



**UNIVERSIDAD ALAS PERUANAS**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE MINAS**

**TESIS**

**ESTUDIO ESTRUCTURAL PARA DETERMINAR EL  
MÉTODO DE EXPLOTACIÓN DE LAS CANTERAS DE  
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN EN EL SECTOR  
SHUDAL, PACCHA GRANDE Y ALREDEDORES-  
CAJAMARCA - 2017**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:  
GONZALES SÁNCHEZ, JUNIOR LUDWIG EDUARDO**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO DE MINAS**

**CAJAMARCA - PERÚ**  
**MARZO 2018**

## **DEDICATORIA**

A mis padres que son la fuente de inspiración, este logro es de ustedes por guiarnos diariamente e impulsar el cumplimiento de nuestras metas que, aunque muchas veces el camino es complicado, nos han motivado con sus consejos para realizar nuestros sueños.

A mis compañeros de estudio, docentes y amigos, ya que sin ellos no hubiera sido posible la realización de esta investigación.

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradecemos a Dios y a mis padres; por enseñarme a luchar en esta vida llena de adversidades, y por ser los pilares fundamentales en mi vida, por estar conmigo cuando he caído y motivarme a seguir adelante.

También a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería de Minas de la Universidad Alas Peruanas la cual nos brinda todo el recurso necesario para desarrollarnos como estudiantes

## RESUMEN

La zona de estudio se ubica en las localidades de la Shudal, Paccha Grande y alrededores, en la ciudad de Cajamarca, provincia de Cajamarca; abarcando una extensión de 22 km<sup>2</sup> aproximadamente. En la actualidad la explotación de recursos minerales no metálicos constituye una importante actividad extractiva debido a la gran demanda de estos recursos. La expansión urbana es muy notoria, sobre todo hacia la zona Sur-Este de la ciudad de Cajamarca, esta genera un incremento de la demanda de materiales de construcción como son (arena gruesa, arena fina, gravilla, entre otros) siendo todo estos explotados de las formaciones rocosas de los cerros y que son utilizados para la construcción de viviendas y una serie de obras públicas. Este incremento de la construcción conlleva además una sobre explotación y con ello la alteración del medio ambiente. En este contexto se planteó como objetivo general realizar el estudio estructural de las formaciones rocosas que están en la zona, así como también determinar sus reservas minerales, determinar el método de explotación más adecuado y determinar la composición mineralógica de las areniscas. Las rocas sedimentarias tales como las areniscas las cuales se encuentran aflorando en la zona de estudio, son aptas para ser explotadas como materiales de construcción. Las mayores reservas explotables se ubican en lugares donde hay gran concentración de fracturas ya que estas permiten que el material este disgregado y facilite la etapa de extracción. La actividad meteórica principalmente el agua de lluvia ha ayudado en la disolución del cemento y matriz de las areniscas, a esto también se le suma los eventos deformativos regionales que han tomado lugar en la zona, así por ejemplo tenemos la falla geológica de Cajamarca.

**Palabras Claves:** *Estudio Estructural, Reservas Minerales, Arenisca, Agregados.*

## ABSTRACT

The study area is located in the towns of Shudal, Big Paccha and environs, in the city of Cajamarca, province of Cajamarca; covering an area of approximately 22 km<sup>2</sup>. At present, the exploitation of non-metallic mineral resources constitutes an important extractive activity due to the great demand for these resources. The urban expansion is very noticeable, especially towards the South-East of the city of Cajamarca, this generates an increase in the demand for building materials such as (coarse sand, fine sand, gravel, among others) I feel all these exploited of the rock formations of the hills and that are used for the construction of houses and a series of public works. This increase in construction also leads to over exploitation and thus the alteration of the environment. In this context, the general objective was to carry out the structural study of the rock formations that are in the area, as well as determine their mineral reserves, determine the most appropriate exploitation method and determine the mineralogical composition of the sandstones. Sedimentary rocks, such as sandstones, which are found in the study area, are suitable for exploitation as building materials. The largest exploitable reserves are located in places where there is a high concentration of fractures since these allow the material to be disintegrated and facilitate the extraction stage. The meteoric activity mainly rainwater has helped in the dissolution of the cement and matrix of sandstone, this is also added to the regional deformational events that have taken place in the area, for example we have the geological fault of Cajamarca.

***Key Words:*** *Structural Study, Mineral Reserves, Sandstone, Aggregates.*

## ÍNDICE

	Pág.
DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO .....	ii
RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
INTRODUCCION.....	xvii
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción de la Realidad Problemática.....	1
1.2. Delimitación de la Investigación .....	2
1.2.1. Delimitación Espacial .....	2
1.2.2. Delimitación Social .....	3
1.2.3. Delimitación Temporal .....	3
1.2.4. Delimitación Conceptual.....	3
1.3. Problema de Investigación .....	3
1.3.1. Problema Principal .....	3
1.3.2. Problemas Secundarios .....	4
1.4. Objetivos de la Investigación.....	4
1.4.1. Objetivo General.....	4
1.4.2. Objetivos Específicos .....	4
1.5. Hipótesis y Variables de Investigación.....	4
1.5.1. Hipótesis General.....	4
1.5.2. Hipótesis Secundarias.....	5
1.5.3. Variables de Investigación.....	5
1.6. Metodología de la Investigación .....	6
1.6.1. Tipo y Nivel de Investigación .....	6
1.6.2. Método y Diseño de la Investigación.....	6
1.6.3. Población y Muestra de la Investigación .....	7

	Pág.
1.6.4. <u>Técnica e Instrumentos de la Recolección de Datos</u> .....	7
1.7. <u>Justificación e Importancia de la Investigación</u> .....	8
<u>APÍTULO II: MARCO TEÓRICO</u> .....	10
2.1. <u>Antecedentes de la Investigación</u> .....	10
2.1.1. <u>Antecedentes Internacionales</u> .....	10
2.1.2. <u>Antecedentes Nacionales</u> .....	11
2.1.3. <u>Antecedentes Locales</u> .....	12
2.2. <u>Bases Teóricas</u> .....	13
2.2.1. <u>Análisis Estructural</u> .....	13
2.2.2. <u>Método de explotación para agregados</u> .....	14
2.2.3. <u>Composición Química De Las Areniscas</u> .....	15
2.2.4. <u>Recursos y Reservas Minerales</u> .....	16
2.2.5. <u>Cálculo de Reservas</u> .....	19
2.2.6. <u>Método de Explotación</u> .....	24
2.2.7. <u>Diseño de los Límites de la Cantera</u> .....	24
2.2.8. <u>Diseño del Banco de Explotación</u> .....	25
2.2.9. <u>Análisis de los Parámetros Geométricos de un Talud</u> .....	27
2.2.9. <u>Caraterísticas principales de las rocas</u> .....	27
2.3. <u>Definición de Términos Básicos</u> .....	29
2.3.1. <u>Arenisca</u> .....	29
2.3.2. <u>Material de Construcción</u> .....	29
2.3.3. <u>Agregado</u> .....	30
2.3.4. <u>Talud</u> .....	30
2.3.5. <u>Reserva Mineral</u> .....	30
<u>APÍTULO III: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</u> .....	31
3.1. <u>Ubicación de la Investigación</u> .....	31
3.1.1. <u>Ubicación Geográfica</u> .....	31

	Pág.
3.1.2. <u>Ubicación Política</u> .....	31
3.1.3. <u>Accesibilidad</u> .....	33
<u>3.2. Aspectos Climatológicos y de Vegetación</u> .....	33
32.1. <u>Temperatura</u> .....	33
3.2.2. <u>Clima</u> .....	34
3.2.3. <u>Flora y Fauna</u> .....	35
<u>3.3. Geomorfología</u> .....	35
<u>3.4. Estratigrafía</u> .....	37
3.4.1. <u>Formación Chimú</u> .....	37
3.4.2. <u>Formación Santa</u> .....	37
3.4.3. <u>Formación Carhuaz</u> .....	37
3.4.4. <u>Formación Farrat</u> .....	38
3.4.5. <u>Depósitos Cuaternarios</u> .....	38
<u>3.5. Geología Estructural</u> .....	38
<u>3.6. Presentación de Resultados</u> .....	44
3.6.1. <u>Estación Estructura J-001 (9203401, 774306)</u> .....	45
3.6.2. <u>Estación Estructural J-002 (9203286, 775254)</u> .....	47
3.6.3. <u>Estación Estructural J-003 (9203483, 775885)</u> .....	49
3.6.4. <u>Estación Estructural J-004 (9203606, 775050)</u> .....	51
3.6.5. <u>Estación Estructural J-005 (9202803, 775967)</u> .....	53
3.6.6. <u>Estación Estructural J-006 (9203126, 776752)</u> .....	55
3.6.7. <u>Estación Estructural J-007 (9203423, 777468)</u> .....	57
3.6.8. <u>Estación Estructural J-008 (9203039, 777592)</u> .....	59
3.6.9. <u>Estación Estructural J-009 (9202578, 777553)</u> .....	61
3.6.10. <u>Estación Estructural J-010 (9203587, 778783)</u> .....	63
<u>3.7. Análisis de la Concentración de intersecciones de fracturas</u> .....	65
3.7.1. <u>Análisis de intersección de la Estación J-001</u> .....	65

	Pág.
3.7.2. <u>Análisis de intersección de la Estación J-002</u> .....	66
3.7.3. <u>Análisis de intersección de la Estación J-003</u> .....	67
3.7.4. <u>Análisis de intersección de la Estación J-004</u> .....	67
3.7.5. <u>Análisis de intersección de la Estación J-005</u> .....	68
3.7.6. <u>Análisis de intersección de la Estación J-006</u> .....	68
3.7.7. <u>Análisis de intersección de la Estación J-007</u> .....	69
3.7.8. <u>Análisis de intersección de la Estación J-008</u> .....	69
3.7.9. <u>Análisis de intersección de la Estación J-009</u> .....	70
3.7.10. <u>Análisis de intersección de la Estación J-010</u> .....	70
<u>3.8. Análisis Petrográfico de las Areniscas</u> .....	71
<u>3.8.1. Determinación del porcentaje de los componentes mineralógicos de las areniscas:</u> .....	71
<u>3.8.2. Resultado de los análisis efectuados</u> .....	83
<u>3.9. Estimación de Reservas</u> .....	83
<u>3.9.1 Elección del Método de Explotación</u> .....	84
<u>3.9.2. Estimación De Reservas Para La Zona De Paccha Grande</u> .....	84
<u>3.9.3. Estimación De Reservas por áreas parciales</u> .....	86
<u>3.9.4. Estimación De Reservas Para La Zona De Shudal</u> .....	88
<u>3.9.5. Estimación De Reservas por áreas parciales</u> .....	89
<u>3.10. Estabilidad de Taludes</u> .....	91
<u>3.11. Resultados Obtenidos de la Estabilidad de Taludes</u> .....	101
<u>3.12. Contrastación de la Hipótesis</u> .....	101
<u>ONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</u> .....	102
<u>Conclusiones</u> .....	102
<u>Recomendaciones</u> .....	104
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u> .....	105
<u>NEXOS</u> .....	107

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Ubicación política del área de estudio.....	2
Tabla 2: Ubicación geográfica del área de estudio.....	3
Tabla 3: Operacionalización de variables.....	5
Tabla 4: Clasificación de canteras.....	14
Tabla 5: Parámetros para el diseño de un talud.....	26
Tabla 6: Peso específico de las rocas.....	29
Tabla 7: Coordenadas UTM del área de estudio.....	31
Tabla 8: Accesibilidad al área de estudio.....	33
Tabla 9: Movimientos deformativos que han sucedido a nivel regional en la parte Nor-Occidental del Perú.....	43
Tabla 10: Estaciones estructurales y petrológicas tomadas en campo.....	65
Tabla 11: Análisis petrográfico de la muestra J-001.....	73
Tabla 12: Análisis petrográfico de la muestra J-002.....	74
Tabla 13: Análisis petrográfico de la muestra J-003.....	75
Tabla 14: Análisis petrográfico de la muestra J-004.....	76
Tabla 15: Análisis petrográfico de la muestra J-005.....	77
Tabla 16: Análisis petrográfico de la muestra J-006.....	78
Tabla 17: Análisis petrográfico de la muestra J-007.....	79
Tabla 18: Análisis petrográfico de la muestra J-008.....	80
Tabla 19: Análisis petrográfico de la muestra J-009.....	81
Tabla 20: Análisis petrográfico de la muestra J-010.....	82
Tabla 21: Cálculos de las reservas parciales explotable de la zona Paccha Grande...	86
Tabla 22: Cálculos de las reservas explotables del terreno favorable determinado después del análisis estructural y petrográfico.....	87
Tabla 23: Cálculos de las utilidades en una supuesta explotación de materiales de construcción de acuerdo al análisis estructural y petrográfico en la zona de La Paccha Grande.....	87

	Pág.
<u>Tabla 24: Cálculos de las reservas parciales explotable de la zona Shudal</u> .....	90
<u>Tabla 25: Cálculos de las reservas explotables del terreno favorable determinado después del análisis estructural y petrográfico</u> .....	90
<u>Tabla 26: Cálculos de las utilidades en una supuesta explotación de materiales de construcción de acuerdo al análisis estructural y petrográfico en la zona de Shudal</u> ...	91
<u>Tabla 27: Matriz de Consistencia de la Investigación</u> .....	108
<u>Tabla 28: Tabla de encuesta a los pobladores del sector de Shudal y de Paccha Grande</u> .....	109
<u>Tabla 29: Tabla donde están las preguntas realizadas a los pobladores con respecto a la explotación de canteras de arena en los alrededores del sector de Shudal y Paccha Grande</u> .....	109
<u>Tabla 30: Datos medidos de las fracturas de la estación J-001</u> .....	110
<u>Tabla 31: Datos medidos de las fracturas de la estación J-002</u> .....	111
<u>Tabla 32: Datos medidos de las fracturas de la estación J-003</u> .....	112
<u>Tabla 33: Datos medidos de las fracturas de la estación J-004</u> .....	113
<u>Tabla 34: Datos medidos de las fracturas de la estación J-005</u> .....	114
<u>Tabla 35: Datos medidos de las fracturas de la estación J-006</u> .....	115
<u>Tabla 36: Datos medidos de las fracturas de la estación J-007</u> .....	116
<u>Tabla 37: Datos medidos de las fracturas de la estación J-008</u> .....	117
<u>Tabla 38: Datos medidos de las fracturas de la estación J-009</u> .....	118
<u>Tabla 39: Datos medidos de las fracturas de la estación J-010</u> .....	119

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Clasificación petrográfica de las rocas clásticas. ....	16
Figura 2: Enfoque global de los recursos totales de un yacimiento. ....	16
Figura 3: Relación general entre Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales. ....	19
Figura 4: Método de las secciones horizontales. ....	20
Figura 5: Método de cubicación por cuadrícula. ....	21
Figura 6: Vista en planta de la interpolación que se realiza en el método de la cuadrícula. ....	22
Figura 7: Vista 3D de los prismas que se forman para cubicar. ....	23
Figura 8: Elementos de un talud (Rodríguez, 2006). ....	25
Figura 9: Diseño de un banco de explotación. ....	25
Figura 10: Diseño de un banco para la explotación de mineral. ....	27
Figura 11: Avance de explotación de un banco. ....	27
Figura 12: Vista satelital de zona de estudio. ....	32
Figura 13: Temperaturas mínimas y máximas de Cajamarca. ....	33
Figura 14: Registro de lluvias desde enero a diciembre del 2013. Nótese que existe un incremento de precipitaciones en los meses de febrero, marzo y abril. Un descenso en los meses de junio, julio y agosto. ....	34
Figura 15: Vegetación de eucaliptos, típica de la zona de estudio. ....	35
Figura 16: Las montañas están configuradas en rocas areniscas cuarzosas de la formación Chimú. La gran resistencia a la erosión hace que esta geomorfología resalte entre todas las geoformas existentes en el lugar de estudio. ....	36
Figura 17: Colinas configuradas en rocas de la formación Carhuáz. Nótese el color gris rojizo de la secuencia arcillo- limosa de esta unidad. ....	37
Figura 18: Afloramientos de arenas y gravas sub redondeadas y semi condidadas, de origen lacustrino que podría ser explotados eventualmente como material de relleno. ....	38
Figura 19 Mapa estructural Regional, que comprende los cuadrángulos de Cajamarca San Marcos y Bolívar. ....	40
Figura 20: Mapa Paleogeográfico del Perú durante el Jurásico superior (MALM), donde se observa la configuración de dos cuencas una Occidental y otra Oriental. La cuenca	

Occidental en aquella época era de facies marina y la cuenca Oriental de facies continentales.....	41
Figura 21: Comedor Estructural Chicama - Yanacocha dentro del cual se encuentra la zona de estudio (Gulroz, 2007). .....	42
Figura 22: Se observa una gran cantidad de fracturas con un espaciamiento muy pequeño lo que ha generado intenso fracturamiento de las rocas.....	44
Figura 23: Diagrama de rosas de la estación J-001. Se observa varias familias de fracturas que se intersectan.....	46
Figura 24: Diagrama de polos de la estación J-001. Se observa una mayor concentración de polos en la dirección S 70° E. ....	46
Figura 25: Diagrama de rosas de la estación J-002. Se observa varias familias de fracturas que se intersectan.....	48
Figura 26: Diagrama de polos de la estación J-002. Se observa una mayor concentración de polos en la dirección S70° E. ....	48
Figura 27: Diagrama de rosas de la estación J-003. Se observa varias familias de fracturas de importancia menor. ....	50
Figura 28: El diagrama de polos de la estación J-003 nos muestra una mayor concentración de polos en el sector N10°O. La ubicación de estos polos indica además los valores de los ángulos de buzamientos entre 50 y 60°.....	51
Figura 29: Diagrama de rosas de la estación J-004. Se observa hasta 3 familias de fracturas. ....	52
Figura 30: El diagrama de polos de la estación J-004 nos muestra varias concentraciones de polos. Una con dirección S70°O y otra al S60°O. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de buzamientos van desde 30 a 40°. ....	52
Figura 31: Diagrama de rosas de la estación J-005. Se observa hasta 3 familias de fracturas. ....	54
Figura 32: El diagrama de polos de la estación J-005 nos muestra una orientación preferencial N50°O- S50° E. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de buzamientos van desde 20 a 30°.....	54
Figura 33: Diagrama de rosas de la estación J-006. Se observa hasta 3 familias de fracturas. ....	55
Figura 34: El diagrama de polos de la estación J-006 nos muestra una orientación preferencial N50°O- S50° E. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de buzamientos van desde 20 a 30°.....	56
Figura 35: Diagrama de rosas de la estación J-007. Se observa hasta 3 familias de fracturas. ....	58

	Pág.
<u>Figura 36: El diagrama de polos de la estación J-007 nos muestra una orientación preferencial N50°O- S50° E. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de buzamientos van desde 20 a 30°.</u>	58
<u>Figura 37: Diagrama de rosas de la estación J-008. Se observa hasta 3 familias de fracturas.</u>	60
<u>Figura 38: El diagrama de polos de la estación J-008 nos muestra una orientación preferencial N80°E. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de buzamientos van desde 30 a 40°.</u>	60
<u>Figura 39: Diagrama de rosas de la estación J-009. Se observa hasta 4 familias de fracturas.</u>	62
<u>Figura 40: El diagrama de polos de la estación J-009 nos muestra una orientación preferencial S30°E y N50°O. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de los buzamientos van desde 70 a 80°.</u>	62
<u>Figura 41: Diagrama de rosas de la estación J-010. Se observa hasta 3 familias de fracturas.</u>	64
<u>Figura 42: El diagrama de polos de la estación J-010 nos muestra una orientación preferencial de polos en N80°O La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de buzamientos van desde 80° a 40°.</u>	64
<u>Figura 43: En el diagrama de intersección de las fracturas se observan las intersecciones diseminadas en toda la red estereográfica y concentradas en tres puntos muy notorios: N10°E, S 80°E y N50°O.</u>	66
<u>Figura 44: En el diagrama de intersección de las fracturas las intersecciones están concentradas hacia la parte central de la red. Siguen una dirección al Sur- Este.</u>	66
<u>Figura 45: En el diagrama de intersección de las fracturas se observan a estas concentradas hacia la parte norte de la red estereográfica.</u>	67
<u>Figura 46: Se observa una gran concentración de intersecciones en el sector oeste de la estación estructural.</u>	67
<u>Figura 47: Se observa una gran concentración de intersecciones en el sector oeste y sur de la estación estructural.</u>	68
<u>Figura 48: Se observa tres nubes de puntos, uno en el sector norte otro al sector N80°E y otro al sur de la estación estructural.</u>	68
<u>Figura 49: Se observa dos nubes de puntos, uno en el sector S20°E y otro S30°O.</u>	69
<u>Figura 50: Se observa dos nubes de puntos, uno en el sector S20°E y otro S30°O.</u>	69
<u>Figura 51: En el diagrama de intersecciones se observa una concentración de puntos al centro de la red.</u>	70

## Z

	Pág.
Figura 52: En el diagrama de intersecciones se observa tres concentraciones bien definidas de puntos. ....	70
Figura 53: Estimación macroscópica de porcentaje de minerales en roca. ....	72
Figura 54: Toma de muestras en campo para el análisis petrográfico ....	72
Figura 55: Diseño de banco de explotación para la cantera de Shudal. ....	92
Figura 56: Propiedades geomecánicas las areniscas presentes en la zona de Shudal. ....	93
Figura 57: Parámetros Geomecánicos y Geotécnicos de los taludes de Shudal.....	93
Figura 58: Análisis de Taludes por medio del Factor de Seguridad siendo este de 1.675 por lo cual es un talud estable con el método de Bishop Simplificado, para la zona de Shudal.....	94
Figura 59: Diseño de banco de explotación para la cantera de La Paccha 1.....	95
Figura 60: Propiedades geomecánicas las areniscas presentes en la zona de La Paccha Grande 1.....	96
Figura 61: Parámetros Geomecánicos y Geotécnicos de los taludes de la Paccha Grande 1.....	96
Figura 62: Análisis de Taludes por medio del Factor de Seguridad siendo este de 1.557 por lo cual es un talud estable con el método de Bishop Simplificado, para la zona de La Paccha Grande 1.....	97
Figura 63: Diseño de banco de explotación de la cantera La Paccha 2. ....	98
Figura 64: Propiedades geomecánicas las areniscas presentes en la zona de La Paccha Grande 2.....	99
Figura 65: Parámetros Geomecánicos y Geotécnicos de los taludes de la Paccha Grande 2.....	99
Figura 66: Análisis de Taludes por medio del Factor de Seguridad siendo este de 2.188 por lo cual es un talud estable con el método de Bishop Simplificado, para la zona de La Paccha Grande 2.....	100
Figura 67,68,69,70,71,72,73,74: Centro poblado Shudal, se observa la zona de estudio donde se realizó el muestreo.....	120

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo de investigación tuvo la finalidad de dar un análisis de las características estructurales de los afloramientos de areniscas que afloran en las localidades de Shudal y Paccha Grande y que constituyen abundantes reservas de materiales de construcción y de esta manera elegir el mejor método de Explotación Superficial.

Hoy en día existe una gran demanda de materiales de construcción para viviendas, tales como: arenas, piedra chancada, hormigón, bolonería por lo que también conlleva a un agotamiento, por lo que urge la necesidad de realizar nuevos estudios con la finalidad de encontrar más reservas que cubra las crecientes demandas.

Esta investigación pretende además mejorar los métodos de explotación de las canteras de arenas debido a que actualmente se utilizan métodos rudimentarios y no convencionales. Dará un aporte al conocimiento de las características estructurales petrológicas, mineralógicas de las areniscas que están siendo explotadas masivamente como materiales de construcción el cual beneficiaría directamente a los empresarios y a los pobladores de las zonas del Gavilán, Paríamarca, Shudal, Paccha Grande etc. Además, pretende contribuir a que las futuras explotaciones de canteras en esta localidad, zonas aledañas y otras de similares características, se puedan realizar en forma tecnificada y teniendo en cuenta el cuidado del medio ambiente.

Para la caracterización estructural del área donde afloran las secuencias areniscosas de las formaciones Chimú y Farrat se realizaron seis (06) estaciones estructurales en las cuales se realizaron sendas medidas de rumbos y buzamientos de las fracturas y fallas. Dichos datos fueron tomados con la brújula utilizando los softwares Tectonic, Dip, Stereonet, ArcGis y Excel.

A continuación, se detallan el contenido de la presente tesis:

El Capítulo I, contiene el planteamiento metodológico, en donde se detallan la metodología científica empleada, la justificación, la hipótesis, los objetivos, la situación problemática, las limitaciones.

El Capítulo II, contiene el Marco Teórico, en donde se detallan los antecedentes internacionales, nacionales y locales relacionados al tema de investigación además de teorías científicas relacionadas a la investigación y finalmente la definición de términos básicos.

El Capítulo III, contiene la Hipótesis y variables.

El Capítulo IV, contiene la Metodología de la Investigación.

En Capítulo V, se menciona la administración de la Investigación

El Capítulo VI, está referido al Análisis e interpretación de Resultados.

Finalmente, este trabajo de investigación contiene las Conclusiones, Recomendaciones, referencias bibliográficas y anexo

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

En la actualidad el método de explotación de recursos minerales no metálicos se considera fundamental para el proceso de extracción, ya que tener el método definido garantiza la calidad del producto y sus beneficios para las diferentes actividades humanas como la agricultura, la industria, la artesanía y la construcción. Especialmente la región de Cajamarca es muy rica en recursos no metálicos como canteras de areniscas, que son procesadas para la obtención de arenas, generalmente como producto base para la construcción y diferentes obras civiles, por lo que hoy en día la explotación de dichos recursos es tomada en cuenta para la generación de empleo y el desarrollo de las comunidades donde se encuentran.

El crecimiento poblacional que experimenta la ciudad de Cajamarca se traduce en una expansión urbana bastante notoria sobre todo hacia la zona Sur- Este de la ciudad de Cajamarca. Esta expansión urbana en mención, genera un incremento de la demanda de materiales de construcción como son (arena de cerro, gravilla de cerro, arena fina de cerro) para la construcción de viviendas y una serie de obras públicas.

Este incremento de la construcción conlleva además una sobre explotación y la consiguiente alteración del medio ambiente.

Desde hace mucho tiempo, estas areniscas son explotadas, para ser utilizadas como materiales de construcción. La técnica de explotación superficial de estas areniscas no es tecnificada utilizándose mayormente el método del desbroce aprovechando en su mayor parte la acción de la gravedad. Es imperiosa la necesidad de la utilización de una metodología de explotación tecnificada lo que redundaría en una mejora en la calidad del material de construcción en lo que respecta a su mineralogía, tamaño y dureza. Además de tener un mejor control del transporte y del tipo de explotación superficial etc. los que se traducirían a su vez en un negocio más lucrativo para los empresarios y además se respeta los estándares de los cuidados del medio ambiente.

## 1.2. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

### 1.2.1. Delimitación Espacial

La investigación se centrará al estudio detallado de los afloramientos rocosos de las areniscas que afloran en los tramos de Shudal-La Paccha y alrededores, y que abarca una extensión aproximada de 22 km<sup>2</sup>.

**Tabla 1:**  
*Ubicación política del área de estudio.*

Descripción	Lugar
Centro poblado	Paccha - Shudal
Distrito	Cajamarca
Provincia	Cajamarca
Departamento	Cajamarca

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 2:**

*Ubicación geográfica del área de estudio.*

<b>Descripción</b>	<b>Lugar</b>
<b>Altitud</b>	3100 msnm
<b>Este</b>	774000, 779000
<b>Norte</b>	9204500, 9202500
<b>Área total</b>	22 Km <sup>2</sup>

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017.

### **1.2.2. Delimitación Social**

La presente investigación se desarrollará en los sectores de Shudal y Paccha Grande, teniendo como agentes involucrados a la población del sector, y a empresas de extracción de agregados.

### **1.2.3. Delimitación Temporal**

Esta investigación se realizará entre los meses de agosto a diciembre del 2017.

### **1.2.4. Delimitación Conceptual**

La presente investigación hará uso de la Geología Estructural para plantear el método de explotación, además se realizará el cálculo de reservas y descripción mineralógica.

## **1.3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1. Problema Principal**

¿Cuáles son las características estructurales evaluadas para determinar el método de explotación de las rocas utilizadas como materiales de construcción ubicadas en los tramos de Shudal - Paccha Grande y alrededores?

### **1.3.2. Problemas Secundarios**

¿Cuáles son las reservas minerales de arenisca para ser utilizadas como material de construcción que afloran en el sector de Shudal, Paccha Grande y alrededores?

¿Cuál es la composición mineralógica que presentan las areniscas que serán utilizadas como materiales para la construcción?

## **1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo General**

Realizar el estudio estructural de los macizos rocosos para establecer el método de explotación de las canteras de materiales de construcción en el sector de Shudal, Paccha Grande y alrededores.

### **1.4.2. Objetivos Específicos**

Determinar las reservas minerales de areniscas para ser utilizadas como materiales de construcción que afloran en el sector de Shudal, Paccha Grande y alrededores.

Determinar si la composición mineralógica que presentan las canteras son las adecuadas para ser utilizadas como materiales de construcción.

## **1.5. Hipótesis y variables de la investigación**

### **1.5.1. Hipótesis general**

El estudio estructural del macizo rocoso, establece que el método de explotación apropiado para la explotación de materiales de construcción en el sector Shudal, Paccha Grande y alrededores es Cielo Abierto.

### 1.5.2. Hipótesis secundarias

Las reservas minerales de arenisca para ser utilizadas como material de construcción que afloran en el sector de Shudal, Paccha Grande, son de considerable volumen para su extracción.

Las rocas areniscas utilizadas como material de construcción que afloran en el sector de Shudal, Paccha Grande, presenta un alto porcentaje de sílice.

### 1.5.3. Variables de Investigación

- **Variable Dependiente:**  
Método de explotación.
- **Variable Independiente:**  
Estudio estructural.

**Tabla 3:**  
*Operacionalización de variables.*

VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIONES	DEFINICION OPERACIONAL	INDICADOR	UNI. DEL INDICADOR
<b>Estudio Estructural</b>	A mayor tetanismo mayor es el grado de fractura miento de las rocas que los convierte en fragmentos y son apropiados para ser explotados como material de construcción.	Las fracturas y fallas pueden de diferentes dimensiones dependiendo de la magnitud de los eventos tectónicos	Determinación en campo del tamaño de las fracturas y fallas	Brújula GPS. Toma de rumbo dip direccction, wincha.	Tamaño: Grande Mediano Pequeño

---

<b>Método de Explotación</b>	El método de explotación es la estrategia global que permite la excavación y extracción de un cuerpo mineralizado del modo técnico y económico más eficiente	Características geo mecánicas y estructurales.	Toma de muestras para el análisis químico	Bolsa de muestras, Brújula y GPS	Porcentaje Alto Medio Bajo
------------------------------	--	--	---	----------------------------------	----------------------------

---

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

## 1.6. Metodología de la investigación

### 1.6.1. Tipo y nivel de investigación

#### a. Tipo de Investigación

La investigación desarrollada es de tipo descriptiva, ya que se contará la toma de datos estructurales y litológicos en campo.

#### b. Nivel de la Investigación

La investigación tiene un nivel transversal – causal y correlacional, ya que se verán las características geológicas y estructurales de las formaciones rocosas en la zona de estudio.

### 1.6.2. Método y diseño de la investigación

#### a. Método de la Investigación

El método que se utilizará es el hipotético deductivo a partir de la descripción y análisis in situ de los afloramientos rocosos, y que desarrollará a través de secuenciales pasos principales como la observación del área de estudio para llegar a explicar la hipótesis.

### **b. Diseño de la Investigación**

La presente investigación tiene un diseño longitudinal – no experimental.

### **1.6.3. Población y muestra de la investigación**

#### **a. Población**

Afloramientos de rocas clásticas existentes en las zonas de Shudal, La Paccha Grande y alrededores.

#### **b. Muestra**

Diez (10) muestras de mano recolectadas en los diferentes sectores de la zona de estudio.

### **1.6.4. Técnica e instrumentos de la recolección de datos**

#### **a. Técnicas**

Las técnicas que se emplearán para la recolección de datos serán el análisis documental, la observación, y la medición en campo; mientras que los instrumentos estarán constituidos por fichas y formatos como: Ficha para descripción de litología, Formato para Rocas Sedimentarias Clásticas. En la primera etapa se hará una recopilación de todos los estudios existentes de la zona de estudio; mapas geológicos confeccionados por el Instituto Geológico Minero Metalúrgico INGEMMET y por otras investigaciones referidas al tema. Los mapas y perfiles geológicos serán confeccionadas con el software ArcGIS 10.5.

#### **b. Instrumentos**

- Tabla de recolección de datos estructurales

### **c. Materiales**

- GPS Garmin
- Brújula tipo Brunton
- Picota del geólogo
- Protactor a escala 1/10000
- Wincha 20 m
- Libreta de campo
- Lupa 30X (30 aumentos)
- Cámara fotográfica digital Marca Canon
- Fotografías aéreas e imagen satelital a escala 1/1000.

## **1.6.5. Justificación e importancia de la investigación**

### **a. Justificación**

En el presente trabajo de investigación se realizará un estudio estructural, con el fin de plantear un método de explotación adecuado para material de construcción que afloran en el sector de Shudal, Paccha Grande y alrededores.

Para poder realizar la investigación se hizo uso de la Geología estructural, la que ayudo a describir estructuras presentes en la zona de estudio y la posición en que aparecen en superficie, una vez descrita la zona de estudio se pueda plantear un método adecuado a las características descritas por la Geología Estructural.

Dentro de la zona de estudio existe diversas canteras las que realizan una extracción de materiales de construcción de manera informal, sin considerar aspectos estructurales que puede causar daños físicos a trabajadores y pobladores aledaños a las actividades, por lo que es importante tener un estudio estructural del área, así como tener en cuenta las consideraciones los planteamientos del método de explotación.

Realizar el estudio estructural beneficia a las empresas dedicadas a la extracción y venta de materiales de construcción, así como, a los pobladores y trabajadores, ya que tener en cuenta las estructuras presentes en la zona ayuda a prevenir riesgos y delimita zonas de interés para la extracción de materiales de construcción.

**b. Importancia**

Este estudio de investigación es importante porque contribuirá a que las futuras actividades de extracción se puedan realizar en forma tecnificada y teniendo en cuenta el cuidado del medio ambiente. Además, se tratará de dar algunas sugerencias para la restauración del impacto ambiental que está generando la explotación de estos yacimientos no metálicos.

**c. Limitaciones**

El proyecto de investigación solo realizará un estudio estructural, dando a conocer zona de riesgos, mas no datos químicos que garanticen la calidad del material explotable.

La existencia de pocas vías de acceso a la zona de estudio. Además, podrían existir limitaciones en el control de campo de algunos lugares debido a la prohibición de los propietarios de los terrenos.

## **CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **2.1.1. Antecedentes Internacionales**

Herrera (2013), en su investigación de “Diseño de explotación en canteras” Determina que la mineralogía es un factor determinante, aunque difícilmente cuantificable. Así, las propiedades de estabilidad química, gravimétricas, eléctricas, espectrales, magnéticas, elásticas, dureza superficial de las rocas, dependen de la composición mineralógica, de los poros y del fluido (aire, agua, agua salada, etc.), que rellena los poros, así como del tamaño y distribución de los mismos que permite o impide la accesibilidad de los fluidos del medio de trabajo a la roca.

Pelayo et al (2014), en su estudio de “Parámetros que inciden en la elección y análisis de un método de explotación”, dice que El análisis de los factores técnicos económicos y sociales permite que la elección del método de explotación es el más viable durante el desarrollo de un proyecto. La estructura técnica y mecánica que se le quiere un proyecto es para beneficio rentable y sostenible de la mina, por tal motivo se debe manejar un proyecto de una manera segura y cumpliendo todos los lineamientos legales, técnicos y sociales que se establece en la minería.

La Sociedad Geológica de Bolivia (SGB) (2015), Manifiesta que en Cochabamba hay minerales metálicos plata, oro, zinc, plomo, estaño, wólfram, níquel, hierro, antimonio, rocas calizas y semipreciosas, además no metálicos que son yeso, arena y cal. Realizaron cálculos que demuestran que al mes se explota un promedio de 30 volquetas de minerales metálicos, mientras que de no metálicos se llega a más de 2.000 volquetas. Esa cifra puede variar dependiendo de la zona ya que en algunos sectores se produce más que en otros. Manifiestan que los cooperativistas mineros están conformes con la cantidad de minerales no metálicos que explotan. Además, opinan que en Cochabamba tiene minerales no metálicos como piedras calizas y semipreciosas yeso, arena y cal.

### **2.1.2. Antecedentes Nacionales**

Huangal (2014), En su estudio de Evaluación técnica y económica de “La Arena”, Identifica dos miembros en la Formación Chimú; el miembro inferior está constituido por areniscas limolíticas intercaladas con limolitas y lutitas de coloración gris clara, mientras que el miembro superior, está conformado por areniscas cuarzosas de grano medio-fino, bien clasificadas, coloración clara, presenta rizaduras de corrientes, paleocanales, estratificación sesgada, estructuras de sobrecarga (en las intercalaciones de areniscas y limolitas) y en paleocanales donde la gradación de los granos está en polaridad invertida en la Mina “La Arena”.

Dunin, (2015), En su estudio titulado “Catalogo de minerales y rocas industriales del Perú”, menciona que en la zona de Trujillo los granos de arena provenientes de la desintegración de la formación Chimú y Farrat son angulosas. Considera que esto es conveniente para la fabricación de vidrio, ya que facilita la fusión entre los inconvenientes de estos yacimientos es la contaminación posterior

con limonita de las arenas originalmente puras lo que obliga a desarrollar una explotación selectiva: la limonita forma concreciones duras que durante la explotación son eliminadas a mano. El contenido de hierro es crítico para la fabricación de vidrio blanco.

Aranguri, (2015), En su estudio La importancia del uso de agregados provenientes de canteras de calidad, determina que la exploración de canteras está orientada a ubicar la calidad, distancia y volumen de los tipos de materiales necesarios para la construcción, para ello, se debe ubicar y definir las canteras más convenientes por cada tipo de material. Una vez identificadas esta se procede a realizar las exploraciones, describiendo el material encontrado en cada una, las cuales se muestran en los registros de exploración. Los agregados usados en construcción son de suma importancia, pues son la materia prima para la preparación del concreto utilizado masivamente en nuestras construcciones y obras civiles en general. Ellos deben garantizar un producto de calidad que certifique el buen funcionamiento de las estructuras.

### **2.1.3. Antecedentes Locales**

Guevara (2012), En su Investigación describe a la Formación Chimú, en el Abra el Gavilán, como una alternancia de areniscas y lutitas en la parte inferior y de una potente secuencia de areniscas cuarzosas blancas, en bancos gruesos en la parte superior. Constituye estructuras bien definidas, como estratificación sesgada y ripple marks. Esta formación aflora en el núcleo del anticlinal Yumagual.

Lagos et al (2013), En su Investigación determinaron la existencia de la falla Regional Cajamarca con una orientación Noroeste – Sur este, la misma que genera una zona de falla dentro del cual se hallan fracturas y fallas secundarias generando consiguientemente

gran fracturamiento de las areniscas y generando gran cantidad de material triturado y que son utilizados por los pobladores como materiales de construcción.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Estudio Estructural**

Se realiza con la finalidad de caracterizar estructuralmente una zona de estudio. Se basa en el cálculo de la intensidad y orientación de los paleo-esfuerzos que afectaron un área. Este estudio se apoya con software especializado en geología, Dávila (1995).

El estudio de la estructura de la corteza terrestre o de una determinada región:

- Levantamiento de las foliaciones (planos geológicos), lineaciones y otros elementos tectónicos.
- Análisis de la deformación tectónica de las rocas presentes.
- Reconocimiento de las estructuras tectónicas en un área (fallas, diaclasas).

La geología estructural incluye a todos los procesos y elementos cuales están relacionados a las fuerzas tectónicas presentes en la corteza terrestre. En la geología estructural se analiza estructuras geológicas especialmente tectónicas para aclarar la acción de fuerzas dirigidas durante la historia geológica. Estos análisis, a parte de un alto interés científico en general, pueden apoyar la prospección o exploración. Muchos depósitos necesitan una cierta participación de un ambiente tectónico determinado para formarse. Las fuerzas tectónicas no solamente forman depósitos, también afectan a los depósitos sí la actividad tectónica actuó después de la formación del yacimiento. Dávila, 1995].

## 2.2.2. Método de explotación para agregados

Las canteras son la fuente principal de materiales pétreos los cuales se constituyen en uno de los insumos fundamentales en el sector de la construcción de obras civiles, estructuras, vías, presas y embalses, entre otros. Por ser materia prima en la ejecución de estas obras, su valor económico representa un factor significativo en el costo total de cualquier proyecto.

La explotación, en la mayoría de las canteras existentes en el territorio, se hace en forma semi-mecanizada y, en menor porcentaje en forma manual predominado el sistema de cielo abierto.

**Tabla 4:** Clasificación de canteras.

<b>CLASIFICACIÓN DE CANTERAS</b>	
	Canteras a Cielo Abierto:
<b>Según el tipo de explotación</b>	En laderas, cuando la roca se arranca en la falda de un cerro.
	En corte, cuando la roca se extrae de cierta profundidad en el terreno (Pit).
	Canteras Subterráneas.
<b>Según el material a explotar</b>	De Materiales Consolidados o Roca.
	De Materiales no Consolidados como suelos, saprolito, agregados, terrazas aluviales y arcillas
<b>Según su origen</b>	Canteras Aluviales
	Canteras de roca o peña

**Fuente:**( Pettijohn, 1973.)

## 2.2.3. Composición Química De Las Areniscas

La composición mineralógica de las areniscas es una propiedad física fundamental, ya que, a partir de ésta, se puede determinar la clasificación específica de la muestra estudiada. De manera

general, la composición, mineralógica de las areniscas depende de los siguientes factores:

- Litología del área fuente.
- La resistencia de los minerales al intemperismo.
- El tiempo y la distancia de transporte de los fragmentos.
- La resistencia del mineral a la abrasión.
- Las condiciones del ambiente de depósito en que los fragmentos son sedimentados.

Generalmente las areniscas están compuestas mineralógicamente por:

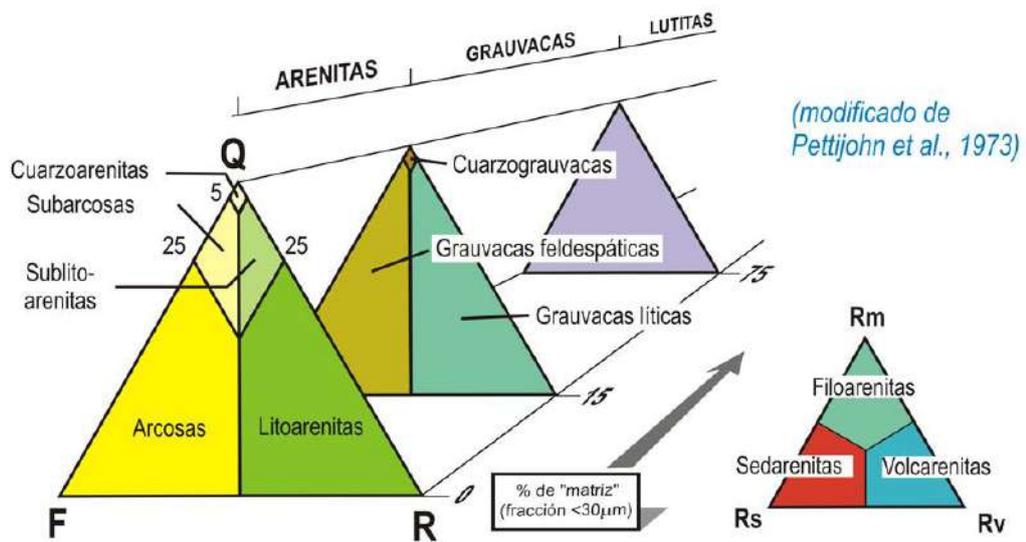
- Cuarzo
- Feldespato
- Minerales accesorios
- Micas y arcillas
- Fragmentos de Rocas
- Matriz y cemento

Las areniscas pueden ser divididas en tres grandes grupos, según su composición general:

- Terrígenas
- Carbonatadas

Las areniscas terrígenas son las más abundantes y más importantes. Una roca clástica con predominancia de feldespato y cuarzo como clasto se llama Arcosa. Fragmentos de rocas y cuarzo como clastos forman una Grauvaca. La predominancia de granos de cuarzo es una Arenisca de cuarzo. (Pérez, 2003).

Precaución: La palabra arena tiene dos sentidos: 1º: se entiende como "tamaño arena" por su diámetro. 2º: se entiende por su composición de granos de cuarzo del tamaño arena (Pérez, 2003).



**Figura 1:** Clasificación petrográfica de las rocas clásticas.  
Fuente: (Pettijohn, 1973.)

### 2.2.4. Recursos y Reservas Minerales



**Figura 2:** Enfoque global de los recursos totales de un Yacimiento.  
Fuente: (Murrick, 1982.)

**Recursos Minerales:** Por estimación de recursos entendemos la determinación de la cantidad de materia prima contenida en un yacimiento o en una de sus partes. La mayoría de los recursos y reservas se calculan en toneladas métricas, solo la de los metales preciosos (oro, plata y platino) se calculan en kilogramos, los diamantes en quilates y las reservas de gas natural, arena, piedras para la construcción, agua subterránea, se estiman en metros cúbicos. Esta cuantificación formal de las materias primas minerales estimada por procedimientos empíricos o teóricos se denomina Inventario Mineral. Este a su vez se expresa en términos de recurso y reservas. (Pérez, 2003).

La estimación de recursos es un fin de cada etapa de los trabajos de prospección y exploración de yacimientos minerales y este proceso continuo durante la explotación del depósito. Todos los trabajos de exploración de un yacimiento contribuyen ante todo a la estimación de las materias primas minerales. La estimación de recursos/reservas se considera un proceso continuo que se inicia con la exploración y recopilación de la información seguida de la interpretación geológica y la estimación de recursos. Posteriormente se consideran los factores modificadores (mineros, metalúrgicos, ambientales, legales, entre otros) y se arriba al estimado de reservas. Durante las operaciones de la mina los estimados previamente calculados son modificados por los resultados del control de ley y los estudios de reconciliación. En estos apuntes se hace mayor hincapié en la estimación de los recursos. (Pérez, 2003).

Estos trabajos tienen como objetivo fundamental la mejor estimación de la ley y el tonelaje de los bloques de un cuerpo mineral, así como determinar los errores probables de la estimación con cierto nivel de confianza. La relevancia de las estimaciones depende de la calidad, cantidad y distribución

espacial de las muestras y el grado de continuidad de la mineralización. La cantidad de reservas de un yacimiento, como uno de los factores principales que determinan su viabilidad económica, posee una gran influencia en la vida útil del yacimiento, su producción anual y la decisión final de construir la empresa minera. (Pérez, 2003).

**Reservas Minerales:** Es la parte económicamente explotable de un recurso mineral indicado y en algunas circunstancias del recurso mineral medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que puedan producirse cuando se explota el material. (Peralta, 2001)

Se han realizado evaluaciones apropiadas, que pueden incluir estudios de factibilidad, e incluyen la consideración de factores modificadores razonablemente asumidos de minería, metalúrgicos, económicos, de mercadeo, legales, medioambientales, sociales y gubernamentales. Estas evaluaciones demuestran a la fecha en que se presenta el informe, que la extracción podría justificarse razonablemente. (Peralta, 2001)

La reserva probada de minerales es la parte económicamente explotable de un recurso mineral medido. Incluye los materiales de dilución y tolerancias por pérdidas que se pueden producir cuando se explota el material. Se han realizado evaluaciones apropiadas que pueden incluir estudios de factibilidad, e incluyen la consideración de modificaciones por factores fehacientemente asumidos de minería, metalúrgicos, económicos, de mercados legales, ambientales, sociales y gubernamentales. Con esos términos y definiciones aceptadas, el grupo CMMI se dedicó a desarrollar las normas internacionales. La responsabilidad por las estimaciones de recursos y reservas debe ser atribuida a una persona responsable/competente, término este introducido

inicialmente en el código JORC. Con el establecimiento y adopción de los patrones internacionales de estimación y clasificación de recursos y reservas muchos autores discuten la perspectiva inminente de transformar esos patrones en normas de certificación del sistema ISO 9001. Según Vallee, 1999 de todos los sistemas en uso el código JORC es el más compatible con la certificación ISO. (Peralta, 2001)



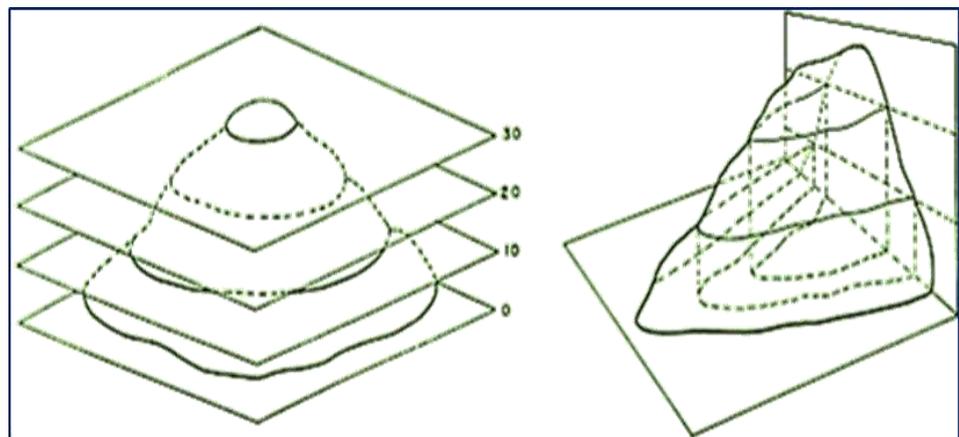
**Figura 3:** Relación general entre Resultados de Exploración, Recursos y Reservas Minerales.

**Fuente:** (Peralta, 2001.)

### 2.2.5. Cálculo de Reservas

Este proceso consiste en calcular las reservas de minerales explotables, con lo cual se puede determinar la cantidad de material que es posible de extraer. El cálculo de reservas consiste en calcular, con el mínimo error posible, la cantidad de mineral existente en el yacimiento estudiado. Las reservas que se estiman en esta fase inicial son las geológicas o in situ. Posteriormente se tendrán en cuenta otros condicionamientos, como son los factores de diseño de la explotación, método minero, recuperación, dilución, elementos traza, etc. que definirán las denominadas reservas mineras, que generalmente son inferiores las primeras. (Finter, 1989)

**Cubicación:** La cubicación comprende aquellos cálculos necesarios para conocer el volumen de mineral a explotar. Generalmente, las cubicaciones se expresan en metros cúbicos. Los dos métodos diferentes más utilizados normalmente para cubicar son los siguientes: Cubicación por secciones horizontales o por curvas de nivel y la cubicación por prismas o método de la cuadrícula. La cubicación por curvas de nivel o secciones horizontales se utiliza para calcular volúmenes aproximados. Con este método se obtendrán unos valores sólo aproximados dependiendo de la bondad del plano y de la equidistancia de las curvas de nivel. (Finter, 1989)



**Figura 4:** Método de las secciones horizontales.  
**Fuente:** (Finter, 1989.)

Se opta por utilizar la fórmula de la sección media, en la cual las dos superficies ocupadas por cada curva de nivel, se multiplican la semisuma de estas por la altura del prisma, es decir, la equidistancia de las curvas de nivel. (Finter, 1989)

De esta manera el volumen total será:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Dónde:  $V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$  son los sucesivos volúmenes entre curvas de nivel aplicando:

$$V = ((B + B') / 2) * h$$

Siendo:

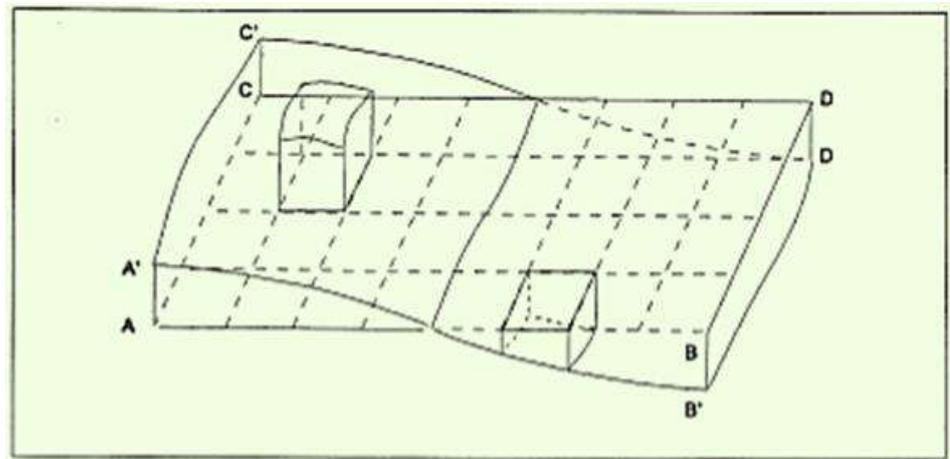
B: La superficie obtenida para una determinada curva de nivel.

B': La superficie para la curva de nivel consecutiva.

h: La equidistancia de las curvas de nivel.

Este método resulta poco exacto y se debe emplear sólo cuando se quieren calcular de forma aproximada y rápida grandes volúmenes. Proporciona valores menores que en la realidad, puesto que entre las curvas de nivel se considera el terreno natural con pendiente uniforme, cuando en realidad no tiene por qué ser así. (Finter, 1989)

La cubicación por cuadrícula o malla (método de prismas), se utiliza cuando el terreno es de forma poligonal, y posee dimensiones comparables en longitud y anchura, además de presentar accidentes poco importantes y que se hallan regularmente repartidos (Gómez, 2010).

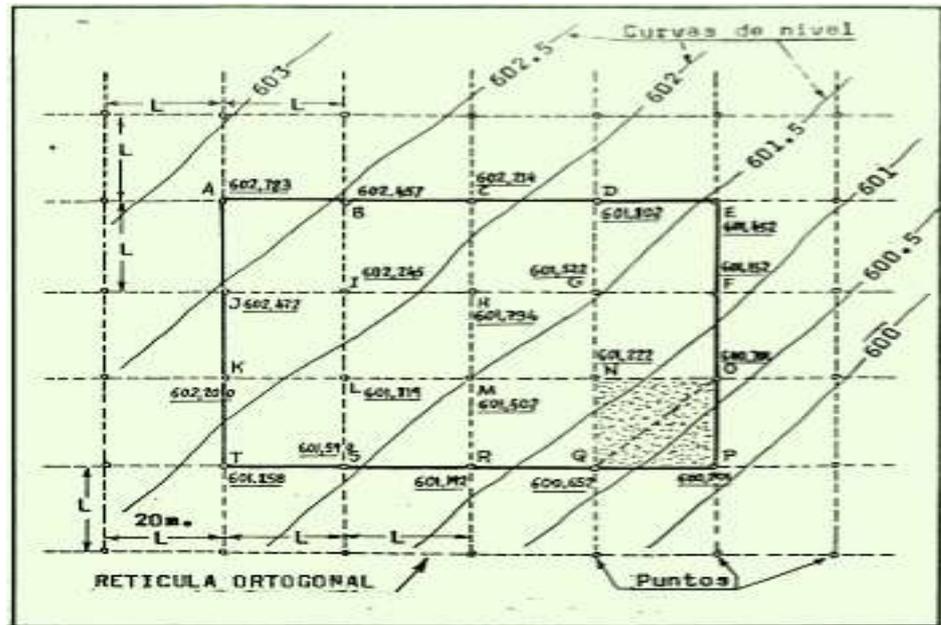


**Figura 5:** Método de cubicación por cuadrícula.

**Fuente:** (Finter, 1989.)

En la zona donde se va a realizar la cubicación se replantea, previo al cálculo correspondiente, una cuadrícula o parrilla, cada punto replanteado tendrá una nomenclatura determinada: un número la abscisa y una letra la ordenada. También pueden emplearse números solamente. (Finter, 1989)

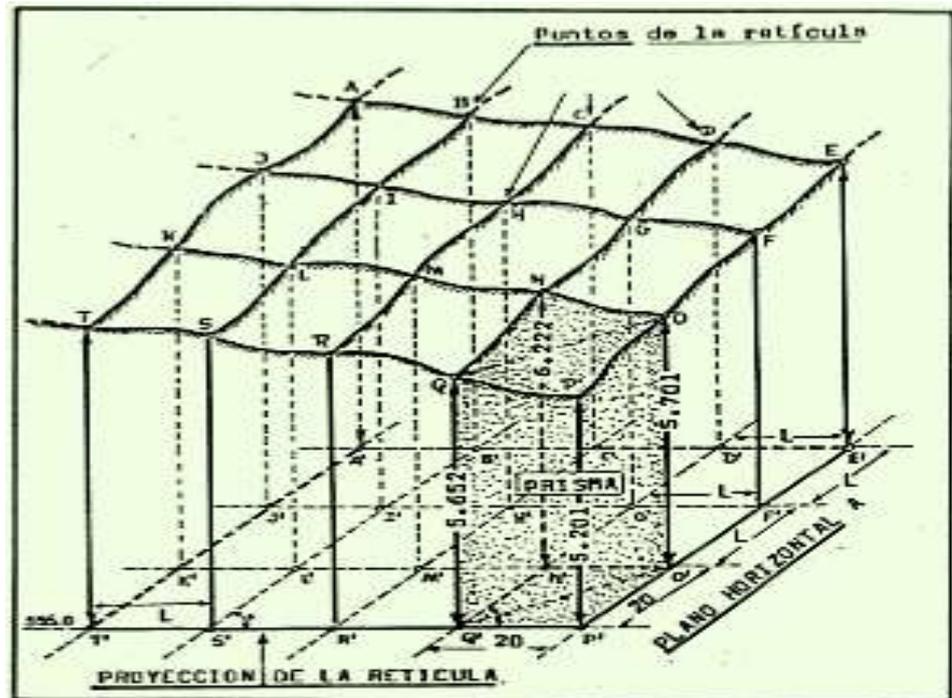
La distancia existente entre los puntos replanteados será constante y si se trata de una malla cuadrada, obviamente la distancia es la misma en abscisas y ordenadas. Por lo tanto, se conoce la cota de cada punto de la malla replanteada y se puede saber también la cota de la rasante junto con la pendiente de los taludes. (Finter, 1989)



**Figura 6:** Vista en planta de la interpolación que se realiza en el método de la cuadrícula.

**Fuente:** (Finter, 1989.)

Partiendo de un plano de curvas de nivel el método consiste en establecer una retícula, normalmente cuadrada, simplificando así el cálculo de volumen total, el cual sería la suma del volumen de cada uno de los prismas generados por cada cuadrícula, tomando como altura de éste la media de las cuatro aristas que lo forman. Estas cotas se pueden obtener interpolando de las curvas de nivel (Finter, 1989)



**Figura 7:** Vista 3D de los prismas que se forman para cubricular.  
**Fuente:** (Finter, 1989.)

De este modo el volumen de los prismas se hallará de la siguiente manera:

$$V = S * H_m$$

Donde:

S: es la superficie de la base del prisma.

$$H_m = (h_1 + h_2 + h_3 + h_4) / 4$$

Donde:

H<sub>m</sub>: Altura media de las aristas de los prismas.

h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>, h<sub>3</sub>, y h<sub>4</sub> las alturas de cada una de las aristas del prisma.

Y el volumen total será la suma de los volúmenes de todos los prismas de la cuadrícula:

$$V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$$

Siendo:  $V_T = V_1 + V_2 + V_3 + \dots + V_n$  los sucesivos volúmenes de los prismas de la cuadrícula. Este método resulta más exacto puesto que entre las curvas de nivel se considera el terreno natural con pendiente no uniforme, sino que se ajusta más a la realidad. (Finter, 1989).

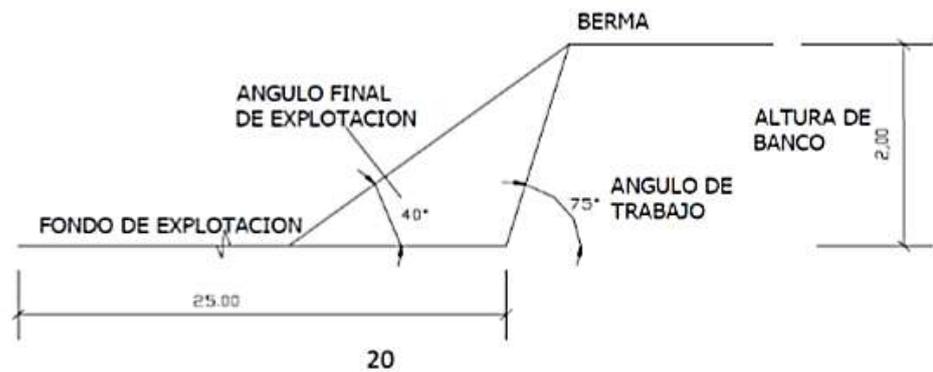
#### **2.2.6. Método de Explotación**

Los métodos de explotación de minería se dividen en 2 tipos básicos. En primer lugar, los materiales se pueden obtener en minas de superficie, explotaciones a cielo abierto u otras excavaciones abiertas. Este grupo incluye la inmensa mayoría de las minas de todo el mundo. En segundo lugar, están las minas subterráneas, a las que se accede a través de galerías o túneles. Los métodos de explotación dependen del tipo de yacimientos a explotar y que están directamente relacionados con la naturaleza y extensión del impacto ambiental. Se utilizan tres métodos principales: Minería a cielo abierto o superficial, minería subterránea y minería por lavado y dragado, (Dávila 1995).

#### **2.2.7. Diseño de los Límites de la Cantera**

Como la explotación se realizará de manera artesanal con personal y apoyado de maquinaria, para el diseño del plan de minado se ha tomado en cuenta principalmente los aspectos económicos. Esta información es la más relevante en el diseño de los bancos de explotación en la cantera, quedando los aspectos geo mecánicos y de calidad de la roca aflorante únicamente restringidos para establecer los taludes de los bancos de explotación, (Rodríguez, 2006).

En el planeamiento y diseño de la cantera, se deben de considerar los elementos, los cuales serán considerados para llegar a determinar los límites finales de la cantera, (Rodríguez, 2006).



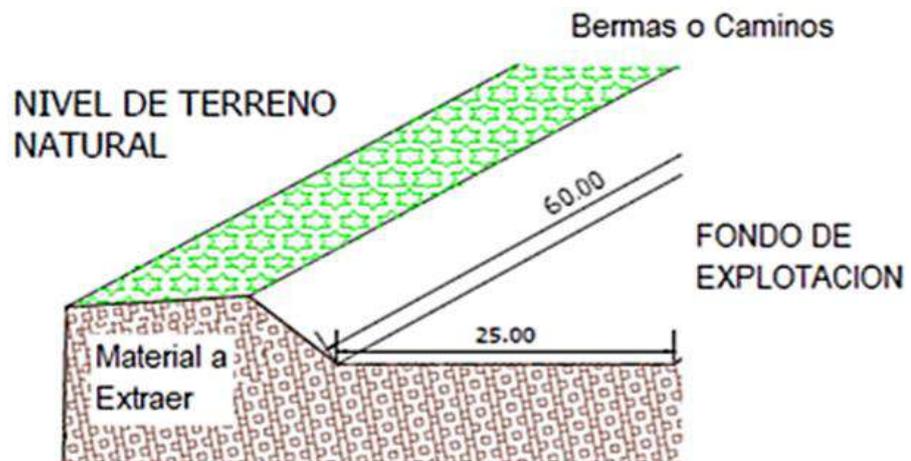
**Figura 8:** Elementos de un talud.  
Fuente: (Rodríguez, 2006).

Los principales elementos que se deben tener presente son:

- Taludes: Talud de banco, talud operacional, talud final.
- Bancos: Cresta, Toe (pie de banco), cara, altura.
- Rampas, Ancho, pendiente, altura o intervalo.
- Berma. Ancho, intervalo.

### 2.2.8. Diseño del Banco de Explotación

Según el Plan de Minado la forma de operar en la unidad minera se hará de la siguiente manera: El Banco se formará mediante la conformación de un gradiente de 2m de altura en forma descendente, .( Finter, 1989.)



**Figura 9:** Diseño de un banco de explotación.  
Fuente: (Finter, 1989.)

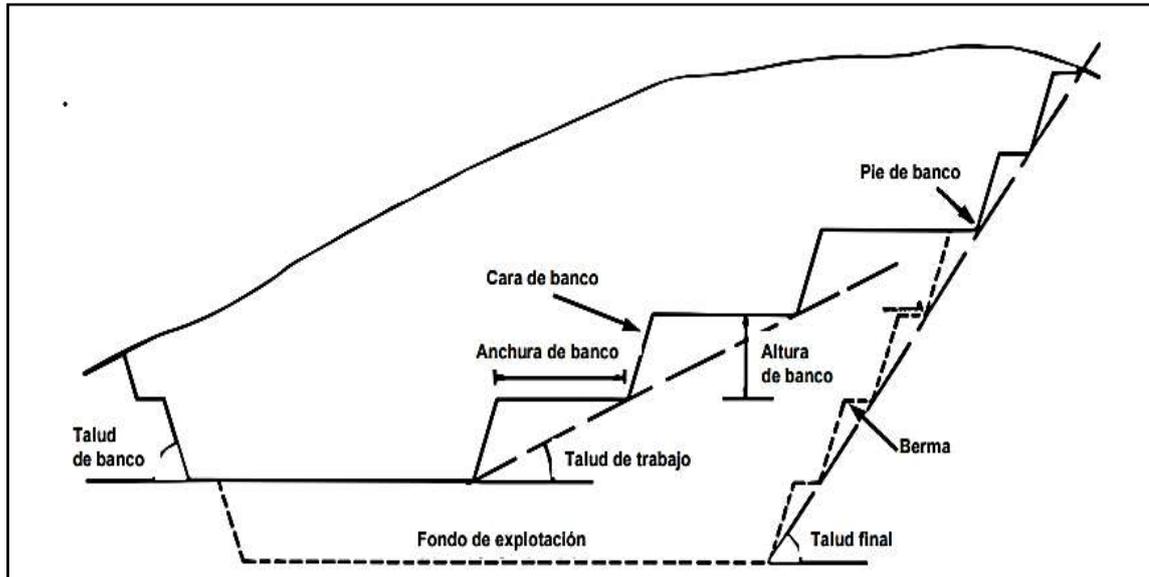
El Banco se formará mediante la conformación de un gradiente de 2m de altura en forma descendente. Después del análisis se concluyó de la siguiente manera:

**Tabla 5:**  
*Parámetros para el diseño de un talud.*

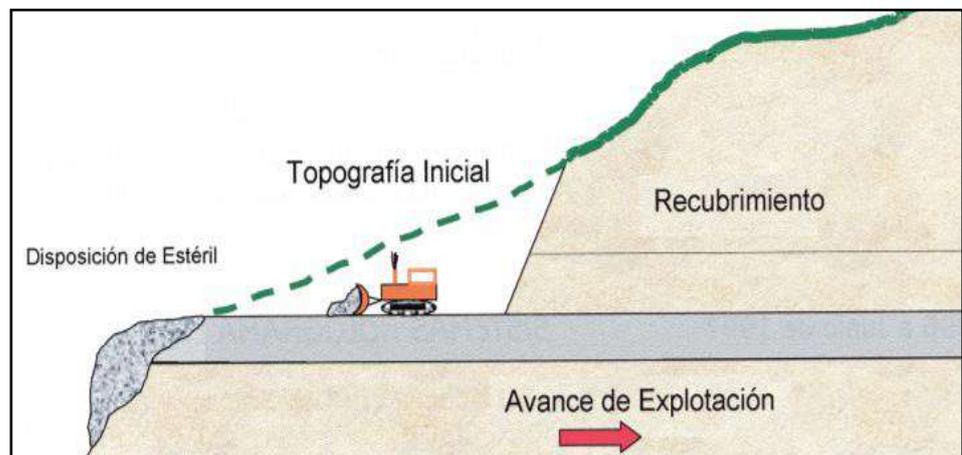
<b>PARÁMETROS</b>	<b>VALORES</b>
<b>TALUD DE BANCO</b>	75°
<b>TALUD FINAL</b>	40°
<b>ANCHO DE LA RAMPA</b>	5m
<b>GRADIENTE MAXIMO DE RAMPA</b>	7°
<b>BERMA</b>	2.3m
<b>ALTURA DEL BANCO</b>	10m
<b>NUMERO DE BANCOS</b>	4
<b>NIVEL MAXIMO DE EXPLOTACIÓN</b>	2932m.s.n.m
<b>FONDOS DE EXPLOTACIÓN</b>	2810m.s.n.m

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017.

Para el mejor control de los taludes, se dará cumplimiento al plan de monitoreo de taludes mediante levantamientos topográficos periódicos con curvas de nivel cada metro y mapeo geo mecánico.



**Figura 10:** Diseño de un banco para la explotación de mineral.  
**Fuente:** (Pérez, 2008.)



**Figura 11:** Avance de explotación de un banco.  
**Fuente:** (Pérez, 2008.)

### 2.2.9. Análisis de los Parámetros Geométricos de un Talud

- Banco: Es el módulo o escalón comprendido entre dos niveles que constituyen la rebanada que se explota de estéril y/o mineral y que es objeto de excavación desde un punto del espacio hasta una posición final preestablecida. Para la cantera el guitarrero se debe trabajar con bancos simples con una altura no mayor a los 5 metros y un ángulo de talud menor a  $45^\circ$ , (Pérez, 2008)

- **Altura de banco:** Es la distancia vertical entre dos niveles desde el pie del banco hasta la parte más alta o cabeza del mismo. (Pérez, 2008).
- **Talud de banco:** Es el ángulo delimitado entre la horizontal y la línea de máxima pendiente de la cara del banco. (Pérez, 2008).
- **Talud de trabajo:** Es el ángulo determinado por los pies de los bancos entre los cuales se encuentra alguno de los tajos o plataformas de trabajo. Es en consecuencia una pendiente provisional de la excavación. (Pérez, 2008).
- **Bermas:** Son aquellas plataformas horizontales existentes en los límites de la excavación sobre los taludes finales, que coadyuvan a mejorar la estabilidad de un talud y las condiciones de seguridad frente a deslizamientos o caídas de rocas. (Pérez, 2008).

#### **2.2.10. Características principales de las rocas**

##### **Densidad o Peso Específico**

Se define como la relación entre la masa del material y su volumen, siendo un factor ampliamente usado como indicador de la dificultad con la que se rompe la roca. Se muestra a continuación la densidad de algunas rocas. (Romero, 2012)

**Tabla 6:**  
Peso específico de las rocas

<b>NOMBRE DE LA ROCA</b>	<b>PESO ESPECIFICO</b>
<b>Arcilla</b>	1.8
<b>Arenisca</b>	2.5
<b>Andesita</b>	2.8
<b>Basalto</b>	3.3
<b>Caliza</b>	2.9
<b>Conglomerado</b>	2.3
<b>Cuarcita</b>	2.7
<b>Diorita</b>	2.9
<b>Granito</b>	2.8
<b>Marmo</b>	2.7
<b>Pizarra</b>	2.8

Fuente: Romero, (2012)

## **2.3. Definición de Términos Básicos**

### **2.3.1. Arenisca**

Las areniscas son rocas sedimentarias cuyos granos poseen tamaño menor de 2mm. La mayoría están compuestas principalmente de granos de cuarzo y arcilla en pequeñas cantidades. Pueden ser por su composición, arcosa si son ricas en feldespatos; cuarzosas ricas en  $\text{SiO}_4$ ; grauvacas ricas en ferromagnesianos y micáceas si son ricas en micas. También las areniscas se denominan por el matriz cementante, así: ferruginosa, silícica, arcillosa y calcárea. Las areniscas son útiles en construcción, revestimientos y fabricación de vidrio (Dávila, 2011).

### **2.3.2. Material de Construcción**

Es una materia prima o con más frecuencia, un producto elaborado empleado en la construcción de edificios u obras de ingeniería civil. Los materiales de construcción son los componentes de los elementos constructivos y arquitectónicos de una edificación (Gonzales, 2004).

### **2.3.3. Agregado**

El agregado es un material granular (arena, grava, piedra triturada o escoria) usado con un medio cementante para formar concreto o mortero hidráulico. Puede utilizarse en su estado natural o bien, triturado, de acuerdo a su uso y aplicación (González, 2004).

### **2.3.4. Talud**

Se llama talud a la inclinación que se da a las tierras para que se sostengan las unas a las otras. El perfil de cualquier talud se forma por un triángulo rectángulo, en el cual el lado mayor, opuesto al ángulo recto, representa el talud o declivio y uno de los lados representa la base del talud con los nombres de escarpa explanada o glacis. Cuando la altura es igual o mayor que la base se llama escarpa, lo que también conviene al revestimiento de una muralla; y cuando la altura es menor que la base, se llama propiamente explanada o glacis, lo que es propio a la superficie superior de los parapetos militares y a la pendiente que forma hacia la campaña el parapeto del camino cubierto (Moretti, 1995).

### **2.3.5. Reserva Mineral**

Es aquella porción del recurso medido o indicado, económicamente extraíble de acuerdo a un escenario productivo, medioambiental, económico y financiero derivado de un plan minero (Dávila, 1995).

## CAPÍTULO III: ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

### 3.1. Ubicación de la Investigación

#### 3.1.1. Ubicación Geográfica

La zona de estudio se ubica, geográficamente, entre las siguientes coordenadas UTM- WGS- 84.

**Tabla 7:**

Coordenadas UTM del área de estudio.

VÉRTICE	COORDENADAS (UTM) WGS 84	
	NORTE	ESTE
Vértice 1	9204500	774000
Vértice 2	9204500	779000
Vértice 3	9202500	774000
Vértice 4	9202500	769000

Fuente: Elaboración propia, 2017.

#### 3.1.2. Ubicación Política

Políticamente la zona de estudio está ubicada en las localidades de la Paccha, Shudal y alrededores dentro del distrito de Cajamarca, provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca. Abarca una extensión aproximada de 22 km<sup>2</sup>.



**Figura 12:** Vista satelital de zona de estudio.(Google Earth, 2018)

### 3.1.3. Accesibilidad

La zona de estudio presenta varias vías de accesos las cuales se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 8:**

*Accesibilidad al área de estudio.*

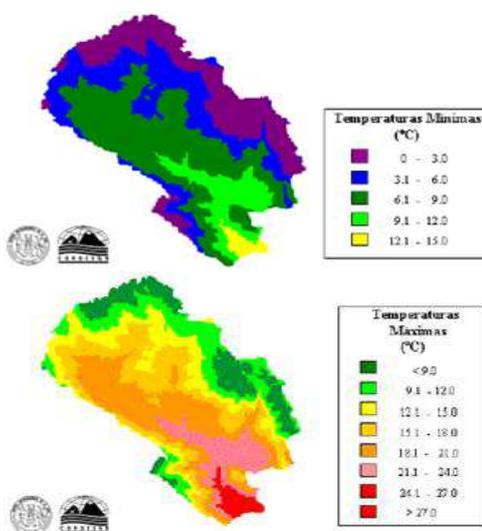
Tramo	Distancia (m)	Tiempo (min)	Condición
Cajamarca- Shudal	7 km	40 min	Afirmada
Cajamarca- Paccha Grande	8 km	45 min	Afirmada
Cajamarca- Pariamarca	15 km	70 min	Asfaltada

Fuente: Elaboración propia, 2017.

## 3.2. Aspectos Climatológicos y de Vegetación

### 3.2.1. Temperatura

Los alrededores de la ciudad de Cajamarca presentan temperaturas que fluctúan entre los 6 y 20° C. Durante los meses de abril a noviembre la temperatura varía entre los 3° y 22° C presentándose templado durante el día y frío durante la noche. Según los datos de la estación Meteorológica Weberbauer la temperatura máxima media anual es de 22° C y la temperatura mínima anual es de 3° C (E. M. A. Weberbauer).



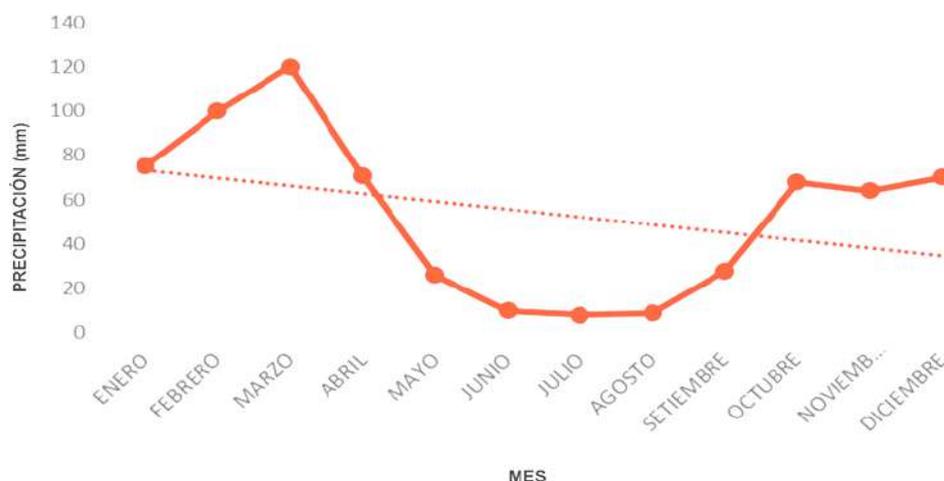
**Figura 13:** Temperaturas mínimas y máximas de Cajamarca.

Fuente: (SENAMHI, 2014.)

### 3.2.2. Clima

Las precipitaciones del área de estudio según su intensidad se clasifican en: Clima húmedo – templado. Presenta una temperatura media anual de 14° C. La ciudad de Cajamarca se caracteriza por presentar 3 periodos de precipitaciones: Uno lluvioso en los meses de diciembre- marzo, otro intermedio entre los meses de abril, septiembre, octubre, noviembre y uno seco en los meses de mayo a agosto. A las precipitaciones se les divide de la siguiente manera: Ligera menor a 2.5 mm<sup>3</sup>/hora, Moderada de 2.5 a 7.6 mm<sup>3</sup>/hora, Fuerte mayor a 7.6 mm<sup>3</sup>/hora.

La zona presenta un régimen de lluvias variable durante el año, las precipitaciones mínimas se presentan entre los meses de mayo a septiembre y las máximas entre los meses de enero a marzo. La Estación Meteorológica Weberbauer registró durante el año 2013 un volumen anual de 720 mm (Estación Meteorológica A. Weberbauer).



**Figura 14:** Registro de lluvias desde enero a diciembre del 2013. Nótese que existe un incremento de precipitaciones en los meses de febrero, marzo y abril. Un descenso en los meses de junio, julio y agosto.  
**Fuente:** (SENAMHI, 2013.)

### 3.2.3. Flora y Fauna

La vegetación que predomina en la Cuenca de Cajamarca es claramente periódica, una etapa de gramíneas con pequeños arbustos y subarbustos que crecen dispersos.

La zona de estudio presenta una vegetación conformada por árboles de pino, gramíneas, alisos, agave sp. (Penca), además de vegetación de cultivo como son hortalizas, maíz, papa. Los árboles más abundantes son los eucaliptos, los cuales son utilizados para la comercialización de madera y como combustible. Los pastos naturales, cactus y arbustos, se encuentran mayormente en las areniscas de las formaciones Chimú y Farrat, una vegetación menos desarrollada en la formación Carhuaz. En cuanto a la fauna, está constituida por animales vacunos en su mayoría (ovejas, vacas, caballos, burros).



**Figura 15:** Vegetación de eucaliptos, típica de la zona de estudio.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### 3.3. Geomorfología

La geomorfología de la zona de estudio se caracteriza por la presencia de laderas, lomas y valles, sobre las cuales se notan geformas menores tales como laderas de depósitos coluviales y terrazas aluviales formadas por la acumulación de depósitos generados por la fuerte erosión.

Las formas geográficas del área de estudio pertenecen a la Cordillera Occidental cuya topografía esta intersectada por quebradas y ríos.

Poseen alturas que oscilan entre los 2900 y 3300 msnm y que corresponde a la región “Quechua”. La fisiografía está controlada por la Falla Cajamarca de carácter regional y que posee una orientación NO-SE. El principal agente erosivo es el agua proveniente de las precipitaciones pluviales, que luego se escurre superficialmente erosionando y modelando el terreno.

Los valles son geoformas que abarcan un pequeño porcentaje del área de estudio. Se ubica mayormente en el vértice inferior derecho. Está claramente controlada por la Falla Cajamarca la que ha generado un conjunto de falla paralela, perpendicular y oblicua.

Hay también la presencia de relieves montañosos y de superficies de erosión que se han formado sobre rocas de las Formaciones Chimú y Farrat principalmente. La composición química constituida por abundante cuarzo y un cemento silicio le proporciona gran resistencia a la erosión.



**Figura 16:** Las montañas están configuradas en rocas areniscas cuarzosas de la formación Chimú. La gran resistencia a la erosión hace que esta geomorfología resalte entre todas las geoformas existentes en el lugar de estudio.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

De igual manera las colinas son geoformas se ha formado sobre rocas arcillosas y limosas de la formación Carhuaz. Generalmente constituyen las faldas de los cerros debido a que poseen menos resistencia a la erosión.



**Figura 17:** Colinas configuradas en rocas de la formación Carhuáz. Nótese el color gris rojizo de la secuencia arcillo- limosa de esta unidad.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017.)

### **3.4. Estratigrafía**

#### **3.4.1. Formación Chimú**

Está constituida por areniscas de grano fino a medio, de coloración gris blanquecinas. Los estratos son delgados, sus afloramientos son consistentes y resistentes a la erosión y forman superficies muy empinadas. Esta unidad se ha depositado en un ambiente playero-continental.

#### **3.4.2. Formación Santa**

Esta unidad geológica está constituida por estratos delgados de areniscas de grano fino y limo arcillitas de coloración gris violácea, gris verdosas, gris rojizas y en algunas partes contiene secuencias calcáreas. La erosión de estas rocas deja un suelo de color rojizo muy característico. Esta unidad se ha depositado en un ambiente continental lacustrino.

#### **3.4.3. Formación Carhuaz**

Esta formación geológica presenta básicamente areniscas de grano medio a grueso. Se presenta en bancos medianamente gruesos. Se lo suele confundir con la Formación Farrat.

#### 3.4.4. Formación Farrat

Esta unidad aflora en pequeño porcentaje dentro del área de estudio. Está constituida por secuencias de areniscas de grano fino a medio, de coloración gris blanquecina muy similar a los afloramientos de la formación Carhuaz.

#### 3.4.5. Depósitos Cuaternarios

Los predominantes son los depósitos coluviales (fragmentos angulosos en poca matriz) y los depósitos lacustrinos los cuales están conformados por materiales semiconsolidados de arena gruesa, arcilla y grava. Los fragmentos están subredondeadas. Los clastos que lo constituyen son de composición areniscosa. La tonalidad de estos afloramientos de gris anaranjado.

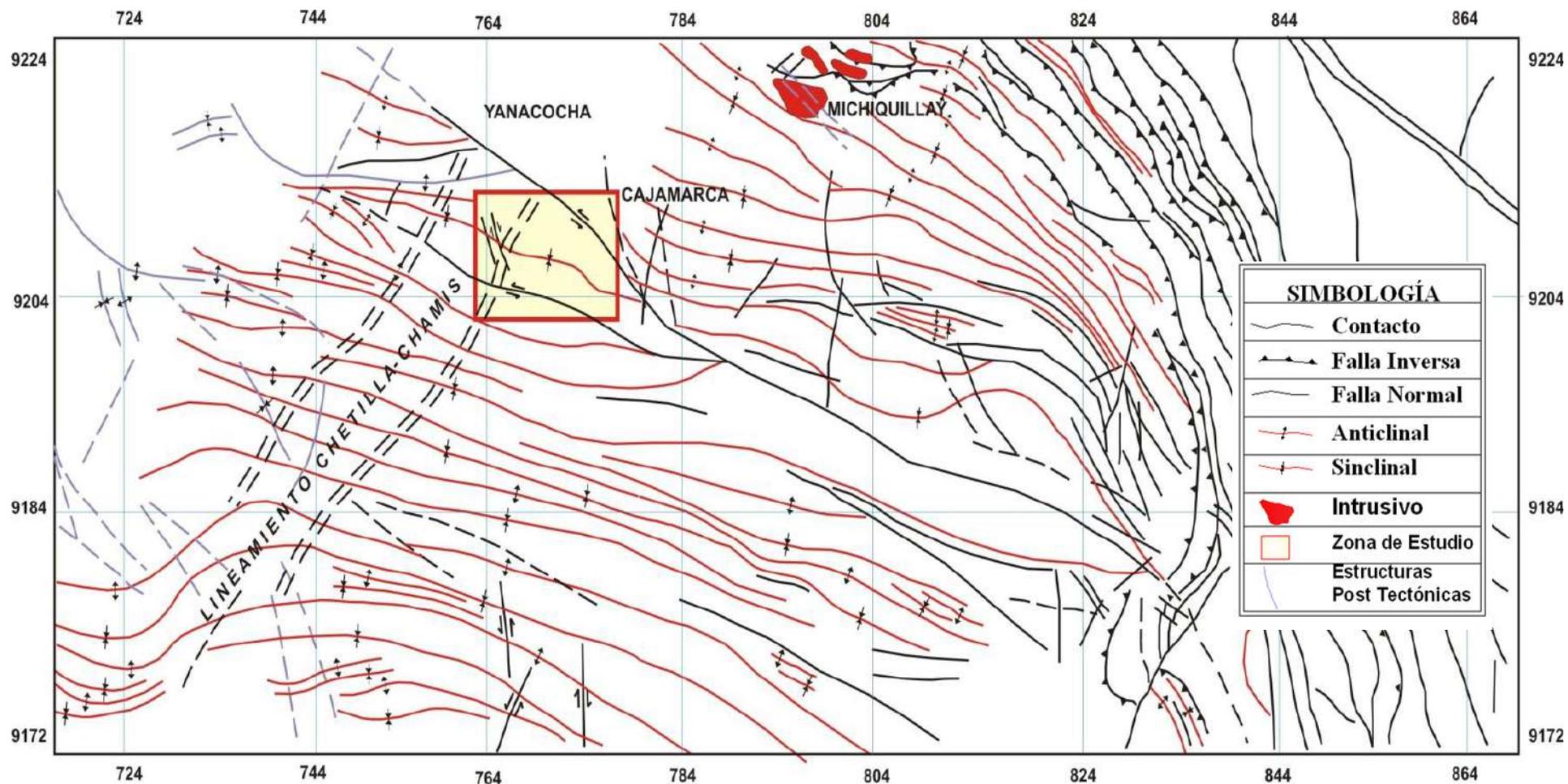


**Figura 18:** Afloramientos de arenas y gravas sub redondeadas y semi consolidadas, de origen lacustrino que podría ser explotados eventualmente como material de relleno.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017.)

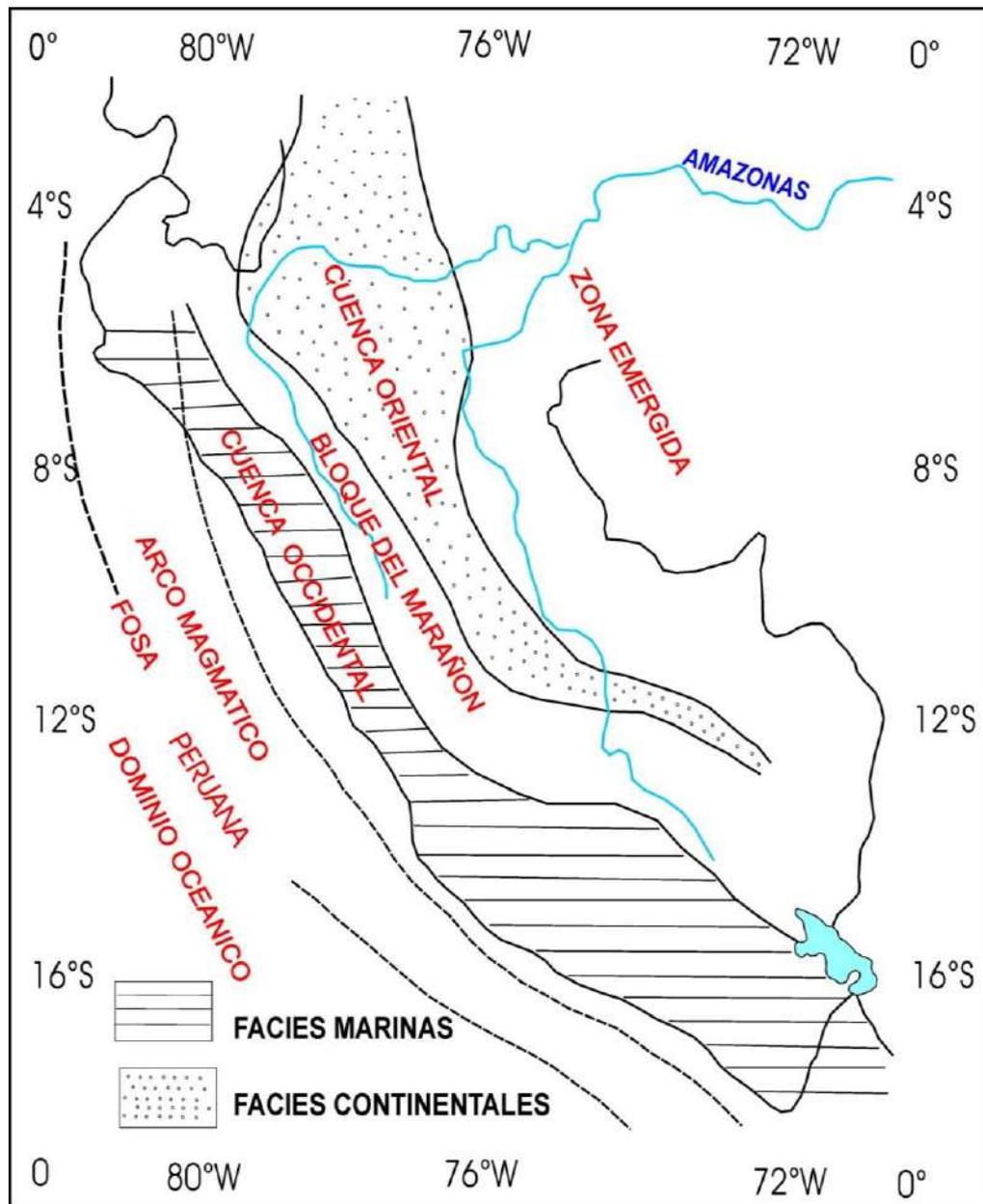
### 3.5. Geología Estructural

El área de estudio se encuentra dentro del Corredor Estructural denominado Chicama – Yanacocha que posee una dirección trasandina NE-SO. En el mapa estructural conformado por los cuadrángulos de Cajamarca, San Marcos y Bolívar se observa evidencias de cuatro etapas de deformación que se iniciaron en el cretáceo superior y que al parecer continuaron durante el cenozoico.

El bloque del Marañón empezó a levantarse a finales del Jurásico Superior debido a movimientos epirogenéticos configurando una cuenca al Oeste y una al Este Reyes (1980).



**Figura 19** Mapa Estructural Regional, que comprende los cuadrángulos de Cajamarca San Marcos y Bolívar  
**Fuente:** (Lagos, 2015.)

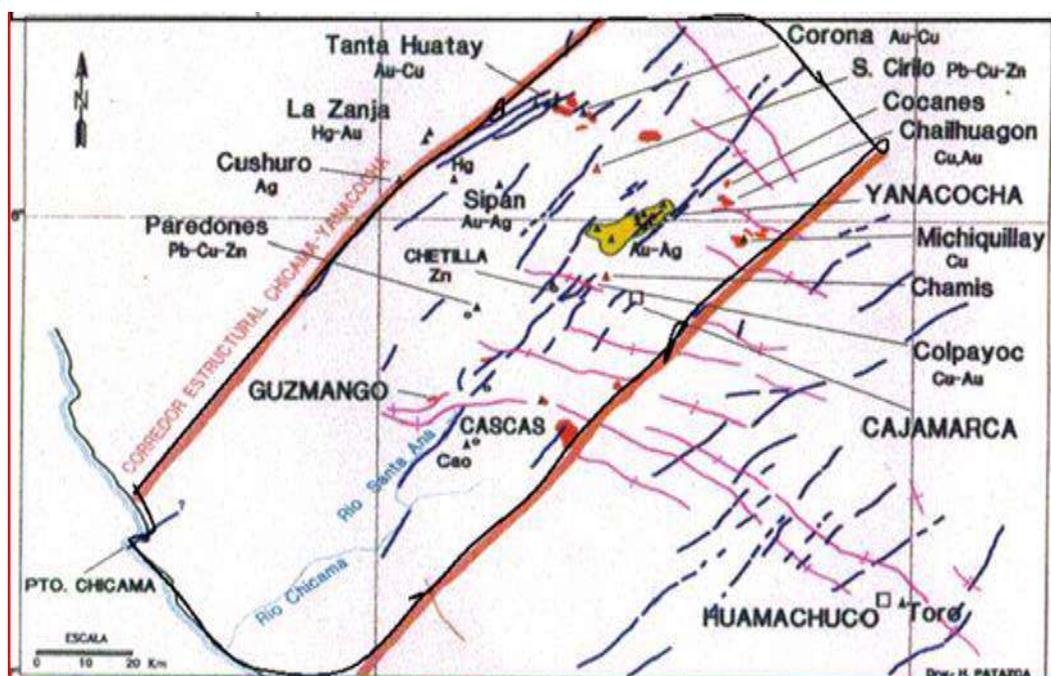


**Figura 20:** Mapa Paleogeográfico del Perú durante el Jurásico superior (MALM), donde se observa la configuración de dos cuencas una Occidental y otra Oriental. La cuenca Occidental en aquella época era de facies marina y la cuenca Oriental de facies continentales.

**Fuente:** (Dalmayrac, 1978)

A fines del Berriasiano– Valanginiano hasta el Aptiano la cuenca Occidental experimentó una emersión con leve intermitencia (Fm. Santa). Desde el Aptiano superior hasta el Santoniano se inicia la transgresión marina originando el relleno del material calcáreo en esta cuenca.

El Corredor Estructural Chicama- Yanacocha Corresponde a una Franja de 30 a 40 km de ancho, de 200 km de largo que se inicia en Puerto Chicama y que se extiende en dirección N 40° E, pasando por Guzmango, Contumazá, Cajamarca, La Encañada, Yanacocha y Hualgayoc. En este corredor se ubican fallas trasandinas.



**Figura 21:** Corredor Estructural Chicama - Yanacocha dentro del cual se encuentra la zona de estudio.

**Fuente:** (Quiroz, 2007).

El análisis estructural regional en el Noroeste del Perú evidencia la presencia de 4 movimientos tectónicos:

- **Primer Movimiento:** A fines del ciclo de sedimentación marina durante el Senoniano cuando el mar todavía cubría la zona andina, en el Santoniano Temprano toda la Cuenca y el Alto de Marañón fueron afectados por movimientos epigenéticos levantándose grandes regiones de la cuenca (Reyes, 1980).
- **Segundo Movimiento:** Se inicia durante el Paleógeno y se caracteriza por ser de carácter compresivo originado por la actividad de la Placa de Nazca, la cual literalmente empujó al prisma sedimentario hacia el

noreste plegándose intensamente y produciéndose cabalgamientos e imbricaciones en el lado oriental. (Reyes, 1980).

- **Tercer Movimiento:** De carácter compresivo que se inició a fines del Paleógeno posteriormente a la acumulación volcánica post-tectónica del grupo Calipuy que originaron estructuras de la misma dirección que el segundo movimiento. (Reyes, 1980).
- **Cuarto Movimiento:** Se caracterizó por ser de naturaleza epirogénica. Esta tectónica generó la elevación de la región andina a los niveles actuales. Este movimiento comenzó en el Mioceno-Plioceno y continúa hasta la actualidad. (Reyes, 1980). Tabla 8.

**Tabla 3:**

*Movimientos deformatorios que han sucedido a nivel regional en la parte Nor-Occidental del Perú.*

MOVIMIENTOS DEFORMATORIOS	EDAD RELATIVA
PRIMER MOVIMIENTO (Epirogénesis)	SANTONIANO
SEGUNDO MOVIMIENTO Compresivo (principal) empuje SO- NE	PALEOGENO
TERCER MOVIMIENTO (Compresivo menos importante) empuje SO- NE	FINES DEL PALEOGENO
CUARTO MOVIMIENTO "TARDIO" (Epirogénesis)	MIO- PLIOCENO- ACTUAL

Fuente: Reyes, 1980.

Con respecto al control estructural local tenemos que al sur oeste de la zona de estudio y a aproximadamente a 1.5 km se ubica la falla Cajamarca de carácter Regional. Esta falla posee una orientación de Noroeste al Sureste y pasa cerca de las localidades de Namora, Matara, San Marcos, Valle de Cajamarca prolongándose al Noroeste y que es cubierta por los depósitos volcánicos cenozoicos. Esta falla ha generado una "zona de falla" que está compuesta por fallas y fracturas secundarias generadas como consecuencia de la actividad

regional. Este conjunto de estructuras ha sido el causante del intenso fracturamiento de las rocas areniscosas de la Formación Chimú principalmente generando como consecuencia los diversos depósitos de materiales de construcción como son gravas, gravillas, arenas gruesas, bolonerías y que son utilizadas como materiales de construcción por los pobladores de la localidad de Cajamarca y áreas adyacentes.



**Figura 22:** Se observa una gran cantidad de fracturas con un espaciamiento muy pequeño lo que ha generado intenso fracturamiento de las rocas.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### **3.6. Presentación de Resultados**

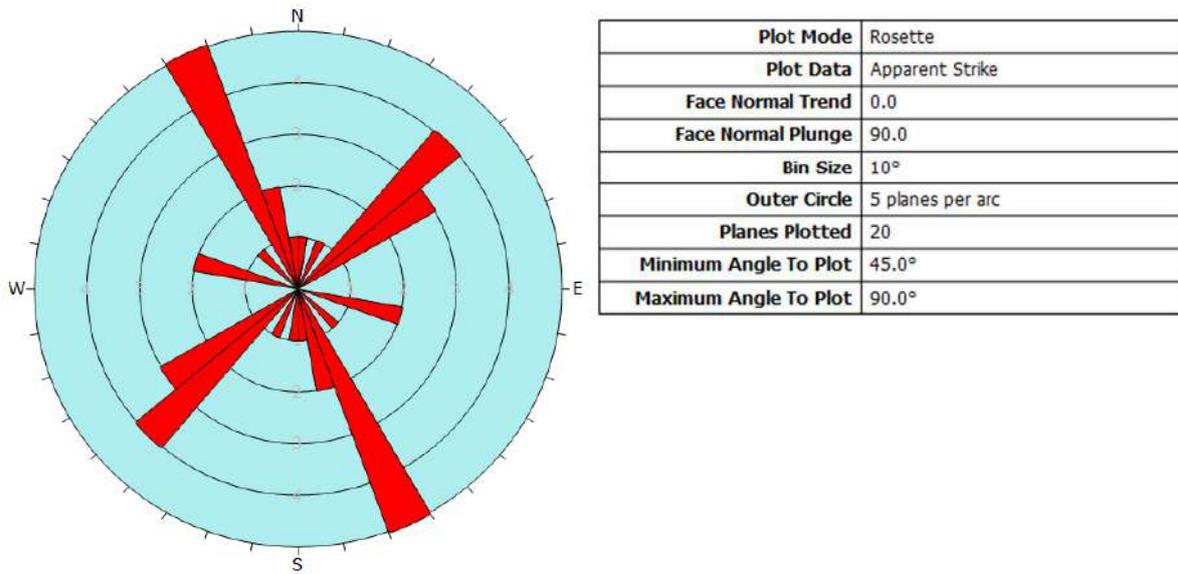
Se analizaron 10 estaciones estructurales las cuales se ubicaron dentro de rocas areniscas cuarzosas de la Formación Chimú. Las fracturas mayormente son de regular longitud de 2 a 15 metros, con espaciamientos pequeños y formando varias familias que se intersectan en forma perpendicular y diagonal. Se comprueba que las estaciones que poseen abundantes fracturas con espaciamientos cortos, presentan mayor cantidad de material triturado constituyendo zonas de mayores reservas de materiales para la construcción. A continuación, se describen las estaciones estructurales realizadas en la zona de estudio:

### 3.6.1. Estación Estructural J-001 (9203401, 774306)

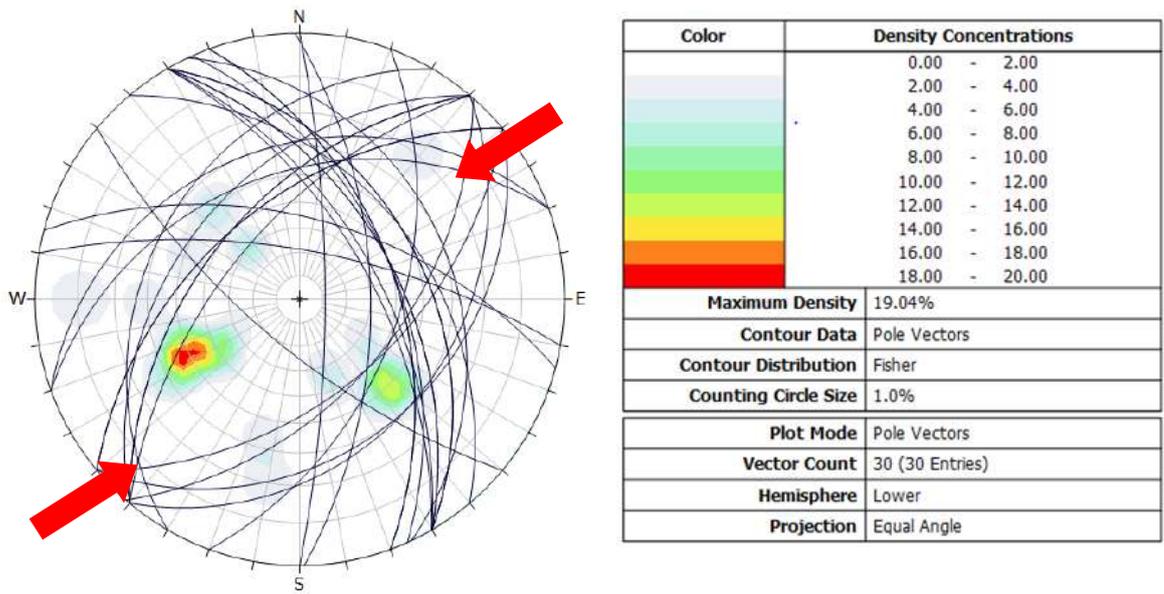


En esta estación se encuentran rocas areniscosas de composición mayormente cuarzosa, de coloración gris blanquecina, gris amarillento y gris anaranjado, de consistencia dura.

Al analizar el diagrama de rosas, las fracturas poseen una orientación preferencial  $N20^{\circ}O$ -  $S20^{\circ}E$  y  $N50^{\circ}E$ -  $S50^{\circ}O$  y otras de menor importancia  $N60^{\circ}O$ -  $S60$ . El diagrama de esfuerzos indica una mayor concentración de polos en la dirección  $S70^{\circ}O$ . Los buzamientos de las fracturas poseen valores variables de  $40^{\circ}$  a  $60^{\circ}$ .



**Figura 23:** Diagrama de rosas de la estación J-001. Se observa varias familias de fracturas que se intersectan.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)



**Figura 24:** Diagrama de polos de la estación J-001. Se observa una mayor concentración de polos en la dirección S 70° E.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

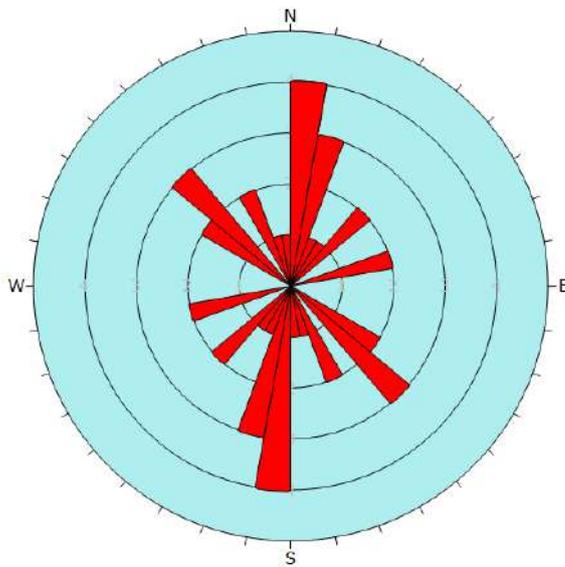
### 3.6.2. Estación Estructural J-002 (9203286, 775254)



Esta estación se ubica en afloramientos de areniscas cuarzosas de grano medio a fino de coloración gris blanquecina, gris amarillentas y gris rojizo por la intensa oxidación de algunos minerales ferromagnesianos. Las fracturas poseen ángulos de buzamientos que van de  $40^{\circ}$  a  $60^{\circ}$ .

Al analizar el diagrama de rosas de esta estación estructural se observa una tendencia principal de  $N10^{\circ}E- S10^{\circ}O$ . Y otras secundarias  $N50^{\circ}O- S50^{\circ}E$  y  $S80^{\circ}O- N80^{\circ}E$ .

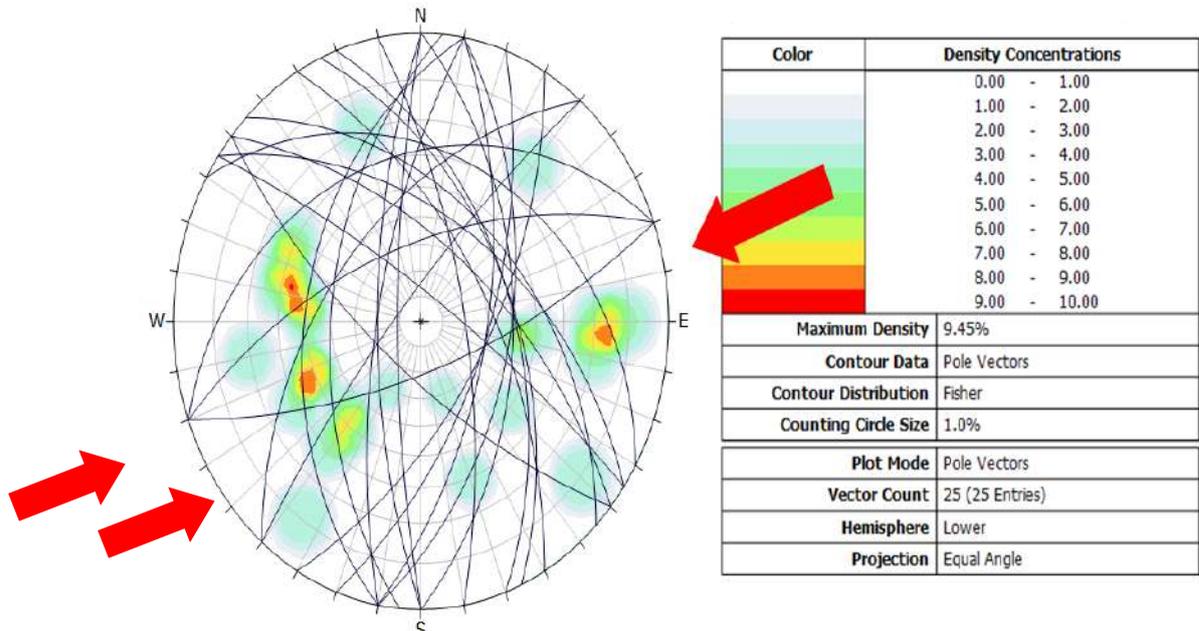
Al analizar el diagrama de esfuerzos se observa una mayor concentración de polos en el sector  $S70^{\circ}O- N70^{\circ}E$  principalmente. Se observa además la distribución en forma desordenada sin ninguna tendencia principal.



<b>Plot Mode</b>	Rosette
<b>Plot Data</b>	Apparent Strike
<b>Face Normal Trend</b>	0.0
<b>Face Normal Plunge</b>	90.0
<b>Bin Size</b>	10°
<b>Outer Circle</b>	5 planes per arc
<b>Planes Plotted</b>	22
<b>Minimum Angle To Plot</b>	45.0°
<b>Maximum Angle To Plot</b>	90.0°

**Figura 25:** Diagrama de rosas de la estación J-002. Se observa varias familias de fracturas que se intersectan.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)



**Figura 26:** Diagrama de polos de la estación J-002. Se observa una mayor concentración de polos en la dirección S70° E.

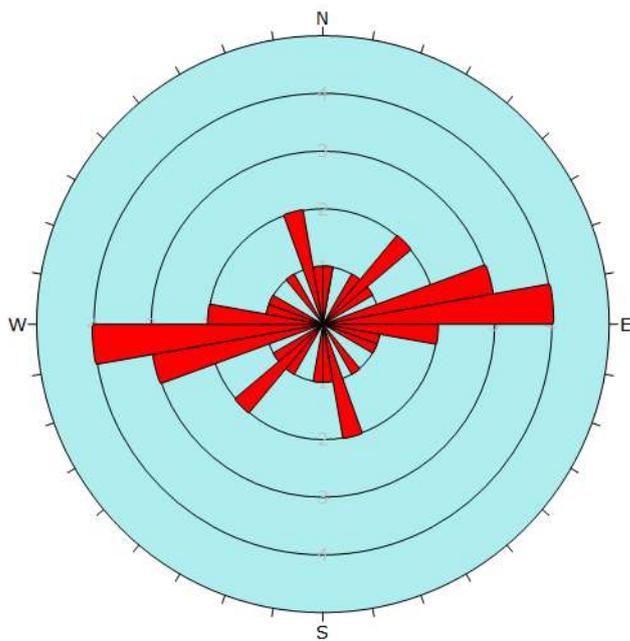
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### 3.6.3. Estación Estructural J-003 (9203483, 775885)



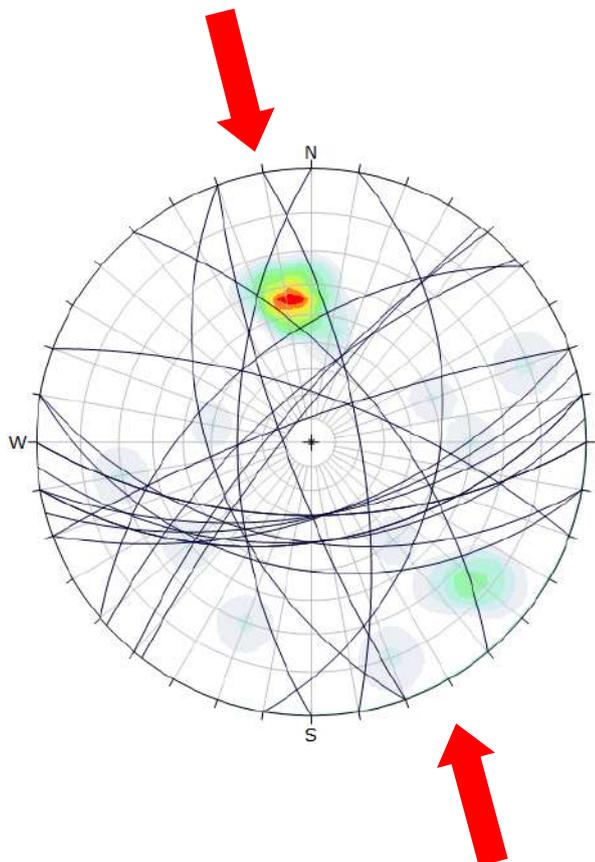
En esta estación se ubican rocas areniscosas de composición mayormente cuarzosa, de coloración gris blanquecina, gris amarillento y gris anaranjado de consistencia dura. Las fracturas se encuentran formando varias familias con distintas direcciones y ángulos de buzamientos.

Al analizar el diagrama de rosas, las fracturas poseen una orientación preferencial N80°E- S80°O y N20°O- S20°E y otras de menor importancia N40°E- S40°E. El diagrama de esfuerzos indica una mayor concentración de polos en la dirección N20°O. Los buzamientos de las fracturas poseen valores variables de 40° a 60°.



<b>Plot Mode</b>	Rosette
<b>Plot Data</b>	Apparent Strike
<b>Face Normal Trend</b>	0.0
<b>Face Normal Plunge</b>	90.0
<b>Bin Size</b>	10°
<b>Outer Circle</b>	5 planes per arc
<b>Planes Plotted</b>	20
<b>Minimum Angle To Plot</b>	45.0°
<b>Maximum Angle To Plot</b>	90.0°

**Figura 27:** Diagrama de rosas de la estación J-003. Se observa varias familias de fracturas de importancia menor.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017.)



Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.20
	2.20 - 4.40
	4.40 - 6.60
	6.60 - 8.80
	8.80 - 11.00
	11.00 - 13.20
	13.20 - 15.40
	15.40 - 17.60
	17.60 - 19.80
	19.80 - 22.00
<b>Maximum Density</b> 21.81%	
<b>Contour Data</b> Pole Vectors	
<b>Contour Distribution</b> Fisher	
<b>Counting Circle Size</b> 1.0%	
<b>Plot Mode</b> Pole Vectors	
<b>Vector Count</b> 22 (22 Entries)	
<b>Hemisphere</b> Lower	
<b>Projection</b> Equal Angle	

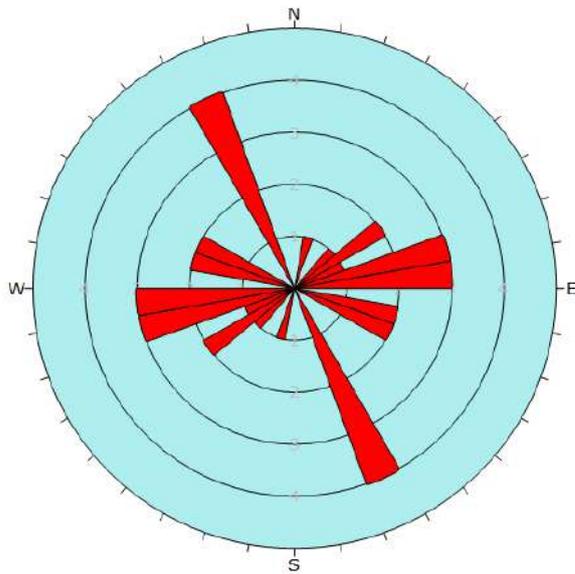
**Figura 28:** El diagrama de polos de la estación J-003 nos muestra una mayor concentración de polos en el sector N10°O. La ubicación de estos polos indica además los valores de los ángulos de buzamientos entre 50 y 60°  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017.)

#### 3.6.4. Estación Estructural J-004 (9203606, 775050)



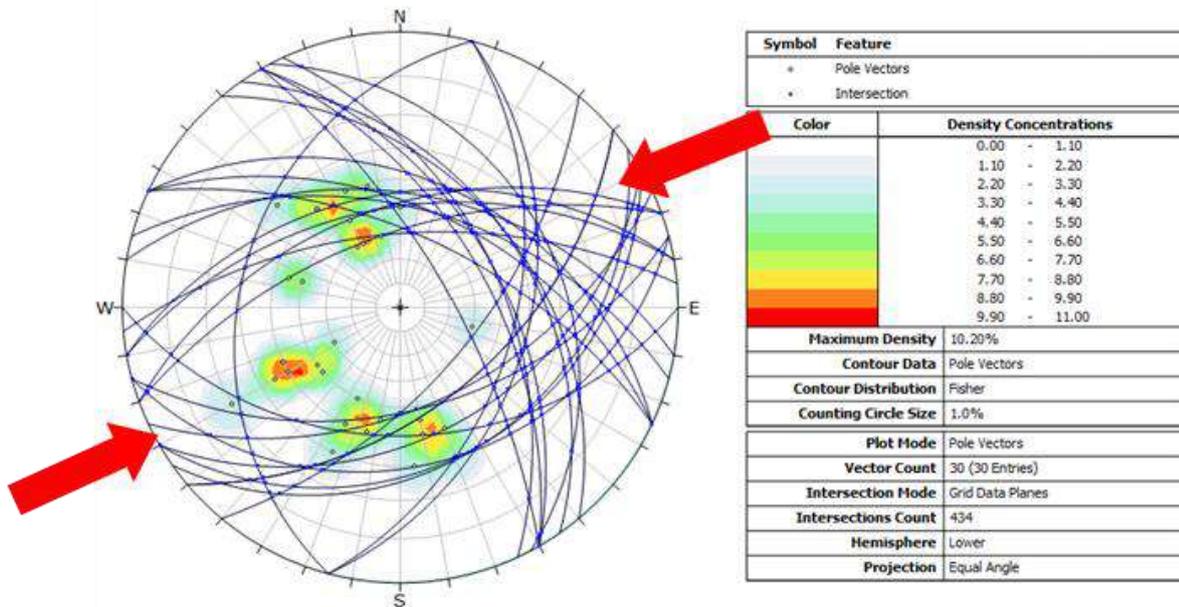
En esta estación estructural las rocas son básicamente areniscosas, cuarzosas, de coloración gris amarillenta a gris anaranjadas. Las fracturas son rectilíneas cuyas longitudes van en un orden de 6 a 19 metros. La consistencia de estas rocas es dura. Las fracturas poseen aberturas de 2 a 3 cm y se observan dispuestas en tres a más familias.

Al analizar el diagrama de rosas de esta estación se observa una orientación preferencial  $N20^{\circ}O - S20^{\circ}E$ . Otra de menor importancia  $N80^{\circ}E - S80^{\circ}O$  y una tercera sin mucha importancia  $N20^{\circ}E - S20^{\circ}O$ .



<b>Plot Mode</b>	Rosette
<b>Plot Data</b>	Apparent Strike
<b>Face Normal Trend</b>	0.0
<b>Face Normal Plunge</b>	90.0
<b>Bin Size</b>	10°
<b>Outer Circle</b>	5 planes per arc
<b>Planes Plotted</b>	19
<b>Minimum Angle To Plot</b>	45.0°
<b>Maximum Angle To Plot</b>	90.0°

**Figura 29:** Diagrama de rosas de la estación J-004. Se observa hasta 3 familias de fracturas. (Elaboración propia, 2017)



**Figura 30:** El diagrama de polos de la estación J-004 nos muestra varias concentraciones de polos. Una con dirección S70°O y otra al S60°O. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de buzamientos van desde 30 a 40°.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

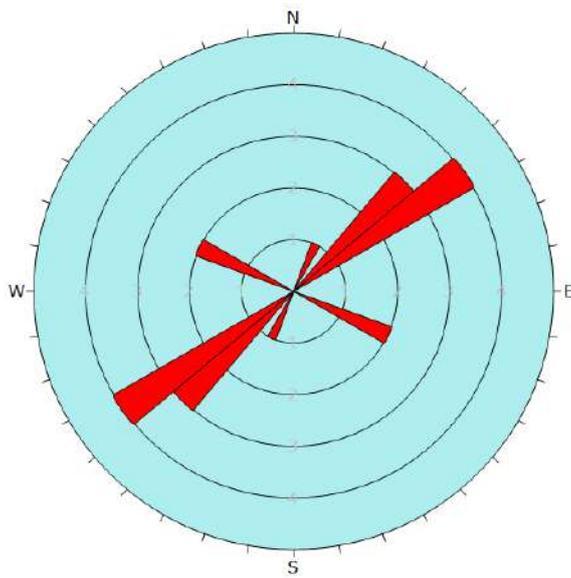
### 3.6.5. Estación Estructural J-005 (9202803, 775967)



Las rocas donde se ubica esta estación estructural son areniscas de grano fino a medio, de composición química esencialmente cuarzosa en aproximadamente un 80%. Las fracturas están dispuestas en dos familias que se intersectan. El espaciamiento es de 15 a 20 cm, son de forma sinuosa, estas poseen aperturas de 8cm.

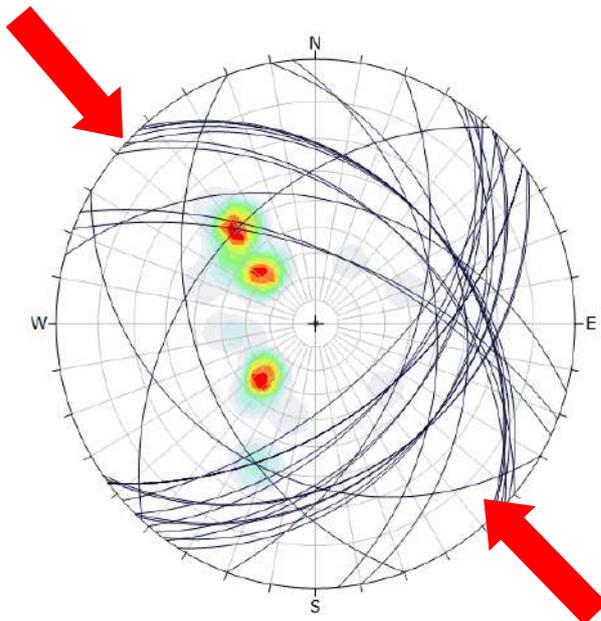
Al analizar el diagrama de rosas de esta estación se observa que las fracturas poseen una orientación preferencial  $N60^{\circ}E - S60^{\circ}O$  y otra de menor importancia  $N65^{\circ}O - S65^{\circ}E$ .

El diagrama de polos muestra varias concentraciones de puntos, pero todos ellos ubicados en dos direcciones preferenciales  $N50^{\circ}O - S50^{\circ}O$  y  $S60^{\circ}O - N60^{\circ}E$ . Además indica que los valores de los ángulos de buzamientos de las fracturas están en el orden de  $50^{\circ}$  a  $60^{\circ}$ .



<b>Plot Mode</b>	Rosette
<b>Plot Data</b>	Apparent Strike
<b>Face Normal Trend</b>	0.0
<b>Face Normal Plunge</b>	90.0
<b>Bin Size</b>	10°
<b>Outer Circle</b>	5 planes per arc
<b>Planes Plotted</b>	10
<b>Minimum Angle To Plot</b>	45.0°
<b>Maximum Angle To Plot</b>	90.0°

**Figura 31:** Diagrama de rosas de la estación J-005. Se observa hasta 3 familias de fracturas.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)



Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.90
	1.90 - 3.80
	3.80 - 5.70
	5.70 - 7.60
	7.60 - 9.50
	9.50 - 11.40
	11.40 - 13.30
	13.30 - 15.20
	15.20 - 17.10
	17.10 - 19.00
<b>Maximum Density</b>	18.82%
<b>Contour Data</b>	Pole Vectors
<b>Contour Distribution</b>	Fisher
<b>Counting Circle Size</b>	1.0%
<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors
<b>Vector Count</b>	31 (31 Entries)
<b>Hemisphere</b>	Lower
<b>Projection</b>	Equal Angle

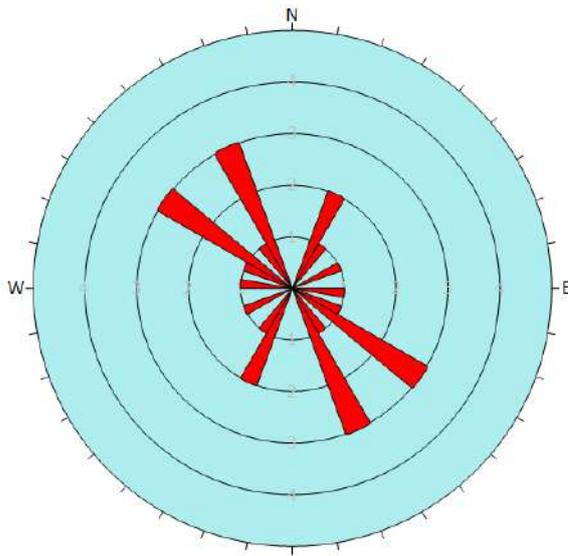
**Figura 32:** El diagrama de polos de la estación J-005 nos muestra una orientación preferencial N50°O- S50° E. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de buzamientos van desde 20 a 30°.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### 3.6.6. Estación Estructural J-006 (9203126, 776752)



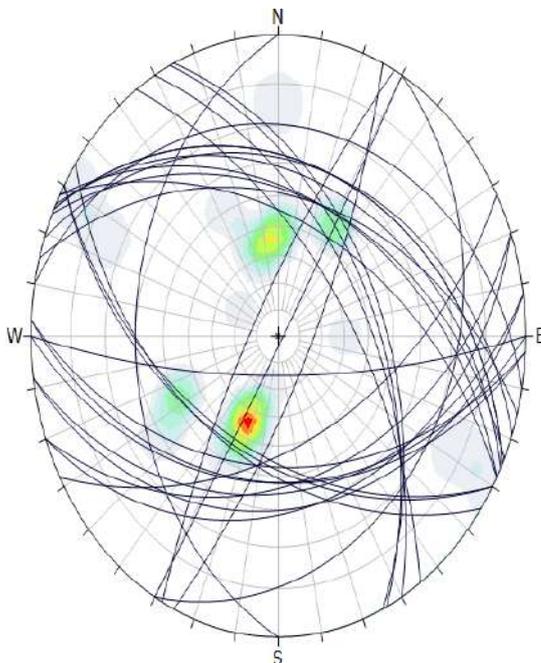
Las rocas que se ubican en esta estación están compuestas por areniscas de grano fino a medio de coloración gris blanquecinas a gris amarillentas. Poseen una consistencia regular. Las fracturas son de longitudes que bordean los 10 metros. Son de forma algo sinuosas y poco espaciadas. Presentan mayormente aberturas de 3 cm. aproximadamente.

Al analizar el diagrama de rosas se observa dos tendencias principales N20°O- S20°E y otra N50°O- S50°E y otra de menor importancia N30°E-S30°O.



<b>Plot Mode</b>	Rosette
<b>Plot Data</b>	Apparent Strike
<b>Face Normal Trend</b>	0.0
<b>Face Normal Plunge</b>	90.0
<b>Bin Size</b>	10°
<b>Outer Circle</b>	5 planes per arc
<b>Planes Plotted</b>	13
<b>Minimum Angle To Plot</b>	45.0°
<b>Maximum Angle To Plot</b>	90.0°

**Figura 33:** Diagrama de rosas de la estación J-006. Se observa hasta 3 familias de fracturas. (Elaboración propia, 2017).



Color	Density Concentrations
	0.00 - 2.00
	2.00 - 4.00
	4.00 - 6.00
	6.00 - 8.00
	8.00 - 10.00
	10.00 - 12.00
	12.00 - 14.00
	14.00 - 16.00
	16.00 - 18.00
	18.00 - 20.00
<b>Maximum Density</b>	19.45%
<b>Contour Data</b>	Pole Vectors
<b>Contour Distribution</b>	Fisher
<b>Counting Circle Size</b>	1.0%
<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors
<b>Vector Count</b>	30 (30 Entries)
<b>Hemisphere</b>	Lower
<b>Projection</b>	Equal Angle

**Figura 34:** El diagrama de polos de la estación J-006 nos muestra una orientación preferencial N50°O- S50° E. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de buzamientos van desde 20 a 30°.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017.)

### 3.6.7. Estación Estructural J-007 (9203423, 777468)

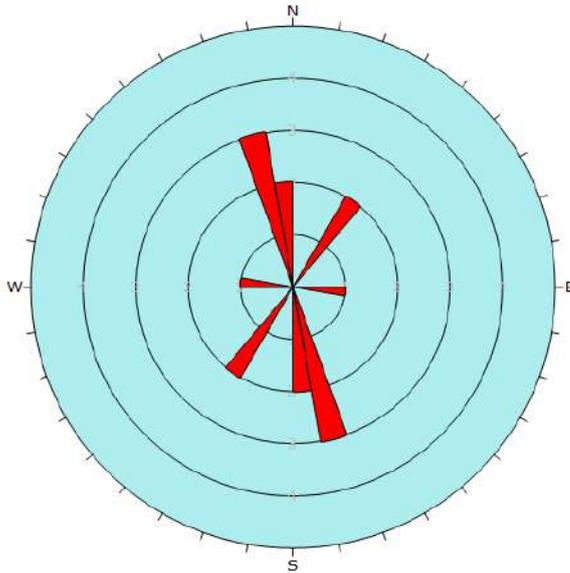


La estación se ubicó en rocas areniscosas gris blanquecinas, de composición esencialmente cuarzosa, a veces estas areniscas poseen cemento silíceo lo que las hace más duras, los estratos poseen espesores de 15 a 20 cm. Se observan algunos pequeños horizontes de limolitas y arcillitas de coloración gris amarillenta y gris rojiza. Estas se combinan con las arenas blanquecinas dándole una combinación óptima para ser considerada como material de construcción. Las fracturas poseen longitudes que van desde los 10 a 15 metros y poco sinuosas, están separadas a distancias de 8 cm. Las aberturas son de 3 cm aproximadamente.

Al analizar el diagrama de rosas se observa una orientación preferencial de las fracturas de  $N15^{\circ}O-S15^{\circ}E$ . Otra de  $N40^{\circ}E-S40^{\circ}O$  y una de menor importancia  $N80^{\circ}O-S80^{\circ}E$  (figura 30).

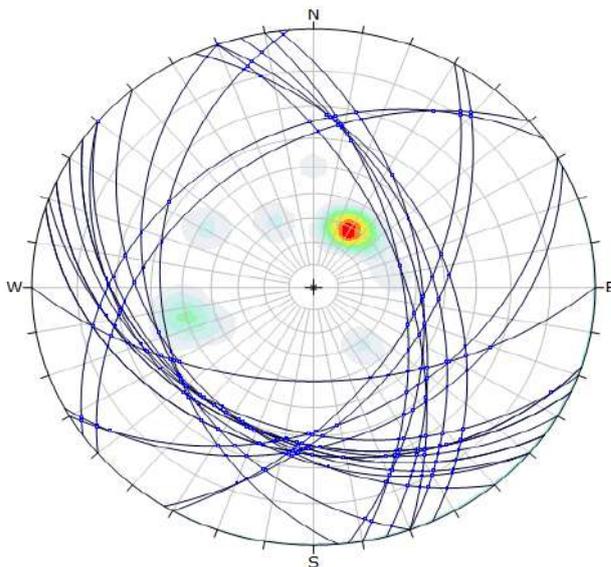
El análisis del diagrama de esfuerzos se observa una mayor concentración de polos en  $N40^{\circ}E$ , otras concentraciones están en

la dirección S60°O. Además, indica que los buzamientos poseen buzamientos entre 30 y 40°.



<b>Plot Mode</b>	Rosette
<b>Plot Data</b>	Apparent Strike
<b>Face Normal Trend</b>	0.0
<b>Face Normal Plunge</b>	90.0
<b>Bin Size</b>	10°
<b>Outer Circle</b>	5 planes per arc
<b>Planes Plotted</b>	8
<b>Minimum Angle To Plot</b>	45.0°
<b>Maximum Angle To Plot</b>	90.0°

**Figura 35:** Diagrama de rosas de la estación J-007. Se observa hasta 3 familias de fracturas.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017).



Symbol	Feature
•	Intersection
Color	Density Concentrations
	0.00 - 3.40
	3.40 - 6.80
	6.80 - 10.20
	10.20 - 13.60
	13.60 - 17.00
	17.00 - 20.40
	20.40 - 23.80
	23.80 - 27.20
	27.20 - 30.60
	30.60 - 34.00
<b>Maximum Density</b>	33.63%
<b>Contour Data</b>	Pole Vectors
<b>Contour Distribution</b>	Fisher
<b>Counting Circle Size</b>	1.0%
<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors
<b>Vector Count</b>	26 (26 Entries)
<b>Intersection Mode</b>	Grid Data Planes
<b>Intersections Count</b>	322
<b>Hemisphere</b>	Lower
<b>Projection</b>	Equal Angle

**Figura 36:** El diagrama de polos de la estación J-007 nos muestra una orientación preferencial N50°O- S50° E. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de buzamientos van desde 20 a 30°.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

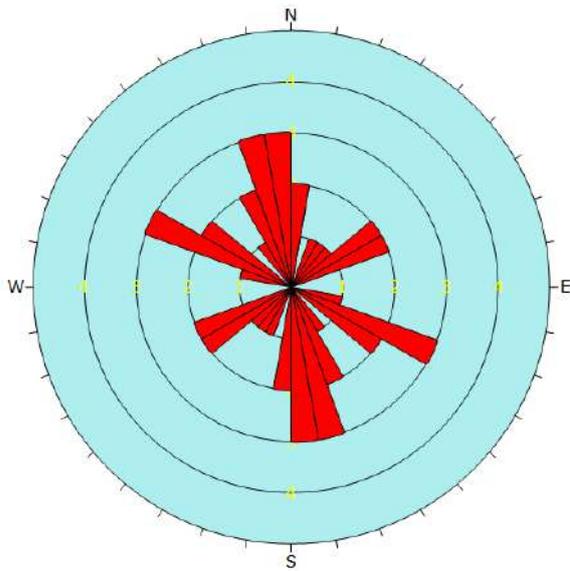
### 3.6.8. Estación Estructural J-008 (9203039, 777592)



Se encuentran rocas areniscosas con cemento silíceo, dispuestas en estratos delgados y paralelos. Poseen una coloración gris rojiza por la meteorización. Existen también pequeños horizontes de limolitas y arcillitas de coloración gris rojizas. Las fracturas tienen dimensiones de 10 a 12 metros, en forma recta, espaciadas cada 8 cm. con aperturas de 2 a 3 cm.

El análisis del diagrama de rosas nos muestra tres orientaciones bien definidas: N15°O- S15°E, otra N60°O - S60°E y una de menor importancia N60°E- S60°O.

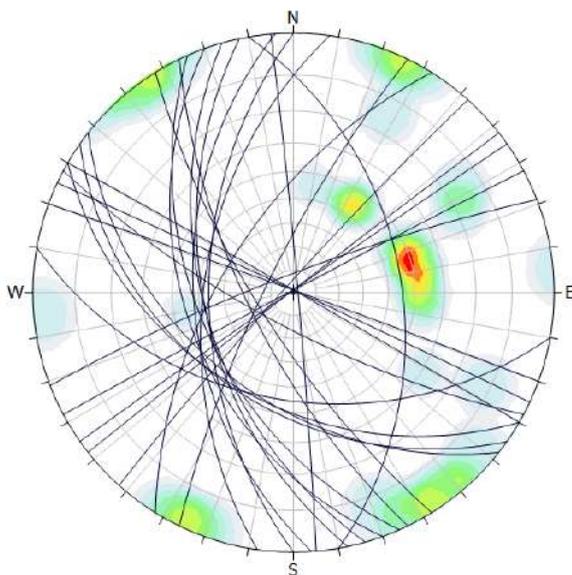
El diagrama de esfuerzos nos indica una concentración polos en N60E. Indica además que los valores de los ángulos de buzamientos están entre 40° y 50°.



<b>Plot Mode</b>	Rosette
<b>Plot Data</b>	Apparent Strike
<b>Face Normal Trend</b>	0.0
<b>Face Normal Plunge</b>	90.0
<b>Bin Size</b>	10°
<b>Outer Circle</b>	5 planes per arc
<b>Planes Plotted</b>	24
<b>Minimum Angle To Plot</b>	45.0°
<b>Maximum Angle To Plot</b>	90.0°

**Figura 37:** Diagrama de rosas de la estación J-008. Se observa hasta 3 familias de fracturas.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017.)



Color	Density Concentrations
	0.00 - 1.50
	1.50 - 3.00
	3.00 - 4.50
	4.50 - 6.00
	6.00 - 7.50
	7.50 - 9.00
	9.00 - 10.50
	10.50 - 12.00
	12.00 - 13.50
	13.50 - 15.00
<b>Maximum Density</b>	14.84%
<b>Contour Data</b>	Pole Vectors
<b>Contour Distribution</b>	Fisher
<b>Counting Circle Size</b>	1.0%
<b>Plot Mode</b>	Pole Vectors
<b>Vector Count</b>	26 (26 Entries)
<b>Hemisphere</b>	Lower
<b>Projection</b>	Equal Angle

**Figura 38:** El diagrama de polos de la estación J-008 nos muestra una orientación preferencial N80°E. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de buzamientos van desde 30 a 40°.

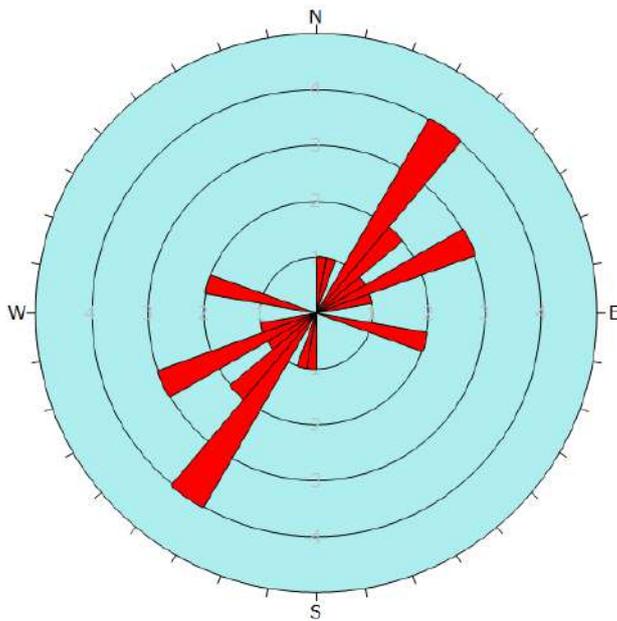
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### 3.6.9. Estación Estructural J-009 (9202578, 777553)



Las rocas son areniscas de grano fino de coloración gris blanquecinas dispuestas en estratos delgados paralelos. Los granos que se aprecian son de cuarzo mayormente. Se observa una gran selección y un redondeamiento. Las fracturas son de longitudes de 10 a 12 metros, poco espaciadas, formando tres familias.

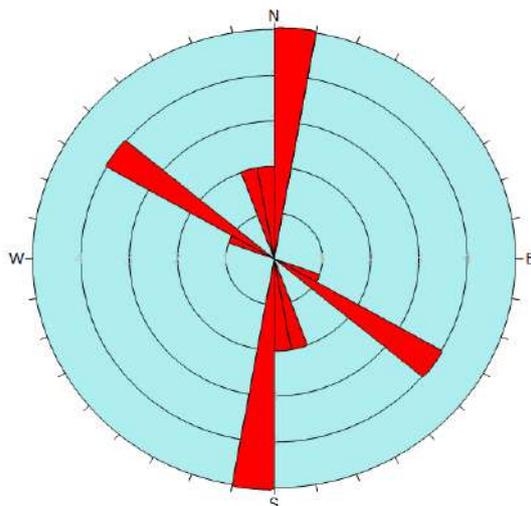
Al analizar el diagrama de rosas se observa una tendencia  $N40^{\circ}E-40^{\circ}O$ , otra  $N70^{\circ}E- S70^{\circ}O$  y una tercera  $N80^{\circ}O- S80^{\circ}E$  (figura 38). El diagrama de esfuerzos indica una mayor concentración de polos en el sector  $S30^{\circ}E$  y  $N50^{\circ}O$ .



Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0.0
Face Normal Plunge	90.0
Bin Size	10°
Outer Circle	5 planes per arc
Planes Plotted	15
Minimum Angle To Plot	45.0°
Maximum Angle To Plot	90.0°

**Figura 39:** Diagrama de rosas de la estación J-009. Se observa hasta 4 familias de fracturas.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)



Symbol	Feature
•	Intersection

Plot Mode	Rosette
Plot Data	Apparent Strike
Face Normal Trend	0,0
Face Normal Plunge	90,0
Bin Size	10°
Outer Circle	5 planes per arc
Planes Plotted	14
Minimum Angle To Plot	45,0°
Maximum Angle To Plot	90,0°

**Figura 40:** El diagrama de polos de la estación J-009 nos muestra una orientación preferencial S30°E y N50O. La ubicación de estos polos indica también que los valores de los ángulos de los buzamientos van desde 70 a 80°.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

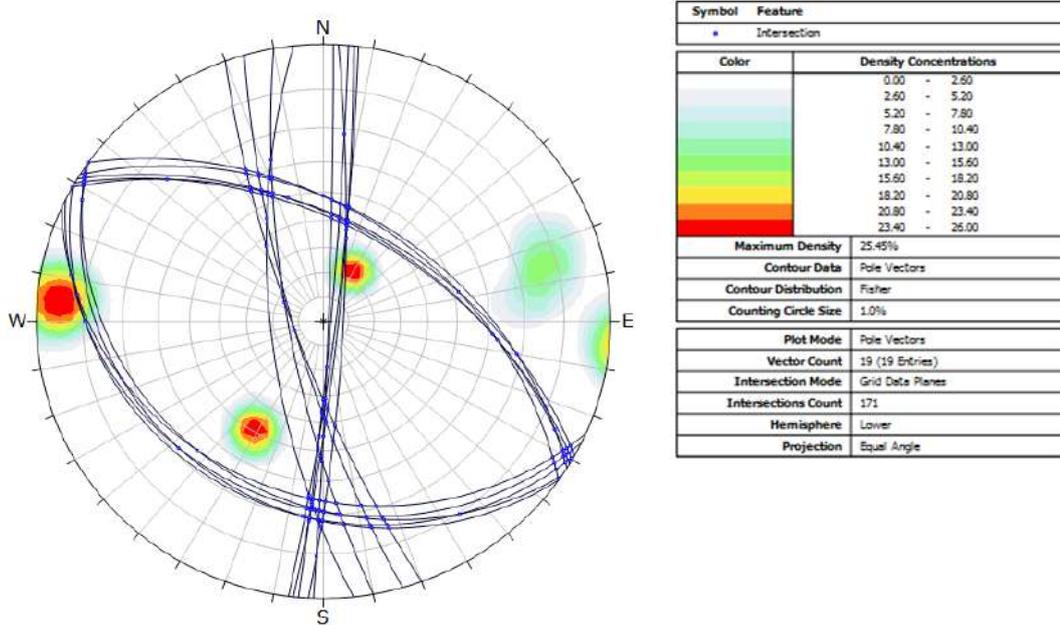
### 3.6.10. Estación Estructural J-010 (9203587, 778783)



Esta estación se ubica en rocas areniscosas, de coloración gris blanquecinas, con una superficie de oxidación gris rojiza. Los fragmentos que conforman estas rocas son de naturaleza cuarzosa esencialmente. Las fracturas están dispuestas en 4 familias, sus longitudes van desde 10 a 15 metros, son rectilíneas, sus aperturas son de 3 a 4 cm.

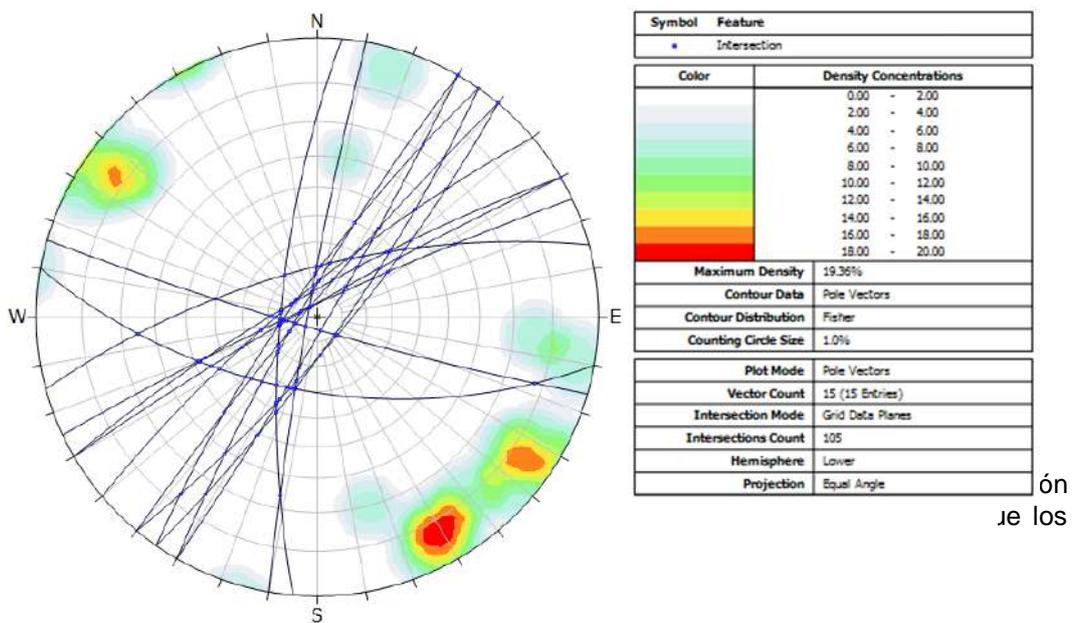
Al analizar el diagrama de rosas se aprecian dos tendencias bien marcadas una N05°E- S05 O y otra N60°O- S60E.

El diagrama de esfuerzos indica concentraciones de polos en N80°O y S50°E. Se aprecia también que los valores de los ángulos de buzamientos son altos y bajos una familia con 80° a otro de 20°.c



**Figura 41:** Diagrama de rosas de la estación J-010. Se observa hasta 3 familias de fracturas.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017.)



ón  
de los

### 3.7. Análisis de la Concentración de las Intersecciones de Fracturas

En este capítulo se realizó el análisis estructural para cada estación, así como también el análisis petrográfico para 10 muestras de areniscas obtenidas de las estaciones estructurales. Estos estudios consistieron en determinar las características macroscópicas como color, dureza, grado de alteración, composición mineralógica etc. Para este propósito se confecciono una tabla en donde se muestran los resultados de dichos análisis con sus fotos respectiva:

**Tabla 10:**

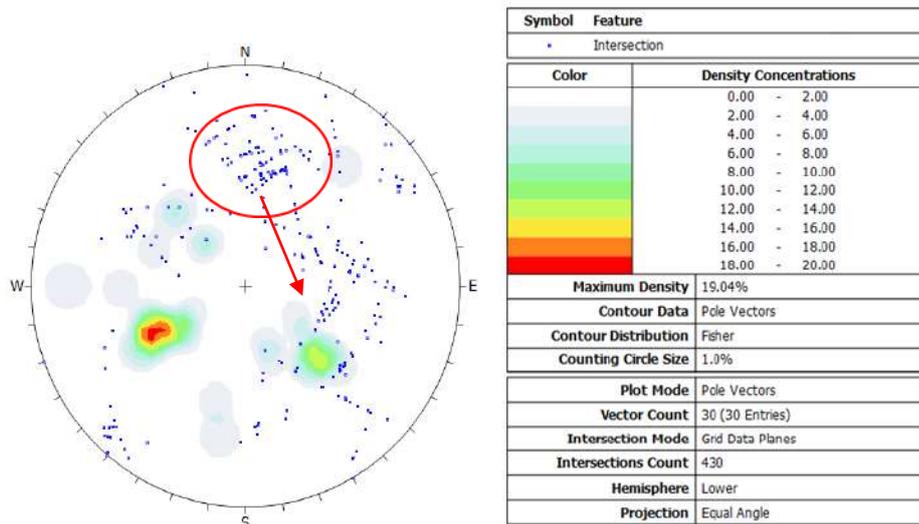
*Estaciones estructurales y petrológicas tomadas en campo*

<b>Numero de muestra</b>	<b>Código</b>
<b>1</b>	J-001
<b>2</b>	J-002
<b>3</b>	J-003
<b>4</b>	J-004
<b>5</b>	J-005
<b>6</b>	J-006
<b>7</b>	J-007
<b>8</b>	J-008
<b>9</b>	J-009
<b>10</b>	J-010

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

#### 3.7.1. Análisis de intersección de la Estación J-001

Las fracturas en esta estación se concentran mayormente en el sector N10°E, S80°E y N50°O lo que constituye una buena herramienta para la explotación de materiales muy triturados, se recomienda seguir la explotación de estos materiales incidiendo hacia la zona Sur Este tal como indica la flecha roja. Además en este sector los fragmentos generados como producto de la intersección son de pequeño tamaño.

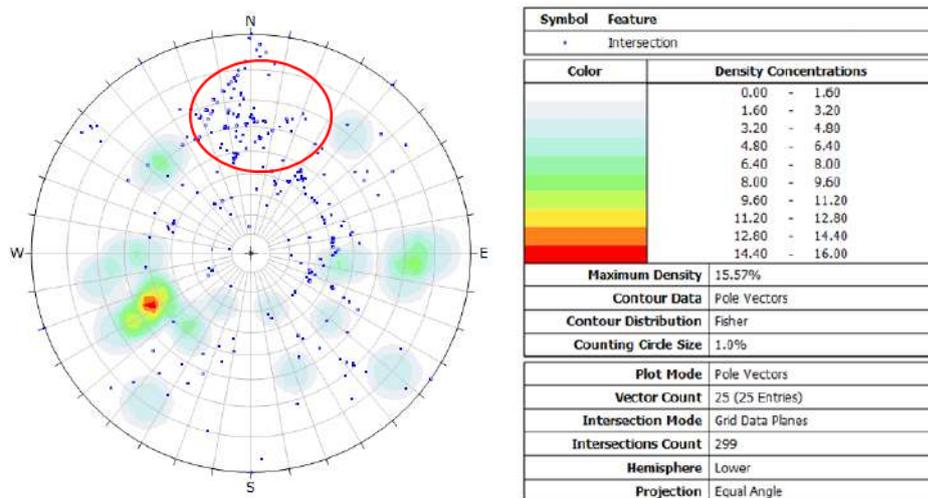


**Figura 43:** En el diagrama de intersección de las fracturas se observan las intersecciones diseminadas en toda la red estereográfica y concentradas en tres puntos muy notorios: N10°E, S 80°E y N50°O.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### 3.7.2. Análisis de intersección de la Estación J-002

Las intersecciones de las fracturas se distribuyen en casi toda la zona analizada, pero incidiendo mayormente en la parte superior de la red estereográfica. La concentración de los polos están perpendicularmente a las intersecciones de estas fracturas.

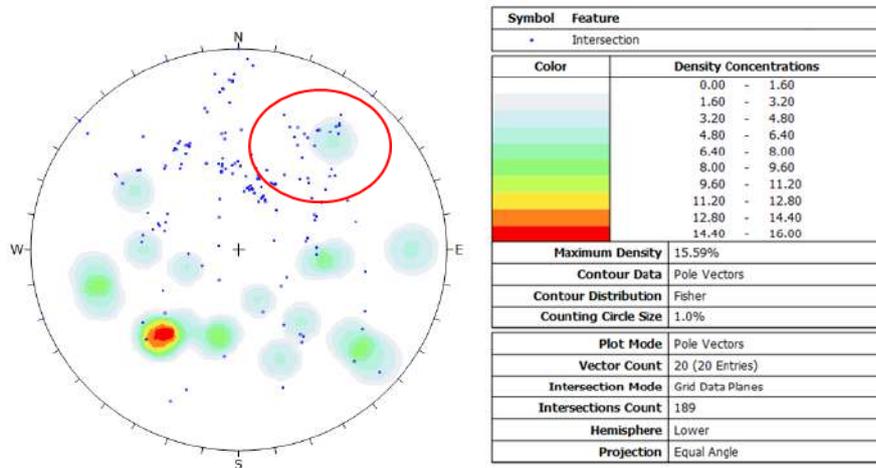


**Figura 44:** En el diagrama de intersección de las fracturas las intersecciones están concentradas hacia la parte central de la red. Siguen una dirección al Sur- Este.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### 3.7.3. Análisis de intersección de la Estación J-003

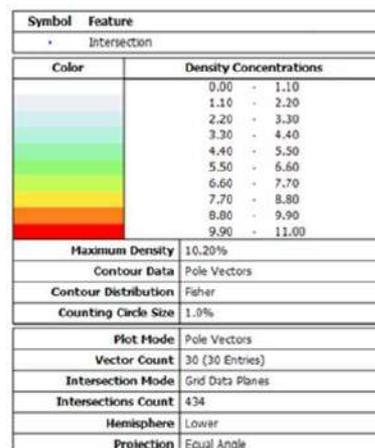
La mayor concentración de la intersecciones de fracturas esta ubicada en un punto preferencial N10°O. Esto indica que en este sector los fragmentos, generados por la acción de las fracturas, son de medianos tamaños en comparación a la estación J-001 y J-002.



**Figura 45:** En el diagrama de intersección de las fracturas se observan a estas concentradas hacia la parte norte de la red estereográfica.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

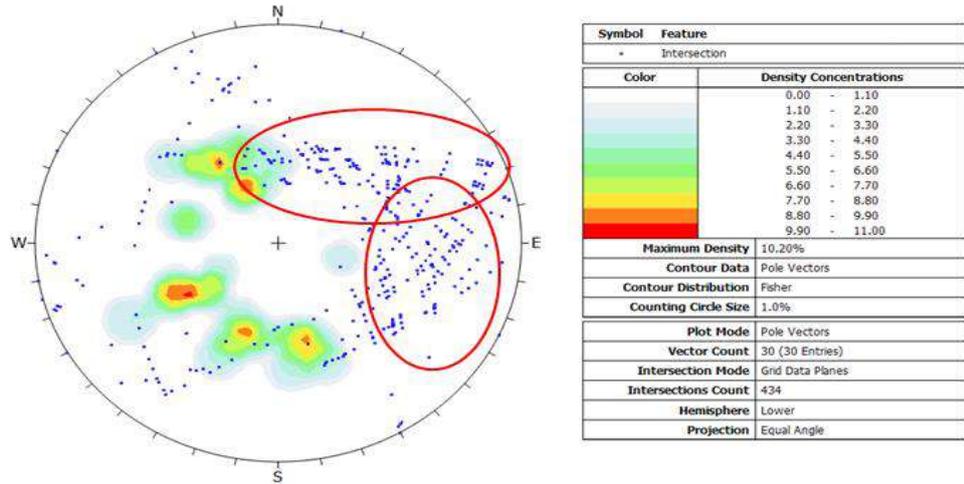
### 3.7.4. Análisis de intersección de la Estación J-004

Las intersecciones de las fracturas están ubicadas en dos puntos principales que se ubican al Este y al Sur Este de la estación estructural.

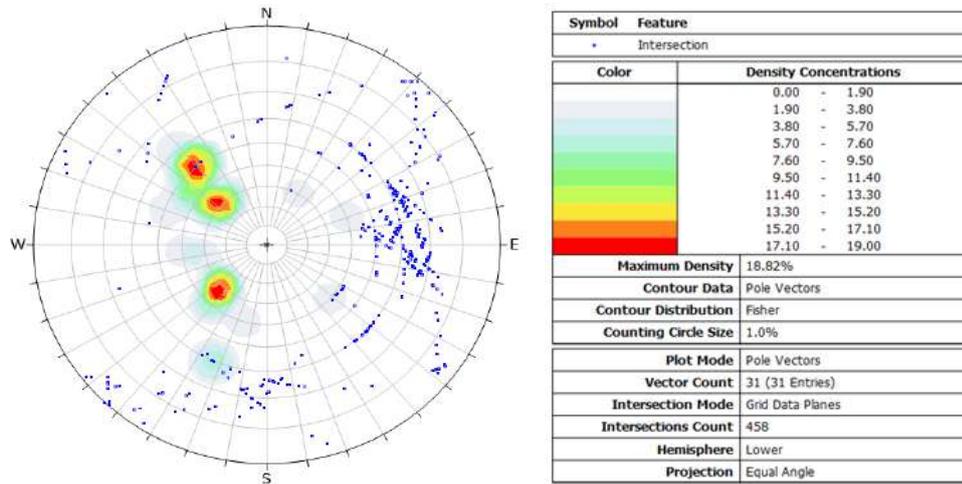


**Figura 46:** Se observa una gran concentración de intersecciones en el sector oeste de la estación estructural.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017.)

### 3.7.5. Análisis de intersección de la Estación J-005



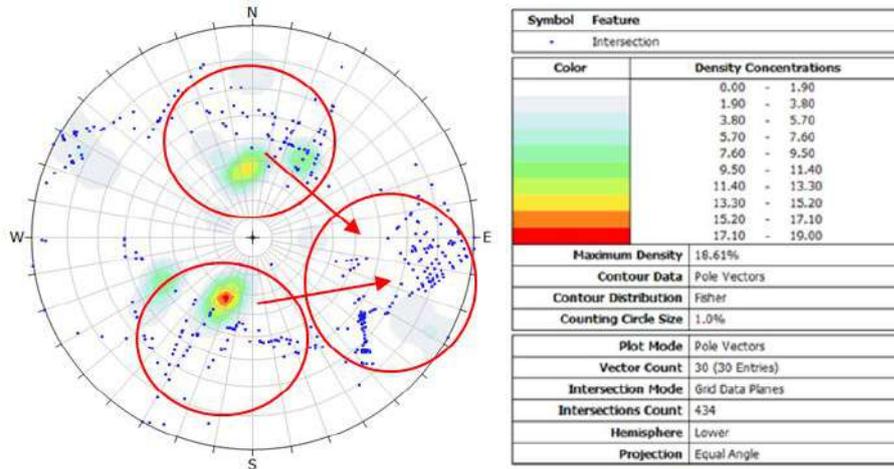
Las intersecciones están distribuidas en forma irregular en toda la red estereografica, existiendo dos nubes muy notorias en el sector oeste y S10°O. en el sector Oeste esta mayor densidad genera fragmentos muy pequeños optimos para la explotación.



**Figura 47:** Se observa una gran concentración de intersecciones en el sector oeste y sur de la estación estructural.  
**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### 3.7.6. Análisis de intersección de la Estación J-006

Las intersecciones se concentran principalmente en tres puntos al Norte al oeste y al Sur de esta estación estructural.

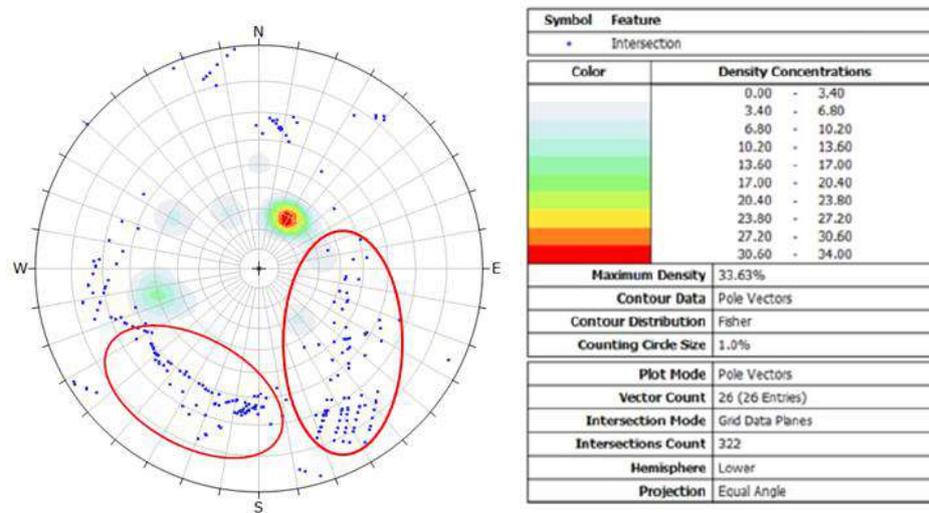


**Figura 48:** Se observa tres nubes de puntos, uno en el sector norte otro al sector N80°E y otro al sur de la estación estructural

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### 3.7.7. Análisis de intersección de la Estación J-007

En esta estación la concentración de intersecciones se ubican al lado sur de esta estación estructural.



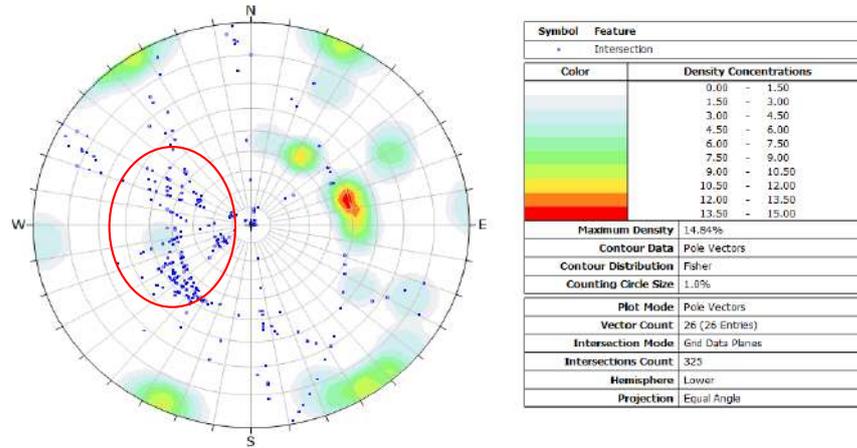
**Figura 49:** Se observa dos nubes de puntos, uno en el sector S20°E y otro S30°O.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### 3.7.8. Análisis de intersección de la Estación J-008

La concentración de puntos de intersección es muy notorio en esta estación estructural. La concentración se ubica hacia el sector

S50°O. se nota el contraste con respecto a las demás puntos de intersección.

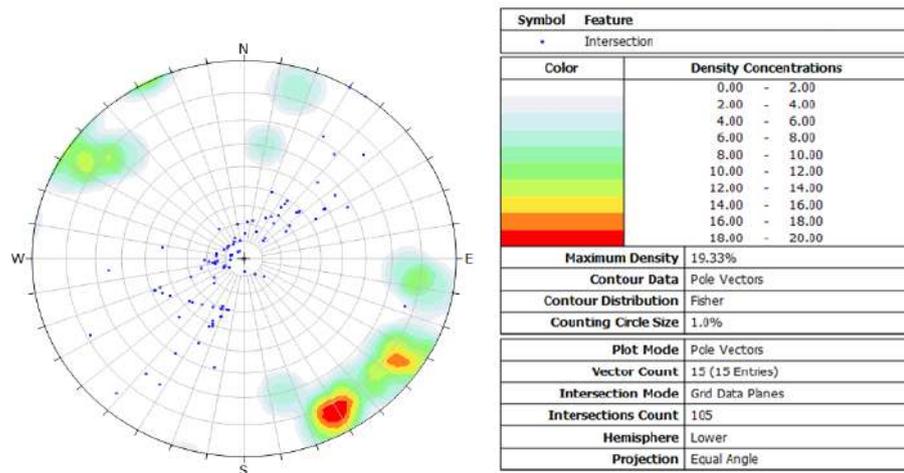


**Figura 50:** Se observa dos nubes de puntos, uno en el sector S20°E y otro S30°O.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### 3.7.9. Análisis de intersección de la Estación J-009

La concentración de los puntos de intersección se ubican al centro de la red estereográfica. El punto de concentración de los polos está ubicado al S30°E.

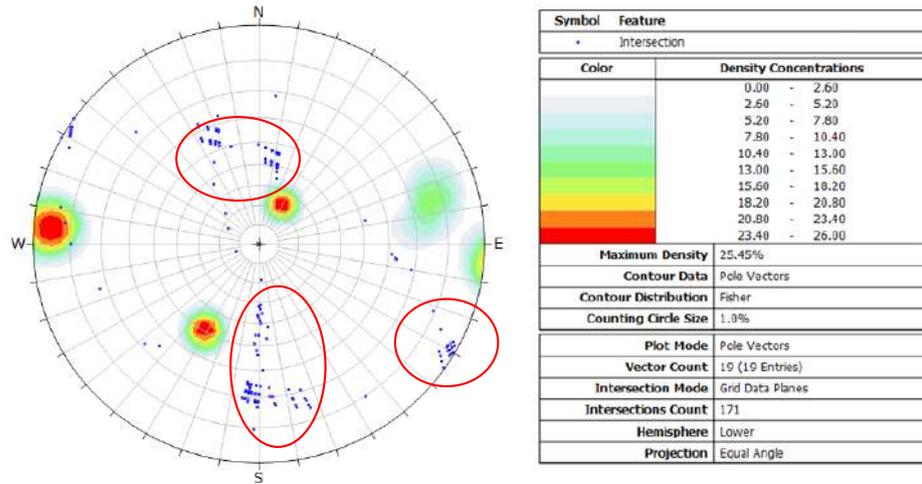


**Figura 51:** En el diagrama de intersecciones se observa una concentración de puntos al centro de la red.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

### 3.7.10. Análisis de intersección de la Estación J-010

La concentración de puntos de intersección se ubican en tres puntos principales. Al Norte, al Sur y al S50°E.



**Figura 52:** En el diagrama de intersecciones se observa tres concentraciones bien definidas de puntos.

**Fuente:** (Elaboración propia, 2017)

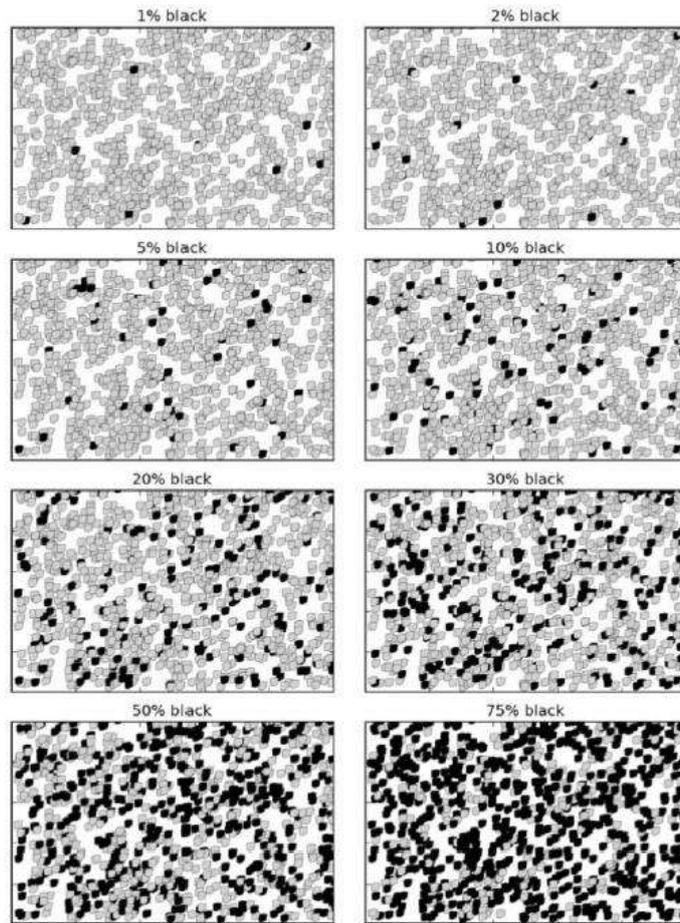
### 3.8. Análisis Petrográfico de las Areniscas

El análisis petrográfico de las rocas consiste en un estudio macroscópico, es decir, el análisis de las propiedades a simple vista o con la ayuda de una lupa.

En este trabajo de investigación se realizaron el estudio petrográfico de 10 muestras de areniscas obtenidas de las estaciones estructurales ubicadas dentro de la zona de estudio. Estos estudios consistieron en determinar las características macroscópicas como color, dureza, grado de alteración, composición mineralógica etc. Para este propósito se confeccionó una tabla en donde se muestran los resultados de dichos análisis con sus fotos respectiva:

### **3.8.1. Determinación del porcentaje de los componentes mineralógicos de las areniscas:**

1. Dentro de la “muestra de mano” fresca se determina en forma aleatoria una superficie pequeña (5cm x 5cm) la cual se marca con un plumón de punta fina.
2. Luego se procede a comparar con tablas definidas propuestas por el Instituto de Geociencias de Australia, que muestra a continuación



**Figura 53:** Estimación macroscópica de porcentaje de minerales en rocas (Instituto de Geociencias de Australia, 2015)

De esta manera se ha determinado los porcentajes de los minerales presentes en las muestras de las areniscas. A continuación, se presentan los cuadros 1,2,3,4,5,6,7,8,9 y 10 donde se representan los análisis macroscópicos de las muestras:



**Figura 54:** Toma de muestras en campo para el análisis petrográfico.

**Tabla 11:** Análisis petrográfico de la muestra J-001.

<b>ASPECTOS GENERALES</b>	
<b>Color en superficie intemperizada</b>	Gris rojiza
<b>Color en superficie fresca</b>	Gris blanquecina
<b>Dureza</b>	Alta
<b>TEXTURA</b>	
<b>Arreglo de los granos</b>	Regular selección
<b>Tamaño de los granos</b>	0.25- 0.27 mm
<b>Forma de los granos</b>	Subredondeados
<b>Relaciones mutuas de los granos</b>	Textura fina
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (GRANOS)</b>	
<b>Cuarzo</b>	85.5%
<b>Plagioclasa</b>	4.5%
<b>Feldespatos</b>	1.3%
<b>Arcillas</b>	8.4%
<b>Otros</b>	0.7%
<b>GRADO DE ALTERACIÓN:</b> Muy fragmentado producto de la acción de la intersección de las fracturas	
<b>NOMBRE DE LA ROCA:</b> Arenisca cuarzosa de grano fino	

**FOTOGRAFIA:**



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 12:** Análisis petrográfico de la muestra J-002.

<b>ASPECTOS GENERALES</b>	
Color en superficie intemperizada	Gris anaranjada
Color en superficie fresca	Gris blanquecina
Dureza	Alta
<b>TEXTURA</b>	
Arreglo de los granos	Buena selección
Tamaño de los granos	0.26- 0.39mm
Forma de los granos	Subredondeados
Relaciones mutuas de los granos	Textura media a fina
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (GRANOS)</b>	
Cuarzo	80.9%
Plagioclasa	3.8%
Feldespatos	2.3%
Arcillas	9.1%
Otros	0.7%
<b>GRADO DE ALTERACIÓN:</b> Muy fragmentado producto de la acción de la intersección de las fracturas. Presenta coloración rojiza superficial	
<b>NOMBRE DE LA ROCA:</b> Arenisca cuarzosa de grano medio a fino	
<b>FOTOGRAFIA:</b>	



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 13:** Análisis petrográfico de la muestra J-003.

<b>ASPECTOS GENERALES</b>	
<b>Color en superficie intemperizada</b>	Gris amarillenta
<b>Color en superficie fresca</b>	Gris amarillenta
<b>Dureza</b>	Alta
<b>TEXTURA</b>	
<b>Arreglo de los granos</b>	Buena selección
<b>Tamaño de los granos</b>	0.28- 0.32mm
<b>Forma de los granos</b>	Subredondeados
<b>Relaciones mutuas de los granos</b>	Textura media
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (GRANOS)</b>	
<b>Cuarzo</b>	88.5%
<b>Plagioclasa</b>	4.6%
<b>Feldespatos</b>	1.9%
<b>Arcillas</b>	8.9%
<b>Otros</b>	0.4%
<b>GRADO DE ALTERACIÓN:</b> Muy fragmentado producto de la acción de la intersección de las fracturas.	
<b>NOMBRE DE LA ROCA:</b> Arenisca cuarzosa con cemento silíceo de grano fino	

**FOTOGRAFIA:**



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 14:** Análisis petrográfico de la muestra J-004.

<b>ASPECTOS GENERALES</b>	
<b>Color en superficie intemperizada</b>	Gris amarillenta
<b>Color en superficie fresca</b>	Gris blanquecina
<b>Dureza</b>	Alta
<b>TEXTURA</b>	
<b>Arreglo de los granos</b>	Buena selección
<b>Tamaño de los granos</b>	0.25- 0.125 mm
<b>Forma de los granos</b>	Subredondeados
<b>Relaciones mutuas de los granos</b>	Textura muy fina
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (GRANOS)</b>	
<b>Cuarzo</b>	80.5%
<b>Plagioclasa</b>	8.5%
<b>Feldespatos</b>	1.5%
<b>Arcillas</b>	9.4%
<b>Otros</b>	0.7%
<b>GRADO DE ALTERACIÓN:</b> Se encuentran alteradas por acción de fracturamiento de las rocas	
<b>NOMBRE DE LA ROCA:</b> Arenisca cuarzosa de grano fino	
<b>FOTOGRAFIA</b>	



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 15:** Análisis petrográfico de la muestra J-005.

<b>ASPECTOS GENERALES</b>	
Color en superficie intemperizada	Gris anaranjada
Color en superficie fresca	Gris blanquecina
Dureza	Alta
<b>TEXTURA</b>	
Arreglo de los granos	Regular selección
Tamaño de los granos	0.80 a 1.00mm
Forma de los granos	Subredondeados
Relaciones mutuas de los granos	Textura gruesa
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (GRANOS)</b>	
Cuarzo	93.5%
Plagioclasa	4.6%
Feldespatos	1.8%
Arcillas	2.5%
Otros	0.3%
<b>GRADO DE ALTERACIÓN:</b> Muy resistente a la erosión, presenta una pátina de color gris rojiza.	
<b>NOMBRE DE LA ROCA:</b> Arenisca cuarzosa con cemento silíceo de grano fino	
<b>FOTOGRAFIA</b>	



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 16:** Análisis petrográfico de la muestra J-006.

<b>ASPECTOS GENERALES</b>	
Color en superficie intemperizada	Gris anaranjada
Color en superficie fresca	Gris blanquecina
Dureza	Alta
<b>TEXTURA</b>	
Arreglo de los granos	Regular selección
Tamaño de los granos	0.80 a 1.00mm
Forma de los granos	Subredondeados
Relaciones mutuas de los granos	Textura gruesa
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (GRANOS)</b>	
Cuarzo	93.5%
Plagioclasa	4.6%
Feldespatos	1.8%
Arcillas	2.5%
Otros	0.3%
<b>GRADO DE ALTERACIÓN:</b> Muy resistente a la erosión, presenta una pátina de color gris rojiza.	
<b>NOMBRE DE LA ROCA:</b> Arenisca cuarzosa von cemento silíceo de grano fino	
<b>FOTOGRAFÍA</b>	



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 17:** Análisis petrográfico de la muestra J-007.

<b>ASPECTOS GENERALES</b>	
<b>Color en superficie intemperizada</b>	Gris anaranjada a gris marrón
<b>Color en superficie fresca</b>	Gris blanquecina a gris amarillenta
<b>Dureza</b>	Dureza alta 7 (Escala de Mohs)
<b>TEXTURA</b>	
<b>Arreglo de los granos</b>	Buena selección
<b>Tamaño de los granos</b>	0.21- 0.28 mm
<b>Forma de los granos</b>	Subredondeados
<b>Relaciones mutuas de los granos</b>	Textura fina
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (GRANOS)</b>	
<b>Cuarzo</b>	83.5%
<b>Plagioclasa</b>	4.8%
<b>Feldespatos</b>	1.8%
<b>Arcillas</b>	8.4%
<b>Otros</b>	0.7%
<b>GRADO DE ALTERACIÓN: Muy resistente a la meteorización química</b>	
<b>NOMBRE DE LA ROCA: Arenisca cuarzosa de grano medio</b>	
<b>FOTOGRAFÍA</b>	



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 18:** Análisis petrográfico de la muestra J-008.

<b>ASPECTOS GENERALES</b>	
<b>Color en superficie intemperizada</b>	Gris anaranjada
<b>Color en superficie fresca</b>	Gris amarillenta
<b>Dureza</b>	Alta 7 (escala de Mohs)
<b>TEXTURA</b>	
<b>Arreglo de los granos</b>	Regular selección
<b>Tamaño de los granos</b>	0.125- 0.06125mm
<b>Forma de los granos</b>	Redondeados
<b>Relaciones mutuas de los granos</b>	Textura muy fina
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (GRANOS)</b>	
<b>Cuarzo</b>	89.5%
<b>Plagioclasa</b>	3.5%
<b>Feldespatos</b>	1.3%
<b>Arcillas</b>	5.4%
<b>Otros</b>	0.7%
<b>GRADO DE ALTERACIÓN: Muy fragmentado producto de la acción de la intersección de las fracturas</b>	
<b>NOMBRE DE LA ROCA: Arenisca cuarzosa de grano muy fino</b>	
<b>FOTOGRAFIA</b>	



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 15:** Análisis petrográfico de la muestra J-009.

<b>ASPECTOS GENERALES</b>	
<b>Color en superficie intemperizada</b>	Gris rojiza
<b>Color en superficie fresca</b>	Gris blanquecina
<b>Dureza</b>	Dureza alta 7 (escala de Mohs)
<b>TEXTURA</b>	
<b>Arreglo de los granos</b>	Regular selección
<b>Tamaño de los granos</b>	0.125mm
<b>Forma de los granos</b>	Redondeados
<b>Relaciones mutuas de los granos</b>	Textura fina
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (GRANOS)</b>	
<b>Cuarzo</b>	86.5%
<b>Plagioclasa</b>	4.7%
<b>Feldespatos</b>	1.5%
<b>Arcillas</b>	8.4%
<b>Otros</b>	0.6%
<b>GRADO DE ALTERACIÓN:</b> Muy fragmentado producto de la acción de la intersección de las fracturas	
<b>NOMBRE DE LA ROCA:</b> Arenisca cuarzosa de grano fino	
<b>FOTOGRAFÍA</b>	



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 6:** Análisis petrográfico de la muestra J-010.

<b>ASPECTOS GENERALES</b>	
Color en superficie intemperizada	Gris anaranjada
Color en superficie fresca	Gris blanquecina
Dureza	Dureza alta 7 (escala de Mohs)
<b>TEXTURA</b>	
Arreglo de los granos	Regular selección
Tamaño de los granos	0.120- 0.124mm
Forma de los granos	Subredondeados
Relaciones mutuas de los granos	Textura muy fina
<b>COMPOSICIÓN MINERALÓGICA (GRANOS)</b>	
Cuarzo	83.5%
Plagioclasa	4.3%
Feldespatos	1.7%
Arcillas	8.5%
Otros	0.4%
<b>GRADO DE ALTERACIÓN:</b> Consistencia muy dura.	
<b>NOMBRE DE LA ROCA:</b> Arenisca cuarzosa de grano fino	

**FOTOGRAFÍA**



**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

### **3.8.2. Resultado de los análisis efectuados**

Las muestras de areniscas analizadas son en su totalidad areniscas cuarzosas de grano fino a medio, de coloración gris blanquecinas, dureza alta por la presencia del cemento silíceo que poseen como cemento. Estas rocas son mineralógica y texturalmente maduras por el gran contenido de cuarzo, el alto grado de redondeamiento que poseen.

Las muestras poseen 83.5% a 93.5% de cuarzo, 3.5- 8.5% de plagioclasas, 1.3- 1.8% de feldespato y un 2.5- 8.4 % de arcillas. Las variaciones en los porcentajes de arcillas hacen variar la coloración de las muestras. Por ejemplo, areniscas de coloración gris anaranjadas a gris amarillentas son debido a la presencia de óxido de hierro (limonita). Areniscas con coloración gris rojiza es por la presencia de óxido de hierro (hematita). Las areniscas de coloraciones blanquecinas poseen muy poca cantidad de óxidos de hierro.

### **3.9. Estimación de Reservas**

Un aspecto importante para realizar la estimación de reservas es la ubicación de las zonas favorables. Estas zonas favorables son las que poseen un alto grado de fracturamiento, con intersecciones bien densificados, presencias de areniscas con alto contenido de cuarzo. Luego de haber determinado las zonas favorables, mediante el análisis petrográfico y estructural descrito en páginas anteriores, se procedió a la estimación de las reservas.

Para la estimación de las reservas se ha utilizado el método de las cuadrículas que consiste en dividir el área favorable en prismas regulares y por la diferencia de las cotas se obtiene el valor de la altura de cada prisma.

Por los controles de campo el área favorable para la explotación de materiales de construcción posee un promedio máximo de altura de 10

metros. Se asume un peso específico de la arenisca de  $2.6 \text{ TN/m}^3$ . El área se calculó teniendo en cuenta solamente el área favorable determinada por el análisis estructural y petrográfico.

### 3.9.1. Elección del método de explotación para la zona de estudio

En el área de estudio afloran rocas areniscosas de la formación Chimú de composición esencialmente areniscosas tal como se puede observar en el análisis petrográfico adjunto. Las rocas están intensamente fracturadas y son deleznales en todo el afloramiento analizado. Los fracturamientos profundizan hasta 20 metros aproximadamente por lo que el trituramiento de las rocas disminuye a profundidad. Estas condiciones mostradas por las rocas en campo hicieron que se opte por una explotación superficial o a cielo abierto mediante bancos y aplicando el método de las cuadrículas (polígonos).

### 3.9.2. Estimación de Reservas Para La Zona De Paccha Grande

Una vez determinado las áreas a explotar, y con el uso de herramientas con el GPS y el software Arc GIS se ha obtenido los siguientes datos para el cálculo y la estimación de reservas:

Se trabajó con 12 polígonos y se utilizó el valor del peso específico de  $2.55 \text{ TN/m}^3$  (arenisca, según tabla de Rock Data).

- COTA DE CORTE: 2770.00 m.s.n.m.
- COTA MÁXIMA: 2786 m.s.n.m.

$$\text{ALTURA DE POLÍGONO} = \text{COTA DE CORTE} - \text{COTA MÁXIMA}$$

$$\text{AALTURA DE POLÍGONO} = 2770 \text{ m} - 2786 = 16 \text{ m}$$

- ÁREA SUPERFICIAL:  $160000.00 \text{ m}^2$
- ALTURA PROMEDIO DE CUATERNARIO: 1.00 m
- PESO ESPECÍFICO DE LA ROCA:  $2.55 \text{ TN/m}^3$

**VOLUMEN TOTAL INICIAL = ALTURA DEL POLÍGNO x ÁREA SUPERFICIAL**

$$\text{VOLUMEN TOTAL INICIAL} = 16 \text{ m} \times 160000.00 \text{ m}^2 = \mathbf{2560000.00 \text{ m}^3}$$

**VOLUMEN DEL CUATERNARIO = ALTURA PROMEDIO DEL CUATERNARIO x ÁREA SUPERFICIAL**

$$\text{VOLUMEN DEL CUATERNARIO} = 1.00 \text{ m} \times 160000.00 \text{ m}^2 = \mathbf{160000.00 \text{ m}^3}$$

**VOLUMEN CORREGIDO = VOLUMEN TOTAL INICIAL - VOLUMEN DEL CUATERNARIO**

$$\text{VOLUMEN CORREGIDO} = 2560000.00 \text{ m}^3 - 160000.00 \text{ m}^3 = \mathbf{2400000.00 \text{ m}^3}$$

**RESERVAS INSITU = VOLUMEN CORREGIDO x PESO ESPECÍFICO DE LA ROCA**

$$\text{RESERVAS INSITU} = 2400000.00 \text{ m}^3 \times 2.55 \text{ TN/m}^3 = \mathbf{6120000.00 \text{ TN-m}}$$

**CASTIGO DE RESERVAS POR ARRANQUE (15%) = RESERVAS INSITU - RESERVAS INSITU x 15 %**

$$\text{CASTIGO DE RESERVAS POR ARRANQUE (15\%)} = 6120000.00 \text{ TN-m} - 6120000.00 \text{ TN-m} \times 15 \% = 6120000.00 \text{ TN-m} - 918000.00 \text{ TN-m} = \mathbf{5202000.00 \text{ TN-m}}$$

**CASTIGO DE RESERVAS POR DILUCIÓN (8%) = CASTIGO DE RESERVAS POR ARRANQUE - CASTIGO DE RESERVAS POR ARRANQUE x 8 %**

$$\text{CASTIGO DE RESERVAS POR DILUCIÓN (8\%)} = 5202000.00 \text{ TN-m} - 5202000.00 \text{ TN-m} \times 8 \% = 5202000.00 \text{ TN-m} - 416160.00 \text{ TN-m} = \mathbf{4785840.00 \text{ TN-m}}$$

### 3.9.3. Estimación de Reservas por Áreas Parciales para La Paccha Grande

Para la estimación de las reservas por sectores como lo muestra el plano 7 adjunto en la presente tesis, se ha tenido por conveniente calcular las áreas parciales y sus alturas promedios para determinar así el volumen, posteriormente se le ha multiplicado por el peso específico del material para obtener las reservas parciales en TN-m.

**Donde:**

**Ar. P** = Nombre del área parcial inicial.

**Ar. P (m<sup>2</sup>)** = Área parcial inicial.

**H PROM.** = Altura promedio para cada área parcial.

**V. P (m<sup>3</sup>)** = Volumen inicial para cada Ar. P.

**V. Q (m<sup>3</sup>)** = Volumen de cuaternario para cada Ar. P.

**V. CORR. (m<sup>3</sup>)** = Volumen corregido por cuaternario.

**R. IS (TN-m)** = Reserva minerales insitu.

**C. ARR (15%)** = Reservas minerales castigadas por concepto de arranque.

**C. DIL (8%)** = Reservas castigadas por concepto de dilución.

**Tabla 4:** Cálculos de las reservas parciales explotable de la zona Paccha Grande.

Ar. P	Ar. P (m2)	H PROM.	V. P (m3)	V. Q (m3)	V. CORR. (m3)	R. IS (TN-m)	C. ARR (15%)	C. DIL (8%)
S1	1600.00	15.54	24864.00	1600.00	23264.00	59323.20	50424.72	46390.7424
S2	4800.00	14.31	68688.00	4800.00	63888.00	162914.40	138477.24	127399.0608
S3	9600.00	13.89	133344.00	9600.00	123744.00	315547.20	268215.12	246757.9104
S4	11200.00	16.11	180432.00	11200.00	169232.00	431541.60	366810.36	337465.5312
S5	14720.00	15.29	225068.80	14720.00	210348.80	536389.44	455931.02	419456.5421
S6	15680.00	14.40	225792.00	15680.00	210112.00	535785.60	455417.76	418984.3392
S7	17920.00	16.11	288691.20	17920.00	270771.20	690466.56	586896.58	539944.8499
S8	12800.00	16.67	213376.00	12800.00	200576.00	511468.80	434748.48	399968.6016
S9	17920.00	16.60	297472.00	17920.00	279552.00	712857.60	605928.96	557454.6432
S10	17920.00	17.00	304640.00	17920.00	286720.00	731136.00	621465.60	571748.352
S11	17920.00	17.00	304640.00	17920.00	286720.00	731136.00	621465.60	571748.352
S12	17920.00	16.35	292992.00	17920.00	275072.00	701433.60	596218.56	548521.0752
TOTAL	160000.00	189.27	2560000.00	160000.00	2400000.00	6120000.00	5202000.00	4785840.00

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 22:** Cálculos de las reservas explotables del terreno favorable determinado después del análisis estructural y petrográfico.

<b>ESTIMACION DE RESERVAS PACCHA GRANDE</b>		
<b>DATOS DEL TERRENO</b>		
COTA DE CORTE (BASE) [m]		2770.00
COTA MÁXIMA [m]		2786.00
DIFERENCIA DE COTAS [m]		16.00
ÁREA SUPERFICIAL [m <sup>2</sup> ]		160000.00
ALTURA PROMEDIO DEL MATERIAL CUATERNARIO [m]		1.00
PESO ESPECÍFICO DE LA ROCA [TN/m <sup>3</sup> ]		2.55
<b>CÁLCULOS EFECTUADOS</b>		
VOLUMEN TOTAL INICIAL [m <sup>3</sup> ]		2560000.00
VOLUMEN DEL CUATERNARIO [m <sup>3</sup> ]		160000.00
VOLUMEN CORREGIDO [m <sup>3</sup> ]		2400000.00
RESERVAS INSITU [TN-m]		6120000.00
<b>CASTIGO DE RESERVAS</b>		
CRITERIO	PORCENTAJE	DESCUENTO [TN/m]
RECUPERACIÓN INICIAL [ARRANQUE]	15%	918000.00
DILUCION	8%	416160.00
<b>RESERVAS MINERALES [TN-m]</b>		<b>4785840.00</b>

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

**Tabla 23:** Cálculos de las utilidades en una supuesta explotación de materiales de construcción de acuerdo al análisis estructural y petrográfico en la zona de La Paccha Grande.

<b>ESTIMACIÓN DE RESERVAS LA PACCHA GRANDE</b>				
TONELAJE (TN/m)	PRODUCCIÓN DIARIA (TN-m)	PRECIO VENTA x TN-m	VIDA UTIL	GANANCIA DIARIO (Soles)
<b>4785840.00</b>	2000.00	10.00	6.56	20000.00
	3000.00		4.37	30000.00
	4000.00		3.28	40000.00

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

### 3.9.4. Estimación De Reservas Para La Zona De Shudal

Los datos se obtuvieron de la misma forma que para la zona de la Paccha Grande.

- COTA DE CORTE: 2770.00 m.s.n.m.
- COTA MÁXIMA: 2786 m.s.n.m.

$$\text{ALTURA DE POLÍGONO} = \text{COTA DE CORTE} - \text{COTA MÁXIMA}$$

$$\text{AALTURA DE POLÍGONO} = 2770 \text{ m} - 2786 = \mathbf{16 \text{ m}}$$

- ÁREA SUPERFICIAL: 220000.00 m<sup>2</sup>
- ALTURA PROMEDIO DE CUATERNARIO: 1.50 m
- PESO ESPECÍFICO DE LA ROCA: 2.55 TN/m<sup>3</sup>

$$\text{VOLUMEN TOTAL INICIAL} = \text{ALTURA DEL POLÍGONO} \times \text{ÁREA SUPERFICIAL}$$

$$\text{VOVOLUMEN TOTAL INICIAL} = 16 \text{ m} \times 220000.00 \text{ m}^2 = \mathbf{3520000.00 \text{ m}^3}$$

$$\text{VOLUMEN DEL CUATERNARIO} = \text{ALTURA PROMEDIO DEL CUATERNARIO} \times \text{ÁREA SUPERFICIAL}$$

$$\text{VVOLUMEN DEL CUATERNARIO} = 1.50 \text{ m} \times 160000.00 \text{ m}^2 = \mathbf{330000.00 \text{ m}^3}$$

$$\text{VOLUMEN CORREGIDO} = \text{VOLUMEN TOTAL INICIAL} - \text{VOLUMEN DEL CUATERNARIO}$$

$$\text{VVOLUMEN CORREGIDO} = 3520000.00 \text{ m}^3 - 330000.00 \text{ m}^3 = \mathbf{3190000.00 \text{ m}^3}$$

$$\text{RESERVAS INSITU} = \text{VOLUMEN CORREGIDO} \times \text{PESO ESPECÍFICO DE LA ROCA}$$

$$\text{RESERVAS INSITU} = 3190000.00 \text{ m}^3 \times 2.55 \text{ TN/m}^3 = \mathbf{8134500.00 \text{ TN-m}}$$

**CASTIGO DE RESERVAS POR ARRANQUE (15%) = RESERVAS INSITU – RESERVAS INSITU x 15 %**

**CASTIGO DE RESERVAS POR ARRANQUE (15%) = 8134500.00**  
TN-m – 8134500.00 TN-m x 15 % = 8134500.00 TN-m – 1220175.00  
TN-m = **6914343.00 TN-m**

**CASTIGO DE RESERVAS POR DILUCIÓN (8%) = CASTIGO DE RESERVAS POR ARRANQUE – CASTIGO DE RESERVAS POR ARRANQUE x 8 %**

**CASTIGO DE RESERVAS POR DILUCIÓN (8%) = 6914343.00 TN-m**  
- 6914343.00 TN-m x 8 % = 6914343.00 TN-m – 553146.00 TN-m =  
**6361179.00 TN-m**

### **3.9.5. Estimación de Reservas por Áreas Parciales para Shudal**

Para la estimación de las reservas por sectores como lo muestra el plano 7 adjunto en la presente tesis, se ha tenido por conveniente calcular las áreas parciales y sus alturas promedios para determinar así el volumen, posteriormente se le ha multiplicado por el peso específico del material para obtener las reservas parciales en TN-m.

**Donde:**

**Ar. P** = Nombre del área parcial inicial.

**Ar. P (m<sup>2</sup>)** = Área parcial inicial.

**H PROM.** = Altura promedio para cada área parcial.

**V. P (m<sup>3</sup>)** = Volumen inicial para cada Ar. P.

**V. Q (m<sup>3</sup>)** = Volumen de cuaternario para cada Ar. P.

**V. CORR. (m<sup>3</sup>)** = Volumen corregido por cuaternario.

**R. IS (TN-m)** = Reserva minerales insitu.

**C. ARR (15%)** = Reservas minerales castigadas por concepto de arranque.

**C. DIL (8%)** = Reservas castigadas por concepto de dilución.

**Tabla 24:5** Cálculos de las reservas parciales explotable de la zona Shudal.

Ar. P	Ar. P (m2)	H PROM.	V. P (m3)	V. Q (m3)	V. CORR. (m3)	R. IS (TN-m)	C. ARR (15%)	C. DIL (8%)
S1	8580.00	15.70	134706.00	12870.00	121836.00	310681.80	264079.53	242953.1676
S2	3520.00	15.32	53908.80	5280.00	48628.80	124003.44	105402.92	96970.69008
S3	12980.00	13.89	180292.20	19470.00	160822.20	410096.61	348582.12	320695.549
S4	36300.00	16.11	584793.00	54450.00	530343.00	1352374.65	1149518.45	1057556.976
S5	37400.00	16.29	609246.00	56100.00	553146.00	1410522.30	1198943.96	1103028.439
S6	14300.00	14.40	205920.00	21450.00	184470.00	470398.50	399838.73	367851.627
S7	37400.00	16.11	602514.00	56100.00	546414.00	1393355.70	1184352.35	1089604.157
S8	37400.00	16.67	623458.00	56100.00	567358.00	1446762.90	1229748.47	1131368.588
S9	32120.00	16.35	525162.00	48180.00	476982.00	1216304.10	1033858.49	951149.8062
<b>TOTAL</b>	<b>220000.00</b>	<b>140.84</b>	<b>3520000.00</b>	<b>330000.00</b>	<b>3190000.00</b>	<b>8134500.00</b>	<b>6914325.00</b>	<b>6361179.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Tabla 25:** Cálculos de las reservas explotables del terreno favorable determinado después del análisis estructural y petrográfico.

<b>ESTIMACION DE RESERVAS SHUDAL</b>		
<b>DATOS DEL TERRENO</b>		
<b>COTA DE CORTE (BASE) [m]</b>		2770.00
<b>COTA MÁXIMA [m]</b>		2786.00
<b>DIFERENCIA DE COTAS [m]</b>		16.00
<b>ÁREA SUPERFICIAL [m2]</b>		220000.00
<b>ALTURA PROMEDIO DEL MATERIAL CUATERNARIO [m]</b>		1.50
<b>PESO ESPECÍFICO DE LA ROCA [TN/m3]</b>		2.55
<b>CÁLCULOS EFECTUADOS</b>		
<b>VOLUMEN TOTAL INICIAL [m3]</b>		3520000.00
<b>VOLUMEN DEL CUATERNARIO [m3]</b>		330000.00
<b>VOLUMEN CORREGIDO [m3]</b>		3190000.00
<b>RESERVAS INSITU [TN-m]</b>		8134500.00
<b>CASTIGO DE RESERVAS</b>		
<b>CRITERIO</b>	<b>PORCENTAJE</b>	<b>DESCUENTO [TN/m]</b>
<b>RECUPERACIÓN INICIAL [ARRANQUE]</b>	15%	1220175.00
<b>DILUCION</b>	8%	553146.00
<b>RESERVAS MINERALES [TN-m]</b>		<b>6361179.00</b>

Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Tabla 26:** Cálculos de las utilidades en una supuesta explotación de materiales de construcción de acuerdo al análisis estructural y petrográfico en la zona de Shudal.

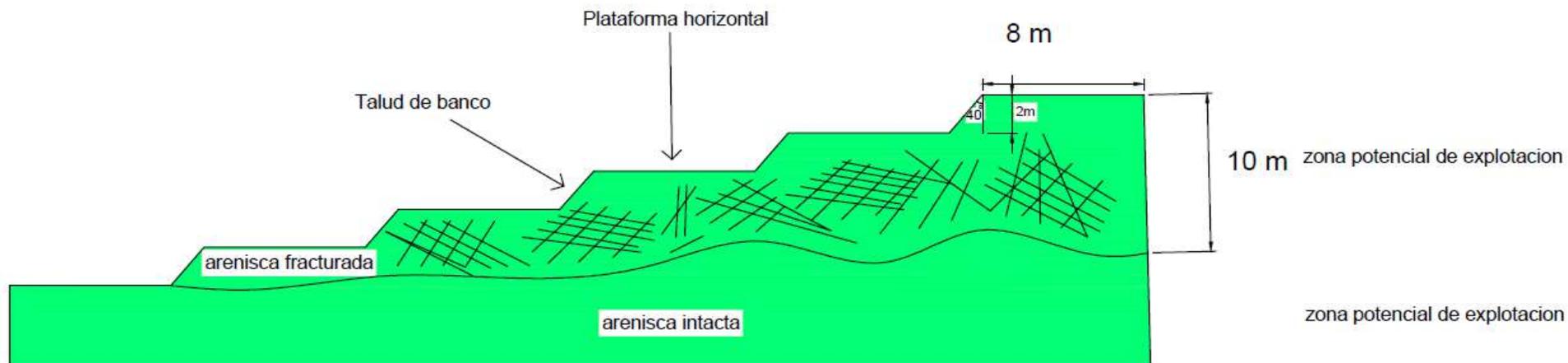
<b>UTILIDADES EN SHUDAL</b>				
<b>TONELAJE (TN/m)</b>	<b>PRODUCCIÓN DIARIA (TN-m)</b>	<b>PRECIO DE VENTA x TN-m</b>	<b>VIDA UTIL</b>	<b>BENEFICIO DIARIO (Soles)</b>
<b>6361179.00</b>	1500.00	10.00	11.62	15000.00
	2500.00		6.97	25000.00
	3000.00		5.81	30000.00

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

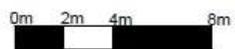
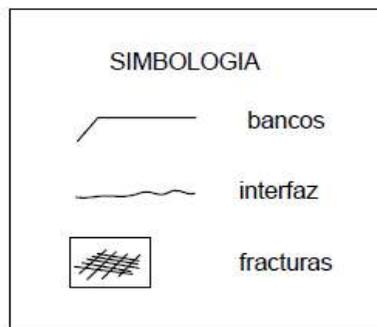
### **3.10. Estabilidad de Taludes**

En este subcapítulo se mostrará el diseño de los taludes para la explotación de las canteras Shudal y La Paccha, para lo cual se utilizó el software Slide para determinar el Factor de Seguridad el cual indica que es inestable si es que este factor es menor a 1, caso contrario es estable. Para este caso el método de análisis utilizado es el de Bishop simplificado, el cual muestra factores de seguridad conservadores, es decir, factores que están por debajo del promedio; esto se ha realizado con el objetivo de tener el menor grado de incertidumbre.

Además, para obtener las propiedades geomecánicas del macizo rocoso, se ha utilizado el software Rock Data v4. En este se ha definido dos propiedades mecánicas de los materiales para cada diseño de talud, a pesar de que tienen la misma composición litológica (areniscas), las rocas que están en la parte superior son muy deleznable, debido a la alta concentración de fracturas, en comparación con las rocas que se encuentran en la parte inferior (ver figuras 48, 52, 56), esto le proporciona diferencias en las propiedades geomecánicas en lo que respecta al ángulo de fricción y cohesión.



diseño de banco para la cantera de Shudall

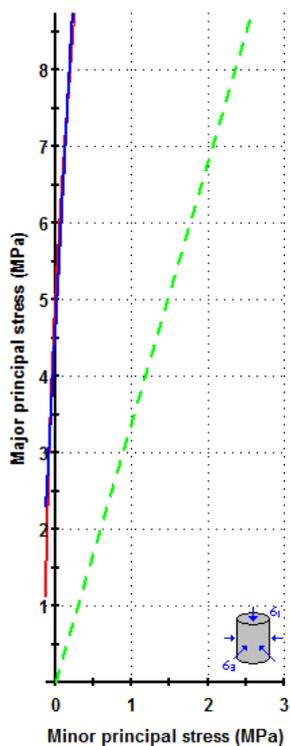


escala: 1/300

**Figura 55:** Diseño de banco de explotación para la cantera de Shudal.

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

SHUDAL



**Hoek-Brown Classification**  
 intact uniaxial comp. strength ( $\sigma_{ci}$ ) = 60 MPa  
 GSI = 55  $m_i$  = 16 Disturbance factor = 0  
 intact modulus ( $E_i$ ) = 17150 MPa

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  = 3.207  $s$  = 0.0067  $a$  = 0.504

**Mohr-Coulomb Fit**  
 cohesion = 0.518 MPa friction angle = 63.86 deg

**Rock Mass Parameters**  
 tensile strength = -0.126 MPa  
 uniaxial compressive strength = 4.826 MPa  
 global strength = 14.558 MPa  
 modulus of deformation = 7002.01 MPa

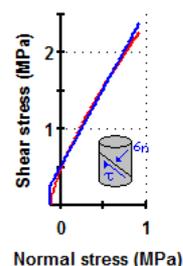


Figura 56. Propiedades geomecánicas las areniscas presentes en la zona de Shudal.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Hoek-Brown Classification**  
 $\sigma_{ci}$  60 MPa  
 GSI 55  
 $m_i$  16  
 D 0  
 $E_i$  17150

**Hoek-Brown Criterion**  
 $m_b$  3.20735  
 $s$  0.006738  
 $a$  0.504048

**Failure Envelope Range**  
 Application Slopes  
 $\sigma_{3max}$  0.264218 MPa  
 Unit Weigh 0.0255 MN/m<sup>3</sup>  
 Slope Heig 10 m

**Mohr-Coulomb Fit**  
 $c$  0.517659 MPa  
 $\phi$  63.8601 degrees

**Rock Mass Parameters**  
 $\sigma_{gt}$  -0.126047 MPa  
 $\sigma_{gc}$  4.82641 MPa  
 $\sigma_{gcm}$  14.5579 MPa  
 $E_{rm}$  7002.01 MPa

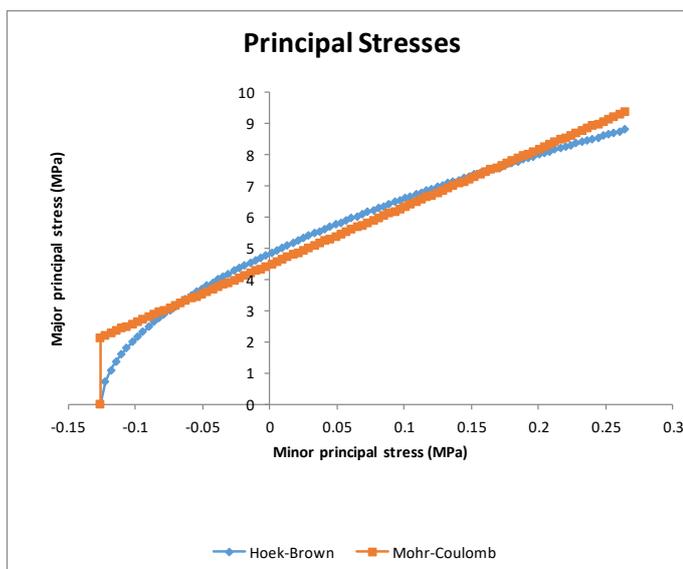
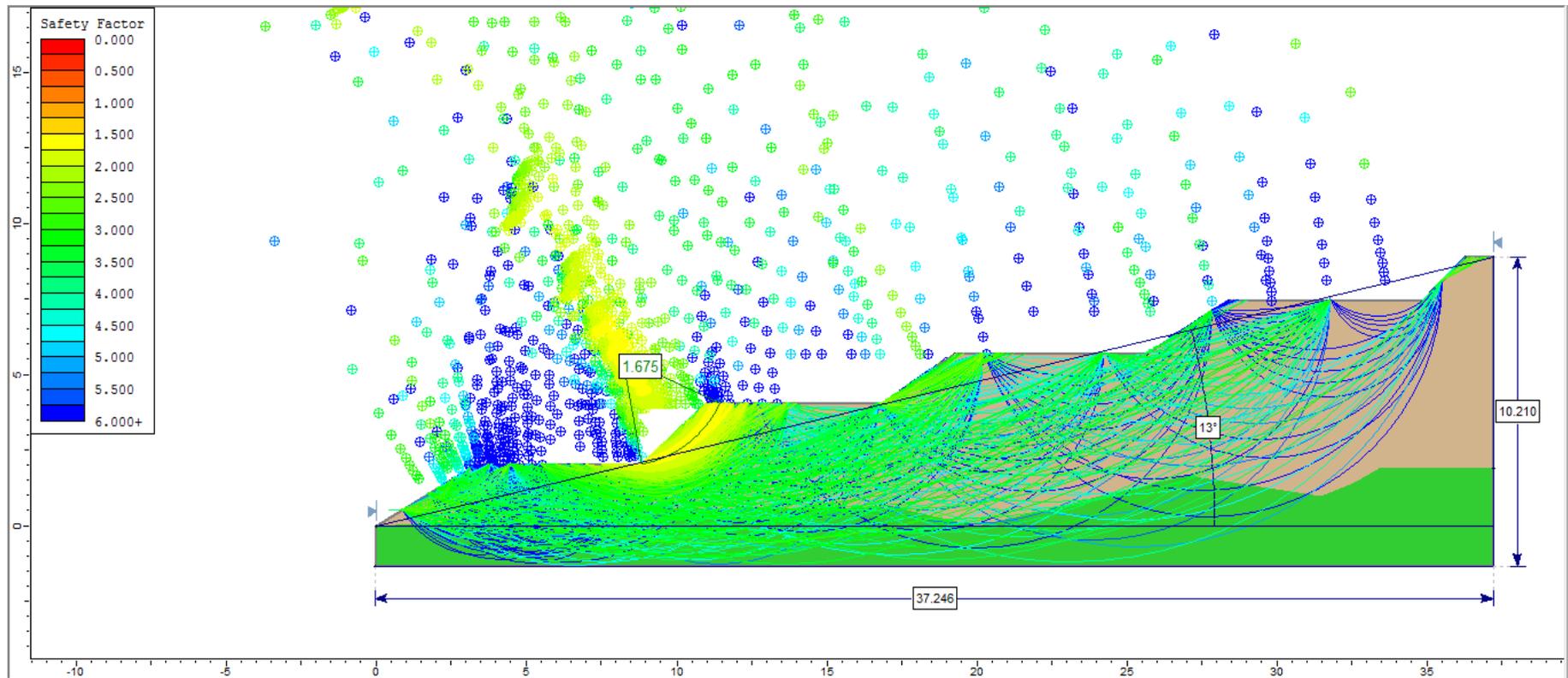


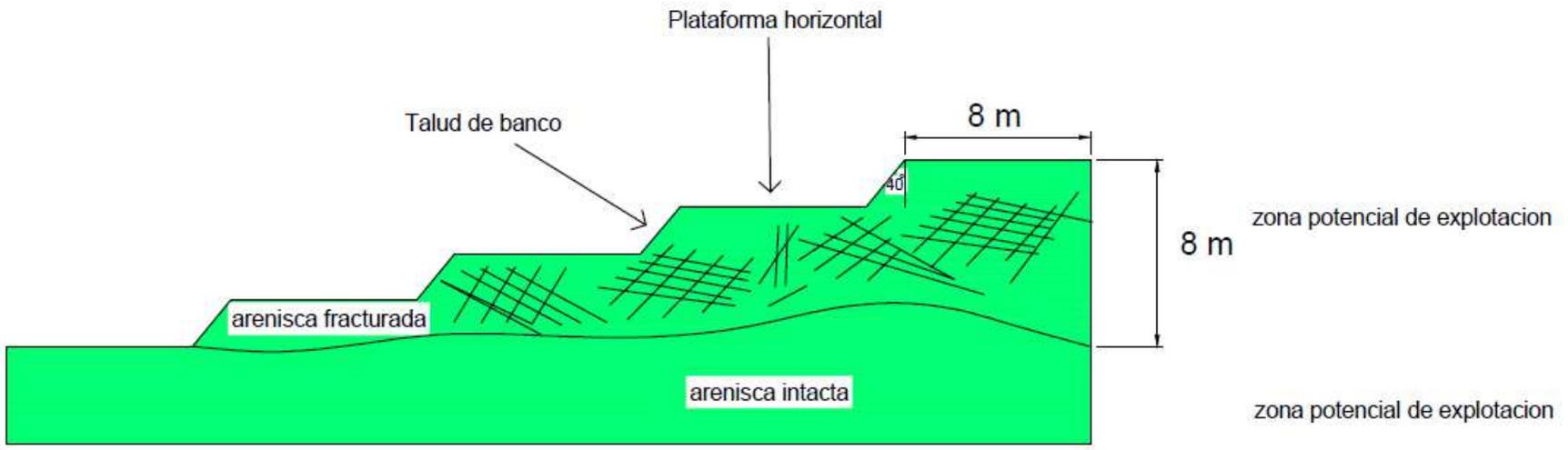
Figura 53. Parámetros Geomecánicos y Geotécnicos de los taludes de Shudal.

Fuente: Elaboración propia, 2017.

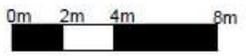
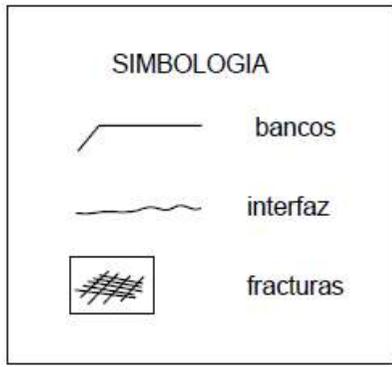


**Figura 58.** Análisis de Taludes por medio del Factor de Seguridad siendo este de 1.675 por lo cual es un talud estable con el método de Bishop Simplificado, para la zona de Shudal.

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.



diseño de banco n°1 para la cantera Paccha grande



escala: 1/300

**Figura 54:** Diseño de banco de explotación para la cantera de La Paccha 1.

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

LA PACCHA GRANDE 1

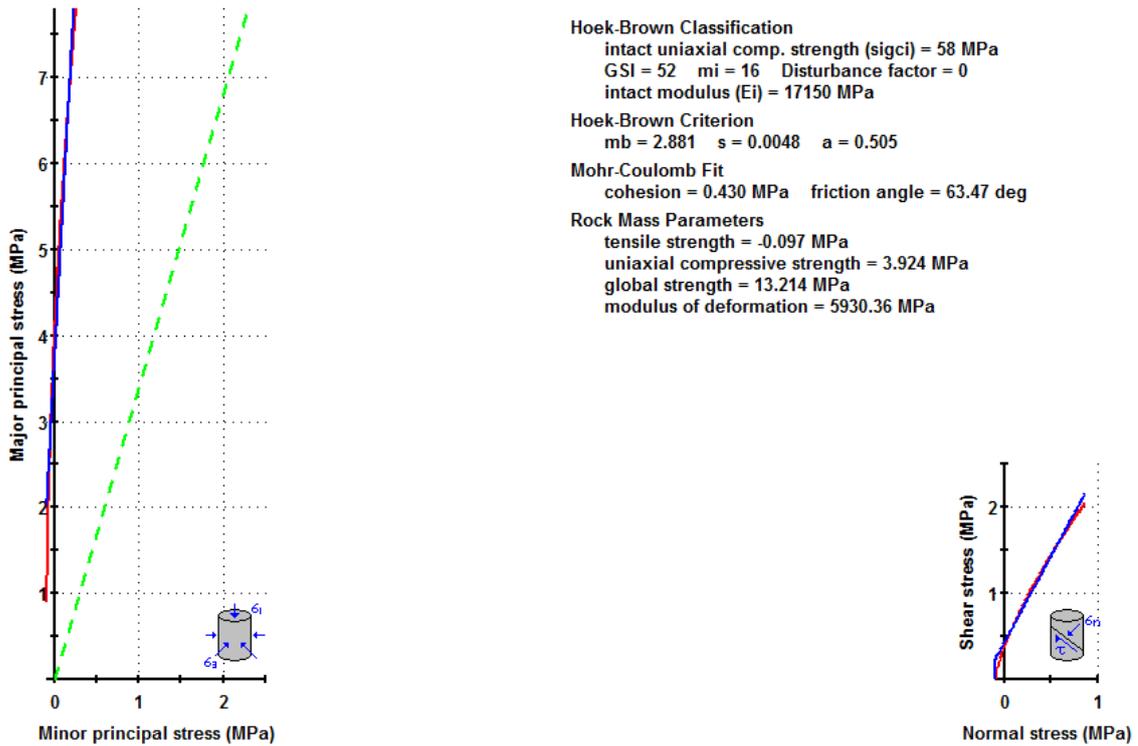


Figura 60. Propiedades geomecánicas las areniscas presentes en la zona de La Paccha Grande 1.

<b>Hoek-Brown Classification</b>	
sigci	58 MPa
GSI	52
mi	16
D	0
Ei	17150
<b>Hoek-Brown Criterion</b>	
mb	2.88148
s	0.004828
a	0.504991
<b>Failure Envelope Range</b>	
Application Slopes	
sig3max	0.261924 MPa
Unit Weigh	0.0255 MN/m <sup>3</sup>
Slope Heig	10 m
<b>Mohr-Coulomb Fit</b>	
c	0.429685 MPa
phi	63.4699 degrees
<b>Rock Mass Parameters</b>	
sigt	-0.09718 MPa
sigc	3.92417 MPa
sigcm	13.2136 MPa
Erm	5930.36 MPa

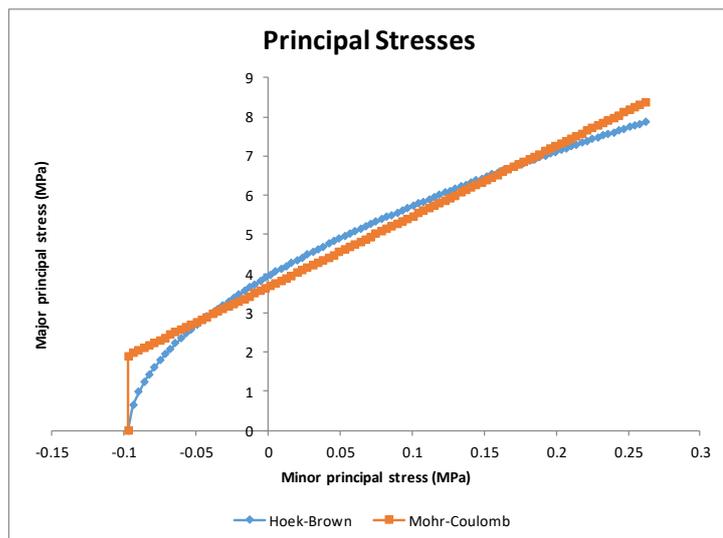
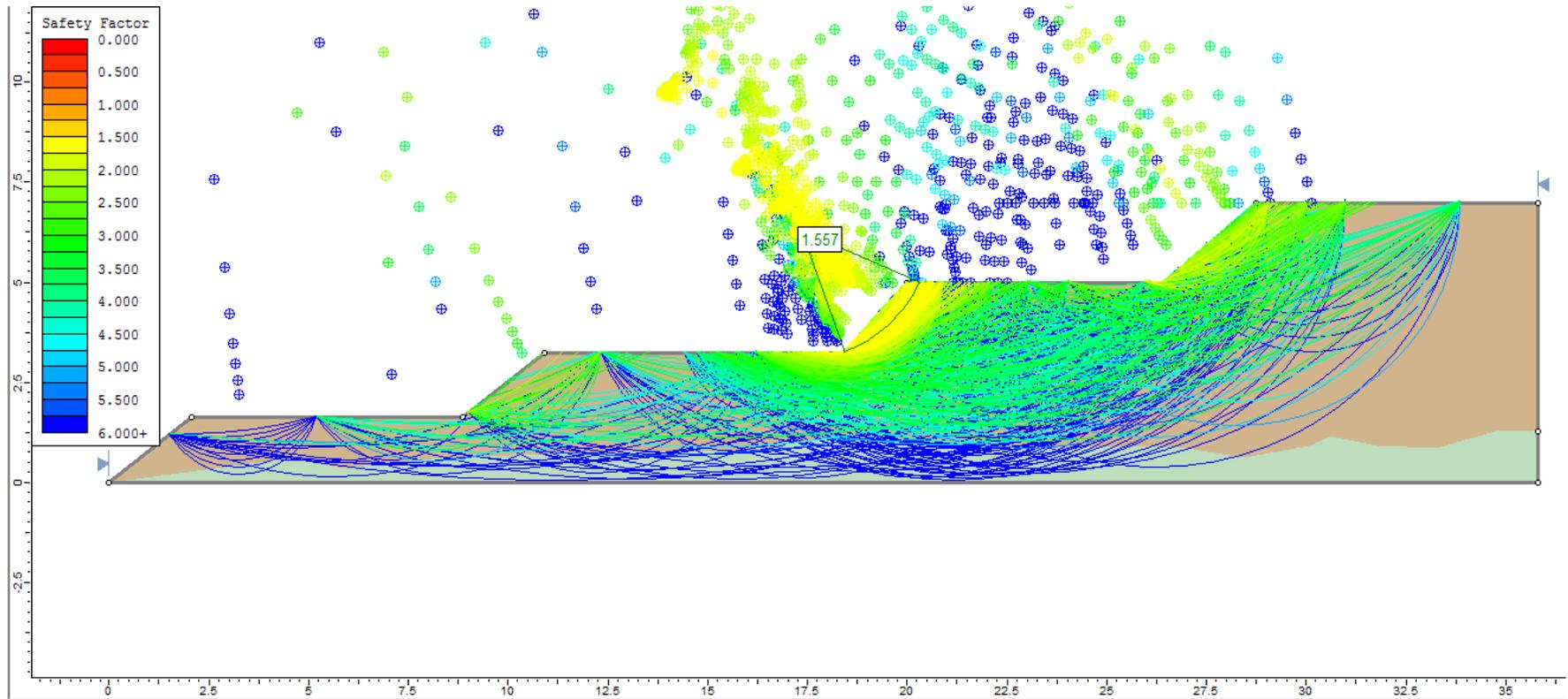


Figura 55. Parámetros Geomecánicos y Geotécnicos de los taludes de la Paccha Grande 1.

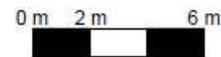
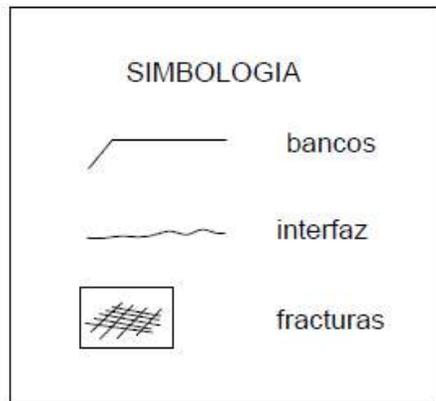
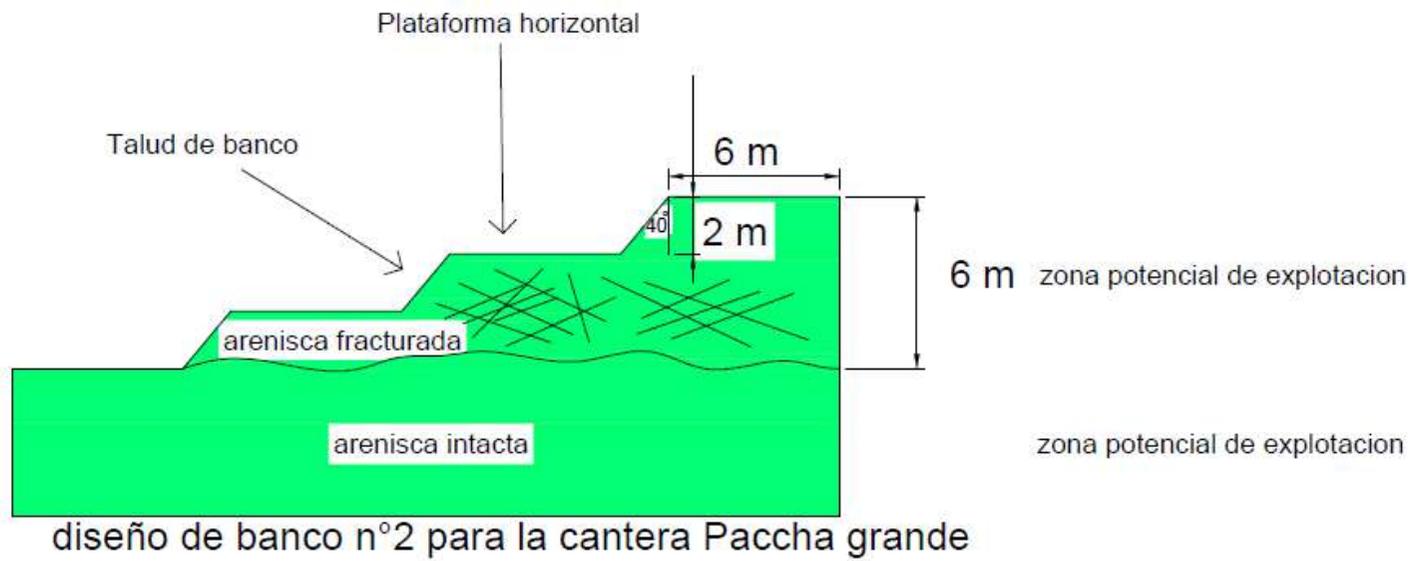
Fuente: Elaboración propia, 2017.



**Figura 62.** Análisis de Taludes por medio del Factor de Seguridad siendo este de 1.557 por lo cual es un talud estable con el método de Bishop Simplificado, para la zona de La Paccha Grande 1.

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

3

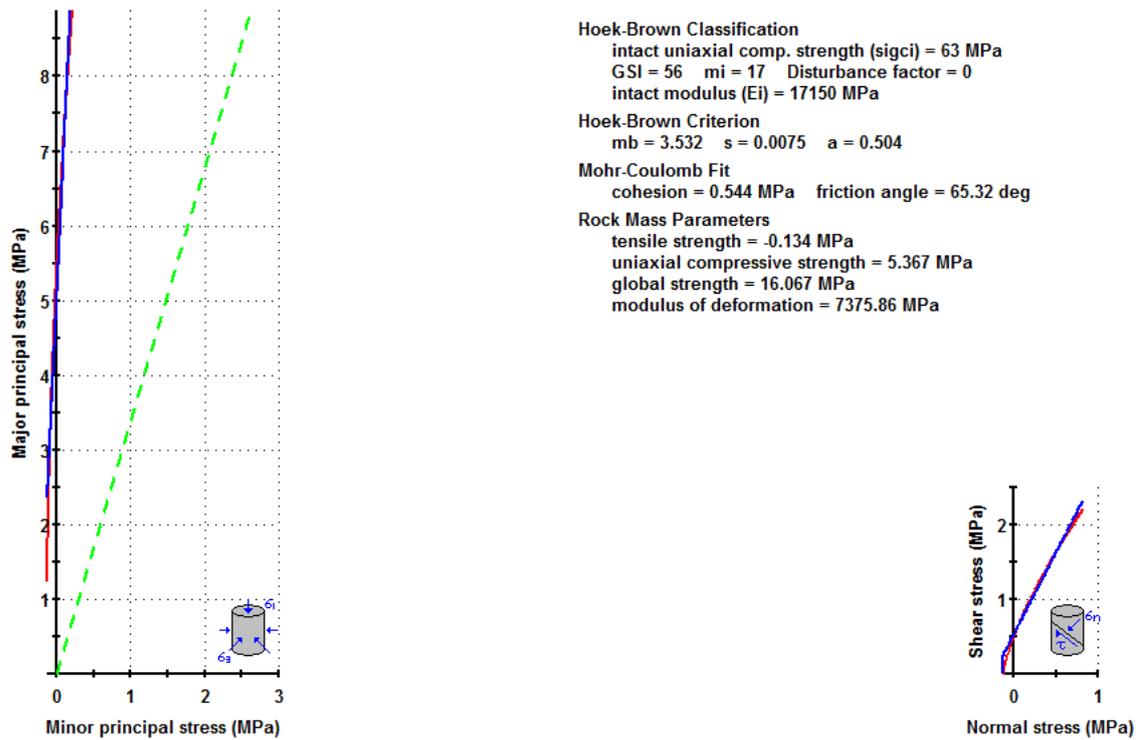


escala: 1/250

**Figura 63:** Diseño de banco de explotación de la cantera La Paccha 2.

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

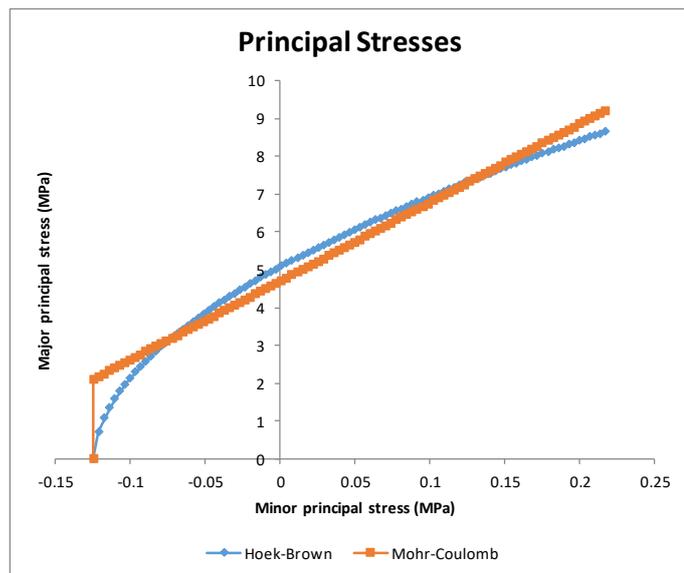
LA PACCHA GRANDE 1



**Figura 64.** Propiedades geomecánicas las areniscas presentes en la zona de La Paccha Grande 2.

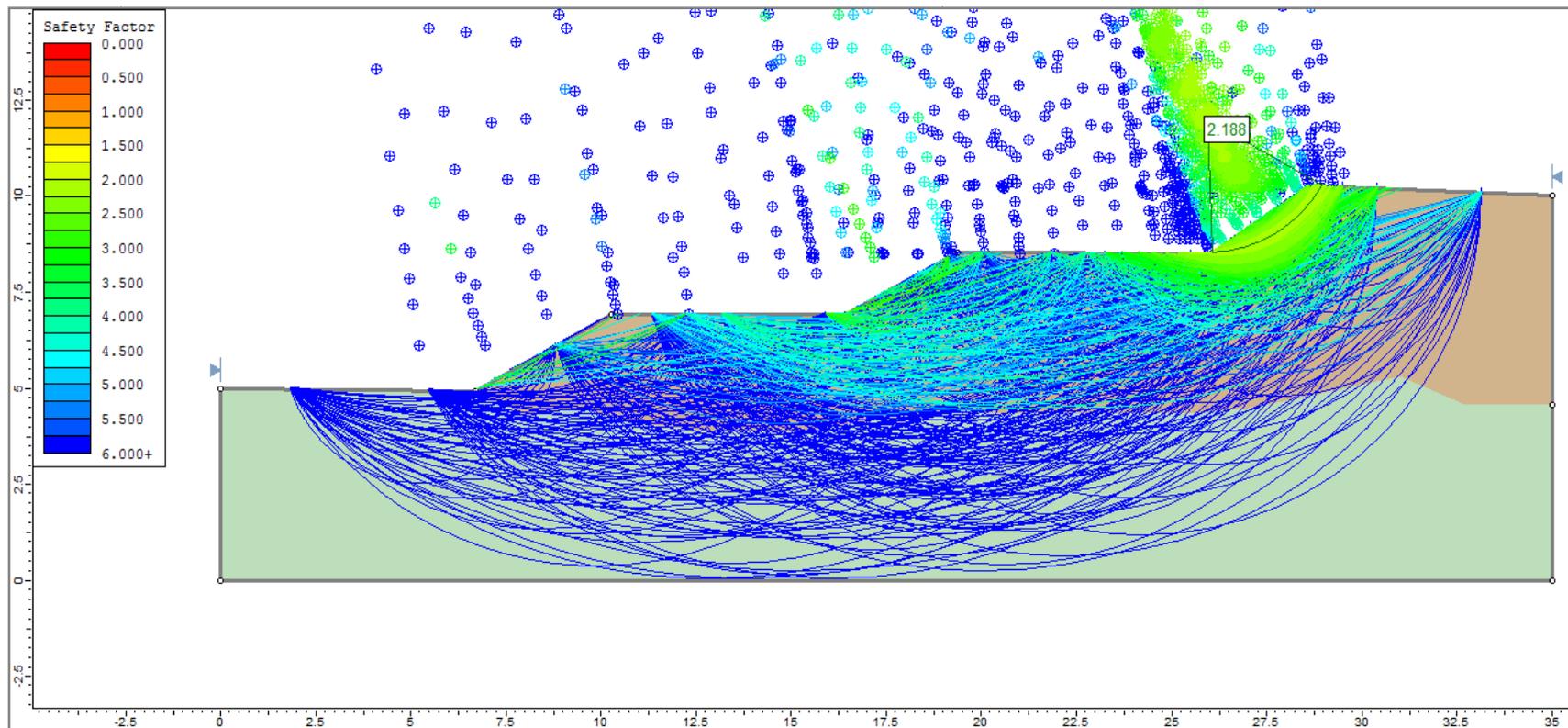
**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

<b>Hoek-Brown Classification</b>	
sigci	63 MPa
GSI	55
mi	17
D	0
Ei	17150
<b>Hoek-Brown Criterion</b>	
mb	3.40781
s	0.006738
a	0.504048
<b>Failure Envelope Range</b>	
<b>Application Slopes</b>	
sig3max	0.217175 MPa
Unit Weigh	0.0255 MN/m <sup>3</sup>
Slope Heig	8 m
<b>Mohr-Coulomb Fit</b>	
c	0.513756 MPa
phi	65.2681 degrees
<b>Rock Mass Parameters</b>	
sigt	-0.124564 MPa
sigc	5.06774 MPa
sigcm	15.7335 MPa
Erm	7002.01 MPa



**Figura 65.** Parámetros Geomecánicos y Geotécnicos de los taludes de la Paccha Grande 2.

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.



**Figura 66.** Análisis de Taludes por medio del Factor de Seguridad siendo este de 2.188 por lo cual es un talud estable con el método de Bishop Simplificado, para la zona de La Paccha Grande 2.

**Fuente:** Elaboración propia, 2017.

### **3.11. Resultados Obtenidos de Estabilidad de Taludes**

Con la aplicación del software Slide y Rock Data se han calculado los parámetros geomecánicos de los materiales rocosos de las dos canteras:

Para los materiales de la cantera de Shudall se ha determinado una cohesión de 0.518 MPA, un ángulo de fricción de 63.86°, estos datos se ingresan al Slide y nos da un factor de seguridad de 1.675 indicando que los diseños de estos bancos de explotación son estables.

Para las canteras de la Paccha 1 y 2 los resultados fueron los siguientes: para la Paccha 1 un ángulo de fricción de 0.430 MPA, un ángulo de fricción de 63.47° dando un factor de seguridad de 1.557 indicando que es estable. Para la cantera la Paccha 2 una cohesión de 0.544MPA, un ángulo de fricción de 65.32° siendo el factor de seguridad (FS) de 2.18 indicando alto valor de estabilidad.

La cantera de la Paccha 2 muestran rocas con mayor cohesión y ángulo de fricción indicando que son de mayor calidad geomecánica que las canteras de la Paccha 1 y Shudall lo que justifica su alto factor de seguridad (FS).

### **3.12. Contrastación de la Hipótesis**

De acuerdo a los resultados obtenidos la hipótesis general se aprueba ya que con el análisis estructural se logró determinar la gran influencia de la falla Cajamarca en la generación de la zona de falla por ende en la generación de un conjunto de fracturas secundarias provocando el gran fracturamiento de las rocas constituyendo de esta manera reservas de materiales de construcción. Se determinó además que el factor principal de generación de las canteras es el factor estructural. Las fracturas poseen una gran concentración de intersecciones en espaciamientos cortos lo que se traduce en el intenso trituramiento de las rocas. La actividad de los agentes meteóricos (agua de lluvia) han afectado el grado de cohesión haciéndolos más deleznable.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- La actividad de la Falla Cajamarca (FC) de edad Cenozoica ha generado una “Zona de Falla” en donde se encuentra una serie de fracturamientos secundarios dispuestos en forma paralela, oblicua y perpendicular a esta estructura principal. Estos fracturamientos se intersectan en mayor proporción en la zona de estudio además el corto espaciamiento de estas fracturas y la composición química mayormente cuarzosa hacen posible que hoy en día la zona de estudio constituya una fuente de reservas de material para la construcción.

Las zonas donde los puntos de intersecciones (ver diagramas de intersecciones) de las fracturas están bastante juntas constituyen zonas de mayores reservas debido a que es directamente proporcional a la cantidad de material triturado y de longitudes pequeñas.

- Se ha determinado que el método de explotación adecuado es por medio de minería a Tajo Abierto o Superficial, realizando excavaciones de tipo convencional en ladera realizando el avance en forma frontal de altura creciente. Este procedimiento se facilitará en gran medida por las características de las rocas, ya que tienen un intenso fracturamiento, por lo tanto, al momento de su extracción no se usará explosivos solamente maquinaria y mano de obra.
- La composición mineralógica de las areniscas que serán explotadas como materiales de construcción está compuesta por 80 a 90% de cuarzo, con un 4% de plagioclasas, 4% de feldespatos y un 6% de arcillas. Estos porcentajes se mantienen en casi toda el área de investigación. Cabe resaltar que estos porcentajes han sido hallados de manera macroscópica utilizando lupa y tablas guías de petrología.

Las zonas donde los puntos de intersecciones (ver diagramas de intersecciones) de las fracturas están bastante juntas constituyen zonas de mayores reservas debido a que es directamente proporcional a la cantidad de material triturado y de longitudes pequeñas.

- En base a los análisis petrográfico y estructural realizados en campo y utilizando fórmulas en el software Excel se ha calculado las reservas, obteniéndose para la zona de La Paccha Grande 4361179 TN-m y para la zona de Shudal 6361179 TN-m lográndose un total de 11147019 TN-m. Cabe indicar que estos tonelajes podrían incrementarse de acuerdo al método de extracción.

## Recomendaciones

- Se recomienda realizar exploraciones y estudios con mayor detalle en lugares donde los puntos de intersección de los fracturamientos tengan una mayor concentración, ya que son las zonas con mayor reserva de materiales para la construcción.
- Realizar un estudio geomecánico de la zona de explotación con el fin de determinar mejor la estabilidad de los taludes del Tajo abierto mediante el cual se extraerá los materiales de construcción.
- Realizar la explotación de estos materiales teniendo en cuenta el cuidado del medio ambiente, ya que las actividades realizadas en el pasado, en estas zonas, han generado un impacto visual negativo que es necesario remediar.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALFARO, M. (2005). Apuntes de estimación de recursos Mineros. Universidad Católica Valparaíso. 120 pp.
- BENAVIDES, V. (1957). Geología de la Región de Cajamarca. Tesis Doctoral. p. 76 – 92.
- BORKOWSKI, D. (1994). Catálogo de Minerales Industriales del Perú. Printed in Lima.
- CHIRIF, H. (2013). Modelos de Yacimientos y Metalogenia en el Perú. *PRO Explo*, 14-29. Lima, Perú: GeoWissens.
- CORREA, A. (2015). Cálculo Probabilístico en la estimación de Reservas Desarrolladas. España.
- DÁVILA, J. (2011). Diccionario Geológico. Tercera Edición. Lima – Perú.
- LAGOS, A; QUISPE, Z. (2007). Aportes al análisis de Cuencas Sedimentarias en los alrededores de las localidades de los Baños del Inca, Cruz Blanca, Otuzco. Distrito de Cajamarca.
- MARTÍNEZ A. & VELÁZQUEZ, J. (2004). Estimación de reservas en un yacimiento de cromita con poca continuidad geológica de los cuerpos de cromita. Madrid.
- NÚÑEZ, P & GARAY J. (2012). Tecnología sobre el Carbón. Recuperado de <https://es.slideshare.net/guest102e86/carbon-presentation>.

PINEDA, J (2012). Uso de los Sistemas de Información Geográfica en La Ingeniería Minas. (Tesis de Bachillerato). México. Recuperada de <https://www.ineel.mx/boletin022007/tend.pdf>

REYES, L. (1980). Geología de los cuadrángulos de Cajamarca (15-f), San Marcos (15-g) y Cajabamba (16-g). Boletín N°31 INGEMMET.

RUÍZ, Y. (2015). Aplicación de Software Libre para la Estimación de Recursos y para la Evaluación Técnica Económica de las Reservas Minerales. (Tesis de Bachillerato). Piura - Piura. Universidad Nacional de Piura.

TAFUR, J. (1950). Estudio preliminar de la Geología de Cajamarca.

# **ANEXOS**

**Tabla 27:** Matriz de Consistencia de la Investigación

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN
<p><b>Principal</b> ¿Cuáles son las características estructurales de las rocas de las canteras que son utilizadas como materiales de construcción ubicadas en los tramos de Shudal - Paccha Grande?</p> <p><b>Secundarios</b> ¿Cuál es el método de explotación más adecuado para los afloramientos de areniscas para ser utilizadas como materiales de construcción en los tramos de Shudal - Paccha Grande? ¿Cuál es la composición mineralógica que presentan las areniscas que serán utilizadas como materiales para la construcción?</p>	<p><b>General</b> Determinar y analizar las estructuras de los macizos rocosos para establecer el método de explotación de las canteras de materiales de construcción.</p> <p><b>Específicos</b> Determinar las reservas minerales de areniscas para ser utilizadas como materiales de construcción que afloran en el sector de Shudal y Paccha Grande. Determinar si la composición mineralógica que presentan las canteras son las adecuadas para ser utilizadas como materiales de construcción.</p>	<p><b>General</b> Las areniscas que afloran en el sector de Shudal y Paccha Grande, poseen alto porcentaje de óxido de sílice (SiO<sub>2</sub>) que las hace apropiadas para ser utilizadas como materiales de construcción.</p> <p><b>Secundarias</b> El gran fracturamiento y fallamiento que muestran las areniscas, que afloran en el sector de Shudal y Paccha Grande, ha favorecido la generación de gran cantidad de material triturado convirtiéndose en grandes reservas minerales para materiales de construcción. Un factor desencadenante para que las areniscas presenten un alto fracturamiento es la meteorización vegetal y la producida por las lluvias.</p>	<p><b>Independientes</b> Estudio Estructural Alto grado de fracturamiento de las areniscas. Explotación tecnificada Alto contenido de cuarzo (SiO<sub>2</sub>) en las areniscas.</p> <p><b>Dependientes</b> Mayor disgregación de las areniscas Mayores reservas minables Mayor rentabilidad de los inversionistas Mayor cuidado al medio ambiente Mayor reservas para explotar Fragmentos apropiados para la construcción.</p>	<p><b>Tipo de Investigación</b> Descriptivo, <b>Diseño</b> No Experimental correlacional y causal. Analítico no experimental.</p>	<p><b>Tipo y Nivel de la Investigación</b> Descriptiva Correlacional – Causal - Transversal  <b>Método y Diseño de la Investigación</b> Hipotético – Deductivo – Descriptivo  No Experimental</p>	<p><b>Población</b> Afloramientos de rocas clásicas existentes en las zonas de Shudal y La Paccha Grande.</p> <p><b>Muestra</b> Muestras de mano recolectadas en los diferentes sectores de la zona de estudio.</p>

Fuente: Elaboración propia, 2017.

**Tabla 28:**

Tabla de encuesta a los pobladores del sector de shudal y de paccha grande

<b>DATOS GENERALES</b>	
<b>Localidad</b>	
<b>Ubicacion</b>	
<b>Nombre del poblador encuestado</b>	
<b>Sexo</b>	

Fuente: Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 29:**

Tabla donde estan las preguntas realizadas a los pobladores con respecto a la explotación de canteras de arena en los alrededores del sector de shudal y paccha grande.

<b>ACTIVIDAD MINERA</b>	<b>SI</b>	<b>NO</b>	<b>NO OPINA</b>
1. ¿Se genera ruido por voladura de rocas?			
2. ¿Existe peligro de volcadura de camiones?			
3. ¿Existe vibraciones por voladuras de rocas?			
4. ¿Existe Impacto visual por explotacion de canteras?			
5. ¿Tiene conocimiento de alguna enfermedad relacionada a la accion minera?			
6. ¿Debe tecnificarse la explotacion de las canteras?			
7. ¿Esta de acuerdo con la explotacion de las canteras?			
8. ¿Ha sido beneficiado de alguna manera con la explotacion de las canteras?			
9. ¿Cree usted que los materiales de las canteras son de buena calidad para la cosntrucccion de viviendas?			
10. ¿Se han modificado los cursos de escorrentia superficial por la explotacion de canteras?			
11. ¿Debe existir un plan de remediacion del impacto visual?			
12. ¿Se genera polvo por transporte de material?			

Fuente: Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 30:**

Tabla de datos medidos de las fracturas de la estación J-001.

<b>Fractura</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>DIPDIR</b>
1	40	50
2	57	60
3	30	300
4	50	310
5	70	220
6	59	310
7	30	140
8	50	320
9	30	340
10	60	60
11	50	131
12	49	110
13	50	140
14	50	320
15	40	310
16	39	340
17	50	66
18	30	65
19	30	130
20	50	310
21	50	60
22	50	70
23	40	60
24	60	89
25	79	90
26	69	10
27	56	15
28	50	60
20	50	70
30	40	60

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 31:**

Tabla Datos medidos de las fracturas de la estación J-002.

<b>Fractura</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>DIPDIR</b>
1	45	45
2	60	60
3	70	280
4	70	270
5	70	220
6	80	310
7	60	140
8	50	35
9	30	340
11	60	60
12	50	275
13	49	90
14	70	80
15	79	270
16	40	280
17	60	340
18	50	66
19	30	30
20	60	130
21	50	310
21	50	60
22	50	70
23	70	60
24	60	89
25	79	35

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 32:**

Tabla Datos medidos de las fracturas de la estación J-003

<b>Fractura</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>DIPDIR</b>
1	40	312
2	40	15
3	50	143
4	49	130
5	30	47
6	60	138
7	40	250
8	50	143
9	49	110
10	30	48
11	50	143
12	49	134
13	60	21
14	30	42
15	40	40
16	30	210
17	30	80
18	40	85
19	30	45
20	30	144
21	30	134
22	40	125
23	30	126
24	60	25
25	30	47
26	40	43
27	30	145
28	30	133
29	40	128
30	30	122
31	50	143

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 33:**  
Tabla Datos medidos de las fracturas de la estación J-004

<b>Fractura</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>DIPDIR</b>
1	45	10
2	40	50
3	50	63
4	40	55
5	70	60
6	40	180
7	60	355
8	50	65
9	30	62
10	55	60
11	50	140
12	49	165
13	50	155
14	60	130
15	40	105
16	60	340
17	30	150
18	30	165
19	45	350
20	50	25
21	40	27
22	30	285
23	50	15
24	45	105
25	50	340
26	40	150
27	30	145
28	50	350
29	60	25
30	50	140

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 34:**

Tabla Datos medidos de las fracturas de la estación J-005

<b>Fractura</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>DIPDIR</b>
1	40	312
2	40	15
3	50	143
4	49	130
5	30	47
6	60	138
7	40	250
8	50	143
9	49	110
10	30	48
11	50	143
12	49	134
13	60	21
14	30	42
15	40	40
16	30	210
17	30	80
18	40	85
19	30	45
20	30	144
21	30	134
22	40	125
23	30	126
24	60	25
25	30	47
26	40	43
27	30	145
28	30	133
29	40	128
30	30	122
31	50	143

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 35:**

Tabla Datos medidos de las fracturas de la estación J-006

<b>Fractura</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>DIPDIR</b>
1	48	210
2	45	215
3	46	210
4	60	55
5	48	64
6	52	60
7	45	65
8	30	160
9	50	155
10	38	180
11	43	183
12	35	172
13	88	120
14	30	25
15	48	28
16	34	26
17	78	298
18	75	115
19	38	160
20	30	272
21	20	10
22	30	12
23	40	15
24	75	180
25	38	183
26	30	172
27	20	120
28	30	25
29	40	28
30	40	26

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 36:**

Tabla Datos medidos de las fracturas de la estación J-007

<b>Fractura</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>DIPDIR</b>
1	30	220
2	29	204
3	32	230
4	25	198
5	30	215
6	35	320
7	29	325
8	27	220
9	55	80
10	50	75
11	45	70
12	48	83
13	40	65
14	55	70
15	30	210
16	29	204
17	32	200
18	25	198
19	30	215
20	35	150
21	29	152
22	50	180
23	30	250
24	33	265
25	50	120
26	45	122

Fuente: Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 37:**

Tabla Datos medidos de las fracturas de la estación J-008

<b>Fractura</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>DIPDIR</b>
1	45	190
2	44	210
3	43	215
4	45	80
5	46	218
6	60	302
7	45	250
8	54	270
9	52	278
10	48	266
11	52	258
12	88	85
13	75	208
14	52	254
15	50	246
16	74	238
17	70	244
18	82	339
19	86	312
20	89	325
21	89	332
22	89	322
23	78	296
24	89	20
25	89	25
26	89	30

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 38:**

Tabla Datos medidos de las fracturas de la estación J-009

<b>Fractura</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>DIPDIR</b>
1	21	130
2	33	210
3	46	199
4	44	44
5	48	64
6	52	60
7	41	65
8	32	160
9	50	155
10	39	180
11	43	183
12	35	172
13	86	230
14	30	25
15	48	28
16	34	22
17	78	298
18	76	114
19	38	160
20	30	272
21	20	10
22	30	16
23	56	13
24	75	180
25	38	122
26	30	172
27	23	120
28	30	25
29	36	31
30	39	31

**Fuente:** Elaboración Propia, 2017.

**Tabla 39:**

Tabla Datos medidos de las fracturas de la estación J-010

<b>Fractura</b>	<b>Buzamiento</b>	<b>DIPDIR</b>
1	28	132
2	25	67
3	31	190
4	18	184
5	30	215
6	33	320
7	29	334
8	27	220
9	53	80
10	50	75
11	45	73
12	45	83
13	40	65
14	58	73
15	30	210
16	29	204
17	37	203
18	25	198
19	30	213
20	37	150
21	29	152
22	50	180
23	39	248
24	33	256
25	58	92
26	34	97

Fuente: Elaboración Propia, 2017.

## PANEL FOTOGRÁFICO



**Figura 67:** Centro poblado Shudal, se observa la zona de estudio donde se realizó el muestreo.



**Figura 68:** Se puede observar material semi consolidado, de la localidad de Shudal de donde se extrajeron cinco muestras.



**Figura 69:** Muestras 1 y 2 localidad de Shudal, macizo rocoso de fracturamiento medio.



**Figura 70:** Muestras 3 ,4 y 5 localidad de Shudal, macizo rocoso de fracturamiento leve.



**Figura 71:** Muestras 6 ,7 y 8 localidad de Paccha, materiales semi consolidados color rojizo.



**Figura 72:** Municipalidad de Paccha.



**Figura 73:** Zona de depósitos producto de la erosión, localidad de Paccha



**Figura 74:** Macizo rocoso de la localidad de Paccha, se observa un fracturamiento fuerte que dio lugar a que en esta zona se pueda extraer materiales de construcción.