C} \quad (4)$$

Donde:

ρ_s =Densidad de volumen a $23^\circ/23^\circ\text{C}$ del árido grueso seco.

A=masa de la muestra que ha sido secada en el horno.

B= masa del árido en estado saturado superficialmente seco.

C=masa de la muestra de árido en estado saturado en agua.

- **Densidad de volumen** a partir de la masa del árido grueso en estado saturado superficialmente seco, a $23^\circ/23^\circ\text{C}$, se utiliza la siguiente ecuación:

$$\rho_{sss} = \frac{B}{B-C} \quad (5)$$

Donde:

ρ_{sss} = densidad de volumen a $23^\circ/23^\circ\text{C}$ donde la masa del árido grueso se encuentra en estado saturado superficialmente seco.

- **Densidad aparente** del árido grueso a $23^\circ/23^\circ\text{C}$ y según definición, se usa la siguiente ecuación.

$$\rho_{sss} = \frac{A}{A-C} \quad (6)$$

Donde:

ρ_a = densidad aparente a 23°/23°C del árido grueso.

- **Porcentaje de absorción** de agua del árido grueso, se usa la siguiente ecuación:

$$\rho_o = \frac{(B-A)*100}{A} \quad (7)$$

Donde:

ρ_o = porcentaje de absorción de agua del árido grueso.

Finos:

A partir de la muestra la muestra se seca, se sumerge en agua por 24±4 h, se toma una muestra de árido hasta lograr una masa constante, con el fin de saturar sus poros con agua. Luego de retirar la muestra del agua, con un paño se retira el exceso superficial del agua, inmediatamente se registra su masa. Usando el método volumétrico, una parte de la muestra se *coloca en un recipiente* graduado se registra su masa y posterior se determina su volumen, Figura

7

Finalmente, se seca la muestra en el horno y se vuelve a pesar. Utilizando las fórmulas específicas de este método de ensayo, con los resultados de masa obtenidos, se puede calcular, la densidad, gravedad específica y la absorción. (ASTM 2010).

Figura 7: Método gravimétrico, densidad..



Fuente: Elaboración propia.

- **Densidad relativa-gravedad específica (SH):**

$$SH = \frac{A}{B+S-C} \quad (8)$$

- **Densidad relativa-gravedad específica (SSS):**

$$SSS = \frac{S}{B+S-C} \quad (9)$$

- **Densidad relativa aparente-gravedad específica aparente.**

$$SSS=A/(B+A-C) \quad (10)$$

- **Densidad (SH):**

$$SSS=(997,5 A)/(B+S-C) \quad (11)$$

- **Densidad (SSS), Densidad (SH), kg/m³:**

$$SSS=(997,5 S)/(B+S-C) \quad (12)$$

- **Densidad aparente (SSS), kg/m³:**

$$SSS = (997,5 \text{ A}) / (B + A - C) \quad (13)$$

- **Absorción.**

$$\% = (S - A) / (A * 100) \quad (14)$$

3.5. Determinación colorimétrica de la presencia de impurezas orgánicas en las arenas para hormigones: NCh 166

Con la aplicación de este ensayo se determina el contenido de materia orgánica de una muestra intacta, por lo que se recolectará el material arrastrado y sedimentado en varios puntos de muestreo.

Los reactivos a utilizarse son: Solución de hidróxido de sodio, NaOH (soda cáustica) al 3% y una solución de ácido tánico al 2%.

Preparación de la solución:

- La solución de NaOH al 3% se prepara disolviendo 30 gr. de soda cáustica en 970 cm³ de agua destilada.
- La solución de ácido tánico al 2 % se prepara disolviendo 2g de ácido tánico en 10 cm³ de alcohol de 95° y 90 cm³ de agua destilada.

La solución patrón de ácido tánico de 500 partes por millón se prepara agregando 2,5 cm³ de solución de ácido tánico al 2 % a 97,5 cm³ de la solución de soda cáustica al 3%. Se agita y se deja reposar por 24 hrs.

- **Procedimiento:**

Se coloca en una probeta 150 a 200 g de la muestra a analizar junto con 100 cm³ de la solución de soda cáustica al 3%. Se agita y se deja decantar por 24 hr. Al cabo de ese tiempo se comparan los colores de la solución con el material con la muestra patrón con ácido tánico. Si el

color es más oscuro que el patrón quiere decir que hay presencia de materia orgánica.

Tabla 7: Parámetros de la muestra para la determinación de humedad.

Color solución	Contenido estimado materia orgánica
Transparente	No tiene
Cetrino	Indicios
Amarillo	Regular
Te simple	Abundante
Te cargado	Muy abundante

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 8: Contenido estimado materia orgánica

Muestras	Color de la solución	Contenido estimado materia orgánica
mup 1	Transparente	No tiene
mup 2	Transparente	No tiene
mup 3	Transparente	No tiene
mup 4	Cetrino	Indicios
mup 5	Cetrino	Indicios
mup 6	Transparente	No tiene
mup 7	Transparente	No tiene
mup 8	Transparente	No tiene
mup 9	Amarillo	Regular
mup 10	Transparente	No tiene
mup 11	Transparente	No tiene
mup 12	Transparente	No tiene
mup 13	Transparente	No tiene
mup 14	Transparente	No tiene
mup 15	Cetrino	Indicios
mup 16	Transparente	No tiene
mup 17	Transparente	No tiene
mup 18	Transparente	No tiene
mup 19	Transparente	Indicios
mup 20	Cetrino	Indicios
mup 21	Transparente	No tiene
mup 22	Transparente	No tiene
mup 23	Transparente	No tiene
mup 24	Transparente	No tiene
mup 25	Transparente	No tiene
mup 26	Transparente	No tiene
mup 27	Cetrino	Indicios
mup 28	Transparente	No tiene

mup 29	Transparente	No tiene
mup 30	Transparente	No tiene
mup 31	Cetrino	Indicios
mup 32	Transparente	No tiene
mup 33	Transparente	No tiene
mup 34	Transparente	No tiene
mup 35	Transparente	No tiene
mup 36	Transparente	No tiene
mup 37	Transparente	No tiene
mup 38	Cetrino	Indicios
mup 39	Transparente	No tiene
mup 40	Transparente	No tiene
mup 41	Transparente	No tiene
mup 42	Transparente	No tiene
mup 43	Transparente	No tiene
mup 44	Amarillo	Regular
mup 45	Transparente	No tiene

Fuente: Elaboración propia.

3.6. Ensayo de abrasividad.

Para determinar el grado de desgaste que tienen los sedimentos de río, producto del arrastre del cauce del mismo, se realizó el ensayo de laboratorio utilizando la máquina de los ángeles. Para lo cual se siguieron los pasos especificados a continuación:

- Se estableció los puntos de muestreo y procedió a tomar muestras representativas de la zona.
- Se realizó la recolección de muestras en un saco hasta alcanzar un peso aproximado de 25 kg.
- Una vez recolectadas las muestras, estas fueron trasladadas al laboratorio, donde se separó 5kg. donde se procedió a lavarlas y efectuar un roleo a fin de obtener una muestra homogénea; como preparación preliminar para efectuar el ensayo.
- Los 5000 g de muestra se introducen al molino de ángeles, se adiciona un total de 12

bolas y se lo deja moler a una velocidad operacional de 33 rpm por un tiempo de 15 minutos.

- Extraemos la muestra producto de la molienda y se realiza la comparación entre la masa inicial y la masa final y se obtiene el porcentaje de desgaste del mismo.

Para la elaboración del ensayo se empleó los siguientes grosores.

Tabla 9: Parámetros de la muestra para la determinación de abrasividad

Tamiz (inch)	Tamiz mm	Material gr
1 ¹ / ₂		1.250
3/4		1.250
1/2		1.250
3/8		1.250
Total, de muestra		5.000

Fuente: Elaboración propia.

Para el presente ensayo se acudió al laboratorio del concejo provincial de Morona Santiago y se empleó su formato, donde considera: tipo de material, masa inicial, masa final, % de abrasividad.

Figura 8: Modelo de tabla del laboratorio para ensayo de abrasión.



ENSAYO DE ABRASIÓN		
INEN860 AASHTO T - 96		
TTM-		
Proyecto:	CPRU	Material:
Yacimiento:	THO-RU	Muestra:
Fecha:	4/5/2024	Profundidad:
Número de esferas	12	
Numero de revoluciones	33	
1. ENSAYO DE ABRASIÓN LOS ÁNGELES.		
MASA		
TPO	MASA IN.	FINAL
		%
		ABRASIÓN
	gr	gr
		%
Arrastre	5.000,00	1.750
		35

Específica.

Fuente: GAD provincial de Morona Santiago.

El resultado de este ensayo permitirá evaluar la calidad del material y su grado de desgaste. De esta forma, se determinará si satisface los criterios de la Norma NEVI, que exige un desgaste que no exceda al 40% de la masa inicial. Esta prueba es crucial para verificar si los materiales son adecuados para ser utilizados como base y sub - base en la ejecución de obras civiles, asegurando su durabilidad y resistencia bajo condiciones específicas.

Figura 9: Máquina de Los Ángeles y carga abrasiva compuesta por esferas de acero



Fuente: Elaboración propia.

3.7. Ensayo granulométrico.

Para recolectar las muestras destinadas al análisis de granulometría, se llevó a cabo el muestreo correspondiente a lo largo del área de estudio, ya sea de manera manual o con el uso de maquinaria, si esta se hallaba disponible en el lugar. Para este propósito, se utilizó una muestra de 1 m³ de material. Una vez obtenida la muestra, se la pesó y posteriormente se pasó por una criba. Por lo general el análisis de las muestras revelaron que, del total del material, el 70% correspondía a partículas con diámetros superiores a 15 cm, mientras que el 30% correspondía a partículas con diámetros inferiores a este tamaño. Este resultado nos permite una comprensión adecuada de la distribución granulométrica del obtenido en el campo. Por lo general se tiene un rango de peso del metro cúbico de la muestra, de 1.502 kg a 1.484 Kg; el 70% denominado material grueso equivale en peso a 1030 kg; y de material fino que corresponde al 30% es de 440 kg.

Al material fino (30%) se realizó una homogenización mediante roleo para extraer

2.5 kg de muestra bruta (representativa), para someterla al ensayo granulométrico en los tamices de 63 mm, 31.5 mm, 16 mm, 8 mm, < 4 mm, en los cuales se hizo pasar los 2.5 kg de muestra por los 4 tamices y se pesó el retenido en cada tamiz.

De esta manera pudimos realizar una clasificación total del metro cúbico analizado, basada en una clasificación práctica y recomendada por el laboratorio del consejo provincial, en donde clasifican al material en grueso y fino, en el que todo el material mayor a 64 mm es considerado como gravas, y el material menor a ese diámetro como arenas.

Figura 10: Recolección in situ de las muestras de material pétreo



Fuente: Elaboración propia.

Figura 11: Procedimiento de recolección en campo de muestras de material pétreo.



Fuente: Elaboración propia

Figura 12: Preparación del material y equipo para realizar el ensayo granulométrico.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 13: Realización del ensayo granulométrico.



Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el pesado de los pasantes de cada uno de los tamices utilizados se construye la curva granulométrica de la muestra analizada, utilizando una tabla modelo diseñada por el laboratorio del consejo provincial de Morona Santiago.

Tabla 10: Modelo de tabla del laboratorio para ensayo granulométrico con los datos obtenidos.

Mallas/Muestras	Peso retenido							Total
	N 3/8	N40	N50	N100	N 200	N- 200		
mup 1	480	560	610	570	150	100		2,47
mup 2	479	545	607	569	130	96		2,43
mup 3	478	532	607	570	140	63		2,39
mup 4	479	556	609	570	129	89		2,43
mup 5	481	540	611	562	142	82		2,42
mup 6	480	533	608	562	148	95		2,43
mup 7	480	534	611	564	139	83		2,41
mup 8	480	530	608	564	150	75		2,41
mup 9	479	539	611	568	140	65		2,40
mup 10	478	542	608	560	135	57		2,38
mup 11	479	547	610	559	141	56		2,39
mup 12	477	551	607	568	131	54		2,39

mup 13	477	540	607	560	132	105	2,42
mup 14	478	553	607	570	149	70	2,43
mup 15	478	555	608	561	143	75	2,42
mup 16	479	552	610	569	145	83	2,44
mup 17	479	547	607	562	140	54	2,39
mup 18	480	553	609	567	130	65	2,40
mup 19	478	533	607	559	149	57	2,38
mup 20	480	542	611	559	149	56	2,40
mup 21	480	532	611	564	134	95	2,42
mup 22	481	545	609	569	143	81	2,43
mup 23	479	560	611	562	146	78	2,44
mup 24	478	559	608	564	147	68	2,42
mup 25	479	547	609	562	134	59	2,39
mup 26	481	542	609	566	149	57	2,40
mup 27	481	541	609	569	143	55	2,40
mup 28	478	560	610	568	139	60	2,42
mup 29	480	549	609	563	148	65	2,41
mup 30	480	542	610	569	140	62	2,40
mup 31	481	531	611	567	146	67	2,40
mup 32	481	537	611	561	130	73	2,39
mup 33	477	535	610	563	141	56	2,38
mup 34	480	553	610	560	137	95	2,44
mup 35	480	536	608	562	147	81	2,41
mup 36	479	547	609	570	144	78	2,43
mup 37	478	544	611	564	139	68	2,40
mup 38	479	539	607	565	131	59	2,38
mup 39	477	548	611	564	141	80	2,42
mup 40	481	560	609	564	144	56	2,41
mup 41	480	544	607	562	144	95	2,43
mup 42	480	545	610	567	129	81	2,41
mup 43	477	550	607	569	148	78	2,43
mup 44	478	531	610	570	133	68	2,39
mup 45	479	533	608	569	129	59	2,38

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 11: Granulometría para muestras de ensayo de Abrasión

Tamaño del tamiz (Aberturas cuadradas)		Masa de los tamaños agregados (g)			
		Granulometría			
Pasa	Retenido	A	B	C	D
37,5 mm (1 1/2 '')	25,0 mm (1 '')	1.250 ± 25	...	...	...
25,0 mm (1 '')	19,0 mm (3/4'')	1.250 ± 25	...	...	...
19,0 mm (3/4'')	12,5 mm (1/2'')	1.250 ± 10	2.250 ± 10	...	...
12,5 mm (1/2'')	9,5 mm (3/8'')	1.250 ± 10	2.250 ± 10	...	
9,5 mm (3/8'')	6,3 mm (1/4'')	...	...	2.250 ± 10	
6,3 mm (1/4'')	4,75 mm (Nº4)	...	...	2.250 ± 10	
4,75 mm (Nº4)	2,36 mm (Nº 8)	...	...	...	5.000 ± 10
Total		5000 ± 10	5.0000 ± 10	5.000 ± 10	5.000 ± 10

Fuente: (ASTM 2001).

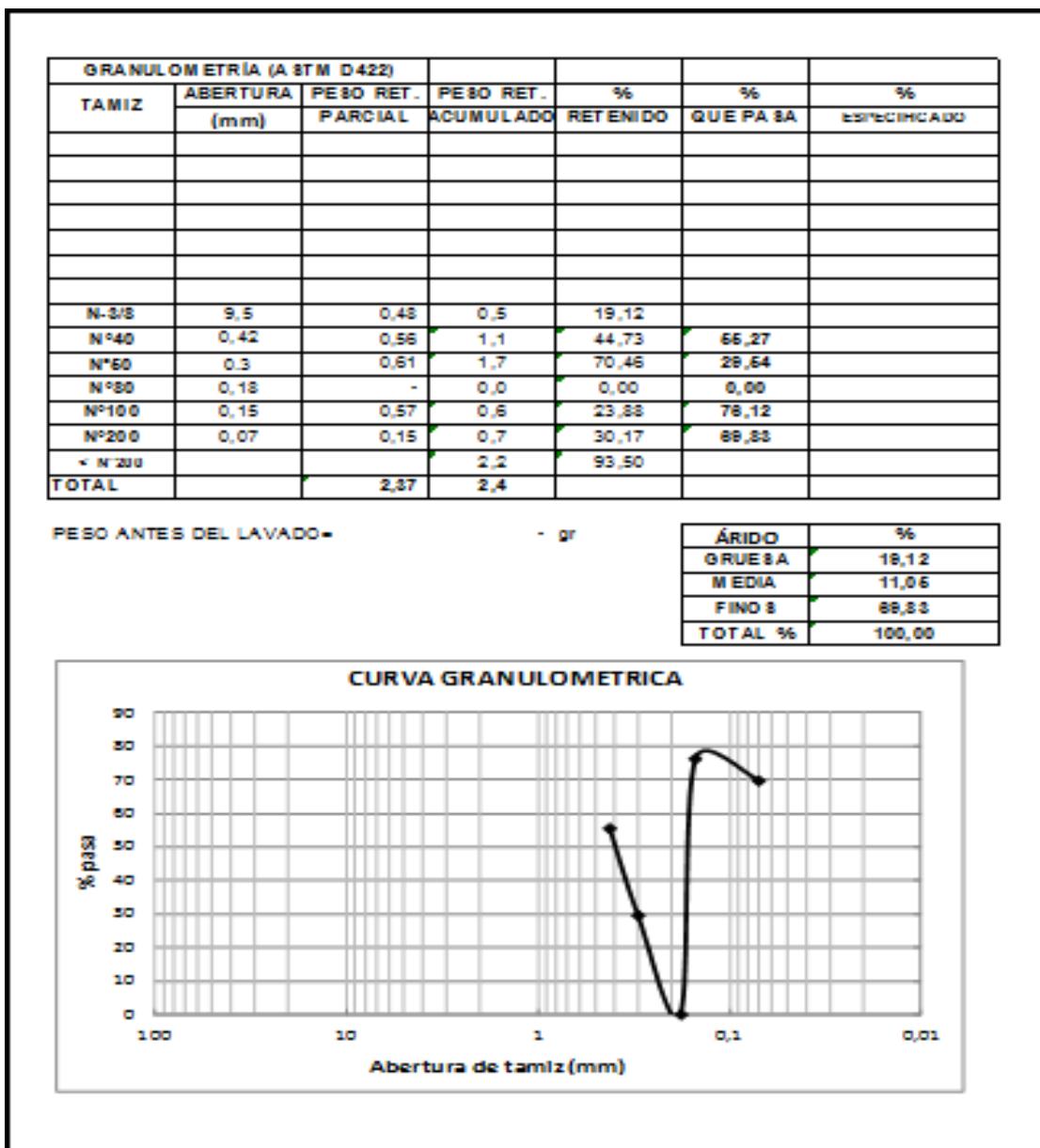
Tabla 12: Modelo de tabla del laboratorio para ensayo granulométrico con los datos obtenidos.

	Peso Retenido en g y %																	
Mallas/ Muestras	Nº1 26.5 mm	%	Nº2 12.2 mm	%	N 3/8 9.525 mm	%	N40 0.370 mm	%	N50 0.297 mm	%	N100 0.149 mm	%	N 200 0.074 mm	%	N-200 <0,074 mm	%	Total	Total % retenido
MUP 1	182	6,07	222	7,40	473	15,77	564	18,80	637	21,23	590	19,67	162	5,40	100	3,33	2930	97,67
MUP 2	181	6,03	222	7,40	480	16,00	543	18,10	637	21,23	597	19,90	157	5,23	96	3,20	2913	97,10
MUP 3	183	6,10	227	7,57	472	15,73	553	18,43	636	21,20	602	20,07	168	5,60	97	3,23	2938	97,93
MUP 4	179	5,97	218	7,27	475	15,83	541	18,03	635	21,17	597	19,90	154	5,13	99	3,30	2898	96,60
MUP 5	182	6,07	226	7,53	479	15,97	543	18,10	633	21,10	599	19,97	163	5,43	98	3,27	2923	97,43
MUP 6	180	6,00	222	7,40	470	15,67	547	18,23	637	21,23	596	19,87	165	5,50	95	3,17	2912	97,07
MUP 7	182	6,07	218	7,27	479	15,97	544	18,13	639	21,30	598	19,93	174	5,80	100	3,33	2934	97,80
MUP 8	182	6,07	224	7,47	480	16,00	545	18,17	635	21,17	595	19,83	158	5,27	96	3,20	2915	97,17
MUP 9	181	6,03	228	7,60	485	16,17	557	18,57	633	21,10	596	19,87	162	5,40	97	3,23	2939	97,97
MUP 10	182	6,07	227	7,57	488	16,27	549	18,30	632	21,07	594	19,80	159	5,30	99	3,30	2930	97,67
MUP 11	180	6,00	222	7,40	483	16,10	558	18,60	632	21,07	597	19,90	175	5,83	98	3,27	2945	98,17
MUP 12	182	6,07	218	7,27	487	16,23	548	18,27	639	21,30	597	19,90	156	5,20	95	3,17	2922	97,40
MUP 13	178	5,93	220	7,33	471	15,70	542	18,07	638	21,27	602	20,07	163	5,43	100	3,33	2914	97,13
MUP 14	179	5,97	228	7,60	467	15,57	565	18,83	640	21,33	599	19,97	170	5,67	96	3,20	2944	98,13
MUP 15	180	6,00	225	7,50	483	16,10	547	18,23	635	21,17	596	19,87	158	5,27	97	3,23	2921	97,37
MUP 16	183	6,10	219	7,30	482	16,07	541	18,03	631	21,03	597	19,90	170	5,67	99	3,30	2922	97,40
MUP 17	183	6,10	223	7,43	483	16,10	564	18,80	633	21,10	601	20,03	160	5,33	98	3,27	2945	98,17
MUP 18	181	6,03	227	7,57	488	16,27	556	18,53	632	21,07	597	19,90	167	5,57	95	3,17	2943	98,10
MUP 19	178	5,93	225	7,50	486	16,20	560	18,67	631	21,03	594	19,80	160	5,33	100	3,33	2934	97,80
MUP 20	180	6,00	224	7,47	488	16,27	554	18,47	638	21,27	597	19,90	167	5,57	96	3,20	2944	98,13
MUP 21	181	6,03	221	7,37	420	14,00	560	18,67	633	21,10	599	19,97	170	5,67	97	3,23	2881	96,03
MUP 22	181	6,03	224	7,47	475	15,83	553	18,43	631	21,03	599	19,97	172	5,73	99	3,30	2934	97,80
MUP 23	178	5,93	219	7,30	489	16,30	546	18,20	633	21,10	594	19,80	157	5,23	98	3,27	2914	97,13
MUP 24	181	6,03	220	7,33	486	16,20	548	18,27	631	21,03	594	19,80	177	5,90	95	3,17	2932	97,73

MUP 25	179	5,97	222	7,40	479	15,97	543	18,10	638	21,27	600	20,00	175	5,83	100	3,33	2936	97,87
MUP 26	181	6,03	224	7,47	488	16,27	556	18,53	635	21,17	599	19,97	157	5,23	96	3,20	2936	97,87
MUP 27	178	5,93	220	7,33	481	16,03	539	17,97	638	21,27	599	19,97	164	5,47	97	3,23	2916	97,20
MUP 28	179	5,97	221	7,37	490	16,33	537	17,90	631	21,03	601	20,03	156	5,20	99	3,30	2914	97,13
MUP 29	178	5,93	222	7,40	479	15,97	558	18,60	639	21,30	601	20,03	165	5,50	98	3,27	2940	98,00
MUP 30	183	6,10	226	7,53	476	15,87	551	18,37	632	21,07	596	19,87	170	5,67	95	3,17	2929	97,63
MUP 31	181	6,03	220	7,33	470	15,67	564	18,80	633	21,10	601	20,03	171	5,70	67	2,23	2907	96,90
MUP 32	181	6,03	220	7,33	468	15,60	565	18,83	638	21,27	601	20,03	166	5,53	73	2,43	2912	97,07
MUP 33	179	5,97	223	7,43	486	16,20	563	18,77	634	21,13	599	19,97	157	5,23	56	1,87	2897	96,57
MUP 34	179	5,97	227	7,57	450	15,00	545	18,17	632	21,07	599	19,97	173	5,77	95	3,17	2900	96,67
MUP 35	179	5,97	218	7,27	483	16,10	540	18,00	640	21,33	596	19,87	173	5,77	100	3,33	2929	97,63
MUP 36	182	6,07	227	7,57	475	15,83	557	18,57	631	21,03	602	20,07	165	5,50	96	3,20	2935	97,83
MUP 37	183	6,10	222	7,40	480	16,00	554	18,47	637	21,23	595	19,83	176	5,87	97	3,23	2944	98,13
MUP 38	178	5,93	228	7,60	479	15,97	550	18,33	632	21,07	600	20,00	177	5,90	99	3,30	2943	98,10
MUP 39	183	6,10	218	7,27	479	15,97	560	18,67	633	21,10	600	20,00	156	5,20	98	3,27	2927	97,57
MUP 40	181	6,03	222	7,40	481	16,03	557	18,57	631	21,03	596	19,87	173	5,77	95	3,17	2936	97,87
MUP 41	179	5,97	226	7,53	465	15,50	552	18,40	640	21,33	600	20,00	161	5,37	95	3,17	2918	97,27
MUP 42	180	6,00	218	7,27	489	16,30	553	18,43	634	21,13	597	19,90	165	5,50	100	3,33	2936	97,87
MUP 43	179	5,97	228	7,60	488	16,27	560	18,67	634	21,13	599	19,97	168	5,60	96	3,20	2952	98,40
MUP 44	179	5,97	227	7,57	489	16,30	553	18,43	634	21,13	600	20,00	173	5,77	97	3,23	2952	98,40
MUP 45	180	6,00	219	7,30	489	16,30	557	18,57	634	21,13	602	20,07	157	5,23	99	3,30	2937	97,90

Fuente: Elaboración propia.

Figura 14: Resultado de curva granulo métrica



Fuente: Elaboración propia.

Una vez realizado el ensayo de granulometría del 30% de la muestra que corresponde a un material menor a los 15 cm; se puede determinar que tenemos un 19.12% de arena gruesa, un 11.05% arena media y un 69.83% de arena fina.

3.8. Análisis granulométrico de la llenante mineral utilizado en la elaboración de mezclas asfálticas I.N.V. E – 215 – 13.

La muestra se seca inicialmente en la estufa y se determina su masa utilizando una balanza digital. Posteriormente, utiliza los sets de tamices N.^o 16, N.^o 30, N.^o 50 y N.^o 200. A continuación, se procede a lavar la muestra mediante un chorro de agua continuo, continuando el lavado hasta que el agua que atraviesa los tamices salga completamente clara. Finalizado este proceso, el material retenido en cada tamiz se transfiere a recipientes individuales para su secado en la estufa.

Finalmente, se determina la masa de material retenido en cada tamiz con la balanza, y se calcula el porcentaje que representa respecto a la masa original de la muestra.

Figura 15:Proceso de secado de la muestra mediante una estufa en laboratorio.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 16: Lavado de material



Fuente: Elaboración propia.

3.9. Método del Hidrómetro de Bouyoucos para la Determinación de la Textura del Suelo.

El hidrómetro o densímetro funciona a partir del principio de sedimentación diferencial, en el cual las partículas se asientan a distintas velocidades según su tamaño, peso y el medio en el que se encuentran. A medida que las partículas sedimentan, la densidad de la suspensión disminuye progresivamente. (Medina González, & García Coronado, 2007).

En el método modificado por Day (Bouyoucos-Day), se utiliza un hidrómetro más alargado y esbelto con la punta en forma de cono (Medina González, & García Coronado, 2007).

El hidrómetro 151H tiene una longitud de 28 centímetros y sus divisiones son de 0.001, lo que le confiere una precisión de 0.001. Esta precisión se refiere a la capacidad del instrumento para

medir cambios pequeños en la densidad o gravedad específica de una solución, lo cual es importante para análisis de suelo u otros propósitos donde se utiliza la medición de partículas en suspensión.

Tiene una estandarización de temperatura de 20°C.

En primera instancia, la muestra de suelo es sometida a un proceso de secado al aire y disgregación. Luego, es pasada por un tamiz de 2.00 mm de diámetro. Los 50 gramos de muestra pesada se colocan en un vaso de precipitación de 800 ml (Ramos Alfaro, 2009).

Tabla 13:Materiales y equipos utilizados en el laboratorio la determinación de la distribución granulométrica.

Materiales y Equipos	Cantidad	Descripción	Uso/Actividad
	1	Hidrómetro ASTM 151H	Medición de la densidad en una suspensión de suelo
	1	Balanza Analítica modelo OHAUS	Pesaje de muestras de suelo
	1	Tamiz analítico Fisherbrand 2000 mm	Separación de la fracción de grava.
	1	Tamiz analítico Fisherbrand 53 mm	Separación de la fracción de arena.
	1	Estufa modelo ESCO	Secado de muestras a temperatura determinada.

	1	Batidora de manoeléctrica	Remoción de las muestras desuelo para separación de partículas.
---	---	---------------------------	---

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14:Reactivos utilizados en el laboratorio

Reactivos	Cantidad	Descripción	Uso/Actividad
	1 kg	Hexametafosfato de sodio (NaPO ₃) ₆	Dispersión de partículas del suelo
	2 litros	Peróxido de Hidrógeno	Destrucción de materia orgánica
	1 kg	Acetato de sodio	Remoción de carbonatos y sales solubles.

Fuente: Elaboración propia.

- **Dispersión de la muestra.**

La dispersión de la muestra incluye una dispersión química con Hexametafosfato de Sodio (NaPO₃)₆ y una dispersión física mediante agitación mecánica (Ramos Alfaro, 2009) . En el vaso de precipitación se adiciona 50 ml de solución de Hexametafosfato de Sodio 0.1 M y 100 ml de agua destilada para mantenerlo en remojo por 24 horas. Para completar este proceso, se agita con una batidora eléctrica por 5 minutos.

Se prepara un blanco que consiste en 100 ml de solución de $(\text{NaPO}_3)_6$ y 900 ml de agua destilada en una probeta de 1L.

- **Toma de mediciones en las muestras.**

El contenido (suelo + dispersante) se pasa a una probeta de 1 L y se enrasa con agua destilada. Utilizando una varilla metálica, se homogeniza fuertemente toda la probeta y se toma el tiempo inicial ($t=0$) que indica el inicio de la sedimentación.

Tiempos de lectura. En 1962, Bouyoucos propuso realizar lecturas a los 40 segundos y a las 2 horas para estimar los porcentajes relativos de arena, limo y arcilla. Con el tiempo, diversos investigadores han sugerido lecturas en otros momentos, como a los 40 segundos y a las 8 horas, considerando que esta última, tomada desde el tiempo cero, ofrece una estimación más precisa del contenido de arcilla (Ramos Alfaro, 2009). Posteriormente, Bouyoucos y Day establecieron que las mediciones adecuadas se deben realizar entre los 30 segundos y las 12 horas (Ramos Alfaro, 2009).

Los diferentes tiempos de lectura del hidrómetro son fundamentales para determinar con mayor precisión las clases texturales del suelo. Por ello, el hidrómetro se introduce cuidadosamente en la probeta de la suspensión en intervalos específicos: 1, 3, 10, 30, 60, 90, 360, 480 y 720 minutos.

Es importante señalar que, tras cada lectura en la probeta de la suspensión, se realiza de inmediato una lectura correspondiente en la probeta del blanco. Además, se registra la temperatura del sistema, la cual debe ser la misma en ambas probetas para garantizar la precisión de los resultados

.

- Resultado de distribución por porcentual del tamaño de partículas.**

Hidrómetro tipo Bouyoucos (densímetro), utilizado para la determinación de la distribución granulométrica del suelo en suspensión, conforme a los principios de sedimentación establecidos por la Ley de Stokes.

Tabla 15:Distribución granulométrica del río Upano según Boyocus

Muestra	Tiempo	Lectura del Hidrómetro (g/l)	Temperatura	Lectura corregida	Arena	Limo	Arcilla
mup 1	40 S	5	25	5,99	98,496	0,752	0,752
	120 min	3	23	3,59			
mup 3	40 S	4	25	4,99	98,478	0,761	0,761
	120 min	2	24	2,79			
mup 5	40 S	5	24	5,79	98,496	0,752	0,752
	120 min	3	24	3,79			
mup 7	40 S	4	25	4,99	98,496	0,752	0,752
	120 min	2	23	2,59			
mup 9	40 S	5	25	5,99	98,514	0,743	0,743
	120 min	3	22	3,40			
mup 11	40 S	4	24	4,79	98,532	0,734	0,734
	120 min	2	22	2,40			
mup 13	40 S	5	25	5,99	98,496	0,752	0,752
	120 min	3	23	3,59			
mup 15	40 S	4	25	4,99	98,514	0,743	0,743
	120 min	2	22	2,40			
mup 17	40 S	5	25	5,99	98,478	0,761	0,761
	120 min	3	24	3,79			
mup 19	40 S	4	25	4,99	98,46	0,770	0,770
	120 min	2	25	2,99			
mup 21	40 S	5	24	5,79	98,532	0,734	0,734
	120 min	3	22	3,40			
mup 23	40 S	4	25	4,99	98,478	0,761	0,761
	120 min	2	24	2,79			
mup 25	40 S	5	25	5,99	98,514	0,743	0,743
	120 min	3	22	3,40			
mup 27	40 S	4	25	4,99	98,496	0,752	0,752
	120 min	2	23	2,59			

mup 29	40 S	5	25	5,99	98,46	0,770	0,770
	120 min	3	25	3,99			
mup 31	40 S	4	25	4,99	98,478	0,761	0,761
	120 min	2	24	2,79			
mup 33	40 S	5	25	5,99	98,496	0,752	0,752
	120 min	3	23	3,59			
mup 35	40 S	4	25	4,99	98,496	0,752	0,752
	120 min	2	23	2,59			
mup 37	40 S	5	23	5,59	98,514	0,743	0,743
	120 min	3	24	3,79			
mup 39	40 S	4	25	4,99	98,514	0,743	0,743
	120 min	2	22	2,40			
mup 41	40 S	5	25	5,99	98,478	0,761	0,761
	120 min	3	24	3,79			
mup 43	40 S	4	25	4,99	98,46	0,770	0,770
	120 min	2	25	2,99			
mup 45	40 S	5	25	5,99	48.4%	7.44%	44.16%
	120 min	3	23	3,59			

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16: Distribución granulométrica del río Upano según Boyocus.

45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso
0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso
45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso
0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso
0-45	0-40	40-100	Arcilloso

Fuente: (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1987).

3.10. Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino

I.N.V. E – 222 – 13

Se toma la muestra de agregado fino, aproximadamente 1000 gr, se reduce a fracción requerida de acuerdo con la norma INV E-202. Se coloca la muestra en un recipiente adecuado y

se seca hasta obtener una masa constante, se deja enfriar hasta una temperatura en la que sea manejable, se sumerge en agua y se deja en ese estado durante un período de 24 horas.

Figura 17: Secado de la muestra hasta masa constante



Fuente: Elaboración propia.

Figura 18: Muestra sumergida en agua durante 24 horas.



Fuente: Elaboración propia.

Después del período de inmersión, se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos y se extiende la muestra sobre una superficie plana no absorbente. Se inicia la operación de secar la superficie de las partículas, dirigiendo sobre ella una corriente moderada de aire tibio y se revuelve periódicamente para asegurar un secado homogéneo.

Figura 19: Ensayo de inmersión: muestra pétreas sumergida.



Fuente: Elaboración propia.:

Figura 20 Secado y Conservación de Finos en Muestras Pétreas



Fuente: Elaboración propia.

Prueba del cono para verificar la condición saturada y superficialmente seca: se sujetá firmemente el molde cónico con el diámetro mayor apoyado sobre una superficie plana, se pone en su interior cantidad de muestra suficiente para llenarlo y se apisona ligeramente el agregado dentro del molde, aplicándole 25 golpes con la varilla, cada golpe se da dejando caer libremente

el pisón y se levanta el cono, este procedimiento se realiza hasta que se produzca un derrumbe parcial, el cual indica que se ha alcanzado la condición superficialmente seca. Y se determina su masa.

Figura 21: Prevención de la pérdida de finos mediante dispersión controlada de la muestra



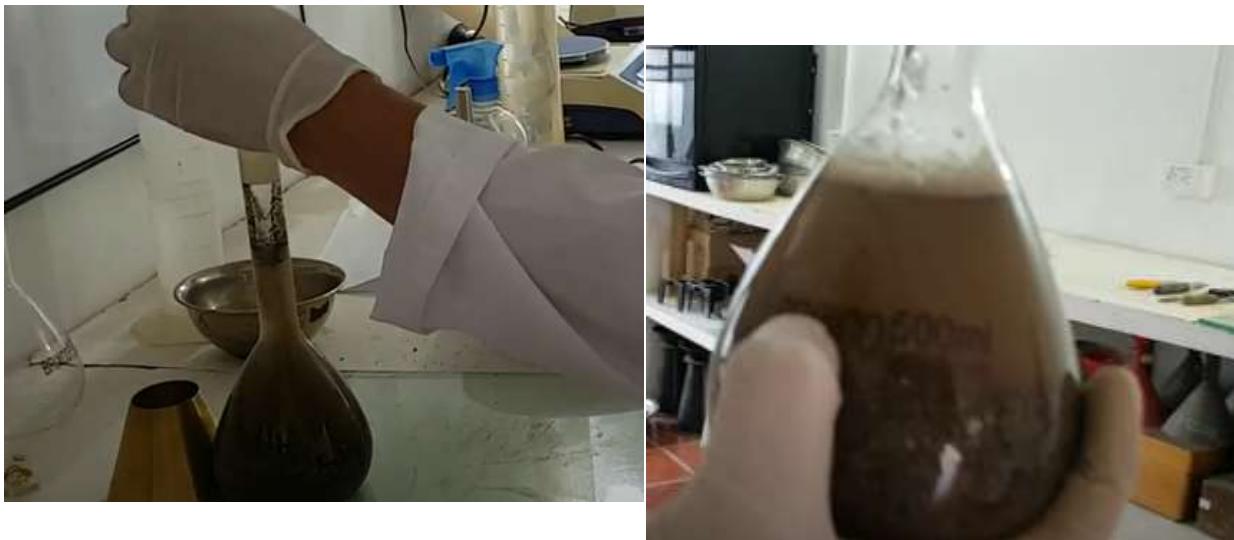
Fuente: Elaboración propia.

Figura 22: Ensayo del Cono: Determinación de la Condición SSD del Agregado



Fuente: Elaboración propia.

Figura 23 Método gravimétrico, mediante el picnómetro; aforo del instrumento



Fuente: Elaboración propia.

Se procede a determinar el peso específico de la masa por el método gravimétrico, en el cual se llena parcialmente el picnómetro con agua hasta completar 500 ml de agua y se pesa, se procede a sacar el agua y se deja en otro recipiente, luego se toma el picnómetro y se le añade 100 gr de material tamizado (N°40), inmediatamente se le agrega el agua que estaba en otro recipiente, hasta completar los 500 ml en el picnómetro. Para eliminar las burbujas de aire atrapado, se agita manualmente el picnómetro, se vacía en un recipiente la muestra con el agua y se deja reposar, que es el periodo de inmersión, después se decanta cuidadosamente el agua para evitar la pérdida de finos. Se procede a secar en la estufa y se revuelve periódicamente para asegurar un secado homogéneo y se pesa para determinar su masa.

3.11. Difracción de rayos X (RDX)

Para efectuar el análisis de difracción de rayos X, se seleccionaron dos muestras representativas del material pétreo, cada una con un peso aproximado de 1 kg. Las muestras fueron debidamente identificadas, selladas y trasladadas a los laboratorios de la empresa Unión Cementera Nacional (UCEM S.A.). Una vez recibidas en el laboratorio del departamento de Materiales, se procedió con un análisis físico preliminar que incluyó el pesaje inicial del material.

Posteriormente, las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en horno durante un período estimado de seis horas a 110°C, con el objetivo de eliminar su contenido de humedad.

Una vez secas, se registró nuevamente su peso y se trasladaron a la unidad de trituración para su posterior procesamiento y análisis mineralógico.

Figura 24: Muestra representativa de material y secado en horno a 110 °



Fuente: Elaboración propia.

Tras el proceso de trituración de las muestras, se procedió al cuarteo, obteniendo submuestras de aproximadamente 250 gramos. Estas fueron pulverizadas en un molino de anillos durante 20 minutos, hasta alcanzar una granulometría fina, inferior a 200 mesh (aproximadamente 75 micrones), con el objetivo de obtener un polvo homogéneo y uniforme, condición indispensable para garantizar la precisión en la medición de la intensidad de los rayos X difractados.

De la muestra pulverizada se tomaron entre 3 y 5 gramos, los cuales fueron colocados en recipientes metálicos específicamente diseñados para esta aplicación. Posteriormente, se comprimieron manualmente para formar pastillas, las cuales fueron transferidas al equipo destinado al análisis difracto métrico.

Figura 25: Cuarteo y la trituración primaria realizadas para la preparación de las muestras



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26: Pulverización de las muestras en Tituladora de Anillos.



Fuente: Elaboración propia.

3.12.Comportamiento expansivo.

Con el propósito de realizar este ensayo se utilizaron como materiales cementantes las marcas más comercializadas en la provincia como son la Selva alegre Plus (tipo IP) y Guapán (tipo GU), En cuanto a los agregados, estos fueron recolectados en los puntos de muestreo que en ese momento estaban siendo explotados por franjas temporales por sub contratistas de obra pública.

Análisis de la Composición Química de los cementos a ocupar en el ensayo.

La tabla 18 muestra las características del cemento Guapán tipo GU (para construcción general) (NTE INEN 2380, 2011).

Tabla 17: Características cemento Guapán tipo GU

Cemento Guapán – Composición Química

Propiedad	Norma INEN 490	Contenido (%)
SiO ₂	N/A	17.55
Al ₂ O ₃	N/A	3.93
Fe ₂ O ₃	N/A	1.93
CaO	N/A	40.48
MgO	≤ 6.0	0.23
SO ₃	≤ 4.0	2.11
Na ₂ O	N/A	0.07
K ₂ O	N/A	0.51
SO ₃	N/A	0.14

Fuente: Norma INEN

“INEN 490” es la norma ecuatoriana que regula las especificaciones del cemento Portland.

Donde no aplica un límite, se marca como “N/A”.

Tabla 18: Características del Cemento Selva Alegre tipo IP

Cemento Selva alegre			
Propiedad	INEN 160	INEN 490	Contenido en %
PF	5.0 máx.	N/A	1.1
SiO ₂	N/A	N/A	32.1
Al ₂ O ₃	N/A	N/A	8.7
Fe ₂ O ₃	N/A	N/A	4.2
CaO	N/A	N/A	45
MgO	N/A	6.0 máx.	2.5
SO ₃	N/A	4.0 máx.	2.5
Na ₂ O	N/A	N/A	2
K ₂ O	N/A	N/A	0.6
TiO ₂	N/A	N/A	0.3

Fuente: Selva Alegre

En la tabla 19 se presentan las propiedades del cemento Selva alegre Plus tipo IP, un cemento portland puzolánico conforme a las normas INEN 490 y ASTM C595

El principal instrumento de medición usado en este ensayo es el pie de rey.

Figura 27: Pie de Rey



Fuente: Elaboración propia.

El porcentaje de expansión se calcula en base a la siguiente expresión dada en la norma ASTM C1 567:

$$\Delta L = \left[\frac{(L_x - L_i)}{L_i} \right] * 100 \quad (20)$$

Donde;

ΔL = porcentaje de expansión a la edad x

L_x = lectura de la barra de hormigón a la edad x

L_i = lectura cero o inicial de la barra.

3.13. Micro barras de hormigón

3.13.1. Especificaciones de los Moldes y Materiales

Los moldes utilizados tienen una longitud de 160 mm (Figura 28), con una tolerancia de $\pm 2,5$ mm, y una sección transversal de 40 x 40 mm.

Figura 28:Moldes para método de Micro barras de hormigón



Fuente: Elaboración propia.

Los áridos son triturados y tamizados, y se utilizan en una proporción del 40% de la fracción de 4,75 a 9,5 mm y del 60% de la fracción de 9,5 a 12,5 mm.

Tabla 19: Dosificación cemento Selva Alegre tipo IP

Materiales	Cantidad
Cemento	900 g
Agua	297 ml
Árido de 4,75 a 9,5 mm	360 g
Árido de 9,5 a 12,5 mm	540 g

Fuente: Elaboración propia.

La dosificación de los materiales es la siguiente: se emplean 900 g de cemento y 900 g de árido seco, con una relación agua/cemento (a/c) de 0,33 como describe la tabla 20.

3.13.2. Proceso de curado inicial

Los moldes se cubren con plástico y se almacenan durante 24 horas a una temperatura ambiente.

Después de este período, se desmoldan y se sumergen en agua potable en contenedores de

plástico. Estos contenedores se tapan y se colocan en un horno a 80 °C durante 24 horas Figura 29.

Al finalizar este tiempo, las barras se retiran y se miden, estableciendo así su longitud inicial.

Figura 29: Proceso de curado de las micro barras de hormigón.



Fuente: Elaboración propia.

3.13.3. Preparación y medición de las micro barras para ensayo de expansión en solución de hidróxido de sodio

Las barras se sumergen en una solución de hidróxido de sodio (NaOH) 1N y se colocan nuevamente en un horno a una temperatura controlada de 80 °C. Durante un período de entre 16 y 21 días, se registra periódicamente el cambio en la longitud de las barras.

Para la preparación de la solución de NaOH 1N, se disuelven 40 g de hidróxido de sodio en 900 ml de agua destilada o desionizada, completando posteriormente el volumen hasta 1 litro con agua adicional.

El cemento utilizado en este procedimiento es previamente tamizado mediante un tamiz de 850 µm (No. 20), con el objetivo de eliminar posibles grumos y asegurar una distribución homogénea de partículas.

3.13.4. Procedimiento de almacenamiento y medición de las micro barras

Los recipientes que contienen las barras se retiran del baño térmico de forma individual. Se espera a que las barras del primer recipiente sean medidas y retornadas al baño antes de extraer el siguiente. El tiempo máximo permitido entre la extracción y el retorno al baño no debe exceder los 10 minutos.

Cada barra es secada cuidadosamente con una toalla, prestando atención especial a los tornillos ubicados en los extremos. La lectura inicial de longitud (“cero”) se realiza inmediatamente después del secado, el cual debe completarse en un intervalo máximo de 15 ± 5 segundos desde la extracción del medio acuoso (ver figura 36).

Una vez realizadas las mediciones, las barras se colocan temporalmente sobre una toalla hasta finalizar la medición de todos los especímenes. Posteriormente, se introducen nuevamente en un recipiente con solución de NaOH 1N a 80 ± 2 °C, asegurándose de que queden

completamente sumergidas. Finalmente, el recipiente se sella herméticamente y se retorna al horno para continuar con el ensayo.

Figura 30 Medición de las barras



Fuente: Elaboración propia.

3.14.Ultra acelerado de primas de hormigón.

Este método de medición de expansión se basa en la norma RILEM TC 191-ARP AAR

Especificaciones

Se fabrican tres prismas con dimensiones de 75 x 75 x 250 mm (Figura N.º37).

Figura 31: Moldes para método Ultra Acelerado de prismas de hormigón



Fuente: Elaboración propia.

Para preparar los prismas, se utiliza una relación agua-cemento (a/c) se establece en 0,455, lo que garantiza una mezcla adecuada. Además, la proporción de áridos se determina en áridos gruesos: finos: cemento = 2,83: 1,22: 1 por cada parte de cemento, resultando en un contenido total de cemento de 440 kg/m³ (tabla 20).

Tabla 20: Dosificación para prismas de hormigón.

	Cemento Selva Alegre	Cemento Guapán
Material	Cantidad	
Cemento	1800 g	2100 g
Agregado grueso	5094 g	5943 g
Agregado fino	2196 g	2562 g
Agua	819 ml	955.5 ml

Fuente: RILEM TC 191-ARP AAR 3

Es importante mantener los prismas en condiciones controladas por un periodo de 24 horas se conservan a temperatura ambiente, ya que esto ayuda a adquirir la resistencia necesaria durante su fraguado y para luego de este tiempo ser desmoldado.

Una vez haya finalizado el tiempo de fraguado se desmoldan los prismas, y se someten por 48 horas a un acondicionamiento para conservar la humedad y evitar que el hormigón se seque demasiado rápido este proceso se lleva a cabo a una temperatura ambiente es importante cubrir los prismas con paños húmedos y bolsas de polietileno, pasado este tiempo se mide la longitud inicial con la que se toma como referencia para las mediciones que se realizan por día hasta alcanzar los 16 días.

A continuación, los prismas se sumergen en contenedores plásticos que contienen soluciones de KOH y NaOH a 1N, manteniéndose en un horno a una temperatura constante de 80°C. Durante el ensayo, se registra la expansión de los prismas en intervalos de 2, 6, 9, 14, 16 y 21 días. Si no se detecta expansión en alguna de estas mediciones, se omite el registro, lo que permite enfocarse en los resultados más relevantes, pero para tener resultados con precisión se obtuvo las medidas para todos los días.

CAPÍTULO 4

4. PROCESAMIENTO, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Frecuencia del muestreo. - El área total considerada para el estudio abarcó una superficie de 60 hectáreas; no obstante, el área efectiva de muestreo se delimitó a 40 hectáreas.

Esta reducción se debió a la elevada variabilidad geomorfológica del lecho fluvial, caracterizada por procesos dinámicos tales como la migración del cauce, la erosión lateral y la sedimentación espontánea. Estos procesos generaron una reposición temporal de material aluvial en zonas adyacentes, incluyendo playas de sedimentos y áreas sujetas a inundaciones periódicas.

Debido al comportamiento altamente dinámico del sistema fluvial, la frecuencia del muestreo se estableció considerando los ciclos hidrológicos relevantes y eventos de alto impacto, como las crecidas estacionales. La definición de dicha frecuencia tuvo como objetivo capturar de manera representativa la evolución espacial y temporal de los procesos morfológicos, asegurando que los datos recopilados fueran estadísticamente significativos para el análisis y la modelación posterior.

En este contexto, se implementó un esquema de muestreo durante la temporada de menor pluviosidad en la zona. Sin embargo, esto no garantiza la estabilidad de la carga ni del caudal, ya que los efluentes pueden variar en función de la pluviosidad en las zonas de origen.

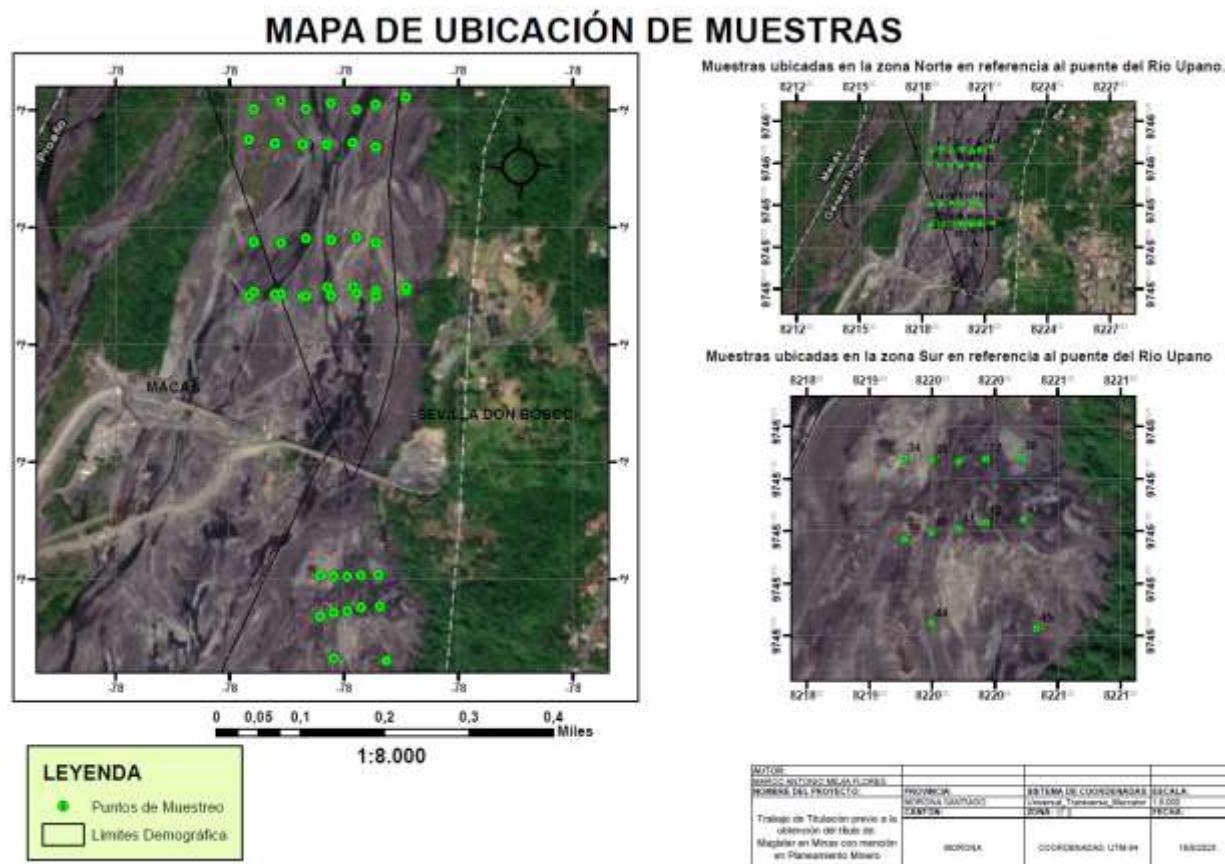
Tabla 21: Coordenadas de puntos de muestreo de campo

Localización geográfica de los puntos de muestreo para la caracterización litológica de los materiales pétreos en el río Upano, sectores teniente Hugo Ortiz y la Barranca			
Muestras	Coordenadas.		
	Este.	Norte.	Profundidad msnm.
mup 1	821849	9746056	835
mup 2	821899	9746072	835
mup 3	821947	9746056	833
mup 4	821995	9746068	835
mup 5	822044	9746055	839
mup 6	822081	9746065	837
mup 7	822139	9746078	839
mup 8	821839	9745998	837
mup 9	821889	9745991	833
mup 10	821941	9745989	841
mup 11	821988	9745988	838
mup 12	822037	9745992	832
mup 13	822081	9745984	838
mup 14	821849	9745802	839
mup 15	821899	9745801	832
mup 16	821947	9745810	840
mup 17	821995	9745807	841
mup 18	822044	9745812	832
mup 19	822081	9745801	832
mup 20	822139	9745711	840
mup 21	821839	9745702	831
mup 22	821889	9745706	839
mup 23	821941	9745701	832
mup 24	821988	9745718	840
mup 25	822037	9745719	837
mup 26	822081	9745711	840
mup 27	821849	9745709	832
mup 28	821899	9745706	831
mup 29	821947	9745702	832
mup 30	821995	9745702	835
mup 31	822044	9745706	838
mup 32	822081	9745701	834
mup 33	822139	9745718	839
mup 34	821973	9745170	834
mup 35	821999	9745168	831
mup 36	822025	9745167	832

mup 37	822051	9745169	832
mup 38	822084	9745171	836
mup 39	821973	9745092	839
mup 40	821999	9745099	834
mup 41	822025	9745102	833
mup 42	822051	9745109	835
mup 43	822087	9745111	837
mup 44	821999	9745012	840
mup 45	822099	9745007	835

Fuente: Elaboración propia.

Figura 32: Ubicación geográfica



Fuente: Elaboración propia.

En la Figura N.^o 31 se presentó la ubicación geográfica de las coordenadas correspondientes a las 45 muestras recolectadas. Considerando que el río Upano constituía un sistema fluvial trenzado caracterizado por una alta carga sedimentaria y descargas de agua constantes y elevadas, se procedió a la recolección de 20 kg de material por muestra. Posteriormente, este volumen fue reducido mediante el método de cuarteo hasta obtener una masa final de 8 kg, cantidad que había sido establecida como el máximo permitido para procesamiento en el laboratorio de la Universidad.

Las muestras fueron codificadas bajo la denominación "MUP" (Material Upano) para su respectiva identificación y análisis.

4.1.Propiedades físicas

4.1.1 Densidad

- **Agregado grueso.**

Para la caracterización del agregado grueso se aplicaron los procedimientos normalizados; mediante las siguientes expresiones:

(4) densidad relativa condición seca.

(5) densidad relativa en condición saturada superficialmente seca.

(6) densidad relativa aparente

(7) porcentaje de absorción de agua.

Estas propiedades fueron determinadas conforme a las especificaciones de la norma técnica correspondiente con el fin de evaluar la calidad del material y su idoneidad para el concreto estructural.

En base de los datos obtenidos a través de las fórmulas previamente indicadas se identificó que las partículas con tamaño de 12.2 mm mostraron una densidad relativa en estado seco de 2.50 g/cm³, en condición SSS de 2.54 g/cm³ y una densidad aparente de 2.61 g/cm³. En contraste, las partículas de 26.5 mm mostraron una densidad relativa en condición SSS de 2.49 g/cm³, una densidad relativa en estado seco de 2.55 g/cm³ y una densidad aparente de 2.61 g/cm³.

El porcentaje de absorción de agua fue de 1.65 % para las partículas de 12.2 mm y de 1.37 % para las de 26.5 mm . Estos valores revelan que las partículas más pequeñas tienen una mayor habilidad de absorción, lo que se debe a que poseen una mayor área de superficie relativa.

Según la norma ASTM C637, el rango aceptable de densidad relativa para agregados utilizados en concreto debe situarse entre 2.0 y 3.0 g/cm³ (equivalente a 2,000–3,000 kg/m³). Los resultados presentados en la Tabla 4-5 confirman que las densidades y los porcentajes de absorción determinados para ambos tamaños de partículas cumplen con los requisitos especificados por dicha normativa.

Tabla 22:Densidad de agregado grueso.

Tamaño de partícula	12.2 mm	26.5 mm
Densidad de volumen del árido grueso en estado seco (g/cm ³)	2.50	2.46
Densidad de volumen en base a la masa del árido grueso en estado saturado superficialmente seco (g/cm ³)	2.54	2.49
Densidad aparente del árido grueso (g/cm ³)	2.61	2.55
Porcentaje de absorción de agua del árido grueso (%)	1.65	1.37

Fuente: Elaboración propia.

- **Agregado fino**

Para la caracterización del agregado fino se aplicaron los procedimientos según la Norma Técnica Ecuatoriana INEN 856, complementada con la norma ASTM (2010). Los cálculos se realizaron utilizando las siguientes expresiones:

(8) la densidad relativa (gravedad específica) en estado seco al horno (SH).

(9) la densidad relativa en estado saturado superficialmente seco (SSS),

(10) la densidad relativa aparente.

(11) la densidad en estado seco al horno.

(12) la densidad en estado saturado superficialmente seco.

(13) la densidad aparente en estado saturado,

(14) el porcentaje de absorción.

Los resultados obtenidos (ver Tabla N° 23) indicaron que la densidad relativa del agregado fino en estado seco al horno alcanzó 2.75 g/cm^3 , mientras que en estado saturado superficialmente seco se consiguió 2.77 g/cm^3 . Por su parte, la densidad relativa aparente fue de 2.79 g/cm^3 .

Expresadas en unidades del Sistema Internacional, las densidades fueron de 2742.02 kg/m^3 en estado seco al horno, 2758.57 kg/m^3 en estado saturado superficialmente seco, y 2788.29 kg/m^3 en estado aparente saturado.

Estos valores demuestran un incremento progresivo de la densidad acorde a que el agregado transita del estado seco al estado aparente, lo cual es coherente con el comportamiento

higroscópico de los áridos finos. De igual forma, todas las densidades superan los rangos mínimos exigidos por las normas ASTM C331 y ASTM C332, que establecen que la densidad relativa de los agregados finos debe ser superior a 2.60 g/cm³. Este cumplimiento de regulaciones confirma que el material es adecuado para ser utilizado en aplicaciones tanto estructurales como no estructurales en el sector de la construcción.

Tabla 23:Densidad de agregado fino.

Densidades	Valores
Densidad relativa (SH). (g/cm ³)	2.75
Densidad relativa (SSS). (g/cm ³)	2.77
Densidad relativa aparente (g/cm ³)	2.79
Densidad (SH). (Kg/m ³)	2742.02
Densidad (SSS). (Kg/m ³)	2758.57
Densidad aparente (SSS) (Kg/m ³)	2788.29
Absorción	0.60

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. Abrasión

En función de los objetivos planteados en la presente investigación que son: “evaluar la resistencia del material pétreo y su composición mineralógica realizadas en los laboratorios del concejo provincial de morona Santiago.; así como determinar las propiedades físicas del material pétreo para su uso en mezclas de concreto”; se realizaron actividades de muestreo de campo en la zona de estudio, orientadas al cumplimiento del primer objetivo.

Se establecieron 45 puntos de muestreo, distribuidos mediante una malla de trazado regular. De esto se seleccionaron 6 sitios específicos para la recolección de muestras debido a la presencia de franjas activas en explotación en el momento del muestreo, lo que facilitó el acceso al material requerido para los ensayos de la caracterización del concreto

De los 6 sitios específicos para la recolección de muestras ubicados en frentes de explotación se escogieron 2 puntos de muestreo, en cada uno de ellos se recolectaron aproximadamente de 30 kg de material. Estas dos muestras fueron destinadas a ensayos de abrasión con el objetivo de evaluar la durabilidad del agregado bajo condiciones de desgaste.

Empleó la distribución granulométrica correspondiente a la Serie A, detallada en la Tabla 11, para realizar los análisis del Muestreo 1, el cual se tomó en el frente de extracción de una franja MUPA 1, así como del Muestreo 2, se tomó en un stock triturado dentro de una franja de explotación identificada como MUPA 2. Con base en esta distribución granulométrica, el material fue sujeto a un procedimiento estandarizado bajo condiciones controladas, con el fin de cuantificar su resistencia al desgaste por abrasión.

Tras la preparación previa que conlleva el acondicionamiento y procesamiento de las muestras MUPA 1 y MUPA 2, se realizó el ensayo previsto. Estos resultados obtenidos contribuyeron a realizar una evaluación concreta de la contribución relativa de cada fracción granulométrica al desgaste global del agregado. Los resultados de este ensayo se obtuvieron aplicando la ecuación 14 y están indicados en la tabla 24 como porcentaje de pérdida por abrasión del material evaluado.

Tabla 24:Porcentaje de pérdida por abrasión.

Ensayo de abrasión Los Ángeles				
Nombre	Método	Masa inicial (gr)	Masa Final (gr)	% Abrasión
M UPA 1	A	5000	4001	19,98
M UPA 2	A	5000	3947	21,06

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2.1. Análisis de pérdida por abrasión y distribución granulométrica de los agregados

La tabla 25 detalla un análisis cuantitativo de los porcentajes de pérdidas por abrasión correspondiente a las 2 muestras de agregados pétreos denominadas MUPA 1 registra una pérdida de 19,98% mientras que la muestra MUPA 2 alcanzó un valor ligeramente mayor al 21,06%. No obstante, merece una observación especial en el particular que las dos muestras en estudio son de la misma zona, pero tienen una diferencia de su comportamiento mecánico podría atribuirse a las condiciones de procesamiento en particular. La muestra MUPA 2 proviene de material previamente triturado y almacenado, lo cual podría haber reducido la resistencia al desgaste superficial. Conforme a los límites establecidos por la norma técnica INEN 860 (equivalente a AASHTO T-96), el porcentaje máximo permisible de desgaste por abrasión para agregados utilizados en la obra de ingeniería civil es del 50% ambos valores se encuentran significativamente por debajo de dicho umbral lo que evidencia que las muestras analizadas cumplen con requisitos técnicos para su utilización elementos estructurales y otras aplicaciones constructivas que demandan resistencia de al desgaste.

4.1.3. Distribución granulométrica de agregados

- **Agregado grueso**

Se efectuó el análisis granulométrico en base a la Norma ASTM E11, obteniendo los resultados expresados en la **Tabla N.^o 25 Resultados de ensayo granulométrico del agregado grueso**; los mismos que permiten graficar las curvas granulométricas correspondientes, las cuales representan la relación entre el porcentaje acumulado que pasa por cada tamiz y el tamaño nominal del mismo. Este procedimiento se aplicó a cada muestra obtenida en sitio, tanto para agregados finos como gruesos.

Tabla 25: Resultados de ensayo granulométrico del agregado grueso.

Tamaño mm	% PASA					
	MUPG 1	MUPG 2	MUPG 3	MUPG 4	MUPG 5	MUPG 6
63		100				
50	100	98	100	100	100	100
37.5	97	92	96	96	99	99
25	88	85	87	85	92	96
19	84	78	83	83	89	94
12.5	77	71	75	75	83	91
9.5	73	67	71	71	80	84
4.75	56	51	53	55	57	54
2.38	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

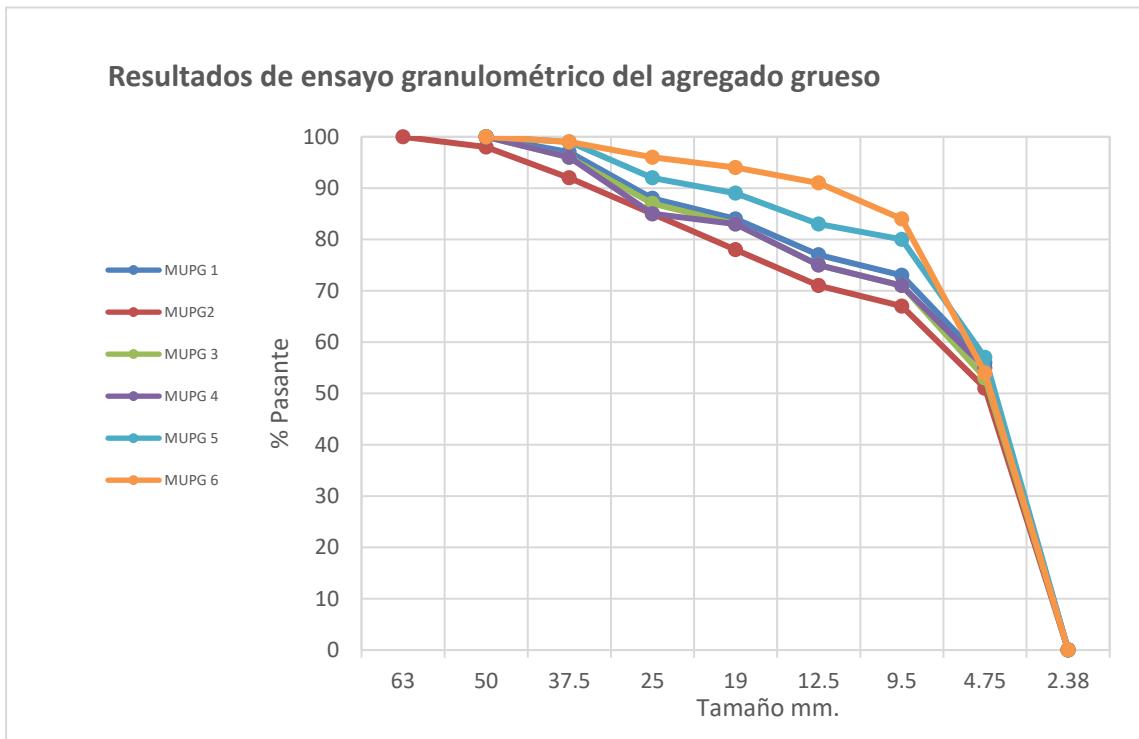
La Tabla N.^o 26 presenta los porcentajes acumulados de masa que atraviesan una serie de tamices normalizados, expresados en función del tamaño de abertura en milímetros. Cada columna representa una muestra distinta de material, mientras que cada fila corresponde a un tamaño de partícula específico. Los datos consignados indican el porcentaje acumulativo de partículas cuyo tamaño es inferior al del tamiz correspondiente.

Se observa que en los tamices con aberturas superiores a 2 pulgadas (50 mm), la totalidad del material analizado presentó una alta transitabilidad, con porcentajes de paso cercanos al 100%. Sin embargo, conforme disminuye el tamaño de la malla del tamiz, la fracción de material que logra pasar a través de éste se reduce progresivamente. A partir del tamiz No. 4 (con abertura de 4,75 mm), se evidencia una disminución notable en el porcentaje de partículas pasantes, y en

el caso del tamiz No. 8 (2,36 mm), no se detectó material que cumpliera con dicho criterio de paso.

De acuerdo con la norma ASTM C33, todo el material retenido sobre el tamiz No. 4 (4,75 mm) se clasifica como agregado grueso, lo cual es relevante para su posterior uso en mezclas de concreto y otras aplicaciones estructurales.

Figura 33: Curva granulométrica del agregado grueso.



Fuente: Elaboración propia.

La Figura N° 32 indica gráficamente los resultados obtenidos en el ensayo granulométrico de agregado grueso; de las seis muestras provenientes del mismo número de sitios de explotación o stock ubicados dentro de la zona de estudio los cuales son aprovechados para realizar los ensayos con la norma ASTM C33, a fin de conocer su comportamiento en uso de concretos. Para puntualizar los resultados obtenidos el eje horizontal (X) señala la abertura de tamiz expresada en mm. ; y en el eje vertical (Y) indica el porcentaje acumulado en masa. Cada una de las curvas, representa el comportamiento de una muestra codificada con las letras MUPG numeradas

del 1 al 6. Se puede observar que la tendencia general común entre las muestras se identifican variaciones dependientes de las morfologías de las curvas. Una de ellas alcanza el 100% del paso acumulado de manera normal indicando que el material se ha separado efectivamente, con las partículas más grandes retenidas por la malla y las más pequeñas pasando a través de ella.

- Agregado fino

Se efectuó el análisis granulométrico en base a la Norma ASTM E11, obteniendo los resultados expresados en la Tabla 27 Resultados de ensayo granulométrico del agregado fino;

Tabla 26: Resultados de ensayo granulométrico del agregado fino.

Tamaño mm	% PASA					
	MUPF 1	MUPF2 3	MUPF 4	MUPF 5	MUPF 6	
4.75	100	100	100	100	100	100
2.38	90	96	94	92	94	95
2	85	89	87	88	88	89
1.7	82	82	80	84	82	83
1.18	79	78	79	76	78	78
0.85	76	74	78	70	74	73
0.6	69	70	68	67	70	68
0.425	53	51	51	50	52	52
0.3	39	41	42	40	43	44
0.25	31	30	32	29	33	34
0.18	22	23	21	20	24	25
0.15	12	17	10	11	14	13
0.075	7	12	3	2	11	4
0.063	0	0	0	0	0	0

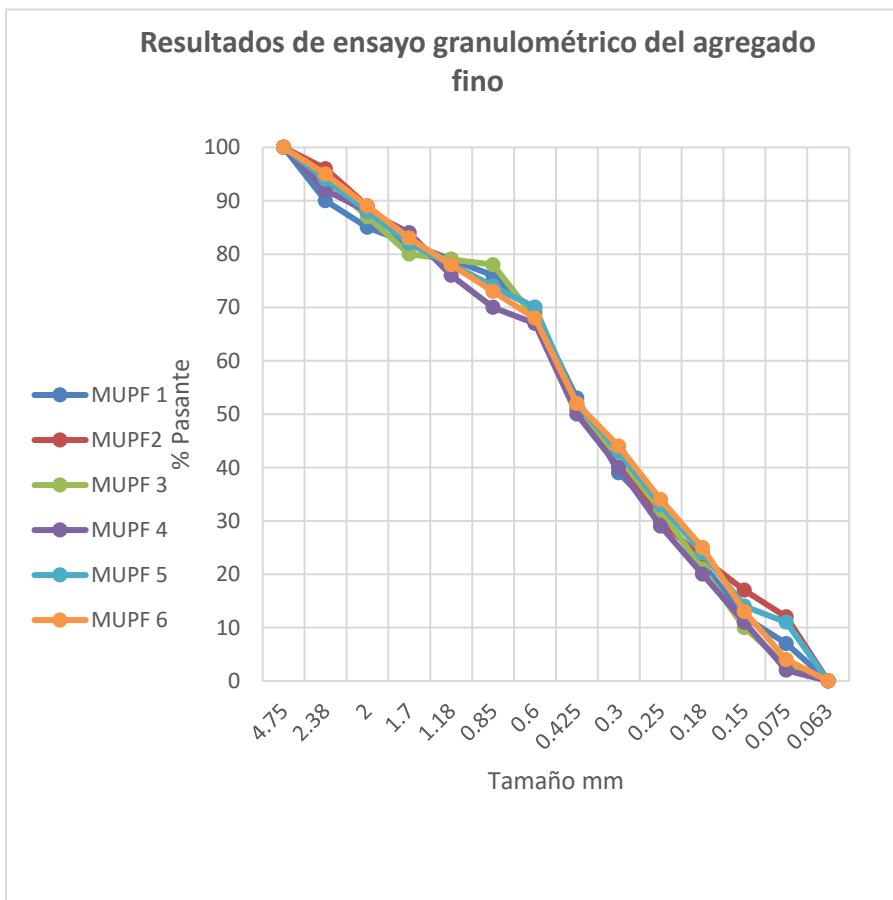
Fuente: Elaboración propia.

Para realizar este ensayo de agregado fino según norma ASTM E11 Se recolectaron seis (6) muestras dentro del área de estudio, priorizando los sectores donde se localizan puntos de explotación provisional y patios de acopio. Esta recolección permitió llevar a cabo el

correspondiente análisis granulométrico del material fino. De la siguiente manera se utilizó los tamices de tamaño expresados en mm. 4.75; 2.38; 2; 1.7; 1.18; 0.85; 0.6; 0.425; 0.3; 0.25; 0.18; 0.15; 0.075 y 0.063. de los resultados se observa una alta transitabilidad, con porcentajes de paso cercanos al 100%.

En la figura 33 ensayo de agregado fino según norma ASTM E11 se expresa una granulometría fina entre el rango de 0.075 mm a 2.0 mm, Ideal para el concreto

Figura 34: Curva granulométrica del agregado fino.



Fuente: Elaboración propia.

4.1.4. Distribución Granulométrica del Agregado Fino

La Figura 34 presenta la curva de distribución granulométrica correspondiente al porcentaje acumulado pasante de seis muestras representativas de agregado fino provenientes del

emplazamiento, en función de la abertura de los tamices expresada en milímetros. El análisis de los resultados revela una tendencia homogénea en la distribución del tamaño de partículas entre las muestras analizadas. En términos generales, la mayor proporción de partículas atraviesa tamices cuyas aberturas se encuentran entre 0,1 mm y 1 mm.

A pesar de la similitud global observada en las curvas granulométricas, se identificaron ligeras variaciones en los porcentajes acumulados pasantes para ciertos rangos de tamaño. Estas discrepancias, aunque mínimas, indican que existen pequeñas diferencias en la distribución granulométrica entre las muestras, lo cual puede atribuirse a variaciones naturales en el proceso de acopio o extracción del material.

4.2. Propiedades mineralógicas.

4.11.1. Análisis petrográfico mediante láminas delgadas.

Para realizar el análisis mediante microscopio petrográfico de muestra de sección pulida del material; se recurre a los servicios del laboratorio de suelos de la Universidad Politécnica Nacional. Este ensayo se realiza con el fin de examinar ópticamente su composición mineralógica, textura y estructura interna. Para lo cual se prepara dos muestras MUP1 y MPU2 de 500 g cada una. Ver Anexo N.^o 1; Anexo N^o2.

- **Muestra MUP1**

Del anexo N^o1 se observa que la muestra MUP1 expone una textura porfirítica y estructura algo veciculada con presencia de fenocristales plagioclásas y piroxenos; además se observa la presencia de vidrio volcánico y materiales opacos. Presenta un magnetismo moderado el cual es asociado a la presencia de magnetita.

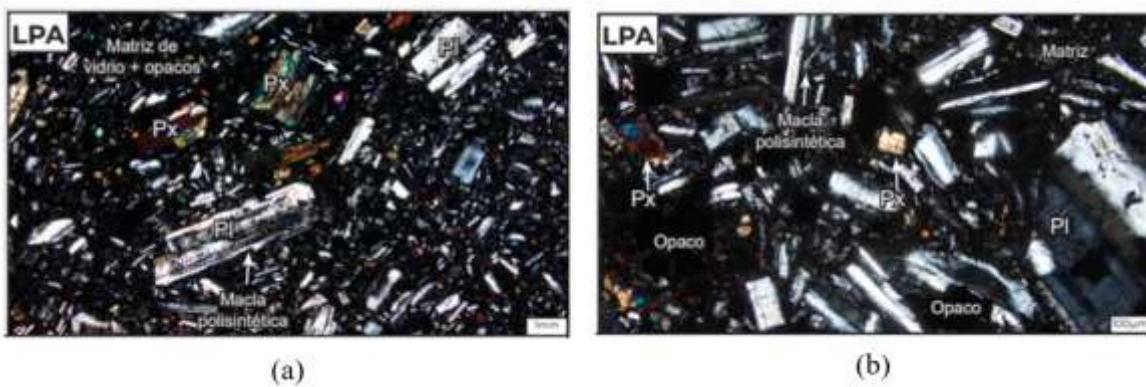
En la descripción microscópica de la plagioclasa se observa que constituye el 24%. Es incoloro; no presenta clivaje y de birrefringencia baja. Muestra un escaso grado de alteración.

En relación con los piroxenos se observa que constituyen el 11%. Su color oscila en incoloro a amarillento. Birrefringencia de media a alta; algunos minerales presentan clivaje bien definido con ángulos de intersección de 90°. Las características ópticas de estos cristales sugieren que se tratan de clinopiroxenos, y en base a sus ángulos de extinción se sugiere que puede tratarse de augita.

Con respecto a los minerales, opacos que están conformados un 4% Cuyo color es negro. Se los asocia a cristales de magnetita debido a la fuerte susceptibilidad magnética. El porcentaje reportado en esta sección no se considera en la matriz.

En lo que respecta a vidrio y otros minerales opacos constituye un 61%. El color del mineral oscila entre incoloro y negro. Los minerales opacos son asociados a magnetita debido a la fuerte susceptibilidad magnética de la roca.

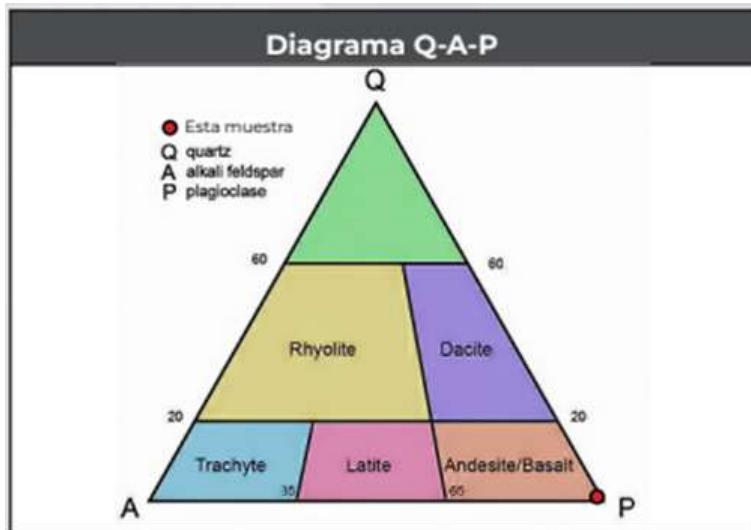
Figura 35: Láminas delgadas de la muestra MUP1



(a) matriz de vidrio +opacos, (b) plagioclásas y piroxenos.

Fuente IGM

Figura 36: Diagrama de discriminación Q-A-P de la muestra MUP1



Fuente IGM

- **Muestra MUP2**

Del anexo N°2 se observa que la muestra MUP2 expone una textura porfirítica y estructura veciculada con presencia de fenocristales plagioclasas y piroxenos; además se observa la presencia de vidrio volcánico y materiales opacos. Presenta un fuerte magnetismo el cual es asociado a la presencia de magnetita.

En la descripción microscópica de la plagioclasa se observa que constituye el 26%. Es incoloro; no presenta clivaje y de birrefringencia baja; color de interferencia grises de primer orden; ángulo de extinción es amplio de $45^\circ - 60^\circ$. Debido al amplio ángulo de extinción sugiere que posee una composición basáltica.

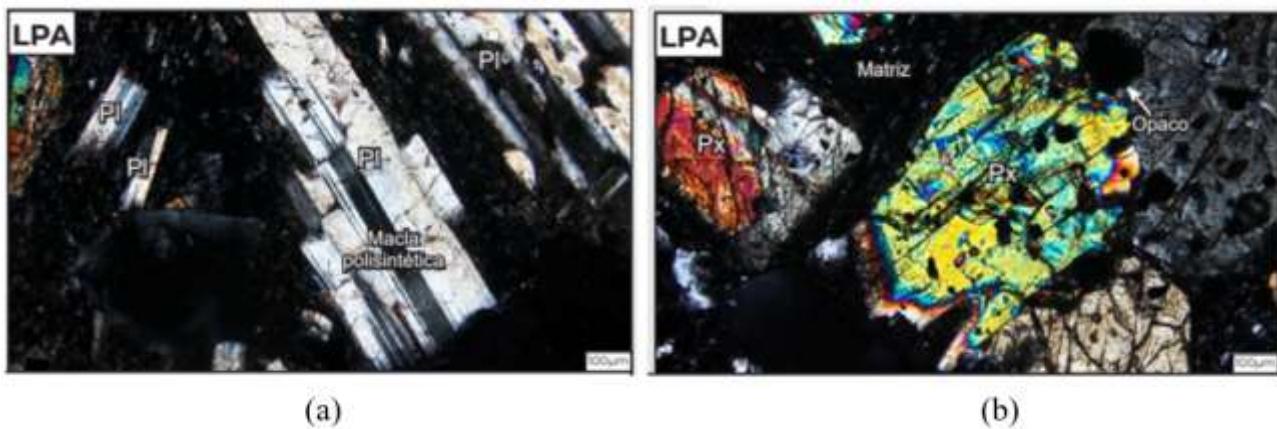
En relación con los piroxenos se observa que constituyen el 12%. Su color oscila en incoloro a amarillento. Birrefringencia de media a alta; algunos minerales presentan clivaje bien definido con ángulos de intersección de 90° . Las características ópticas observadas en estos

cristales indican que pertenecen al grupo de clinopiroxenos. En base a su extinción, se sugiere que estos cristales corresponden a augita.

Con respecto a los minerales, opacos que están conformados un 6% Cuyo color es negro. Se los asocia a cristales de magnetita debido a la fuerte susceptibilidad magnética. El porcentaje reportado en esta sección no se considera en la matriz.

En lo que respecta a vidrio y otros minerales opacos constituye un 56%. El color del mineral oscila entre incoloro y negro. Se aprecia que en mayoría está conformada por opacos, lo cual le confiere a la roca una fuerte susceptibilidad magnética.

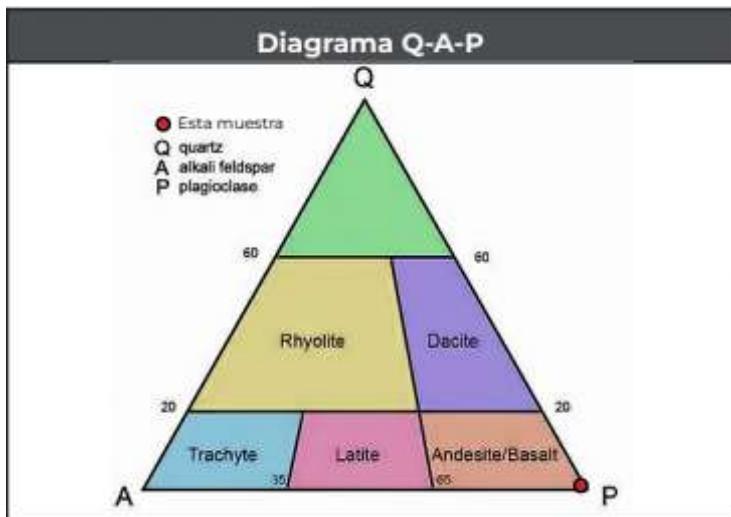
Figura 37::Láminas delgadas de la muestra MUP2



(a) plagioclasas, (b)opacos y piroxenos.

Fuente IGM

Figura 38: Diagrama de discriminación Q-A-P de la muestra MUP2



Fuente IGM

4.12. Ensayos de Fluorescencia de Rayos X (FRx) y Difracción de Rayos X (DRx).

Para la realización de estos ensayos se recolectaron dos muestras de 1 kg cada una (MFUP1 y MFUP2). Se contó con la colaboración del laboratorio de la UCEM, lo cual permitió llevar a cabo los respectivos análisis, obteniéndose los siguientes resultados.

Tabla 27: Resultados de DRX y FRX de la muestra MFUP1

ANALISIS QUÍMICO - XRD		
Minerales	Contenido	Porcentaje
Kaolinite (%)	1,71	%
Hematite (%)	4,81	%
Goethite (%)	5,32	%
Anatase (%)	0,93	%
Rutile (%)	0,03	%
Calcite (%)	0,08	%
Quartz (%)	2,18	%
Albite (%)	1,03	%
Anorthite (%)	3,06	%
Andesine (%)	61,09	%

Diopside (%)	19,22	%
Dolomite (%)	0,19	%
Hornblende (%)	0,35	%
Humedad (%)	5,32	%

ANALISIS QUÍMICO - FRX

COMPUESTO	Formula	Contenido	Porcentaje
Dióxido de Silicio	SiO ₂	48,21	%
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	12,03	%
Oxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	8,68	%
Oxido de Calcio	CaO	8,91	%
Oxido de Magnesio	MgO	3,16	%
Oxido de Sodio	Na ₂ O	2,99	%
Oxido de Potasio	K ₂ O	1,67	%
Anhidrido Sulfúrico	S ₀ 3	0,09	%
Oxido de Titanio	TiO ₂	0,89	%

Fuente: Elaboración propia.

Luego del análisis de la Tabla N.^o 27; se desprende que la muestra está constituida en un alto porcentaje de plagioclasa principalmente por andesina (Ca,Na)(Al,Si)₄O₈; mineral feldespáctico perteneciente al grupo de los silicatos con un contenido en un 72 %.. Seguido por diópsido un inosilicato (CaMgSi₂O₆) que se clasifica dentro del grupo de los piroxenos con un contenido de un 23 %. Edembergita (CaFeSi₂O₆,,) dentro de los piroxeno con un contenido de un 5%.

Tabla 28: Resultados de DRX y FRX de la muestra MFUP2

ANALISIS QUÍMICO - XRD			
Minerales	Contenido	Porcentaje	
Kaolinite (%)	0,77	%	
Hematite (%)	4,25	%	
Goethite (%)	5,41	%	
Anatase (%)	0,88	%	
Rutile (%)	0,02	%	
Calcite (%)	0,06	%	
Quartz (%)	3,00	%	
Albite (%)	0,97	%	
Anorthite (%)	3,01	%	
Andesine (%)	62,01	%	
Diopside (%)	19,25	%	
Dolomite (%)	0,08	%	
Hornblende (%)	0,29	%	
Humedad (%)	4,75	%	
ANALISIS QUÍMICO - FRX			
COMPUESTO	Formula	Contenido	Porcentaje
Dióxido de Silício	Si02	%	47,55
Oxido de Aluminio	Al2O3	%	11,99
Oxido de Hierro	Fe2O3	%	8,77
Oxido de Calcio	CaO	%	8,55
Oxido de Magnesio	MgO	%	3,15
Oxido de Sodio	Na2O	%	2,87
Oxido de Potasio	K2O	%	1,67
Anhidrido Sulfúrico	S03	%	0,07
Oxido de Titanio	TiO2	%	0,92

Fuente: Elaboración propia.

Luego del análisis de la Tabla N.^o 28 se desprende que la muestra está constituida en un alto porcentaje de plagioclasa principalmente por andesina $(\text{Ca},\text{Na})(\text{Al},\text{Si})_4\text{O}_8$; mineral feldespáctico perteneciente al grupo de los silicatos con un contenido en un 74 %.

Seguido por diópsido unos inosilicatos ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$) que se clasifica dentro del grupo de los piroxenos con un contenido de un 22 %.

Edenbergita ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$,,) dentro de los piroxeno con un contenido de un 4%

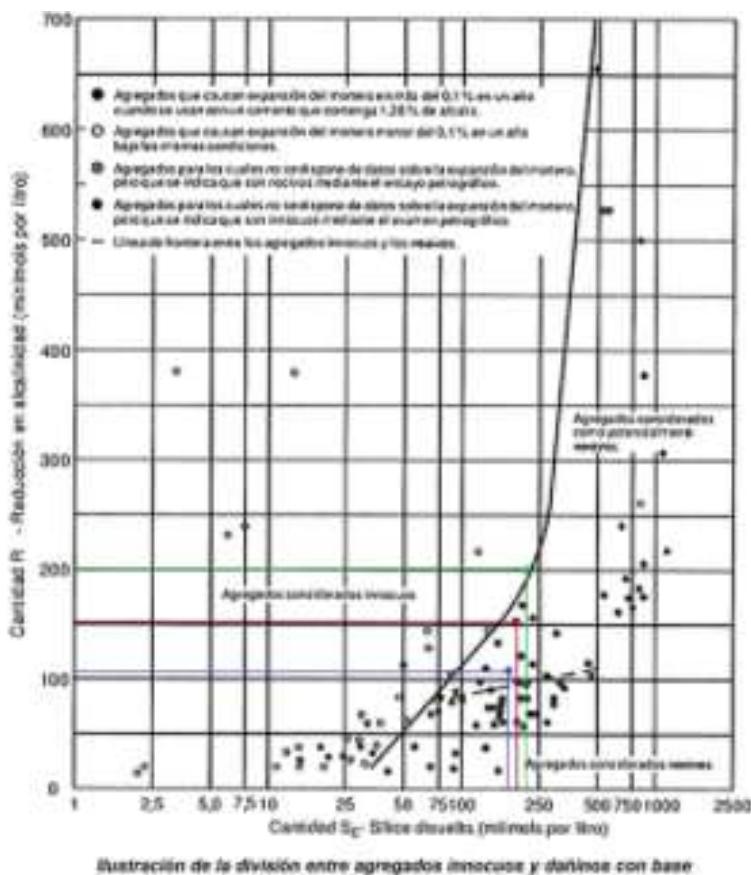
4.13.Solubilidad de la sílice

4.4.1. Sílice disuelta

Una particularidad en el concreto es la reacción álcalis – sílice (RAS); la cual causa un deterioro del concreto por una reacción química de los álcalis del cemento y la sílice reactiva presente en los agregados, creando un gel expansivo que retiene agua; el mismo que ejerce presión interna y desencadena en un agrietamiento y la degradación irreversible de la estructura del concreto. (Abraham López , 2023). Para categorizar su acción y efecto de reacción según la Norma ASTM C289 expresada en porcentaje; determina que se considera inocuo si los resultados que estima la reactividad del agregado, son menores de **0.10%**. En cambio, se considera reactivo y se necesita estudios adicionales si la reactividad esta entre **0.10% y 0.20%**; pero es **potencialmente reactivo** si es **mayor al 20 %**. según esta misma norma: el límite de contenido total de álcalis para el cemento suele ser de **0.6%** para prevenir estas reacciones.

4.4.2. Método de ensayo (ASTM C289). –Se sumerge el agregado en una solución de NaOH 1N a 80°C durante 24 horas; con el propósito de determinar la cantidad de sílice disuelta (Sc) y la reducción de la alcalinidad (Rc). Estos valores se llevan a un gráfico patrón para clasificar el agregado como inocuo, reactivo o potencialmente reactivo. Donde la masa de SiO_2 se deriva de la cantidad de NaOH que reaccionó con ella. y la comparación con el siguiente gráfico.

Figura 39: Resultados de reducción de alcalinidad vs sílice disuelta en agregado



Muestra 1	■
Muestra 2	■
Muestra 3	■

Referenciado Guía ASTM C 295

Tabla 29: Resultados de reducción de alcalinidad vs sílice disuelta en agregado.

Cantidad Sc vs Cantidad Rc			
	Muestra A	Muestra B	Muestra C
Sc (mmol/L)	220	245	210.5
Rc(mmol/L)	150	200	110

Fuente: Elaboración propia.

El ensayo químico fue realizado de acuerdo con la norma ASTM C 289-07, con el objetivo de evaluar el potencial reactivo de los agregados frente a la reacción álcali-sílice (ASR). En particular, se midieron dos parámetros clave para cada muestra: la cantidad de **sílice disuelta** (Sc) y la reducción de alcalinidad (Rc), ambos expresados en milimoles por litro (mmol/L).

La **Tabla 29** presenta los valores obtenidos para tres muestras de agregados (A, B y C).

La muestra B presentó el valor más alto tanto de Sc como de Rc, con **245 mmol/L de sílice disuelta y 200 mmol/L de reducción de alcalinidad**, lo que indica una posible reactividad significativa. En contraste, la muestra C mostró los valores más bajos, con **210,5 mmol/L de Sc y 110 mmol/L de Rc**, sugiriendo una menor propensión a reacciones expansivas.

La muestra A se ubicó en un rango intermedio, con 220 mmol/L de sílice disuelta y 150 mmol/L de reducción de alcalinidad.

Estos resultados permiten establecer una relación directa entre la cantidad de sílice disuelta y la reducción de alcalinidad: a mayor solubilización de sílice, se observa una mayor reducción de la alcalinidad de la solución, lo cual concuerda con el comportamiento esperado en agregados potencialmente reactivos.

4.5. Ensayos de expansión.

4.1. Contenido equivalente de álcalis del cemento.

Para la determinación del “contenido equivalente de álcalis del cemento” se realizó en función a la ecuación (20) y las características químicas de las dos marcas de cemento detalladas en las tablas 15 y 17. Para establecer el contenido equivalente de álcalis (%) se aplica los métodos de comportamiento de expansión en micro barras de hormigón y ultra acelerado de prismas de hormigón; como se indica en la tabla 30

Tabla 30: Resultados de reducción de alcalinidad vs sílice disuelta en agregado.

Tipo de cemento	Contenido equivalente de álcalis (%)
Guapán tipo GU	0.40558
Selva alegre tipo IP	2.21461

Fuente: Elaboración propia.

En la norma INEC es poco habitual que este porcentaje sea rigurosamente determinado; en contraste se considera para estos porcentajes las **recomendaciones del ACI (American Concrete Institute) y ASTM C150**, donde ese 0.60% es el umbral típico.

De acuerdo a la norma general ssegún la norma ASTM C150 y las recomendaciones del ACI (American Concrete Institute), el límite de contenido equivalente de álcalis en el cemento para controlar el riesgo de reacción álcali-sílice (RAS) es de 0.60% Na₂O equivalente.

El cemento Guapán tipo GU presenta un contenido de álcalis de 0.40558%, por debajo del umbral, lo que sugiere bajo riesgo potencial de RAS si se utilizan agregados reactivos.

El cemento Selva Alegre tipo IP tiene un contenido de álcalis de 2.21461%, muy por encima del límite, lo que indica un alto potencial de reactividad con agregados silíceos si no se toman medidas preventivas.

De acuerdo a la relación álcalis – sílice disuelta: La sílice disuelta en el agregado es el principal reactivo que puede generar gel expansivo al entrar en contacto con álcalis del cemento en presencia de humedad.

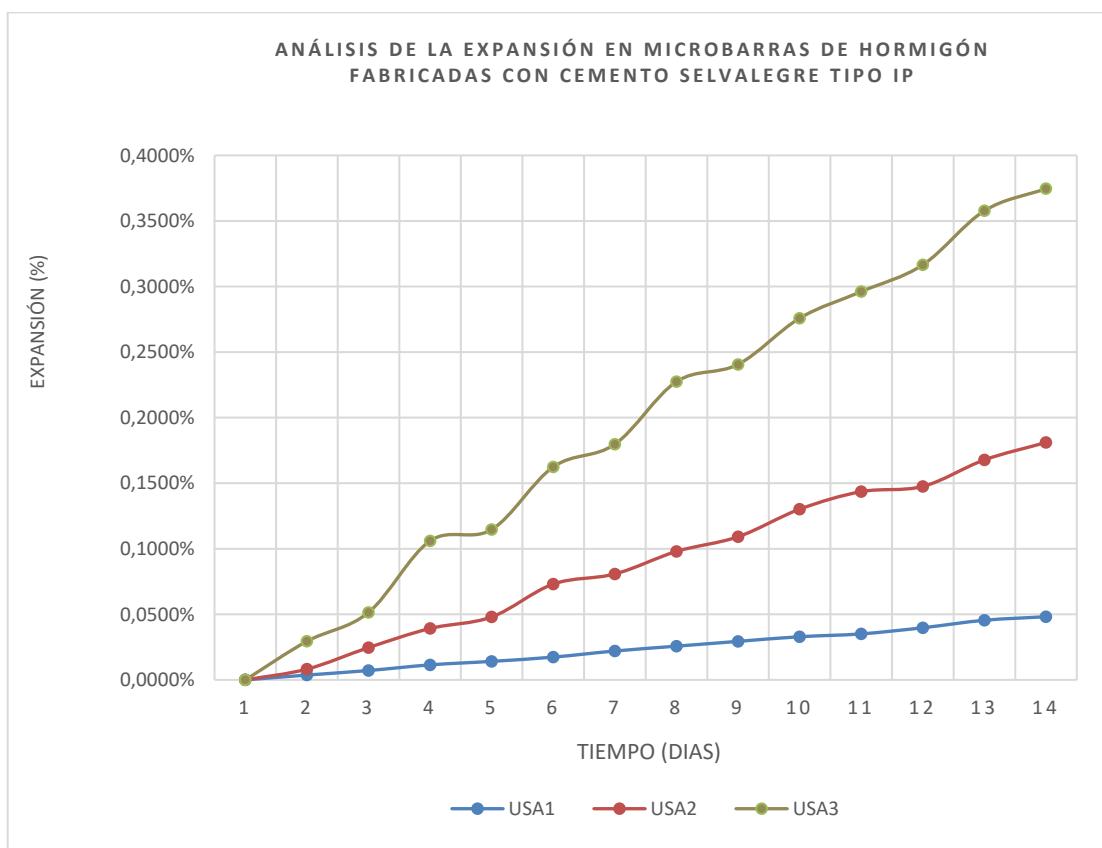
A mayor contenido de álcalis en el cemento, mayor riesgo de formación de geles expansivos si el agregado libera sílice en cantidad suficiente.

Por tanto, el cemento Selva Alegre representa una situación crítica, ya que su nivel de álcalis puede reaccionar fuertemente con agregados reactivos, mientras que el cemento Guapán representa un riesgo mucho menor o controlado.

4.2. Micro barras de hormigón

Aplicando el cemento Selva Alegre (USA) en el ensayo se tiene los resultados expresados en la figura 39.

Figura 40 Expansión de micro barras de hormigón con cemento Selva Alegre a 14 días



Fuente: Elaboración propia.

La muestra USA1 presentó una expansión de **0,0482%**, inferior al límite de **0,10%** establecido por la norma ASTM C1260. Por lo tanto, se concluye que **el cemento utilizado en esta mezcla no es reactivo y no representa un riesgo de reactividad álcali-sílice** en condiciones normales de uso.

Las muestras USA2 y USA3 alcanzaron valores de expansión de **0,1329%** y **0,1936%** respectivamente. Estos valores **superan el límite permitido de 0,10%**, lo que indica una **potencial reactividad álcali-sílice** en estas combinaciones de materiales.

El comportamiento expansivo de las muestras USA2 y USA3 sugiere que los agregados utilizados en dichas mezclas, o su interacción con el cemento, pueden ser susceptibles a reacciones deletéreas en presencia de álcalis, humedad y tiempo.

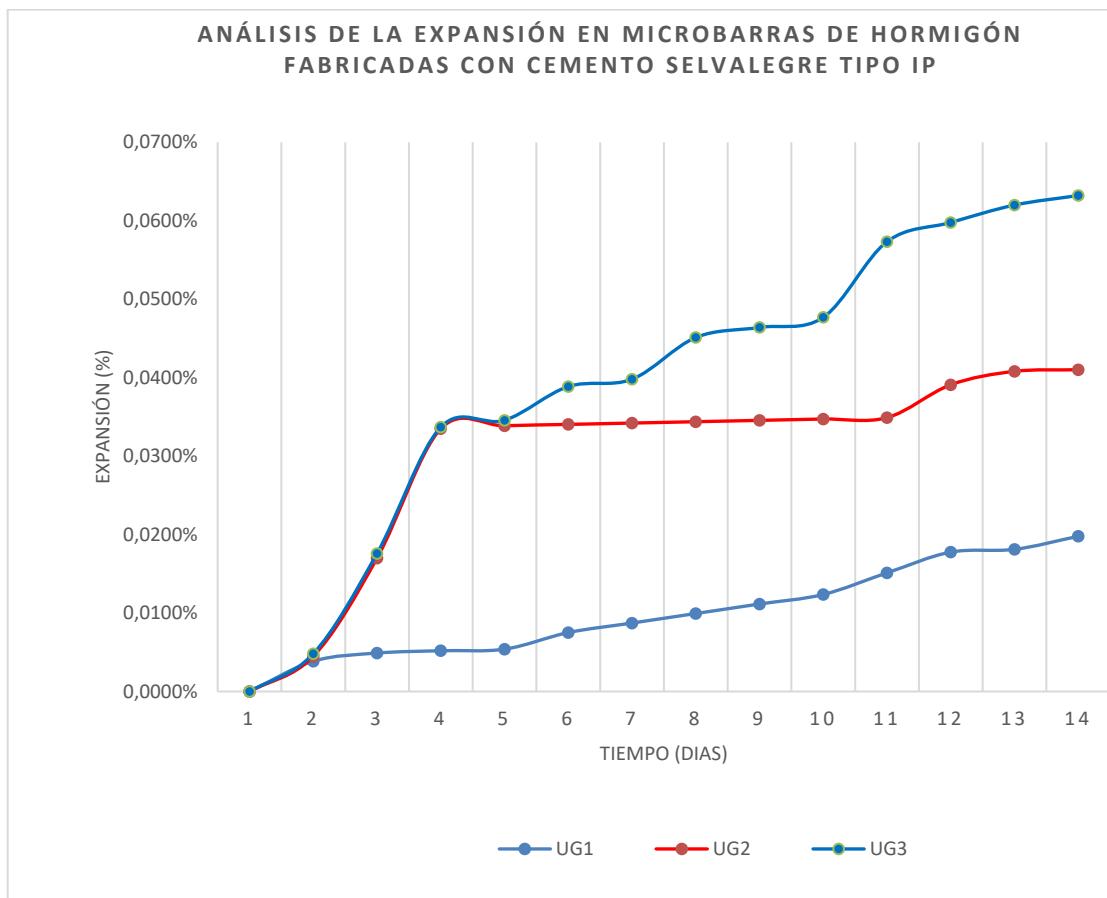
Se recomienda tomar medidas preventivas para las mezclas USA2 y USA3, tales como:

- Evaluar el uso de cementos con bajo contenido de álcalis.
- Incorporar materiales puzolánicos (como cenizas volantes o micro sílice para mitigar la expansión.

Realizar ensayos complementarios como el ASTM C1567 para validar la eficacia de las medidas mitigadoras.

Aplicando el cemento Guapán (UG) en el ensayo se tiene los resultados expresados en la figura 42.

Figura 41: Expansión de micro barras de hormigón con cemento Guapán a 14 días



Fuente: Elaboración propia.

Del análisis de la expansión en micro barras de hormigón fabricadas con cemento Guapán tipo UG1, UG2 y UG3, se concluye que el cemento UG1 presenta el mejor comportamiento frente a la reacción álcali-sílice, con una expansión final del 0,0198% a los 14 días, muy por debajo del límite establecido por la norma ASTM C1260. Esto indica que el UG1 es un cemento no reactivo y adecuado para su uso en estructuras donde se requiere alta durabilidad.

Por otro lado, el cemento UG2 alcanzó una expansión de 0,0410%, lo que lo clasifica como potencialmente reactivo. Aunque aún se encuentra dentro de los límites permisibles, podría requerir medidas de mitigación, como el uso de adiciones minerales (puzolanas) para reducir el riesgo de deterioro por expansión.

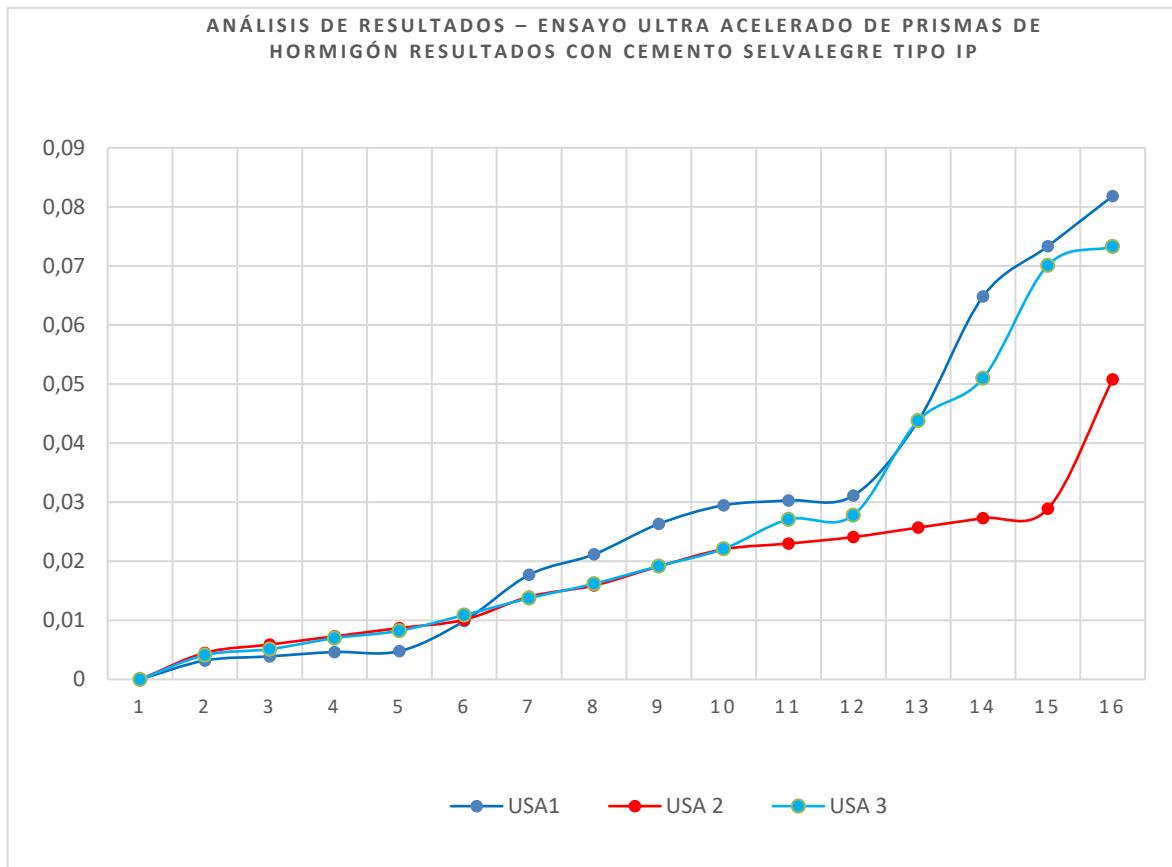
Finalmente, el cemento UG3 mostró la mayor expansión con un valor de 0,0632%, lo que evidencia una mayor susceptibilidad a la reacción álcali-sílice. Si bien no supera el límite crítico del 0,10%, su comportamiento expansivo sugiere un mayor riesgo de deterioro, por lo que no se recomienda su uso sin previa evaluación y aplicación de medidas preventivas.

4.3. Análisis de Resultados – Ensayo Ultra Acelerado de Prismas de Hormigón

El ensayo se realiza con el propósito de identificar el potencial de expansión de hormigón ocasionada por una reacción química entre el álcali del cemento y el sílice del agregado; y una vez identificada dicha relación se pueda adoptar medidas preventivas para el control en la elaboración del hormigón acortando los plazos empleados en otros métodos convencionales.

El ensayo ultra acelerado de prismas de hormigón se realizó con el objetivo de evaluar la posible reactividad álcali-agregado en mezclas con dos tipos de cemento: Selvalegre IP y Guapán GU. Las muestras fueron sometidas a una temperatura constante de 80 °C y expuestas a soluciones alcalinas de NaOH y KOH durante un período de 16 días. El límite de expansión considerado como umbral para riesgo significativo fue de 0.1%..

Figura 42: Análisis de resultados de ensayo ultra acelerado de prismas de hormigón resultados con cementos Selva Alegre, tipo IP.



Fuente: Elaboración propia.

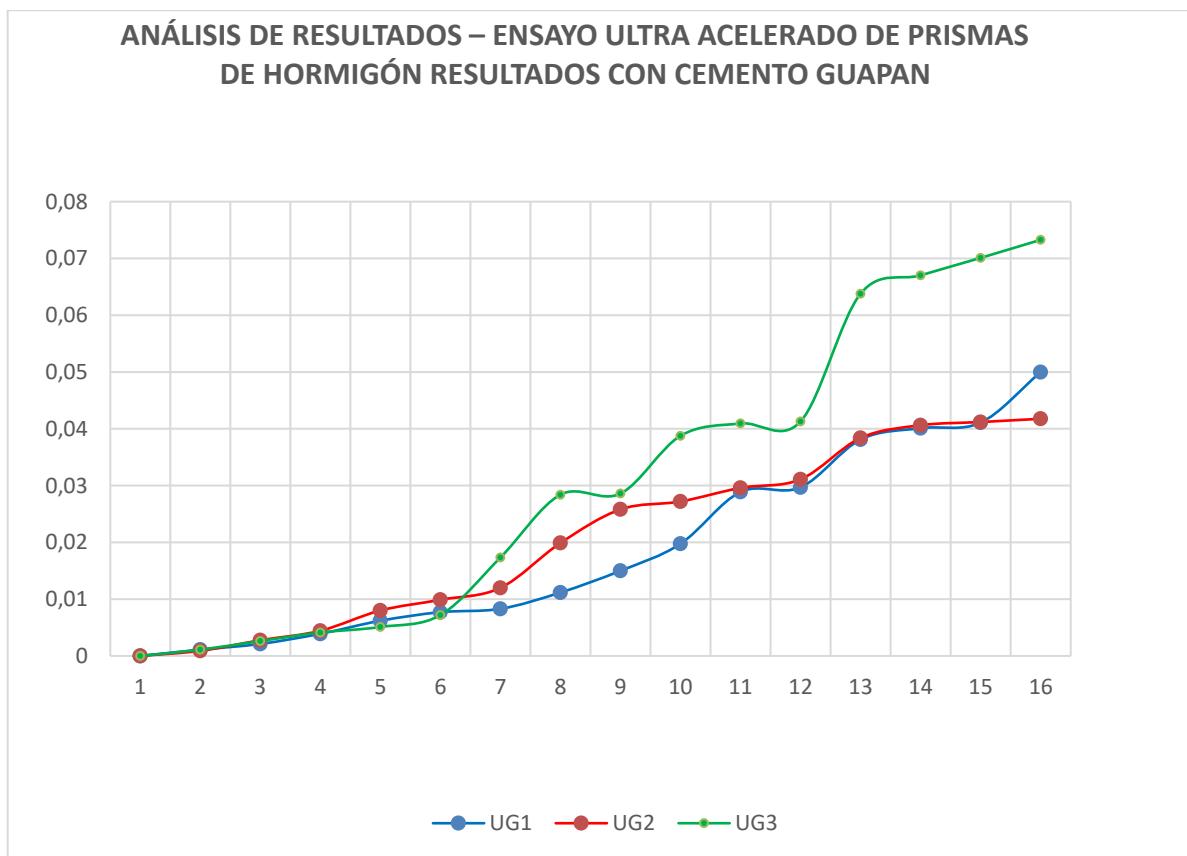
En la figura 41 se presentan los resultados de expansión para tres prismas elaborados con cemento tipo IP: US1, US2 y US3. Todos los prismas mostraron una expansión continua a lo largo del ensayo, aunque con diferencias marcadas en su comportamiento individual.

El prisma US1 presentó una expansión inicial moderada, con un aumento más pronunciado a partir del día 10, alcanzando una expansión final de 0.0727%. US2 mostró un crecimiento más lento y estable durante todo el periodo, alcanzando 0.0496% al día 16. Por su parte, el prisma

US3 evidenció el comportamiento más reactivo, con una expansión acelerada desde el día 6 y alcanzando el valor más alto de los tres: 0.0795%.

A pesar de estas diferencias, todos los prismas se mantuvieron por debajo del límite de 0.1%, lo que indica que el cemento tipo IP, en combinación con los agregados utilizados, no representa un riesgo significativo de reactividad álcali-agregado bajo las condiciones del ensayo.

Figura 43 Análisis de resultados de ensayo ultra acelerado de prismas de hormigón resultados con cementos Selva Alegre, tipo IP.



Fuente: Elaboración propia.

La figura 42 muestra los resultados correspondientes a los prismas UG1, UG2 y UG3, elaborados con cemento tipo GU. El comportamiento observado fue similar al de los prismas con cemento tipo IP, aunque con algunas variaciones en la evolución de la expansión. UG1 inició con una expansión más lenta, pero a partir del día 10 mostró un aumento más acelerado, alcanzando 0.0727% al final del periodo. UG2 presentó la menor expansión de los tres, con un crecimiento gradual hasta llegar a 0.0496%. En contraste, UG3 tuvo una expansión notable desde el principio del ensayo, particularmente a partir del día 6, y finalizó con el mayor valor del grupo: 0.0795%.

Al igual que con los prismas del cemento tipo IP, ninguno de los valores obtenidos superó el umbral del 0.1%, lo que confirma la ausencia de una reactividad álcali-agregado preocupante en estos casos.

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES

- La delimitación del área de estudio, centrada en un tramo de 1 km del río Upano, responde a criterios geoespaciales y geológicos que permiten una caracterización representativa del material pétreo. Debido a la dinámica fluvial y los procesos erosivos y sedimentarios constantes, el área efectiva de muestreo se reduce a 40 hectáreas, priorizando zonas de acumulación activa.

El enfoque de muestreo aleatorio, ajustado a condiciones de campo variables, garantiza la representatividad del material recolectado. Se aplica un protocolo técnico basado en normas nacionales (NTE INEN 695:2010) e internacionales (ASTM), asegurando la validez de los datos obtenidos para análisis físico-mecánicos y químicos. Esta metodología permite una evaluación rigurosa del potencial constructivo del material, dentro de un marco académico sólido y replicable.

- La caracterización del material pétreo recolectado en el lecho del río Upano, en los sectores de Teniente Hugo Ortiz y La Barranca, fue realizada mediante una rigurosa campaña de muestreo, procesamiento y ensayos de laboratorio, con el objetivo de evaluar sus propiedades físicas, mecánicas y mineralógicas para determinar su idoneidad en aplicaciones estructurales y no estructurales dentro del sector de la construcción.

A partir de un área efectiva de muestreo de 40 hectáreas, se recolectaron 45 muestras codificadas como MUP, de las cuales se seleccionaron submuestras para análisis específicos. Las propiedades físicas evaluadas incluyeron densidad, absorción, abrasión y distribución granulométrica, conforme a normativas técnicas nacionales e internacionales

(INEN, ASTM). Los resultados indicaron que tanto los agregados finos como gruesos cumplen con los rangos exigidos por las normativas, destacándose por sus densidades relativas dentro de los márgenes recomendados y por sus bajos niveles de absorción de agua, especialmente en el agregado fino (0.60 %).

Respecto a la abrasión, las pérdidas por desgaste obtenidas en las muestras MUPA 1 y MUPA 2 (19,98 % y 21,06 % respectivamente) están muy por debajo del límite máximo del 50 % establecido por la INEN 860, lo cual evidencia una buena resistencia mecánica del material frente al desgaste, haciéndolo apto para mezclas de concreto sometidas a cargas mecánicas o fricción.

En cuanto a la distribución granulométrica, tanto los agregados gruesos como los finos presentaron curvas continuas y bien graduadas, con una alta transitabilidad del material a través de los tamices, cumpliendo con los criterios de gradación definidos por la norma ASTM C33. Este aspecto confirma la viabilidad del uso del material como parte de diseños de mezcla optimizados para concreto estructural.

- La caracterización mineralógica complementaria, mediante análisis petrográfico (láminas delgadas) y ensayos de FRX y DRX, reveló que el material tiene una fuerte presencia de andesina (plagioclasa) y piroxenos como diópsido y edenbergita, además de opacos como la magnetita. Esta composición mineralógica sugiere un origen volcánico y confiere al material una buena estabilidad mecánica, resistencia al desgaste y adecuada durabilidad frente a condiciones ambientales variables.

En conjunto, los resultados obtenidos demuestran que el material pétreo del río Upano posee características físicas, mecánicas y mineralógicas compatibles con los

requisitos técnicos para su uso en obras de ingeniería civil, en especial en la producción de concreto estructural. Su calidad, resistencia al desgaste, distribución granulométrica favorable y composición mineralógica lo convierten en un recurso viable y técnicamente adecuado para su aprovechamiento sostenible en el sector de la construcción.

Para evaluar el potencial uso del material pétreo en función de sus propiedades físico-mecánicas se ha escogido la rama de la construcción preferentemente en la fabricación de concretos en la cual en los diferentes ensayos se concluye que la edenbergita ($\text{CaFeSi}_2\text{O}_6$) con un contenido del 4% en los agregados de concreto puede ser considerada como potencialmente reactiva frente a los álcalis del cemento, especialmente si se utilizan cementos con alto contenido de álcalis (como el Selva Alegre).su presencia no representa un riesgo significativo de RAS si se emplean cementos de bajo contenido de álcalis (como Guapán).

No obstante, en combinación con álcalis elevados, la sílice presente en los piroxenos puede participar en reacciones expansivas capaces de degradar la estructura del concreto a mediano o largo plazo.se recomienda realizar una caracterización petrográfica detallada de los agregados y emplear estrategias de mitigación (uso de puzolanas, cementos con bajo Na_2O eq, etc.) en casos donde no se pueda evitar la presencia de edenbergita.

Anexo1*Anexo 1 Resultados de Laboratorio UCEM***LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD - UCEM S.A****PLANTA CHIMBORAZO****RCC-LB- 008 f- GL****MUESTRA : Pétreos**

PARA: Marco Mejia, Julio López		
ANALISIS QUÍMICO - XRD		
Minerales	Composición	MFUP1
Kaolinite (%)	%	1,71
Hematite (%)	%	4,81
Goethite (%)	%	5,32
Anatase (%)	%	0,93
Rutile (%)	%	0,03
Calcite (%)	%	0,08
Quartz (%)	%	2,18
Albite (%)	%	1,03
Anorthite (%)	%	3,06
Andesine (%)	%	61,09
Diopside (%)	%	19,22
Dolomite (%)	%	0,19
Hornblende (%)	%	0,35
Humedad (%)	%	5,32
ANALISIS QUÍMICO - FRX		
COMPUESTO		Composición
Dióxido de Silicio	SiO ₂	%
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	%
Oxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	%
Oxido de Calcio	CaO	%
Oxido de Magnesio	MgO	%
Oxido de Sodio	Na ₂ O	%
Oxido de Potasio	K ₂ O	%
Anhidrido Sulfúrico	S ₂ O ₃	%
Oxido de Titanio	TiO ₂	%
Observaciones:		
REALIZADO POR :		
Gabriel García		
Fecha:		
APROBADO POR:		
DARWIN NUÑEZ		
Fecha:	Jefe de Control de Calidad	
Nota: no está permitido la reproducción del reporte de análisis y ensayos sin la debida autorización		

Anexo2

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD - UCEM S.A
PLANTA CHIMBORAZO
RCC-LB- 008 f- GL**

MUESTRA : Pétreos

PARA: Marco Mejia, Julio López		
ANALISIS QUÍMICO - XRD		
Minerales	Composición	MFUP
		2
Kaolinite (%)	%	0,77
Hematite (%)	%	4,25
Goethite (%)	%	5,41
Anatase (%)	%	0,88
Rutile (%)	%	0,02
Calcite (%)	%	0,06
Quartz (%)	%	3
Albite (%)	%	0,97
Anorthite (%)	%	3,01
Andesine (%)	%	62,01
Diopside (%)	%	19,25
Dolomite (%)	%	0,08
Hornblende (%)	%	0,29
Humedad (%)	%	4,75
ANALISIS QUÍMICO - FRX		
COMPUESTO	Composición	
Dióxido de Silicio	SiO ₂	%
Oxido de Aluminio	Al ₂ O ₃	%
Oxido de Hierro	Fe ₂ O ₃	%
Oxido de Calcio	CaO	%
Oxido de Magnesio	MgO	%
Oxido de Sodio	Na ₂ O	%
Oxido de Potasio	K ₂ O	%
Anhidrido Sulfúrico	S ₂ O ₃	%
Oxido de Titanio	TiO ₂	%
Observaciones:		
REALIZADO POR :		
Gabriel García		
Fecha:		
APROBADO POR:		
DARWIN NUÑEZ		
Fecha:	JEFE DE CONTROL DE CALIDAD	
Nota: no está permitido la reproducción del reporte de análisis y ensayos sin la debida autorización		

Bibliografía

- Abraham López , M. (2023). *Metodología para la determinación de la reacción álcali-sílice (RAS)*. Querétaro, México.
- Alfredo, A. (2010). *Sedimentología. Del proceso físico a la cuenca sedimentaria*. Madrid: CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS.
- andines, I. f. (2010). La superficie mera-upano: marcador geomorfológico de la incisión fluvial y del levantamiento tectónico de la zona subandina ecuatoriana. *Open edition*, 70 - 72.
- ANEFA. (2020). *Manual de Aridos y Pétreos* . Madrid: Politecnica de Madrid.
- Asamblea Constituyente. (2008). 148. Obtenido de
http://www.wipo.int/wipolex/es/text.jsp?file_id=195600
- ASOBANCA. (2022). *GUÍA DE MINAS Y CANTERAS DE MATERIALES PETREOS*. Quito: CEER.
- Baldock, J. (1982). *Geología del Ecuador: Boletín de Explicación del Mapa geológico de la República del Ecuador, Esc. 1:1.000.000*. Quito - Ecuador: Ministerio de Recursos Naturales y Energéticos, Dirección General de Geología y Minas.
- Bowles, J. (1981). *MANUAL DE LABORATORIO DE SUELOS EN INGENIERÍA CIVIL*. Ciudad de México: McGRAW-HILL.
- Braja, D. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. México, D.F.: International Thomson Editories, S.A.

Direccion General de desarrollo minero. (Agosto 2015). Estudio de la cadena productiva de los materiales pétreos. Mexico.

García Rodríguez, M. (2012). El modelado fluvial. Procesos de erosión, transporte y sedimentación fluvial. Formas resultantes. Riesgos de avenidas e inundación: medición, predicción y prevención. Los fenómenos de ladera. Riesgos asociados a estos fenómenos: medición, predicción y pr. *ResearchGate*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/263925569_El_modelado_fluvial_Procesos_de_erosion_transporte_y_sedimentacion_fluvial_Formas_resultantes_Riesgos_de_avenidas_e_inundacion_medicion_prediccion_y_prevencion_Los_fenomenos_de_ladera_Riesgos_asociado

González de Vallejo, L. (2002). *INGENIERÍA GEOLÓGICA*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

Herrara, J. (2006). *Métodos de minería a cielo abierto*. Madrid.

Herrera, J. (2007). *Diseño de Explotaciones de Cantera*. Madrid.

INEN. (2010). *Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2 566:2010*. Quito Ecuador: Nacional.

Informe Técnico Produccion y Consumo de Explosivos Grumintor S.A. (2017). En D. T. S.A., *Produccion y Consumo de Explosivos Grumintor S.A.* Ponce Enriquez.

INIAP. (Junio de 2020). www.researchgate.net.

INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN. (20 de Mayo de 2011). *INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN*. Obtenido de NTE INEN 863:2011: ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DE LA SOLIDEZ DE LOS ÁRIDOS MEDIANTE EL USO DE

SULFATO DE SODIO O DE SULFATO DE MAGNESIO:

<https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/863.pdf>

INTITUTO GEOFÍSICO DE LA POLITÉCNICA NACIONAL. (14 de Noviembre de 2019).

Instituto Geofísico - EPN. Obtenido de INFORME ESPECIAL DEL VOLCÁN

SANGAY N°5 - 2019: <https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1762-informe-especial-del-volcan-sangay-n-5-2019>

Keller, E., & Blodgett, R. (2004). *Riesgos naturales. Procesos de la Tierra como riesgos, desastres y catástrofes.* Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.

León, M. (2017). *Dspace.* Obtenido de Uazuay: <https://dspace.uazuay.edu.ec/handle/datos/6855>

Llivilsaca, A. J. (2023). diseño de Explotación para la Cantera Municipal Perteneciente a la Parroquia Macas, en el Cantón Morona, Provincia de Morona Santiago. *Polo de conocimiento*, 33.

López, B. &. (1997).

M., A. V. (2018). *ACADEMIA.* Obtenido de OPERACIÓN DE VOLADURA SUBTERRANEA: http://www.academia.edu/6322505/OPERACI%C3%93N_DE_VOLADURA_SUBTERANEA

Maná Esbert, R., Ordaz, J., & Alonso, F. J. (2007). Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos. En *Manual de diagnosis y tratamiento de materiales pétreos y cerámicos.* Barcelona: Col.legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Barcelona .

- Martín, I. g. (2010). *ESTUDIO SOBRE ÁRIDOS: geología, legislación, medio ambiente, normativa, explotación y .* Granada: Explorer.
- Medina González,, H., & García Coronado, J. (2007). El método del hidrómetro: base teórica para su empleo en la determinación. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 19 - 24.
- Medina, V. (2016). *Geoxnet.* Obtenido de <https://post.geoxnet.com/codigo-jorc-recursos-y-reservas-minerales/>
- Nieto, A. S. (2015). Geología general del Nor Oriente Ecuatoriano.. . Illinois: Departamento de Geología Universidad de Illinois urbana.
- Patrice,, B., Rivadeneira, M., & Barragan, R. (2018). La cuenca oriente geología y petróleo. Quito: Editores científicos.
- Pedro, Q. B. (2022). *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.* Macas: ESPOCH.
- Pozo, M., González , J., & Giner, J. (2004). *Geología Práctica: Introducción al reconocimiento de materiales y análisis de mapas.* Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.
- Pulla. (2013).
- Quintuña, P. (2021). Macas.
- Quintuña, P. (2021). *Dspace.* Obtenido de Espoch:
<http://dspace.esepoch.edu.ec/handle/123456789/10760>
- Quintuña, P. N. (2019). *Estudio barimétrico y de capacidad de reposición natural de material pétreo para la aplicación de un manejo de explotación.* Macas: Editorial Politécnica.

Ramirez. (2009). *Metodología para estimar los volúmenes máximos de explotación de materiales de arrastre en un río*. Obtenido de
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291323541006>

Ramos Alfaro, O. F. (2009). CALIBRACIÓN DE HIDRÓMETROS CON EL USO DE UN SISTEMA SEMI-AUTOMATIZADO DE AJUSTE Y DE ADQUISICIÓN DE DATOS. *Ingenieria*, 34-45.

Reyes Barrera, C. d. (2021). *OPTIMIZACIÓN DE LOS PROCESOS DE EXPLOTACIÓN EN LA ZONA MINERA DE ÁRIDOS Y PÉTREOS DEL RÍO UPANO*. Macas: ESPPOCH.

Sánchez de Guzmán, D. (2001). *TECNOLOGÍA DEL CONCRETO Y DEL MORTERO*. Bogotá: BHANDAR EDITORIES.

SÁNCHEZ, G. J. (s.f.). *APOYO DIDÁCTICO EN LA ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE DE LA*.

Tarbuck, E., & Lutgens, F. (2013). *Ciencias de la Tierra: Una introducción a la geología física* (Décima ed.). Madrid: PEARSON EDUCACIÓN, S.A.