



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

**PROSPECCIÓN DE MATERIAL ROCOSO**  
**ORNAMENTAL Y DETERMINACIÓN DE SU POTENCIAL**  
**EXTRACTIVO EN LA PARROQUIA COPAL DEL CANTÓN**  
**SANTIAGO DE MÉNDEZ**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MINAS**

**AUTOR**

**JORGE LUIS LEMA DUTÁN**

Macas - Ecuador

2022



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

**PROSPECCIÓN DE MATERIAL ROCOSO**  
**ORNAMENTAL Y DETERMINACIÓN DE SU POTENCIAL**  
**EXTRACTIVO EN LA PARROQUIA COPAL DEL CANTÓN**  
**SANTIAGO DE MÉNDEZ**

**Trabajo de Integración Curricular**

**Tipo:** Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN MINAS**

**AUTOR:** JORGE LUIS LEMA DUTAN

**DIRECTOR:** Ing. MARCO ANTONIO MEJÍA FLORES Mgs.

Macas - Ecuador

2022

**©2022, Jorge Luis Lema Dutan**

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

Yo, JORGE LUIS LEMA DUTAN, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Macas, 02 febrero de 2022



**Jorge Luis Lema Dutan**

**030209259-8**

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

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular: Tipo: Proyecto Técnico, **PROSPECCIÓN DE MATERIAL ROCOSO ORNAMENTAL Y DETERMINACIÓN DE SU POTENCIAL EXTRACTIVO EN LA PARROQUIA COPAL DEL CANTÓN SANTIAGO DE MÉNDEZ**, realizado por el señor: **JORGE LUIS LEMA DUTÁN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Jefferson Andrés Carranco López Mgs. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>JEFFERSON ANDRES CARRANCO LOPEZ</b>	2022-02-02
Ing. Marco Antonio Mejía Flores Mgs. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>MARCO ANTONIO MEJIA FLORES</b>	2022-02-02
Ing. David Isaac Cuenca Gualán Mgs. <b>MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	 Firmado electrónicamente por: <b>DAVID ISAAC CUENCA</b>	2022-02-02

## **DEDICATORIA**

Dedico la elaboración del presente documento a mi madre María Dutan, quien me dio la vida y ha sido la inspiración para superarme día a día, brindándome apoyo incondicional durante mi trayectoria académica, por apoyarme para finalizar la carrera de Minas, una meta que me sirve para aportar a la sociedad, la patria y mi futuro, por apoyarme en todo momento tanto en mis tropiezos y aciertos dentro y fuera de las aulas.

A mis tíos, primos y abuela, que siempre me brindaron apoyo emocional alentándome en cada paso de mi formación. Les doy las gracias por haber compartido conmigo parte de su conocimiento y sus valiosos consejos para formarme como un profesional de valores.

Finalmente, dedico esta tesis a mis amigos, compañeros de trabajo y accionistas de la Compañía de Transporte Mixto Transabanico S.A. porque me dieron la oportunidad de guiar la empresa y fortalecer mis dones como liderazgo, trabajo en equipo y compañerismo.

**Jorge**

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi agradecimiento a todos los docentes que han aportado a mi formación académica, personal y laboral, compartiendo sus conocimientos, técnicas, habilidades y valores que han forjado la consecución de mis metas académicas, en especial a mi director del Proyecto de Integración Curricular el Ing. Marco Mejía, que me ha brindado su apoyo incondicional durante el desarrollo de la presente investigación y previamente siendo mi docente, pues con su dedicación y apoyo supo impulsar mi formación y afecto por la minería.

Al Ing. MCs. David Granja y a la Ing. Elsa Carrillo exdocentes de la institución, así como también a la Ing. MCs. Jenny Granja, a quienes admiré por su excelente calidad de docencia y cuentan con mi eterna gratitud y respeto; siempre han estado pendientes de mi progreso académico aportando con sus sugerencias, consejos e ideas.

Asimismo, agradezco a la población de la parroquia Copal, lugar donde se enfocó la presente investigación que, con su amabilidad y sin reservas, me abrieron las puertas brindándome las facilidades necesarias, en especial al Sr. Ramiro Rojas, Presidente del Gad Parroquial Rural de Copal y su esposa, Sra. Carmita Villavicencio que, conjuntamente con su distinguida familia organizaron visitas y compartieron sus conocimientos y trayectoria para conocer el procedimiento de extracción, transporte y desarrollo de la actividad extractiva.

**Jorge**

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS .....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xiv
RESUMEN .....	xv
ABSTRACT .....	xvi
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Planteamiento del Problema.....	3
1.3. Justificación del Proyecto .....	3
1.4. Objetivos .....	4
1.4.1. <i>Objetivo General</i> .....	4
1.4.2. <i>Objetivo Específico</i> .....	4
1.5. Planteamiento de la Hipótesis.....	4
1.6. Generalidades .....	5
1.6.1. <i>Ubicación geográfica del área de estudio</i> .....	5
1.6.1.1. <i>Coordenadas geográficas de afloramientos prospectados</i> .....	6
1.6.2. <i>Accesibilidad</i> .....	6
1.6.3. <i>Clima</i> .....	6
1.6.4. <i>Relieve</i> .....	6
1.6.5. <i>Características Generales del área de Estudio</i> .....	7

### CAPÍTULO II

<b>2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS .....</b>	<b>8</b>
2.1. Geología regional .....	8
2.1.1. <i>Formación Napo (KN)</i> .....	9
2.1.2. <i>Metamórficos indiferenciados (MI)</i> .....	9
2.1.3. <i>Suelos residuales (QSR)</i> .....	9

2.1.4.	<i>Depósitos coluviales (Qc)</i> .....	9
2.1.5.	<i>Depósitos aluviales (Qal)</i> .....	9
2.2.	<b>Geología Local</b> .....	9
2.2.1.	<i>Cuarcitas</i> .....	10
2.2.2.	<i>Esquistos verdes</i> .....	10
2.2.3.	<i>Filitas, pizarras y esquistos grafiticos</i> .....	10
2.2.4.	<i>Coluviales</i> .....	11
2.2.5.	<i>Coluviales Copal (Qc Co)</i> .....	11
2.2.6.	<i>Coluviales rojos</i> .....	12
2.2.7.	<i>Aluviales</i> .....	12
2.3.	<b>Geología Estructural</b> .....	12
2.3.1.	<i>Geodinámica que afecta el área de estudio</i> .....	12
2.3.1.1.	<i>Deslizamiento el Copal – Da1</i> .....	13
2.4.	<b>Rocas Naturales y su Clasificación</b> .....	13
2.4.1.	<b>Rocas Ígneas</b> .....	14
2.4.1.1.	<i>Rocas intrusivas (plutónicas)</i> .....	14
2.4.1.2.	<i>Rocas hipobisales (filonianas)</i> .....	15
2.4.1.3.	<i>Rocas extrusivas (volcánicas)</i> .....	15
2.4.2.	<b>Rocas Sedimentarias</b> .....	15
2.4.3.	<b>Rocas Metamórficas</b> .....	15
2.5.	<b>Rocas Ornamentales</b> .....	17
2.5.1.	<i>Usos de la roca ornamental</i> .....	18
2.5.2.	<i>Clasificación comercial</i> .....	19
2.5.2.1.	<i>Granito</i> .....	21
2.5.2.2.	<i>Mármoles y Calizas Marmóreas</i> .....	21
2.5.2.3.	<i>Pizarras</i> .....	21
2.5.2.4.	<i>Otras</i> .....	23
2.5.3.	<b>Características</b> .....	23
2.5.3.1.	<i>Aspectos ligados a la explotación</i> .....	25
2.5.4.	<b>Valoración de las aplicaciones de las pizarras comerciales</b> .....	27
2.5.4.1.	<i>Innovaciones</i> .....	27
2.5.5.	<b>Criterios Tecnológicos</b> .....	28
2.6.	<b>Prospección Geológica</b> .....	30
2.6.1.	<b>Prospección geológica de no metálicos de aplicación industrial</b> .....	30
2.6.1.1.	<i>Identificación y reconocimiento estético visual</i> .....	31
2.7.	<b>Ensayos de calidad de materiales</b> .....	31

2.7.1.	<i>Propiedades mecánicas</i> .....	31
2.7.1.1.	<i>Resistencia a la compresión simple</i> .....	32
2.7.1.2.	<i>Ensayo de carga puntual</i> .....	33

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	34
3.1.	<b>Metodología de Estudio</b> .....	34
3.1.1.	<i>Técnicas</i> .....	34
3.1.2.	<i>Herramientas y materiales</i> .....	35
3.1.3.	<i>Procedimiento</i> .....	35
3.1.3.1.	<i>Recopilación de información</i> .....	35
3.1.3.2.	<i>Planificación</i> .....	36
3.1.3.3.	<i>Trabajo de campo</i> .....	36
3.1.1.4.	<i>Selección del material de interés</i> .....	36
3.1.1.5.	<i>Pruebas básicas de calidad comercial de las pizarras</i> .....	36
3.1.1.6.	<i>Interpretación</i> .....	37
3.2.	<b>Desarrollo de los trabajos de campo</b> .....	37
3.2.1.	<i>Ubicación, descripción y muestreo de afloramientos</i> .....	37
3.2.2.	<i>Descripción macroscópica de muestras en afloramientos</i> .....	38
3.2.3.	<i>Selección de las pizarras</i> .....	38
3.3.	<b>Ensayos mecánicos y tecnológicos con pizarras</b> .....	39
3.3.1.	<i>Tratamiento previo</i> .....	39
3.3.2.	<i>Ensayo de carga puntual</i> .....	39
3.3.3.	<i>Índice de campo</i> .....	40
3.4.	<b>Criterios Tecnológicos para la Selección de Rocas Ornamentales</b> .....	41
3.4.1.	<i>Presencia de sulfuros y carbonatos</i> .....	41
3.4.2.	<i>Espesor de las placas</i> .....	42
3.4.3.	<i>Tratamientos posteriores</i> .....	42

### CAPÍTULO IV

4.	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	43
4.1.	<b>Desarrollo de la Prospección</b> .....	43
4.1.1.	<i>Descripción de afloramientos</i> .....	43
4.1.1.1.	<i>Afloramiento 1</i> .....	44

4.1.1.2.	<i>Afloramiento 2</i> .....	45
4.1.1.3.	<i>Afloramiento 3</i> .....	46
4.1.1.4.	<i>Afloramiento 4</i> .....	46
4.1.1.5.	<i>Afloramiento 5</i> .....	48
4.1.1.6.	<i>Afloramiento 6</i> .....	49
4.1.2.	<i>Caracterización de las muestras del VISÚ</i> .....	50
4.2.	<b>Resultados de la Caracterización Físico-Estético</b> .....	53
4.2.1.	<i>Explotabilidad de las pizarras</i> .....	53
4.2.1.1.	<i>Espesor comercial mínimo</i> .....	54
4.2.2.	<i>Tabulación de resultados del índice de carga puntual</i> .....	54
4.2.2.1.	<i>Correlación entre el índice de carga y la Resistencia a la compresión uniaxial</i> .....	56
4.2.3.	<i>Acabados y elaborados de pizarras</i> .....	56
4.2.3.1.	<i>Tratamientos superficiales</i> .....	57
4.2.3.2.	<i>Usos de la pizarra en Copal</i> .....	58
4.3.	<b>Discusión y Propuesta</b> .....	59
4.3.1.	<i>Recubrimiento de paredes y enchape</i> .....	61
4.3.2.	<i>Tratamiento posterior recomendable</i> .....	61
<b>CONCLUSIONES</b> .....		62
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		64
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-1:</b>	Coordenadas UTM de afloramientos prospectados.....	6
<b>Tabla 1-2:</b>	Clasificación de las Rocas Naturales.....	14
<b>Tabla 2-2:</b>	Rocas metamórficas y sus características .....	16
<b>Tabla 3-2:</b>	Usos de rocas ornamentales en la industria .....	19
<b>Tabla 4-2:</b>	Relación entre denominaciones geológicas y comerciales .....	20
<b>Tabla 5-2:</b>	Características tecnológicas de rocas ornamentales. ....	24
<b>Tabla 6-2:</b>	Factores que afectan a la roca y afloramientos	26
<b>Tabla 1-3:</b>	Materiales de gabinete y campo.....	35
<b>Tabla 2-3:</b>	Índice de resistencia de campo.....	41
<b>Tabla 1-4:</b>	Ficha descriptiva de A1 .....	44
<b>Tabla 2-4:</b>	Ficha descriptiva de A2.....	45
<b>Tabla 3-4:</b>	Ficha descriptiva de A3.....	46
<b>Tabla 4-4:</b>	Ficha descriptiva de A4.....	47
<b>Tabla 5-4:</b>	Ficha descriptiva de A5.....	48
<b>Tabla 6-4:</b>	Ficha descriptiva de A5.....	49
<b>Tabla 7-4:</b>	Caracterización petrográfica del VISÚ.....	50
<b>Tabla 8-4:</b>	Resultados del índice de carga puntual.....	55
<b>Tabla 9-4:</b>	Resultados del índice de carga puntual.....	56
<b>Tabla 10-4:</b>	Resultados del índice de carga puntual.....	57
<b>Tabla 11-4:</b>	Elementos en que se usan las pizarras en Copal .....	58

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-1:</b>	Mapa de ubicación del área de estudio .....	5
<b>Figura 1-2:</b>	Geología Regional de la Parroquia Copal.....	8
<b>Figura 2-2:</b>	Rocas Ornamentales Representativas .....	17
<b>Figura 3-2:</b>	Escudo de Copal tallado en roca ornamental. ....	18
<b>Figura 4-2:</b>	Tonalidades de pizarras.....	22
<b>Figura 5-2:</b>	Esquema de producto obtenido en fases de producción.....	25
<b>Figura 6-2:</b>	Tipos de Mampostería.....	28
<b>Figura 7-2:</b>	Escenario en coliseo en Copal con acabado en Roca Ornamental.....	28
<b>Figura 8-2:</b>	Esquema de la metodología de estudio de las rocas ornamentales .....	31
<b>Figura 1-3:</b>	Muestreo del VISÚ .....	38
<b>Figura 2-3:</b>	Preparación y análisis macroscópico. ....	39
<b>Figura 3-3:</b>	Ensayo de carga puntual. ....	40
<b>Figura 1-4:</b>	Presencia de pirita en Esquisto verde.....	53
<b>Figura 2-4:</b>	Pizarras con acabado superficial.....	58
<b>Figura 3-4:</b>	Mancha generada al tacto por los diferentes materiales ornamentales. ....	60

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-2:</b>	Ciclo de las rocas .....	13
<b>Gráfico 1-4:</b>	Función de correlación Carga-RCS de las pizarras.....	55
<b>Gráfico 2-4:</b>	Estadística del uso de rocas en la Parroquia Copal .....	59

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** MAPA TOPOGRÁFICO DE LA PARROQUIA EL COPAL

**ANEXO B:** FICHAS DE IDENTIFICACIÓN DE ROCAS METAMÓRFICAS

**ANEXO C:** REGISTROS DE ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como propósito estudiar el material rocoso con propiedades de uso ornamental, en la zona específica de la parroquia de Copal, cantón Santiago de Méndez, provincia de Morona Santiago. Se realizó una revisión bibliográfica de investigaciones previas, luego, una prospección y muestreo selectivo en zonas de potencial interés de rocas tipos filitas, esquistos y pizarras, en las correspondientes coordenadas geológicas, con su respectiva descripción macroscópica e identificación mineralógica, descartando materiales poco competentes y que contienen minerales perjudiciales a las propiedades ornamentales de las rocas, como son la presencia de sales, sulfuros y óxidos y demás características estéticas perjudiciales. Se tomaron muestras seleccionadas según su competencia, para efectuar las operaciones de corte y preparación de muestras elaborando probetas irregulares, destinadas a la realización de los ensayos de carga puntual en la máquina de Franklin. Como resultados, las pizarras tienen la potencialidad de aprovechamiento, por sus características petrológicas y ornamentales, a diferencia de las rocas carbonatadas y otras, que por su poca ocurrencia no representa un beneficio económico. Existen rocas que sí tienen condiciones para su uso arquitectónico en fachadas y pisos, tales como las filitas pardas, esquistos verdes y pizarras negras. Por lo tanto, se recomienda realizar estudios más avanzados, para establecer el uso de estos materiales en la construcción y la factibilidad para la creación de una minería artesanal más técnica.

**Palabras Clave:** <PROSPECCIÓN>, <COPAL>, <PIZARRAS>, <MATERIAL ORNAMENTAL>, <ROCAS ORNAMENTALES>.

Inés Zapata

Firmado digitalmente por Inés Zapata  
DN: cn=Inés Zapata, o=Inés Zapata, c=ES,  
Spain, w=ES, serial=0, o=ESPOCH, ou=DBRA,  
e=Inés.zapata@esPOCH.edu.ec  
Motivo: Aprobé este documento  
Ubicación:  
Fecha: 2021.11.15 17:48:05:00



2099-DBRA-UPT-2021

## ABSTRACT

The purpose of the current research was to study the rock material with ornamental properties in the specific area of parroquia Copal, Santiago de Méndez County-Morona Santiago province. It conducted a bibliographic review of previous research, besides a prospecting and selective sampling in areas of potential interest of phyllite, schist and slates according to the corresponding site coordinates with their respective macroscopic description and mineralogical identification. At the same time, it discarded poorly competent materials which contain minerals that are harmful for the ornamental properties of some rocks such as: the presence of salts, sulphides, oxides and other harmful aesthetic characteristics. On the other hand, selected samples were taken according to their competence in order to make the cutting and sample preparation for preparing test specimen that is taken into the point load tests toward the Franklin machine. As a result, the slates have the potential to be used due to their petrological and ornamental characteristics, but carbonate rocks and others do not represent an economic benefit because of their low occurrence. There are rocks that have conditions for their architectural use in facades and floors such as: brown phyllites, green schists and black slates. Therefore, it recommends carrying out more advanced studies to establish the use of these materials in construction and the feasibility for the creation of a more technical artisanal mining.

**Keywords:** <PROSPECTION>, <COPAL>, <SLATES>, <ORNAMENTAL MATERIAL>, <ORNAMENTAL ROCKS>.

LEONARDO  
MAURICIO  
MARTINEZ PAREDES



Firmado digitalmente por  
LEONARDO MAURICIO  
MARTINEZ PAREDES  
Fecha: 2021.11.17 20:31:28  
-05'00'

## INTRODUCCIÓN

La minería en no metálicos es una actividad fundamental en el desarrollo de la construcción e industria a beneficio del ser humano, ésta aporta con materia prima que posteriormente puede ser utilizada en una amplia variedad de manufacturas. Su procesamiento industrial puede ser simple o complejo dependiendo el producto a obtenerse y el uso a destinarse, convirtiéndose en una actividad económica de mucha relevancia e innovación tecnológica.

El uso de rocas ornamentales también es parte importante de la industria minera de minerales no metálicos y estas suelen ser empleados en gran variedad de actividades tales como; acabados de construcción, decoración, arte funerario y escultórico, y la elaboración de diferentes objetos en todas sus variedades, las cuales dependen de su clasificación composicional “Rocas silicatadas: granito, arenisca, basalto..., con minerales de cuarzo, feldespatos, plagioclasas, micas, rocas carbonatadas: mármol, caliza..., o su clasificación comercial granitos: claros, oscuros y medios, mármoles: carbonatados metamórficos y sedimentarios, pizarras y piedra de cantera: sedimentarias, volcánicas y metamórficas” (Fernández, 2007, p.15) el producto de comercialización final adquiere un valor comercial al ser expuesta a una serie de condicionantes propias del material o del proceso de acabado que requiera para salir al mercado.

La presente investigación plantea la necesidad de generar información de carácter geológico-minero de las rocas ornamentales existentes en la parroquia Copal, mismas que actualmente son aprovechadas por una parte de la población local, dando lugar a una escasa actividad extractiva para un beneficio económico propio de la comunidad debido a la falta de conocimiento técnico, a ello se suma la escasez de información bibliográfica existente.

Una roca ornamental se basa primordialmente en su valor estético, a su vez en “la vistosidad de su color, los contrastes cromáticos, sin olvidar sus características mecánicas, igualmente importantes al margen de que pueden utilizarse en otros sectores industriales” (Muñoz, 1989, p.129). En el contexto anteriormente definido tales rocas con potencial minero para aprovechamiento ornamental tienen alta ocurrencia en la parroquia Copal y su entorno por sus características geológicas e indicios de beneficio en dichos materiales en el sector y sus alrededores.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

La utilización industrial de material rocoso ornamental en Ecuador se viene realizando a partir de 1970 (Paladines, 2015, p. 325) siendo las andesitas, granitos, calizas, mármoles, travertinos, esquistos y pizarras las mayormente comercializadas. En la parroquia Copal; según comentarios de la población, se considera que esta actividad inició hace aproximadamente 6 años cuando ciertos pobladores comenzaron a extraer las pizarras de los afloramientos cercanos a los caminos de acceso provisionales iniciando así una extracción artesanal con finalidad de comercialización para su uso ornamental, actividad que se mantiene al día de hoy evidenciándose por el uso constante al que se emplea dicho material especialmente en sus fachadas características de la zona.

La actividad minera en la parroquia Copal se ha venido desarrollando en el marco de minería artesanal y de sustento familiar, careciendo de equipos y técnicas adecuadas pues para la extracción y producción se valen de herramientas manuales como barretas, picos, cinceles, combos y de ciertas herramientas eléctricas como sierras, taladros, cortadoras de disco y demás equipos, mientras que para el transporte predomina el uso de animales de carga, especialmente equinos o carretas usando fuerzas de empuje y tire de los pesos.

El material rocoso existente en el área se agrupa bajo la industria de los materiales de construcción y acabados, siendo de gran importancia para la economía mundial que de acuerdo con datos de Naciones Unidas. “El aprovechamiento de rocas ornamentales representa un promedio entre un 10% y 12% del PIB mundial. Además del impacto sobre el empleo, influye en el comportamiento macroeconómico de todos los países del mundo. En los países industrializados, la construcción aporta en promedio el 60% de la formación bruta de capital fijo” (Roa, 2001, p.8), tomando en cuenta tales datos estadísticos y que debido a la inexistencia de información geológico-minera orientada a rocas ornamentales de mayor predominancia en el sector se ha podido evidenciar que la ausencia de una extracción industrial se origina principalmente por la carencia de métodos y técnicas adecuadas acompañadas por la falta de inversión a la que aporta la inexistencia de evidencia bibliográfica que respalde la potencialidad comercial de las rocas del sector, por tal motivo el presente documento se elabora con la finalidad de recopilar información bibliográfica pre-existente, aportar información y datos generados mediante una prospección minera enfocada en el material predominante que justifique estudios más avanzados mediante interpretación de la información generada y a la vez demostrar los posibles usos que se dan a las mismas, calificando su calidad física, mecánica y estética de los materiales rocosos con potencialidad de extracción.

## **1.2. Planteamiento del Problema**

Los productos para acabados en roca ornamental son extraídos y comercializados en el mercado nacional, siendo estos de varias formas, tipos, texturas y tonalidades mismas que; tienen variada procedencia natural, en el mercado estas compiten con materiales importados del exterior, que se caracterizan por tener un precio considerablemente superior debido a la calidad y estética que presentan y que, a comparación las del medio local poseen una cadena de comercialización acentuada en el mercado.

La problemática que ha impedido el desarrollo de la actividad extractiva de materiales rocosos ornamentales se debe en gran medida al desconocimiento de su potencial, pues al estar en una ubicación geográfica perimetral se evidencia un bajo interés e inversión en tal industria; misma que va acompañada de la carencia de una infraestructura vial idóneo para el transporte pesado, así como también la inexistencia de empresas de servicio de transporte y carga en la zona que además presentan altos costes debido al encarecimiento de los servicios e inflación de costes de mercado.

Es por ello la necesidad de realizar una prospección de carácter investigativo de los materiales rocosos predominantes identificando las zonas donde afloran para evaluar la calidad estético-físico de estas con la finalidad de proporcionar información útil y válida. Promoviendo a futuro, la realización de estudios más avanzados enfocados en la roca con mayor ocurrencia y predominio y a su vez aportar a la población local información potenciando el aprovechamiento de estos recursos a nivel artesanal y consecuentemente lograr una comercialización más barata a nivel de la provincia fundamentando también el uso adecuado de estas en la industria de los acabados con la finalidad de dinamizar la economía local.

## **1.3. Justificación del Proyecto**

La demanda generalizada de material de revestimiento empleando roca ornamental tanto de origen natural como artificial en la construcción moderna se ha constituido en una actividad vital para las poblaciones que la extraen, sobre todo en la comercialización hacia las ciudades de mayor expansión urbana y con criterio arquitectónico a detalle, este se ve favorecido por la existencia de una gran variedad de materiales con diversas características y propiedades con diversidad de precios en el mercado tanto de materiales importados como nacionales.

Las parroquias de Copal, Guarumales y Chupianza pertenecientes al cantón Santiago de Méndez se encuentran asentados en zonas de características geológicas interesantes, formando rocas metamórficas y rocas sedimentarias destacando las pizarras, esquistos, filitas con peculiaridades físicas aptas para el uso en la construcción lo cual establece la necesidad de investigar sus

propiedades así como caracterizarlas en función de la resistencia, color, textura y demás pruebas exigidas para el uso como rocas ornamentales, razón por la cual en la presente investigación se orienta en muestrear la zona e identificar posibles depósitos con las características aptas para la determinación de su calidad y aptitud sentando las bases en caso de resultados positivos para una investigación de reservas mineras que genere posteriormente una cadena productiva para que despunte en los mercados locales y nacionales generando nuevas fuentes de inversión y empleo que diversifiquen la minería existente en el área proponiendo nuevas oportunidades para el desarrollo poblacional y mejorando la calidad de vida de sus habitantes.

#### **1.4. Objetivos**

##### ***1.4.1. Objetivo General***

Prospectar el material rocoso con potencialidad para uso ornamental en la parroquia Copal ubicada en el cantón Santiago de Méndez para determinar su calidad con fines de aprovechamiento industrial mediante una evaluación calificativa de rocas con mayor ocurrencia.

##### ***1.4.2. Objetivo Específico***

- Caracterizar las rocas ornamentales encontradas en los afloramientos e interpretar sus propiedades visuales y mecánicas para su uso en la industria de los acabados.
- Identificar la calidad del material rocoso ornamental mediante ensayos de laboratorio para categorizar su nivel de utilidad, durabilidad y calidad.
- Evaluar de forma comparativa el comportamiento que presenta el material rocoso ornamental frente a diferentes ensayos de alteración en laboratorio.

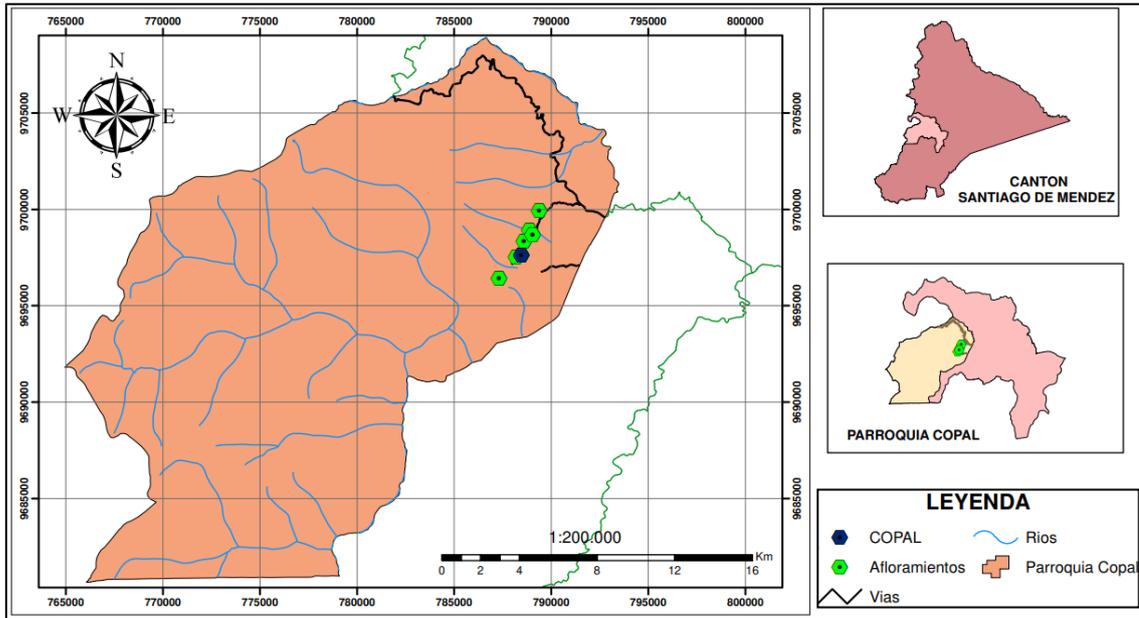
#### **1.5. Planteamiento de la Hipótesis**

¿El material rocoso existente en la parroquia Copal tiene potencial para uso como roca ornamental?

## 1.6. Generalidades

### 1.6.1. Ubicación geográfica del área de estudio

El área de estudio comprende la zona rural de la parroquia Copal del Cantón Santiago de Méndez, perteneciente a la Provincia de Morona Santiago, ubicada en el sureste del territorio nacional con una extensión de 443,12 Km<sup>2</sup>.



**Figura 1-1:** Mapa de ubicación del área de estudio

**Realizado por:** Lema Dután, Jorge, 2021.

La zona de estudio presenta una topografía irregular con cotas que varían entre 4300 y 5000 msnm con pendientes de entre el 30 a 50% y que evidencian la presencia de grandes áreas aquejadas en su fragilidad a la erosión debido al despojo de su cobertura vegetal para uso agrícola y ganadero agravada por la baja capacidad de infiltración de agua que compromete estabilidad de los taludes.

### 1.6.1.1. Coordenadas geográficas de afloramientos prospectados

**Tabla 1-1:** Coordenadas UTM de afloramientos prospectados

PUNTO	COORDENADAS	
	LONGITUD	LATITUD
1	788886	9698934
2	789389	9699951
3	788191	9697509
4	787320	9696420
5	788599	9698319
6	789046	9698700

Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021.

### 1.6.2. Accesibilidad

Para acceder al área de estudio desde la ciudad de Macas, se toma la vía a Cuenca (E45) en un recorrido de 69 km, se llega a la intersección del sector Bella Unión, se toma la vía Méndez – Guárameles (E40) al avanzar 13 km se llega al ingreso a la parroquia Copal, se toma a la vía de tercer orden a la derecha alrededor de 6 km hasta llegar a la cabecera parroquial.

### 1.6.3. Clima

Las condiciones meteorológicas respecto a las precipitaciones son muy significativas durante todo el año, a excepción del periodo entre noviembre a febrero, que se caracteriza por presentar lluvia poco habitual haciendo a su vez fluctuar la temperatura a alrededor de 22.5 °C y observándose la disminución de esta en breves periodos de mayo y agosto, mientras que las temperaturas máximas se presentan entre los meses de diciembre y febrero (Palacios, 2012, p.5).

### 1.6.4. Relieve

La caracterización geomorfológica considera las formas del relieve del terreno; relacionado a los procesos geológicos y erosivos que la dieron lugar, dentro de la parroquia, los principales procesos formadores del relieve están; caracterizados por la acción geológica y tectónica de origen orogénico, que generó la elevación de la cordillera de los Andes, generando la deposición de diferentes tipos de litologías que; combinada la acción tectónica han aportado al desplazado las estructuras geológicas y formación de estructuras metamórficas.

Sobre el panorama inicial, es que actúa el proceso de meteorización de las rocas en una acción conjugada entre el clima variable y agua meteórica en forma de esorrentía superficial. Consecuencia de presentar un relieve muy escarpado a lo largo de toda la geografía el desarrollo de actividades pecuarias, agrarias, asentamientos poblacionales, entre otras, se ven limitadas, impidiendo así que su población potencialice e incremente su producción (GAD - Parroquial Rural de Copal, 2015, p.22).

#### ***1.6.5. Características Generales del área de Estudio***

El área tiene una geomorfología que está compuesta generalmente por pendientes suaves en la parte baja; y bruscas en las zonas altas, en ciertos sectores, la capa rocosa aflora bajo cortes realizados por la apertura de la vía que conduce a la parroquia Copal, se evidencia además que la geología local está compuesta principalmente de material rocoso tipo: pizarras, esquistos, y filitas, rodeados de productos de su meteorización con la peculiaridad característica de fracturarse en forma de lascas de variable tonalidad y textura a lo largo de sus planos de exfoliación.

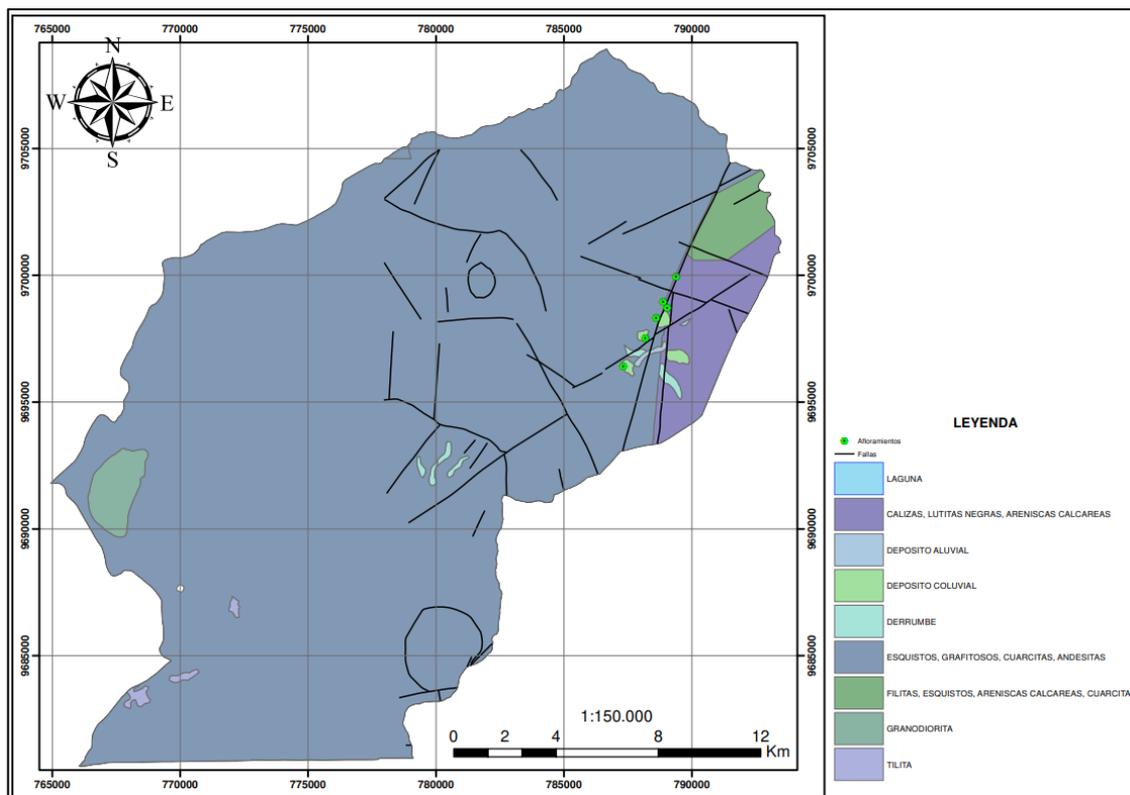
En el sector, apenas se desarrollan actividades de minería artesanal; entre los que se destaca principalmente la extracción de esquistos verdes, y pizarras negras, y otras rocas pizarrosas en otras tonalidades menos comerciales que son menos empleadas en la industria de los acabados de construcción, utilizándose también en la realización de todo tipo de objetos decorativos y piezas artesanales, también existe la extracción de baritina pero su extracción se limita a un área más reducida y puntual, las actividades de aprovechamiento son realizadas sin ningún tipo de control de calidad y medidas de seguridad, caracterizándose por un manejo inadecuado de técnicas de tanto en la extracción así como en el área ambiental y de seguridad industrial.

## CAPÍTULO II

### 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS

#### 2.1. Geología regional

En la zona se evidencia la presencia de rocas metamórficas de la cordillera Real afectadas por sistemas de fallas inversas en contacto con sedimentos cretácicos de la cuenca amazónica, identificado como el frente subandino. Se observa la existencia de estructuras compuestas como cabalgamiento y diaclasamiento masivo colocando al metamórfico jurásico sobre los sedimentos cretácicos, extendiéndose paralelamente a la cordillera. Las formaciones presentes en el frente subandino, tienen un ancho aproximado de entre 10 y 20 km, se encuentran intensamente deformadas y metamorfizadas. El sitio del proyecto San Bartolo y varias locaciones poblacionales se encuentran en el frente anteriormente señalado (Palacios, 2016, p.12). Las formaciones geológicas regionales identificadas son las que se describe a continuación:



**Figura 1-2:** Geología Regional de la Parroquia Copal

Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021.

### ***2.1.1. Formación Napo (KN)***

Comprende una secuencia de calizas de color gris oscuro intercaladas con lutitas calcáreas y areniscas. En la zona de estudio estas rocas han sido deformadas y metamorfoseadas. Las lutitas expuestas en superficie se encuentran fracturadas y ligeramente meteorizadas deformadas (Palacios, 2012, p. 12).

### ***2.1.2. Metamórficos indiferenciados (MI)***

Está constituida por una faja tectónica en donde las formaciones cretácicas se presentan en diversos grados de deformación, esta faja está constituida por meta areniscas, cuarcitas, pizarras y esquistos gráfiticos y sericíticos (Palacios, 2012, p. 12).

### ***2.1.3. Suelos residuales (QSR)***

Formados por la meteorización de las rocas del basamento y de los depósitos coluviales. Corresponden a este tipo, los suelos limo arcillosos y limo arenosos de color café amarillento, con presencia ocasional de clastos (Palacios, 2012, p. 12).

### ***2.1.4. Depósitos coluviales (Qc)***

Son materiales que conforman mayormente las laderas. Están constituidos por bloques, fragmentos angulosos y subangulares dentro de una matriz arcillo – limosa, limo – arcillosa y ocasionalmente es areno – limosa. Estos depósitos se presentan no consolidados, que bajo condiciones saturadas se presentan muy vulnerables a movimientos de masa (Palacios, 2012, p. 13).

### ***2.1.5. Depósitos aluviales (Qal)***

Se encuentran en los cauces de los drenajes principales. Corresponden a depósitos de bloques, cantos, gravas, arenas y limos provenientes de los materiales preexistentes en las laderas de los ríos, esteros y quebradas que drenan la zona (Palacios, 2012, p. 13).

## **2.2. Geología Local**

En el sector se han definido siete unidades litológicas de origen metamórfico que, de la más antigua a la más reciente, se las ha denominado de la siguiente manera.

### **2.2.1. Cuarzitas**

Cuarzita de color grisácea, de tamaño de grano medio, textura granular, se presenta en su mayoría muy dura. La cuarzita se presenta fisurada en bloques, pero químicamente poco alterada. Por los resultados de los ensayos efectuados, se estima tiene una resistencia entre 10 y 15 Mpa, y un módulo de deformación (Eo) entre 4100 y 5200 MPa. La roca presenta discontinuidades cuyo espaciamiento se encuentra en el rango desde milímetros a varias decenas de centímetros. Esta roca presenta una rugosidad variable, predominando la del tipo plana.

En su mayoría la roca se presenta fresca. Sin embargo, en los bordes de las discontinuidades existe alteración, y el material del relleno de las discontinuidades es variable y depende del tamaño de la separación. En este sentido se ha observado desde material coluvial a limo arcilloso y esquisto grafitico muy meteorizado a muy alterado. Los rellenos de las discontinuidades pueden darse por precipitación química de soluciones de cuarzo y calcita, dando como resultado una baja resistencia a la fricción, la cual disminuye en estados húmedos a saturados. La roca presenta vetas de cuarzo, tiene un espesor de  $\geq 50$  m (Palacios, 2016, p.13).

### **2.2.2. Esquistos verdes**

Esquistos de gris verdoso a verde, de tamaño variados. Presenta planos de foliación de aproximadamente 0.5 cm. Se identifica una pátina de color violáceo nacarado y muy suave al tacto, y también presencia talco, tiene un espesor  $\approx 15$  m.

Su génesis y estratigrafía está constituida por una faja tectónica en donde las formaciones cretácicas Hollín y Napo se presentan en diversos grados de deformación, esta faja está constituida por meta areniscas, cuarzitas y pizarras (Palacios, 2016, p.14).

### **2.2.3. Filitas, pizarras y esquistos grafiticos**

Filitas con sericita y talco, esquistos sericíticos y esquistos grafiticos. Presentan planos de foliación menores a 1 mm, de color blanco verdoso y presentan intercalaciones de sericita. Por los resultados de los ensayos efectuados, se estima tiene una resistencia - IRS (*Intact Rock Strength*) entre 1 y 5 Mpa, y un módulo de deformación (Eo) entre 500 y 2200 Mpa, propios de rocas blandas alteradas / deformadas (Palacios, 2016, p.14).

Pizarras negras con incrustaciones de pirita y calcopirita. En ocasiones son fácilmente deleznable. Con planos de foliación de 0.5 cm.

Filitas y pizarras con talco, con planos de foliación de casi 0.5 cm y con zonas cubiertas de talco, de color blanco verdoso y suave al tacto. Este material al encontrarse en zonas con agua y alta humedad tiene un comportamiento plástico y viscoso, tiene un espesor de 15 m.

#### **2.2.4. Coluviales**

Coluviales que involucran clastos de diferentes tamaños de cuarcita, filitas, esquistos presentándose presentan entre angulares, subangulares hasta subredondeados.

Las filitas y esquistos tienden a presentarse planos. En algunos clastos se puede observar mineralización de pirita y calcopirita que al meteorizarse se convierten en una arcilla maleable y de baja capacidad portante.

Se estima tiene una resistencia entre 3 y 9 Mpa, y un Módulo de Deformación ( $E_o$ ) entre 1000 y 3000 MPa. Ensayos de compresión triaxial en material de la matriz da resultados de cohesión ( $c$ ) entre 4.5 y 5.0 t/m<sup>2</sup>, tiene un espesor  $\approx 20$  m. (Palacios, 2016, p.15). Su génesis y estratigrafía se debe a procesos de movimientos de terrenos, inestabilidad de taludes por presencia de agua y/o por la activación de las estructuras regionales (Palacios, 2016, p.15).

#### **2.2.5. Coluviales Copal (Qc Co)**

Bloques de brechas, bien consolidadas con líticos subangulares a subredondeados de pizarras de coloración marrón (rojizo) de tono negruzco azulado, y otras de color verdoso. Los tamaños varían hasta 10 cm dentro de la brecha, con porcentaje aproximado del 40%.

Bloques de cuarcita blanquecina con tonalidad rojiza, de tamaño alrededor de 1.00 m a 1.50 m. Muy duros. Tamaño máximo observado es 1.0 m. Porcentaje del 15%.

Filitas negras con mineralización de pirita que afloran in situ y que se encuentran en estado de alteración / descomposición que se deshacen por el alto contenido de agua que existe en la zona, junto al pie del río. Se presenta a modo de lodo negro, plástico y de textura maleable.

Filitas verdes foliación de 2 mm con cuarzo en vetillas. Porcentaje 10%.

Rocas volcánicas tipo andesita o volcano sedimento. Muy duras con fenocristales de plagioclasas sin alterar. Otras rocas de este tipo presentan alteración en la matriz volcánica. Porcentaje 30%.

Cuarzo lechoso en diversos tamaños, con mineralización de pirita y calcopirita, aproximado en 5%, tiene un espesor  $\approx 70$  m. (Palacios, 2016, p. 15).

### **2.2.6. Coluviales rojos**

Depósito de clastos en matriz areno limosa y limo arcilloso. Son angulares a subredondeados con presencia de cuarcitas, limonitas, filitas, pizarras. La principal característica de este depósito es su coloración rojiza y morfología ondulada, observándose estable, tiene un espesor de 15 m (Palacios, 2016, p.16).

### **2.2.7. Aluviales**

Depósitos de clastos, con bloques redondeados de tamaños que varían desde centimétricos hasta métricos, en una matriz areno limosa con poca presencia de material arcilloso, tiene un espesor de 15 m. Su génesis y estratigrafía se debe a material arrastrado y depositado por el río Negro (Palacios, 2016, p.16).

## **2.3. Geología Estructural**

Los procesos geodinámicos relacionados con la evolución de la cadena andina en el Ecuador son los que se hallan presentes en este sector, la falla principal que corta la zona es la falla Real la cual tiene una orientación general Norte – Sur y separa las rocas metamórficas de la sierra de las rocas sedimentarias del oriente. La edad de esta falla es cretácico superior - terciario. La parroquia Copal a través de su territorio se encuentra amenazada por fallas geológicas eminentes, es notorio que su territorio representa grandes riesgos principalmente por su relieve y la fragilidad de sus suelos (GAD - Parroquial Rural de Copal, 2015, p.22).

Las rocas presentan dos familias predominantes de fracturas, N 75 W y N 75 E; estas fracturas son limpias, pero cuando están asociadas a fallamiento están rellenas de sílice (cuarzo) y carbonato de calcio en láminas milimétricas, donde se puede determinar las estrías de deslizamiento de las fallas (GAD - Parroquial Rural de Copal, 2015).

### **2.3.1. Geodinámica que afecta el área de estudio**

De acuerdo con las características litológicas del área, se identifica que los materiales rocosos propensos a deslizarse constituyen coluviales saturados y mal drenados juntamente con los depósitos metamórficos deformados y descompuestos que forman zonas de deslizamiento siendo la más importante:

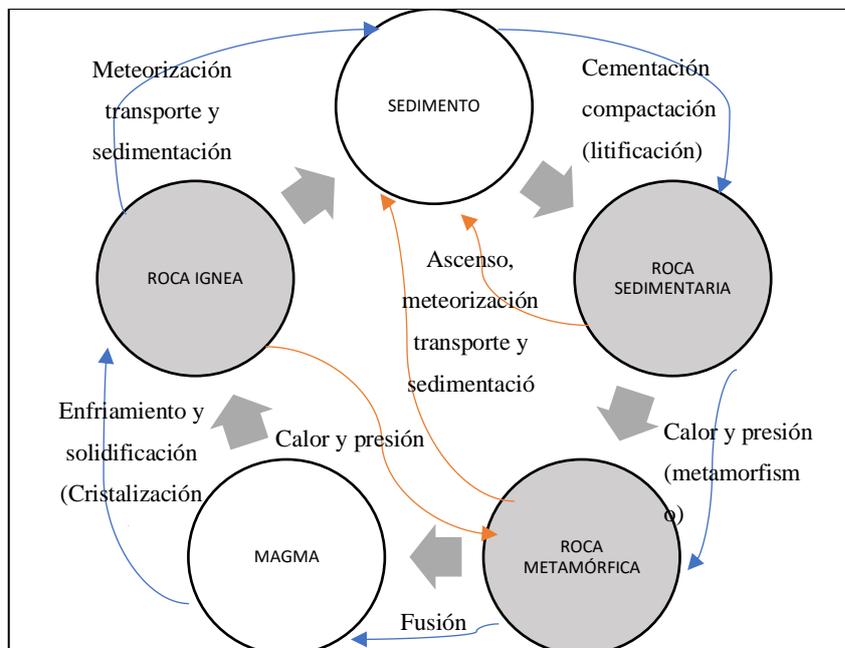
### 2.3.1.1. Deslizamiento el Copal – Da1

Constituye el deslizamiento más grande detectado en la zona, se ubica en el sector Copal, originado en la parte superior de la margen norte (izquierda) del río Negro. Se estima que, por la magnitud y volumen del deslizamiento producido, represó temporalmente el río Negro, lo que obligó a cambiar su dirección de flujo. Este deslizamiento abarca una superficie aproximada de 2 km<sup>2</sup>. Aguas arriba del deslizamiento se produjo depósitos aluviales “colgados”, como el detectado en la margen sur (derecha) en el sitio de la captación.

A la fecha actual, se identifica que una parte de este deslizamiento de la margen Norte se encuentra reactivado y que afecta parcialmente a la población de Copal, este deslizamiento se reactivó hace aproximadamente 40 años (Palacios, 2016, p. 18).

## 2.4. Rocas Naturales y su Clasificación

Las rocas naturales son consideradas cuerpos originados de forma natural, con estructura heterogénea u homogénea que en su estado general se encuentra formando grandes volúmenes de material cuyas dimensiones varían, son valoradas por sus propiedades físicas siendo así objeto de estudio para los geólogos y mineros en cuanto a su composición mineralógica para minería metálica mientras que para la industria de la construcción son valoradas de acuerdo con su resistencia y competencia aprovechándola en estado puro o como agregado. En el gráfico 1-2 se sintetiza los procesos que dan lugar al conocido ciclo de las rocas.



**Gráfico 1-2:** Ciclo de las rocas

**Fuente:** Tarbuck, Lutgens, 2005.

La clasificación de las rocas desde el punto de vista geológico se establece en función de los minerales que lo conforman, dado que las rocas cumplen ciclos en la naturaleza por lo que es importante comprender el origen y fenómenos fisicoquímicos de las cuales se originaron siendo clasificadas en base al ciclo de transformación que presenta en la naturaleza como se detalla en la tabla 2-2 a continuación:

**Tabla 1-2:** Clasificación de las Rocas Naturales

Tipo de Roca	Características
<b>Ígneas</b>	Plutónicas e intrusivas
	Filonianas
	Efusivas o Extrusivas
<b>Sedimentarias</b>	Detríticas o Clásticas
	No detríticas o Piroclásticas
<b>Metamórficas</b>	Foliadas
	No foliadas

**Fuente:** Procedimientos y Restauración de Materiales. Prado, 2007.

**Realizado por:** Lema Dután, Jorge, 2001.

#### 2.4.1. Rocas Ígneas

Se forman por la solidificación del magma, cuando este se enfría lenta o rápidamente, en superficie como a cierta profundidad de la corteza terrestre, los cristales crecen según la rapidez de enfriamiento formando cristales grandes o pequeños resultado del enfriamiento lento o acelerado respectivamente; esta diferencia de tamaño de cristales determina la textura, es decir, si la roca es de grano grueso o de grano fino (Pinzón, 2017, p.10).

Existe una serie de clasificaciones de las rocas ígneas, sin embargo, para abarcar características físicas y estéticas, es suficiente conocer la clasificación general.

##### 2.4.1.1. Rocas intrusivas (plutónicas)

Estas rocas se han cristalizado a forma lenta, a gran profundidad de la superficie de terrestre, sus granos alcanzan un tamaño de medio (1,2 o 0,1 mm) a grueso (1 o 2 mm), los materiales más representativos de esta clase, son rocas como granito, sienita, granodiorita, tonalita o grabo. Los yacimientos toman el nombre de batolitos (Pinzón, 2017, p. 11).

#### **2.4.1.2. Rocas hipobisales (filonianas)**

Su cristalización ocurre cerca de la superficie, entre la superficie libre de la tierra y la roca plutónica, son brotes de magma por pequeñas aberturas o cavidades en la tierra que se solidifican, entre los que destacan el microgranito, microsienita y la diabasa (Pinzón, 2017, p. 11).

#### **2.4.1.3. Rocas extrusivas (volcánicas)**

Cristalizadas a forma rápida, influye el ambiente externo causada por la expulsión que de origen volcánico, son rocas de grano fino con cristales de tamaños inferiores a 0.1mm, algunas rocas extrusivas se han enfriado con tanta rapidez que solidifican en forma de vidrio volcánico: como la roca obsidiana, entre las más comunes tenemos la riolita, traquita, riocacita, basalto, andesita, dacita (Pinzón, 2017, p. 11).

#### **2.4.2. Rocas Sedimentarias**

Se originan al producirse la desintegración de las rocas ígneas o metamórficas por acción de la meteorización sus partículas fueron transportadas por influencia de la gravedad que combinadas con las condiciones atmosféricas como la lluvia o viento las arrastraron a las zonas bajas que, con el paso del tiempo, tales sedimentos se comprimen formando rocas sedimentarias, como la caliza. En estas rocas existen distintas capas o estratos. Aproximadamente un 75% de la Tierra está cubierto por rocas sedimentarias (Pinzón, 2017, p. 12).

Su clasificación general puede resumirse en:

- Clásticas (klastos = roto)
- Piroclásticas
- De origen orgánico
- De origen químico

Dentro de las clásticas se encuentran los conglomerados que dan origen a las gravas, arenas y arcillas, mientras que de las rocas de origen químico, la caliza y dolomía, cuya composición es de carbonato de calcio; así como las silíceas, son más utilizadas en la construcción y decoración (Aguirre, 2008).

#### **2.4.3. Rocas Metamórficas**

Cuando la acción del calor, la presión o fluidos químicamente activos afectan y alteran la composición de las rocas sedimentarias o ígneas, éstas se transforman en rocas Metamórficas, el

calor que proviene de los magmas intrusivos o del sepultamiento profundo en la corteza terrestre aumenta la velocidad de las reacciones químicas que son capaces de producir alteraciones minerales que transforman la roca original, similar a lo que le pasa a una masa de pan en el horno. Las rocas que se entierran se someten a una presión litostática que resulta del peso de las rocas suprayacentes, a medida que la presión aumenta con la profundidad, los granos minerales pueden compactarse más estrechamente, así como las diferencias de presión ejercidas sobre la roca producen su distorsión.

Fluidos como el agua y el peróxido de carbono, están presentes en cantidades variables en los espacios intersticiales de magmas intrusivos pueden intensificar los cambios químicos y la formación de nuevos minerales (Pinzón, 2017, p. 13).

Una clasificación con fines prácticos puede hacerse por su textura o estructura primaria, resultando en rocas foliadas que tienen los materiales dispuestos de forma paralela y no foliadas que son resultantes en su mayoría del metamorfismo de contacto sin la presencia de materiales laminados o alargados estas suelen estar compuestas por un solo mineral o de diferentes granos minerales demasiado pequeños.

**Tabla 2-2:** Rocas metamórficas y sus características

<b>ROCAS METAMÓRFICAS FOLIADAS</b>	
<b>Nombre de las Roca</b>	<b>Característica</b>
Pizarra	Se separa en láminas planas, delgadas que tienen mucho lustre, por lo común que tienen mucha estratificación de la lutita, con la que guarda relación marca líneas.
Filita	Las superficies de la lámina son excesivamente lustrosas, las láminas comúnmente están plegadas o dobladas en forma abrupta, se encuentran Cristales de granate y otros minerales en algunas láminas.
Esquisto	Bien foliada con minerales laminados alargados visibles (Mica, clorita), el Cuarzo es un material prominente, las hojuelas pueden estar plegados o corrugados.
Gneis	Generalmente de grano grueso, con foliación imperfecta, pero conspicua, el Feldespato, el Cuarzo y la Mica son ingredientes comunes.
<b>ROCAS METAMÓRFICAS SIN FOLIACIÓN</b>	
<b>Nombre de las Roca</b>	<b>Característica</b>
Cuarcita	Consiste totalmente de arena de Cuarzo cementada. Posee una amplia variedad de colores y tonos.
Mármol	Caliza o Dolomía, de grano fino cristalizadas, el grano varía de grueso a fino, responde a la prueba de ácido clorhídrico como lo hacen la Calcita y la Dolomita.

**Fuente:** Geología física, 1981.

**Realizado por:** Longwell, C., & Flint, R., 2001.

En la Tabla 3-2 López, Nieves y Escribano (2001) detallan la clasificación de rocas metamórficas en función de sus características diferenciándolas por la presencia o no de foliación; basada en la norma europea PrEn 12670.

## 2.5. Rocas Ornamentales

Las rocas ornamentales son materiales generalmente trabajadas buscando un fin estético, se considera una pieza natural que, posterior a su selección es desbastada, cortada, pulida o tallada en una forma y/o tamaño que busca una o más superficies elaboradas mecánicamente, son posteriormente consideradas aptas para ser utilizadas como materiales nobles, elementos de ornamentación, arte escultórico, funerario y variados objetos decorativos, manteniendo íntegramente su composición, textura estética y demás características físicas.

La ocurrencia de las rocas ornamentales es abundante en la corteza terrestre, previamente identificando su calidad mediante evaluaciones preliminares (prospección), para explotación rentable la cual va ligado al material y factores físico, mecánico y estéticos en función del producto final al cual vaya a destinarse la roca.

La valoración para el uso ornamental se basa en su composición mineralógica y en función de los grados de resistencia y apariencia visual enriquecida por la variedad de colores, texturas y tonos dando como resultado la cualificación para uso arquitectónico, su atributo más importante valorado por los profesionales y clientes es el origen natural.



**Figura 2-2:** Rocas Ornamentales Representativas

**Fuente:** Arias Holguín, Paloma, 2015.

### **2.5.1. Usos de la roca ornamental**

El material rocoso adquiere valor luego de su elaboración final y su reducción ya que, luego de ser transformadas en piezas de variado tamaño y espesor, son trabajadas con la finalidad de brindarle la calidad necesaria para que satisfaga las necesidades arquitectónicas estructurales en la construcción, arte de la decoración y mobiliario urbano siendo los principales usos los siguientes:

- Revestimientos: Destinados a cubrir parámetros horizontales o verticales llegan a cumplir una función estética y tecnológica como aislante térmico.
- Muros de mampostería: Realiza una función estructural a más de la función decorativa e aislante.
- Pavimento y piso: Aplicado en función de su uso existiendo diferentes tipos de pavimentos.
- Tejados: Se usa grosores de 2-6 mm de placas de pizarra que cumple que contribuye a la función de crear una superficie impermeable que proteja superficies interiores.
- Arte funerario y decorativo: Se usa especialmente el granito en el repositorio fúnebre como lapidas, panteones, accesorios, accesorios, etc., así como también en la elaboración de piezas artesanales de objetos decorativos.



**Figura 3-2:** Escudo de Copal tallado en roca ornamental.

**Elaborado por:** GADPR Copal, 2019.

Respecto al factor comercial de las rocas ornamentales, se define como:

*La selección de un tipo de material u otro, así como de las distintas variedades existentes, depende, además de por sus propiedades físico-estéticas, por sus características físicas y funcionales. Así, los mármoles son utilizados tanto en la elaboración de motivos esculturales u ornamentales, como en la arquitectura (revestimientos y pavimentos, especialmente en interiores). Por su parte, debido a las especiales y buenas características del granito, más del 50% de la producción de esta variedad de roca ornamental es utilizada como solución en exteriores, donde las condiciones de uso son las más exigentes: parámetros o aplacados, revestimientos, solerías y cubiertas. La ornamentación y realce suntuario, en los que predominan principalmente criterios estéticos, suponen en el caso de los granitos el 15% de sus ventas. Otro gran nicho de mercado para estos materiales lo constituye el arte funerario, en el que predominan los criterios estéticos y que suponen el 15% el mercado del granito. Finalmente, los elementos complementarios de la construcción residencial e interiorismo, así como el mobiliario urbano, suponen un 10% del mercado del granito. (Tejado, 2014, p.28)*

**Tabla 3-2:** Usos de rocas ornamentales en la industria

PRINCIPALES APLICACIONES DE LAS ROCAS ORNAMENTALES	
Revestimiento de pisos	35.2 %
Uso exterior (fachadas)	22.8 %
Peldaños y vestíbulos	7.2 %
Otros trabajos de obra	7.2 %
Uso interno (interiorismo)	5.4
Otros productos no homologados	4.2 %
Trabajos especiales	3.5 %
Arte Funerario	14.7 %

**Fuente:** Explotaciones de Roca ornamental, 2007

**Realizado por:** Universidad Politécnica de Madrid., 2007.

### 2.5.2. Clasificación comercial

Las rocas ornamentales; además de la clasificación geológica, para interés comercial es fundamental el empleo de denominaciones más generales, abarcando, por ejemplo; rocas como: pizarras, filitas y esquistos bajo la denominación comercial de pizarra; asimismo se abarcan otros tipos de rocas bajo denominaciones más generales como los granitos y mármoles. (Arias, 2015, p. 14).

**Tabla 4-2:** Relación entre denominaciones geológicas y comerciales

COMERCIAL	CIENTÍFICA					
	Composicional	Genética			Rocas Sedimentarias	
		Rocas Ígneas		Rocas Metamórficas		
		Plutónicas	Volcánicas			
GRANITO	Rocas silíceas	Granitos		Gneises		
		Granodiorita				
		Pegmatitas				
		Grabos				
		Monzonitas				
		Tonalitas				
		Doleritas				
		Peridotitas				
			Andesitas			
			Basaltos			
PIZARRA				Esquistos		
				Filitas		
				Pizarras		
			Serpentinas			
			Anfibolitas			
			Peridotitas			
MÁRMOL	Rocas Carbonatadas			Mármoles		
					Calizas	
					Dolomitas	
					Travertinos	
					Areniscas	
					Conglomerados	
					Yeso	
OTRAS ROCAS	Otras rocas				Anhidrita	
					Alabastro	
				Ignimbritas		
				Tobas		
			Pumitas			
					Cuarcitas	

**Fuente:** Instituto Geológico y minero de España

**Realizado por:** Lema Dutan, Jorge, 2021.

Para delimitar grupos más generales en términos comerciales se crea una clasificación atendiendo características más genéricas, (Echevarría & García, 2012) explican que “sin pretender rigor petrográfico, las normas en uso establecen las siguientes definiciones comerciales:

### *2.5.2.1. Granito*

Se entiende por granito ornamental el conjunto de rocas ígneas compuestas por diversos minerales, con textura granular que se explotan en forma de bloques de naturaleza coherente y se utilizan en la construcción con fines decorativos, aprovechando sus cualidades estéticas, una vez elaboradas, con procedimientos tales como aserrado, pulido, tallado, esculpido, etc. Esta denominación incluye, además del granito propiamente dicho en sus distintas variedades, pegmatitas, granodioritas, monzonitas, tonalitas, dioritas y gneises (Arias, 2015, p.14).

Los usos del granito en la industria de los acabados son: recubrimientos de pisos, fachadas, enchapes interiores, su composición molecular y baja absorción los hacen propicios de ser adecuados en sitios bajo ataques de ácidos moderados como cocinas y/o laboratorios y de similar uso en exteriores donde resistirán los agentes meteorológicos de la naturaleza.

### *2.5.2.2. Mármoles y Calizas Marmóreas*

Esta definición es aplicable al conjunto de rocas constituidas fundamentalmente por minerales carbonatados de dureza 3-4. Esta denominación incluye los mármoles propiamente dichos, que son rocas metamórficas compuestas esencialmente de calcita o de dolomita. Las calizas denominadas marmóreas son rocas carbonatadas, frecuentemente recrystalizadas, compactas, de grano fino, normalmente con vetas de calcita e impurezas que proporcionan colores variados y, a veces, con inclusión de fósiles (Arias, 2015, p.14)

La utilización de los mármoles y calizas se da en pavimentos, decoración edificios públicos y residenciales, industria cementera, cerámica, obtención de cal, para cimentación, en la industria química, en minería metálica como fundente, en la industria de la óptica, etc.

### *2.5.2.3. Pizarras*

Son rocas producto de metamorfismo regional de origen sedimentario o rocas arcillosas de grano fino (generalmente lutitas) que presentan una intensa foliación plana característica, debida a la orientación planar de sus minerales que permite deshojarse fácilmente lo cual constituye la esquistosidad.

Las pizarras se forman al soportar temperaturas de 400 °C y presiones de 3 kbar dando lugar a que se formen filosilicatos a partir de minerales originales de la lutita (esméticas y kanditas).

Es una roca industrial resistente, inalterable, aislante, impermeable, que cuando presenta una fácil exfoliación se puede transformar en placas para cubierta de edificaciones, recubrimiento de

fachadas, pavimentación y se considera uno de los materiales de construcción más lujosos y cotizados (Cárdenes, 2008, p. 91).

La composición mineralógica de las pizarras incluye a fosilicatos (clorita - micas), cuarzo y feldespatos esenciales, además como accesorio se encuentra; cloritoide, calcita, dolomía, siderita, pirofilita, óxido de hierro y titanio y manganeso.

Las pizarras como roca metamórfica ornamental según su clasificación comercial suelen tener diferentes tonalidades de colores debido la presencia o ausencia de ciertos minerales y la morfología característica de la zona entre ellas tenemos:

- *Esquisto*; Es una roca formada por el metamorfismo de contacto de grado medio. Deriva de las rocas pelíticas arcillosas (arcilla), el esquisto verde está formada por cuarzo, algún feldespato y mica. La clorita aporta el color verdoso.

- *Pizarra*; Formada de sedimentos pelíticos, arcillas, lutitas, y tobas de grano fino, contiene cuarzo, mica y feldespato, si su color es oscuro generalmente es de aporte de la materia orgánica como el grafito o caolinita en caso de ser claro, tiene una exfoliación pizarrosa perfecta producida por la mica que permite dividirla en placas.

- *Filita*; son comparables a las pizarras, pero formadas a partir de arcillas no exclusivamente muy finas el cuarzo y feldespatos son más abundantes que las arcillitas, la clorita y mica aportan su color, formado bajo metamorfismo regional con presión moderada y temperatura baja, se diferencia de la pizarra por su brillo satinado



**Figura 4-2:** Tonalidades de pizarras

**Fuente:** Arias Holguín, Paloma, 2015.

### *Características técnicas*

- División por lajas o capas y sus colores se pueden mantener sin variaciones por décadas.
- A los suelos de pizarra no los dañan, el musgo, los insectos o los productos químicos.
- La pizarra es impermeable y su facilidad para ser exfoliado en láminas de tan solo unos milímetros de espesor lo convierte en un material idóneo para la confección de cubiertas.
- La facilidad con que se trabaja la pizarra permite adaptar las losetas a muy variados tamaños y formatos comerciales lo que permite conseguir un número ilimitado de formatos finales adaptados a las necesidades del cliente final.
- Las cualidades físico-mecánicas de la pizarra y sus especiales formatos le permiten adaptarse a todo tipo de superficies, ya sean planas o curvas e independientemente del grado de inclinación; esta facilidad de adaptarse a todas las superficies y sus incomparables cualidades físicas convierten a este material en la mejor opción como material de cubrición.
- Aunque el principal uso de la pizarra es como material de techar, solado y aplacado, también se utiliza, en menor medida, como material de mampostería, aunque en estos casos sus cualidades no suponen ningún aspecto diferenciador con otros tipos de piedras normalmente utilizados en estos usos como el granito, el mármol o calizas. (Pinzón, 2017, p.29).

#### *2.5.2.4. Otras*

Además de las rocas ya definidas, granitos, mármoles y pizarras en las que se han incluido rocas de carácter bastante heterogéneo, existen otras tales como areniscas, calizas no pulimentables, cuarcitas, basaltos, alabastro, etc. La mayor parte se dedican a trabajos de cantería y se emplean en proyectos urbanos que siguen tradiciones locales y con presencia destacada en el patrimonio histórico artístico.

#### *2.5.3. Características*

Se puede decir que las rocas ornamentales siempre se pueden utilizar en la construcción, pero la durabilidad y buen uso de estas depende de; adecuar correctamente la función que se requiere del material con sus propiedades y las características del emplazamiento. (Arias, 2015, p.16)

Fernández (1990) comenta que “La piedra, en cuanto material básico, gracias a las características fisicoquímicas de los minerales que la componen, se nos presenta como un material fiable, denso, suficientemente compacto y elástico, resistente, poco absorbente de agua, y en consecuencia durable.”

La idoneidad técnica del material se define conociendo las características petrográficas, físicas, químicas y mecánicas de las diferentes rocas. Dominar estas características permite predecir el

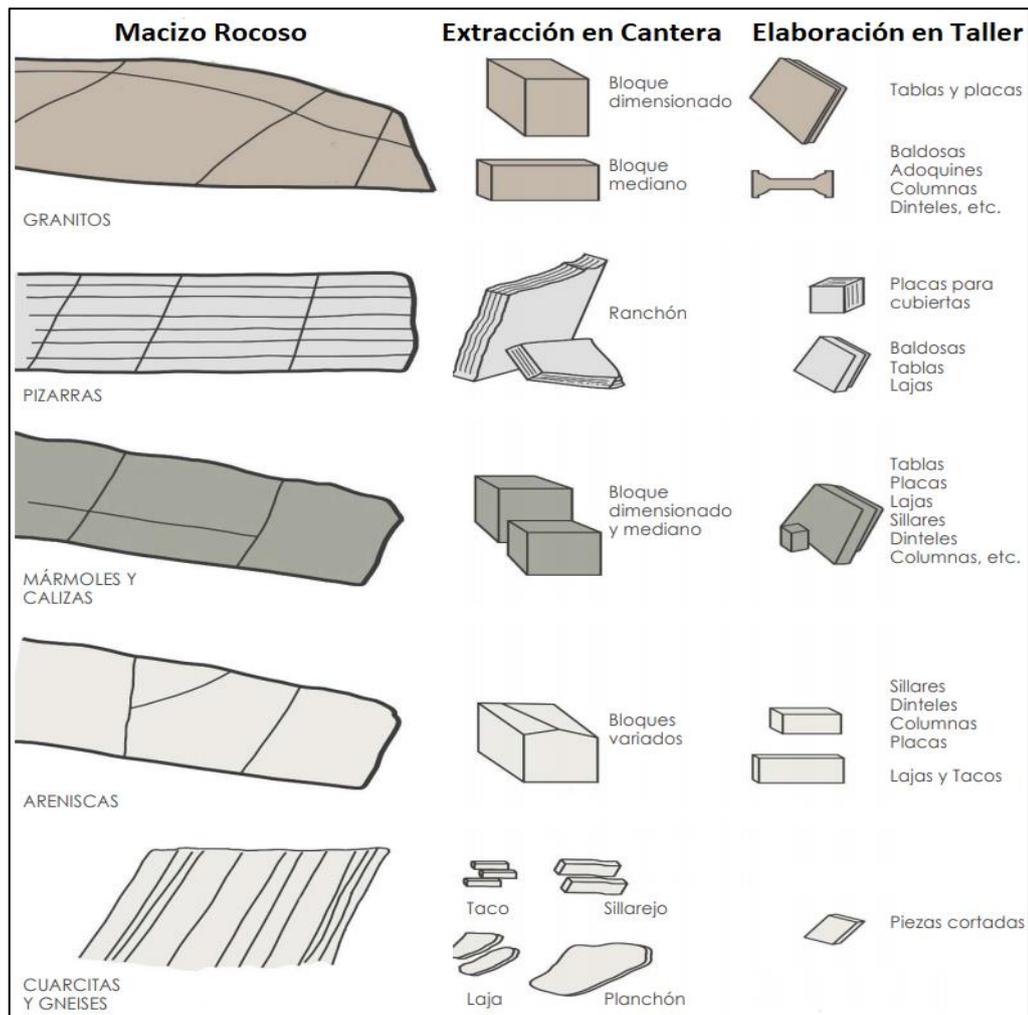
futuro comportamiento del material y es primordial para la correcta elección, En la tabla 6-2 se muestra a modo orientativo los parámetros que más influyen en la selección de una roca para un uso específico en la construcción. (Arias, 2015, p. 16).

**Tabla 5-2:** Características tecnológicas de rocas ornamentales

CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS	REVESTIMIENTOS		PAVIMENTOS		PELDAÑOS DE ESCALERA	PIZARRA PARA CUBIERTAS
	Interiores	Exteriores	Interiores	Exteriores		
Descripción petrográfica	●●○	●●○	●●○	●●○	●●○	●●○
Análisis Químico	●○○	●○○	●○○	●○○	●○○	●○○
Peso específico aparente	●●○	●●○	●●○	●●○	●●○	●●○
Absorción de Agua	●○○	●●○	●○○	●●○	●○○	●●●
Resistencia a la compresión	●○○	●●○	●○○	●●○	●●○	○○○
Resistencia a la flexión	●○○	●●○	●●○	●●○	●●●	●●●
Resistencia al Choque	○○○	○○○	●●○	●●●	●●●	○○○
Resistencia a las heladas	○○○	●●●	○○○	●●●	○○○	○○○
Resistencia al desgaste	●○○	●○○	●●○	●●●	●●●	○○○
Resistencia a cambios térmicos	●○○	●●●	●○○	●●●	●●○	●●●
Módulo de elasticidad	○○○	●●○	○○○	●●○	○○○	●○○
Coefficiente de dilatación	○○○	●●●	○○○	●●○	○○○	○○○
Microdureza Knoop	○○○	●○○	●●○	●●●	●●○	○○○
Resistencia al SO <sub>2</sub>	○○○	●●○	○○○	●●○	○○○	●●●
Resistencia al anclaje	●●○	●●●	○○○	○○○	○○○	○○○
Contenido de carbonatos	○○○	○○○	○○○	○○○	○○○	●●●
LEYENDA	●○○	Poco importante				
	●●○	Importante				
	●●●	Muy Importante				

**Fuente:** Instituto Geológico y minero de España

**Realizado por:** Lema Dutan, Jorge, 2021.



**Figura 5-2:** Esquema de producto obtenido en fases de producción

Fuente: SIEMCALSA, 2015.

### 2.5.3.1. Aspectos ligados a la explotación

Para el proceso de extracción de la roca ornamental se toma en consideración dos aspectos importantes, en primer lugar, el factor geológico; donde destacan los factores estructurales, que, condicionan la forma y tamaño del producto y por otra parte el factor económico, que, están ligados con la explotación del depósito y podemos tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- Ubicación que condiciona el coste del transporte.
- Coste del terreno.
- El espesor de la capa vegetal o de recubrimiento.
- Condiciones físicas de acceso y evacuación.
- Condiciones extractivas del material.
- Calidad de mano de obra calificada.
- Disponibilidad a servicios básicos e infraestructura estatal.

Los parámetros mencionados anteriormente se deben medir pues de estas depende el precio final del producto que se ve influenciado a su vez la existencia de productos similares y de los costes variables con las que estas se comercializan en el mercado mismas que se ven influenciadas a su vez por las fluctuaciones subjetivas de la moda que a su vez son difíciles de predecir.

- *Factores que afectan a la Roca y a los afloramientos*

Los factores y los enfoques que se puede dar a las rocas ornamentales son varios y de distinta naturaleza distinguiéndose dos aspectos la enfocada a las rocas en sí que la define y califica y la aplicada a los afloramientos o yacimientos donde se analizan los factores dentro del contexto geológico guardando estrecha relación entre sí, esto se debe analizar en conjunto para analizar una posible explotación la cual se detalla en la siguiente tabla de resumen esquemático de dichos factores.

**Tabla 6-2:** Factores que afectan a la roca y afloramientos

<b>FACTORES DE ALTERACIÓN EN AFLORAMIENTOS</b>	
Factores que afectan el modo de aflorar	Estratificación - buzamiento
	Cambios de potencia y/o facies
	Fracturación
	Plegamientos
	Metamorfismo
	Composición litológica
	Color
Factores que afectan directamente a la roca	Textura
	Tamaño de Grano
	Recristalización
	Orientación de cristales
	Impurezas
	Vetas y concreciones
	Microfracturación
Replegamiento	

**Realizado por:** Lema Dután, Jorge, 2021.

Algunos de los factores citados anteriormente se pueden deducir y observar directamente en la afeción a las rocas aflorantes, por ejemplo la estratificación influye en el tamaño de los bloques y facilidad de explotación, los cambios de potencia cumplen un rol fundamental en la continuidad de la cantera y en la posible ubicación de nuevos áreas de explotación, asimismo en las rocas factores como la composición litológica junto con la composición química son factores que directamente influyen en la selección adecuada de las rocas ornamentales.

Los factores visuales como el color, textura, grano de tamaño, etc., influyen directamente en el valor que adquiere en el mercado y la demanda del producto, podemos resumir los factores que directamente influyen en el posible proceso productivo extractivo del recurso ornamental entre las que tenemos:

- Vistosidad
- Calidad
- Reservas y características de la masa a explotar
- Tamaño de bloques
- Facilidad de extracción y labores

#### ***2.5.4. Valoración de las aplicaciones de las pizarras comerciales***

Para la valoración en función de su aplicación en diferentes elementos estructurales y decorativos se califica las rocas entorno a su composición mineralógica, homogeneidad y texturas presentes en la misma, así como las características macroscópicas enfocados en el aspecto visual y estético, para la valoración mecánica en cuanto a la durabilidad se debe considerar la presencia de minerales accesorios como los sulfuros de hierro y los carbonatos.

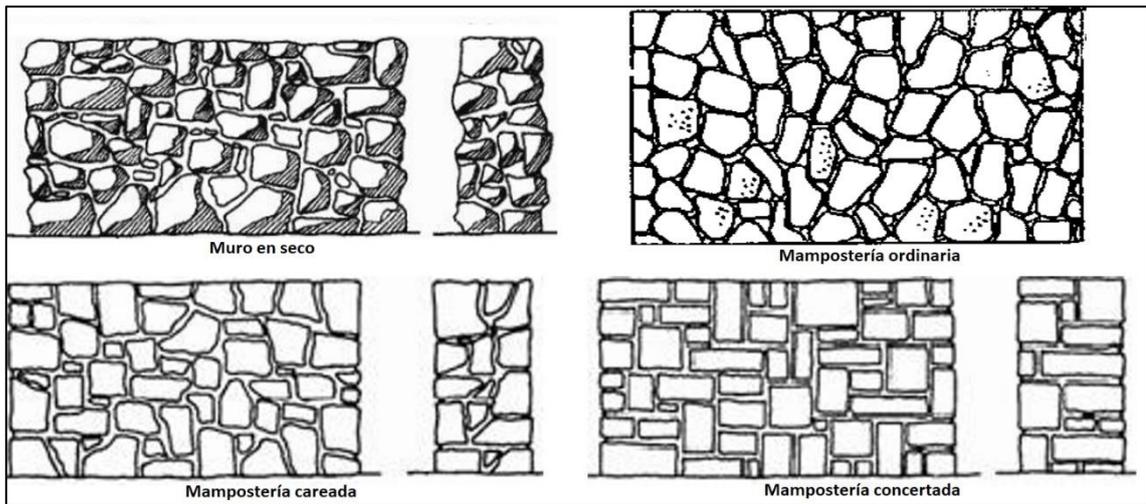
Para determinar las prestaciones que se puede dar a las pizarras se toma en cuenta sus propiedades tecnológicas, por ejemplo, cuando se requiera mayor resistencia a la compresión se recomienda el uso de pizarras pardas que tienen una mayor presencia de sericita 70%.

Teniendo en cuenta lo anterior se puede encontrar aplicaciones para las pizarras en techos de cubiertas, muros de mampostería, escalones, adoquines, revestimiento interior y exterior, si se requiere para aplicaciones específicas son necesarios ensayos físico-mecánicos.

##### ***2.5.4.1. Innovaciones***

###### ***- Muros de mampostería de roca natural***

La mampostería es el sistema de construcción tradicional que erige muros y paramentos mediante la colocación o fijación manual de elementos y/o materiales que los componen (mampuestos), pudiendo estos componentes ser rocas naturales talladas usadas para construir, reforzar o adornar ciertos elementos estructurales u ornamentales de una infraestructura.



**Figura 6-2:** Tipos de Mampostería

Realizado por: EAUCLM, 2012

*- Aparejos como enchape*

Para el uso de rocas ornamentales en fachadas o pisos se emplea las pizarras que reciben el nombre de aparejos por la disposición ordenada y armónica en las que son colocadas, su ubicación suele ser representar o ser similar a los ladrillos de arcilla vista.



**Figura 7-2:** Escenario en coliseo en Copal con acabado en Roca Ornamental

Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021.

**2.5.5. Criterios Tecnológicos**

A la hora de elegir una roca con un fin ornamental hay que tener en cuenta a que uso va a ser destinado para evaluar su durabilidad o darle un acabado superficial u otros que requiera el material para cumplir las expectativas del mercado.

*Prestaciones mecánicas:* Los pavimentos están sometidos a los mayores esfuerzos mecánicos producidos por los diferentes tipos de tráfico (peatones, bicicletas, ciclomotores, y toda clase de vehículos ligeros y pesados) donde, se trata de estimar las cargas que va a recibir en el diseño que hace el proyectista y utilizar el espesor adecuado que también afecta a la logística del transporte y almacenamiento condicionando la carga por apilamiento, también se toman en cuenta las fuerzas de impacto: la caída fortuita o intencionada de objetos sobre el pavimento y los zócalos (principalmente) va a producir importantes esfuerzos de impacto. Al igual que los esfuerzos de flexión, cualquier piedra soporta los esfuerzos de impacto si tiene el espesor adecuado, por lo que también habrá que estimar los impactos a los que puede estar sometida la piedra para elegir el espesor adecuado.

*Desgaste (afecta al):* hay que tener en cuenta que la acción del tráfico y la erosión ambiental va a producir el desgaste (una pérdida de masa) de la piedra a la hora de elegir la piedra el espesor de esta. El desgaste también puede provocar un pulimiento superficial de la piedra aumentando el riesgo de deslizamiento (muy importante para pavimentos y que se puede paliar utilizando inicialmente una rugosidad más agresiva).

*El deslizamiento:* El grado de deslizamiento está directamente relacionado con el acabado superficial que se elija. Los requisitos de deslizamiento están recogidos en normas para todos los productos de la construcción. En pavimentos horizontales hay que elegir un acabado con muela de granulometría 60 para que la mayoría de las piedras sean seguras frente al deslizamiento. En rampas o pavimentos inclinados es necesario aplicar tratamientos superficiales que aumenten la rugosidad. Los acabados abujardados, arenados y flameados suelen ser apropiados para estos pavimentos.

*El ruido:* hay que tener en cuenta que el ruido que se origina debido al tránsito sobre las superficies depende de la rugosidad de la piedra (a más rugosidad más ruido) y del tamaño de las piezas (piezas grandes producirán menos ruido que piezas pequeñas). Esto es fundamental para pavimentos que vayan a soportar tráfico rodado, y elegir el tipo de piedra, tipo de piezas y los acabados adecuados.

*Cortes:* Luego de la obtención primaria se realiza cortes siendo estas perpendiculares a la tabla, al canto y o a la testa, generalmente se utilizando equipos de corte eléctrico con discos diamantados y mediante métodos artesanales donde el grosor de la pieza no podrá ser menor a 5cm.

## **2.6. Prospección Geológica**

La prospección geológica se trata de las técnicas e investigaciones que se realizan previas a la ubicación de un depósito; normalmente deben hacer cateos y perforaciones (minerales metálicos) para poder hacer un muestreo que permita el análisis y ensayos posteriores. Actualmente se utiliza técnicas no destructivas y precisas para hacer esas investigaciones, podemos aplicar técnicas no destructivas como:

- Radar de Penetración en Tierra
- Tomografía Eléctrica de Alta Resolución

Que junto con los sistemas tradicionales como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y los Sistemas de Información Geográfica (GIS) permiten proyectar el plan de explotación de canteras una vez que se ha identificado el yacimiento, reduciendo el consumo energético y el volumen de residuos generado, para la exploración in situ se registran ensayos mediante métodos generales macroscópicos de identificación.

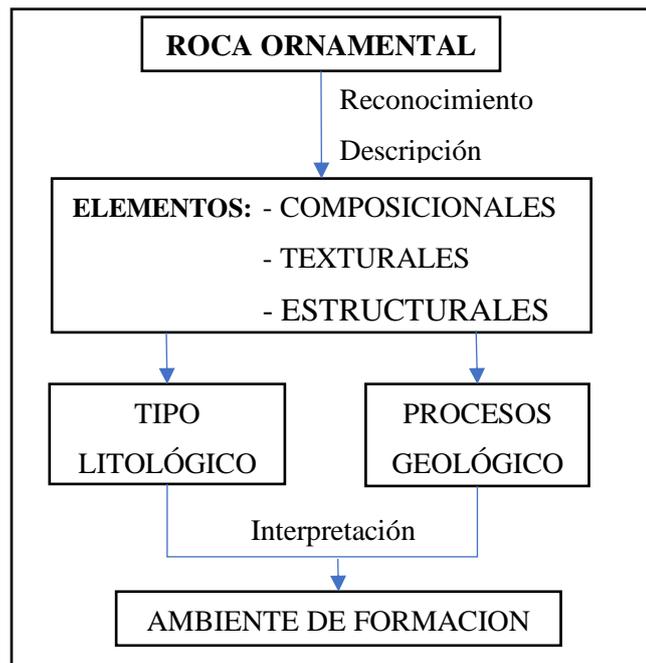
Para una prospección adecuada se requiere cumplir una serie de objetivos básicos orientados al tipo de minería o material a extraer por ejemplo la minería metálica generalmente requiere la apertura de zanjas incluso en afloramientos pues al estar los minerales expuestos a la intemperie se alteran y distorsionan la interpretación de resultados en cambio para la prospección de minerales no metálicos basta con realizar un muestreo selectivo con la finalidad de medir el potencial extractivo en función del factor de reposición (Materiales pétreos rodados) o al análisis superficial de las muestras midiendo la potencia del material aflorante.

La prospección geológica se clasifica de varias maneras; según su forma (directa o indirecta), según su necesidad o material de interés que puede ser de:

- Minerales metálicos.
- Minerales no metálicos de aplicación industrial y rocas ornamental
- Agua subterránea.

### ***2.6.1. Prospección geológica de no metálicos de aplicación industrial***

Al centrarse el tema de estudio en rocas de carácter ornamental, la prospección de este material se divide en una prospección estratégica (recopilación bibliográfica, reconocimiento del material, análisis e interpretación de la información obtenida) y la parte táctica (estudio de campo, muestreo de materiales, y ensayos).



**Figura 8-2:** Esquema de la metodología de estudio de las rocas ornamentales

Realizado por: Díaz, E; García, 1988

#### 2.6.1.1. Identificación y reconocimiento estético visual

Para el reconocimiento y clasificación de las rocas se hace necesario en primer lugar un análisis macroscópico preliminar de las muestras del terreno que se está investigando. En este examen físico se observan propiedades como el aspecto, color, textura, dureza, minerales y tamaños, forma, disposición, entre otras. Sin embargo, hay minerales y texturas que no son visibles para ello se ayuda de la lupa (Orozco, 2014, p.6).

### 2.7. Ensayos de calidad de materiales

#### 2.7.1. Propiedades mecánicas

La finalidad de estas propiedades de las rocas se conoce mediante ensayos de carga cuyos resultados nos permiten conocer y predecir el comportamiento mecánico de los materiales ante la actuación de fuerzas aplicadas en su entorno físico.

Resistencia a la Compresión. Aplicar una fuerza puntual sobre cierta área de piedra muestra su resistencia ante las cargas a la que podría ser expuesta al utilizarse en una construcción, por

ejemplo, las condiciones de su aplicación en pisos o garajes. De esta manera, la resistencia a la compresión es una propiedad muy importante para definir el uso de las rocas.

Otra propiedad mecánica es la determinación de la resistencia al fuego que valorar el comportamiento de una muestra de elementos de construcción cuando está sometida a condiciones definidas de calentamiento y presión (Pinzón, 2017, p.37).

### 2.7.1.1. Resistencia a la compresión simple

La resistencia a compresión simple de las rocas es el parámetro más común para definir los criterios de rotura y el comportamiento geomecánico de un macizo rocoso. Su obtención en ensayos de laboratorio requiere muestras cuidadosamente preparadas y de un tiempo considerable para conocer su resultado, lo que puede representar un alto costo.

En los últimos años, se han desarrollado diferentes métodos indirectos para estimar la resistencia a compresión simple, entre los que destaca el ensayo de carga puntual (ISRM, 1985). Esto se debe a la relativa sencillez del ensayo, la facilidad de preparación de las muestras y su aplicabilidad en el campo.

No debe ser utilizado, sin embargo, para rocas muy blandas y en el caso de rocas claramente anisotrópicas, como las pizarras, debe procurarse que la dirección de la carga sea paralela o perpendicular a la dirección predominante de meteorización, esquistosidad, etc.

En cada ensayo se coloca un trozo de roca entre las dos puntas cónicas, que se aproximan hasta tocar el trozo de roca. En ese instante se anota la distancia  $D$  entre las puntas cónicas. A continuación, se aumenta la carga (con un gato hidráulico) hasta la rotura, registrándose la última carga  $P$ . Cuando se utilizan testigos de roca los resultados del ensayo se expresan mediante el índice de resistencia bajo carga puntual  $I_s$  definido por la expresión:

$$I_s = \frac{P}{D^2}$$

Siendo:

$P$  = Carga de rotura.

$D$  = Diámetro de la probeta o altura de la muestra ensayada. (Laboratorio Oficial J. M. Madariaga, 2015).

La ISRM (International Society of Rock Mechanics) indica que existe una relación lineal directa entre la resistencia a compresión simple (RCS) y el índice de carga puntual  $I_s(50)$ , que varía entre 20 y 25. Los resultados de estas estimaciones son relativamente aceptables en rocas isótropas o con muy bajo grado de anisotropía. Sin embargo, existen numerosos trabajos que han obtenido un rango más amplio de esta relación RCS/ $I_s(50)$ , entre 8 y 50, en ensayos con diferentes tipos de rocas, particularmente en rocas con moderada y alta anisotropía.

### *2.7.1.2. Ensayo de carga puntual*

El ensayo de carga puntual o ensayo Franklin, determina la compresión simple de rocas irregulares, a partir del índice de resistencia a la carga puntual de acuerdo con la norma ASTM D5731 actualizada en el año 2016.

#### *- Alcance*

El método de ensayo cubre los lineamientos, requisitos y procedimientos para la determinación del índice de punto de carga en la roca. Es decir, una prueba de índice está destinado a ser utilizado para clasificar rocas.

Los detalles de las pruebas de carga puntual son necesarios desarrollarlos antes, incluso del muestreo a partir de la obtención de testigos de perforación. Tales detalles dependen del uso previo de los datos, así como las posibles.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

Por quedar fuera del alcance de la presente investigación no se incluirá aquí una clasificación ni caracterización exhaustiva de los tipos de piedra natural, se empleará por el contrario la terminología habitual la cual pese a perder su rigor geológico y petrográfico simplifica notablemente las denominaciones del mercado en base al material rocoso con mayor predominancia y ocurrencia geográfica que se valora por la potencialidad económica que puede brindar a la mayor parte de la población.

#### 3.1. Metodología de Estudio

Para seleccionar la metodología usada en la elaboración de la presente investigación se va a describir a continuación los materiales que se emplearon en su desarrollo empezando por la investigación previa y el trabajo de oficina, con la recolección de información bibliográfica teórica y técnica existente, luego se pasó a la recopilación de la datos y toma de muestras en campo mediante la planificación, análisis de parámetros arrojados en base a su interpretación y se concluyó con la descripción y desarrollo del presente documento en oficina, el estudio se fue de carácter prospectivo y descriptivo utilizándose las variables tecnológicas aplicadas a la prospección del material predominante con potencialidad de uso ornamental.

De igual manera la investigación fue transversal puesto que las variables fueron estudiadas simultáneamente en un lapso de tiempo determinado con finalidad proyectiva obteniendo resultados a partir de las caracterizaciones visuales, estéticas y tratamiento de muestras mediante pruebas básicas que califican la competencia.

##### 3.1.1. Técnicas

Las técnicas empleadas para el presente estudio fueron:

- Investigación bibliográfica.
- Reconocimiento preliminar del área de estudio.
- Análisis macroscópico, estético y visual.
- Pruebas básicas de calidad y competencia del material ornamental.
- Procesamiento de la información.

### 3.1.2. Herramientas y materiales

Para la elaboración del presente trabajo se detalla a continuación los materiales que se emplearon durante su desarrollo caracterizándose por desarrollarse en el área de oficina y de campo así como del área tecnológica y en taller.

**Tabla 1-3:** Materiales de gabinete y campo

DE OFICINA	DE CAMPO
Computadora	GPS de mano
Impresora	Libreta de campo
Hojas de papel bond	Martillo de geólogo
USB de 8 GB	Cinta metrica de 50m
Mapas	Camara fotografica
Software: ArcGis, Paquete de Office	Lupa 10X y 20X
Marcadores y Lápiz	Lapiz magnetico y rayador
Carta Topográfica	Fundas de muestreo de rocas
Carta Geológica	Herramientas de muestreo (Pico, Pala, Barreta, Combo, Cincel) Cortadora GEOCUT 302

**Realizado por:** Lema Dutan, Jorge, 2021.

### 3.1.3. Procedimiento

El trabajo de prospección de rocas ornamentales se lo dividió en diferentes fases las cuales se los desarrollo en el orden descrito a continuación:

#### 3.1.3.1. Recopilación de información

Mediante una revisión bibliográfica de libros físicos y virtuales se realizó la búsqueda de información referente a investigaciones previas de Rocas Ornamentales en la parroquia Copal, así como de prospecciones previas o exploraciones desarrolladas, adicional se recopiló y depuró datos provenientes de la interacción oral con los pobladores del sector, mediante la aplicación de este método se evidenció la inexistencia de información enfocada en prospección de material ornamental.

### *3.1.3.2. Planificación*

Mediante uso de mapas geológicos se reconocieron zonas que presentaban alto potencial con evidencias de la presencia de material rocoso ornamental, se interpretaron mapas e imágenes satelitales para la realización de una planificación exhaustiva que nos llevó a elegir posibles indicios y afloramientos para la prospección, se trazó una hoja de ruta a seguir la cual fue organizada en cinco campañas de campo.

### *3.1.3.3. Trabajo de campo*

Se realizó un cateo en los diferentes afloramientos existentes georreferenciándolos y recolectando muestras de mano del visu para su posterior análisis, se procedió a realizar la descripción de los afloramientos y una muestra de mano más representativa en la libreta de campo y a la vez se realizó una la evaluación visual macroscópica in situ tomando seis muestras por cada afloramiento prospectado.

### *3.1.1.4. Selección del material de interés*

En base a la interpretación de la información bibliográfica y de campo obtenida previamente reconocer al área de Copal con un posible potencial minero elevado de rocas ornamentales tipo pizarra justificada por su alta ocurrencia indicador clave para la comercialización, para el análisis del visu se seleccionaron las muestras de mano más representativas depurándolas de las que presentaban alteraciones de intemperismo, estructurales y con contenido alto de minerales contaminantes, posterior se sometió a una valoración cualitativa resultando con un índice alto para su estudio y descripción.

### *3.1.1.5. Pruebas básicas de calidad comercial de las pizarras*

Se realizaron fichas de la descripción y evaluación de los parámetros condicionantes para pizarras ornamentales mediante pruebas básicas tecnológicas de apariencia visual, resistencia al fuego y de resistencia al corte y pulido.

### *3.1.1.6. Interpretación*

Con la información geológica y estructural de las muestras y afloramientos se procedió a realizar los diferentes análisis, interpretando datos para realizar una comparativa de calidad de la Roca y su valoración físico-estético.

## **3.2. Desarrollo de los trabajos de campo**

### *3.2.1. Ubicación, descripción y muestreo de afloramientos*

En la prospección se buscó orientar al estudio, en primer lugar, de aquellas rocas ya conocidas y empleadas como es las “rocas duras” y pizarras, así como en la búsqueda de nuevos afloramientos, una vez identificada el área de estudio; se procedió a registrar las características de las rocas (color, textura, estructura, estética) relacionándolas con su ubicación, sobre ellas se efectuaron los primeros ensayos tecnológicos, punto de partida de cualquiera valoración de los materiales pétreos para su uso ornamental, y algunos ensayos de reacción a químicos para su clasificación y estudio comparativo, toda esta información fue relevante para tomar la decisión de seguir adelante y, que nos permitió seleccionar las muestras más representativas y competentes.

Basándonos en la sistemática de estudio, se escogieron los afloramientos basándonos en la valorización fundamentada en las principales características que presentaron como son que la roca o formación rocosa este aflorando, que contenga una mínima cobertura vegetal con grado de meteorización mínimo y que las características estético-visuales fundamenten el muestreo enfocado al tema de investigación.

Mediante un mapa geológico a escala 1:150000, se marcaron los puntos de control (afloramientos) creando un código denominado A# (Afloramiento#) seguido de la numeración respectiva tomada en orden según la fecha de muestreo.

Para la selección del afloramiento además de los parámetros mencionados anteriormente se debe tomar en cuenta que este posea una buena homogeneidad y sea vistosa; para reconocer tales atributos se realizaron varias campañas en diferentes fechas pudiendo completar diferentes tramos de las vías y caminos existentes que conducen a los afloramientos tomando sus ubicaciones geográficas, partiendo de la medición de los afloramientos.

La selección de las muestras en los afloramientos se realizó a partir de la medición de estas dividiendo en bloques por su potencialidad comercial principalmente de pizarras negras, filitas pardas y de esquistos verdes, en cada afloramiento se tomaron 6 muestras con su respectiva codificación, a partir de la prospección realizada en los afloramientos de rocas tipo pizarra se evidencio que el sector tiene áreas propicias y no propicias para su explotación.

### **3.2.2. Descripción macroscópica de muestras en afloramientos**

Una vez seleccionados los emplazamientos se procedió a elegir muestras de mano superficiales mediante un cateo aleatorio tomándose seis muestras por emplazamiento procurando que estas tengan menor grado de degradación.



**Figura 2-3:** Muestreo del VISÚ

**Realizado por:** Lema Dutan, Jorge, 2021.

El material rocoso ornamental se los caracterizo siguiendo los rasgos petrográficos y petrológicos centrado en la clasificación de tipo litológico o pasando directamente a los procesos que se observan tales reconocimientos son relativos a:

- Reconocimiento de visu.
- Valoración Macroscópica.
- Clasificación.

Se realizó la descripción tomando en cuenta los minerales presentes, así como las propiedades que caracterizan y aportan al valor estético comercial de estas como la textura, el color, tamaño de grano, adicional se determinó la dureza relativa de algunos minerales con rayador siguiendo texto Guía de minerales y rocas de Grijalbo (1989).

### **3.2.3. Selección de las pizarras**

Las muestras recolectadas de pizarras son observadas brevemente in situ durante el muestreo con una lupa 20x, luego se etiquetan, protegen y almacenan para el traslado al taller, posteriormente las muestras son secadas a temperatura ambiente se vuelven a observar e identificar los minerales componentes y accesorios.

Adicional a esto, para considerar su utilización esta debe cumplir una serie de condiciones mineralógicas que combinados con fenómenos adicionales y factores que afectan su calidad como la alteración y la durabilidad.

### 3.3. Ensayos mecánicos y tecnológicos con pizarras

#### 3.3.1. Tratamiento previo

Se seleccionó una muestra representativa de cada afloramiento, las cuales se destinaron al ensayo de carga puntual utilizando una prensa Franklin con precisión de aproximadamente 1%, para el corte previo de las muestras en placas rectangulares se utilizó la cortadora de disco diamantado GEOCUT 302 siguiendo la norma ASTM D5731-16 de bloques irregulares debiendo tener distancia D de entre 30 a 85 mm y relación D/W de aproximadamente 1/3.

Los ensayos para determinar las propiedades físico-mecánicas de las pizarras fueron la resistencia a la carga puntual y el índice de campo, aplicadas a las probetas elaboradas a partir de las probetas.



**Figura 2-3:** Preparación y análisis macroscópico.

Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021

#### 3.3.2. Ensayo de carga puntual

El procedimiento consiste en romper una muestra colocada entre dos puntas cónicas metálicas, accionadas por una prensa (Figura 11-3). Se obtiene un índice I a partir de la carga, que se correlaciona con la resistencia a la compresión simple, se elaboró a 6 especímenes de las rocas. El procedimiento consiste en insertar el espécimen como se muestra en la Figura 12-3 encontrando un punto de aplicación de la carga, se proceden a registrar los datos dimensionales

tomando especial atención a la distancia entre las puntas cónicas, posterior se aplica la carga mediante gata hidráulica de manera constante y continua hasta producir la falla aprobada, se registran los datos resultantes y se procede con la interpretación.



**Figura 3-3:** Ensayo de carga puntual.

Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021

### ***3.3.3. Índice de campo***

El índice de campo (ISRM, 1981) ayuda a establecer un rango de resistencia con criterios establecidos en la Tabla 9-3, mediante un martillo geológico, efectuando golpes para fracturar la matriz.

**Tabla 2-3:** Índice de resistencia de campo

Clase	Descripción	Identificación de campo	Aproximación de resistencia a compresión simple (Mpa)
R0	Roca extremadamente blanda	Se puede marcar con la uña.	0.25 – 1
R1	Roca muy blanda	La roca se desmenuza al golpear con la punta del martillo.	1 – 5
R2	Roca blanda	Al golpear la punta del martillo se producen pequeñas marcas.	5 – 25
R3	Roca moderadamente dura	Para fracturarse con un golpe de martillo.	25 – 50
R4	Roca dura	Se requiere más de un golpe de martillo para fracturarla.	50 – 100
R5	Roca muy dura	Se requieren muchos golpes de martillo para fracturarla.	100 – 250
R6	Roca extremadamente dura	Al golpearlo con el martillo solo saltan esquirlas	>250

Fuente: ISRM, 1981

Realizado por: Lema Dután, Jorge., 2001.

### 3.4. Criterios Tecnológicos para la Selección de Rocas Ornamentales

De las rocas ornamentales presentes en la parroquia Copal se consideraron solo la variedad comercial conocida como pizarras por su alta ocurrencia en relación con otros materiales rocosos ornamentales abarcando esquistos, filitas y las pizarras propiamente dichas.

#### 3.4.1. Presencia de sulfuros y carbonatos

Para valorar una ornamental; tenemos que tomar en cuenta la presencia de elementos, que posteriormente. Puedan causar un deterioro acelerado del producto final como: la proporción de sulfuros que esta presenta que están altamente potenciados a disolución debido a la oxidación e hidrólisis, se observó macroscópicamente con lupa x20 la presencia de inclusiones de sulfuros

especialmente de hierro, también se comprobó la presencia de minerales solubles empleando principalmente ácido clorhídrico tomando atención a una reacción efervescente, se comprobando especialmente la presencia de calcita y dolomita.

#### ***3.4.2. Espesor de las placas***

Se midió en campo y bajo la aplicación de parámetros comerciales mínimos mediante el lijado primario para posteriormente pasar al deshoje de la pieza en placas más delgadas, para la aplicación de esta técnica de manera adecuada se requiere un alto grado de experiencia, se busca que las piezas sean lo más delgadas posibles sin comprometer o fracturar la integridad de la pieza de la cual deriva.

#### ***3.4.3. Tratamientos posteriores***

Como tratamiento superficial posterior a la extracción se puede emplear resinas transparentes; estas otorgan un brillo más vistoso y a la vez forman una capa superficial protectora que la protege contra el intemperismo, se empleó barniz en las muestras mediante el método de aerografía con compresor de aire.

## **CAPÍTULO IV**

### **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Desarrollo de la Prospección**

##### ***4.1.1. Descripción de afloramientos***

Como resultado de las campañas realizadas se encontraron seis afloramientos, mismas que fueron descritos al igual que muestras del Visu, se elaboraron fichas técnicas para cada afloramiento con la muestra más representativa, así como de la probeta enviada a laboratorio.

4.1.1.1. Afloramiento 1

Tabla 2-4: Ficha descriptiva de A1

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO		
<b>TIPO</b>	Metamórfica	<b>AFLORAMIENTO 1</b>
<b>AFLORAMIENTO N:</b>	1	
<b>DESCRITA POR:</b>	Jorge Lema	
<b>DATUM</b>	WGS 84	
<b>COORDENADAS UTM</b>	X 788886    Y 9698934	
<b>FORMACIÓN</b>	Napo	
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Pizarras de grano fino de coloración verde pálida se encuentra asentado sobre cuarcitas ubicadas al pie de la vía con una potencia de 22 metros y disposición horizontal.		
DESCRIPCION MACROSCÓPICA DE LA ROCA		
<b>MUESTRA</b>	1M3	<b>ROCA</b>
<b>COLOR</b>	Verde pálido	
<b>TEXTURA</b>	Lepidoblastica	
<b>ESTRUCTURA</b>	Foliada	
<b>ESTADO DE LA ROCA</b>	Alterada	
<b>ESTADO</b>		
<b>TIPO DE METAMORFISMO</b>	Regional de medio grado	
<b>CONTENIDO MINERALÓGICO</b>	Cuarzo, Seriecita, clorita, feldespato y moscovita, piritita.	
<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Esquisto	
<b>OBSERVACIONES:</b> Esta roca se encuentra en estado de alteración debido al contacto con agentes meteorizantes, se observa planos de foliación de aproximadamente 0.5 cm muy suave al tacto.		
ESPECIFICACIONES LONGITUDINALES DE LA PROBETA		
	<b>Longitud:</b> 78.00 mm x 77.00 mm	
	<b>Grosor:</b> 25.35 mm	
	<b>Sección Transversal:</b> 1964.6 mm <sup>2</sup>	
<b>Probeta de la muestra 1M3</b>	<b>Forma:</b> Irregular	

Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021

4.1.1.2. *Afloramiento 2*

**Tabla 3-4:** Ficha descriptiva de A2

<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO</b>		
<b>TIPO</b>	Metamórfica	<b>AFLORAMIENTO 2</b>
<b>AFLORAMIENTO N:</b>	2	
<b>DESCRITA POR:</b>	Jorge Lema	
<b>DATUM</b>	WGS 84	
<b>COORDENADAS UTM</b>	X 789389    Y 9699951	
<b>FORMACIÓN</b>	Napo	
<b>DESCRIPCIÓN:</b>	Filita de grano fino de coloración parda se encuentra asentado sobre cuarcitas, separadas por un contacto ubicado a lo largo de la quebrada con una orientación Norte – Este.	
<b>DESCRIPCION MACROSCÓPICA DE LA ROCA</b>		
<b>MUESTRA</b>	2M1	<b>ROCA</b>
<b>COLOR</b>	Parda	
<b>TEXTURA</b>	Lepidoblastica	
<b>ESTRUCTURA</b>	Foliada	
<b>ESTADO DE LA ROCA</b>	Pirita oxidada	
<b>ESTADO</b>		
<b>TIPO DE METAMORFISMO</b>	Regional	
<b>CONTENIDO MINERALÓGICO</b>	Mica y clorita, caolinita, pirita	
<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Filita	
<b>OBSERVACIONES:</b> Roca foliada de grano fino a medio muy suave al tacto, esta foliación es el resultado de la alineación de mica y clorita bajo presión de baja a moderada.		
<b>ESPECIFICACIONES LONGITUDINALES DE LA PROBETA</b>		
	<b>Longitud:</b> 78.00 mm x 72.20 mm	
	<b>Grosor:</b> 28.10 mm	
	<b>Sección Transversal:</b> 2208.7 mm <sup>2</sup>	
<b>Probeta de la muestra 2M1</b>	<b>Forma:</b> Irregular	

*Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021*

#### 4.1.1.3. Afloramiento 3

**Tabla 3-4:** Ficha descriptiva de A3

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO		
<b>TIPO</b>	Metamórfica	<b>AFLORAMIENTO 3</b> 
<b>AFLORAMIENTO N:</b>	3	
<b>DESCRITA POR:</b>	Jorge Lema	
<b>DATUM</b>	WGS 84	
<b>COORDENADAS UTM</b>	X 788191   Y 9697509	
<b>FORMACIÓN</b>	Napo	
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Filitas que afloran únicamente en el extremo norte de la cordillera, estas rocas han sufrido fuerte tetanismo que se evidencia por presencia de diaclasas masivas.		
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA ROCA		
<b>MUESTRA</b>	3M4	<b>ROCA</b> 
<b>COLOR</b>	Oscuro azulado	
<b>TEXTURA</b>	Lepidoblastica	
<b>ESTRUCTURA</b>	Foliada	
<b>ESTADO DE LA ROCA</b>	Poca alteración	
<b>ESTADO</b>		
<b>TIPO DE METAMORFISMO</b>	Regional	
<b>CONTENIDO MINERALÓGICO</b>	Cuarzo, grafito, mica, clorita	
<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Filita	
<b>OBSERVACIONES:</b> Esta roca se encuentra poco alterada debido a la presencia de agua, tamaño de grano fino y se distingue con un microscopio muy suave al tacto.		
ESPECIFICACIONES LONGITUDINALES DE LA PROBETA		
	<b>Longitud:</b> 62.50 mm x 60.00 mm	
	<b>Grosor:</b> 37.50 mm	
	<b>Sección Transversal:</b> 2301.5 mm <sup>2</sup>	
<b>Probeta de la muestra 3M4</b>		<b>Forma:</b> Irregular

Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021

#### 4.1.1.4. Afloramiento 4

**Tabla 4-4:** Ficha descriptiva de A4

<b>FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO</b>		
<b>TIPO</b>	Metamórfica	<b>AFLORAMIENTO 4</b> 
<b>AFLORAMIENTO N:</b>	4	
<b>DESCRITA POR:</b>	Jorge Lema	
<b>DATUM</b>	WGS 84	
<b>COORDENADAS UTM</b>	X 787320    Y 9696420	
<b>FORMACIÓN</b>	Napo	
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Esquistos verdes cubierta por una capa de vegetación con una orientación Norte – Este, fuertemente inclinados tienen esta coloración debido al alto contenido de clorita, rocas poco meteorizadas, presenta incrustaciones puntuales de pirita.		
<b>DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA ROCA</b>		
<b>MUESTRA</b>	4M2	<b>ROCA</b> 
<b>COLOR</b>	Verde	
<b>TEXTURA</b>	Lepidoblastica	
<b>ESTRUCTURA</b>	Foliada	
<b>ESTADO DE LA ROCA</b>	Intacta	
<b>ESTADO</b>		
<b>TIPO DE METAMORFISMO</b>	Regional	
<b>CONTENIDO MINERALÓGICO</b>	Cuarzo, clorita, epidota.	
<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Esquisto verde	
<b>OBSERVACIONES:</b> Esquisto verde de grano fino no presenta alteración, tiene vetillas de cuarzo, y su color verde se debe al alto contenido de clorita, epidota, suave al tacto.		
<b>ESPECIFICACIONES LONGITUDINALES DE LA PROBETA</b>		
	<b>Longitud:</b> 75.20 mm x 73.50 mm	
	<b>Grosor:</b> 33.30 mm	
	<b>Sección Transversal:</b> 2442.6 mm <sup>2</sup>	
<b>Probeta de la muestra 4M2</b>	<b>Forma:</b> Irregular	

Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021

4.1.1.5. Afloramiento 5

Tabla 5-4: Ficha descriptiva de A5

FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO		
TIPO	METAMORFICA	
AFLORAMIENTO N:	5	
DESCRITA POR:	Jorge Lema	
DATUM	WGS 84	
COORDENADAS UTM	X 788599	Y 9698319
FORMACIÓN	Santiago	
DESCRIPCIÓN: Afloramiento con presencia de filitas que afloran al pie de la vía.		
DESCRIPCION MACROSCÓPICA DE LA ROCA		
MUESTRA	5M6	
COLOR	Gris	
TEXTURA	Cristalina	
ESTRUCTURA	Lepidoblastica	
ESTADO DE LA ROCA	Sin alteración	
ESTADO		
TIPO DE METAMORFISMO	Regional	
CONTENIDO MINERALÓGICO	Cuarzo, clorita, biotita, plagioclasa.	
NOMBRE DE LA ROCA	Esquisto	
OBSERVACIONES: Se evidencia la presencia de grandes cristales de mica que le dan un color oscuro y brillo submetálico.		
ESPECIFICACIONES LONGITUDINALES DE LA PROBETA		
	<b>Longitud:</b> 75.60 mm x 75.00 mm	
	<b>Grosor:</b> 35.63 mm	
	<b>Sección Transversal:</b> 2682.6 mm <sup>2</sup>	
<b>Probeta de la muestra 5m6</b>	<b>Forma:</b> Irregular	

Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021

4.1.1.6. Afloramiento 6

Tabla 6-4: Ficha descriptiva de A5

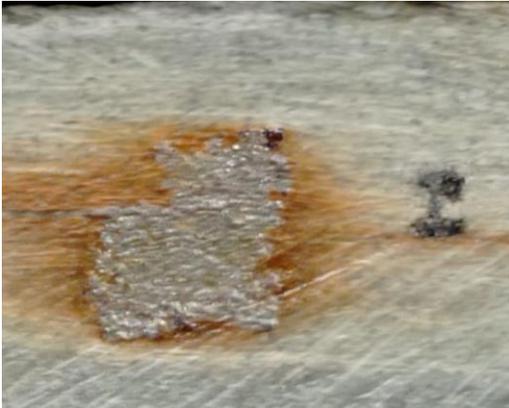
FICHA DE DESCRIPCIÓN DE CAMPO			
<b>ROCA</b>	Metamórfica		
<b>AFLORAMIENTO N:</b>	6		
<b>DESCRITA POR:</b>	Jorge Lema		
<b>DATUM</b>	WGS 84		
<b>COORDENADAS UTM</b>	X 789046	Y 9698700	
<b>FORMACIÓN</b>	Napó		
<b>DESCRIPCIÓN:</b> Afloramiento de pizarras negras de la formación Napó fuertemente inclinadas con una capa de vegetación, su color depende de su composición química.			
DESCRIPCIÓN MACROSCÓPICA DE LA ROCA			
<b>MUESTRA</b>	6M2		
<b>COLOR</b>	Negro		
<b>TEXTURA</b>	De grano fino		
<b>ESTRUCTURA</b>	Foliada		
<b>ESTADO DE LA ROCA</b>	Intacta		
<b>ESTADO</b>			
<b>TIPO DE METAMORFISMO</b>	Regional		
<b>CONTENIDO MINERALÓGICO</b>	Arcilla, Cuarzo, Mica y Feldespatos.		
<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	Pizarra Negra		
<b>OBSERVACIONES:</b> Roca de grano fino muy suave al tacto, tiene una tendencia a romperse en planos, presencia de pequeñas vetillas de cuarzo.			
ESPECIFICACIONES LONGITUDINALES DE LA PROBETA			
	<b>Longitud:</b> 90.00 mm x 92.70 mm		
	<b>Grosor:</b> 39.50 mm		
	<b>Sección Transversal:</b> 1964.6 mm <sup>2</sup>		
<b>Probeta de la muestra 6M2</b>		<b>Forma:</b> Irregular	

Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021

#### 4.1.2. Caracterización de las muestras del VISÚ

A continuación, se detalla una Descripción de “VISU” de las distintas variedades de pizarras de los afloramientos mediante fichas técnicas que a la vez incluyen la descripción macroscópica de los minerales que la conformantes.

**Tabla 7-4:** Caracterización petrográfica del VISÚ

VARIEDAD ESTÉTICA	DESCRIPCIÓN	GRADO DE FISIBILIDAD
<p><b>1. Muestra 1M3</b> Verde pálido</p>		<p>Medio</p>
<p>Esquisto</p>	<p>Grano medio, superficie lisa, esquistosidad bastante pronunciada, con incrustaciones de Cuarzo. Permite una fisibilidad ondulada.</p>	<p>Se puede usar en la industria ornamental.</p>
<p><b>2. Muestra 2M1</b> Verde oxidado</p>		<p>Alto</p>
<p>Esquisto</p>	<p>Color verde oxidada que presenta un aspecto a óxido, de grano fino o medio, se llegan a observar minerales de pirita.</p>	<p>No se debe usar este tipo de material debido a la presencia de sulfuros.</p>

**3. Muestra 3M4**

Oscuro azulado



Bajo

Filita

Color oscuro, azulada, de grano fino con una lineación de intersección producida por la presencia de finas laminaciones arenosas, de espesor milimétrico. Presenta algunos minerales metálicos dispersos alterados por agentes de intemperismo.

En la industria su valor final se reduce debido a la disposición de sus minerales.

**4. Muestra 4M2**

Verde



Muy Alto

Esquisto

Color verde oscuro, de grano fino. El contenido en metálicos es variable y puntual, con una superficie rugosa y estriada causada por la presencia de laminaciones arenosas o por el contraste del tamaño de grano.

Ideal para uso de fachadas debido a su atractiva estética.

**5. Muestra 5M6**

Gris



Muy Bajo

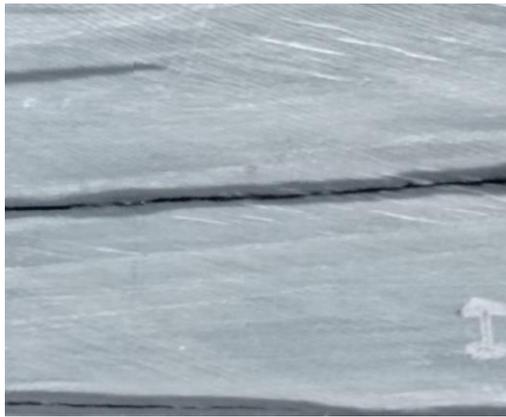
Filita

Color gris con grano de tamaño variable entre fino y medio con superficie algo rugosa con una lineación de intercalación poco marcada, baja presencia de minerales metálicos y cristales de minerales vítreos claramente visibles con textura porfídica.

No se recomienda para la industria ornamental debido a que su grado de fisibilidad no permite obtener placas uniformes.

## 6. Muestra 6M2

Oscura



Muy alto

Pizarra

Negra, con superficie lisa o estriada debido a la presencia de lineación de intersección entre estratificación y el plano de foliación (Hebra del cantero) con escasa presencia de minerales metálicos, posee un alto grado de fisibilidad.

La pizarra negra tiene mayor ocurrencia y mayor atractivo del mercado, su uso ornamental no se discute.

**Realizado por:** Lema Dután, Jorge, 2021.

En Muestras de mano, y observaciones “in visu”, las pizarras verdes presentan sulfuros en agregados minerales con formas lenticulares y paralelos a los planos preferenciales de foliación presenta oxidación y desprendimientos de este.

Los materiales rocosos que se prospectaron son del grupo comercial de las pizarras entre las que están las pizarras propiamente dichas, así como los esquistos y las filitas, todas estas se caracterizan por la presencia de minerales laminares (filosilicatos), como la moscovita estas favorecen las superficies planares de foliación para la posterior elaboración de placas para diferentes usos, en A4 (Afloramiento prospectado 4) se detectó la presencia de sulfuros evidenciándose por su ocurrencia sectorizada, se pudo observar la presencia de cristales grandes de pirita representativos (2mm a 5mm), dicho mineral actúa como un mineral penalizante que puede ser calificado como impureza ya que al estar expuesto a los agentes de meteorización tiende a oxidarse y desprenderse dejando cavidades oxidadas que las vuelven estériles, se evidencio además la presencia de ciertas impurezas que pueden alterar positivamente su valor comercial final dando por ejemplo coloraciones variadas e interesantes o negativamente dando como resultando en el abandono de la cantera, en la labor de la exploración la presencia de impurezas formando nódulos o manchas grandes dificultan o comprometen la continuidad de la explotación.



**Figura 1-4:** Presencia de pirita en Esquisto verde

**Realizado por:** Lema Dután, Jorge, 2021.

Macroscópicamente bajo lupa se han detectado minerales como la sericita, el cuarzo, biotita, clorita, moscovita, así como la illita-clorita interestratificada apareciendo eventualmente elementos accesorios como ciertos óxidos y sulfuros además de minerales arcillosos.

El mineral de mayor abundancia es la pirita

## **4.2. Resultados de la Caracterización Físico-Estético**

### ***4.2.1. Explotabilidad de las pizarras***

Las formaciones pizarrosas con posibilidades de aprovechamiento en la parroquia Copal se comprenden en terrenos paleozoicos destacando las pizarras negras y esquistos verdes aflorando en gran parte del pie de la vía de acceso así como en afloramientos naturales en diferentes localidades lo cual condiciona la explotabilidad debido al difícil acceso por la inexistencia de caminos adecuados ligados también por factores de meteorismo, litológicos, estructurales mismas que controlan la calidad de la roca y forma de presentarse en la naturaleza, otros factores que influyen inciden directamente con la rentabilidad como el espacio para escombreras, disponibilidad de terreno, agua energía eléctrica, maquinaria y mano de obra calificada.

Las pizarras presentan rasgos característicos e inherentes a diferentes escalas que determinan la calidad donde según sus propiedades como anisotropía, fisuración, deformidad y durabilidad, a escala macroscópica se ha calificado sus características estéticas como la fisibilidad, presencia de

minerales metálicos, rugosidad, superficies de esquistosidad y anisotropía, así como la estratificación lenticular.

Asimismo, en la zona alta existen recubrimientos superficiales y follaje vegetal al cual también hay que considerar tomando en cuenta su espesor, competencia y estado dado que se ha evidenciado fenómenos de reptación de laderas de pizarras meteorizadas y material arcilloso debido a la orogénesis.

Como bien se ha referido anteriormente la aplicación tecnológica más usual en el mercado local es la comercialización y uso para la fabricación de recubrimientos de viviendas en paredes, cerramientos y pisos, así como techos en base a las características reseñadas a nivel estético macroscópico.

#### *4.2.1.1. Espesor comercial mínimo*

Al existir una relación entre el grado de fisibilidad y la homogeneidad textural de las pizarras, podemos relacionar el término “grado de fisibilidad”, con el “espesor comercial mínimo”, cuantificable. Definiendo espesor comercial mínimo como un valor constante al que se pueden obtener placas de pizarra de forma sistemática y rentable a partir de un determinado macizo rocoso. Está determinado no solamente por la capacidad de la roca de ser labrada a un espesor determinado, sino también por la eficiencia económica del proceso de labrado, directamente relacionada con el tiempo empleado por el labrador en lograr una placa de ese espesor.

No se encontró ninguna relación entre el espesor comercial mínimo y la mineralogía de las pizarras; sin embargo, el espesor comercial mínimo de las placas de pizarras, esquistos y filitas está claramente relacionadas con la textura de la roca. Las pizarras que permiten la realización de placas más delgadas son pizarras de grano fino con textura lepidoblástica, a veces con presencia de dominios arenosos, cortados por alguna esquistosidad. Por el contrario, las pizarras de textura porfidoblástica, con elementos porfidicos de gran tamaño, bordeados por la esquistosidad, no permiten la obtención de placas finas y se comercializan en placas de mayor grosor.

Las rocas con mayor grado de fisibilidad son las pizarras negras, mismas que pueden lajarse a tamaños mínimos de 1 a 2cm ideal para tejar o de recubrimiento, por otro lado, los esquistos verdes tienen un grado de fisibilidad más bajo cuyas placas generalmente están entre los 7 cm y por último las filitas cuyo grado de fisibilidad tiene un valor intermedio.

#### *4.2.2. Tabulación de resultados del índice de carga puntual*

Se realizó pruebas con seis probetas de diferentes afloramientos en la máquina de Franklin, fueron sometidas a cargas como se indica en el Anexo F obteniendo los siguientes datos.

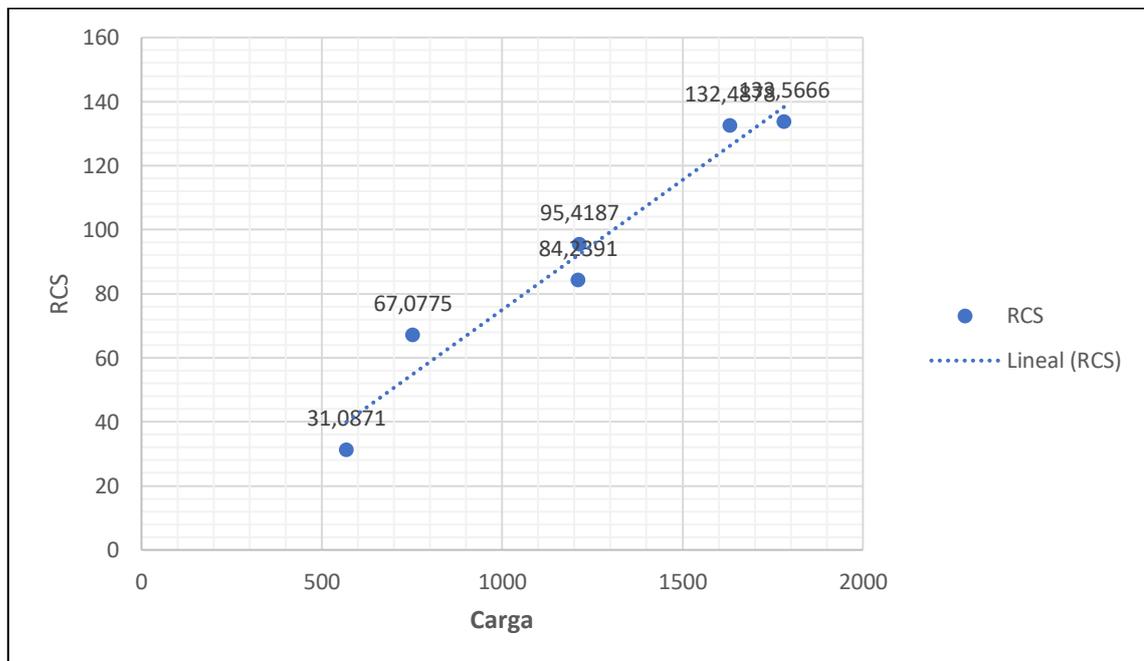
**Tabla 8-4:** Resultados del índice de carga puntual

N° DE MUESTRA	SECCIÓN TRANSVERSAL (CM2)	PRESIÓN HIDRÁULICA PARA FALLA	
		Carga (Kgf)	Resistencia a la Compresión Simple (Mpa)
1 – 1M3	19.646	752.5	67.0775
2 – 6M2	36.478	568	31.0871
3 – 5M6	26.826	1210.4	84.2391
4 – 4M2	24.426	1782.3	133.5666
5 – 2M1	22.087	1632	132.4878
6 – 3M4	23.015	1214.5	95.4187

*Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021.*

Al comparar los resultados obtenidos de RCS con respecto de la carga máxima aplicada en el momento de rotura para cada una de las muestras del VISÚ podemos observar una relación directa entre tales valores, con resultados superiores a 500 Kgf valor adecuado dentro de los parámetros de aplicación como tipo de roca válida y de alta resistencia para su aplicación ornamental de recubrimiento.

En el gráfico 2-4 se puede encontrar una función matemática que correlaciona los datos con las pruebas realizadas a las probetas de las diferentes variedades de pizarras evidenciando que la tendencia de los puntos con la ecuación que mejor se adapta es la lineal.



**Gráfico 1-4:** Función de correlación Carga-RCS de las pizarras.

*Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021.*

#### 4.2.2.1. Correlación entre el índice de carga y la Resistencia a la compresión uniaxial

El valor de la resistencia a la compresión uniaxial a partir del  $I_s(50)$  es el siguiente

$$UCS = 23 * I_s(50)$$

**Tabla 9-4:** Resultados del índice de carga puntual

Muestra	UCS
1 – 1M3	692.07
2 – 6M2	323.38
3 – 5M6	874.46
4 – 4M2	1384.37
5 – 2M1	1357.69
6 – 3M4	987.85

*Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021.*

#### 4.2.3. Acabados y elaborados de pizarras

En una explotación minera posterior a la extracción se puede realizar una gran variedad de acabados a las pizarras, estas al estar formadas en estratos con estructuras generalmente rugosas se recomendaría únicamente aplicar como acabados ciertos productos resinosos en base de aceite que las resalten, se puede realizar diferentes tipos de acabados en caras de las probetas usando herramientas eléctricas y manuales que dan lugar a los siguientes acabados.

*Lajado:* Se aplicó esta técnica en muestras del visu siendo de aplicación propia de las pizarras.

*Partido:* Es el proceso resultante que presenta un aspecto natural de corte a la roca al abrirla mediante uso de herramientas manuales se aplica a rocas no lajosas.

*Serrado:* No se aplica debido a que las pizarras tienen sus propios planos de fisibilidad, la aplicación de esta resulta en el consumo innecesario de recursos.

*Apiconado:* No se aplica pues el material llega a fracturarse y a la vez resulta en la pérdida del valor comercial.

*Escafilado:* No se aplicó, debido a que es una técnica destructiva a los materiales tipo pizarra.

*Abujardado:* Aplicable a granitos se descartó su aplicación en pizarras debido a la pérdida de características estéticas propias de dicho material.

*Raspado:* Resulta en la pérdida de las características estéticas superficiales propias que dan el valor estético a las pizarras.

*Flameado:* Como resultado del tratamiento a altas temperaturas a la roca mediante llama a una inclinación a 45° a través de sencillos mecheros se evidencio que actúan negativamente agrediendo y deslajando la superficie debido al impacto térmico.

*Apomazado:* No se aplicó debido a que esta técnica reduce el valor comercial.

*Pulido:* Se consiguió una superficie lisa y brillante destacando el máximo nivel de color, pero pierde la estructura y textura característica de la pizarra debido al grado de cristalinidad de esta.

**Tabla 10-4:** Resultados del índice de carga puntual

<b>Acabado</b>	<b>Aplicable</b>
Lajado	Muy Alto
Partido	Alto
Serrado	Muy Bajo
Apiconado	No se aplica
Escafilado	No se aplica
Abujardado	No se aplica
Raspado	No se aplica
Flameado	No se aplica
Apomazado	No se aplica
Pulido	Muy Bajo

*Realizado por: Lema Dutan, Jorge, 2021.*

Como se ha demostrado muchas técnicas de acabados en la pizarra resultan en la pérdida de las características propias que la hacen distinguirse de los productos artificiales que generalmente derivan en la pérdida de su valor comercial y valor estético.

#### *4.2.3.1. Tratamientos superficiales*

Se ha realizado diferentes tratamientos para mejorar las características estéticas de las pizarras como la utilización de resinas que dan una protección temporal o permanente evitando su deterioro que aporta también a fortalecerla frente al impacto, abrasiones, flexiones además de aportarle una estética más atractiva.



**Figura 2-4:** Pizarras con acabado superficial

**Realizado por:** Lema Dután, Jorge, 2021.

#### 4.2.3.2. Usos de la pizarra en Copal

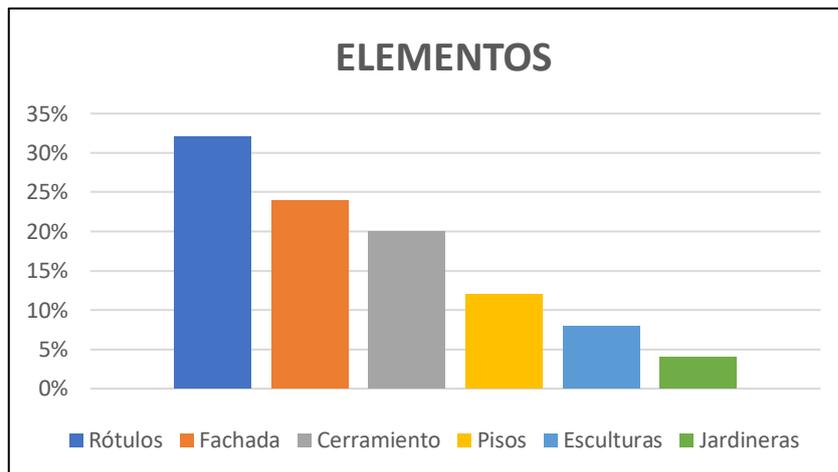
Una vez realizada la investigación de campo en el sector, mediante la toma de apuntes y de la utilización de fichas técnicas se ha procedido a interpretarlas evaluándolas mediante observación directa representadas en las siguientes tablas y gráficos.

**Tabla 11-4:** Elementos en que se usan las pizarras en Copal

<b>Elementos</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Fr</b>
Rótulos	8	32%
Fachada	6	24%
Cerramiento	5	20%
Pisos	3	12%
Esculturas	2	8%
Jardineras	1	4%
Total	25	100%

**Realizado por:** Lema Dután; Jorge, 2021.

Al realizar un análisis de las edificaciones en la Tabla 20-4 que usan las rocas Ornamentales en la Parroquia Copal y sus alrededores evidencia que el 32% es usado en diferentes rótulos la mayoría colocados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural Copal, un 24% de su uso se observa en fachadas de las diferentes edificaciones, un 20% en cerramientos, un 12% del material ornamental es usado en pisos y un el restante 12% de las pizarras son usadas Esculturas y jardineras.



**Gráfico 2-4:** Estadística del uso de rocas en la Parroquia Copal

**Realizado por:** Lema Dután, Jorge, 2021.

### 4.3. Discusión y Propuesta

En la parroquia Copal se puede encontrar diferentes variedades de rocas y minerales para uso ornamental como las calizas y granitos que se encuentran conformando depósitos muy puntuales poco atractivos para explotación; otro mineral es la baritina con un recurrido uso en confección de artículos decorativos; en este contexto las pizarras ganan protagonismo como material con alto potencial ornamental pues en los afloramientos se puede observar las diferentes tonalidades y texturas; presentándose en depósitos de gran extensión de calidad variada brindando la posibilidad de su aprovechamiento económico.

Desde el primer afloramiento prospectado se puede observar al margen de la vía y sus alrededores que las pizarras son aprovechadas por la población local en la infraestructura local como material de acabado, estructural y material pétreo en vía de acceso al centro poblado, para la comercialización los pobladores extraen material aflorante, de riveras de ríos y quebradas con un precio de venta de entre tres a cuatro dólares y de cantera con un precio de ocho dólares el metro cuadrado.

Las variedades de pizarras que presentan ciertos afloramientos permiten estimar el valor ornamental en cuanto a sus características estéticas donde resaltan las que poseen coloración verdosa (Esquisto) y negra, en cuanto a su contenido mineralógico no se detectó la presencia de carbonatos, en contenidos metálicos; la pirita y la calcopirita se presentan en ciertas áreas que puede afectar la integridad del material a la acción de elementos condicionando la extracción a ser selectiva.

Mediante ensayos de carga puntual se ha evidenciado que las pizarras tienen resistencia a la compresión entre 31 Mpa a 133 Mpa que según la clasificación ISRM son rocas duras que hacen que las rocas sean competentes tanto para revestimiento de fachadas y pisos, así como facilitan el transporte debido a que puede soportar el apilamiento y el almacenamiento en grandes volúmenes. Se determinó también por sus planos de exfoliación como poco competente para soportar cargas multidireccionales lo cual imposibilita su uso como material de soporte y carga en pilares o piedras de labrado.

Las calizas conforman un depósito de poca extensión su estructura presenta presencia de grafito lo cual genera manchas de hollín, tornándole poco eficiente como roca ornamental,

La filita se localizó en depósitos secundarios tipo aluvial y eluvial, su coloración de pardo oscuro a pardo claro genera cierto interés contrastando la presencia de pirita y signos de meteorización lo cual genera una propiedad untuosa, restándole por completo el interés ornamental.



**Figura 3-4:** Mancha generada al tacto por los diferentes materiales ornamentales.

**Realizado por:** Lema Dutan, Jorge, 2021.

Podemos proponer las aplicaciones según los resultados obtenidos de las pruebas estéticas y ensayos los que determinaron ciertos criterios que al interpretarlos en función de su finalidad comercial es el siguientes:

#### ***4.3.1. Recubrimiento de paredes y enchape***

Debido a su gran resistencia a la compresión de simple de la pizarra se propone su uso con fin estético para recubrimientos de paredes potencializado además por la posibilidad de extraer posteriormente un sinnúmero de piezas de enchape del material a su laminad, para muros exteriores teniendo especial cuidado con los minerales que contienen minerales metálicos mismos que deben ser descartados se recomienda su uso en paredes interiores dando el tratamiento tecnológico adecuado para su preservación a largo plazo, las medidas recomendables de los aparejos son:

Espesor: 3-5 cm

Largo: 20 cm

Ancho: 10 cm

#### ***4.3.2. Tratamiento posterior recomendable***

Con el fin de evitar el deterioro y afección a la erosión, agentes externos y desgaste se pueden emplear resinas de acuerdo con los tonos naturales con el fin de completar partes faltantes de la roca mismo que a la vez puede ayudar camuflar defectos estéticos como deformaciones y fracturas existentes en las piezas.

## CONCLUSIONES

Como resultado de la prospección se identificó tres variedades de roca con potencial de uso ornamental: *esquistos verdes* que se caracterizan por presentar una textura pelítica en una matriz de sericita compuestas por cuarzo y moscovita con incrustaciones puntuales de pirita y calcopirita; *filita de color pardo* que presenta mayor contenido de cuarzo con cristales de 1mm, identificándose porosidades mineralizadas con pirita; *pizarra negra* que contiene minerales micáceos, grafito a lo largo de sus planos de exfoliación que facilitan su fisibilidad característica. Las propiedades físicas y químicas del esquistos como la coloración, textura, rugosidad, resistencia a la meteorización le tornan atractivas para la construcción a pesar de la fisibilidad que actúa como un factor poco relevante. Referente a las propiedades mecánicas las cuales se determinaron mediante el ensayo de carga puntual con Resistencia a la Compresión Simple (RCS) de 133.57 MPa constituyéndole como el primer material de preferencia industrial. Las propiedades físicas y químicas como rugosidad y textura de las filitas de la parroquia “Copal” las hacen apropiadas para su aplicación industrial como material de acabado, pero desfavorables en cuanto a estética que se ve acentuada bajo la presencia de pirita en los poros, referente a las propiedades mecánicas se determinó por medio de ensayos de carga puntual con “RCS” obteniendo un valor de 95.42 MPa, constituyéndolas como el segundo material de preferencia industrial. Las propiedades físicas y químicas de la pizarra, como fisibilidad y textura determinan factores favorables para el uso en acabados como aparejos en fachadas; concerniente a la RCS se obtuvo un valor de, 31.09 MPa. Instituyendo a la pizarra como materiales de competencia moderada.

Los esquistos de tonalidades verdes y las pizarras negras son las más atractivas y comerciales siendo las verdes las mayormente cotizadas con un costo aproximado de ocho dólares el metro cuadrado y en pizarras negras llegan a un costo de seis dólares el metro como materia prima sin aplicar ninguna técnica de acabado.

En los depósitos localizados referente a los esquistos se ubican en las zonas altas contorno al centro poblado, constituyendo afloramientos con potencias que varían de entre 10 a 25 metros, con disposición horizontal a levemente inclinada de 5 a 10°, son de fácil extracción contrastando con la ausencia de vías de ingreso. Los depósitos de las pizarras se encuentran a lo largo de la superficie de la parroquia con variedad en su calidad, siendo la más atractiva aquella que no genere hollín al tacto, por lo regular se ubican en las zonas medias a bajas, usualmente no cuentan con vías de acceso, acentuándose un factor negativo la irregularidad de la geomorfología con presencia de locaciones muy accidentadas. Las filitas se localizan en depósitos secundarios tipo aluvial, su coloración varía de pardo oscuro a pardo claro, con textura porfidoblástica; por sus propiedades físicas la filita pierde valor ornamental; además los depósitos son poco representativos y cabe señalar que a su atractivo estético desfavorece la presencia de pirita y

signos de meteorización convirtiéndola untuosa al tacto. Usualmente en la zona de estudio forma parte de la cobertura superficial constituida por coluvial; aflorando en los cortes de la cobertura producidos por los riachuelos y quebradas como también siendo visible en los escarpes.

## **RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar una investigación cuantitativa y cualitativa de las rocas ornamentales con el fin de determinar reservas.

A la población local de Copal se recomienda efectuar convenios o cartas de compromiso con alguna institución de educación superior relacionada con las carreras de geología, minería, ingeniería civil y ambiental para lograr procesos de extracción elaboración más técnica con la implementación de métodos o equipos que faciliten y potencien la actividad extractiva.

Se recomienda a la población asesoría académica sobre emprendimiento para generar los productos de roca ornamental como marca registrada y así generar fuentes de empleo que beneficiarían a la población de forma directa o indirecta y de forma regular como mayores beneficios económicos; no solo en su extracción, comercialización o tratamiento de acabado sino también con el aporte de mano de obra calificada para su instalación.

## BIBLIOGRAFÍA

**AGUIRRE AZANSA, Jorge.** *Elementos de Geología aplicados a la práctica de la Ingeniería Civil* [En línea]. Loja-Ecuador, UTPL, 2008. [Consulta: 23-02-2020]. Disponible en: [https://biblioteca.casadelacultura.gob.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=958&query\\_desc=su%3A%7BGeolog%C3%ADa%7D](https://biblioteca.casadelacultura.gob.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=958&query_desc=su%3A%7BGeolog%C3%ADa%7D)

**ARIAS HOLGUÍN, Paloma.** Las rocas ornamentales como material de revestimiento en edificación. (Trabajo de titulación) (Maestría). [En línea]. Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona – España. 2015. Disponible en: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78853/PalomaArias\\_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/78853/PalomaArias_TFM.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

**BENAVENTE, David.** “Propiedades físicas y utilización de rocas ornamentales”. *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente* [En línea], 2006, (España), pp. 123-153. [Consulta: 12/04/2020]. Disponible en: <http://web.ua.es/lpa/documentos/david-benavente/sem.pdf>

**CÁRDENES, Víctor; & RUBIO ORDÓÑEZ, Álvaro.** “Petrología de la pizarra para cubierta y sus factores de calidad”. *Tierra y Tecnología* [En línea], 2008, (España), (34), pp. 91-96. [Consulta: 25/01/2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/236865267\\_Petrologia\\_de\\_la\\_pizarra\\_para\\_cubiertas\\_y\\_sus\\_factores\\_de\\_calidad](https://www.researchgate.net/publication/236865267_Petrologia_de_la_pizarra_para_cubiertas_y_sus_factores_de_calidad).

**ECHEVARRÍA CABALLERO, Mariano; & GARCÍA BIELSA, José Ignacio.** “Manual De Rocas Ornamentales: Prospección, Explotación, Elaboración y Colocación”. *E.T.S.I. Minas Universidad Politécnica de Madrid* [En línea], 2012, (España), pp. 25-26. [Consulta: 09/02/2020]. Disponible en: <https://docplayer.es/48744000-Las-rocas-ornamentales-como-material-de-revestimiento-en-edificacion.html>

**FERNÁNDEZ MADRID, Joaquín.** “La Piedra y los Arquitectos, hoy: dos actitudes”. *Universidad de Coruña* [En línea], 1990, (España), (12), pp. 6-9. [Consulta: 10/03/2020]. ISSN 0213-3474. Disponible en: [http://ruc.udc.es/bitstream/2183/5203/1/ETSA\\_12-1.pdf](http://ruc.udc.es/bitstream/2183/5203/1/ETSA_12-1.pdf)

**FERNÁNDEZ MOROTO, Gema.** “Rocas industriales y ornamentales”. *Univerddad de Cantabria* [En línea], 2018, (España), pp. 1-25. [Consulta: 15/03/2020]. Disponible en: [https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2825/course/section/2628/tema\\_05.pdf](https://ocw.unican.es/pluginfile.php/2825/course/section/2628/tema_05.pdf)

**GAD PARROQUIAL RURAL DE COPAL.** *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la Parroquia Copal* [Blog]. Departamento de Planificación y Urbanismo, 2015. [Consulta: 22/03/2020]. Disponible en: [http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL\\_SNI/data\\_sigad\\_plus/sigadplusdiagnostico/1460014910001\\_DIAGNOSTIC\\_O%20POR%20COMPONENTES\\_28-10-2015\\_14-15-36.pdf](http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI/data_sigad_plus/sigadplusdiagnostico/1460014910001_DIAGNOSTIC_O%20POR%20COMPONENTES_28-10-2015_14-15-36.pdf)

**ISRM.** “Suggested Method for determining point load strength”. *Point Load test* [en línea], 1981, (Great Britain), pp. 53-60. [Consulta: 02/04/2020]. Disponible en: <http://www.geoplanning.it/test/wp-content/uploads/2012/02/Suggest-method-for-determining-Point-Load-Strength.pdf>

**ISRM.** “Rock characterisation testing and monitoring”. *Pergamon Press* [en línea], 1981, (Oxford), pp. 221. [Consulta: 17/04/2020]. Disponible en: [https://www.scirp.org/pdf/OALibJ\\_2016120915553293.pdf](https://www.scirp.org/pdf/OALibJ_2016120915553293.pdf)

**MUÑOZ DE LA NAVA, Pedro; et al.** “Metodología de investigación de Rocas Ornamentales: Granitos”. *Boletín Geológico y Minero* [en línea], 1989, (España) 100(3), pp. 129-249. [Consulta: 20 Marzo 2021]. ISSN 433-453. Disponible en: <https://eprints.ucm.es/id/eprint/39451/1/Nu%C3%B1oz%20de%20la%20Nava.pdf>

**OROZCO CENTENO, Wendy; et al.** (2014). “Clasificación de rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas en secciones delgadas a través programación estructurada”. *Boletín de ciencias de la tierra* [en línea], 2014, (Colombia), 36 (1), pp. 5-9. [Consulta: 20/03/2021]. ISSN: 0120-3630. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1695/169532839001.pdf>

**PALACIOS JURADO, Jonatan Joel.** Estudios geológicos para determinar las causas de los deslizamientos junto a la tubería de conducción en el “proyecto hidroeléctrico san bartolo” [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Macas - Ecuador, 2016. [Consulta: 18-11-2020]. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/4924/1/53T00013%20.pdf>

**PALADINES, Agustín.** *Ecuador, país geodiverso. Minería para el buen vivir* [En línea]. Quito – Ecuador: Editorial Yulca S.L 2015. [Consulta: 22-11-2020]. Disponible en: [https://www.cenae.org/uploads/8/2/7/0/82706952/ecuador-revolucion\\_ciudadana\\_y\\_buen\\_vivir\\_jorge\\_n%C3%BA%3%B1ez.pdf](https://www.cenae.org/uploads/8/2/7/0/82706952/ecuador-revolucion_ciudadana_y_buen_vivir_jorge_n%C3%BA%3%B1ez.pdf)

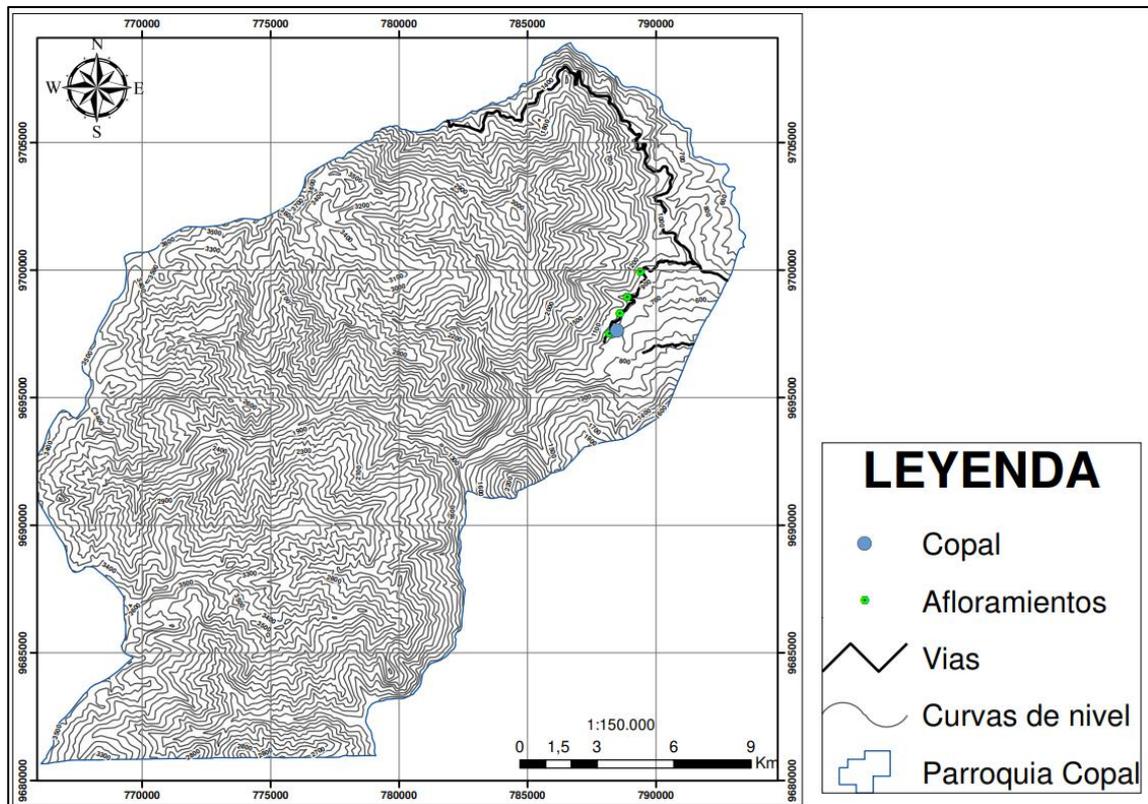
**PINZÓN PARDO, Luisa Judith.** Propiedades físico – mecánicas de las principales rocas ornamentales de la provincia de Loja y su aplicación en acabados de vivienda. (Trabajo de Titulación de Arquitecto) (Ingeniería). UTPL. Loja. 2017. Disponible en: [https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2012/11/une-en\\_1363-12000.pdf](https://temariosformativosprofesionales.files.wordpress.com/2012/11/une-en_1363-12000.pdf)

**ROA, Rafael Alfonso.** “Piedras Ornamentales Sierra Nevada de Santa Martha”. *Unidad de Planeamiento Minero Energética* [En línea], 2001, (Bogotá, Colombia), pp. 8-10. [Consulta: 13-12-2020]. Disponible en: [https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/814/1/upme\\_310\\_proyecto\\_Roa%20Rafael\\_2003.pdf](https://bdigital.upme.gov.co/bitstream/001/814/1/upme_310_proyecto_Roa%20Rafael_2003.pdf)

**TEJADO RAMOS, Juan José.** Análisis de la extracción y transformación de granitos como actividad NORM. Diseño de protocolo. (Trabajo de Titulación) (Doctoral). [En línea] Universidad de Extremadura. (España). 2014. pp. 1-176. [Consulta: 25-12-2020]. Disponible en: [https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/2281/1/TDUEX\\_2014\\_Tejado\\_Ramos.pdf](https://dehesa.unex.es/bitstream/10662/2281/1/TDUEX_2014_Tejado_Ramos.pdf)

# ANEXOS

## ANEXO A: MAPA TOPOGRÁFICO DE LA PARROQUIA COPAL



**ANEXO B: FICHAS DE IDENTIFICACIÓN DE ROCAS METAMÓRFICAS**

<p><b>Afloramiento 1</b></p>  <p><b>X</b> 788886</p> <p><b>Y</b> 9698934</p>	<p><b>Afloramiento 2</b></p>  <p><b>X</b> 789389</p> <p><b>Y</b> 9699951</p>
<p><b>Afloramiento 3</b></p>  <p><b>X</b> 788191</p> <p><b>Y</b> 9697509</p>	<p><b>Afloramiento 4</b></p>  <p><b>X</b> 787320</p> <p><b>Y</b> 9696420</p>
<p><b>Afloramiento 5</b></p>  <p><b>X</b> 788599</p> <p><b>Y</b> 9698319</p>	<p><b>Afloramiento 6</b></p>  <p><b>X</b> 789046</p> <p><b>Y</b> 9698700</p>

ANEXO C: REGISTROS DE ENSAYOS DE CARGA PUNTUAL



INDICE DE CARGA PUNTUAL  
NORMA ASTM D 5731



MUESTRA No.	DESCRIPCION	TIPO MUESTRA	LONGITUD w1 (mm)	LONGITUD w2 (mm)	SEPARACION D (mm)	SECCION TRNASVERSAL A=(mm <sup>2</sup> )	CARGA P (kg)	De <sup>2</sup> ( mm <sup>2</sup> )	Is (Kg/Cm2)	Is (50) (Kg/Cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Bieniawski 1975) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Broch & Franklin 1972) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (LUIS GONZALEZ 2002) (σu kg/cm2)
1	PIZARRA	IRREGULAR	78.00	77.00	25.35	1964.6	752.5	2,501.43	30.08	30.09	684	722	692

$\sigma_u = (14 + 0.175 D) * Is$ ; Referencia: BIENIAWSKI Z. T., 1975  
 $\sigma_u = 24 Is(50)$ ; Referencia: BROCH & FANKLIN, 1972  
 $\sigma_u = 23 Is(50)$ ; Referencia: Luis Gonzalez,2002



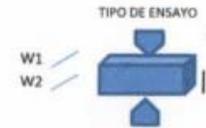
ANTES



DESPUES  
FALLA MUESTRA EN BLOQUE VALIDO



**INDICE DE CARGA PUNTUAL**  
NORMA ASTM D 5731



MUESTRA No.	DESCRIPCION	TIPO MUESTRA	LONGITUD	LONGITUD	SEPARACION	SECCION TRNASVERSAL A=(mm <sup>2</sup> )	CARGA P (kg)	De <sup>2</sup> ( mm <sup>2</sup> )	Is (Kg/Cm2)	Is (50) (Kg/Cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Bieniawski 1975) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Broch & Franklin 1972) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (LUIS GONZALEZ 2002) (σu kg/cm2)
			w1 (mm)	w2 (mm)	D (mm)						Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Bieniawski 1975) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Broch & Franklin 1972) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (LUIS GONZALEZ 2002) (σu kg/cm2)
2	PIZARRA	IRREGULAR	92.00	92.70	39.50	3647.8	568.0	4,644.54	12.23	14.06	317	337	323

$\sigma_u = (14 + 0.175 D) * Is$ ; Referencia: BIENIAWSKI Z. T., 1975

$\sigma_u = 24 Is(50)$ ; Referencia: BROCH & FANKLIN, 1972

$\sigma_u = 23 Is(50)$ ; Referencia: Luis Gonzalez,2002



ANTES



DESPUES

FALLA MUESTRA EN BLOQUE VALIDO



**INDICE DE CARGA PUNTUAL**  
NORMA ASTM D 5731



MUESTRA No.	DESCRIPCION	TIPO MUESTRA	LONGITUD w1 (mm)	LONGITUD w2 (mm)	SEPARACION D (mm)	SECCION TRNASVERSAL A=(mm <sup>2</sup> )	CARGA P (kg)	De <sup>2</sup> ( mm2 )	Is (Kg/Cm2)	Is (50) (Kg/Cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Bieniawski 1975) ( $\sigma_u$ kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Broch & Franklin 1972) ( $\sigma_u$ kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (LUIS GONZALEZ 2002) ( $\sigma_u$ kg/cm2)
3	PIZARRA	IRREGULAR	75.60	75.00	35.63	2682.6	1210.4	3,415.54	35.44	38.02	859	912	874

$\sigma_u = (14 + 0.175 D) * Is$ ; Referencia: BIENIAWSKI Z. T., 1975

$\sigma_u = 24 Is(50)$ ; Referencia: BROCH & FANKLIN, 1972

$\sigma_u = 23 Is(50)$ ; Referencia: Luis Gonzalez, 2002



ANTES



DESPUES  
FALLA MUESTRA EN BLOQUE VALIDO



**INDICE DE CARGA PUNTUAL**  
NORMA ASTM D 5731



MUESTRA No.	DESCRIPCION	TIPO MUESTRA	LONGITUD w1 (mm)	LONGITUD w2 (mm)	SEPARACION D (mm)	SECCION TRNASVERSAL A=(mm <sup>2</sup> )	CARGA P (kg)	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Is (Kg/Cm2)	Is (50) (Kg/Cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Bieniawski 1975) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Broch & Franklin 1972) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (LUIS GONZALEZ 2002) (σu kg/cm2)
4	PIZARRA	IRREGULAR	73.20	73.50	33.30	2442.6	1782.3	3,109.95	57.31	60.19	1362	1445	1384

$\sigma_u = (14 + 0.175 D) * Is$ ; Referencia: BIENIAWSKI Z. T., 1975

$\sigma_u = 24 Is(50)$ ; Referencia: BROCH & FANKLIN, 1972

$\sigma_u = 23 Is(50)$ ; Referencia: Luis Gonzalez, 2002



ANTES



DESPUES  
FALLA MUESTRA EN BLOQUE VALIDO



**INDICE DE CARGA PUNTUAL**  
NORMA ASTM D 5731



MUESTRA No.	DESCRIPCION	TIPO MUESTRA	LONGITUD		SEPARACION D (mm)	SECCION TRANSVERSAL A=(mm <sup>2</sup> )	CARGA P (kg)	De <sup>2</sup> ( mm <sup>2</sup> )	Is (Kg/Cm2)	Is (50) (Kg/Cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Bieniawski 1975) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Broch & Franklin 1972) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (LUIS GONZALEZ 2002) (σu kg/cm2)
			w1 (mm)	w2 (mm)									
5	PIZARRA	IRREGULAR	78.00	79.20	28.10	2208.7	1632.0	2,812.15	58.03	59.59	1351	1430	1371

$\sigma_u = (14 + 0.175 D) * I_s$ ; Referencia: BIENIAWSKI Z. T., 1975  
 $\sigma_u = 24 I_s(50)$ ; Referencia: BROCH & FANKLIN, 1972  
 $\sigma_u = 23 I_s(50)$ ; Referencia: Luis Gonzalez, 2002



ANTES



DESPUES  
FALLA MUESTRA EN BLOQUE VALIDO

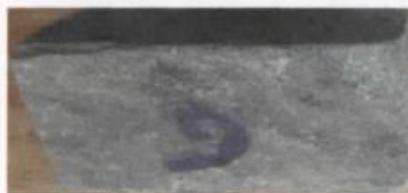


**INDICE DE CARGA PUNTUAL**  
NORMA ASTM D 5731



MUESTRA No.	DESCRIPCION	TIPO MUESTRA	LONGITUD	LONGITUD	SEPARACION	SECCION TRNASVERSAL A=(mm <sup>2</sup> )	CARGA P (kg)	De <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	Is (Kg/Cm2)	Is (50) (Kg/Cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Bieniawski 1975) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (Broch & Franklin 1972) (σu kg/cm2)	Resistencia a la Compresión Simple aproximada (LUIS GONZALEZ 2002) (σu kg/cm2)
			w1 (mm)	w2 (mm)	D (mm)						(σu kg/cm2)	(σu kg/cm2)	(σu kg/cm2)
6	PIZARRA	IRREGULAR	62.50	60.00	37.58	2301.5	1214.5	2,930.31	41.44	42.95	973	1031	988

σu = (14 + 0.175 D) \* Is; Referencia: BIENIAWSKI Z. T., 1975  
 σu = 24 Is(50); Referencia: BROCH & FANKLIN, 1972  
 σu = 23 Is(50); Referencia: Luis Gonzalez,2002



ANTES



DESPUES  
FALLA MUESTRA EN BLOQUE VALIDO





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



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

**FECHA DE ENTREGA:** 14/ 02/ 2022

**INFORMACIÓN DEL AUTOR**

**NOMBRES – APELLIDOS:** JORGE LUIS LEMA DUTAN

**INFORMACIÓN INSTITUCIONAL**

**FACULTAD:** RECURSOS NATURALES

**CARRERA:** MINAS

**TÍTULO A OPTAR:** INGENIERO EN MINAS

**F. ANALISTA DE BIBLIOTECA RESPONSABLE:**

Lcda. INÉS ZAPATA ZUMÁRRAGA Mgtr.

Inés  
Zapata

Firmado digitalmente por Inés Zapata  
DN: cn=Inés Zapata gminés Zapata o=ESPOCH ou=ESPOCH o=ESPOCH ou=DBRAI emines.zapata@esPOCH.edu.ec  
Motivo: Aprobado este documento  
Ubicación:  
Fecha: 2022.02.14 17:40:06.00



14-02-2022  
2099-DBRA-UTP-2021