

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA MINA  
“LA PROVIDENCIA” UBICADA EN EL CASERÍO  
BELLA VISTA DE CUARA, MUNICIPIO JIMÉNEZ,  
ESTADO LARA**

Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Navas P, Marley de J.  
Para optar al título de Ingeniero Geólogo



Caracas, mayo 2017  
Universidad Central de Venezuela  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Geología, Minas y Geofísica  
Departamento de Geología



**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA MINA  
“LA PROVIDENCIA” UBICADA EN EL CASERÍO  
BELLA VISTA DE CUARA, MUNICIPIO JIMÉNEZ,  
ESTADO LARA**

Tutor Académico: Ing. Feliciano De Santis  
Tutor Industrial: Ing. José Heredia

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la ilustre  
Universidad Central de Venezuela  
Por la Br. Navas P, Marley de J.  
Para optar al título de Ingeniero Geólogo

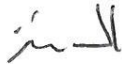
Caracas, mayo 2017

Caracas, mayo 2017

Los abajo firmantes, miembros del jurado designados por el Consejo de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Espacial de Grado presentado por la Br. Navas P, Marley de J. Titulado:

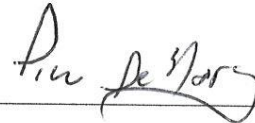
**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA MINA LA PROVIDENCIA UBICADA EN EL CASERÍO BELLA VISTA DE CUARA, MUNICIPIO JIMÉNEZ, ESTADO LARA”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al título de Ingeniero Geólogo, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.



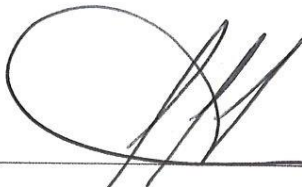
---

Prof. Enzo Caraballo  
Jurado



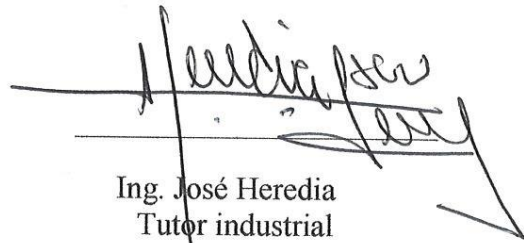
---

Prof. Pietro De Marco  
Jurado



---

Prof. Feliciano De Santis  
Tutor académico



---

Ing. José Heredia  
Tutor industrial

## DEDICATORIA

*A mis padres*

*A mi hermana, primos y demás familiares*

*por ser mis motivos para alcanzar esta y el resto de las metas.*

*¡El aula magna nos espera!*

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por todas las bendiciones recibidas, por darme fortaleza para afrontar cada uno de los retos que presentaba.

A mi tía quien desde el cielo sé que me acompaña.

A mis padres: a mamá Paula por su amor incondicional, apoyo, por acompañarme en este camino, por estar siempre pendiente de mí, por ser la mejor de todas. A mi papá Nixon, por su amor, sus palabras de aliento, comprensión, darme fortaleza... ninguna de las palabras puede describir mi gratitud y amor hacia ustedes. ¡Los amo!

A mi hermana Marlyn por brindarme siempre ánimos y buenas energías en todo momento. ¡Te quiero!

A mis primos y demás familiares: Mildred, Samuel, Alfonso, por alegrar mis días en todo momento, estar atentos con cada paso que llevaba a cabo durante mis estudios. ¡Los quiero!

A mi familia de Barquisimeto: mi primo Arturo, a la Sra. Maritza con sus deliciosas comidas, por recibirme con los brazos abiertos, también a mis compañeros de campo Sr. Cruz que me demostró que la edad es sólo un número y a mi primo Alfonso por acompañarme durante todo el trabajo durante esta etapa.

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, por formarme profesional y personalmente, por brindarme la mejor experiencia que he tenido hasta ahora, a todos en la escuela de Geología Minas y Geofísica, en especial a los profesores por los conocimientos que adquirí en cada una de las clases o consultas mostrándome lo hermoso de la geología y hacer que cada día amara más mi carrera.

A mi tutor industrial el Ing. José Heredia, por su tiempo brindado, ayuda, por abrirme las puertas para realizar este trabajo.

Al profesor Feliciano De Santis, mi tutor académico, por su apoyo, por transmitirme sus conocimientos, experiencia profesional en sus clases.

Al laboratorio José Heredia & Asociados por la realización de los ensayos geotécnicos.

Al laboratorio Ingenieros De Santis, por la realización del ensayo de límites de consistencia.

A los laboratorios de Absorción Atómica y Difracción de Rayos X del Instituto Ciencias de la Tierra de la facultad de Ciencias de la UCV.

A mis amigos: Yusmary por ser la mejor compañera de residencia que pude tener y a Nixon por hacer mis días más felices en la universidad y fuera de ella, a ustedes dos por su amistad incondicional, por los momentos compartidos, más que amigos los considero mis hermanos. A todos mis amigos y compañeros de clases que hicieron mucho más amena mi tiempo en la universidad: Daniela, Eduardo, Marianyelis, Michelle, Alexmar, Wilden, Yedinet, Karleidys ¡los quiero!

Navas P, Marley de J.

## **CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA DE LA MINA “LA PROVIDENCIA” UBICADA EN EL CASERÍO BELLA VISTA DE CUARA, MUNICIPIO JIMÉNEZ, ESTADO LARA**

**Tutor académico: Prof. Feliciano De Santis. Tutor Industrial: Ing. José Heredia.  
Tesis. Caracas, Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Geología Minas y Geofísica. Año 2017. N° de pag. 134.**

**Palabras claves: Mina La Providencia-Lara(estado), Difracción de Rayos X, geotecnia, lutitas blancas-beneficio**

### **RESUMEN**

Se realizó la caracterización geológica de la mina “La Providencia” ubicada en el Caserío Bella Vista de Cuara, municipio Jiménez del estado Lara, para conocer el uso industrial del material y su cuantificación para que de esta manera pueda ser suministrado regionalmente y nacionalmente.

Para cumplir con el propósito planteado se realizaron distintos análisis de caracterización química, mineralógica de Absorción Atómica (AA), Difracción de Rayos X (DRX) y algunos ensayos geotécnicos a diversas muestras tomadas durante los levantamientos geológicos.

El sector se caracteriza por poseer una litología principalmente sedimentaria de grano fino que hacia la base se presenta más compactada. Dispuestas espacialmente en ángulo de buzamiento casi horizontal en forma de homoclinal aunque presenta algunos pliegues secundarios. La Falla de Boconó incide sobre la zona, evidenciada en la falla pseudoparalela encontrada. Además se encontró en algunos sitios un alto contenido en material ferruginoso.

Se identificaron a las Lutitas Blancas como la del mayor potencial desde el punto de vista industrial debido a características de plasticidad, composición química y mineralógica (48,03% de cuarzo, 41,94% de illita, 10,03% de caolinita). Se determinó que su empleo es para aportarle plasticidad a otros materiales, por lo que para utilizarla como gres cerámico se necesita un porcentaje mayor a 9,43% y menor a 22,64% de feldespato o algún otro fundente, además también puede ser usada con fines medicinales, terapéuticos y cosméticos. Posee un recurso inferido total de 69.407.290,50 m<sup>3</sup> en el cual 963.636,05 m<sup>3</sup> pertenecen al futuro frente a explotar 2 y 1.782.416,56 m<sup>3</sup> al futuro frente a explotar 3.

## ÍNDICE

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
RESUMEN.....	vii
INDICE DE FIGURAS.....	xii
INDICE DE TABLAS .....	xix
CAPITULO I.....	1
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Ubicación.....	1
1.2 Objetivo .....	4
1.2.1Objetivo general.....	4
1.2.2 Objetivos específicos .....	4
1.3 Justificación.....	5
1.4 Planteamiento del problema .....	5
1.5 Antecedentes .....	6
1.5.1 Antecedentes metodológicos .....	6
1.5.2 Antecedentes de estudios previos .....	8
1.6 Metodología.....	11
1.6.1 Etapa Pre-Campo (compilatoria) .....	11
1.6.2 Etapa de campo.....	13
1.6.3 Etapa de Post-Campo (laboratorio y oficina) .....	13
CAPITULO II .....	24
2 GEOGRAFÍA FÍSICA .....	24



2.1	Generalidades .....	24
2.2	Unidades topográficas .....	26
2.2.1	Unidad topográfica I – Relieve alto. ....	26
2.2.2	Unidad topográfica II- Unidad de relieve bajo. ....	26
2.3	Drenaje .....	27
2.3.1	Tramo AB .....	28
2.3.2	Tramo CD .....	29
2.4	Clima .....	31
2.5	Precipitación.....	33
2.6	Vegetación.....	34
CAPITULO III .....		36
3	Geología regional.....	36
3.1	Marco geológico.....	36
3.2	Estratigrafía Regional.....	41
3.2.1	Formación Barquisimeto Cretácico (Cenomaniense- Maastrichtiense). ....	41
3.2.2	Formación Morán. Terciario (Paleoceno-Eoceno).....	42
3.2.3	Formación El Pegón. Terciario (Mioceno? Plioceno).....	43
CAPITULO IV .....		45
4	Marco Teórico.....	45
4.1	Filosilicatos .....	45
4.2	La arcilla como materia prima para la industria de la cerámica.....	48
4.2.1	Cerámica avanzada .....	48
4.2.2	Cerámica tradicional .....	49
4.3	La arcilla en la industria cosmética .....	56

4.4	La bentonita .....	57
4.5	Geología minera .....	57
4.5.1	Recurso .....	57
4.5.2	Reservas probadas.....	57
4.5.3	Reservas probables .....	58
4.5.4	Reservas posibles o inferidas.....	58
CAPITULO V .....		60
5	Geología local.....	60
5.1	Generalidades .....	60
5.2	Estratigrafía y sedimentación .....	62
5.3	Geología estructural local.....	69
5.3.1	Análisis geométrico de los pliegues.....	69
5.3.2	Análisis geométrico de las fallas.....	70
5.3.3	Análisis geométrico de las diaclasas .....	72
5.4	Geología histórica local.....	73
CAPITULO VI.....		74
6	Resultados y análisis.....	74
6.1	Resultados .....	74
6.1.1	Descripción de las muestras.....	74
6.1.2	Difracción de rayos X (DRX).....	83
6.1.3	Absorción atómica (AA).....	85
6.1.4	límites de Atterberg .....	86
6.1.5	Ensayos geotécnicos .....	92
6.2	Análisis .....	94

6.2.1 Análisis de los materiales .....	94
6.2.2 Uso Industrial.....	98
6.2.3 Estimación de recursos .....	102
6.2.4 Mapa de concentración química .....	111
CAPITULO VII .....	113
7 Conclusiones y recomendaciones .....	113
7.1 Conclusiones .....	113
7.2 Recomendaciones .....	114
Bibliografía .....	116
APÉNDICES.....	121

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Ubicación del área de estudio dentro del estado Lara y su ubicación en el país. Tomado de: Google earth. ....	1
<i>Figura 2</i> Mapa topográfico de la mina “La Providencia”. Donde se muestra su poligonal, detalles de los frentes, entre otros. ....	3
<i>Figura 3</i> Equipo de Difracción de Rayos X. tomado de la página web del Instituto de Ciencias de la Tierra de la UCV. <a href="http://gea.ciens.ucv.ve/webict/web/?page_id=64">http://gea.ciens.ucv.ve/webict/web/?page_id=64</a> . ....	14
<i>Figura 4.</i> Espectrofotómetro de Absorción atómica marca Pelkin Elmer modelo Analiyst 200 donde se realizó en ensayo. Tomado de <a href="http://gea.ciens.ucv.ve/webict/web/?page_id=68">http://gea.ciens.ucv.ve/webict/web/?page_id=68</a> . ....	15
<i>Figura 5.</i> Metodología para Absorción Atómica. (Tomado de Fernandez & Martins 2012) .....	16
<i>Figura 6.</i> Carta de plasticidad de Casagrande. Tomado de Braja M. Das, 2001.....	17
<i>Figura 7.</i> Cuchara de Casagrande. Tomado de Braja M. Das, 2001 .....	17
<i>Figura 8.</i> Mapa de Unidades topográficas.....	25
<i>Figura 9.</i> Fotografía en campo de las unidades topográficas I y II. La línea blanca delimita aproximadamente el contacto entre ellas. Dirección de la foto N40W coordenadas 432.525 E, 1.087.681 N. ....	27
<i>Figura 10.</i> Ubicación de la quebrada AB en donde se observan el cambio de dirección en A'. Drena en sentido sur-norte. ....	29
<i>Figura 11.</i> Mapa donde se observa el drenaje CD. Además se muestra en punto C' que es el punto donde cambia de dirección. Drena en sentido sur-norte .....	30
<i>Figura 12.</i> Fotografía en campo de la quebrada CD. Dirección de la foto S5E. Coordenadas 432.525 E, 1.087.681 N.....	30
<i>Figura 13.</i> Mapa de los tipos de clima en la región según la clasificación de Köppen. La estrella roja indica la ubicación del área a estudiar. (Goldbrunner, 1974) .....	31

<i>Figura 14.</i> Mapa de los tipos de clima en la región según la clasificación de pisos térmicos de Thornthwaite. La estrella blanca indica la ubicación aproximada del área a estudiar. (Goldbrunner, 1974) .....	32
<i>Figura 15.</i> Mapa de precipitación anual en la zona de estudio, la estrella roja indica la ubicación del sitio. (Goldbrunner, 1974) .....	33
<i>Figura 16.</i> Mapa de los tipos de clima en la región según la clasificación de Thornthwaite en base a su precipitación. La estrella roja indica la ubicación aproximada del área a estudiar. (Goldbrunner, A. 1974).....	34
<i>Figura 17.</i> Vegetación característica de la zona de estudio, se observan cardonales y cují. Vista de la foto: E-W.....	35
<i>Figura 18.</i> Vegetación característica de la zona de estudio, se observan cardonales y cují. Vista de la foto N23E.....	35
<i>Figura 19.</i> Fallas asociadas a la Falla de Boconó en la región, la estrella señala la ubicación aproximada del área de estudio (tomado de Beltran, 1993) .....	37
<i>Figura 20.</i> Mapa geológico realizado por Stephan, 1977 et durante una excursión a la Cordillera de los Andes y Surco de Barquisimeto, presentado en el V Congreso Geológico Venezolano. El círculo señala la ubicación de la zona de estudio dentro del contexto regional.....	38
<i>Figura 21.</i> Mapa geológico estructural de Venezuela, donde se hace un zoom y se resalta con la una circunferencia el área a estudiar que corresponde al Paleoceno-Eoceno y Eoceno. Tomado de la página web de FUNVISIS.....	40
<i>Figura 22</i> Mapa en donde aflora la Formación Barquisimeto.....	42
<i>Figura 23</i> Mapa en donde se aflora la Formación Morán .....	43
<i>Figura 24</i> Mapa en donde aflora la Formación El Pegón.....	44
<i>Figura 25-</i> Estructura interna de los filosilicatos. La parte encerrada por el paralelograma corresponde a $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ . Tomado de UNED (2005). .....	45
<i>Figura 26.</i> Esquema de la estructura de caolinita en una hoja tetraédrica enlazada por un lado con una capa octaédrica. UNED (2005).....	46
<i>Figura 27.</i> Desarrollo esquemático de las estructuras de algunos filosilicatos. Tomado de (Hurlbut & Klein, 2011).....	47

<i>Figura 28.</i> Variación composicional de las materias primas en cerámica roja tomando en cuenta la mineralogía (según González et al., 1998, basado en Fiori et al. 1989). Ca = calcita, Do = dolomita, Q = cuarzo, Fd = feldespatos, Ph = filosilicatos.....	51
<i>Figura 29-</i> Variación composicional de las materias primas en cerámica roja tomando en cuenta la química (según González et al., 1998, basado en Fiori et al. 1989). .....	51
<i>Figura 30.</i> Diagrama de composición para porcelanas. (Enrique et al., 1985).....	52
<i>Figura 31.</i> Diagrama de uso industrial de las arcillas en base a los autores de Enrique et al., 1985, Galán & Aparicio, entre otros. El diagrama 1 corresponde a la figura 30 y el diagrama 2 al de la figura 28.....	59
<i>Figura 32.</i> Modelo tridimensional geológico del área de estudio mediante el uso del software Rockworks.....	60
<i>Figura 33.</i> Secciones geológicas dispuestas espacialmente, realizado mediante el software Rockworks.....	61
<i>Figura 34.</i> Mapa geológico del área de estudio.....	61
<i>Figura 35.</i> Intercalación de lutitas grises con marrón perteneciente al Miembro Inferior. Dirección de la foto E-W .....	63
<i>Figura 36.</i> Capas de lutitas pizarrosas marrón y gris. Dirección de la foto N82E. ....	63
<i>Figura 37.</i> Intercalación de lutitas marrón y gris. Dirección de la foto N86E. ....	64
<i>Figura 38.</i> Calicata en el cual se observan la presencia de capas de lutitas gris con marrón. Dirección de la foto: N80E.....	64
<i>Figura 39.</i> Detalle del color amarillo meteorizado en las lutitas gris oscura. Dirección de la foto N83E .....	65
<i>Figura 40.</i> Lutita roja donde se observan las cárcavas características a esta litología. Dirección de la foto N55E. Punto 1.086.899 N, 432.316 E.....	65
<i>Figura 41.</i> Afloramiento del Miembro Superior, correspondiente a las lutitas blancas. Donde se observa los colores fresco y meteorizado, además de la capa ferruginosa en puntos rojos. Dirección de a foto: N30E.....	66
<i>Figura 42.</i> Afloramiento de lutitas blancas. Dirección de la foto: S25W. Coordenadas: 433.811 E, 1.087.571 N .....	67

<i>Figura 43.</i> Afloramiento de lutitas, donde se observa la capa marrón rojiza que suprayace a las blancas en el punto 1.087.593 N, 433.400 E, en el futuro frente de explotación (3). Dirección de la foto N25W.....	67
<i>Figura 44.</i> Detalle de la capa ferruginosa. Coordenadas 433.851 E, 1.087.609 N. Dirección de la foto: E-W .....	68
<i>Figura 45.</i> Afloramiento del Miembro Superior, en el frente en explotación. Dirección de la foto N10E. Coordenadas 433.560 E, 1.088.021 N. ....	68
<i>Figura 46.</i> Anticlinal encontrado en el Futuro frente a explotar (2). Dirección de la foto: N75E.....	69
<i>Figura 47.</i> Sinclinal, dirección de la foto: E-W.....	70
<i>Figura 48.</i> Falla encontrada en el futuro frente a explotar (2) en el cual se señala el plano y el movimiento. Dirección de la foto: S80E.....	71
<i>Figura 49.</i> Vista frontal de la falla. Dirección de la foto: N87E. ....	71
<i>Figura 50.</i> Foto de la familia de diaclasas 2. Dirección de la toma: N80E. ....	72
<i>Figura 51.</i> (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP20. (B) Fotografía en campo del afloramiento, se observan las cárcavas que son característica de este tipo de litología, dirección S30E. (C) Fotografía de la muestra MP20 preparada para realizarle los ensayos de DRX y AA.....	74
<i>Figura 52.</i> (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP21. (B) Fotografía en campo del afloramiento, donde se observan los colores meteorizados rojo, amarillo y marrón que cubre el color fresco blanco, dirección E-W. (C) Fotografía de la muestra MP21 ya totalmente disgregada para realizarle los ensayos de DRX y AA.....	75
<i>Figura 53.</i> (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP16. (B) Fotografía en campo del afloramiento, donde se observan los colores meteorizados morado oscuro, y el color fresco rosa o morado claro, además al lado se encuentra en color blanco las lutitas pertenecientes al Miembro Superior, dirección N45W. (C) Fotografía de la muestra MP21 ya totalmente disgregada en un mortero para realizarle los ensayos de DRX y AA. ....	76

<i>Figura 54.</i> (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP15 en el futuro frente a explotar (2). (B) Fotografía en campo del afloramiento de lutitas blancas donde se tomó MP15, dirección de la foto N70E. (C) Fotografía de la muestra MP20 preparada para realizarle los ensayos de DRX y AA. ....	77
<i>Figura 55.</i> (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP17. (B) Fotografía en campo del afloramiento donde se recolectó, cabe destacar que esta se encuentra hacia la base, debajo de las capas de lutitas blancas y capa ferruginosa, dirección N80W. (C) Fotografía de la muestra MP17 disgregada para realizarle los ensayos de DRX y AA. ....	78
<i>Figura 56.</i> (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP19. (B) Fotografía en campo del lugar donde se seleccionó, nótese las cárcavas indicativo de una litología blanda y de grano fino, dirección E-W. (C) Fotografía de la muestra MP21 ya totalmente disgregada en un mortero para realizarle los ensayos de DRX y AA. ....	79
<i>Figura 57.</i> (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP18. (B) Fotografía en campo del afloramiento donde se seleccionó, se observan los colores meteorizados en algunas partes, dirección S30W. (C) Fotografía de la muestra MP17 disgregada para realizarle los ensayos de DRX y AA. ....	80
<i>Figura 58.</i> Ubicación del sitio donde se tomó la muestra MP6. (B) Fotografía en campo del afloramiento donde se recolectó, dirección N30E. (C) Fotografía de la muestra MP6 lista para realizarle los ensayos de DRX y AA. ....	81
<i>Figura 59.</i> (A) Ubicación del sitio en el mapa donde se tomó la muestra MP12. (B) Fotografía en campo de la calicata existente donde se recolectó la muestra, se observan características similares a las encontradas en la quebrada Seca, dirección N80W. (C) Fotografía de la muestra MP12 para realizarle los ensayos de DRX y AA. ....	82
<i>Figura 60.</i> (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP13 en el mapa (B) Fotografía en campo del afloramiento de lutitas rojas donde se observan las cárcavas, dirección de la foto N37E. (C) Fotografía de la muestra MP13 preparada para realizarle los ensayos de DRX y AA. ....	83



<i>Figura 61.</i> Grafico semilogaritmico de porcentaje de humedad respecto al número de golpes para MP18.....	86
<i>Figura 62.</i> Datos de la muestra MP18 graficados en la carta de plasticidad de Casagrande.....	87
<i>Figura 63.</i> Grafico semilogaritmico de porcentaje de humedad respecto al número de golpes para MP12.....	88
<i>Figura 64.</i> Datos de la muestra MP12 graficados en la carta de plasticidad de Casagrande.....	89
<i>Figura 65.</i> Grafico semilogaritmico de porcentaje de humedad respecto al número de golpes para MP13.....	90
<i>Figura 66.</i> Datos de la muestra MP13 graficados en la carta de plasticidad de Casagrande.....	91
<i>Figura 67</i> Clasificación de las Lutitas Blancas según el diagrama de compilación de varios autores.....	99
<i>Figura 68.</i> Diagrama de clasificación en porcentaje mineralógico (Enrique et al., 1985) para la lutita blanca.....	101
<i>Figura 69.</i> Mapa topográfico del futuro frente a explotar (2).....	103
<i>Figura 70.</i> Secciones geológicas tomadas para realizar la estimación de las recursos dispuestas espacialmente. Realizado mediante el software RockWorks.....	104
<i>Figura 71.</i> Modelo 3D del futuro frente a explotar 2, realizado mediante el software RockWorks.....	105
<i>Figura 72.</i> Mapa topográfico del futuro frente a explotar 3.....	106
<i>Figura 73.</i> Secciones geológicas tomadas para realizar la estimación de las recursos dispuestas espacialmente. Realizado mediante el software RockWorks.....	107
<i>Figura 74.</i> Modelo 3D del futuro frente a explotar 3, realizado mediante el software RockWorks.....	108
<i>Figura 75.</i> Mapa topográfico de la mina La Providencia empleado para la estimación de los recursos.....	109

<i>Figura 76.</i> Secciones geológicas tomadas para realizar la estimación de los recursos de la mina completa dispuestas espacialmente. Realizado mediante el software RockWorks.....	110
<i>Figura 77.</i> Modelo 3D de la mina La Providencia, realizado mediante el software RockWorks.....	110
<i>Figura 78.</i> Mapa de acuerdo al porcentaje de $Fe_2O_3$ de la mina la providencia. ....	112
<i>Figura 79.</i> Difractograma y tabla con detalles de ángulo $2\theta$ , intensidades y comparación mineral de la muestra MP15.....	122
<i>Figura 80.</i> Difractograma y tabla con detalles de ángulo $2\theta$ , intensidades y comparación mineral de la muestra MP18.....	123
<i>Figura 81.</i> Difractograma y tabla con detalles de ángulo $2\theta$ , intensidades y comparación mineral de la muestra MP21.....	124
<i>Figura 82.</i> Difractograma y tabla con detalles de ángulo $2\theta$ , intensidades y comparación mineral de la muestra MP13.....	125
<i>Figura 83.</i> Difractograma y tabla con detalles de ángulo $2\theta$ , intensidades y comparación mineral de la muestra MP20.....	126
<i>Figura 84.</i> Difractograma y tabla con detalles de ángulo $2\theta$ , intensidades y comparación mineral de la muestra MP19.....	127
<i>Figura 85.</i> Difractograma y tabla con detalles de ángulo $2\theta$ , intensidades y comparación mineral de la muestra MP16.....	128
<i>Figura 86.</i> Difractograma de la muestra MP17. ....	129
<i>Figura 87.</i> Comparación de intensidades, ángulo $2\theta$ de la muestra MP17 con otros minerales. ....	130
<i>Figura 88.</i> Difractograma de la muestra MP6. ....	131
<i>Figura 89.</i> Comparación de intensidades, ángulo $2\theta$ de la muestra MP6 con otros minerales. ....	132
<i>Figura 90.</i> Difractograma de la muestra MP12. ....	133
<i>Figura 91.</i> Comparación de intensidades, ángulo $2\theta$ de la muestra MP12 con otros minerales. ....	134

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Coordenadas en UTM de la poligonal de la mina "La Providencia"</i> .....	2
Tabla 2. <i>Numeración y abertura de tamices. Fuente: Espinace R., 1979</i> .....	18
Tabla 4. <i>Tipo de mineral arcilloso de acuerdo a la superficie específica (Alvarado &amp; Barquero, 2011)</i> .....	20
Tabla 6. <i>Clasificación de los suelos de acuerdo a su Conductividad eléctrica y salinidad. Tomado de la página web de la Universidad de Chile.</i> .....	21
Tabla 7 <i>Clasificación de los suelos según su PH</i> .....	22
Tabla 11. <i>Las principales materias primas usadas en la cerámica avanzada. (Blanco,2011)</i> .....	48
Tabla 12. <i>Rango composicional admitido para cerámica estructural. Tomado de Galan &amp; Aparicio</i> .....	50
Tabla 13. <i>Composición química de arcillas comunes utilizadas para cerámicas estructural según Palmonari &amp; Terraglia, 1985.</i> .....	50
Tabla 14. <i>Rango composicional admitido para la alfarería en base a su color de cocción. Tomado de Galan &amp; Aparicio.</i> .....	50
Tabla 15. <i>Composición química (%) de caolines industrial de distintos origen.</i> .....	53
Tabla 16. <i>Requisitos granulométricos, mineralógicos y químicos de la materia prima para porcelana de mesa y sanitarios según Galán &amp; Aparicio</i> .....	53
Tabla 17. <i>Materias primas para cerámica refractaria común.</i> .....	54
Tabla 18. <i>Temperaturas que soportan los diferentes refractarios</i> .....	55
Tabla 19. <i>Tipo y componente característico de los refractarios ácidos.</i> .....	55
Tabla 20. <i>Composición química de las arcillas empleadas en la industria de la cosmética. El * indica que la suma de esos compuestos debe ser 0,50%. Similar a los que tienen ** la suma de ellos debe ser 0,50%</i> .....	56
Tabla 21. <i>Orientación de las diaclasas</i> .....	72
Tabla 22. <i>Resultados del análisis Difracción de rayos X.</i> .....	84
Tabla 23. <i>Resultados del análisis de Absorción Atómica. PC indica el porcentaje de peso perdido por calcinación durante la preparación de las muestras</i> .....	85

Tabla 24. <i>Detalles de la muestra MP18 para realizar el ensayo de límites de Atterberg</i> .....	86
Tabla 25. <i>Resultados para MP18 del ensayo de límites de Atterberg</i> .....	86
Tabla 26. <i>Índice de plasticidad para MP18</i> .....	87
Tabla 27. <i>Detalles de la muestra MP12 para realizar el ensayo de límites de Atterberg</i> .....	88
Tabla 28. <i>Resultados para MP12 del ensayo de límites de Atterberg</i> .....	88
Tabla 29. <i>Índice de plasticidad para MP12</i> .....	89
Tabla 30. <i>Detalles de la muestra MP13 para realizar el ensayo de límites de Atterberg</i> .....	90
Tabla 31. <i>Resultados para MP13 del ensayo de límites de Atterberg</i> .....	90
Tabla 32. <i>Índice de plasticidad para MP13</i> .....	91
Tabla 33. <i>Resultados de los ensayos geotécnicos</i> .....	92
Tabla 34. <i>Comparación de los resultados de los límites de consistencia a las muestras M1-5, M6 y MP18</i> .....	93
Tabla 35. <i>Porcentaje mineralógico promedio de las lutitas blancas</i> .....	95
Tabla 36. <i>Porcentaje químico promedio de las lutitas blancas</i> .....	95
Tabla 37. <i>Porcentaje mineralógico promedio de las lutitas negras</i> .....	95
Tabla 38. <i>Porcentaje químico promedio de las lutitas negras</i> .....	96
Tabla 39. <i>Porcentaje mineralógico del lente de lutita negra</i> .....	96
Tabla 40. <i>Porcentaje químico del lente de lutita negra</i> .....	96
Tabla 41. <i>Porcentaje mineralógico promedio de las Lutitas rojas</i> .....	96
Tabla 42. <i>Porcentaje químico promedio de las Lutitas rojas</i> .....	97
Tabla 43. <i>Porcentaje mineralógico de las Lutitas amarillas</i> .....	97
Tabla 44. <i>Porcentaje químico de las Lutitas amarillas</i> .....	97
Tabla 45. <i>Porcentaje químico de la Arenisca rosada</i> .....	97
Tabla 46. <i>Recalculo del porcentaje mineralógico de las Lutitas Blancas al añadirle la cantidad mínima y máxima de feldespato empleada para gres cerámico</i> .....	101
Tabla 47. <i>Estimación del volumen de recursos por medio del método de las secciones paralelas para el futuro frente a explotar (2)</i> .....	104

Tabla 48. <i>Volumen del futuro frente a explotar 2 por medio del método de las secciones paralelas.</i> .....	105
Tabla 49. <i>Volumen del futuro frente a explotar 2 por medio del software Rockworks</i> .....	105
Tabla 50. <i>Estimación del volumen de recursos por medio del método de las secciones paralelas para el futuro frente a explotar (3).</i> .....	107
Tabla 51. <i>Volumen del futuro frente a explotar 3 por medio del método de las secciones paralelas.</i> .....	107
Tabla 52. <i>Volumen del futuro frente a explotar 3 por medio del software Rockworks</i> ....	107
Tabla 53. <i>Estimación del volumen de recursos por medio del método de las secciones paralelas para la mina La Providencia.</i> .....	110
Tabla 54. <i>Volumen de la mina La Providencia por medio del método de las secciones paralelas.</i> .....	110
Tabla 55. <i>Volumen de la mina La Providencia por medio del software Rockworks.</i> .....	110

## CAPITULO I

### 1 INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Ubicación

La mina “La Providencia” se encuentra en la Finca El Molino, en el caserío Bella Vista de Cuara, jurisdicción del municipio Juan Bautista Rodríguez, distrito Jiménez del estado Lara, Venezuela (Figura 1). Abarca un área alrededor de 134,28 hectáreas. La vía de acceso es por la carretera Quíbor-Cubiro a 7 km hacia al sur aproximadamente de la ciudad de Quíbor

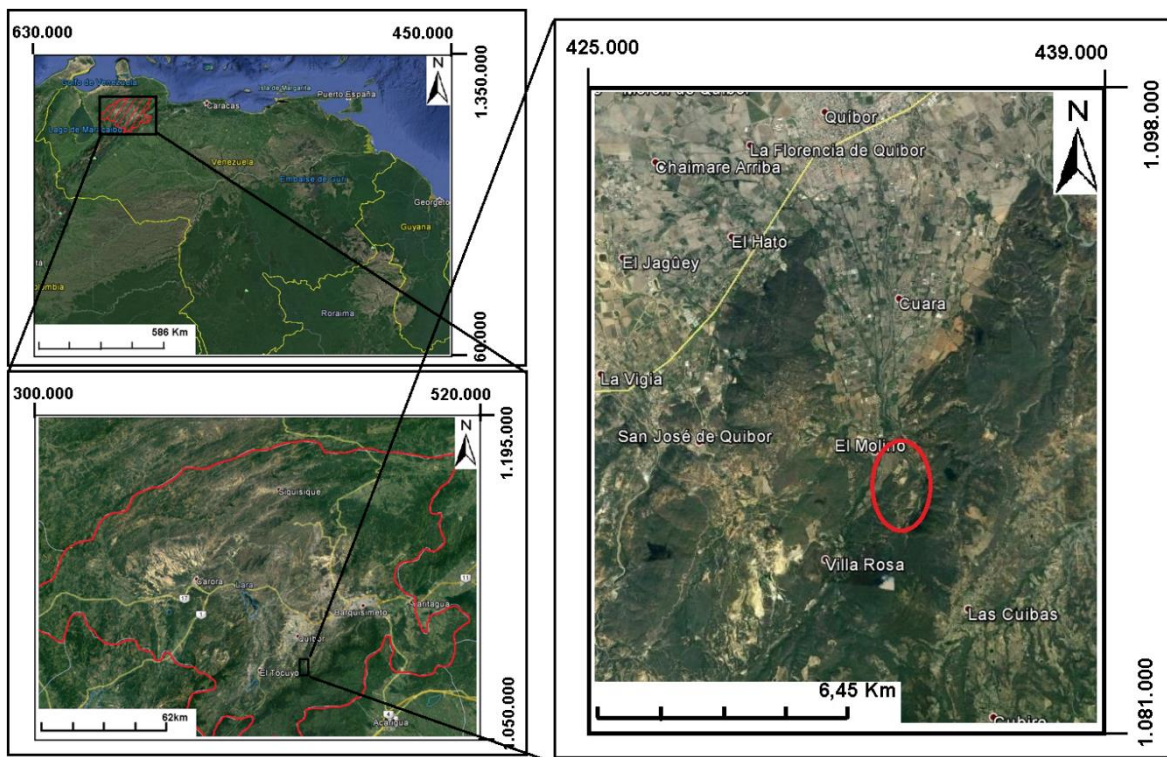


Figura 1. Ubicación del área de estudio dentro del estado Lara y su ubicación en el país. Tomado de: Google earth.

La poligonal de la mina se muestra en la Figura 2 y sus coordenadas UTM:  
Datum Regven Huso 19 N en la Tabla 1.

Tabla 1 *Coordenadas en UTM de la poligonal de la mina "La Providencia"*

<b>Punto</b>	<b>Norte</b>	<b>Este</b>
<b>H-0</b>	1.088.942	433.778
<b>H-1</b>	1.088.910	433.539
<b>1</b>	1.088.953	433.539
<b>2</b>	1.088.896	433.536
<b>3</b>	1.088.866	433.543
<b>4</b>	1.088.795	433.551
<b>5</b>	1.088.712	433.591
<b>6</b>	1.088.674	433.605
<b>7</b>	1.088.225	433.540
<b>8</b>	1.087.660	433.040
<b>9</b>	1.087.350	432.800
<b>M-2</b>	1.086.900	435.565
<b>M-1</b>	1.086.870	433.955
<b>H-67</b>	1.088.899	433.790
<b>H-66</b>	1.086.999	433.820
<b>H-65</b>	1.084.110	433.895
<b>H-62</b>	1.087.277	433.945
<b>H-61</b>	1.087.400	434.000
<b>H-58</b>	1.087.502	434.001
<b>H-59</b>	1.087.560	434.125
<b>H-60</b>	1.087.595	434.205

<b>H-57</b>	1.087.885	434.230
<b>H-53</b>	1.088.085	434.135
<b>H-51</b>	1.088.200	434.015
<b>H-49</b>	1.088.340	433.880
<b>H-48</b>	1.088.425	433.835
<b>H-46</b>	1.088.735	433.665
<b>H-0</b>	1.088.942	433.778

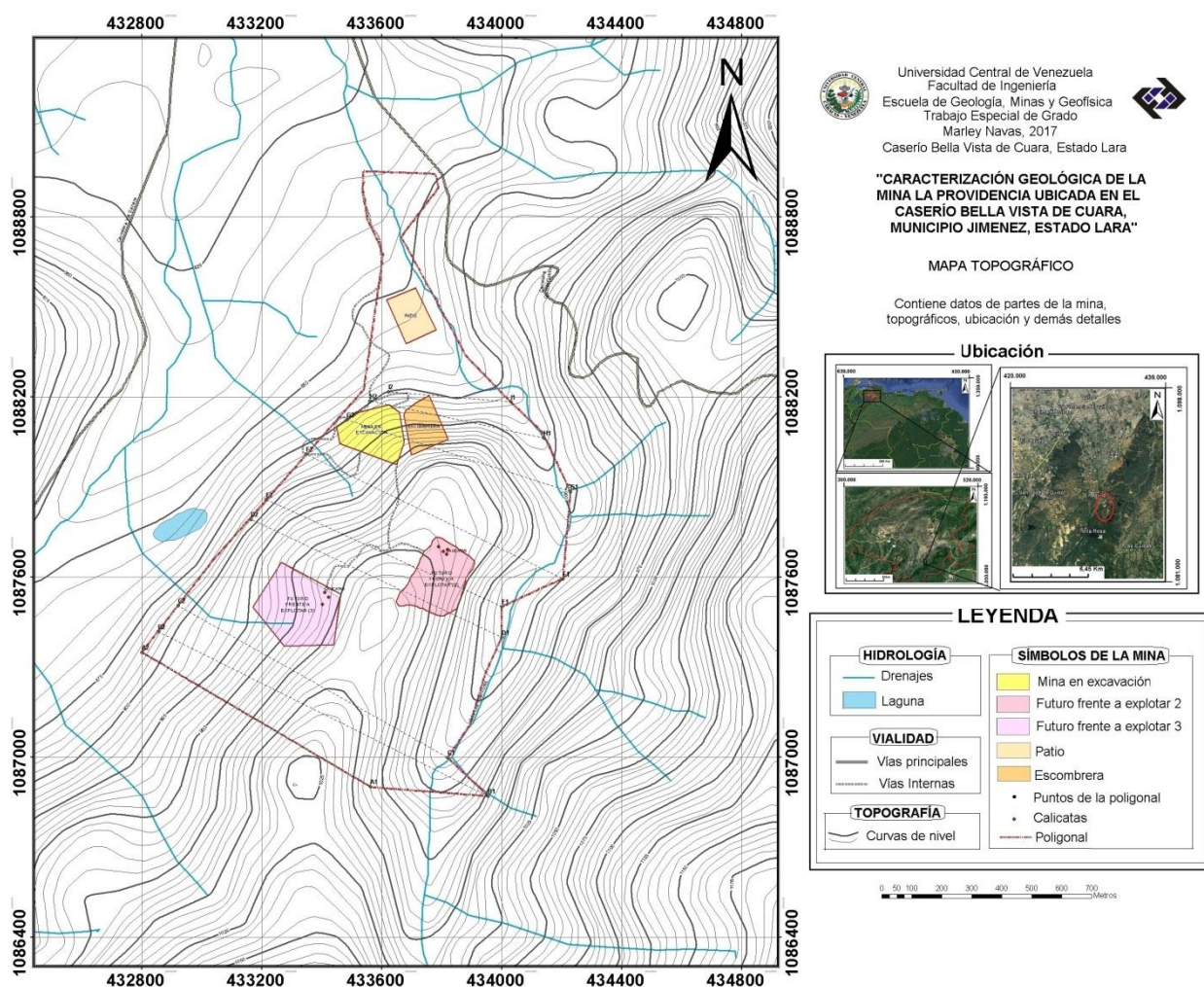


Figura 2 Mapa topográfico de la mina “La Providencia”. Donde se muestra su poligonal, detalles de los frentes, entre otros.



## **1.2 Objetivo**

### **1.2.1 Objetivo general**

Realizar una caracterización geológica de la mina “La Providencia” ubicada en el caserío Bella Vista de Cuara, municipio Jiménez, estado Lara, para la identificación y cuantificación de los recursos inferidos existente para su explotación y uso industrial.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

- Realizar el levantamiento geológico por medio de un trabajo de geología de superficie tomando como criterio de recolección muestras de rocas asociadas a la mina de acuerdo a 1) por su disposición espacial y 2) cambios importantes a nivel de litología y/o mineralógico.
- Realizar un estudio de las distintas muestras de rocas friables obtenidas durante el trabajo de campo por medio de ensayos de Difracción de Rayos X (DRX), Absorción Atómica (AA), ensayos geotécnicos como límite líquido y límite plástico, determinar la composición química y mineralógica de las rocas que conforman la mina.
- Realizar análisis petrográficos en el caso de muestras duras y de tamaño de grano observables por el microscopio, para clasificar litológicamente.
- Elaborar un mapa geológico, de contenido químico, de reservas, a partir de los datos obtenidos durante las etapas de campo y post-campo.
- Estimar los recursos inferidos en la mina, con el uso de los programas ArcGis 10.3 y RockWorks 16.

### **1.3 Justificación**

Debido a la falta de estudios geológicos recientes en la zona de estudio, así como también un mapa geológico con mayor nivel de detalle, aunado a la dificultad de identificar minerales de arcilla en rocas de grano fino durante el trabajo de campo, hacen que sea necesario un estudio como el planteado en la presente investigación para que la empresa “Arcillas La Providencia”, ubicada en el caserío Bella Vista de Cuara, municipio Jiménez del estado Lara, puedan proveer de la materia prima a la nación.

Para la explotación de cualquier mina es necesario en primer lugar elaborar un estudio geológico para así conocer el material que contiene. Por otro lado, el estudio litológico más reciente que existe cerca de la zona lo realizó Rodríguez en 1991 y a nivel de la mina no se han llevado a cabo estudios de éste tipo, por ello es resulta importante actualizar los datos, para así poder proporcionar la información geoquímica-mineralógica detallada y una estimación de recursos inferidos que en conjunto a la “Oficina Técnica José Heredia & Asociados” e “Ingenieros De Santis” se llevará a cabo en esta investigación por medio de distintos métodos o ensayos como Difracción de Rayos X (DRX), Absorción Atómica (AA) y ensayos de laboratorios como límites de Atterberg, azul de metileno, PH, salinidad, entre otros, para conocer características del material como su naturaleza plástica, mineralógica y otros detalles.

### **1.4 Planteamiento del problema**

Las arcillas son minerales que pueden proceder de la alteración de la roca magmática, metamórfica, o de una sedimentaria con alto contenido en feldespato y

después del transporte dar arcillas detríticas, se originan principalmente además dentro de un clima inter-tropical (PDVSA 1997, Gómez 2010). En Venezuela se dieron todas las condiciones favorables y por eso es que se posee una reserva importante de este recurso de acuerdo al sistema de clasificación de climas de Köppen y al trabajo llevado a cabo por Evanoff (1957).

Las arcillas son entonces minerales pertenecientes al grupo de los silicatos, sub-grupo filosilicatos están formados por láminas de tetraedros de sílice. Dentro de esta clasificación se subdividen principalmente en tres grupos: de la mica, serpentina y arcilla; éste último es el de mayor interés de estudio para este trabajo de investigación y se divide a su vez en: el grupo de la caolinita, esmectita, illita y clorita (Manual de mineralogía, Klein & Hurlbut 2011); cada una de las arcillas de estos grupos poseen características mecánicas y usos con fines industriales distintos es por ello que es importante poseer entonces una información detallada desde el punto de vista mineralógico y químico para que los directivos de la empresa “Arcillas La Providencia C.A” encargados de la explotación del recurso tomen decisiones respecto a la extracción del material y utilización para así abastecer de materia prima al mercado nacional para su desarrollo.

## **1.5 Antecedentes**

### **1.5.1 Antecedentes metodológicos**

**HERNANDEZ (2006)** realizó un estudio geológico y reconocimiento de arcillas expansivas en suelos ubicado en una zona al sur de Maracay, estado Aragua, con el propósito de identificar y ubicar de forma precisa los tipos de arcillas expansivas y su mineralogía. Como aporte, generó un mapa de uso de suelos que muestra la información relacionada a la topografía de la zona de estudio e indicó las diferentes

posiciones de la orilla del lago de Valencia para los meses de julio de 2005 y diciembre de 2005. La zona de estudio está conformada por planicies de agradación de las riberas del lago, que contienen significativas cantidades de restos de *Planorbis Sp* el cual es llamado localmente “caracolillo”. Fueron extraídas un total de 11 muestras de suelo, con un tamaño de 4 kilogramos de las cuales fueron analizadas con difracción de rayos X un total de 7 muestras. Estos ensayos de DRX revelan la presencia de illita, caolinita y montmorillonita en casi 50% de peso total de las muestras.

**CASTRO & RIVERO (2010)** Realizaron una caracterización geológica de las rocas sedimentarias que constituyen el subsuelo de un sector de la hacienda El Marqués, Guatire, estado Miranda y a su vez evaluaron el potencial de éstas como materia prima en la industria alfarera. Para evaluar la calidad de los sedimentos detríticos estudiados como materia prima en la industria alfarera se utilizaron ensayos de Difracción de Rayos X, análisis químicos, análisis granulométricos, peso unitario, contenido de humedad natural y plasticidad. Además se elaboraron probetas que fueron cocidas a temperaturas cercanas a los 950°C para determinar la contracción lineal, absorción y los colores de cocción; características indispensables para determinar la aptitud de las rocas estudiadas como materia prima.

**CORREA & QUINTERO (2011)** realizaron una evaluación mineralógica de la mina PIM 9000 ubicada al noroeste de Tinaco, estado Cojedes cuya finalidad fue contribuir a las investigaciones sobre la disposición del material en la mina para optimizar las actividades de extracción del feldespatos en cantidad y calidad adecuadas para garantizar el suministro requerido por Cerámicas Carabobo. Observaron que las condiciones de las rocas presentes en el yacimiento eran avanzadas y por ello se realizaron estudios por métodos indirectos de caracterización química: Espectrometría de Absorción Atómica (AAS), Fluorescencia de Rayos X (FRX-DE)

y por métodos de caracterización mineralógica: Difracción de Rayos X (DRX), y por petrografía. El método de medición de la radiactividad espontánea con espectrómetro gamma portátil y la integración de los resultados con métodos geoestadísticos.

### **1.5.2 Antecedentes de estudios previos**

**EVANOFF et al. (1957)** Presentaron un trabajo en el VI Congreso Venezolano de Ingeniería sobre las arcillas blancas en el estado Lara en el cual pudieron comprobar la existencia de grandes cantidades de éste depósito mineral. Comprobaron además que los yacimientos de la arcilla no son continuos, pero forman extensas zonas, grandes bolsones de material macizo en algunas partes, o intercaladas con otros sedimentos; algunas de las masas están completamente descubiertas; otras tienen un recubrimiento cuyo espesor varía entre 1 hasta 30 metros. La arcilla se la encuentra desde la población de Barbacoas, del distrito Morán. Hasta unos 40 kilómetros al norte de Bobare, en una franja que corre de suroeste a noreste. Estudiaron además que las arcillas blancas son de edad Eoceno, probablemente equivalente al Eoceno-Medio. La sola posible excepción sería las arcillas de Barbacoas, las cuales han sido consideradas previamente como parte del Grupo Cogollo. Concluyeron que su cantidad y calidad indicaban que se convertiría en una importante fuente de materia prima para el desarrollo industrial de la región lo cual produciría favorables efectos sobre la economía nacional.

**OSTEN & ZOZAYA (1957)** Estudiaron la geología de la parte suroeste del estado Lara, región de Quíbor, específicamente, establecieron la historia geológica de la zona en la cual se inicia en el Cretácico Inferior. Trabajaron también la geología económica y descubrieron un gran interés de depósitos de arcillas blancas caoliníticas. Respecto a las materias primas más importantes para la industria de la

construcción sus resultados arrojaron que son las lutitas y arcillas con aplicación en la alfarería. Otro punto de interés en su investigación fue en la región montañosa al sur de la población de Guárico en donde existen yacimientos de arenas blancas muy puras, aptas para la fabricación de vidrio. Además, no se encontraron yacimientos metálicos de importancia comercial y descubrieron que los pozos productores de agua en el valle están regidos por fallas.

**CUARTIN (1983)** Realizó un estudio geológico en la zona del distrito Jiménez, en el estado Lara, al sur de las poblaciones de Quíbor y Barquisimeto, e incluye al pueblo de Cubiro con un área total de 70 km<sup>2</sup>. En este estudio se reconoció una secuencia litoestratigráfica del Cretáceo Medio, hasta el Terciario y Paleoceno-Eoceno definidas por las formaciones Barquisimeto, Villanueva y Morán, de base a tope. El rasgo estructural más importante de la zona lo constituye ramales de la falla de Boconó, que es una notable geofractura que ha afectado todo el panorama topográfico del área, existiendo evidencia de actividad reciente, pero que ha actuado desde el Cretácico. También demostró que existen otras fallas importantes pero posiblemente constituyen parte de los ramales asociados con la falla de Boconó. En su trabajo presentó otro rasgo estructural importante que lo representa el cabalgamiento de la Formación Barquisimeto sobre la Formación Villanueva. Por otra parte, estratigráficamente expuso que la Formación Villanueva se encuentra constituida por lutitas pizarrosas, afectadas en partes por un ligero metamorfismo que la transformaron a filitas, el contacto con la Formación Morán, lo representa la falla de Boconó, esta formación está constituida por espesas capas intercaladas de lutitas y areniscas, y dependiendo de las relaciones de tipo volumétrico se pudo llegar a diferenciar los miembros: Lutitas del Tocuyo y Areniscas del Botucal.

**RODRIGUEZ (1983)** realizó un estudio de muestras de suelo de tres áreas del estado Lara específicamente en Quíbor, Turbio y Cubiro, éstas fueron analizadas en

el microscopio electrónico de barrido, para determinar su micromorfología e identificar la mineralogía presente. Observó la semejanza mineralógica entre las muestras de Quíbor y Turbio cuyos minerales constituyentes son: illita, muscovita, paligorskita, pirofilita, calcita y tectosilicatos; sin embargo observó un grado pedogenético más acentuado en el suelo de Quibor. Por otra parte, en las muestras de Cubiro se identificó caolinita, haloisita, illita, vermiculita y gohetita que le indicó un grado pedogenético de alto desarrollo.

**ALARCÓN (1990)** hizo un reconocimiento geológico y prospección de arcillas de uso industrial, en la región de Quibor-Sanare, estado Lara en donde explica los resultados obtenidos a partir de una labor de campo, que abarca 118 km<sup>2</sup>. Respecto a las unidades litoestratigráficas que afloran en esa área de estudio descubrió que son de edades comprendida entre el Cretácico Inferior hasta el Mioceno- Plioceno, correspondientes a las formaciones: Carorita-Barquisimeto (Provincia alóctona), Morán y Pegón (Provincia autóctona). De acuerdo a sus resultados clasificó las arcillas en tres grupos: el grupo A obtuvo una calidad óptima con 34 millones de toneladas métricas, las del grupo B obtuvo una calidad intermedia con un potencial de 81 millones de toneladas métricas. Las arcillas del grupo C de calidad no recomendada con un potencial aproximado de 3 millones de toneladas métricas. Todas las muestras de arcillas arrojaron que son ilitica-cuarzosas-feldespáticas, algunas presentaron mezclas illita/montmorillonita y la diferencia entre los tres grupos de arcilla fue el porcentaje de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

**RODRÍGUEZ (1991)** Describió la mineralogía de las fracciones de limo y arcilla de tres distintos ambientes en el estado Lara. Suelo de la planicie aluvial reciente del río Turbio y los de la depresión tectónica de Quíbor que se encuentran localizadas en distintos ambientes sin conexión aparente fluvial, resultaron poseer la misma.

Mientras que en los suelos localizados en Cubiro y Villanueva resultaron ser mineralógicamente iguales entre ellos.

**ALVAREZ (2006)** realizó un estudio neotectónico en las cuencas neógenas de El Tocuyo, Quíbor y Yay, con la finalidad de comprender la evolución tectónica de dichas cuencas, inventariar las evidencias geomorfológicas de deformaciones recientes y proponer un modelo evolutivo para cada una de las cuencas.

## **1.6 Metodología**

Para cumplir con los objetivos planteados en el proyecto se trabajó bajo un esquema de tres etapas generales, las cuales han sido catalogadas como: Pre-campo (compilatoria), campo y post-campo (laboratorio y oficina)

### **1.6.1 Etapa Pre-Campo (compilatoria)**

En esta etapa consiste en la interpretación previa al trabajo de campo en el cual en base a la compilación hemerográfica y/o bibliográfica. Así como también recopilación cartográfica en mapas topográficos, geológicos, imágenes satelitales, luego se realizó una interpretación en el cual se identificó estructuras, el drenaje, las unidades en las que está dividida y vías de acceso de la zona, todo esto con el fin de conocer el contexto geológico regional al cual se encuentra sometido la zona de estudio. Además que este estudio permitió planificar la metodología de recolección de muestras, acceso, entre otros, que se empleó durante el trabajo de campo. Dicha interpretación realizada fué llevada al mapa topográfico.

- Compilación hemerográfica y/o bibliográfica: en trabajos especiales de grado, artículos, publicaciones, congresos, libros, informes técnicos, entre otros. Se



analizó cada una de las conclusiones llegadas para poder generar un contexto regional de la zona de estudio como por ejemplo las Formaciones. Este paso si bien se realizó al inicio del estudio también se extendió en parte por el resto de las otras etapas.

- Recopilación cartográfica en mapas: la revisión del mapa topográfico correspondiente a la zona de estudio el cual se encontró en el Instituto de Cartografía Simón Bolívar, específicamente el nombre es “La Fortuna” número 6245-I-SE a escala 1:25.000. Además de un mapa topográfico en físico de la mina a escala 1:5.000 que contiene detalles del frente de explotación, futuros frentes a explotar (2) y (3), poligonal y otras partes de interés, dicha información fue digitalizada por medio de los programas Google Earth, Global Mapper 16 y ArcGis 10.3 (figura 2). Respecto a los mapas geológicos se encontró uno a nivel de regional disponible en el sitio web de la Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas (FUNVISIS) y en trabajos especiales de grado, excursiones, congresos, entre otros, ya más de manera local. También se analizaron imágenes satelitales obtenidas por Google Earth.
- Planificación de la etapa de campo: una vez analizado lo anterior se procedió a preparar una metodología de recolección de muestras para cumplir con los objetivos planteados basado en cambios importantes a nivel litológico y/o mineralógico. Se nombró con las letras MPXX donde la letra “M” corresponde a la palabra “Muestra”, la “P” al nombre de la mina “La Providencia” y el “XX” es el número de la muestra que se recolectó. Además se pudo conocer las vías de acceso, entre otros.

### **1.6.2 Etapa de campo**

El trabajo de campo se realizó aproximadamente en 8 días que fueron distribuidos en dos semanas, la primera de recolección de datos de descripción litológica, toma de muestras, medición de rumbos y buzamientos, identificación de estructuras, caracterización geológica. Y la segunda para rectificar o reafirmar ya con un análisis previo realizado los datos antes proporcionados en la primera semana.

El levantamiento geológico se realizó tomando en cuenta parámetros litológicos como por ejemplo cambios importantes de composición mineralógica, espesores, tomando las coordenadas del punto a estudiar con un Garmin GPSmap 16CSX, considerando un rango de error de 10m aproximadamente. También consideró cambios estructurales importantes como por ejemplo en el caso de los pliegues se hizo énfasis en la clasificación, en el caso de observar fallas se mide el rumbo y buzamiento del plano además se buscó evidencias del movimiento realizado. Además de los pliegues y las fallas se buscó identificar otros parámetros estructurales como basculamientos, diaclasas, todo esto con el fin de conocer su organización en 3 dimensiones, generar una precisa estimación de volumen.

### **1.6.3 Etapa de Post-Campo (laboratorio y oficina)**

Una vez finalizado el trabajo de campo se procede a la realización de ensayos de laboratorio de las muestras obtenidas para proceder con el análisis de los resultados para establecer un modelo geológico en 3 dimensiones de las estructuras y litología presentes en la mina y sus alrededores.

### 1.6.3.1 Laboratorio

- **Difracción de Rayos X (DRX)**

Se ejecuta el ensayo por Difracción de Rayos X (DRX) para identificar mineralógicamente las muestras. El Difractómetro de Rayos X es un instrumento que utiliza la radiación monocromática de cobre ( $1,5418 \text{ \AA}$ ) y una muestra finamente pulverizada (Hurlbut & Klein, 2011) y esta información se registra en un gráfico denominado difractograma.

Se realiza en el Instituto de Ciencias de la Tierra de la facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela con un difractómetro marca Brucker, modelo D8 bajo el método de polvo (Figura 3).



Figura 3 Equipo de Difracción de Rayos X. tomado de la página web del Instituto de Ciencias de la Tierra de la UCV. [http://gea.ciens.ucv.ve/webict/web/?page\\_id=64](http://gea.ciens.ucv.ve/webict/web/?page_id=64).

La preparación de la muestra consiste en disgregar en un mortero de ágata lo más fino posible para luego ser colocado en una lámina, posteriormente introducido en el equipo y generar los difractograma (Arcia & Viana 2014).

- **Absorción Atómica (AA)**

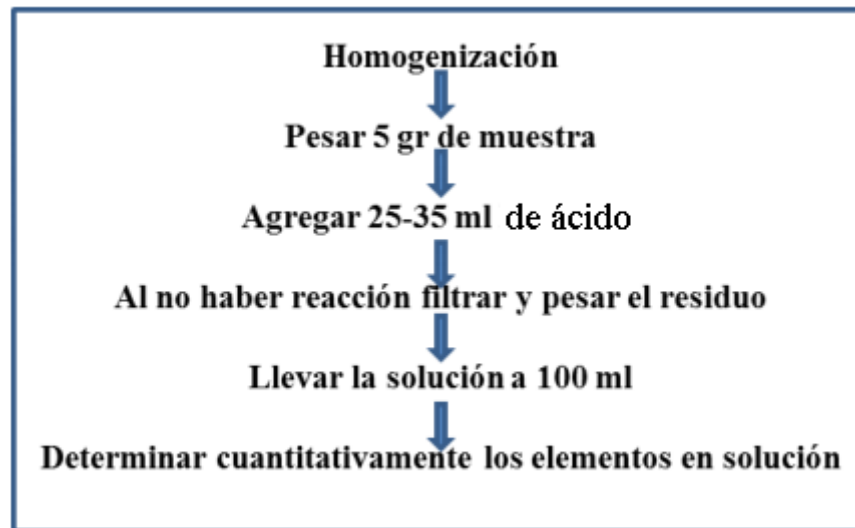
La absorción atómica es el proceso que ocurre cuando átomos de un elemento en estado fundamental absorben energía radiante a una longitud de onda específica. La cantidad de radiación absorbida aumenta al hacerlo el número de átomos del elemento presentes en el camino óptico, utilizándose esto con fines analíticos cuantitativos. Fernandez & Martins 2012.

Dicho ensayo se realiza en Instituto de Ciencias de la Tierra de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela con un espectrofotómetro de Absorción atómica marca Pelkin Elmer modelo Analyst 200 (Figura 4) a 10 muestras ya pulverizadas previamente para conocer las concentraciones de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2$ .



Figura 4. Espectrofotómetro de Absorción atómica marca Pelkin Elmer modelo Analyst 200 donde se realizó en ensayo. Tomado de [http://gea.ciens.ucv.ve/\\_webict/web/?page\\_id=68](http://gea.ciens.ucv.ve/_webict/web/?page_id=68).

Para la descomposición y disolución de muestras sólidas se siguieron los procedimientos habituales, que incluyen tratamiento con ácidos minerales en caliente, oxidación con reactivos líquidos ( $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HClO}_4$ , etc.), combustión en bomba con disgregaciones a altas temperaturas. El diagrama de la metodología se muestra en la figura 5.



*Figura 5.* Metodología para Absorción Atómica. (Tomado de Fernandez & Martins 2012)

- **Límites de Consistencia**

Los ensayos de los límites de Atterberg (Líquido y Plástico) que son determinados por pruebas de laboratorio relativamente simples que proporcionan información sobre la naturaleza de los materiales (suelo o en este caso roca disgregada) cohesivos. Las pruebas son usadas ampliamente por ingenieros para correlacionar varios parámetros físicos del material así como para la clasificación del mismo (Braja M. Das, 2001). Con estos ensayos se busca confirmar los demás realizados ya que su comportamiento plástico está ligado a la composición mineralógica, específicamente al contenido del grupo de las arcillas que ella puede contener, además graficando los resultados en la carta de plasticidad de Casagrande (Figura 6) se puede saber qué tipo de material fino es (tipo arcilla o limo), conocer si

es de naturaleza orgánica o no y conocer el índice de plasticidad de la materia prima para conocer su uso industrial.

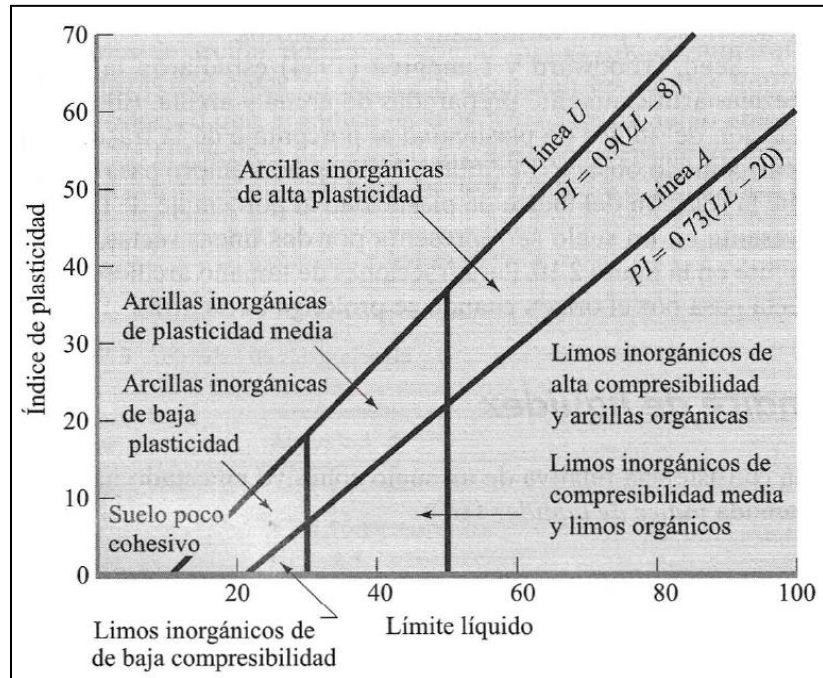


Figura 6. Carta de plasticidad de Casagrande. Tomado de Braja M. Das, 2001.

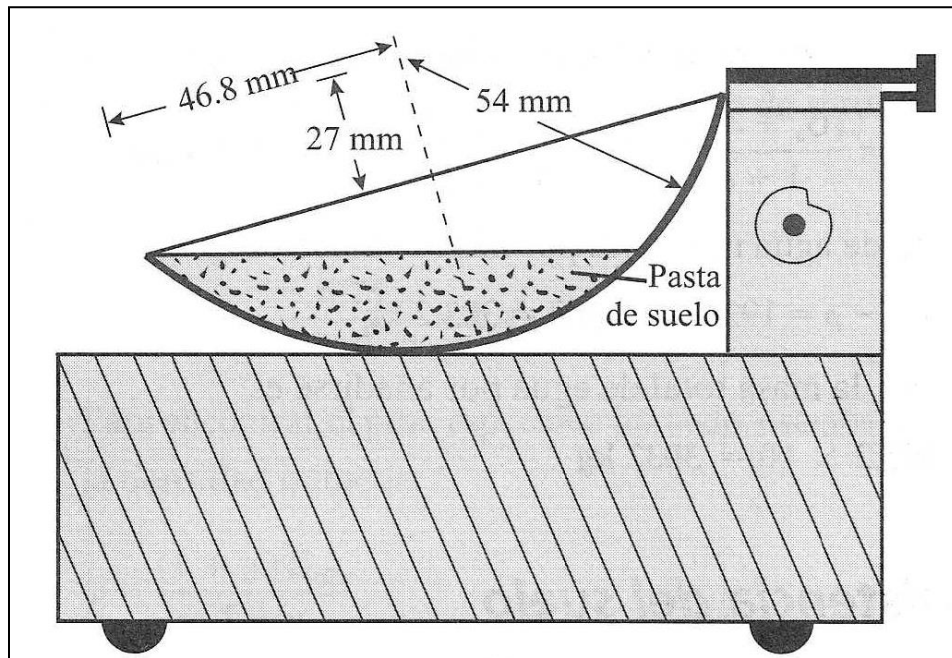


Figura 7. Cuchara de Casagrande. Tomado de Braja M. Das, 2001

La preparación de la muestra consiste en disgregar la muestra en un mortero, luego tamizarla por un tamiz número 40 y lo que pase es lo que se usó para ser mezclado con contenido de variable de agua para proceder a realizar los ensayos. (Braja M. Das, 2001)

Este ensayo se llevará a cabo en los Laboratorios “José Heredia & Asociados” y en “Ingenieros De Santis”.

- **Granulometría**

Según el manual de granulometría de la Universidad Católica de Valparaíso: El análisis granulométrico tiene, por tanto, por objeto determinar el tamaño de los granos que componen el suelo y la proporción de una determinada fracción de granos como porcentaje de la masa total de la muestra de acuerdo a la norma ASTM D422-63 (2007). Así es posible también su clasificación mediante sistemas como AASHTO o el empleado en este trabajo que es el USCS.

**Tamizado**

Para obtener la distribución de tamaños, se emplean tamices normalizados y numerados, dispuestos en orden decreciente. Para suelos con tamaño de partículas mayor a 0,074 mm. (74 micrones) se utiliza el método de análisis mecánico mediante tamices de abertura y numeración indicado en la tabla 2. Para suelos de tamaño inferior, se utiliza el método del hidrómetro, basado en la ley de Stokes.

Tabla 2. Numeración y abertura de tamices. Fuente: Espinace R., 1979

Tamiz (ASTM)	Abertura (mm)	Tipo
3	76,12	Grava
2	50,80	
1 1/2	38,10	
1	25,40	
3/4	19,05	
3/8	9,52	
N° 4	4,76	Arena gruesa

---

N° 10	2	Arena media
N° 20	0,84	
N° 40	0,42	
N° 60	0,25	Arena fina
N° 140	0,105	
N° 160	0,074	

---

Se homogeniza cuidadosamente el total de la muestra en estado natural (desmenuzándola con un mazo), tratando de evitar romper sus partículas individuales. Se reduce por cuarteo una cantidad de muestra levemente superior a la mínima recomendada según el tamaño máximo de partícula.

Se seca el material ya sea al aire a temperatura ambiente, o bien dentro de un horno a una temperatura inferior a 60° C cuando esté seca, se obtiene la cantidad a ensayar.

A continuación, se deposita el material en la criba superior del juego de tamices, los que deberán encontrarse limpios y ordenados en forma decreciente. El juego deberá contar de una tapa en la parte superior y una bandeja de residuos en la inferior. Se hace vibrar el conjunto durante 5 a 10 minutos, tiempo después del cual se retira del vibrador y se registra el peso del material retenido en cada tamiz.

### **Hidrómetro**

De acuerdo al manual de granulometría por hidrómetro de la Universidad Católica de Valparaíso indica que este método se utiliza para obtener un valor estimado de la distribución granulométrica de suelos cuyas partículas se encuentran comprendidas entre los 0,074 mm. (malla N° 200 ASTM) y hasta alrededor de 0,001 mm. El análisis, utiliza la relación entre la velocidad de caída de una esfera en un fluido, el diámetro de la esfera, el peso específico de la esfera como del fluido y la viscosidad de este.

El procedimiento consiste en mezclar una cantidad de suelo (50 grs.) con agua destilada más 125 ml. de un agente dispersante (también denominado agente



defloculante), el que neutraliza las cargas eléctricas sobre las partículas más pequeñas del suelo que a menudo tienen carga negativa y se atraen entre sí con fuerza suficiente para permanecer unidos, creando así unidades mayores que funcionan como partículas. Así se obtiene una solución de 1000 cc. A continuación se agita la solución dentro de una mezcladora y se vacía a otra probeta de 1000 cc. de capacidad que se encuentre apoyada sobre una base firme. Accionar el cronómetro, introducir el hidrómetro y el termómetro. Con las lecturas del hidrómetro con sus respectivas temperaturas, calcular el peso de los sólidos en suspensión para poder estimar el diámetro de las partículas. Se utiliza para ello un nomograma desarrollado por Casagrande, que está basado en la Ley de Stokes.

- **Azul de metileno**

Según el manual visualizado de FUNDALANAVIAL de Azul de metileno, tiene como objetivo clasificar de manera global la fracción arcillosa de un suelo, el resultado del ensayo depende directamente de la cantidad y de la naturaleza mineralógica de la muestra a ensayar. Se realiza según la norma AFNOR - DP 518. Consiste en una titulación química, donde solo los coloides del suelo absorben el azul de metileno, mediante lo cual permite determinar la superficie específica de ellos, conociendo el porcentaje de partículas coloridas presentes en el suelo y el volumen de azul consumido por la muestra ensayada. De esta manera el ensayo permite medir la capacidad de absorción iónica de los suelos. Debe entenderse que el consumo de solución de azul de metileno, será mayor a medida que aumente el contenido de coloides activos.

Tabla 3. *Tipo de mineral arcilloso de acuerdo a la superficie específica (Alvarado & Barquero, 2011)*

<b>Superficie específica (m<sup>2</sup>/g)</b>	<b>Tipo mineral de arcilla</b>
5 – 20	Caolinita
40 - 60	Illita
200 – 300	Vermiculitas
300 – 350	Montmorillonita Cálcica
750 - 800	Montmorillonita Sódica

- **Gravedad específica (en finos)**

Se realiza según la norma ASTM D854-10 (la empleada en este trabajo) o AASHTO T100-70. De acuerdo al manual visualizado de FUNDALANAVIAL: tiene como objetivo determinar la gravedad específica (Gs) de los suelos que pasan el tamiz 4,75 mm (N°4) por medio de un picnómetro. Se define como gravedad específica de la fase sólida de un suelo y la gravedad específica del agua a una temperatura de referencia especificada.

- **Conductividad eléctrica (CE) y Salinidad**

La capacidad del agua para conducir la electricidad aumenta con la concentración de sales. De esta forma, midiendo la conductividad eléctrica (CE) del agua mediante un par de electrodos, se puede estimar su salinidad de forma rápida y fiable. La conductividad eléctrica se mide generalmente en unidades de dS/m (deciSiemens por metro). Dicha conductividad eléctrica del agua depende de la temperatura por lo que, para realizar comparaciones válidas la conductividad eléctrica debe expresarse en relación a una temperatura de referencia. Habitualmente esta temperatura es de 25°C. En consecuencia, cuanto mayor es la conductividad a 25 °C (CE25), mayor es la concentración de sales del agua. Los aparatos que se usan para medir la conductividad eléctrica se llaman conductímetros. Existen modelos portátiles, de muy fácil manejo que proporcionan medidas fiables de la concentración de sales en el agua. Estos aparatos deben ser calibrados periódicamente con patrones de salinidad conocida para asegurar la fiabilidad de las mediciones.

Tabla 4. *Clasificación de los suelos de acuerdo a su Conductividad eléctrica y salinidad. Tomado de la página web de la Universidad de Chile.*

---

<b>CE en dS/m a 25 °C</b>	<b>Efectos</b>
---------------------------	----------------

---

0 – 2	No salino	Despreciable en su mayoría
2 – 4	Ligeramente salino	Se restringen los rendimientos de cultivos muy sensibles
4 – 8	Moderadamente salinos	Disminuyen los rendimientos de la mayoría de los cultivos. Entre los que toleran están: alfalfa, remolacha, cereales y los sorgos para grano.
8 – 16	Fuertemente salinos	Sólo dan rendimientos satisfactorios los cultivos tolerantes.
> 16	Muy fuertemente salinos	Sólo dan rendimientos satisfactorios algunos cultivos muy tolerantes.

- **PH**

El PH es una medida de acidez o alcalinidad de una disolución. El PH indica la concentración de iones hidrógeno  $[H]^+$  presentes en determinadas disoluciones. Se realiza según la norma I.N.V. E – 13, específicamente por el método eléctrico.

El valor del PH se puede medir de forma precisa mediante un potenciómetro, también conocido como PH-metro, un instrumento que mide la diferencia de potencial entre dos electrodos: un electrodo de referencia (generalmente de plata/cloruro de plata) y un electrodo de vidrio que es sensible al ion de hidrógeno.

Tabla 5 *Clasificación de los suelos según su PH*

<b>Reacción</b>	<b>PH</b>
Fuertemente ácido	< 5
Moderadamente ácido	5,1 – 6,5
Neutro	6,6 – 7,3
Moderadamente alcalino	7,4 – 8,5
Fuertemente alcalino (suelos sódicos)	> 8,5

### 1.6.3.2 Oficina

Luego de realizar todos los ensayos, se procede a efectuar un análisis individual y general de las muestras de acuerdo a su potencial de explotación y además generar un mapa geológico y de reservas que permitan observar el modelo

tridimensional de las estructuras y litologías presentes en el área para poder así estimar el volumen de reservas de la mina de arcillas “La Providencia” por medio del programa ArcGis10.3 y RockWorks.

## **CAPITULO II**

### **2 GEOGRAFÍA FÍSICA**

#### **2.1 Generalidades**

El área de estudio se encuentra ubicado en el caserío Bella Vista de Cuara, municipio Jiménez, Estado Lara, cuyas coordenadas UTM son 19N ubicadas en la tabla 1 y representado en la figura 8, se encuentra al sur de Quíbor, se reconocen dos zonas que presentan comportamientos climáticos, de precipitación, de drenajes y topográficos distintos:

- La primera se ubica en la mina “La Providencia” se encuentra en el caserío Bella Vista de Cuara, ubicada al sureste y parte del este del mapa de unidades topográfica (ver figura 8) correspondiente a un área de 5,3 Km<sup>2</sup> que es el 68% aproximadamente. Topográficamente es el dominante puesto que posee las alturas más altas llegando a ser de 1.040m de lomas y cerros, presenta las mayores pendientes respecto a la otra unidad. El clima es de acuerdo al autor Bosque seco Pre-montano (Holdridge 1967) o Tropical de sabana (Köppen 1948). Sus precipitaciones son entre 600mm a 1.200mm anual por lo que el autor (Thornthwaite 1955) lo clasifica como sub-húmedo.
- Ubicada al norte de la mina “La Providencia” en los poblados de El Molino y Cuara, se ubica al norte del mapa de unidades topográficas (ver figura 8) abarcando un área aproximada de 2,2 Km<sup>2</sup> correspondiente al 32 % del mismo. Se caracteriza por ser topográficamente de bajas cotas y pendientes llegando a ser un valle. Climáticamente poseen las mayores temperaturas llegando a ser clasificado como seco-cálido o semiárido (Köppen 1948)

dependiendo del autor; por ende, posee bajas precipitaciones entre 300mm y 600mm por año aproximadamente.

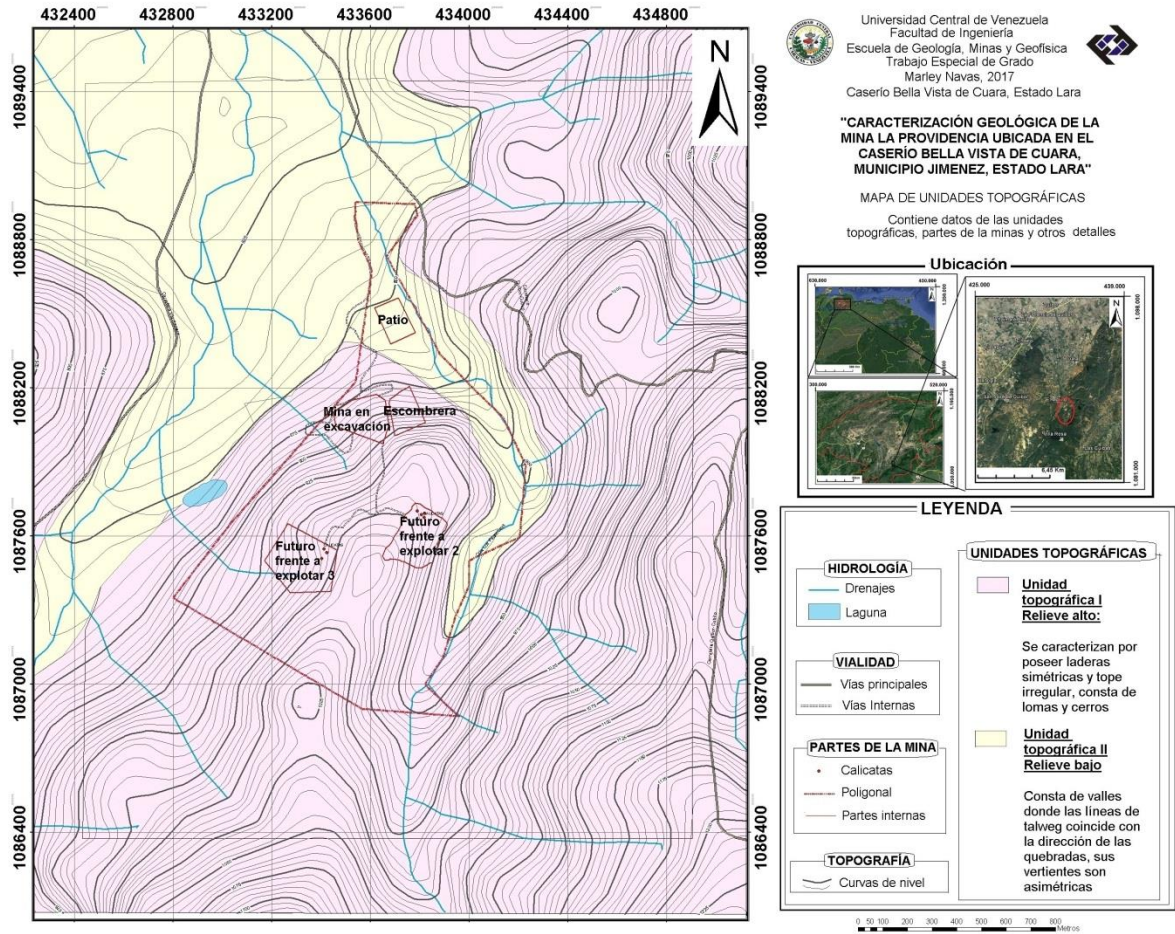


Figura 8. Mapa de Unidades topográficas.

## **2.2 Unidades topográficas**

### **2.2.1 Unidad topográfica I – Relieve alto.**

Esta unidad se caracteriza por ser la más dominante, es decir, que posee las mayores alturas, (máximo 1040 m). En términos generales son de laderas simétricas y tope irregular, consta de lomas y cerros que se describen a continuación:

- **T1- Lomas y cerros**

Abarcan el 68% del mapa de topografía ubicado en el centro de la hoja, consta de una loma cuyas cota máxima es de 1040 m. Su forma es alargada donde el rumbo aproximado es de N30E hacia el norte pero a medida que se va al sur este se hace más con dirección N-S. Con respecto a la línea de cresta es de forma irregular, sus laderas son simétricas y deforma convexa desde los 1.000 m hasta los 900m y a partir de allí cuando va perdiendo cota se hace cóncava. Presenta un grado de entallamiento medio de los afluentes de los drenajes sobre las laderas, principalmente hacia la zona este. Los cerros se ubican dentro de las lomas se caracterizan por presentar una topofoma circular, presenta una cota de 960m en su punto más alto aproximadamente.

### **2.2.2 Unidad topográfica II- Unidad de relieve bajo.**

Se caracteriza por poseer las alturas más bajas de la hoja consta de la siguiente topoforma:

- **T2-Valle**

Abarca el 33% aproximadamente del mapa topográfico. Es muy amplio y posee una línea de talweg que coincide con la quebrada Pilancones y la quebrada cd,

posee una orientación N-S preferencialmente. Sus vertientes son asimétricas en la cual principalmente la del sur posee mayor pendiente que la del oeste. Los tributarios están en cantidad moderada.



*Figura 9.* Fotografía en campo de las unidades topográficas I y II. La línea blanca delimita aproximadamente el contacto entre ellas. Dirección de la foto N40W coordenadas 432.525 E, 1.087.681 N.

### **2.3 Drenaje**

Son dos y están ubicadas por todo el mapa en dirección preferencial norte-sur. Se encuentra al sur del poblado de Quíbor, estado Lara, está constituido por una cuenca



que ocupa un área aproximada de 1,64 Km<sup>2</sup>, correspondiente al 22% del mapa (ver figura 8). Se dividen en dos tramos que se encuentran al este y oeste de la loma donde está la mina cuyas orientaciones son adaptadas a la topografía para luego desembocar en el valle de Quíbor. Estos tramos que se explicaran a continuación:

### **2.3.1 Tramo AB**

Hacia el norte se le denomina quebrada seca, pero a medida que va hacia el sur casi llegando al poblado de Cubiro se le llama quebrada Pilancones. Presenta una orientación preferencial norte-sur sin embargo desde el punto A cuyas coordenadas son 433.464 E, 1.087.295 N y el A' de coordenadas 434.232 E 1.086.432 N presenta una desviación N15W y desde el punto A' hasta el B (433.734 E, 1.086.432 N) presenta una de dirección de N20E. Su red de tributarios es densa hacia el este y su forma es dendrítica. Esta quebrada es adaptada a la topografía y drena con dirección desde el sur hasta el norte donde se encuentra el valle de Quibor. (Figura 10)

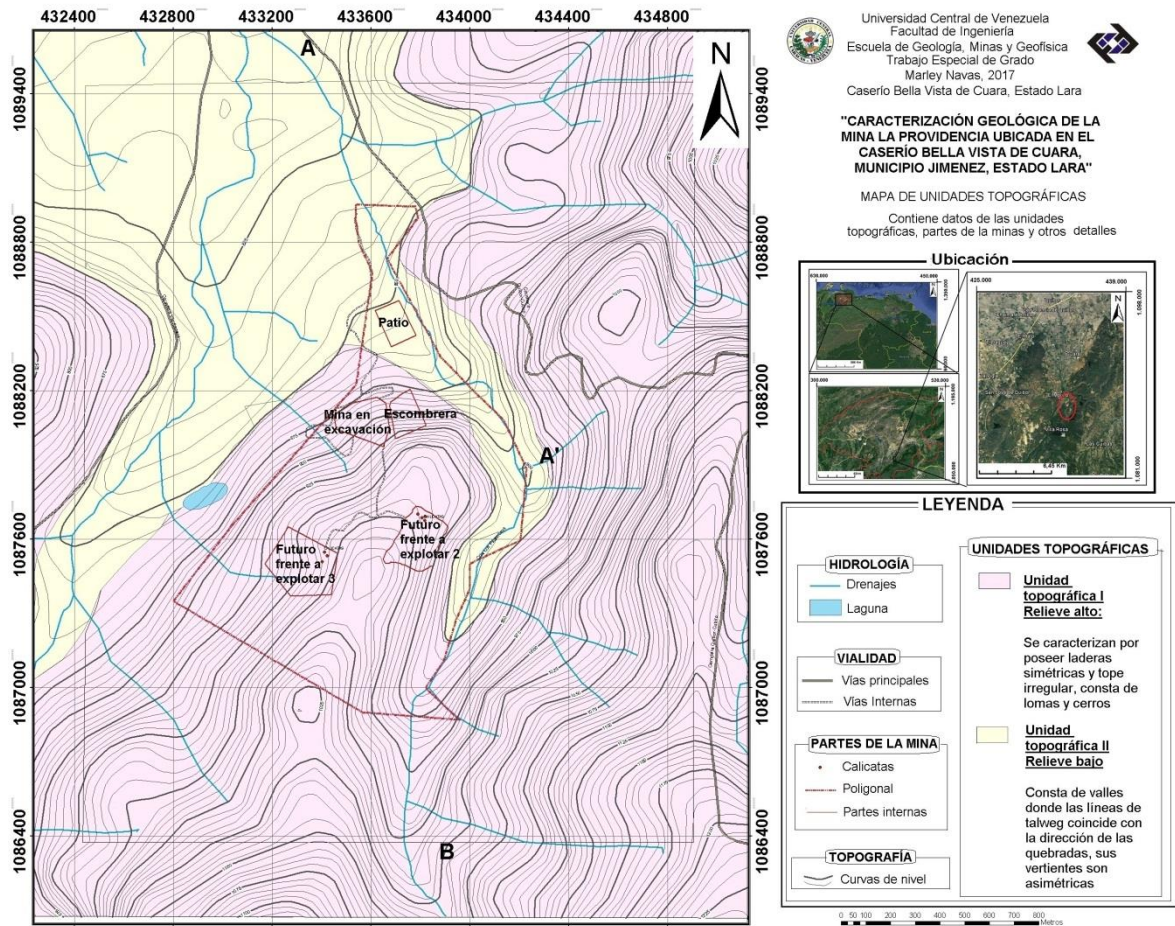


Figura 10. Ubicación de la quebrada AB en donde se observan el cambio de dirección en A'. Drena en sentido sur-norte.

### 2.3.2 Tramo CD

Posee una orientación preferencial norte-sur, sin embargo desde el punto C (433.128 E, 1.089.410 N) hasta C' (432.982 E, 1.088.428 N) presenta una desviación de N10E, y desde C' hasta D (432.401 E, 1.087.630 N) presenta una red de afluentes predominantes hacia el este que alimenta la quebrada principal, es de forma dendrítica y adaptada al paisaje. (Figura 11)

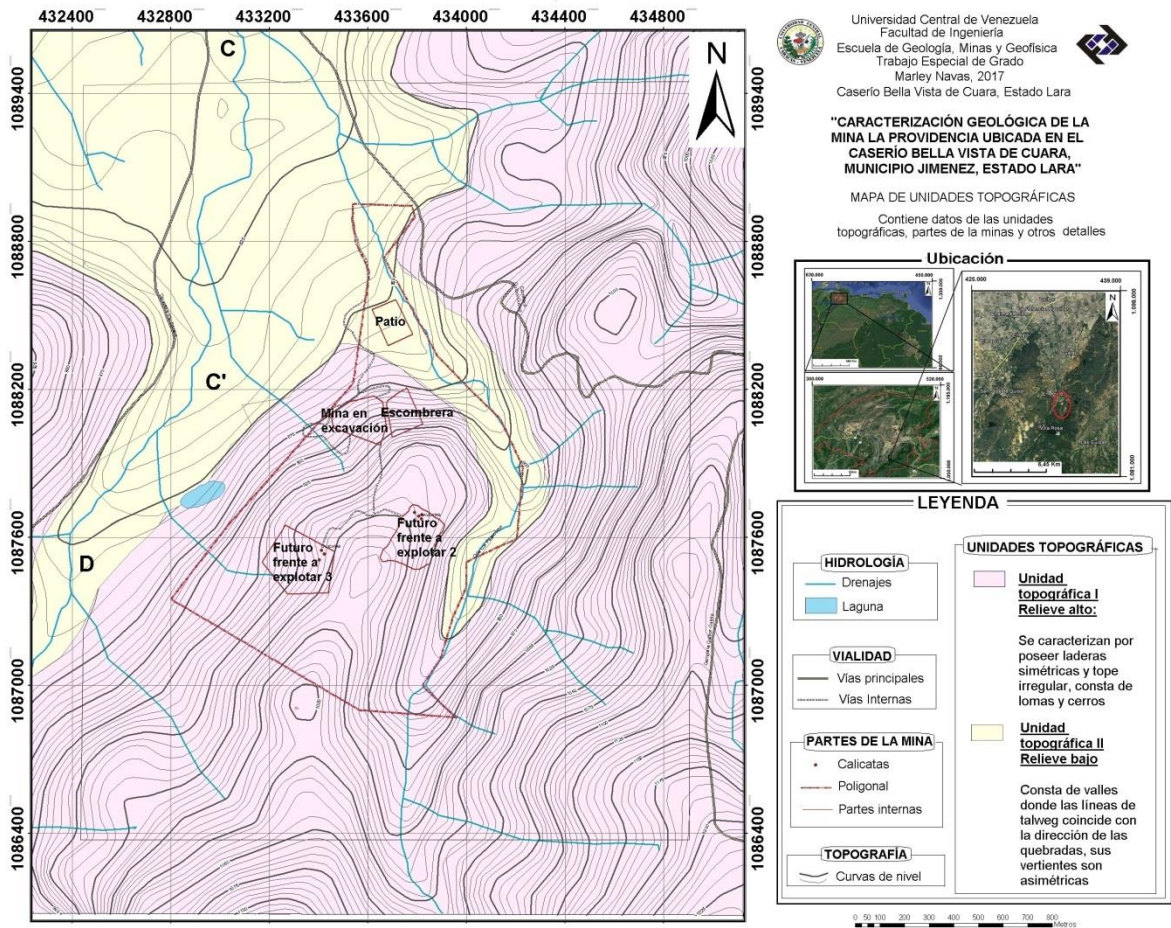


Figura 11. Mapa donde se observa el drenaje CD. Además se muestra en punto C' que es el punto donde cambia de dirección. Drena en sentido sur-norte



Figura 12. Fotografía en campo de la quebrada CD. Dirección de la foto SSE. Coordenadas 432.525 E, 1.087.681 N.

## 2.4 Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen (1948), existen dos tipos en la región:

- Aw Tropical de Sabana: Clima macrotérmico cálido, de la zona intertropical. Comprende dos períodos definidos, uno seco entre diciembre y marzo, y el otro lluvioso el resto del año. Éste a su vez se encuentra dividido en: *Aw*i de sabanas (herbazales) y bosques tropófico semi-secos. Y *aw*'i de sabanas (herbazales) y bosques tropófitos semi-húmedos.
- Bshi Semi-árido Tropical: caracterizado por vegetación xerófila o montes espinosos donde la evaporación es mayor que la precipitación.

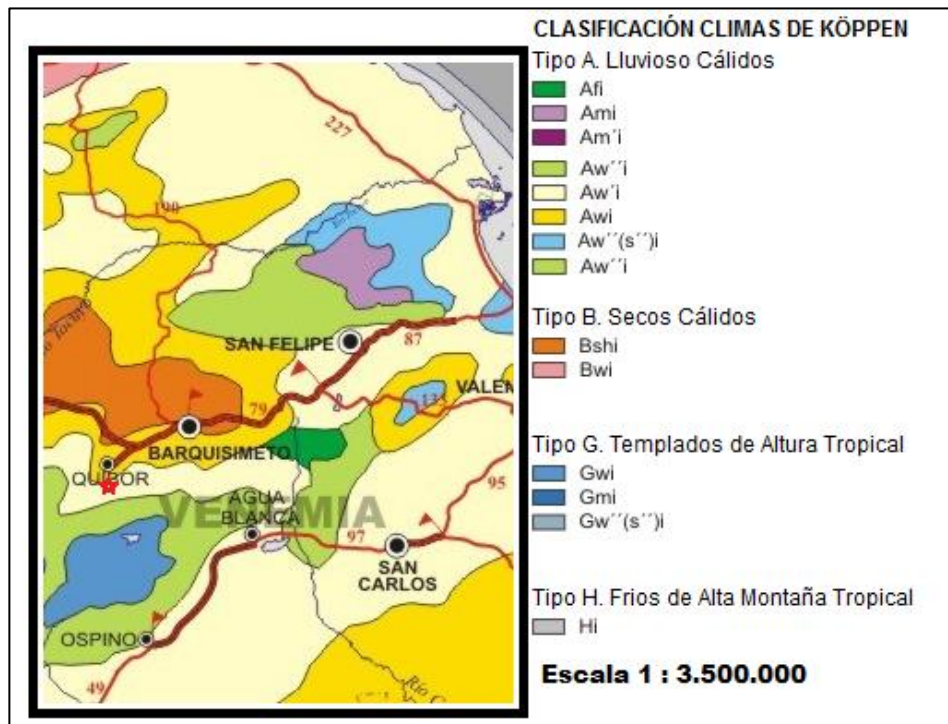


Figura 13. Mapa de los tipos de clima en la región según la clasificación de Köppen. La estrella roja indica la ubicación del área a estudiar. (Goldbrunner, 1974)

Por otro lado, según el sistema de clasificación de Holdridge (1967), se basa en la fisonomía o apariencia de la vegetación:

- Bosque seco pre-montano: se encuentra en la provincia sub-húmeda, presentan biotemperaturas que oscilan entre 18°C y 24°C y precipitaciones entre 500mm y 1000mm.

Según el sistema de clasificación de Thornthwaite (1955): se diferencian en pisos térmicos.

- Piso intertropical sub húmedo: donde su característica principal es que sus temperaturas oscilan entre 18°C y 24°C.

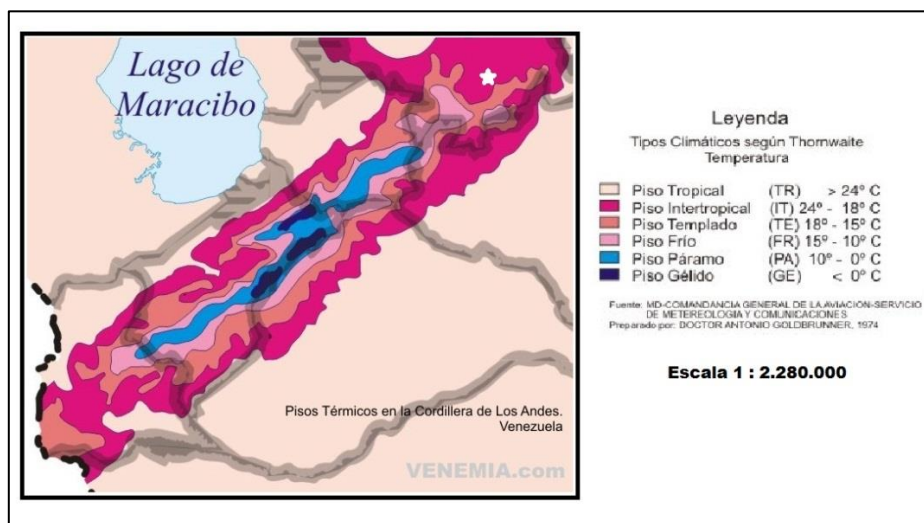


Figura 14. Mapa de los tipos de clima en la región según la clasificación de pisos térmicos de Thornthwaite. La estrella blanca indica la ubicación aproximada del área a estudiar. (Goldbrunner, 1974)

## 2.5 Precipitación

De acuerdo a cada clasificación del tipo de clima se le asocia a un rango en mm de precipitación anual, tal como es el caso de Köppen (1948) donde el clima tropical de sabana Aw es entre 600 y 1500. Por otro lado, según la clasificación de Holdridge (1967) afilia el clima de bosque seco pre-montano a unas precipitaciones anuales entre 500mm y 1000mm.

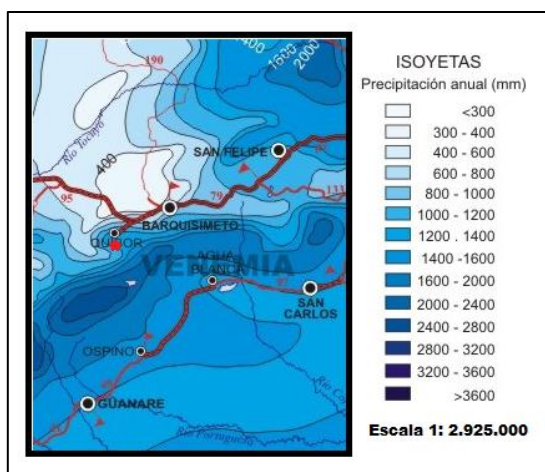


Figura 15. Mapa de precipitación anual en la zona de estudio, la estrella roja indica la ubicación del sitio. (Goldbrunner, 1974)

Thornthwaite (1955) por su parte, propuso una categoría específica para este parámetro donde se considera que el área de estudio dentro del tipo semi-húmedo cuyo rango de precipitación anual es entre 600mm y 1200mm según PDVSA (1993)

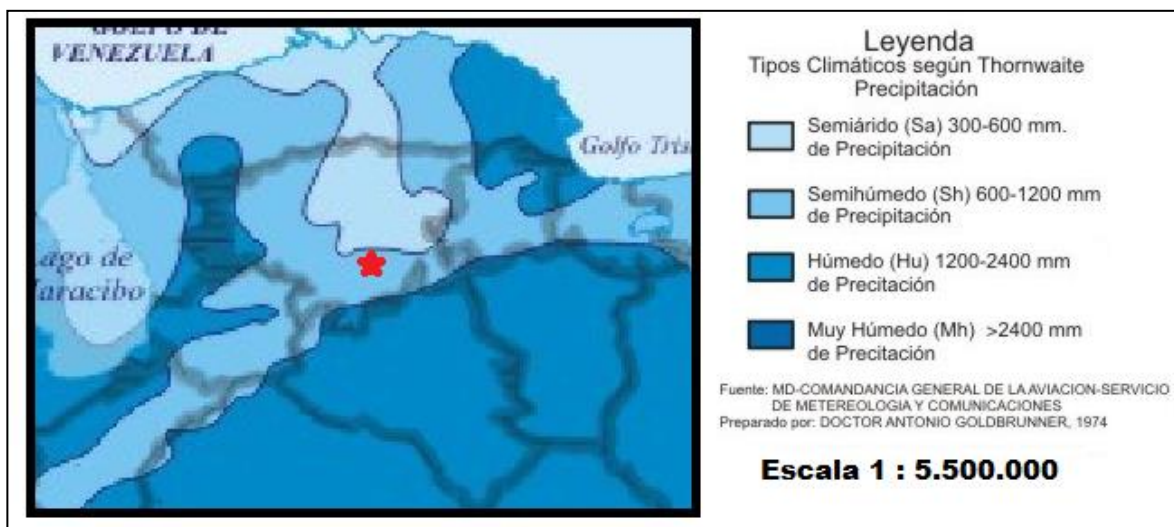


Figura 16. Mapa de los tipos de clima en la región según la clasificación de Thornthwaite en base a su precipitación. La estrella roja indica la ubicación aproximada del área a estudiar. (Goldbrunner, A. 1974)

## 2.6 Vegetación

Corresponde a bosques xerófilos según PDVSA (1997) Se distinguen de este grupo, los espinares o chaparrales y cujizales; los cuales corresponden a bosques semisecos, con árboles cuya altura varía entre 8 y 15 m, y que presentan un aspecto de árboles pequeños y vegetación esparcida. Algunas de las especies corresponden al Cují Yaque (*Prosopis juliflora*), el Dividive (*Caesalpinia coriara*), el Cují torcido (*Acacia tortuosa*), el Yacure (*Pithecellobium dulce*), el Olivo (*Capparis odoratissima*) y el Trompillo (*Jacquinia revoluta*), y los cardonales; caracterizados por cardones y tunas, los cuales están distribuidos en algunas zonas de los estados Lara y Falcón, en el caso del área de estudio corresponde a la unidad II de relieve bajo.



Figura 17. Vegetación característica de la zona de estudio, se observan cardonales y cují. Vista de la foto: E-W.



Figura 18-Vegetación característica de la zona de estudio, se observan cardonales y cují. Vista de la foto N23E.



## CAPITULO III

### 3 Geología regional

#### 3.1 Marco geológico

De manera global, la evolución geodinámica de la zona correspondiente a América viene dada por la interacción de las placas de América del Norte, América del Sur, Caribe, Nazca, Cocos y el Bloque de Panamá (Case & Holcombe, 1980, en Bellizzia, 1985; Audemard, 1993, entre otros).

La frontera entre las placas Caribe y Suramericana corresponden a una zona de transformación materializada por la existencia de los grandes sistemas de fallas transcurrentes dextrales de Oca-Ancón, San Sebastián, Boconó y El Pilar, situadas en la parte norte de Venezuela (Stephan, 1977; Bellizzia, 1985; Pindell & Barret, 1990; Audemard, 1991; Hervouët *et al.*, 2001).

Por a este contacto entre placas, y a su régimen compresivo asociado, se originó el sistema de napas que domina la región, cuyo cuerpo principal se sitúa al norte de Barquisimeto y ha sido denominado por Stephan (1982) como las Napas Caribe, con sus propias subdivisiones según su ubicación y características geomorfológicas (Stephan, 1982).

De manera regional, La zona de estudio es un lugar que presenta caracteres estratigráficos y estructurales particulares y complejos debido a la convergencia de los sistemas orogénicos de los Andes y Caribe (Stephan *et.* 1977) además que la mayor parte del estado Lara está limitado por el denominado El Surco de Barquisimeto que fue definido por Renz *et al.* (1955) como el sitio de sedimentación “flysch” y deslizamientos submarinos caóticos extendida desde algún lugar al norte del Alto de Siquisique, bordeando la llamada hoy “Plataforma de Barbacoas” hasta

alcanzar el estado Portuguesa, donde le ha asignado el nombre de “Surco de Portuguesa”. Por su parte, Stephan, 1977 et. Definen el surco de Barquisimeto como una cuenca flysch recibiendo durante toda su historia masas deslizadas (olistolitos) a la vez desde su borde andino, como del norte o del noreste (grandes masas cretáceas)

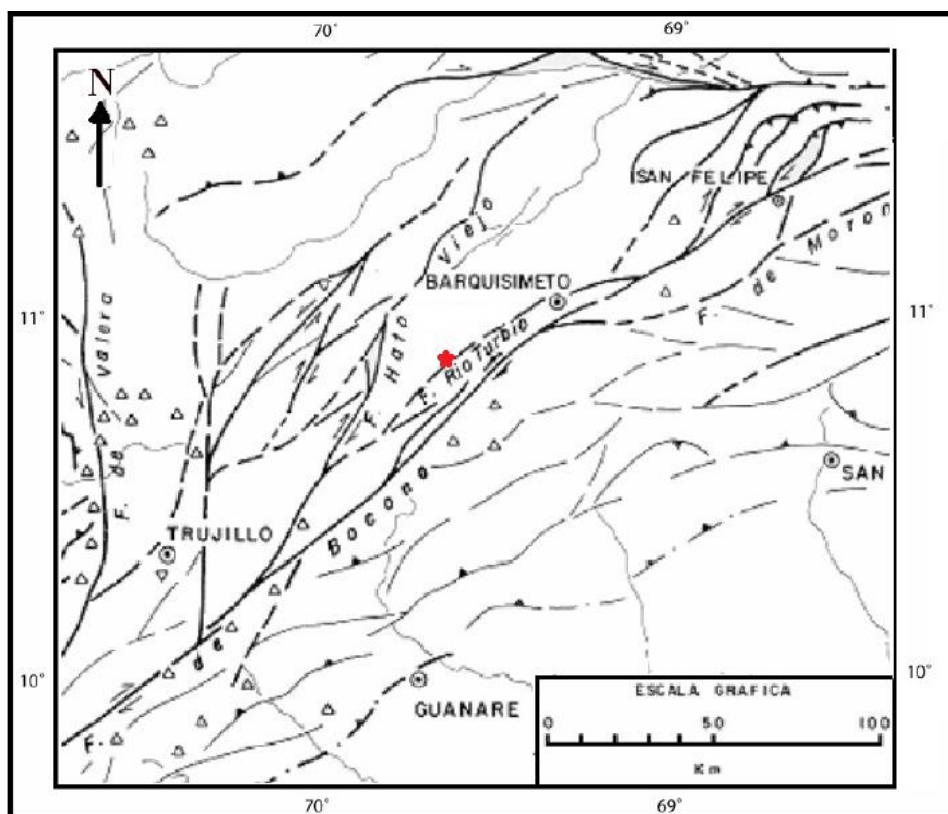


Figura 19. Fallas asociadas a la Falla de Boconó en la región, la estrella señala la ubicación aproximada del área de estudio (tomado de Beltran, 1993)

El contacto Surco-Andes es siempre tectónico según Stephan, 1977 et. Es decir, entre la Cadena Caribe y el Autóctono Andino. Corresponde a un corrimiento hacia el sur: al norte de la Falla de Boconó se sigue entre Carora (al oeste de cuya ciudad se pierde debajo del Cuaternario), El Tocuyo y Quíbor; choca contra la Falla de Boconó pero reaparece al sur de Barquisimeto, determinando la ventana tectónica de la Loma de León. Al sur de la Falla de Boconó se presenta al oeste de Guanare; hacia el este está sellado por las molasas Mio-Pliocenas entre, Ospino y Guanare, se

sigue en el subsuelo de los llanos y se comunica con el llamado corrimiento frontal al norte del Arco de El Baúl.

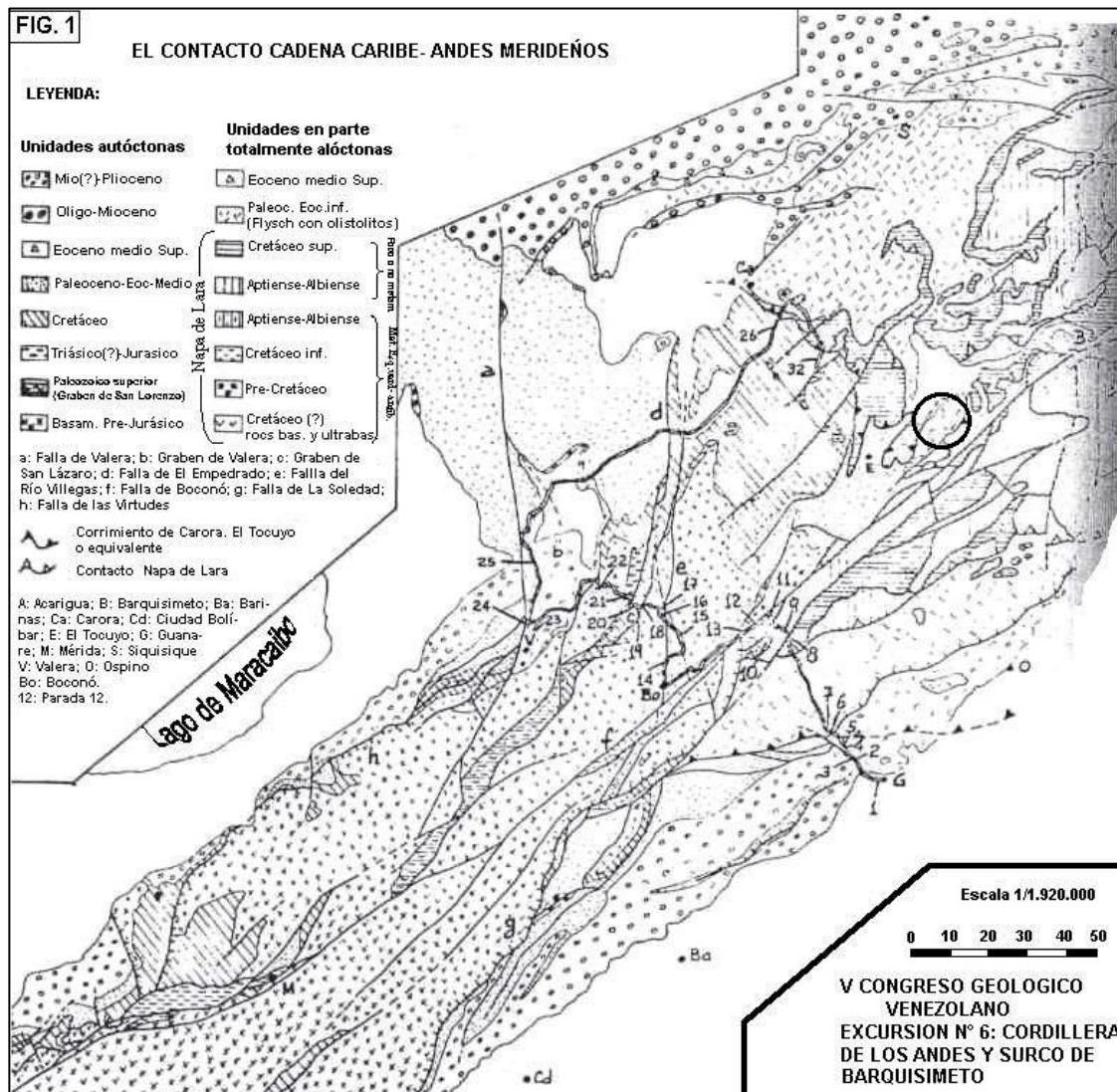


Figura 20. Mapa geológico realizado por Stephan, 1977 et durante una excursión a la Cordillera de los Andes y Surco de Barquisimeto, presentado en el V Congreso Geológico Venezolano. El círculo señala la ubicación de la zona de estudio dentro del contexto regional.

Por su parte Alarcón 1990, plantea una reconstrucción de los eventos ocurridos durante la depositación de las unidades litoestratigraficas en la región de

Quibor-Sanare de edades comprendidas entre el Cretáceo inferior hasta el Mioceno-Plioceno, correspondientes a las formaciones: Carorita-Barquisimeto (Provincia Alóctona), Morán y El Pegón (Provincia Autóctona). A partir del Paleoceno, se depositan sedimentos muy finos de la Formación Morán (Miembro El Tocuyo), al mismo tiempo que por efectos tectónicos caen por mecanismos gravitatorios bloques u olistolitos Cretácicos (formaciones Carorita y Barquisimeto) en la denominada provincia turbidítica del Surco de Barquisimeto; dicha sedimentación se prolonga hasta el Eoceno inferior donde se evidencia hacia el tope del Miembro El Tocuyo, una depositación de facies carbonáticas ligeramente arenosas típico de ambiente plataformal, que muestra claramente una ligera regresión marina.

Durante el Eoceno medio continúa dicha regresión trayendo como consecuencia la depositación de arenas y lutitas constituyentes del Miembro Botucal de la Formación Morán.

Desde el Eoceno superior hasta el Oligoceno ocurre la orogénesis Alpina y en consecuencia se manifiesta en la región un gran hiatus, con diversas deformaciones tectónicas. Dicha etapa representa en el sector la evolución estructural más trascendente.

A comienzos del Mioceno hasta el Plioceno, la regresión marina es total a consecuencia de la evolución estructural y tectónica anterior, manifestada por la depositación de sedimentos arcillosos en su mayoría de carácter continental (Formación El Pegón); en donde actualmente se encuentran los grandes yacimientos de arcilla de uso industrial.

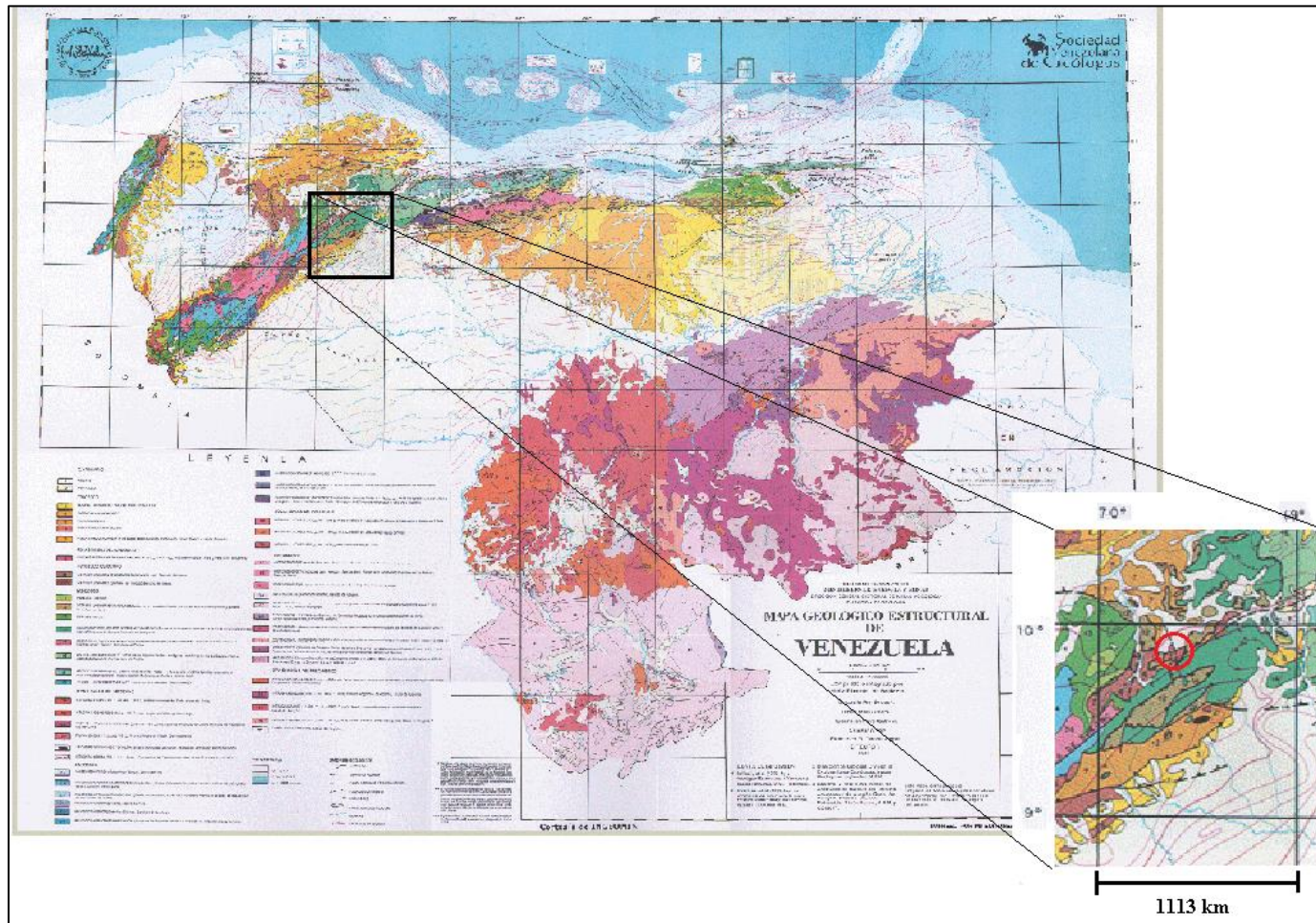


Figura 21. Mapa geológico estructural de Venezuela, donde se hace un zoom y se resalta con la una circunferencia el área a estudiar que corresponde al Paleoceno- Eoceno y Eoceno. Tomado de la página web de FUNVISIS.

## **3.2 Estratigrafía Regional**

Según la página web del Léxico Estratigráfico de Venezuela (PDVSA,1997) , en la zona de estudio afloran principalmente las siguientes Formaciones.

### **3.2.1 Formación Barquisimeto Cretácico (Cenomaniense-Maastrichtiense).**

De acuerdo con Von der Osten y Zozaya. Litológicamente la unidad se caracteriza por poseer Lutitas, limolitas, margas compactadas, ftanitas y calizas, de color gris oscuro a negro en estado fresco y tonos muy claros de gris al meteorizar. Las capas de calizas son muy discontinuas, y se destacan más en la parte inferior de la formación. Los porfidoblastos de pumpellyita y el carácter filítico de algunas capas indican un leve metamorfismo. Además se incluye la Formación Cazadero dentro de esta unidad.

Respecto a sus contactos existen dos posibles casos, uno según Bushman (1959) donde indica que la unidad es gradacional sobre calizas arenosas de la Formación Carorita, e infrayace gradacionalmente a las capas de peñones de la Formación Morán y el otro propuesto por Macsotay et al., (op. cit.) donde señala que Barquisimeto se depositó en hiatus y discordancia leve local, sobre la Formación Bobare y en ausencia de esta, sobre la Formación Carorita, y se halla cubierta en discordancia angular y erosional por la Formación Matatere.

La localidad tipo para esta unidad para Coronel y Renz (1960) es el cerro Volador al noroeste de la ciudad de Barquisimeto. Por otra parte, Macsotay et al., (1987) señala como la mejor sección, la expuesta en los cerros al sur de la carretera Lara -Zulia, entre la quebrada La Ruesca y el caserío llamado Mamón.



Figura 22 Mapa en donde aflora la Formación Barquisimeto.

### 3.2.2 Formación Morán. Terciario (Paleoceno-Eoceno)

El Miembro Lutita de El Tocuyo, unidad inferior de la formación, comienza en su base con lutitas grises, las cuales, hacia arriba, pasan a lutitas negras, marrón-verdoso, marrón y rojizo. Hacia el tope, se encuentran lutitas de color rojo vino tinto, amarillo, negro y gris verdoso. En el medio y parte superior de la sección, se observan capas delgadas de limolitas con vetas de cuarzo y arenitas líticas chertíticas o subgrauvacas, de color marrón claro punteado en negro, que meteorizan con color marrón rojizo oscuro. Las subgrauvacas son de grano fino, formadas por fragmentos angulares de chert negro con cemento silíceo. Están bien estratificadas en capas de 2 a 40 cm de espesor. El Miembro Areniscas de Botucal consiste en ortocuarcitas de color blanco a crema, que pasa a amarillo o marrón rojizo por meteorización. El tamaño de los granos varía de fino a grueso llegando a conglomerados de grano fino. Los granos son subangulares a subredondeados. Las areniscas forman capas de 50 cm a 30 m de espesor. Intercaladas con las areniscas, se encuentran lutitas talcosas de colores gris claro, violáceo o negro, con tubos de gusanos.

No existe una localidad tipo sin embargo, Von Der Osten y Zozaya mencionan como una secuencia bastante completa, la expuesta en el Río Sanare, al Sur de El Tocoyo. Respecto a sus contactos originalmente se consideró que la Formación Morán podía estar en contacto concordante sobre la Formación Barquisimeto o Cazadero, (Von Der Osten y Zozaya, 1957; Bellizzia y Rodríguez, 1968). Actualmente se ha establecido que el contacto es discordante, dada la naturaleza alóctona de la Formación Barquisimeto.



*Figura 23* Mapa en donde se aflora la Formación Morán

### **3.2.3 Formación El Pegón. Terciario (Mioceno? Plioceno)**

Bushman (op.cit.) indica que litológicamente la Formación está compuesta por gravas pobremente consolidadas y mal escogidas, con cantos de hasta 25 cm de diámetro, compuestos por fragmentos de cuarzo, esquistos cuarzo-sericíticos y calizas. Presentan cierta estratificación, y al meteorizar toman un aspecto amarillo a anaranjado. Junto a las gravas se presentan bolsillos de arena amarilla. El endurecimiento de las gravas se debe a cemento calcáreo. Por su parte, Jefferson (op. cit.) describe en el área de Quíbor-Sanare consiste en gravas de color blanco, marrón y marrón amarillento, con peñones y guijarros de cuarzo blanco, ftanita y arenisca, las cuales se presentan en capas gruesas o lenticulares. Interestratificadas con las gravas, se observan capas gruesas y lentes de arenas arcillosas, friables, de color blanco a marrón claro y arcillas de color gris claro a gris azulado, con tintes de marrón. Campos et al. (1977), describe en el área al noroeste de Acarigua, la formación se compone de gravas, limolitas y lutitas varicoloreadas, con ocasionales margas gris azulosas. La localidad tipo según Bushman (op.cit.) es la quebrada El Pegón, en el flanco oeste del cerro Alto, al noreste de Yaritagua, distrito Yaritagua, estado Yaracuy. Según el trabajo de (Jefferson, op. cit.) indica que yace en discordancia angular sobre las rocas metamórficas de las formaciones Mamey y Aroa y en la región Quíbor-Sanare, yace discordantemente sobre la Formación Morán.





Figura 24 Mapa en donde aflora la Formación El Pegón.

## CAPITULO IV

### 4 Marco Teórico

#### 4.1 Filosilicatos

Hurlbut & Klein (2011) explican en su libro “Manual de Mineralogía” que los filosilicatos es derivado del griego phyllon = hoja, todos los numerosos miembros de este importante grupo tienen hábito hojoso o escamoso y una dirección de exfoliación dominante. Son por lo general blandos, de peso específico relativamente bajo y las laminillas de exfoliación pueden ser flexibles e incluso elásticas. Todas esas peculiaridades características derivan del predominio en la estructura de la hoja de tetraedro  $\text{SiO}_4$  de extensión indefinida (ver figura 25). En esa hoja, tres de los cuatro oxígenos de cada tetraedro de  $\text{SiO}_4$  están compartidos con tetraedros vecinos, resultando una relación Si: O = 2: 5. Cada hoja si no está distorsionada posee simetría senaria.

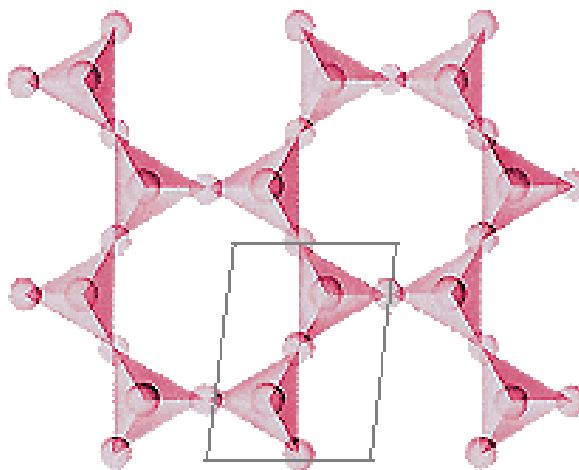


Figura 25- Estructura interna de los filosilicatos. La parte encerrada por el paralelogramo corresponde a  $(\text{Si}_2\text{O}_5)^{2-}$ . Tomado de UNED (2005).

La mayor parte de los miembros de los filosilicatos son portadores de hidroxilos y tienen los grupos (OH) localizados en el centro de los anillos senarios de

tetraedros, a la misma altura que los que los oxígenos no compartidos en los tetraedros  $\text{SiO}_4$ . Cuando los iones, externos a la hoja de  $\text{Si}_2\text{O}_5$ , están enlazados a las hojas, se encuentran coordinados con dos oxígenos y un OH. El tamaño del triángulo entre dos oxígenos y un (OH) es aproximadamente el mismo (pero no idéntico) a la cara triangular de un octaedro  $\text{XO}_6$  (en donde X es comúnmente Mg o Al). Esto significa que es posible enlazar una red regular de oxígenos apicales y grupos (OH) de composición  $(\text{Si}_2\text{O}_5\text{OH})^{3-}$  una lámina de octaedros regulares, donde cada octaedro está inclinado sobre uno de sus lados triangulares. Cuando estas láminas tetraédricas y octaédricas están unidas se obtiene la geometría general de las estructuras de la antigorita o caolinita (ver figura 26).

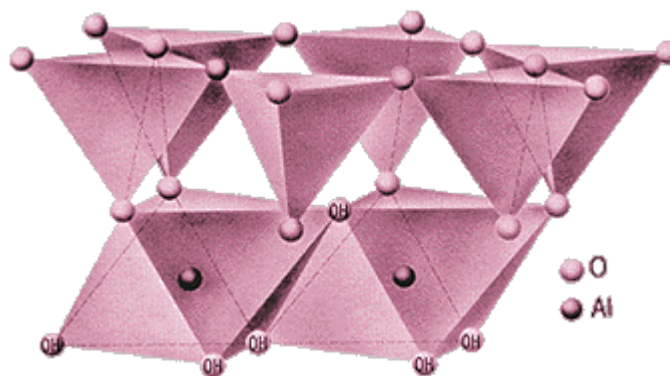


Figura 26. Esquema de la estructura de caolinita en una hoja tetraédrica enlazada por un lado con una capa octaédrica. UNED (2005)

Los cationes de la capa octaédrica pueden ser divalentes o trivalentes. Cuando los cationes son divalentes, por ejemplo  $\text{Mg}^{2+}$  o  $\text{Fe}^{2+}$ , la capa posee la geometría de la brucita, en la cual cada posición catiónica está ocupada. En esta capa se originan 6 enlaces del  $\text{Mg}^{2+}$ , cada uno con  $v.e = \frac{2}{6} = \frac{1}{3}$ . Tres de tales enlaces irradian de cada oxígeno o grupo (OH), neutralizando así la mitad de la carga del oxígeno y toda la del OH. De una capa donde cada oxígeno o grupo OH está rodeado por tres cationes, como en la brucita  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , se dice que posee una estructura trioctaédrica. Cuando

los cationes de la capa octaédrica son trivalentes, el balance de carga se mantiene cuando una de cada tres posiciones catiónicas está desocupada. Éste es el caso de la estructura de la gibbsita,  $\text{Al}(\text{OH})_3$  y de las estructuras del corindón. Esta estructura en capas, en la cual cada oxígeno o grupo (OH) está rodeado por sólo dos cationes se llama dioctaédrica. Sobre la base de la química y la geometría de las capas octaédricas, los filosilicatos se dividen en dos grupos principales: trioctaédrico y dioctaédrico.

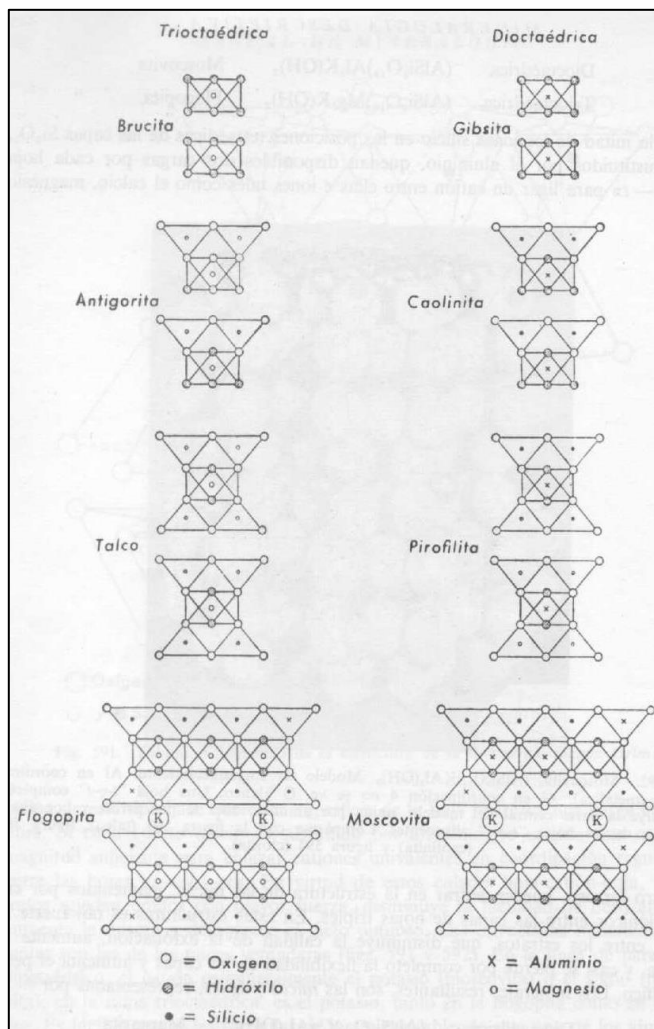


Figura 27. Desarrollo esquemático de las estructuras de algunos filosilicatos. Tomado de (Hurlbut & Klein, 2011)

## 4. 2. La arcilla como materia prima para la industria de la cerámica

Para la elaboración de cerámicas se emplean materiales arcillosos como materia prima que presenta variabilidad en cuanto a su composición química y mineralógica, que en ocasiones se le añaden cantidades de fundentes (feldespatos) y desengrasantes (cuarzo, calcita, dolomita) de acuerdo para el uso industrial destinado (Galán & Aparicio). Se le divide en cerámica avanzada y cerámica tradicional, a continuación se describirá a detalle cada una de ellas:

### 4.2.1 Cerámica avanzada

Están fabricados con materias primas artificiales que han sufrido un importante procesado químico para conseguir una pureza alta y una mejora de sus características físicas. El proceso de conformado se realiza con equipos sofisticados, que incluyen la utilización de alta temperatura y presión, por ejemplo, prensado isostático en caliente. La microestructura es de grano fino y se tiene que resolver o estudiar por medio de la microscopía electrónica. La densidad llega a alcanzar valores del orden del 99 o 100 % de la densidad teórica del material. Blanco, 2011.

Tabla 6. *Las principales materias primas usadas en la cerámica avanzada.*  
(Blanco,2011)

CERAMICA OXIDICA		CERAMICA NO OXIDICA	
<b>Alúmina</b>	$Al_2O_3$	<b>Carburo de silicio</b>	SiC
<b>Silica</b>	$SiO_2$	<b>Carburo de Boro</b>	$B_4C$
<b>Mullita</b>	$3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$	<b>Carburo de Tungsteno</b>	WC

<b>Espinela</b>	MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	<b>Carburo de Titanio</b>	TiC
<b>Magnesia</b>	MgO	<b>Carburo de Molibdeno</b>	Mo <sub>2</sub> C
<b>Berilia</b>	BeO	<b>Nitruro de Silicio</b>	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub>
<b>Zirconia</b>	ZrO <sub>2</sub>	<b>Sialon</b>	Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> - Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>Thoria</b>	ThO <sub>2</sub>	<b>Nitruro de Boro</b>	BN
<b>Ceria</b>	CeO <sub>2</sub>	<b>Boruro de zirconio</b>	ZrB <sub>2</sub>
<b>Titania</b>	TiO <sub>2</sub>	<b>Boruro de titanio</b>	TiB <sub>2</sub>

Como se puede observar en la tabla 11, la mayoría de las materias primas usadas en la cerámica avanzada a excepción del Alúmina y silica no pertenecen al grupo de los filosilicatos.

#### 4.2.2 Cerámica tradicional

Según Galan & Aparicio son aquellas que están preparados con materias primas naturales, que de acuerdo con su función pueden ser plásticas o no plásticas. Las primeras son esencialmente arcillas. Las no plásticas pueden tener una función de "desgrasantes" (materiales que reducen la plasticidad permitiendo una mejor manejo y facilitando el secado), o son elementos "fundentes" (que facilitan una cocción a menor temperatura e introducen los elementos necesarios para la formación de nuevas fases). En base a la temperatura de cocción y coloración final se le puede clasificar como:

- **Productos de color (temperatura de cocción 850° - 1100°C):**

Los productos cerámicos coloreados, mayoritariamente rojos, son materiales de construcción (ladrillos, bovedillas, viguetas, pavimentos, tubos y otras piezas de conducción, tejas, entre otros) y productos de alfarería. Cuando algunos de estos productos son acabados superficialmente con un vidriado, se emplean fundamentalmente para elementos decorativos y para revestimiento/pavimento

(azulejos, gres cerámico y otros elementos de decoración). Las materias primas usadas son arcillas comunes, margas y pizarras. Desde el punto de vista industrial el material arcilloso es una masa normalmente coloreada con plasticidad suficiente para ser moldeada y con una temperatura de vitrificación inferior a los 1100°C. Para que un depósito se explote debe reunir las siguientes características: facilidad de explotación, accesibilidad, grandes reservas y cercanía al mercado potencial.

Tabla 7. Rango composicional admitido para cerámica estructural. Tomado de Galan & Aparicio

Material plástico (50-70%)	Fundentes	Desgrasantes	Pigmentos (fundentes)	Impurezas no deseables
Illita, caolinita y clorita.	Feldespato (<10%)	Cuarzo (10- 30%) Calcita, dolomita <20%	Óxidos de Fe (Mn, Ti) 0,5- 10%	Yeso, halita

Tabla 8. Composición química de arcillas comunes utilizadas para cerámicas estructural según Palmonari & Terraglia, 1985.

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PC	CaCO <sub>3</sub>
1	49,50	13,46	3,98	0,27	1,94	11,90	1,84	2,11	15,54	20,51
2	46,01	13,62	4,48	0,23	1,75	13,52	2,02	2,28	15,70	22,37
3	39,24	15,01	3,74	0,45	2,51	16,74	1,19	2,25	18,56	28,30
4	46,12	14,81	6,21	0,09	1,92	11,51	1,97	1,92	16,52	20,22
5	47,31	14,23	6,51	0,07	2,07	10,21	2,04	2,07	15,42	18,78

Tabla 9. Rango composicional admitido para la alfarería en base a su color de cocción. Tomado de Galan & Aparicio.

Color de cocción	Roja	Blanca, amarilla.
------------------	------	-------------------

<b>Alúmina</b>	16-23%	16-23%
<b>Carbonato de calcio</b>	0-15% (pobre)	>25% (rico)
<b>Óxido de hierro</b>	3,5-16%	-
<b>Temperatura de cocción</b>	960° - 1040°C	1000°- 1100 °C

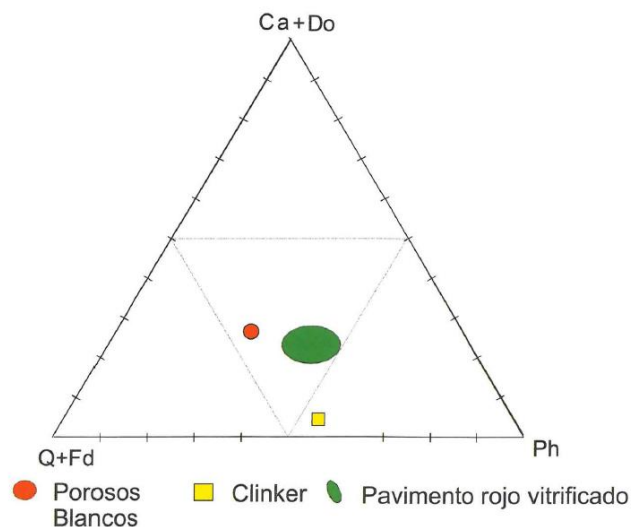


Figura 28. Variación composicional de las materias primas en cerámica roja tomando en cuenta la mineralogía (según González et al., 1998, basado en Fiori et al. 1989). Ca = calcita, Do = dolomita, Q = cuarzo, Fd = feldespatos, Ph = filosilicatos.

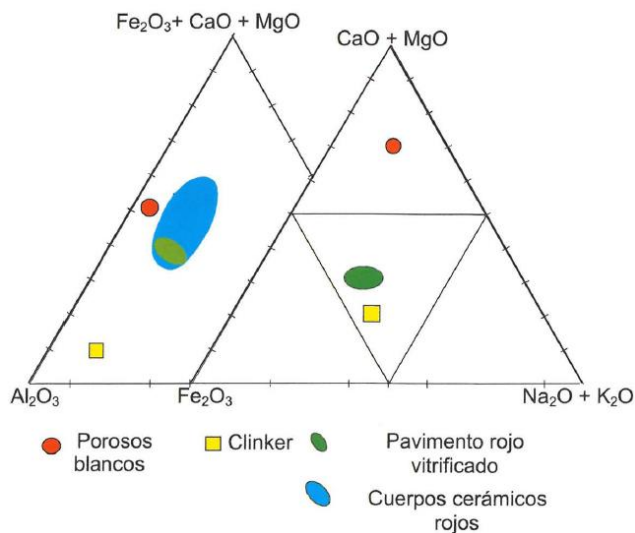


Figura 29- Variación composicional de las materias primas en cerámica roja tomando en cuenta la química (según González et al., 1998, basado en Fiori et al. 1989).



- **Productos de cocción blanca (temperatura de cocción 1100° - 1300°C):**

Constituidos esencialmente por arcillas blancas (caolinita, pirofilita, talco, entre otros) además de proporciones variables de cuarzo y calcita (loza calcárea) y es la usada para la fabricación de vajillas. En la cerámica de mesa de porcelana se incluyen productos vitrificados de color blanco y con revestimiento. La formulación de pastas para porcelana se hacen en base a tres componentes fundamentales: Arcillas (principalmente la del tipo caolinitico), cuarzo y feldespatos. En el diagrama triangular de la figura 30 se observan distintos campos de composición para los diferentes tipos de porcelana

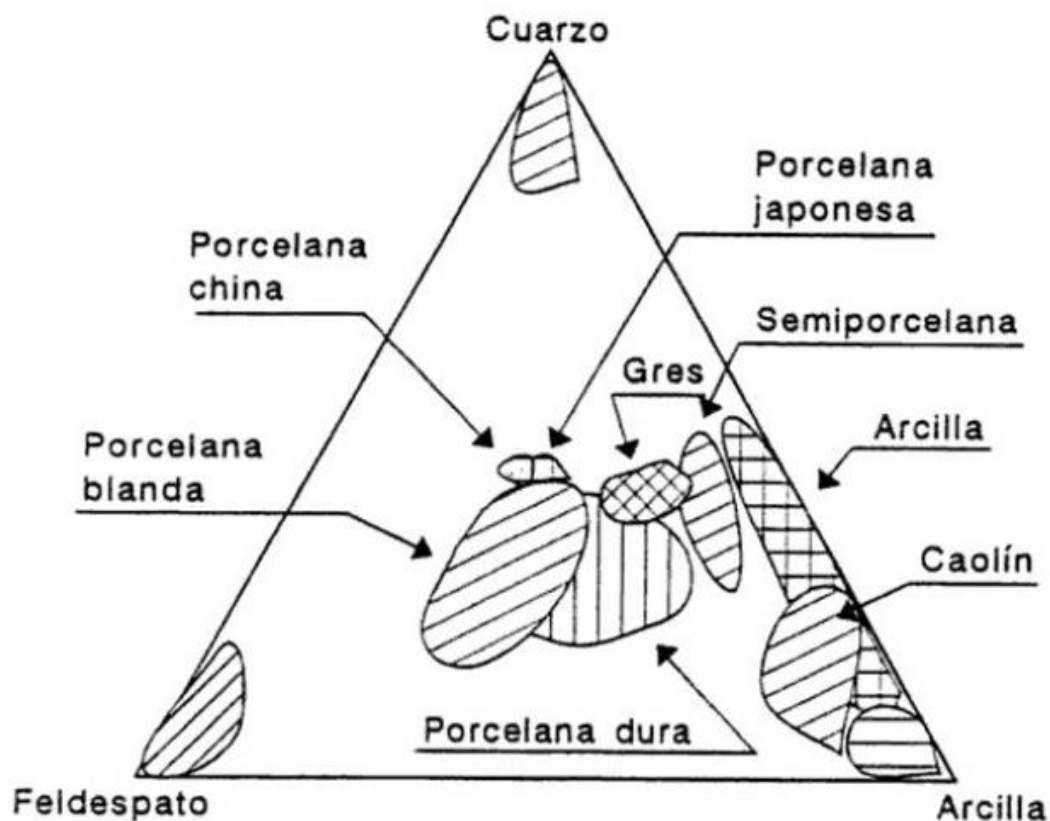


Figura 30. Diagrama de composición para porcelanas. (Enrique et al., 1985)

Si bien la composición química de la caolinita es muy simple: SiO<sub>2</sub> (46,59%), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (39,50%) Y H<sub>2</sub>O (13,96%); la composición de los caolines comerciales puede

tener cierta variabilidad (Tabla 15), pero siempre con un alto contenido en  $Al_2O_3$  y bajo en álcalis e hierro.

Tabla 10. *Composición química (%) de caolines industrial de distintos origen.*

	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	PC
<b>Montecastelo</b> (E)	46	39	0,56	-	0,09	0,02	0,09	0,47	13,70
<b>Poveda (E)</b>	47	39	0,60	0,10	0,11	-	0,16	0,24	13,70
<b>St. Austell</b> (UK)	47	39	0,28	1,20	0,15	0,03	0,22	0,21	14,74
<b>Georgia</b> (USA)	46	39	0,43	-	0,05	-	0,10	0,14	13,70
<b>Lipari (I)</b>	61	25	0,47	-	0,08	0,49	0,17	0,34	11,50
<b>Alvaraes (P)</b>	48	36	1,19	-	0,10	0,04	0,15	0,15	14,77

Actualmente el mercado es cada vez más competitivo y las industrias exigen especificaciones más estrictas y constancia a lo largo del tiempo (Tabla 16) lo que se puede conseguir a partir de la selección de materia prima en el yacimiento y de su posterior procesado.

Tabla 11. *Requisitos granulométricos, mineralógicos y químicos de la materia prima para porcelana de mesa y sanitarios según Galán & Aparicio*

Uso	Granulometría	Mineralogía	Composición química
<b>Porcelana de mesa</b>	100% < 63µm	Caolinita >80% Cuarzo ≈ 5% Illita+ esmectita+feldespatos < 3%	SiO <sub>2</sub> <50% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >34% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <0,5% TiO <sub>2</sub> <0,1% CaO <3% K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O <3%

---

			P.C >10%
<b>Sanitarios</b>	>53 $\mu\text{m}$ : 0,1- 0,05 %	Caolinita: 80-85%	SiO <sub>2</sub> : 46-48 %
	>10 $\mu\text{m}$ : 18-25 %	Illita: 10-15%	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :37-38%
	< 2 $\mu\text{m}$ : 38-40 %	Feldespatos: 0-1%	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :0,7-0,8%
		Cuarzo: 0-2%	TiO <sub>2</sub> : 0,06-0,07%
			MgO: 0,15-0,24%
			CaO :0,08-0,10%
			K <sub>2</sub> O + Na <sub>2</sub> O :1,5-2%

---

- **Productos refractarios (>1450°C)**

Los productos refractarios más comunes son los ladrillos refractarios, pero también son cerámicas refractarias ciertos componentes de los cohetes, reactores, automóviles y material de laboratorio. Los refractarios más comunes, de acuerdo con su composición, pueden ser: a) silicoaluminosos, b) magnésicos, c) silíceos y d) otros tipos. En la Tabla 17 se relacionan las materias primas más apropiadas para cada uno de ellos.

Tabla 12. *Materias primas para cerámica refractaria común.*

<b>R. Silico-Alumínicos</b>	<b>R. Magnésicos</b>	<b>R. Silíceos</b>	<b>Otros Refractarios</b>
Caolín, arcillas caoliníferas, nesosilicatos de Al, Cordierita, Pirofilita, Corindón.	Olivino, magnesita Dolomita y serpentina	Cuarzo	Cromita y grafito

---

En relación con las arcillas caoliníferas (refractarias) se usan preferentemente las denominadas "flint-clays" o "arcillas duras", que son arcillas sedimentarias endurecidas por diagénesis, o bien niveles volcano sedimentarios ácidos caolinizados. Son densas, duras, de fractura concoidea, que no se vuelven plásticas con la adición

de agua y tienen alta refractariedad (PCE 33-35). La caolinita en esta arcilla es ordenada, de pequeño tamaño y forma agregados gruesos. Cuando estos agregados están interconectados la dureza suele ser mayor.

Otras arcillas refractarias pueden ser de menor refractariedad (PCE 28-35), presentan baja resistencia mecánica en verde y alta contracción a la cocción. Se denominan "caolines refractarios", y se pueden considerar como caolines de baja calidad. Algunas de estas arcillas contienen gibbsita y diasporo.

Tabla 13. *Temperaturas que soportan los diferentes refractarios.*

<b>Refractario</b>	<b>Temperatura</b>
Si-Al (45% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	1445°C
Sílice (>95% SiO <sub>2</sub> )	1670-1700°C
CaO y MgO	2570-2800°C
SiO <sub>2</sub> -MgO (forsterita)	1900°C
FeO-Cr <sub>2</sub> O (cromita)	1700-1850°C

En la industria se denominan: a) refractarios ácidos a los de Al, Si, Si-Al porque resisten ataques ácidos, b) refractarios básicos a los de Mg y Cr, ya que resisten las reacciones alcalinas que se producen en los hornos, y c) refractarios neutros a los de FeCr-Mg. La composición química característica del grupo de los refractarios ácidos donde cuya obtención es a partir de arcillas caoliníferas se muestra en la tabla 19.

Tabla 14. *Tipo y componente característico de los refractarios ácidos.*

<b>Grupo</b>	<b>Tipo</b>	<b>Componente característico</b>
Refractarios ácidos	R. silíceos	SiO <sub>2</sub> =94%
	R. siliciosos	SiO <sub>2</sub> =75-90%

R. sílicoaluminosos	$Al_3O_2 = 20-44\%$
R. aluminosos	$\approx 50\% Al_3O_2$

### 4.3 La arcilla en la industria cosmética

Es empleado también en la industria cosmética en la actualidad ya que cada vez se utiliza este elemento en más productos de este tipo. Para ser utilizada en productos de cosmética, la arcilla debe de estar libre de gérmenes y biológicamente controlada. Además se seca en hornos especiales o al sol. De esta manera los gérmenes mueren y la arcilla se pasteuriza por el calor. Puesto que todas las arcillas están libres de aditivos químicos, su compatibilidad con cualquier tipo de piel es muy alta. Por este motivo, también pueden ser fácilmente utilizadas en casos de problemas graves de la piel. La mayoría de las arcillas se utilizan como base para mascarillas faciales y peelings o como un complemento para el baño. Las arcillas medicinales aprobadas para el consumo humano pueden usarse sobre todo para aliviar problemas gástricos. En la tabla 20 se muestra la composición química cuantitativa aproximada de distintos tipos de arcillas empleados como mascarilla según la página web “Cosmética natural”.

Tabla 15. *Composición química de las arcillas empleadas en la industria de la cosmética. El \* indica que la suma de esos compuestos debe ser 0,50%. Similar a los que tienen \*\* la suma de ellos debe ser 0,50%.*

COLOR	Negra	Roja	Rosa	Amarilla	Blanca	Verde
SiO <sub>2</sub>	52,12%	63.9%	64.85%	69.60%	66.00%	52.12%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,65%	18.50%	23.50%	19.30%	23.50%	16.65%
MgO	2,17%	0.40%	0.50%	0.30%	**0,50%	2.16%
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,65%	7.30%	4.35%	6.50%	0.80%	5.65%
TiO <sub>2</sub>	0,59%	0.70%	0.07%	1,10%	-	0.64 %
Na <sub>2</sub> O	0,05%	0.10%	0.10%	0.20%	*0,50%	0.06%
CaO	2,41%	0.60%	0.55%	0.10%	**0,50%	2.41%

---

K <sub>2</sub> O	2.07%	3.00%	-	2.80%	*0,50%	2.70%
------------------	-------	-------	---	-------	--------	-------

---

#### **4.4 La bentonita**

La bentonita es una roca compuesta por más de un tipo de minerales, aunque son las del grupo de las esmectitas (principalmente montmorillonita) sus constituyentes esenciales y las que le confieren sus propiedades características.

La bentonita es utilizada en la industria de la construcción, elaboración de cerámicas, elaboración de refractarios, materias plásticas y colorantes, celulosa, papelería, arenas de fundición y la siderúrgica, en la preparación de jabones y el área de perfumería. En la agricultura se utiliza para preparar fungicidas e insecticidas, también en los productos farmacéuticos, lodos de perforación y así muchísimos empleos diversos, (PDVSA, 1997)

#### **4.5 Geología minera**

##### **4.5.1 Recurso**

Se define como recursos a aquellas masas de mineral que se conocen “in situ”, cuantificados básicamente por datos geológicos de forma tal que su extracción podría ser económicamente viable o es potencialmente viable en el futuro. ANNELS (1991).

##### **4.5.2 Reservas probadas**

Son las cantidades de mineral que por análisis de datos de geología de superficie e ingeniería, pueden ser estimadas con "razonable certeza" que serán recuperables comercialmente, a partir de una fecha dada, de reservorios conocidos y bajo las actuales condiciones económicas, métodos de operación y regulaciones.

Las reservas probadas pueden ser sub-divididas en desarrolladas y no desarrolladas. ANNELS (1991).

#### **4.5.3 Reservas probables**

Son las reservas no probadas que el análisis de datos de geología e ingeniería sugieren que son menos ciertas que las probadas. En este contexto, cuando se usan métodos probabilísticos, debe existir al menos una probabilidad de 50 % de que la cantidad a ser recuperada será igual o excederá a la suma del estimado de reservas probadas más las probables. ANNELS (1991).

#### **4.5.4 Reservas posibles o inferidas**

Son las estimaciones que se basan en una supuesta continuidad más allá de los recursos medidos e indicados, para los cuales existen pruebas geológicas. Las reservas posibles, también llamadas inferidas, pueden o no estar corroborados por muestras o mediciones de campo. ANNELS (1991).

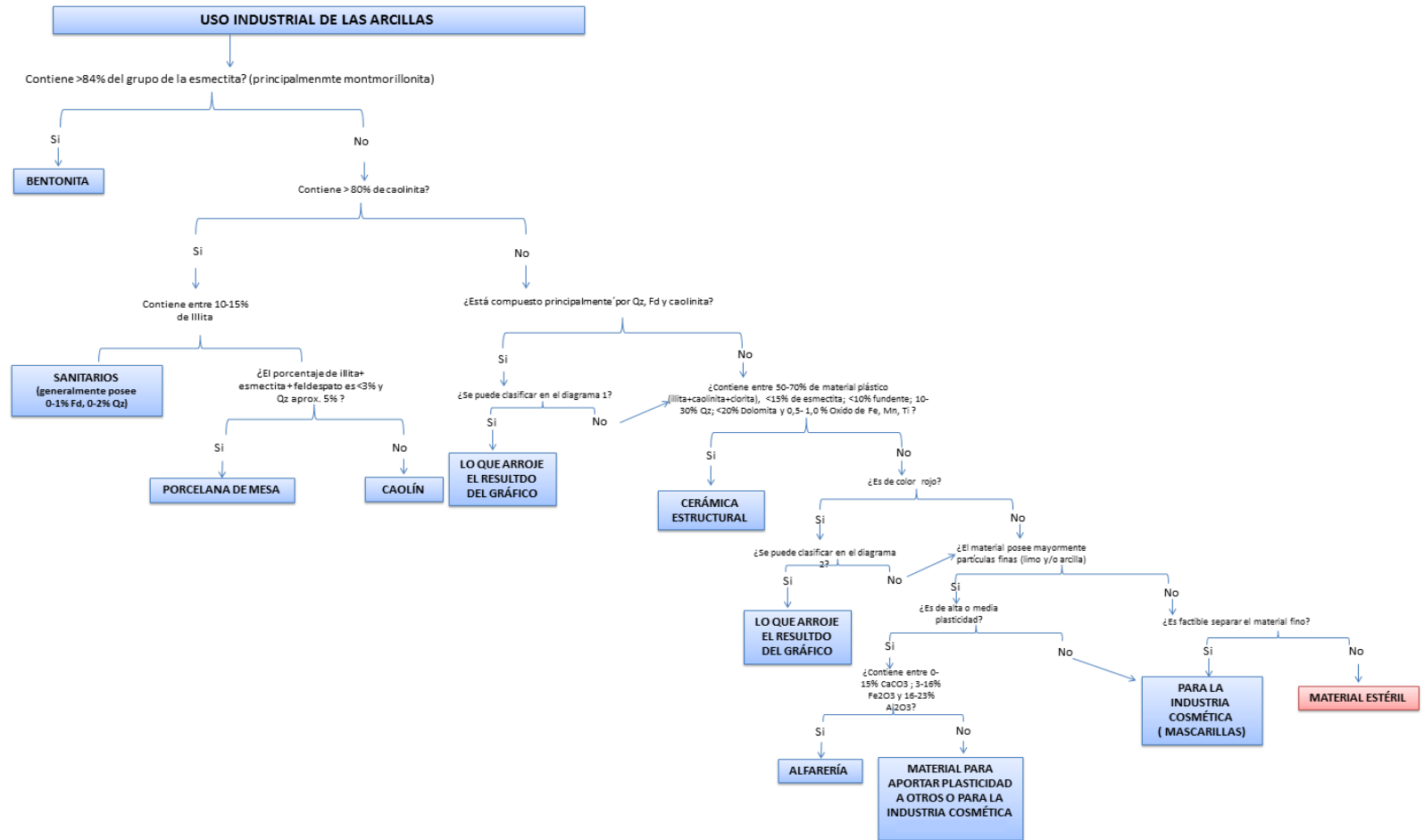


Figura 31. Diagrama de uso industrial de las arcillas en base a los autores de Enrique et al., 1985, Galán & Aparicio, entre otros. El diagrama 1 corresponde a la figura 30 y el diagrama 2 al de la figura 28.



## CAPITULO V

### 5 Geología local

#### 5.1 Generalidades

Se divide en una sola gran unidad de Lutitas en el cual se divide en dos Miembros: uno Superior donde predominan las Lutitas Blancas y el Inferior que son Lutitas marrón y gris pasando muy compactada en algunos sitios. Características granulométricas, mineralógicas y químicas sugiere que se formó en un ambiente marino con alta oxidación.

La disposición de las capas está en forma de homoclinal cuyo buzamiento es aproximadamente de cinco grados al norte hasta horizontal, no obstante, se generaron algunos pliegues suaves secundarios que se encuentran dentro de la estructura principal. Además presenta una falla normal dextral identificada en campo y en oficina

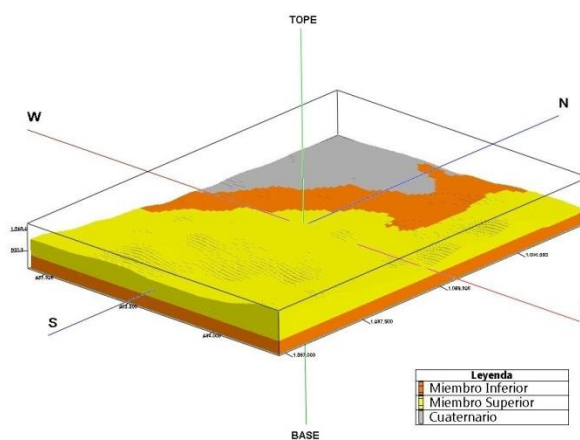


Figura 32. Modelo tridimensional geológico del área de estudio mediante el uso del software Rockworks.

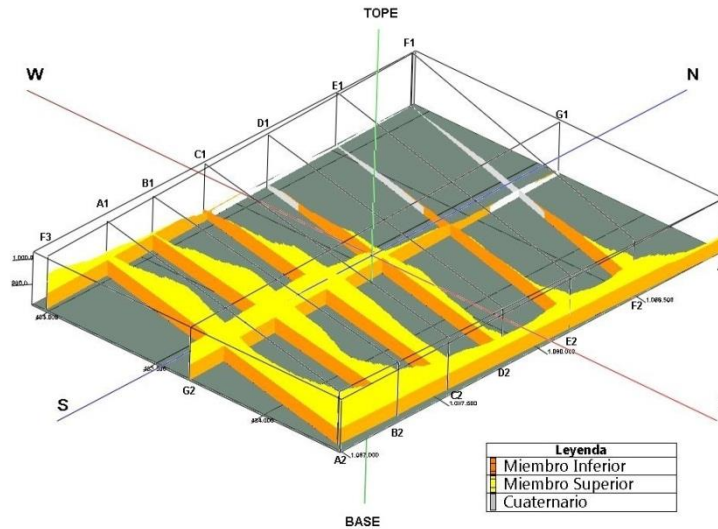


Figura 33. Secciones geológicas dispuestas espacialmente, realizado mediante el software Rockworks.

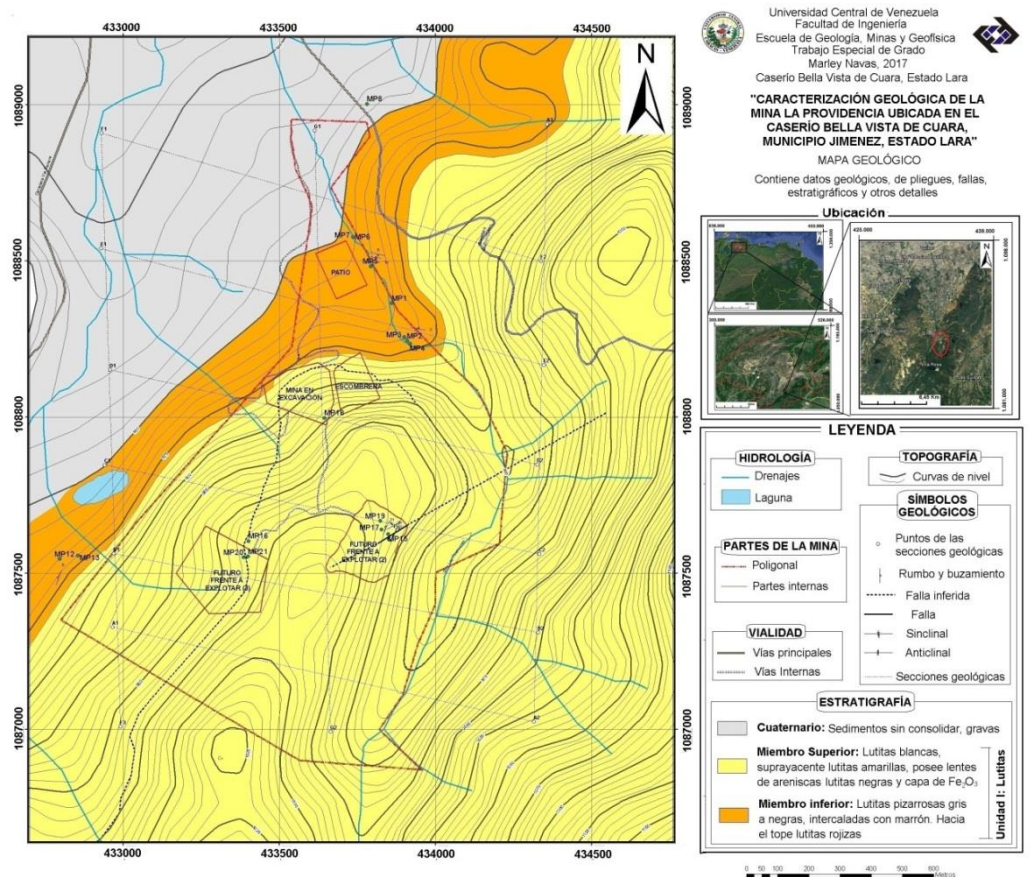


Figura 34. Mapa geológico del área de estudio.

## 5.2 Estratigrafía y sedimentación

### 5.2.1 Unidad litoestratigráfica I (lutitas)

Se identificó una unidad caracterizados principalmente por sedimentación pelágica o lutitas la cual se dividió en dos Miembros: el Inferior que contiene lutitas negras, marrón y roja y el Superior correspondiente a las lutitas blancas. En base a sus características litológicas es equivalente a la Formación Morán específicamente al Miembro Inferior denominado Lutitas El Tocuyo por Von Der Osten y D. Zozaya (1957). Respecto al paleoambiente tomando en consideración las características granulométricas indican una sedimentación marina profunda, también la capa ferruginosa encontrada sugiere un ambiente con alta oxidación. A continuación se describen estos Miembros:

- **Miembro Inferior (lutitas negras, marrones y rojas)**

Corresponde a lutitas de color fresco gris oscuro a negro que meteorizan a gris claro a amarillo intercalados con lutitas cuyo color fresco es marrón de claro a medio y que meteoriza a un color un poco más claro y termina en una espesa capa de lutitas roja, hacia la base del Miembro presentan un ligero metamorfismo que a medida que se va hacia el tope el material se hace más blando (lutitas); las capas negras y marrón se están intercalados cuyo espesores varían entre 60 cm hasta 1 cm en algunos casos dependiendo de la zona donde se hallen. Se encuentra aflorando hacia la franja norte del mapa y abarca un porcentaje de 9,07% y cuya área es de 0,48 Km<sup>2</sup> aproximadamente. Posee un espesor inferido mayor a los 35 metros. Suprayacente está el Miembro Superior de las lutitas blancas y de acuerdo a la bibliografía consultada infrayace discordantemente a la Formación Barquisimeto (Von Der Osten y Zozaya, 1957; Bellizzia y Rodríguez, 1968).



Figura 35. Intercalación de lutitas grises con marrón perteneciente al Miembro Inferior. Dirección de la foto E-W

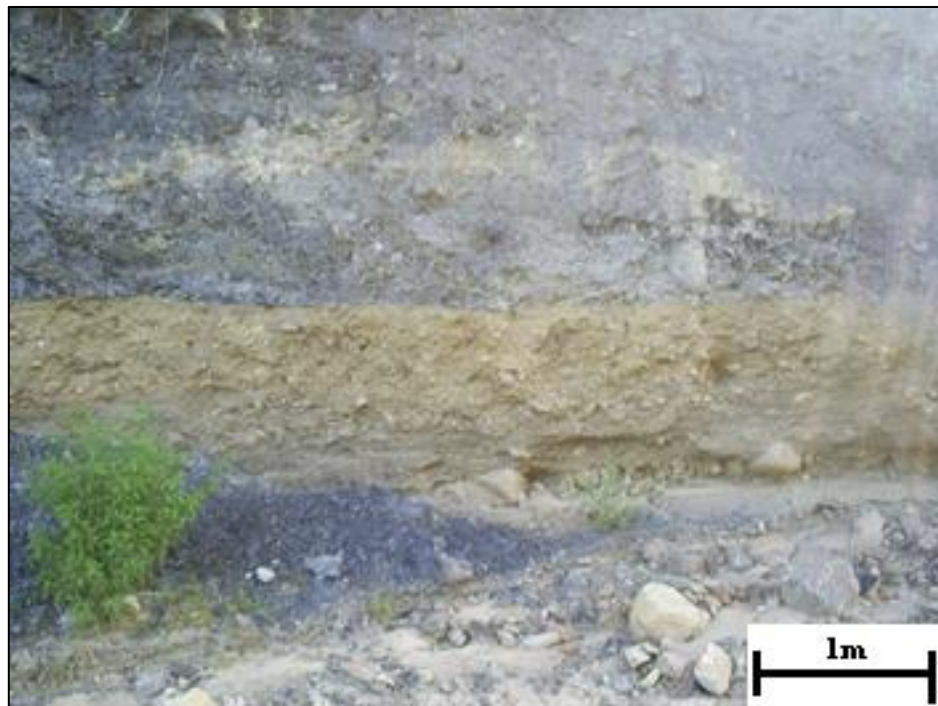


Figura 36. Capas de lutitas pizarrosas marrón y gris. Dirección de la foto N82E.



*Figura 37.* Intercalación de lutitas marrón y gris. Dirección de la foto N86E.



*Figura 38.* Calicata en el cual se observan la presencia de capas de lutitas gris con marrón. Dirección de la foto: N80E



Figura 39. Detalle del color amarillo meteorizado en las lutitas gris oscura. Dirección de la foto N83E



Figura 40. Lutita roja donde se observan las cárcavas características a esta litología. Dirección de la foto N55E. Punto 1.086.899 N, 432.316 E.

- **Miembro Superior (Lutita blanca)**

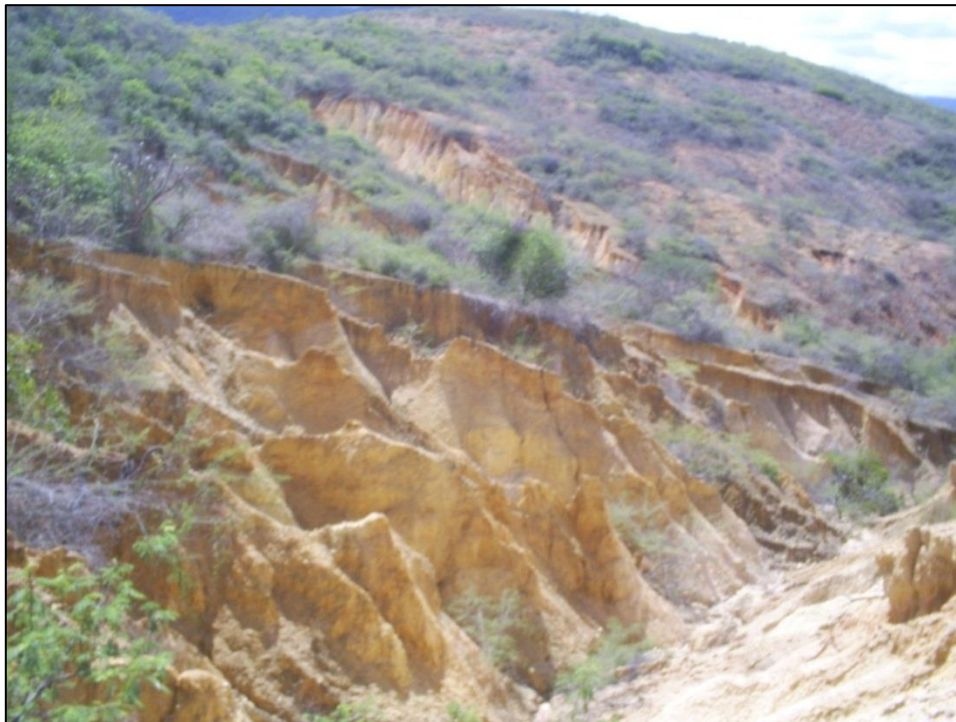
Corresponde a una capa de lutita cuyo color fresco es blanco a crema y meteorizado puede ser rojo o amarillo, estos colores se deben a que se encontró una capa amarilla deleznable y una dura ferruginosa casi hacia el tope del Miembro y Unidad de unos 10 a 20 cm de espesor que por agentes de meteorización y erosión hace que la capa blanca de lutita adquiera este color además que se percola por algunas grietas existentes razón por la cual ellas se encuentran endurecida con Óxido de Hierro ( $Fe_2O_3$ ). Se observó también hacia la parte oeste de la unidad un lente de arenisca de color morado claro y hacia algunas zonas lente de lutitas negras, ambas son muy deleznales. Está ubicado en una gruesa franja desde el Suroeste al Noreste abarcando un área de 3,42 Km<sup>2</sup> correspondiente a un 47,26% de la unidad. Posee un espesor inferido mayor a los 100 metros. En base a trabajos previos en la zona (Von Der Osten y D. Zozaya, 1957) Descansa sobre el Miembro Inferior de lutitas negras-marrón-rojas; y suprayacente se encuentra la parte superior de La Formación Morán denominado por estos autores como Arenisca del Botucal.



*Figura 41.* Afloramiento del Miembro Superior, correspondiente a las lutitas blancas. Donde se observa los colores fresco y meteorizado, además de la capa ferruginosa en puntos rojos. Dirección de a foto: N30E



*Figura 42.* Afloramiento de lutitas blancas. Dirección de la foto: S25W. Coordenadas: 433.811 E, 1.087.571 N



*Figura 43.* Afloramiento de lutitas, donde se observa la capa marrón rojiza que suprayace a las blancas en el punto 1.087.593 N, 433.400 E, en el futuro frente de explotación (3). Dirección de la foto N25W.





Figura 44. Detalle de la capa ferruginosa. Coordenadas 433.851 E, 1.087.609 N. Dirección de la foto: E-W



Figura 45. Afloramiento del Miembro Superior, en el frente en explotación. Dirección de la foto N10E. Coordenadas 433.560 E, 1.088.021 N.

## 5.3 Geología estructural local

### 5.3.1 Análisis geométrico de los pliegues

Para el reconocimiento de los pliegues se tomó en cuenta que el mismo estuviera compuesto por sus partes que son: los dos limbos o flancos, línea de charnela y plano axial. Con el uso de la brújula se procedió a medir la dirección de cada una de sus partes.

- **Anticlinal**

Se ubica hacia el lado este del mapa específicamente en el punto 433843 E 1087563N, evidenciado en la capa ferruginosa del Miembro Superior cuyo limbo 1 posee una dirección de N60E28S, el limbo 2 es de N24E31N donde cuyo buzamiento indica que el anticlinal está inclinado hacia el norte. Su ángulo interlimbar es de 150° aproximadamente que corresponde a un pliegue suave.



Figura 46. Anticlinal encontrado en el Futuro frente a explotar (2). Dirección de la foto: N75E.

- **Sinclinal**

Se ubica hacia el lado este del mapa específicamente en el punto 433759 E; 1088547N , evidenciado en la ligera deformación de las capas de lutitas negras con marrón pertenecientes al Miembro Inferior cuyo limbo 1 posee una dirección de N76W8S, el limbo 2 es de N86W10N. Se considera como un pliegue secundario.

También se halló un sinclinal en el Futuro frente a explotar (2) (ver figura 46) después del anticlinal anteriormente mencionado, de limbos N60E28S (el mismo del anticlinal) y N24E20N.

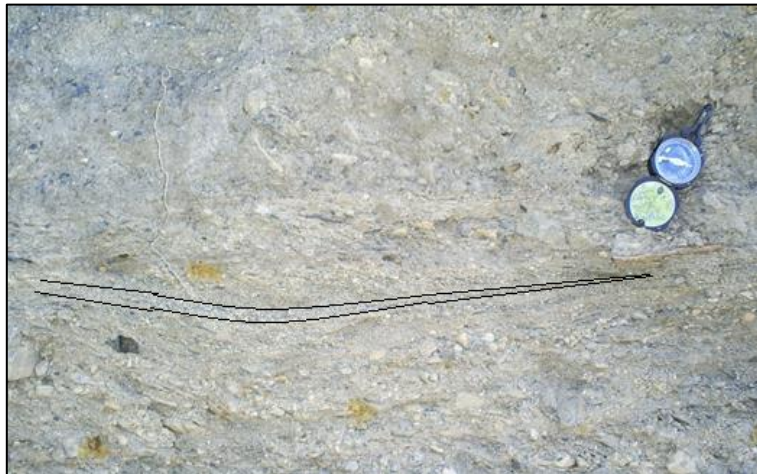


Figura 47. Sinclinal, dirección de la foto: E-W.

### 5.3.2 Análisis geométrico de las fallas

Se identificaron las fallas por parámetros de campo y en imágenes satelitales. Con el uso de la brújula se midió el plano de falla en el caso de la encontrada en el campo y en el caso de la identificada en imágenes satelitales se interpretó y midió de acuerdo a su movimiento transcurrentes observado en ella. Se determinó que se trata de la misma falla puesto que la dirección de sus rumbos son similares, se trata entonces de una del tipo normal dextral.

- **Falla en campo:**

Ubicada en el punto 433840 E; 1087563N corresponde a la identificada en campo por el movimiento o salto observado en la capa ferruginosa la cual indica una falla normal cuyo plano es N50E70S.



Figura 48. Falla encontrada en el futuro frente a explotar (2) en el cual se señala el plano y el movimiento. Dirección de la foto: S80E.



Figura 49. Vista frontal de la falla. Dirección de la foto: N87E.

- **Falla inferida:**

Es una falla interpretada por medio de imágenes satelitales evidenciada por un drenaje desviado, la dirección de rumbo es de N48E y es de movimiento dextral.

### 5.3.3 Análisis geométrico de las diaclasas

Comprende dos familias de diaclasas ubicadas en el punto 433639E 1087794 N, no se encuentra reemplazado por algún material, sus orientaciones son:

Tabla 16. *Orientación de las diaclasas*

<b>Diaclasa</b>	<b>Orientación</b>
D1	N35E55S
D2	N39E5S

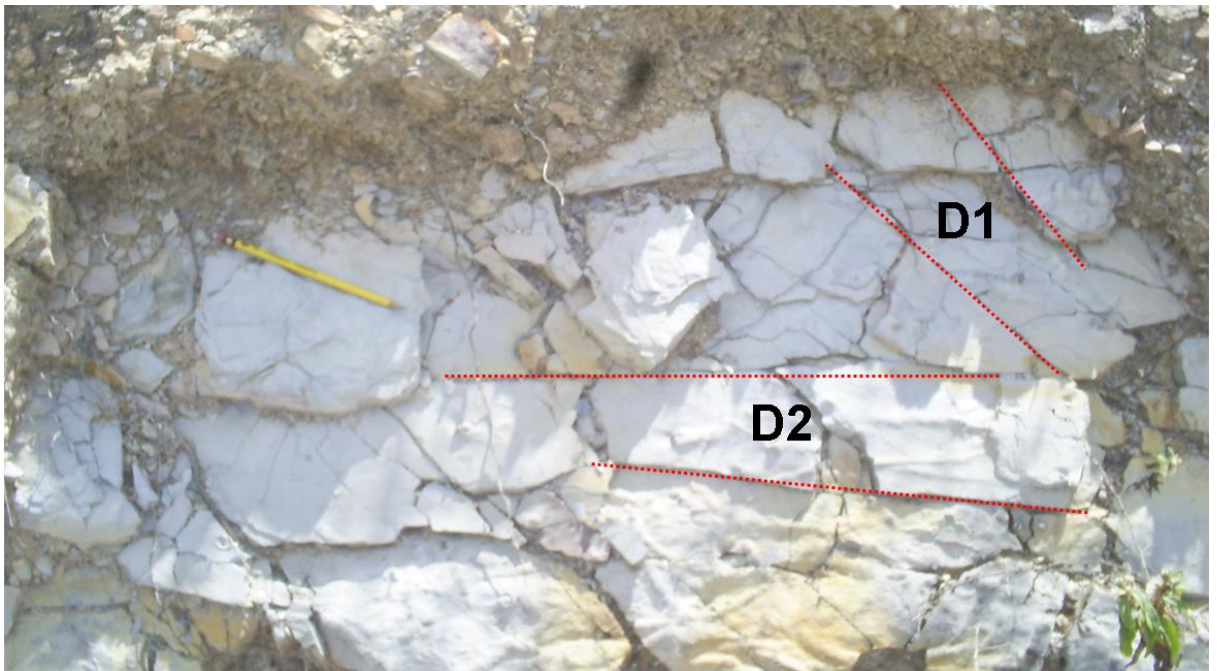


Figura 50. Foto de la familia de diaclasas 2. Dirección de la toma: N80E.

#### **5.4 Geología histórica local**

Tomando en consideración que la Unidad yace sobre la Formación Barquisimeto según lo que establece Von Der Osten y Zozaya, (1957); Bellizzia y Rodríguez, (1968), se depositó en un ambiente marino sedimentos de tamaño fino inicialmente, lo que está evidenciado en las lutitas negras y marrón del Miembro Inferior, luego se registra una aparición de la espesa capa de lutitas rojas del que hasta ahora ha presentado en ocasiones momentos de turbidez por la presencia de partículas de mayor tamaño, suprayacente a ésta yace una capa de Lutita Blanca (Miembro Superior) donde está compuesta casi en su totalidad por partículas finas que a diferencia de los eventos anteriores no presenta períodos de cambio de nivel de energía y dentro de ella una capa ferruginosa de unos 10-15 cm que muestra que estos sucesos se llevaron a cabo en un ambiente marino de alta oxidación, además se registra en algunos lentes de lutitas negras en ciertos sitios. Simultáneamente a medida que se va depositando estas capas hacia la base sufrió un leve esfuerzo la cual hace que se compacten las lutitas y luego por acción de estos mismos esfuerzos sentido NO-SE por la interacción de la placa Caribe con la Suramericana se forma la falla transcurrente reportada anteriormente la cual forma parte del sistema de Boconò. Luego al ser levantada la cuenca, por la pérdida de presión se aplican esfuerzos extensionales lo que da como resultado la aparición de grietas que en algunos casos desde entonces y hasta ahora por efectos de la meteorización y erosión se ha ido percolado en sus planos y rellenando su contenido con material ferruginoso proveniente de la mencionada capa que también por la aplicación de los mismos agentes ha teñido de color rojo y amarillo la capa de litología sobre la cual descansa correspondiente a la del Miembro Superior las lutitas cuyo color fresco es blanco.

CAPITULO VI

6 Resultados y análisis

6.1 Resultados

6.1.1 Descripción de las muestras

- MP20

Ubicada en el punto 1.087.579 N, 433.437E. Dentro del área destinada al Futuro Frente de explotación (3) hacia el lado oeste de la mina. Es una capa espesa de lutita perteneciente al Miembro Superior, de color marrón rojizo. Se tomó esta muestra para determinar la composición química y mineralógica para conocer su posible uso industrial además para correlacionar con otras muestras o para ser considerado como material estéril.

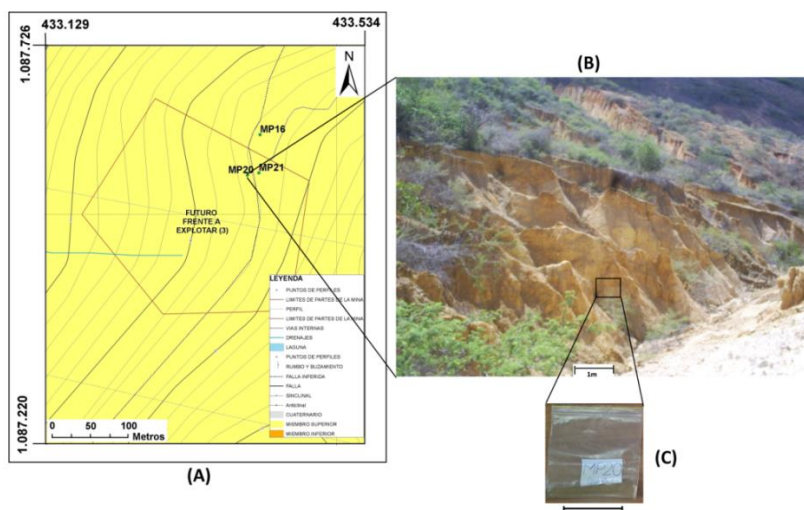


Figura 51. (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP20. (B) Fotografía en campo del afloramiento, se observan las cárcavas que son característica de este tipo de litología, dirección S30E. (C) Fotografía de la muestra MP20 preparada para realizarle los ensayos de DRX y AA.

- **MP21**

El afloramiento de donde se tomó esta muestra fue en el punto 1.087.593 N, 433.426 E específicamente en la zona oeste del mapa, en el futuro frente de explotación (3). Es una lutita de color fresco blanco y meteorizado amarillo, marrón y rojizo. Se escogió por pertenecer al Miembro Superior, ser abundante o la que más predomina. Además se desea correlacionar con las muestras MP18 y MP15.

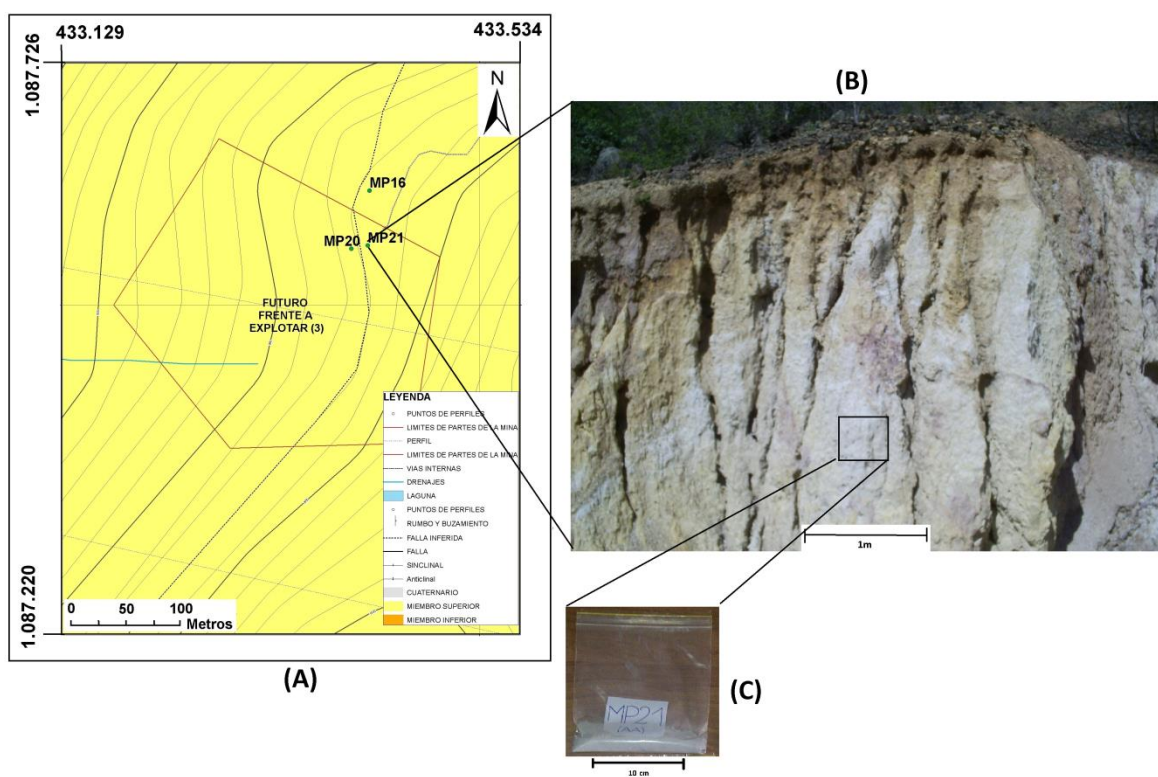


Figura 52. (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP21. (B) Fotografía en campo del afloramiento, donde se observan los colores meteorizados rojo, amarillo y marrón que cubre el color fresco blanco, dirección E-W. (C) Fotografía de la muestra MP21 ya totalmente disgregada para realizarle los ensayos de DRX y AA.



- **MP16**

Ubicado en la zona Oeste del mapa, específicamente en las coordenadas 1.087.604 N, 433.400 E. Corresponde a una muestra de arenisca que es de color meteorizado morado oscuro y fresco morado claro a rosa, se encuentra dentro del Miembro Superior en forma de lente. Tamaño de grano arena, es muy deleznable o poco consolidado razón por la cual no se pudo realizar análisis por sección delgada, sin embargo se emplearon análisis por medio de DRX y AA para de esta manera conocer su composición química y mineralógica y lograr establecer un modelo estratigráfico del área.

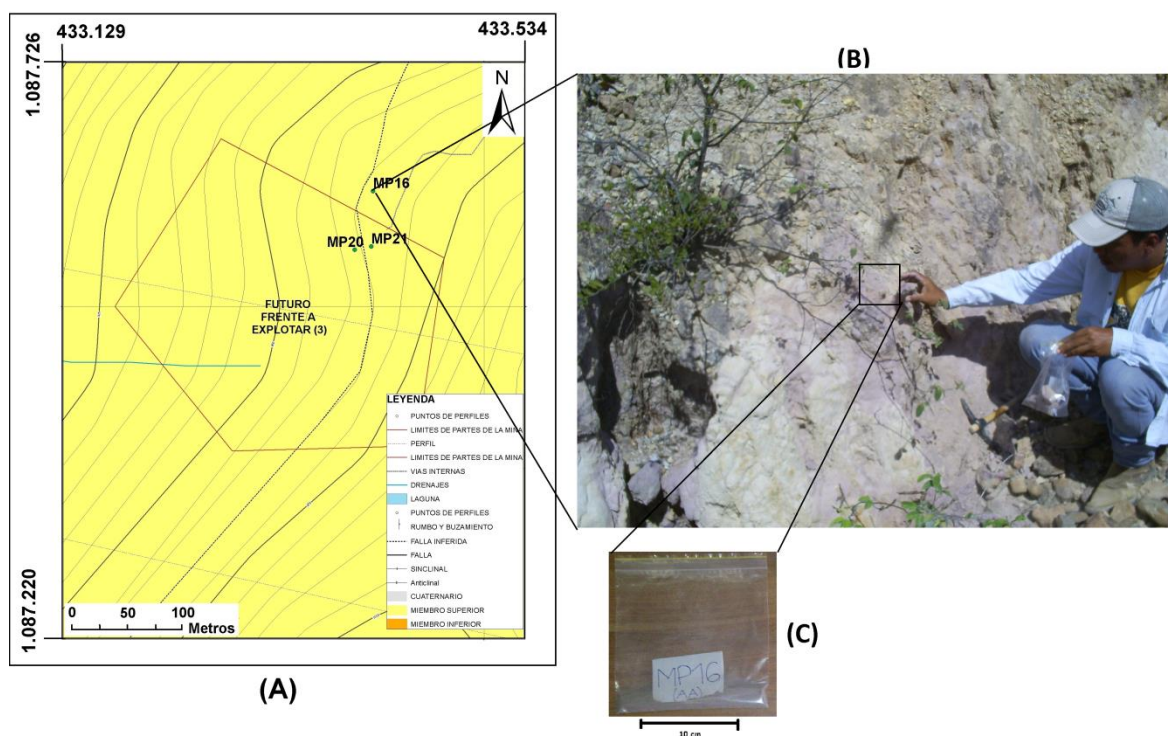


Figura 53. (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP16. (B) Fotografía en campo del afloramiento, donde se observan los colores meteorizados morado oscuro, y el color fresco rosa o morado claro, además al lado se encuentra en color blanco las lutitas pertenecientes al Miembro Superior, dirección N45W. (C) Fotografía de la muestra MP21 ya totalmente disgregada en un mortero para realizarle los ensayos de DRX y AA.

- **MP15**

Ubicado en el futuro frente a explotar (2) en las coordenadas 1.087.626 N, 433.847 E, en la zona este de la mina. Es una muestra de lutita de color fresco blanco y meteorizado amarillo y rojo, perteneciente al Miembro Superior. Se tomó para correlacionar con las muestras encontradas en otros sitios como lo son MP18 y MP21 que al igual a ellas sugieren un uso industrial importante.

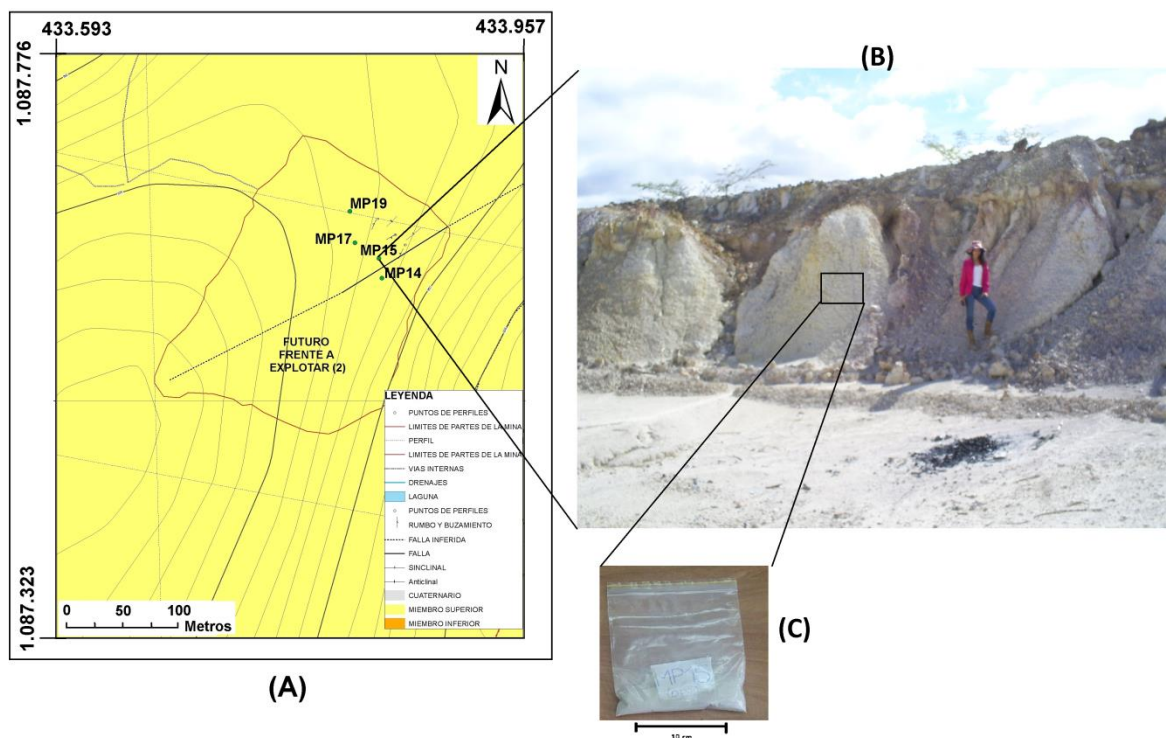


Figura 54. (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP15 en el futuro frente a explotar (2). (B) Fotografía en campo del afloramiento de lutitas blancas donde se tomó MP15, dirección de la foto N70E. (C) Fotografía de la muestra MP20 preparada para realizarle los ensayos de DRX y AA.

- **MP17**

Se recolectó en las coordenadas 1.087.639 N, 433.826 E. Ubicado en el futuro frente a explotar (2) hacia el este del área de estudio. Es una muestra de lutita cuyo color fresco y meteorizado es negro, se encontró hacia la base del afloramiento tal como lo muestra la figura 53, por debajo de las lutitas blancas, en forma de lente. Se seleccionó para conocer la relación que pueda tener con las otras muestras seleccionadas MP6 y MP12, además de que con estos datos se pueda establecer una historia y modelo geológico.

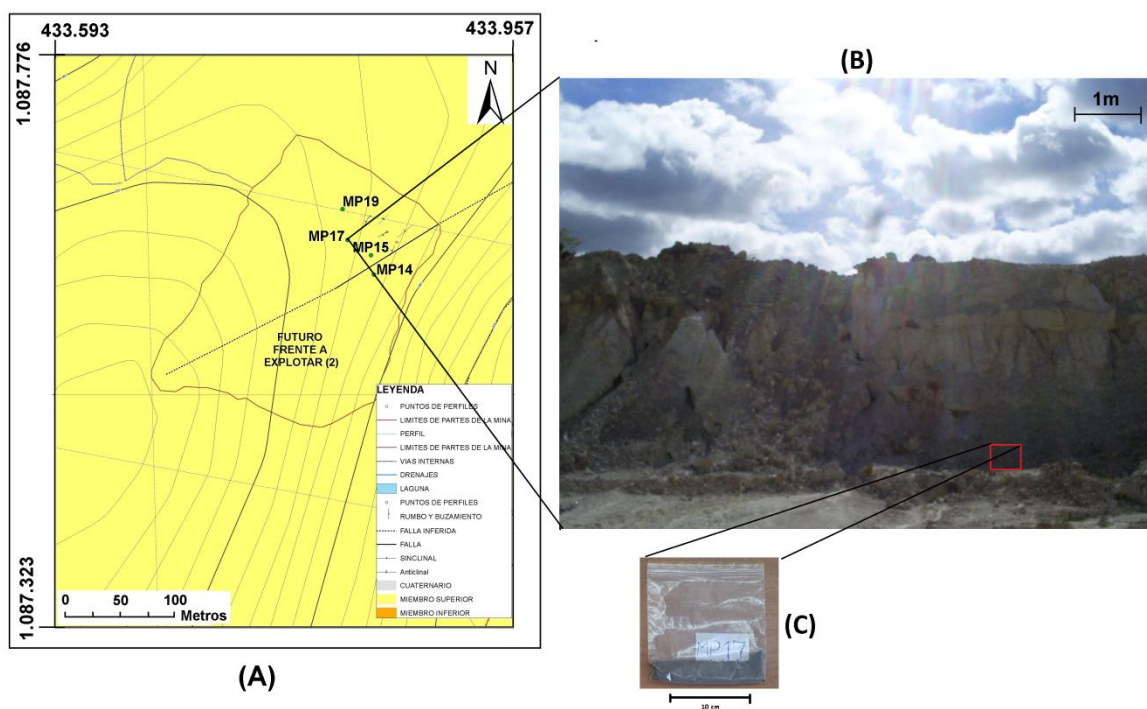


Figura 55. (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP17. (B) Fotografía en campo del afloramiento donde se recolectó, cabe destacar que esta se encuentra hacia la base, debajo de las capas de lutitas blancas y capa ferruginosa, dirección N80W. (C) Fotografía de la muestra MP17 disgregada para realizarle los ensayos de DRX y AA.

- **MP19**

Se ubica en el futuro frente a explotar (2) en las coordenadas 1.087.667 N , 433.822 E. Es una capa de lutita con arena de color fresco amarillo a crema y meteorizado amarillo un poco mas oscuro, se encuentra suprayacente a la capa de lutitas blancas, lo que hace que le de de el color meteorizado amarillo a éstas. Se analizó esta muestra para saber si se puede ser considerada como materia para uso industrial o es considerado estéril.

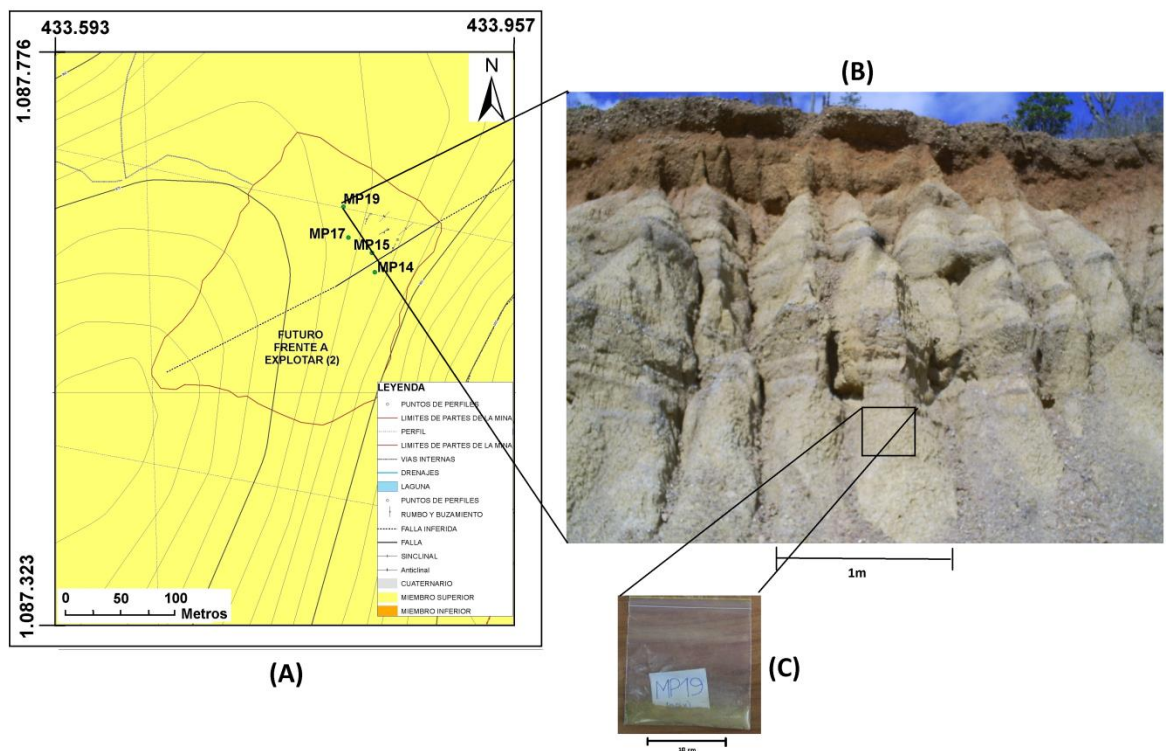


Figura 56. (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP19. (B) Fotografía en campo del lugar donde se seleccionó, nótese las cárcavas indicativo de una litología blanda y de grano fino, dirección E-W. (C) Fotografía de la muestra MP21 ya totalmente disgregada en un mortero para realizarle los ensayos de DRX y AA.

- **MP18**

El sitio donde se recolectó se ubica hacia el lado norte del área de estudio, en la mina en explotación en la coordenada 1.087.997 N, 433.643 E. Es una lutita de color

fresco blanco a crema y meteorizado amarillo y rojo. Se seleccionó esta muestra para correlacionarla con las MP15 y MP21 ya que presentan características en campo similares además de conocer su posible uso en la industria.

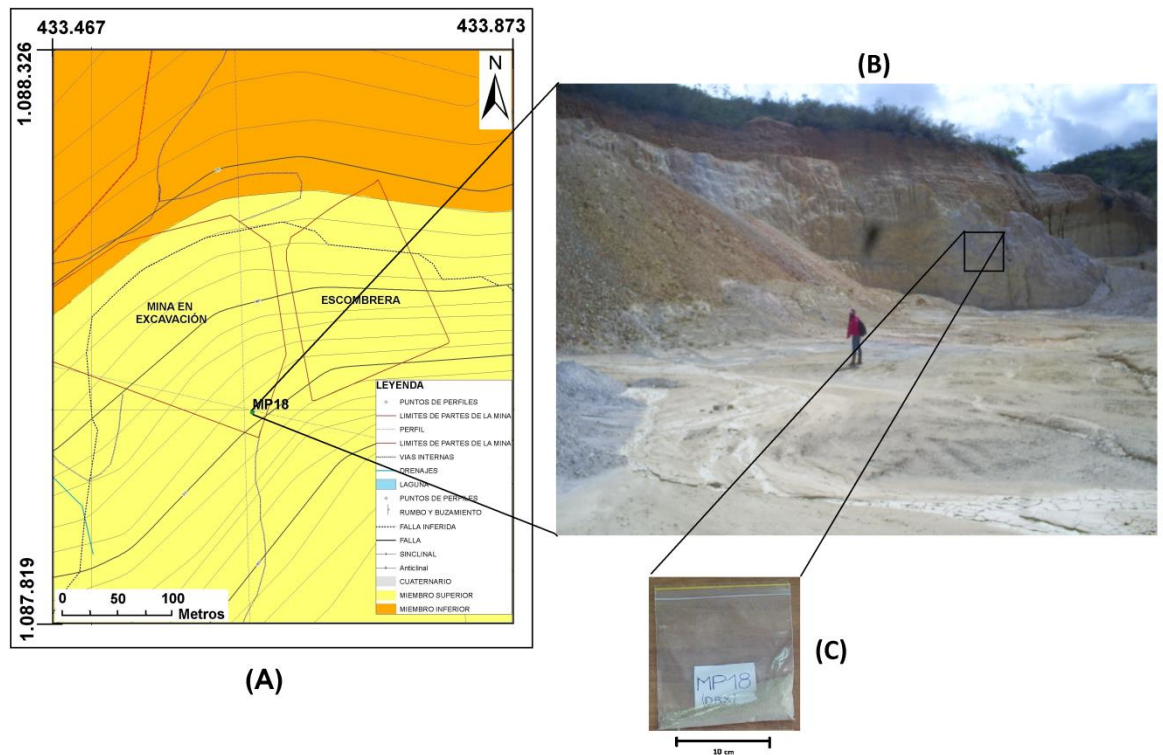


Figura 57. (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP18. (B) Fotografía en campo del afloramiento donde se seleccionó, se observan los colores meteorizados en algunas partes, dirección S30W. (C) Fotografía de la muestra MP17 disgregada para realizarle los ensayos de DRX y AA.

- **MP6**

Se ubica en la zona este del área de estudio por la quebrada seca, tomada en las coordenadas 1.088.577 N, 433.734 E, es una lutita perteneciente al Miembro Inferior de características similares a la MP12 y posiblemente a MP17 de acuerdo a la observación hecha en campo. Es de color fresco gris oscuro a negro y meteorizado gris claro. Se consideró para realizarle estos ensayos para ser correlacionadas con las

otras dos ya mencionadas, además de conocer su posible uso industrial y para poder establecer un modelo estratigráfico.

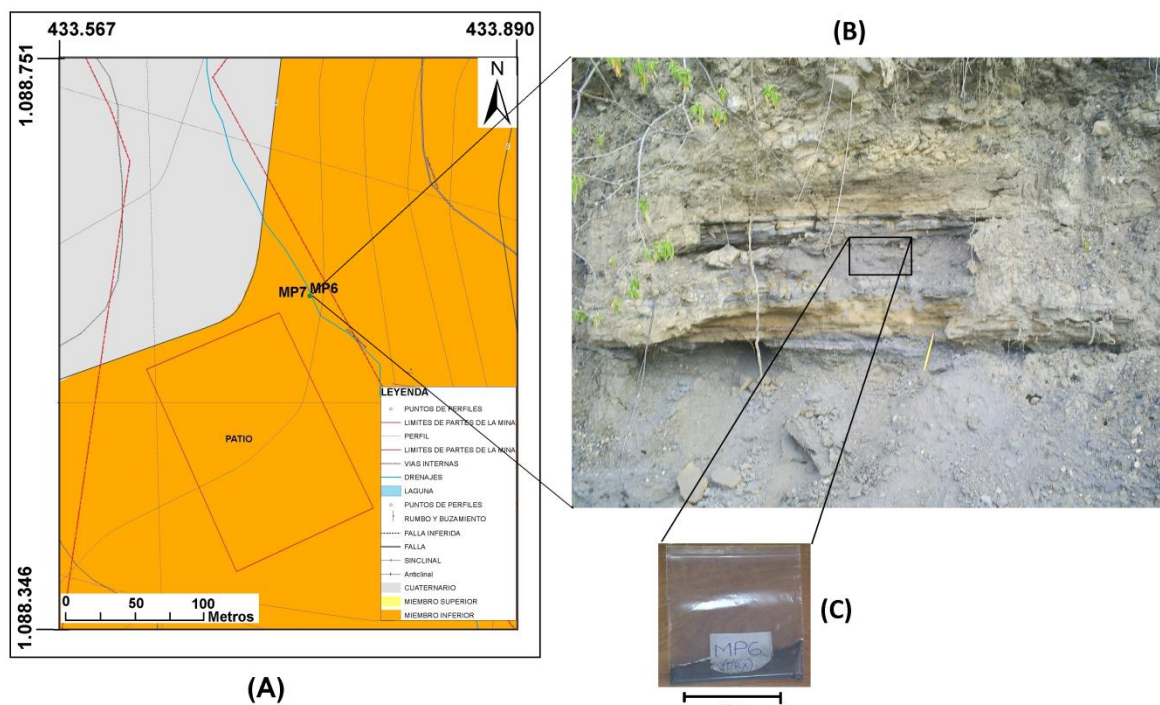


Figura 58. Ubicación del sitio donde se tomó la muestra MP6. (B) Fotografía en campo del afloramiento donde se recolectó, dirección N30E. (C) Fotografía de la muestra MP6 lista para realizarle los ensayos de DRX y AA.

- **MP12**

Se recolectó en la coordenada 1.087.546 N, 432.796 E. hacia la parte suroeste de la hoja fuera de los límites de la mina por la carretera Quíbor-Sanare, perteneciente al Miembro Inferior, en una calicata existente cuya litología mostró características similares a la MP6 y posiblemente a la MP17. Se seleccionó para ser comparadas con las otras muestras y poder establecer la disposición espacial de las capas.

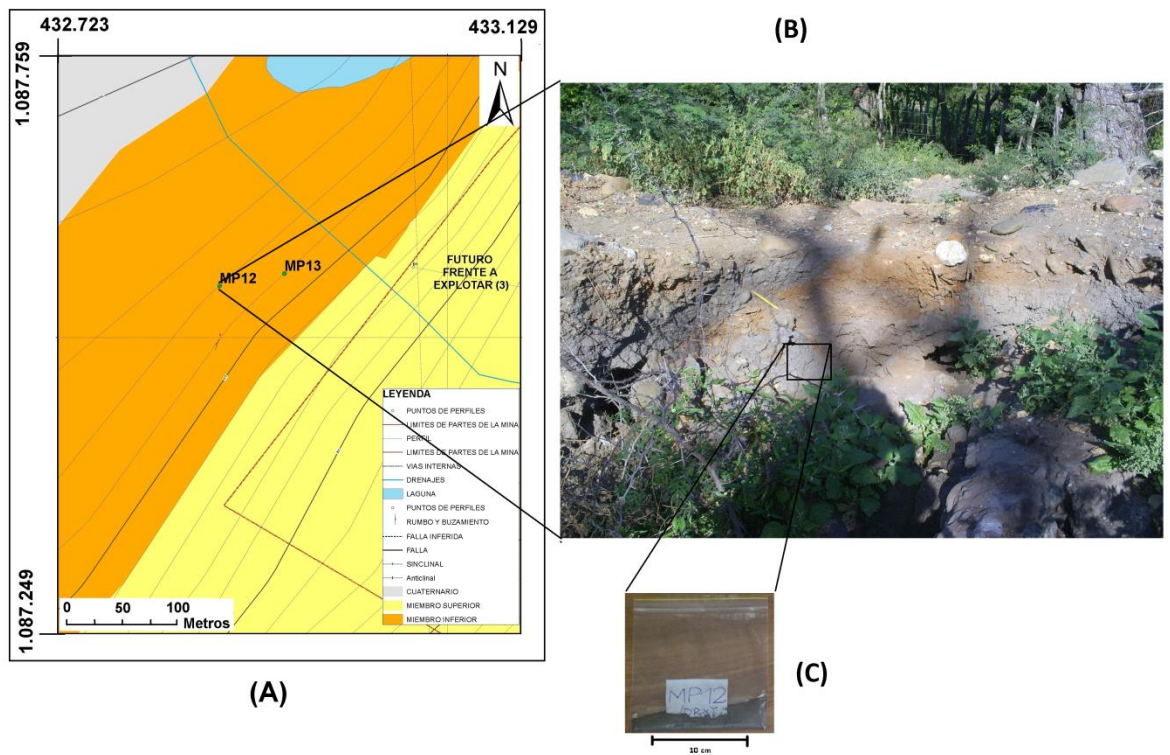


Figura 59. (A) Ubicación del sitio en el mapa donde se tomó la muestra MP12. (B) Fotografía en campo de la calicata existente donde se recolectó la muestra, se observan características similares a las encontradas en la quebrada Seca, dirección N80W. (C) Fotografía de la muestra MP12 para realizarle los ensayos de DRX y AA.

- **MP13**

Tomada en las coordenadas 1.086.899 N, 432.316 E, perteneciente al denominado Miembro Inferior al suroeste del mapa, se trata de una lutita de color fresco y meteorizado rojo, el cual se seleccionó para ser comparado con la muestra MP20 para de esta manera establecer su disposición espacial y posible uso industrial.

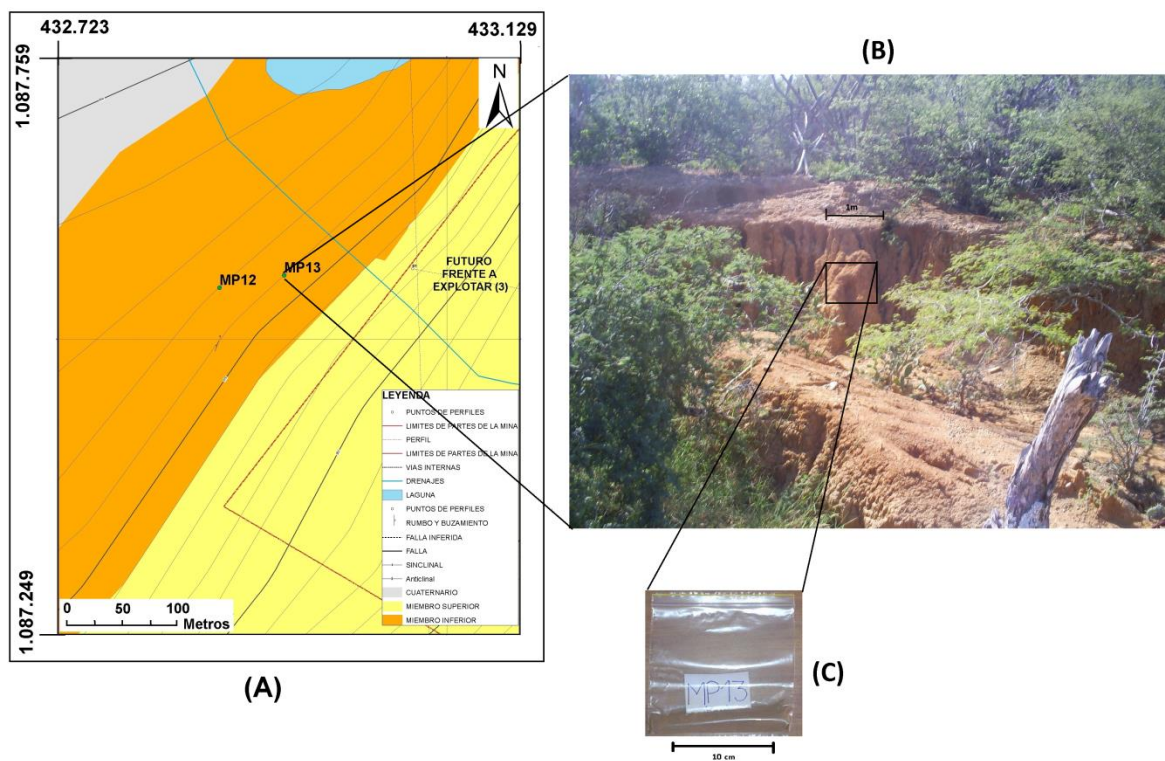


Figura 60. (A) Ubicación del afloramiento donde se tomó la muestra MP13 en el mapa (B) Fotografía en campo del afloramiento de lutitas rojas donde se observan las cárcavas, dirección de la foto N37E. (C) Fotografía de la muestra MP13 preparada para realizarle los ensayos de DRX y AA.

### 6.1.2 Difracción de Rayos X (DRX)

Se realizó el análisis de DRX de las 10 muestras mencionadas anteriormente con un difractómetro marca Brucker, modelo D8, para caracterizarlas litológicamente, en el cual se obtuvo la siguiente composición mineralógica. El porcentaje en minerales se realizó mediante una estimación de las fases minerales (%peso) llevado a cabo por el software “Match!” que basado en los valores de intensidad, es capaz de realizar un análisis semi-cuantitativo usando el "método de Relación de Intensidad de Referencia" (de Wolff, Visser (1964)) Los detalles del



difactograma, intensidades, comparación mineral, entre otros, se muestran en el apéndice.

Tabla 17. Resultados del análisis Difracción de rayos X.

Muestra	Miembro	Mineralogía	Comentario
MP20	Superior	Cuarzo (86,9) Goethita (13,1%)	Este es el material que se encuentra por encima de la denominada en campo “arcilla blanca” en el futuro frente a explotar (3)
MP21	Superior	Cuarzo (50,2%) Illita (50%) Caolinita (9,8%)	Es el llamado en campo como “Arcilla blanca” en el futuro frente a explotar (3)
MP16	Superior	Cuarzo (100%)	Ubicada como un lente en el futuro frente a explotar (3)
MP15	Superior	Cuarzo (49,3%) Illita (41,2 %) Caolinita (9,5 %)	Es el llamado en campo como “Arcilla blanca” en el futuro frente a explotar (2)
MP17	Superior	Cuarzo (43,3%) Albita (29,3%) Goethita (19,6%) Calcita (7,8%)	Se encuentra en forma de lentes en el área del futuro frente a explotar (2) dentro de la espesa capa de arcillas blancas
MP19	Superior	Cuarzo (58,7%) Illita (34,1%) Natrojarosita (7,2%)	Este es el material que se encuentra por encima de la denominada en campo “arcilla blanca” en el futuro frente a explotar (2)
MP18	Superior	Cuarzo (49,4%) Illita (38,8%) Caolinita (11,8%)	Determinada en campo como “Arcilla blanca” en el frente en explotación
*MP6	Inferior	Calcita (42,5%) Cuarzo (29,0%) Albita (26,3%) Goethita (2,2%)	Se determinó en campo como lutita pizarrosa negra. Por la zona este del área de estudio.

MP12	Inferior	Cuarzo (56,3 %) Calcita (6,6%) Albita (21,0%) Goethita (16,1%)	Se identificó en campo como parte de las lutitas ubicadas en la zona oeste de estudio.
MP13	Inferior	Cuarzo (93,4%) Goethita (6,6%)	Se encuentra al tope del Miembro Inferior

*\*Algunas fases minerales no identificadas, posiblemente por inconvenientes de ruido o preparación de la muestra.*

### 6.1.3 Absorción atómica (AA)

El análisis se llevó a cabo en Instituto de Ciencias de la Tierra en un equipo de Absorción Atómica, marca Perkin Eimer modelo Analyst 200. Con ayuda de este estudio se puede determinar la concentración p/p de distintas composiciones químicas necesarias para determinar el uso industrial. Se muestran a continuación en la tabla 16

Tabla 18. *Resultados del análisis de Absorción Atómica. PC indica el porcentaje de peso perdido por calcinación durante la preparación de las muestras*

Muestras	Miembro	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% MgO	% K <sub>2</sub> O	% Na <sub>2</sub> O	% CaO	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% SiO <sub>2</sub>	% PC
MP20	Superior	7,28	0,06	2,05	0,71	0,22	11,73	55,34	22,61
MP21	Superior	0,64	0,07	1,72	0,59	0,27	10,34	63,83	22,54
MP16	Superior	2,03	0,10	0,56	0,23	0,31	3,08	67,60	26,09
MP15	Superior	1,63	0,12	2,31	0,64	0,27	12,15	61,55	21,33
MP17	Superior	1,77	0,15	4,20	1,14	0,28	20,89	46,49	25,08
MP19	Superior	6,37	0,27	2,54	1,16	1,38	13,12	50,69	24,47
MP18	Superior	1,65	0,11	2,86	0,71	0,26	12,98	60,06	21,37
MP6	Inferior	4,41	0,52	2,25	0,39	10,82	11,78	39,55	30,28
MP12	Inferior	5,31	0,68	2,38	0,64	9,34	9,29	49,46	22,90
MP13	Inferior	7,81	0,09	1,03	0,38	0,39	10,28	57,27	22,75

### 6.1.4 límites de Atterberg

Estos se llevaron a cabo en el laboratorio de “Ingenieros De Santis” se realizó un ensayo a las muestras de lutitas blanca, negra y roja.

- **Lutita blanca, MP18**

Tabla 19. *Detalles de la muestra MP18 para realizar el ensayo de límites de Atterberg*

<b>Proyecto</b>	Caracterización geológica de la mina “La Providencia”		
<b>Muestra</b>	MP18	<b>Procedencia</b>	Distrito Jiménez, estado Lara

Tabla 20. *Resultados para MP18 del ensayo de límites de Atterberg*

<b>Punto</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ensayo</b>	<b>LL</b>	<b>LL</b>	<b>LL</b>	<b>LL</b>	<b>LP</b>	<b>LP</b>
Numero de golpes	17	27	37			
Capsula n°	25A	49A	213		747A	
Peso de capsula	22,47	25,32	25,81		23,09	
Cap+suelo húmedo	41,83	42,38	40,35		31,22	
Cap+suelo seco	34,82	36,47	35,48		29,52	
Cantidad de agua	7,01	5,91	4,87		1,7	
Peso del suelo seco	12,35	11,15	9,19		6,43	
%Humedad	56,78	53,00	52,99		26,44	

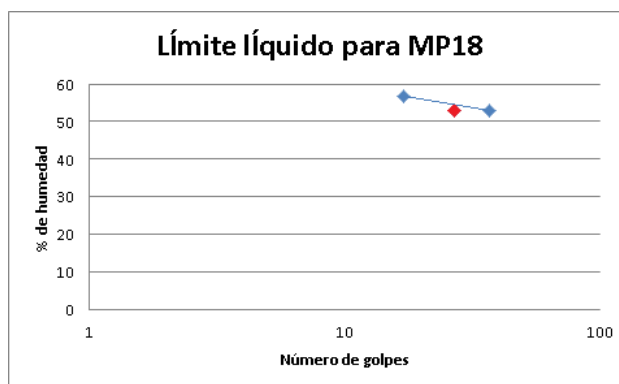


Figura 61. Gráfico semilogarítmico de porcentaje de humedad respecto al número de golpes para MP18.

Tabla 21. Índice de plasticidad para MP18

<b>Límite líquido (%)</b>	53,00	<b>Límite plástico (%)</b>	26,44	<b>Índice de plasticidad</b>	26,56
---------------------------	-------	----------------------------	-------	------------------------------	-------

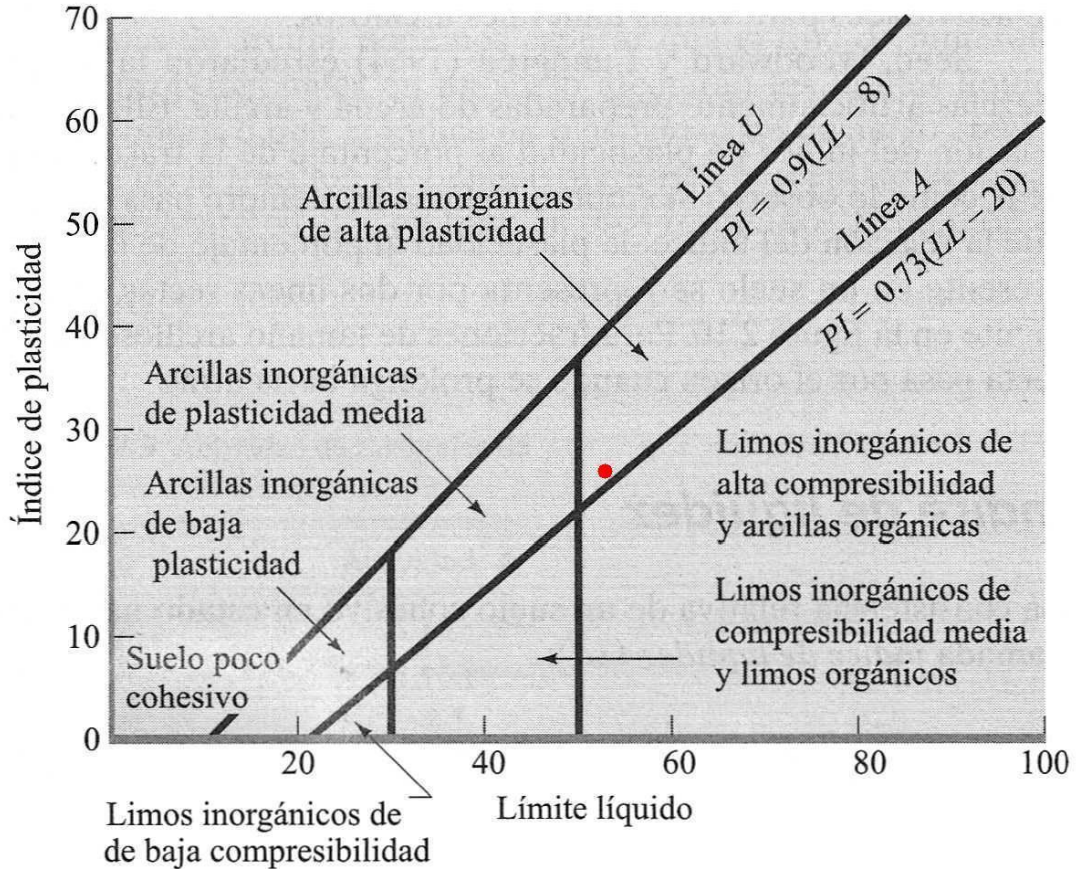


Figura 62. Datos de la muestra MP18 graficados en la carta de plasticidad de Casagrande.

**Observaciones:** La muestra MP18 es la que forma parte del Miembro Superior, específicamente es la lutita blanca que luego de aplicarle el ensayo de los límites de consistencia se obtuvo que el líquido es 53,00 que aunque según la figura 55 expone que dicho resultado no se encuentra sobre la recta, éste se encuentra dentro de un rango de tolerancia razón por la cual se tomó esta cantidad y el plástico 26,44; que luego al aplicar la fórmula del índice de plasticidad éste arrojó un resultado de 26,59. Estos datos fueron graficados en la carta de plasticidad de Casagrande la cual se identificó como una arcilla inorgánica de alta plasticidad (CH). Éste resultado sugiere que está compuesto por un alto contenido de minerales del grupo de la arcilla

ya que puede ser remodelado en presencia de alguna humedad sin desmoronarse, esta naturaleza cohesiva es debida al agua adsorbida que rodea a sus partículas (Braja Das, 2001)

- **Lutita negra, MP12**

Tabla 22. *Detalles de la muestra MP12 para realizar el ensayo de límites de Atterberg*

<b>Proyecto</b>	Caracterización geológica de la mina “La Providencia”		
<b>Muestra</b>	MP12	<b>Procedencia</b>	Distrito Jiménez, estado Lara

Tabla 23. *Resultados para MP12 del ensayo de límites de Atterberg*

<b>Punto</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>
<b>Ensayo</b>	<b>LL</b>	<b>LL</b>	<b>LL</b>	<b>LL</b>	<b>LP</b>	<b>LP</b>
<b>Numero de golpes</b>	17	25	35			
<b>Capsula n°</b>	278	115	241		204	
<b>Peso de capsula</b>	22,09	21,30	21,08		21,20	
<b>Cap+suelo húmedo</b>	42,59	37,90	32,82		31,74	
<b>Cap+suelo seco</b>	37,80	34,16	30,28		29,93	
<b>Cantidad de agua</b>	4,79	3,74	2,54		1,81	
<b>Peso del suelo seco</b>	15,71	12,86	9,2		8,73	
<b>%Humedad</b>	30,49	29,08	27,61		20,73	

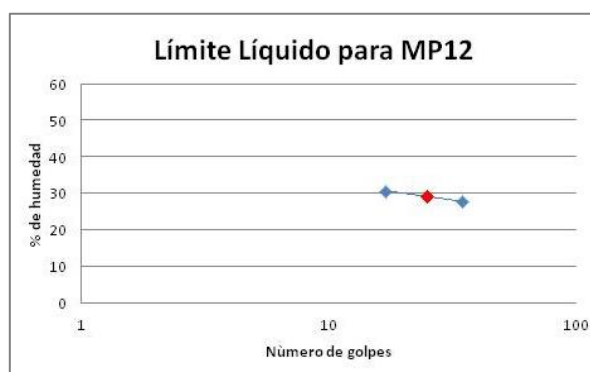


Figura 63. Gráfico semilogarítmico de porcentaje de humedad respecto al número de golpes para MP12.

Tabla 24. Índice de plasticidad para MP12

<b>Límite líquido (%)</b>	29,08	<b>Límite plástico (%)</b>	20,73	<b>Índice de plasticidad</b>	8,35
---------------------------	-------	----------------------------	-------	------------------------------	------

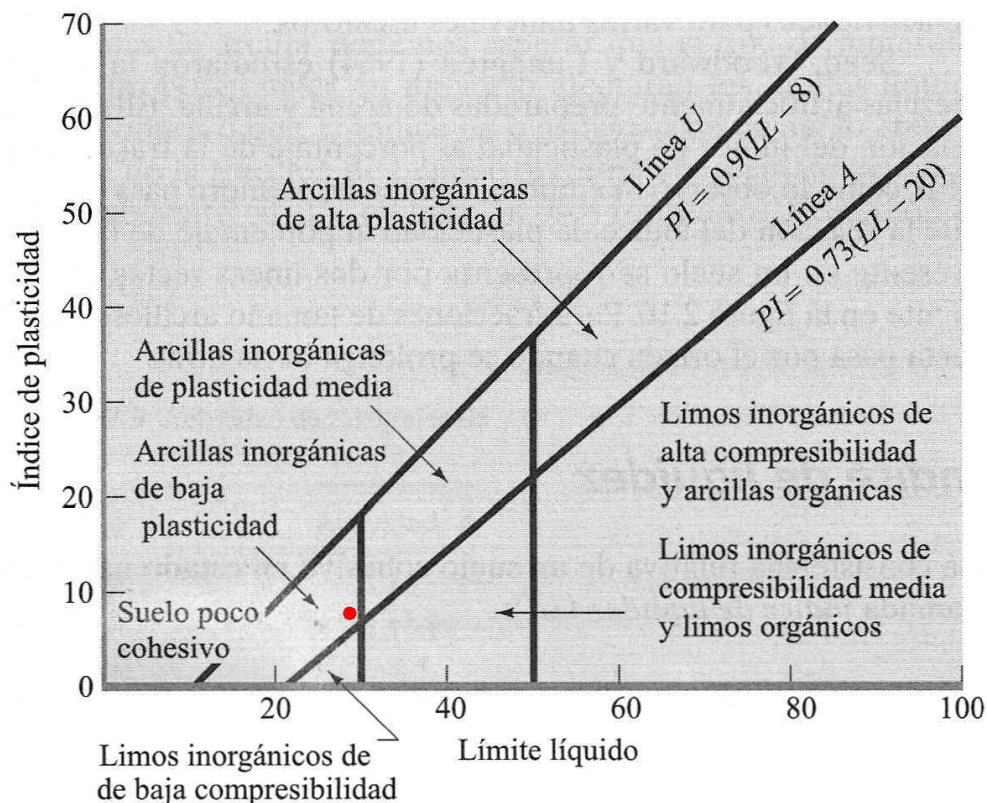


Figura 64. Datos de la muestra MP12 graficados en la carta de plasticidad de Casagrande.

**Observaciones:** La muestra MP12 es la denominada lutita negra del Miembro Inferior, de la cual al aplicarle el ensayo se obtuvo que el límite líquido es 29,08 cuyo valor al ser graficado como lo muestra la figura 57 resultó estar sobre la recta lo que indica que es muy preciso, y el plástico 20,73; con estos datos se prosiguió a usar la fórmula del índice de plasticidad de la cual se determinó que es 8,35. Este resultado fue graficado en la carta de plasticidad de Casagrande donde arrojó que pertenece al grupo de las arcillas inorgánicas de baja plasticidad (CL). Esto indica que posee bajo contenido en minerales del grupo de la arcilla que son los que hacen que sea considerado plástico al aplicarle una cierta cantidad de humedad.

- **Lutita roja, MP13**

Tabla 25. *Detalles de la muestra MP13 para realizar el ensayo de límites de Atterberg*

<b>Proyecto</b>	Caracterización geológica de la mina “La Providencia”		
<b>Muestra</b>	MP13	<b>Procedencia</b>	Distrito Jiménez, estado Lara

Tabla 26. *Resultados para MP13 del ensayo de límites de Atterberg*

PUNTO	1	2	3	4	1	2
ENSAYO	LL	LL	LL	LL	LP	LP
<b>NUMERO DE GOLPES</b>	17	25	35			
<b>CAPSULA N°</b>	142	156	204G		102X	
<b>PESO DE CAPSULA</b>	21,75	26,58	21,74		22,41	
<b>CAP+SUELO HUMEDO</b>	47,44	45,54	44,72		31,88	
<b>CAP+SUELO SECO</b>	40,63	40,38	38,91		30,81	
<b>CANTIDAD DE AGUA</b>	6,81	5,16	5,81		1,07	
<b>PESO DEL SUELO SECO</b>	18,88	13,8	17,17		8,40	
<b>%HUMEDAD</b>	36,07	37,39	33,84		12,73	

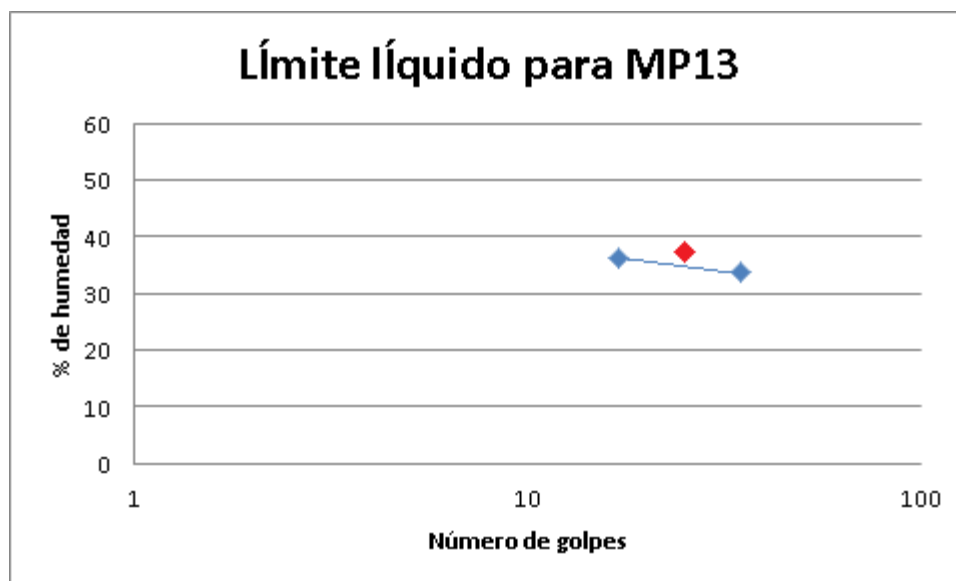


Figura 65. Gráfico semilogarítmico de porcentaje de humedad respecto al número de golpes para MP13.

Tabla 27. Índice de plasticidad para MP13

<b>Límite líquido (%)</b>	37,39	<b>Límite plástico (%)</b>	12,73	<b>Índice de plasticidad</b>	24,66
---------------------------	-------	----------------------------	-------	------------------------------	-------

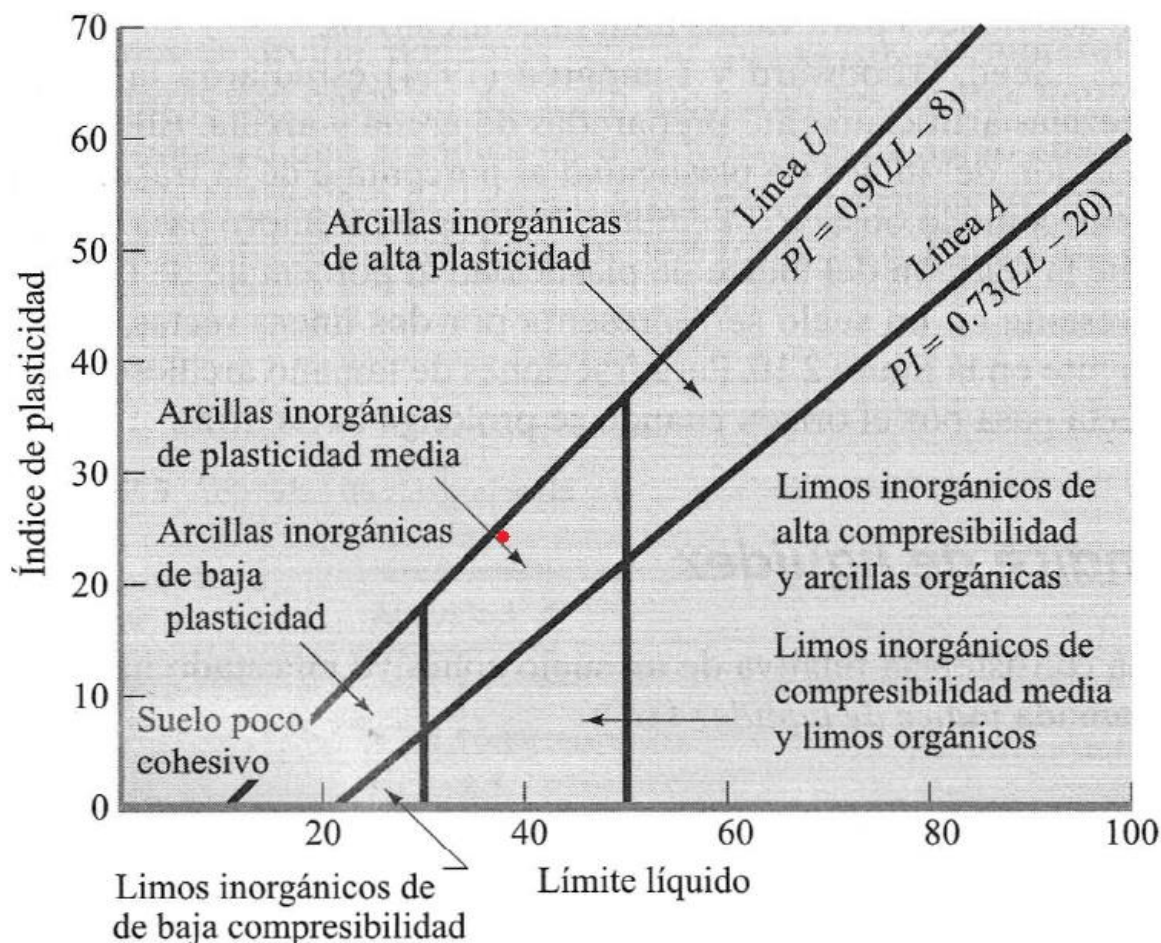


Figura 66. Datos de la muestra MP13 graficados en la carta de plasticidad de Casagrande.

**Observaciones:** La muestra MP13 es la correspondiente al tope del Miembro Inferior, es decir, las lutitas rojas. Cuyo resultado arrojó que su límite líquido es de 37,39 aunque dicho valor no está sobre la recta tal como lo indica la figura 59 sin embargo, se tomó por encontrarse dentro del rango de tolerancia y el límite plástico es de 12,73. El índice de plasticidad fue de 24,66 según la fórmula, que al ser



graficado en la carta de plasticidad de Casagrande resultó ser una arcilla inorgánica de plasticidad media.

### 6.1.5 Ensayos geotécnicos

Éstos fueron realizados en el laboratorio de Oficina Técnica José Heredia y Asociados, para caracterizar el material que se tomó en un trabajo de campo anterior, mediante el sistema de clasificación S.U.C.S, también conocer el índice de plasticidad, PH, índice de nocividad, superficie específica, gravedad específica y salinidad. Todo esto con la aplicación de los ensayos geotécnicos. El resultado se muestra en la tabla 33.

Los materiales ensayados son los pertenecientes al Miembro Superior de las Lutitas Blancas, en el caso de M1-5 el color meteorizado es gris claro, mientras que para M6 es rojizo.

Tabla 28. Resultados de los ensayos geotécnicos.

<b>Material</b>	<b>M1-5</b>	<b>M6</b>
<b>Descripción visual</b>	<b>Arcilla color gris claro</b>	<b>Arcilla color rojizo</b>
<b>Clasificación de suelos</b>	S.U.C.S	CH
<b>Granulometría</b>		
	Pasante tamiz 3''	-
	Pasante tamiz 3/4 ''	-
	Pasante tamiz N°4 (%)	99,9
	Pasante tamiz N° 10 (%) 2,00 (mm)	99,6
	Pasante tamiz N° 40 (%)	99
	Pasante tamiz N° 200 (%)	97,3
	Fracción arcillosa 0,006 (mm)	49,49
	Fracción arcillosa 0,002 (mm)	35,85
	Fracción arcillosa 0,001 (mm)	27,54
<b>Límites de consistencia</b>		
	Límite líquido (%)	57,56
	Límite plástico (%)	23,41
	Índice de plasticidad (%)	34,15

<b>Azul de Metileno</b>	Valor azul (ml/gr)	6,9	5,4
	Superficie específica se (m <sup>2</sup> /g)	47,34	45,27
<b>Gravedad específica</b>		2,74	2,70
<b>PH</b>		4,18	4,4
<b>Temperatura °C</b>		30	29,6
<b>Conductividad (ds/m)</b>		0,975	0,5081
<b>Salinidad (mg/l)</b>	No salino	1,075	0,556

En base a los resultados se observa una correspondencia respecto a los ensayos aplicados en la muestra MP18 con las M1-5 y M6.

- El análisis granulométrico indicó que más del 95% corresponde a partículas de tamaño fino, específicamente entre el 35,85 % y 29,42 % a arcillas entre el 49,49% y 39,03% de limo. Es una Arcilla de Alta Plasticidad (CH) según el Sistema Unificado de Clasificación (S.U.C.S). Cabe destacar que para emplear el material para la industria de la cerámica el porcentaje de arenas debe ser  $\leq 20$  (Consulta personal Ing. José Heredia, 2017).
- El ensayo de los límites de consistencia, realizado en los laboratorios de Ingenieros De Santis (MP18) y en la Oficina Técnica José Heredia & Asociados arrojaron como resultado una Arcilla de Alta plasticidad (CH) (ver comparación en la Tabla 34) al ser graficado en la carta de plasticidad de Arthur Casagrande.

Tabla 29 Comparación de los resultados de los límites de consistencia a las muestras M1-5, M6 y MP18.

<b>Muestra</b>	<b>Límite líquido</b>	<b>Límite plástico</b>	<b>Índice de plasticidad</b>
M1-5	57,56	23,41	34,15
M6	52,40	21,85	30,55
MP18	53,00	26,44	26,56

- La gravedad específica es de 2,74 para M1-5 y 2,70 para M6, en promedio 2,72.
- Mediante la realización del ensayo de Azul de metileno se obtuvo que el valor azul es de 6,9 a 5,4 (ml/g), con estos se pudo encontrar la superficie específica (se) que es de 47,34 y 45,27 m<sup>2</sup>/g en el que cuyos rangos se encuentran dentro del de las ILLITAS.
- Con el ensayo de salinidad se obtuvo 0,975 para M1-5 y 0,5081 para M6 esto sugiere que es “NO SALINO” según la tabla 6 puesto que su rango se encuentra entre 0-2. Por otra parte, la conductividad es baja y el PH indica que es fuertemente ácido.

## **6.2 Análisis**

### **6.2.1 Análisis de los materiales**

Una vez presentado los resultados se clasificaron los materiales tomando en cuenta parámetros en campo, mineralógico, químico y geotécnico. Cabe destacar que todas las muestras encontradas durante todo el trabajo son muy deleznable razón por la cual no se le pudo aplicar la caracterización por medio de sección delgada en el microscopio petrográfico.

- **Lutitas blancas**

Corresponden a las muestras MP18, MP21 y MP15, M6, M1-5 las cuales poseen características en campo similares, que luego al realizarle los análisis de difracción de rayos X y Absorción Atómica se comprobó esta hipótesis además de que se encontró

correspondencia respecto al ensayo de los límites de atterberg que resultó ser una arcilla de alta plasticidad (CH) lo cual sugiere una cantidad considerable de minerales del grupo de la arcilla, que es lo que le proporciona su naturaleza. Respecto a la aplicación del ensayo de azul de metileno indica que contiene illita. El promedio mineralógico (en base a las fases identificadas por DRX) y químico (de acuerdo a toda la muestra) en porcentaje es el siguiente:

Tabla 30. *Porcentaje mineralógico promedio de las lutitas blancas*

<b>% Cuarzo</b>	<b>% Illita</b>	<b>% Caolinita</b>
48,03	41,94	10,03

Tabla 31. *Porcentaje químico promedio de las lutitas blancas*

<b>% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% MgO</b>	<b>% K<sub>2</sub>O</b>	<b>% Na<sub>2</sub>O</b>	<b>% CaO</b>	<b>% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% SiO<sub>2</sub></b>
1,31	0,10	2,30	0,64	0,27	11,82	61,81

- **Lutitas negras**

Encontrada hacia la base de la Unidad, se trata de las muestras MP6 y MP12. Ambas presentaron características en campo similares como sus colores, intercalaciones con otro tipo de litología, espesores, que al realizarle el ensayo químico mostró correspondencia y semi-correspondencia en el caso de la mineralogía ya que la muestra MP6 presentó en su difractograma unas intensidades a la cual no se le pudo atribuir una fase mineral, posiblemente por razones de ruido durante su realización o por su preparación. Por otro lado, se observa poco porcentaje en peso de minerales del grupo de la arcilla que son los que le aporta plasticidad a los materiales, tal como sugiere el resultado de límites de atterberg.

Tabla 32. *Porcentaje mineralógico promedio de las lutitas negras*

<b>% Cuarzo</b>	<b>% Albita</b>	<b>% Calcita</b>	<b>% Goethita</b>
42,65	23,65	24,55	9,15

Tabla 33. *Porcentaje químico promedio de las lutitas negras*

<b>% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% MgO</b>	<b>% K<sub>2</sub>O</b>	<b>% Na<sub>2</sub>O</b>	<b>% CaO</b>	<b>% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% SiO<sub>2</sub></b>
4,86	0,60	2,32	0,52	10,08	10,53	44,51

- **Lente de lutita negra**

Corresponde a la muestra MP17 que en base a las observaciones realizadas en campo se planteó la posibilidad de que este lente de lutita negra correspondiera a una litología similar a las MP6 y MP12 sin embargo los análisis químicos sugieren que no presentan similitud, lo que comprueba además que son de distintos miembros.

Tabla 34. *Porcentaje mineralógico del lente de lutita negra*

<b>% Calcita</b>	<b>% Goethita</b>	<b>% Cuarzo</b>	<b>% Albita</b>
7,8	19,6	43,3	29,3

Tabla 35. *Porcentaje químico del lente de lutita negra*

<b>% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% MgO</b>	<b>% K<sub>2</sub>O</b>	<b>% Na<sub>2</sub>O</b>	<b>% CaO</b>	<b>% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% SiO<sub>2</sub></b>
1,77	0,15	4,20	1,14	0,28	20,89	46,49

- **Lutitas arenosas rojas**

Son las muestras MP13 y MP20 las cuales presentan características similares a pesar de clasificarlos en distintos Miembros y que de acuerdo a los ensayos se notó una cierta semi-correspondencia.

Tabla 36. *Porcentaje mineralógico promedio de las Lutitas rojas*

<b>% Cuarzo</b>	<b>% Goethita</b>
90,15	9,85

Tabla 37. *Porcentaje químico promedio de las Lutitas rojas*

<b>% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% MgO</b>	<b>% K<sub>2</sub>O</b>	<b>% Na<sub>2</sub>O</b>	<b>% CaO</b>	<b>% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% SiO<sub>2</sub></b>
7,54	0,08	1,54	0,55	0,30	11,00	56,30

- **Lutita amarilla**

Corresponde a las muestra MP19, suprayacente a la capa de lutitas blancas cuya mineralogía y química resultaron ser las siguientes:

Tabla 38. *Porcentaje mineralógico de las Lutitas amarillas*

<b>% Cuarzo</b>	<b>% Illita</b>	<b>% Natrojarosita</b>
58,7	34,1	7,2

Tabla 39. *Porcentaje químico de las Lutitas amarillas*

<b>% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% MgO</b>	<b>% K<sub>2</sub>O</b>	<b>% Na<sub>2</sub>O</b>	<b>% CaO</b>	<b>% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% SiO<sub>2</sub></b>
6,37	0,27	2,54	1,16	1,38	13,12	50,69

- **Arenisca morada**

Corresponde a la muestra MP16 del Miembro Superior en forma de lente donde se identificó de acuerdo al análisis de Difracción de Rayos X únicamente una fase mineral que es el cuarzo aunque no se descarta la posibilidad de que exista otros tipo trazas. Su análisis químico arrojó lo presentado en la Tabla 45.

Tabla 40. *Porcentaje químico de la Arenisca rosada*

<b>% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% MgO</b>	<b>% K<sub>2</sub>O</b>	<b>% Na<sub>2</sub>O</b>	<b>% CaO</b>	<b>% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>% SiO<sub>2</sub></b>
2,03	0,10	0,56	0,23	0,31	3,08	67,60

### **6.2.2 Uso Industrial**

Se considera en base a su mineralogía, química, granulometría y naturaleza plástica que el material determinado como Lutita Blanca es el de interés industrial además de que es el más abundante, se clasifica según el esquema de uso industrial de la figura 67 como un material para aportar plasticidad a otros.

Además ya que posee un alto porcentaje de illita, éste posee una aplicación importante dentro de la medicina, terapéutica o cosmética, es conocido por sus muchas virtudes. Puede ser aplicada de forma tópica en forma de cataplasma sobre inflamaciones articulares y tendinosas. Pero la illita es más conocida por sus beneficios sobre la piel de la cara puesto que es capaz de limpiar y purificar, sobretodo luchando contra el acné. Con sus propiedades absorbentes, cicatrizantes, suavizantes y calmantes, la illita forma parte de la composición de muchas cremas y otros ungüentos (salud.kioskea.net, 2015).

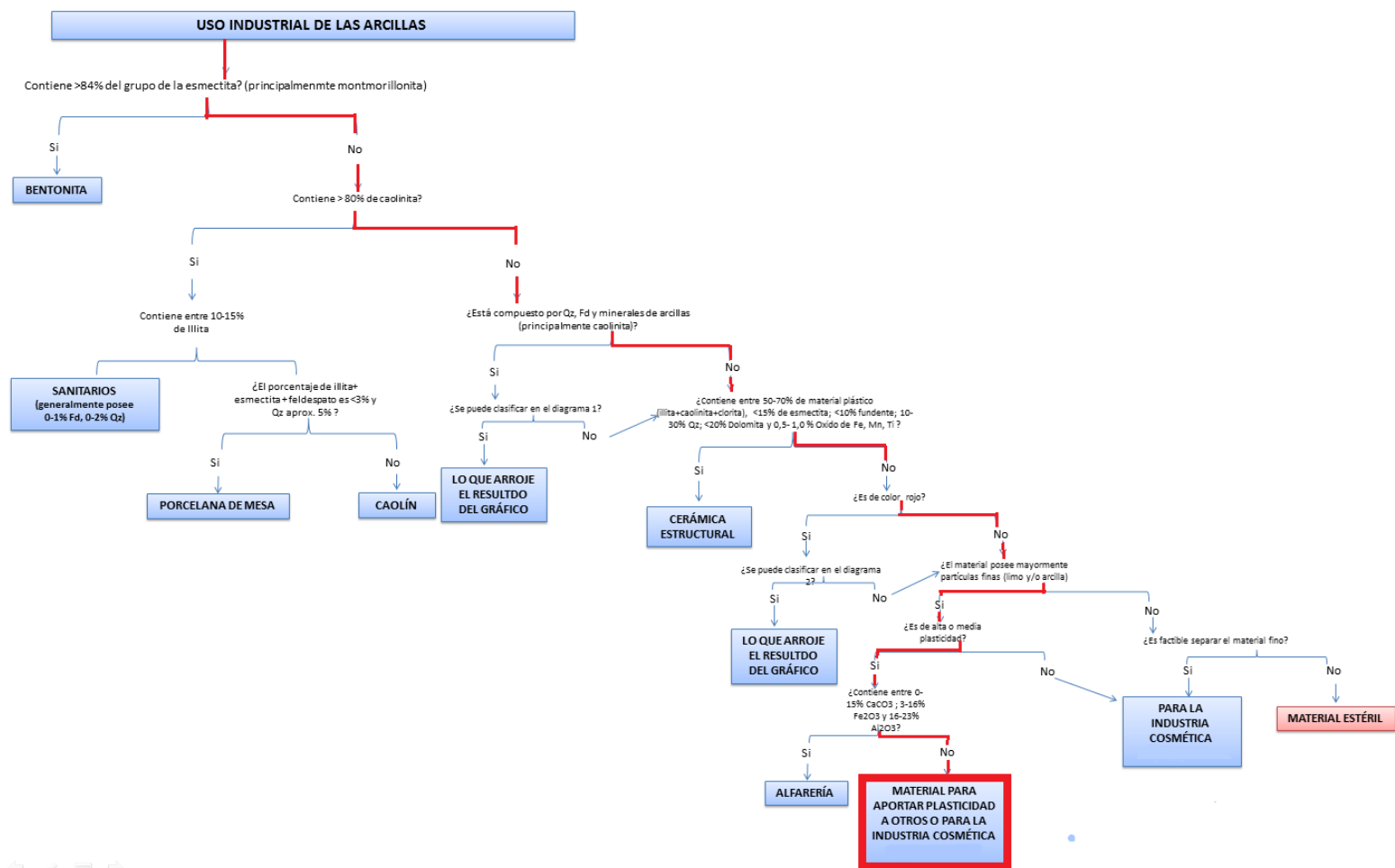


Figura 67 Clasificación de las Lutitas Blancas según el diagrama de compilación de varios autores.



Por otra parte, para la industria cerámica la materia prima arcillosa es el componente fundamental en la preparación de su pasta, aunque no siempre resulta adecuada por sí misma para tal fin, debido principalmente a ciertas propiedades como: una plasticidad excesiva, una elevada contracción durante el secado y la cocción, o bien una absorción desmesurada, por lo que se hace necesario añadir otras sustancias que modifiquen convenientemente estos parámetros (Parras, 1996) que son:

- **Los desgrasantes:** Para corregir la plasticidad. Ejemplo el cuarzo, calcita, dolomita, entre otros.
- **Fundentes:** Para modificar convenientemente la temperatura de inicio del proceso de vitrificación. Por ejemplo, los feldespatos.

Para este caso en particular, se empleará por su color el diagrama de clasificación en porcentaje mineralógico de Enrique et al., 1985, sin embargo se descarta su uso para porcelana, semiporcelana o caolín puesto que debe contener >80% de caolinita según Galán & Aparicio (¿) por lo que se estimó la cantidad necesaria para ser empleada como gres que es un importante uso que se le da a este tipo de material dentro de la industria de la cerámica, no obstante, es necesario añadir una cierta cantidad de fundente o feldespato para mejorar ciertos parámetros respecto a temperatura en el proceso de vitrificación.

Se obtuvo que es necesario añadirle una cantidad mayor al 9,43 % y menor al 22,64 % de feldespato o cualquier otro material fundente. Se realizó además el recalcu del porcentaje de cuarzo y arcillas (illita+caolinita) de las Lutitas Blancas al agregarle cierta cantidad de fundente y se logró como resultado lo presentado en la tabla 46 que gráficamente está representado en la línea azul de la figura 68.

Tabla 41. Recalculo del porcentaje mineralógico de las Lutitas Blancas al añadirle la cantidad mínima y máxima de feldespato empleada para gres cerámico

Punto	% Cuarzo	% Arcillas	%Feldespato
Original	48,03	Illita 41,94 Caolinita 10,19	0
A	<37,16	Illita 32,44 Caolinita 7,88	<22,64
B	>43,50	Illita 37,99 Caolinita 9,23	>9,43

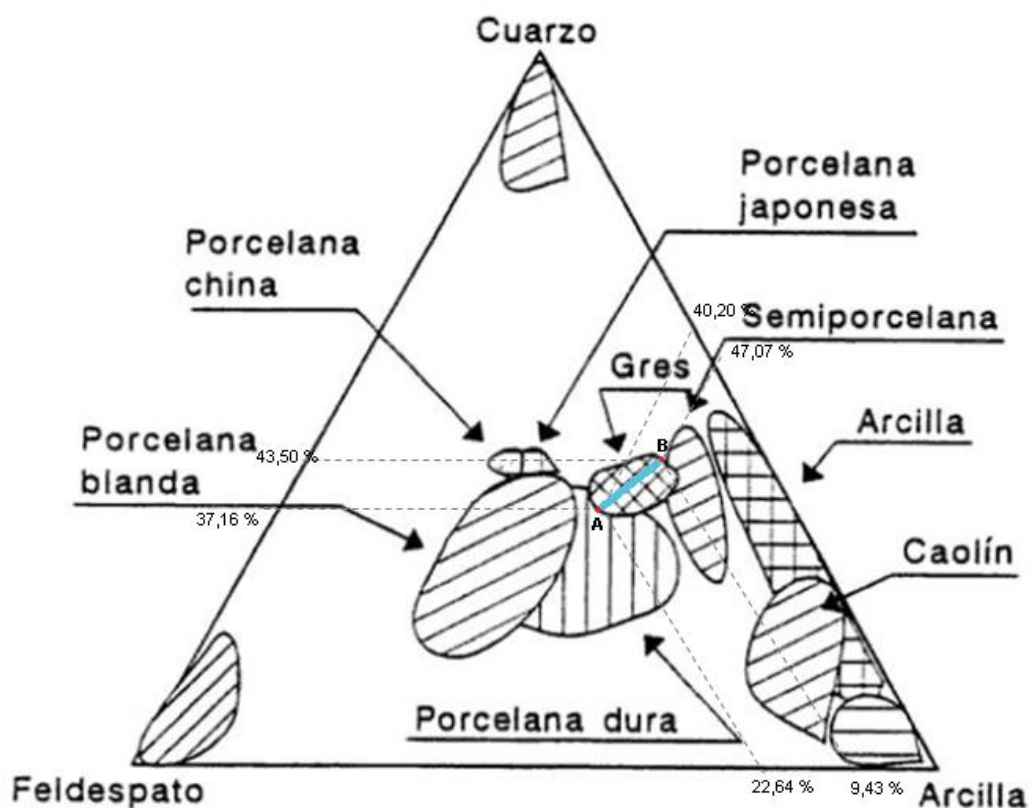


Figura 68. Diagrama de clasificación en porcentaje mineralógico (Enrique et al., 1985) para la lutita blanca.

### 6.2.3 Estimación de recursos

Para la estimación de los recursos se empleó por medio de dos métodos para comprobar su precisión: el de las secciones paralelas y por el software Rockworks.

Puesto que se desconoce el plano de contacto entre el Miembro Inferior y el Superior, se realizó una estimación del espesor de las Lutitas Blancas en función a la disposición espacial de su litología y a las observaciones hechas en campo.

En el método de las secciones paralelas para calcular los recursos se utilizan los cortes de prospección que forman el sistema de trabajos de exploración. Los contornos de los recursos se trazan en los planos de los cortes geológicos, y los límites de cada bloque de cálculo coinciden con los planos de los cortes. Las reservas se calculan en cada bloque por separado y después se suman por todo el depósito mineral (KAZHDÁN, 1982). Se emplea la siguiente fórmula:

$$V_{\text{Bloque}} = \frac{(S1+S2)}{2} * D \quad \text{Donde:}$$

V = Volumen del bloque.

S1= Área de la sección 1.

S2= Área de la sección 2.

D= Distancia entre los perfiles.

Por otro lado, Rockworks es un programa utilizado para el análisis y visualizado de cuerpos de rocas subterráneos, útil para estudios geotécnicos, mineros y petrolíferos. El programa genera un modelado 3D, a través de la información geológica suministrada. Para la generación del modelo en este trabajo, se utilizó el método del IPC (Closest Point Gridding), el cual realiza un proceso iterativo que, para cada punto de una imagen, efectúa la búsqueda del vecino más cercano en la

imagen a registrar por medio de una función de minimización de distancias. De esta forma, en cada iteración acerca de manera global los dos conjuntos de datos hasta lograr que ambos converjan (MOLINA et. al, 1997). Para realizar la estimación de recursos en este software, se delimitó el área tomando en cuenta los datos de geología de superficie

- **Futuro frente a explotar (2)**

Ubicada hacia el lado este de la zona de estudio, se realizaron 10 perfiles geológicos que se dividen en 9 bloques figura 69.

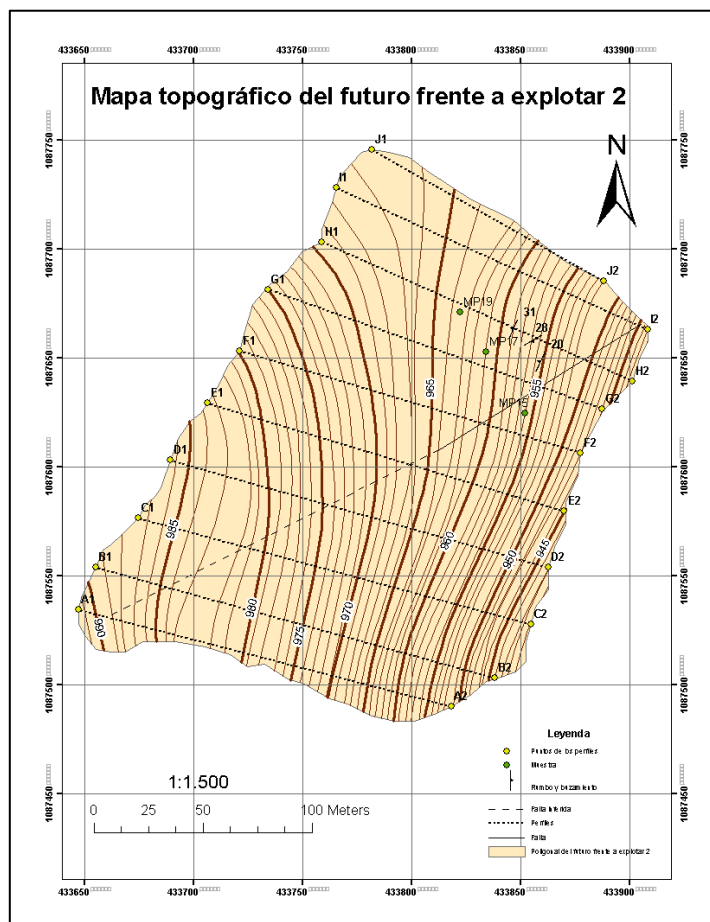


Figura 69. Mapa topográfico del futuro frente a explotar (2)

Cabe considerar que toma el punto de base para la estimación la cota más baja del área que es 938 m y no su basamento de lutitas compactadas puesto que es lo que se considera apropiadamente para su explotación

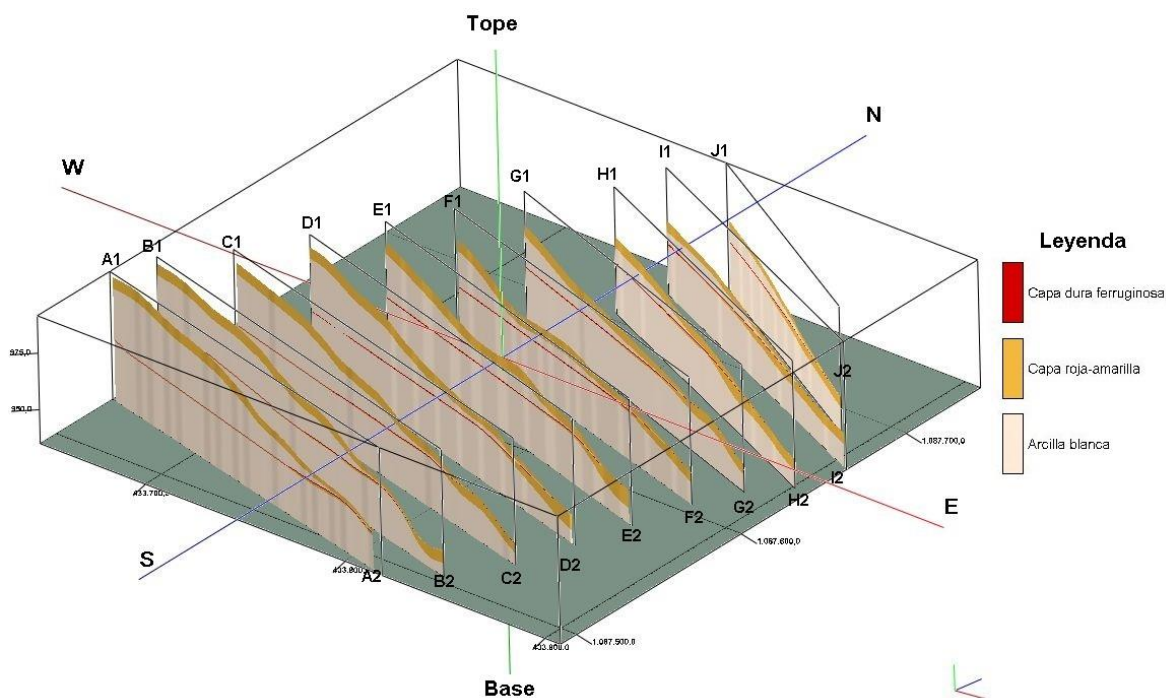


Figura 70. Secciones geológicas tomadas para realizar la estimación de las recursos dispuestas espacialmente. Realizado mediante el software RockWorks.

Tabla 42. Estimación del volumen de recursos por medio del método de las secciones paralelas para el futuro frente a explotar (2).

Bloque	Perfiles	S1 (m <sup>2</sup> )	S2 (m <sup>2</sup> )	D(m)	V (m <sup>3</sup> )
1	A-B	5934,66	6068,52	19,96	119791,74
2	B-C	6068,52	5511,68	24,82	143710,28
3	C-D	5511,68	5005,66	28,02	147347,93
4	D-E	5005,66	4489,37	26,81	127280,88
5	E-F	4489,37	3897,63	28,21	118298,64
6	F-G	3897,63	3534,03	27,52	102259,64

7	G-H	3534,03	3086,65	24,20	80110,23
8	H-I	3086,65	3054,33	25,00	76762,25
9	I-J	3054,33	2601,49	17,00	48074,47

Tabla 43. Volumen del futuro frente a explotar 2 por medio del método de las secciones paralelas.

<b>Volumen total m<sup>3</sup></b>	963.636,05
------------------------------------	------------

Tabla 44. Volumen del futuro frente a explotar 2 por medio del software Rockworks

<b>Volumen total m<sup>3</sup></b>	1.058.127,30
------------------------------------	--------------

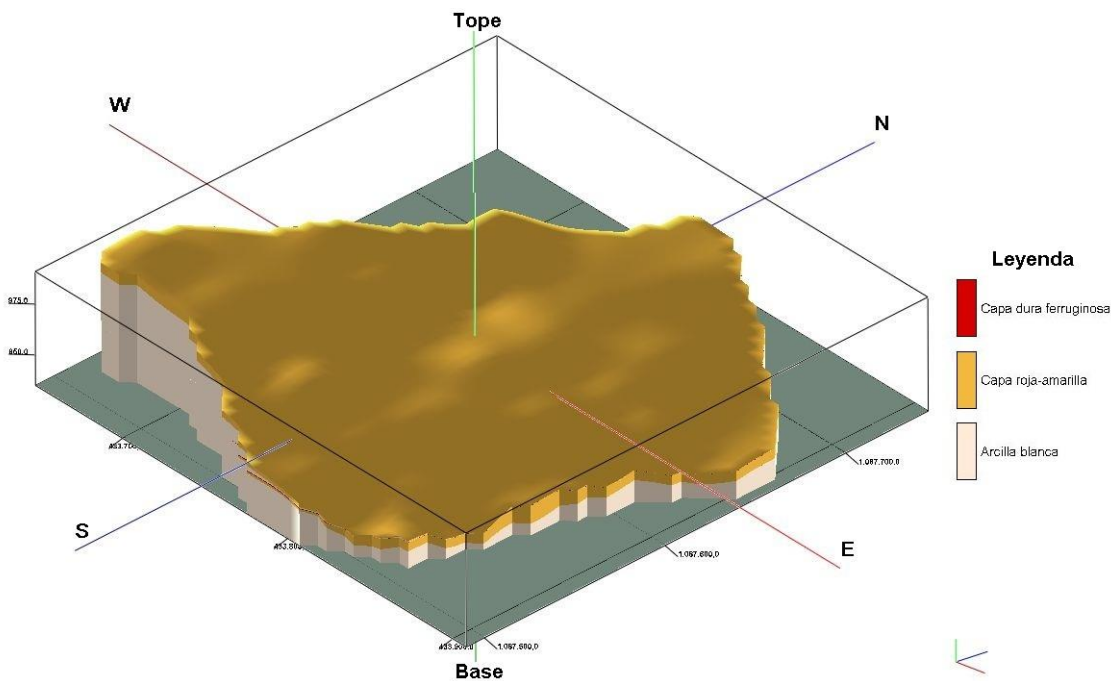


Figura 71. Modelo 3D del futuro frente a explotar 2, realizado mediante el software RockWorks.

El volumen estimado por el software Rockworks, presentan una cantidad mayor a las realizadas mediante cálculos geométricos, con una diferencia de

94.491,25 m<sup>3</sup>, lo que representa una variación del 8%. Ésta se le atribuye a la irregularidad de sus límites en la poligonal sin embargo son similares a los realizados a través del software, por lo que se verifica que los cálculos se hayan realizado correctamente. Para este trabajo se tomarán en cuenta los recursos estimados por el método geométrico, tomando en consideración que esta cifra puede aumentar relativamente.

- **Futuro frente a explotar (3)**

Se ubica hacia el oeste de la zona de estudio, se realizó 5 secciones geológicas que da como resultado 4 bloques. Al igual que el caso anterior se considerará que el punto de base para la estimación de reservas es la cota más baja del área que es 938 m y no su basamento de lutitas compactadas del Miembro Inferior puesto que es lo que se considera apropiadamente para su explotación

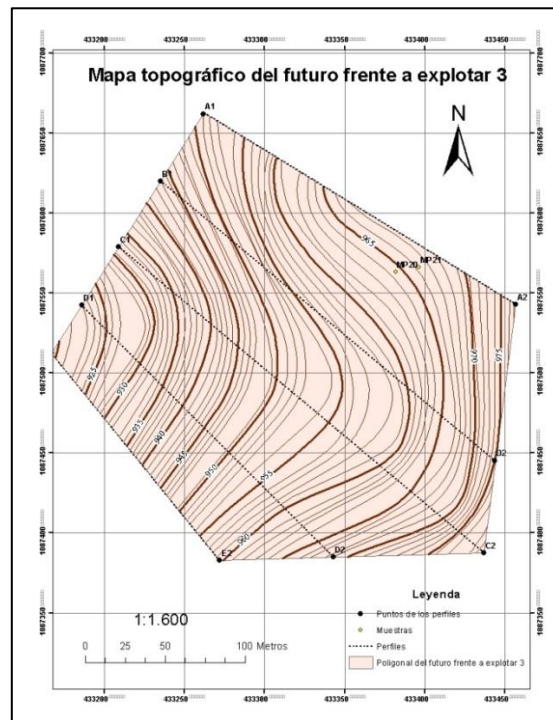


Figura 72. Mapa topográfico del futuro frente a explotar 3.

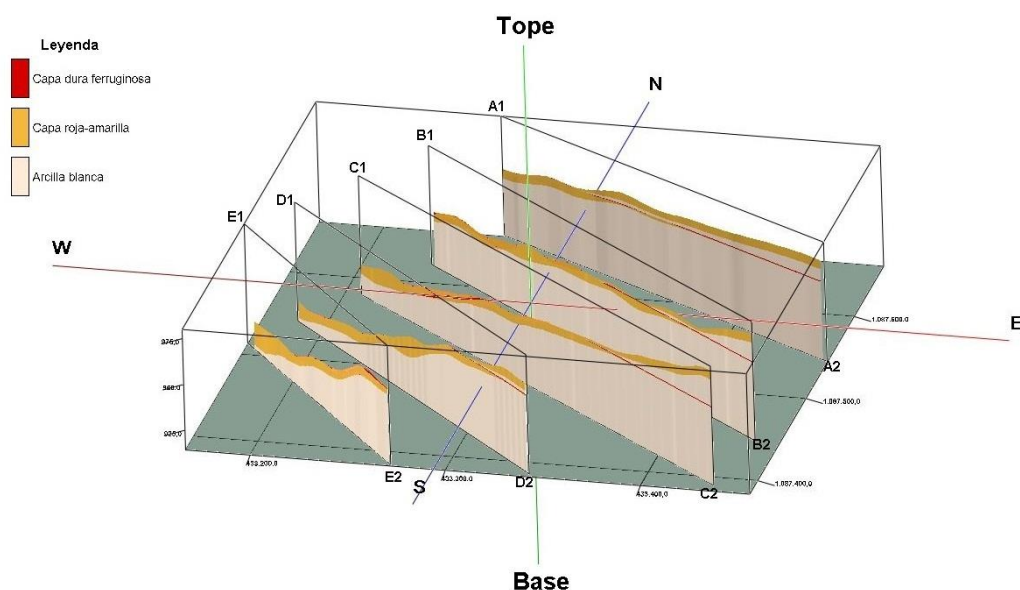


Figura 73. Secciones geológicas tomadas para realizar la estimación de las recursos dispuestas espacialmente. Realizado mediante el software RockWorks.

Tabla 45. Estimación del volumen de recursos por medio del método de las secciones paralelas para el futuro frente a explotar (3).

Bloque	Perfiles S1-S2	S1 (m <sup>2</sup> )	S2 (m <sup>2</sup> )	D(m)	V (m <sup>3</sup> )
1	A-B	9.493,09	10.739,20	69,72	705.297,63
2	B-C	10.739,20	8.980,54	48,42	477.414,91
3	C-D	8.980,54	5.055,53	57,77	405.431,88
4	D-E	5.055,53	3.619,27	44,79	194.272,15

Tabla 46. Volumen del futuro frente a explotar 3 por medio del método de las secciones paralelas.

<b>Volumen total m<sup>3</sup></b>	1.782.416,56
------------------------------------	--------------

Tabla 47. Volumen del futuro frente a explotar 3 por medio del software Rockworks

<b>Volumen total m<sup>3</sup></b>	1.847.660
------------------------------------	-----------



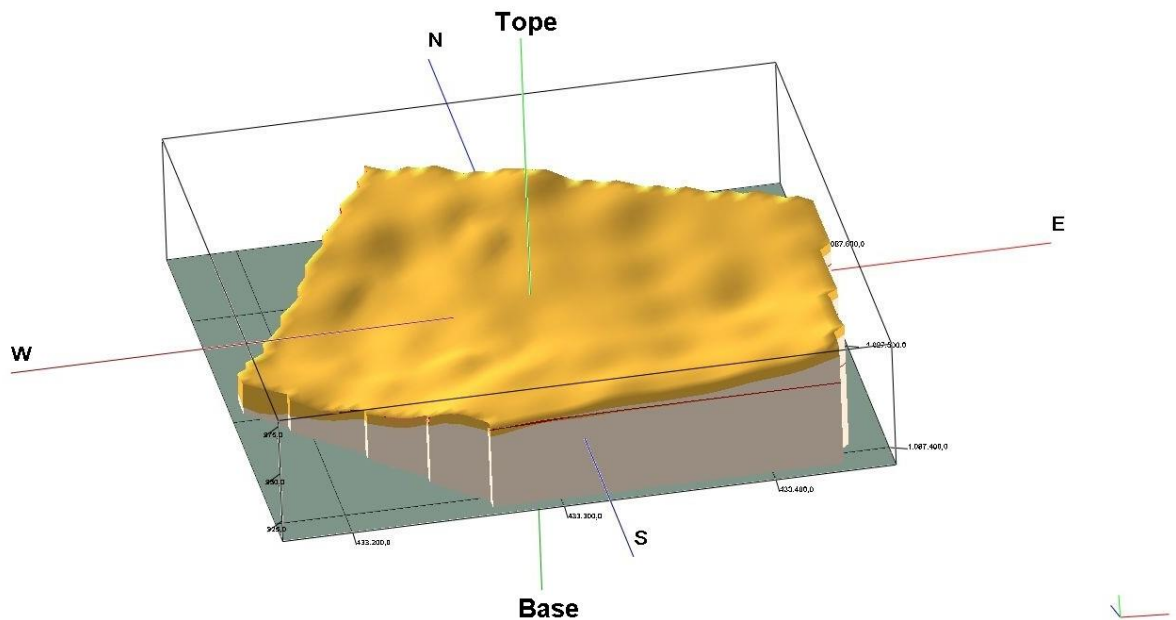


Figura 74. Modelo 3D del futuro frente a explotar 3, realizado mediante el software RockWorks.

El volumen estimado por el software Rockworks, presentan una cantidad mayor a las realizadas mediante cálculos geométricos, con una diferencia de  $65.243,44\text{m}^3$ , lo que representa una variación del 3,5% por lo que se verifica que los cálculos se hayan realizado correctamente. Para este trabajo se tomarán en cuenta los recursos estimada por los métodos geométricos, tomando en consideración que esta cifra puede aumentar relativamente.

- **Recursos totales de la mina**

Comprende el área total de la mina específicamente en donde se encuentran las Lutitas Blancas. En este caso se considerará el punto de base para la estimación de sus reservas el tope del Miembro Inferior, las Lutitas negras y marrón.

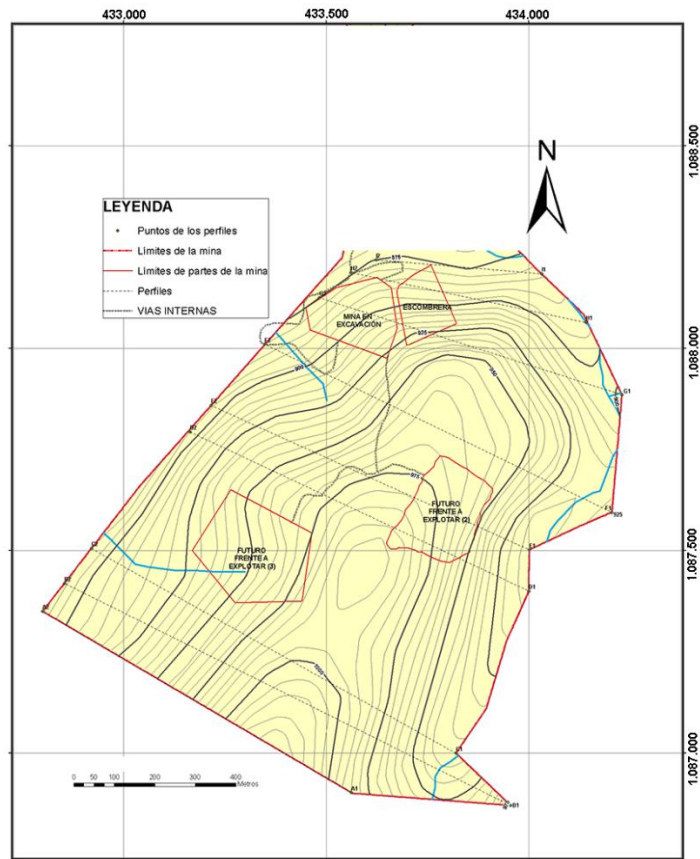


Figura 75. Mapa topográfico de la mina La Providencia empleado para la estimación de las recursos.

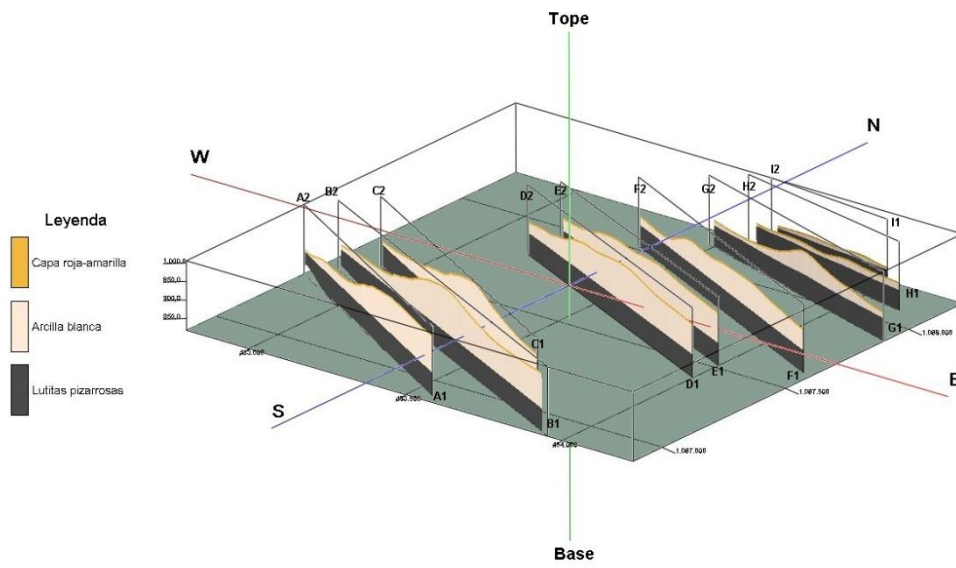


Figura 76. Secciones geológicas tomadas para realizar la estimación de los recursos de la mina completa dispuestas espacialmente. Realizado mediante el software RockWorks.

Tabla 48. Estimación del volumen de recursos por medio del método de las secciones paralelas para la mina La Providencia.

Bloque	Perfiles S1-S2	S1	S2	D	V
1	A-B	52923,95	85422,52	125,48	8679857,53
2	B-C	85422,52	71823,55	88,30	6942413,99
3	C-D	71823,55	69298,14	407,34	28742254,60
4	D-E	69298,14	61477,20	87,94	5750191,70
5	E-F	61477,20	48015,36	183,20	10029518,50
6	F-G	48015,36	21124,28	219,65	7593260,96
7	G-H	21124,28	7150,24	120,79	1707639,64
8	H-I	7150,24	2531,68	82,82	400928,31

Tabla 49. Volumen de la mina La Providencia por medio del método de las secciones paralelas.

<b>Volumen total m<sup>3</sup></b>	<b>69.846.065,22</b>
------------------------------------	----------------------

Tabla 50. Volumen de la mina La Providencia por medio del software Rockworks.

<b>Volumen total m<sup>3</sup></b>	<b>69.407.290,50</b>
------------------------------------	----------------------

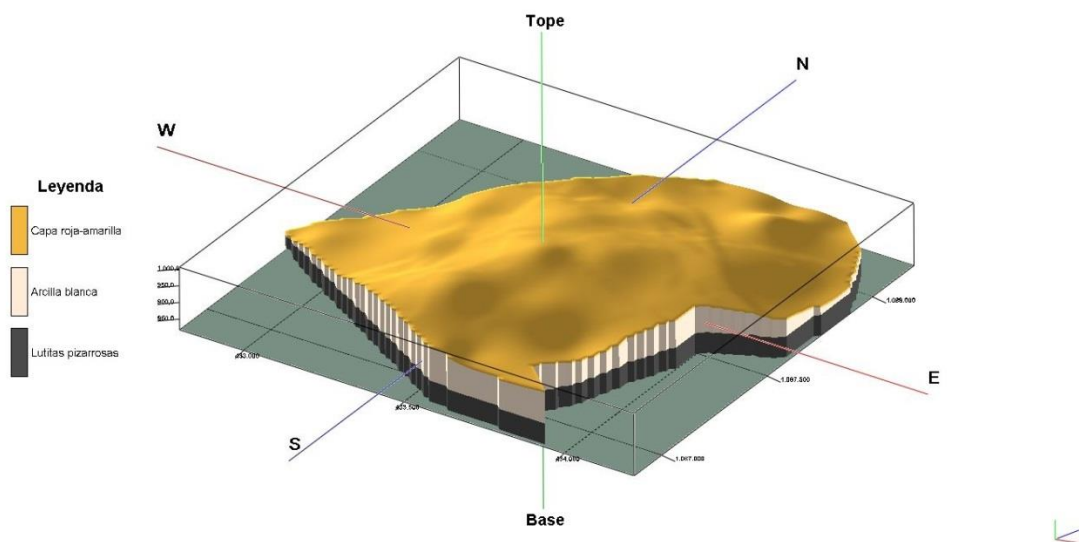


Figura 77. Modelo 3D de la mina La Providencia, realizado mediante el software RockWorks.

Los recursos estimados por el método de las secciones paralelas, presentan una cantidad mayor a las realizadas mediante RockWorks, con una diferencia de 438.774,72 m<sup>3</sup> lo que representa una variación del 0,63% debido probablemente a que los perfiles geológicos tomados son pseudoparalelos, sin embargo, este bajo porcentaje indica que los cálculos se hayan realizado correctamente. Para este trabajo se tomarán en cuenta los recursos estimados por el software, tomando en consideración que esta cifra puede aumentar relativamente.

#### **6.2.4 Mapa de concentración química**

Se realizó de acuerdo al porcentaje de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ya que se considera no apto para la industria cerámica si este posee un porcentaje mayor o igual al 4%, además es el que presenta entre sus muestras los mayores cambios. En el cual se puede observar que hacia la base de la unidad, es decir en la franja suroeste-noreste, presentan las mayores concentraciones de éste compuesto. Ver figura 69. Se observa una correspondencia entre éste y los Miembros preestablecidos, sin embargo, en el futuro frente a explotar 3 existe una capa con alto contenido en Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> que suprayace a las Lutitas Blancas.

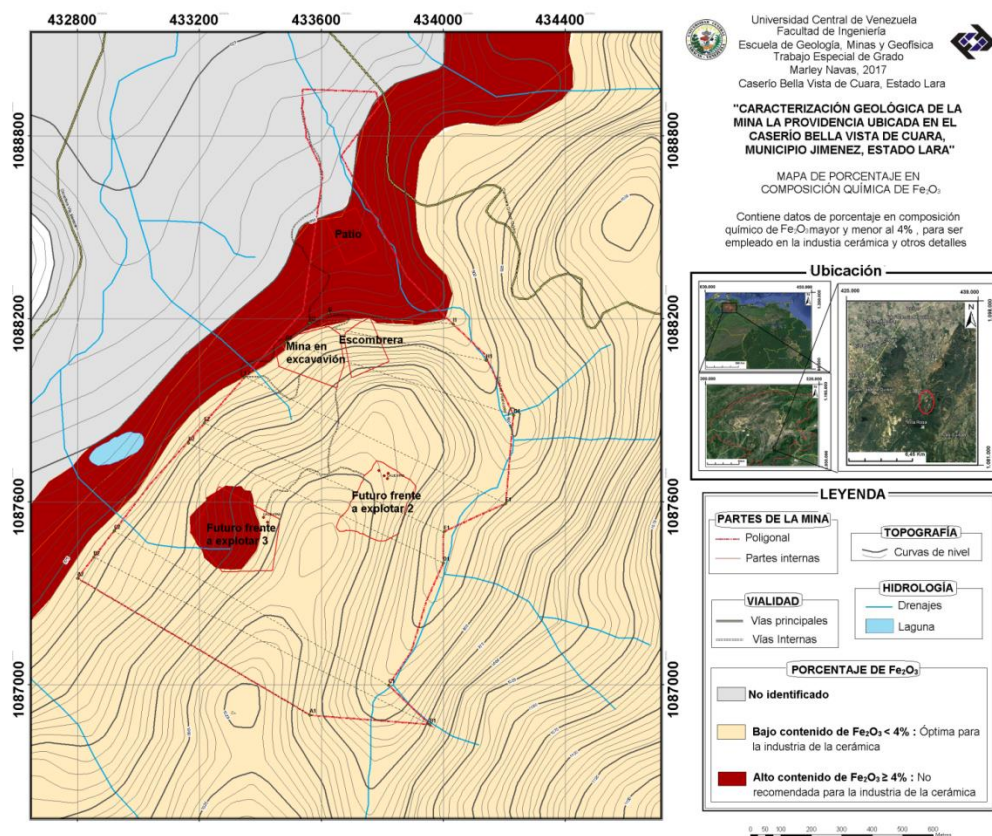


Figura 78. Mapa de acuerdo al porcentaje de  $Fe_2O_3$  de la mina la providencia.

## CAPITULO VII

### 7 Conclusiones y recomendaciones

#### 7.1 Conclusiones

- Afloran rocas de tipo sedimentarias lutitas, hacia la base Lutitas negras, marronas y rojas y suprayacente Lutitas blancas.
- Esta unidad de lutitas establecida, pudo ser correlacionadas con la unidad formal que menciona la literatura correspondiente a la Formación Morán.
- La estructura principal se refiere a un homoclinal que presentan algunos pliegues secundarios.
- La falla de Boconó afecta el área de estudio evidenciado en la falla encontrada cuya dirección es pseudoparalela a ésta.
- La litología determinada como Lutita Blanca es la que de acuerdo a los análisis de Difracción de Rayos X, Absorción Atómica y geotécnicos, posee mayor interés desde el punto de vista industrial, como material para aportar plasticidad o para fines médicos, terapéuticos o cosméticos, por su contenido mineralógico (cuarzo, illita, caolinita), químico (menor al 4% en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), naturaleza plástica (arcilla de alta plasticidad) y abundancia (69.407.290,50  $\text{m}^3$ ), el resto es considerado como material estéril.
- La mina “La Providencia” posee un volumen de reservas probables totales de 69.407.290,50  $\text{m}^3$ , en el cual 963.636.05  $\text{m}^3$  es el volumen del futuro frente 2

y 1.782.416,56 m<sup>3</sup> del futuro frente a explotar 3. Lo que indica una acumulación del material de interés para explotar.

## **7.2 Recomendaciones**

- Realizar campañas de perforación en el área de la mina para poder confirmar la disposición espacial más detallada de las capas para de esta manera obtener más precisión respecto al cálculo del espesor del Miembro Superior y poder estimar las reservas probadas de cada uno de los futuros frentes a explotar y de la mina completamente.
- Para el uso como gres se recomienda añadir una cantidad aproximada mayor al 9,43% y menor al 22,64% del material fundente (feldespatos) para añadirlo a las arcillas (Lutitas Blancas).
- Realizar por medio de un estudio de espectrometría gamma en distintos puntos para determinar elementos radioactivos presente en las arcillas.
- De obtener imágenes satelitales de alta resolución del área se recomienda realizar un estudio espectral para delimitar el área de la mina además de conocer la mineralogía y geoquímica para de esta manera comparar con los resultados aquí planteados.
- Por la gran extensión de la mina, existe la posibilidad de considerar un futuro frente a explotar (4)
- Realizar un estudio detallado de las Lutitas negras del Miembro Inferior para conocer las fases minerales que no pudieron ser

identificadas en este trabajo además de determinar algún mineral en el cual se pueda conocer su grado de metamorfismo.

- Realizar ensayos de contracción lineal, color de cocción, ensayos de pérdida el rojo a las muestras de Lutitas Blancas para conocer más detalles de su potencial industrial.



### Bibliografía

Alarcón, F. (1990). Reconocimiento geológico y prospección de arcillas de uso industrial, en la región de Quíbor-Sanare, Estado Lara. Trabajo Especial de Grado, para optar por el título de Ingeniero Geólogo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología Minas y Geofísica. 91 p.

Alvarado & Barquero. (2011). Calibración de cono miniatura de laboratorio para determinar el límite líquido de los suelos. Trabajo Especial de Grado, para optar por el título de Ingeniero Civil. Universidad Católica Andrés Bello, Facultad de Ingeniería, Escuela de Civil. 88 p.

Análisis granulométrico. (Internet) Chile, Universidad Católica de Valparaíso. Disponible en [http://icc.ucv.cl/geotecnia/03\\_docencia/02\\_laboratorio/manual\\_laboratorio/granulometri a .pdf](http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/02_laboratorio/manual_laboratorio/granulometri a .pdf).(Acceso 17/03/2017)

Alvarez, M. (2006). Estudio neotectónico en las cuencas neógenas de El Tocuyo, Quíbor y Yay, estado Lara. Trabajo Especial de Grado, para optar por el título de Ingeniero Geólogo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología Minas y Geofísica. 225 p.

Annels, A. 1991. Mineral deposits evaluation: A practical approach. Londres. Ediciones Chapman and Hall.

Bellizzia, A. y G. D. Rodríguez, 1967. Guía de la excursión a la región de Duaca-Barquisimeto-Bobare. *Bol. Geol.* 8(16): 284-309.

Bellizzia, A. y G. D. Rodríguez, 1968. Consideraciones sobre la estratigrafía de los Estados Lara, Yaracuy, Cojedes y Carabobo. *Bol. Geol.* 9(18): 515-564.

Braja M. Das. (2001). Fundamentos de ingeniería geotécnica. Editorial Cengage Learning Latin Am. 594 p.

Bushman, J. R., 1959. Geology of the Barquisimeto area- A summary report. *Asoc. Venez. Geol., Min. y Petról.*, Bol. Inform., 2(4): 65-84.

Bushman, J. R., 1965. Geología del área de Barquisimeto, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, 6(11): 3-111.

Campos V., S. Osuna, y V. Guedez, 1977. Geología de la región noroeste de Acarigua y al sur de la Falla de Boconó. *II Congreso Lat. de Geol.*, Memoria 3: 1669-1681.

Campos V., S. Osuna, y V. Guedez, 1979. Geología de la Serranía de Portuguesa, Estados Portuguesa y Lara. *Bol. Geol.*, 13(25): 3-49

Castro, D. & Rivero, W. (2010). Caracterización geológica de las rocas sedimentarias de un sector de la Hacienda El Marqués, municipio Zamora, Guatire, Estado Miranda. Trabajo Especial de Grado, para optar por el título de Ingeniero Geólogo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología Minas y Geofísica. 165 p.

Cornelius, H. & James D. (1981). Manual de mineralogía de Dana (2<sup>a</sup> edición). Editorial Reverté. 653 p.

Coronel, G. y O. Renz, 1960. Deslizamientos submarinos al noroeste de Barquisimeto, Estado Lara. *III Cong. Geol. Venez.*, Caracas, 1959, Mem., 2: 743-759.

Correa, J. & Quintero, E. (2011). Evaluación geológica mineralógica de la Mina PIM 9000, ubicada al noroeste de Tinaco, estado Cojedes. Trabajo Especial de Grado, para optar por el título de Ingeniero Geólogo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología Minas y Geofísica. 147 p.

Cosmética Natural Casera Shop (Internet). Disponible en: <https://www.cremas-caseras.es/> . Acceso 12/12/2016

Cuartín, B. (1983). Estudio geológico de una zona ubicada al sur de Quíbor, distrito Jiménez, estado Lara. Trabajo Especial de Grado, para optar por el título de Ingeniero Geólogo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología Minas y Geofísica. 134 p.

Ecco Verde. (Internet). Disponible en: <https://www.ecco-verde.es>. Acceso 12/12/2016

Enrique Navarro, J.E., Amorás, J.L. (1985). Tecnología cerámica. Vol. 1. Introducción a la tecnología cerámica. Materias primas cerámicas. Instituto de Química Técnica. Universidad de Valencia. 155 pp.

Espinarce, R. (1979). Laboratorio de Mecánica de Suelos. Valparaíso, Chile UCV.

Evanoff et al. (1957). Arcillas blancas en el estado Lara. Boletín de Geología, Vol-4, Nro-9. Págs. 83-93.

Fundalanavial. (2016). Azul de metileno. Manual. 12 p.

Fundalanavial. (2011). Gravedad específica en finos. Manual. 16 p.

González I., Galán E., Miras A, Aparicio P. (1998). New uses for brick-making clay materials from the Bailén area (southern Spain). Clay Miner. 33: 453-465.

Hernández, R. (2006). Estudio geológico y reconocimiento de arcillas expansivas en suelos ubicado en una zona al sur de Maracay, estado Aragua. Trabajo Especial de Grado, para optar por el título de Ingeniero Geólogo. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología Minas y Geofísica. 152 p.

Instituto de Ciencias de la Tierra (Internet). Disponible en: <http://gea.ciens.ucv.ve/webict/web>. (Acceso 5 de septiembre 2016)

Jefferson, C. C., 1964. Post. Eoceno entre Quíbor y Sanare, Estado Lara. *Bol. Asoc. Ven. Geol. Min. y Petr.*, 7(7): 219-224.

Macsoy O.; J. F., Stephan, y E. Alvarez, 1987. Grupo Lara: Sedimentitas oceánicas y peninsulares en el Cretáceo alóctono de Venezuela occidental. *Bol. Geol.*, (28): 3-78.

Melgarejo, J; Proenza, J; Galí, S & Llovet, X. (2010). Técnicas de caracterización mineral y su aplicación en exploración y explotación minera. Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana. Volumen 62, núm. 1. Pags. 1-23

Palmonari c., Terraglia A (1985). Manufacture of heavy-clay products with the addition of residual sludges from other ceramic industries. *Miner. Petrog. Acta* 29-A: 547-562.

PDVSA (1997). Flora de Venezuela. (Internet).Venezuela. Disponible en: <http://www.pdvs.com/lexico/venezuela/flora.htm>. (Acceso 5 de septiembre de 2016).

Rodríguez, O. (1983). Minerales y arcillas de los suelos del estado Lara: parte I. Microscopia electrónica. *Bioagro*, Vol-1, Nro-1. Pags. 17-32.

Rodríguez, O. (1991). Minerales y arcillas de los suelos del estado Lara: parte II. Difractometría de rayos X. *Bioagro*, Vol-3, Nro-3. Pags. 17-32.

UNIOVI. (Internet). España. Disponible en: <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Leccion1.Ceramicos.Generalidades2.pdf>. Acceso 06/12/2016

Universidad de Chile. (Internet) Chile. Disponible en: [http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio\\_mod1.pdf](http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/medio_mod1.pdf) (Acceso 15/03/2017)

Venemia (Internet).Venezuela. Disponible en: <http://www.venemia.com>. (Acceso 06/09/2016).

Von Der Osten, E. & Zozaya D. (1957). Geología de la parte suroeste del estado Lara, región de Quibor, Vol-4, Nro-9. Págs. 3-52.

Von Der Osten, E., 1967. Stratigraphy of Central Lara. *Bol. Asoc. Ven. Geol. Min. y Petr.*, 10(11): 309-333

## **APÉNDICES**

(Resultados de las 10 muestras de Difracción de Rayos X)

LUTITAS BLANCAS

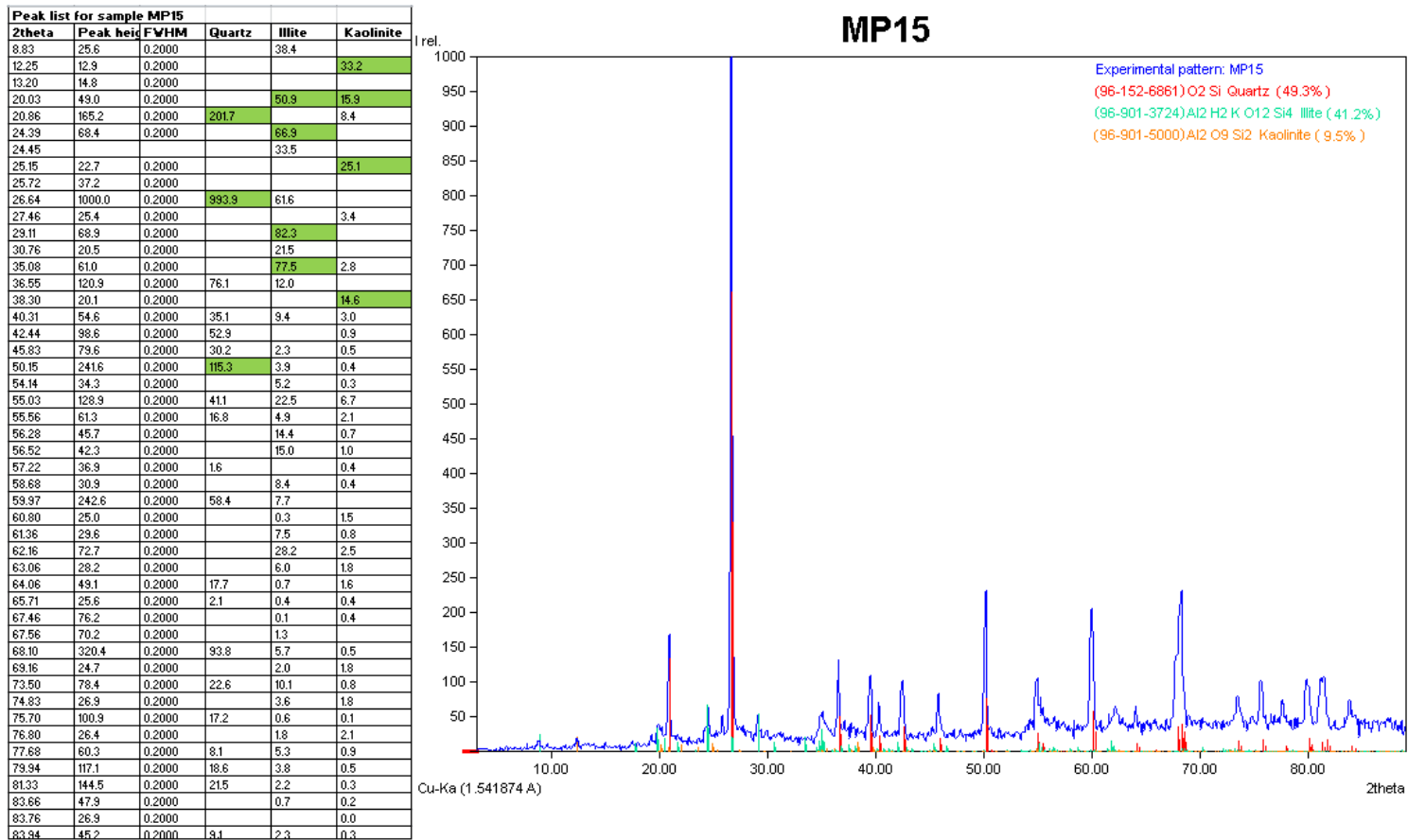


Figura 79. Difractograma y tabla con detalles de ángulo 2theta, intensidades y comparación mineral de la muestra MP15.

Peak list for sample MP18			Quartz	Illite	Kaolinite
2theta	Peak height	FWHM			
8.82	25.4	0.2000		42.1	
12.36	53.5	0.2000			93.3
17.68	22.0	0.2000		28.4	
19.99	100.9	0.2000		107.1	67.0
20.82	174.1	0.2000	180.2	21.4	35.3
25.23	36.5	0.2000			53.8
26.61	1000.0	0.2000	888.0	178.7	
28.02	33.4	0.2000			
28.60		0.2000		24.6	
29.11	48.4	0.2000		49.2	
31.05	24.6	0.2000		78.4	
35.08	160.3	0.2000		112.5	11.7
35.72	59.8	0.2000		22.7	9.6
36.54	157.7	0.2000	68.0	28.8	61.5
39.42	118.2	0.2000	70.0		
40.32	83.7	0.2000	31.3	29.1	12.5
42.36	124.6	0.2000	31.5	36.7	3.6
45.04	30.9	0.2000		29.2	20.3
45.75	91.6	0.2000	27.0	15.7	1.3
50.09	270.4	0.2000	103.0	0.3	5.5
54.15	43.4	0.2000		7.2	1.1
54.95	158.9	0.2000	36.8	17.5	29.0
55.52	84.6	0.2000	15.0	29.5	8.8
56.42	56.9	0.2000		7.1	5.1
57.33	35.9	0.2000	2.1	14.1	10.4
59.93	259.7	0.2000	52.2	6.6	
62.07	160.5	0.2000		55.5	2.4
63.02	47.1	0.2000		6.9	7.4
64.03	72.5	0.2000	15.8	3.8	6.7
67.42	115.9	0.2000			1.8
68.07	366.6	0.2000	47.6	0.5	0.6
68.32	158.7	0.2000	79.9	1.3	2.0
68.69		0.2000	12.8		
69.31	38.6	0.2000		19.7	7.5
69.62	29.2	0.2000			5.0
72.72	62.8	0.2000		15.9	16.0
73.46	119.1	0.2000	13.4	18.1	3.4
74.82	40.2	0.2000		6.6	5.1
75.68	102.6	0.2000	15.4	7.5	0.7
76.45	42.4	0.2000		11.4	5.6
77.54	85.3	0.2000		5.0	4.3
79.94	139.5	0.2000	16.6	6.1	2.2
81.29	165.0	0.2000	19.2	6.9	1.1
83.79	78.0	0.2000	8.2	3.7	1.3

# MP18

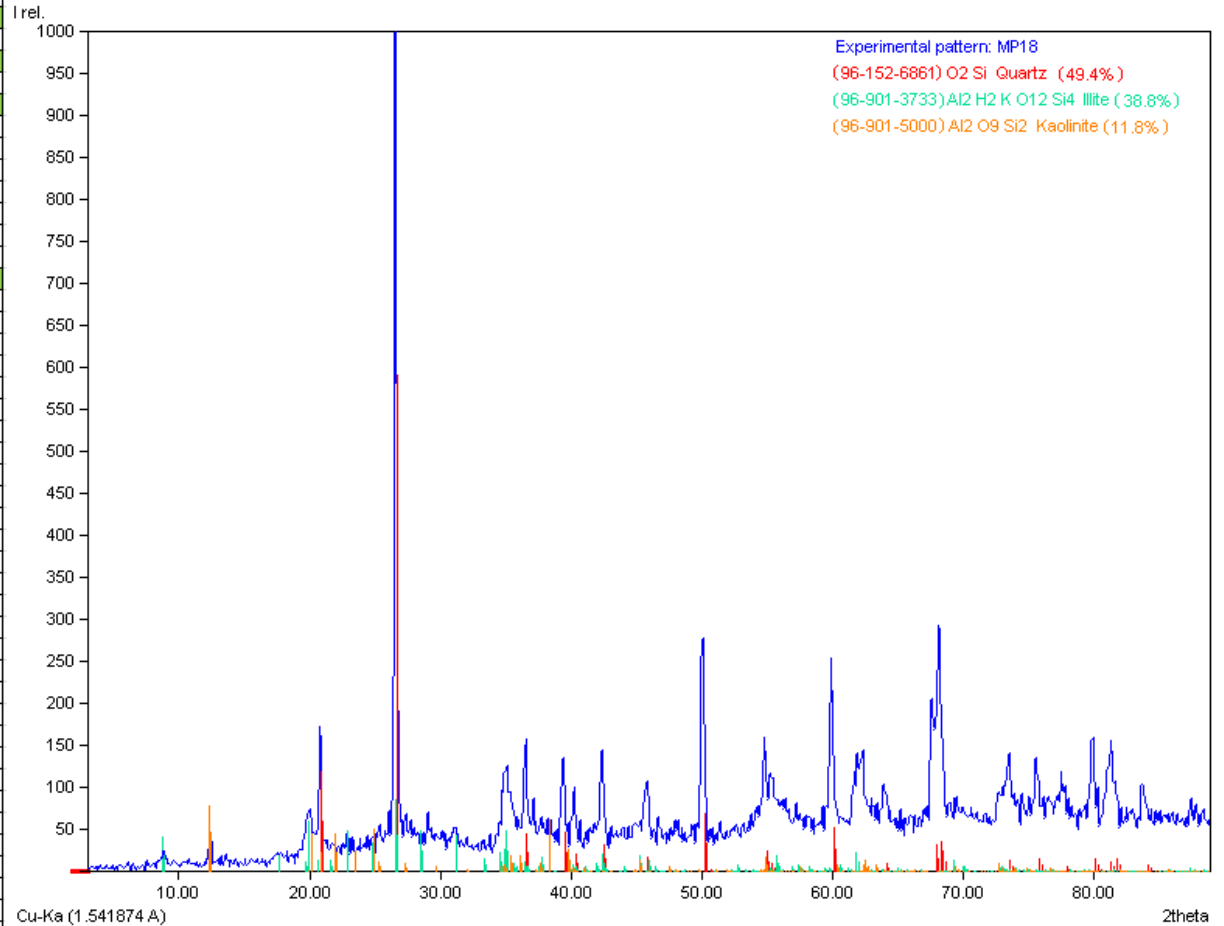


Figura 80. Difractograma y tabla con detalles de ángulo 2theta, intensidades y comparación mineral de la muestra MP18.



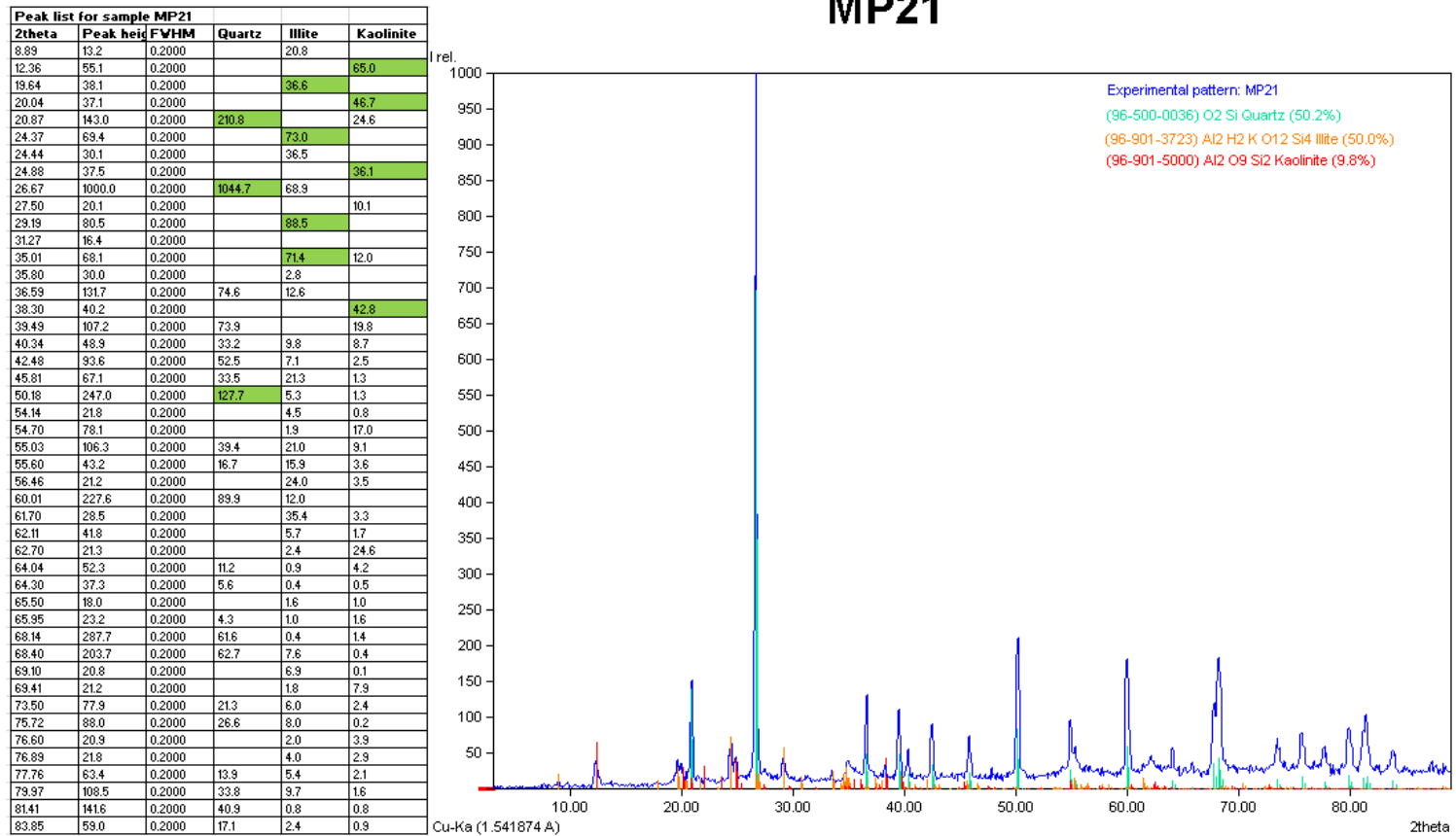


Figura 81. Difractograma y tabla con detalles de ángulo 2theta, intensidades y comparación mineral de la muestra MP21.

LUTITAS ROJAS

Peak list for sample MP13			
2theta	Peak hei	FWHM	
13.48	11.9	0.2000	
19.91	35.4	0.2000	
20.78	143.9	0.2000	209.5
21.31			63.4
26.55	1000.0	0.2000	1037.9
28.98	15.2	0.2000	
33.34			48.9
34.77	45.0	0.2000	29.2
34.92	38.7	0.2000	14.6
35.59	28.3	0.2000	8.5
36.27	91.3	0.2000	27.6
36.51	92.5	0.2000	74.1
37.03	29.4	0.2000	40.2
39.36	89.4	0.2000	73.4
40.19	68.1	0.2000	33.0
41.31			17.9
42.37	72.1	0.2000	52.2
45.73	58.7	0.2000	33.3
50.05	218.6	0.2000	126.8
53.67	23.7	0.2000	60.1
54.05	26.1	0.2000	
54.57	87.2	0.2000	17.5
54.67	54.0	0.2000	
54.83	87.9	0.2000	39.1
55.47	26.5	0.2000	16.6
59.88	210.4	0.2000	89.4
61.87	62.2	0.2000	14.0
62.03	52.0	0.2000	
62.57	32.0	0.2000	
63.96	55.7	0.2000	16.7
65.58	20.0	0.2000	2.8
67.37	84.5	0.2000	7.9
67.99	275.5	0.2000	54.2
68.27	195.9	0.2000	105.5
68.97	23.2	0.2000	13.8
69.96	20.9	0.2000	4.3
71.90	19.9	0.2000	14.1
73.38	75.0	0.2000	14.1
73.87	22.8	0.2000	7.1
74.80	22.5	0.2000	
75.57	94.5	0.2000	17.6
76.49	27.9	0.2000	3.2
77.59	64.6	0.2000	9.2
79.86	96.2	0.2000	33.6
80.67	26.2	0.2000	1.8
81.33	125.4	0.2000	40.6
83.73	44.9	0.2000	11.3

MP13

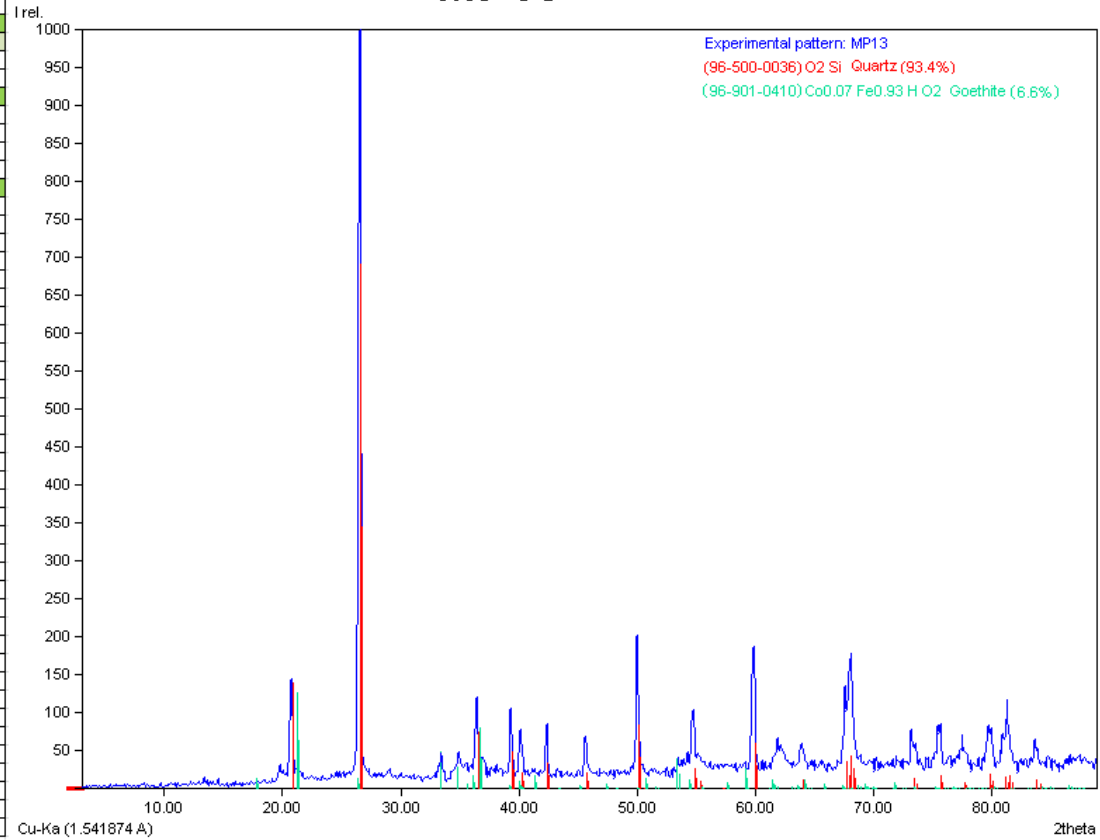


Figura 82. Difractograma y tabla con detalles de ángulo 2theta, intensidades y comparación mineral de la muestra MP13.

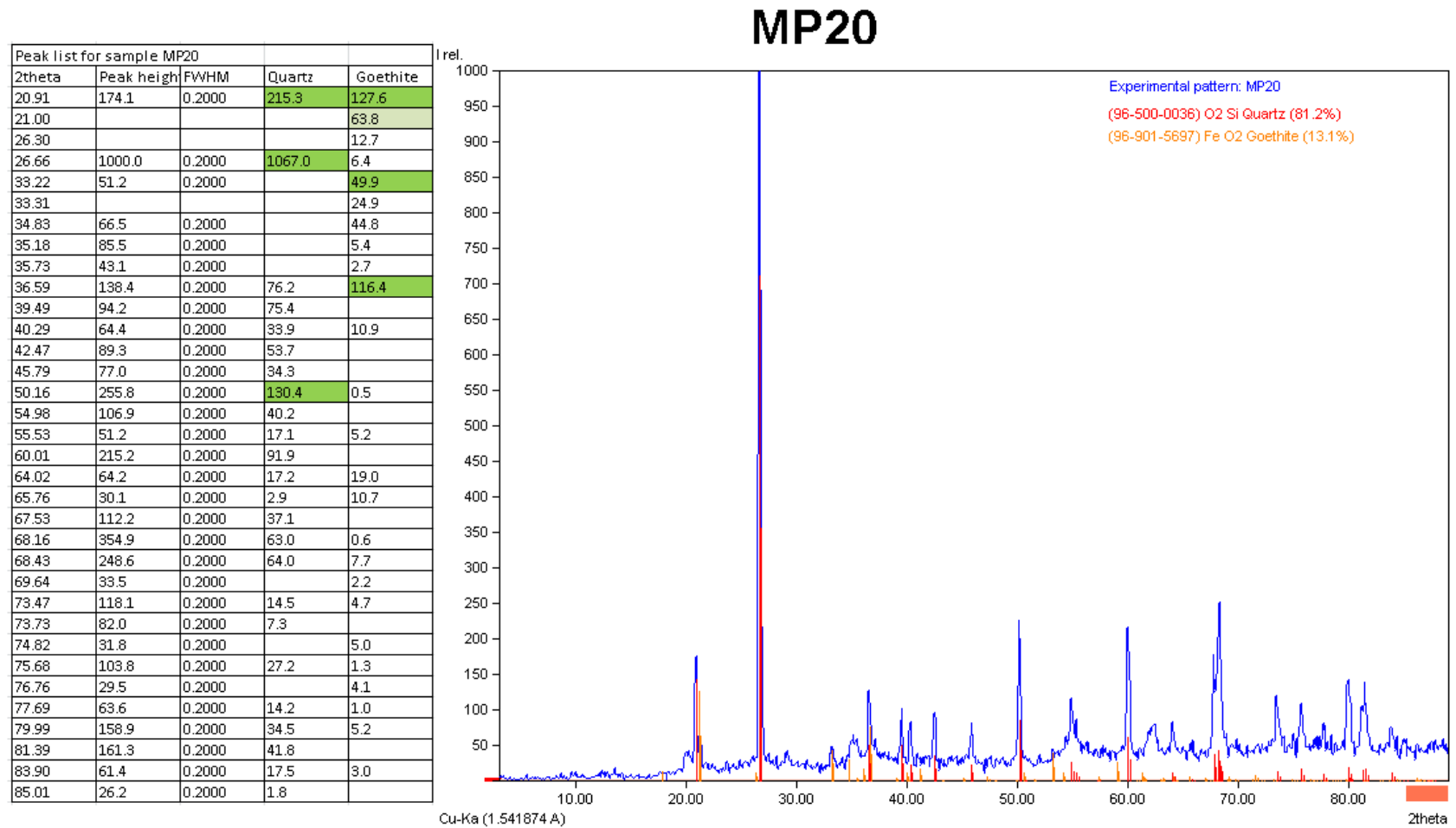


Figura 83. Difractograma y tabla con detalles de ángulo 2theta, intensidades y comparación mineral de la muestra MP20.

LUTITA AMARILLA

2theta	Peak hei	FWHM	Quartz	Natrojarosite	Illite
8.82	25.3	0.2000			38.2
15.85	50.5	0.2000		70.8	
15.88	49.9	0.2000		35.4	
17.54	110.1	0.2000		171.1	
17.58				90.5	
19.76	73.4	0.2000			48.4
19.81					24.2
20.97	223.9	0.2000	204.6		
21.65	44.5	0.2000			30.9
24.51	32.1	0.2000		30.5	145.2
25.12	41.0	0.2000			
25.42	44.1	0.2000		20.5	
26.73	1000.0	0.2000	998.5		88.2
28.09	50.7	0.2000			
28.68	171.5	0.2000		180.4	
28.75				90.2	
29.30	202.4	0.2000		259.3	118.6
30.29	37.6	0.2000		43.9	20.0
30.85	42.0	0.2000			10.0
35.23	172.9	0.2000		44.3	101.9
36.70	198.4	0.2000	69.9		18.3
37.52	83.4	0.2000			19.5
37.92	59.4	0.2000		2.5	17.5
39.52	149.3	0.2000	68.4		
40.39	95.6	0.2000	31.1	103.1	16.8
42.51	108.4	0.2000	47.4		
44.05	33.4	0.2000			0.3
44.52	34.5	0.2000			0.2
45.72	96.8	0.2000	20.8	2.4	3.5
45.92	87.5	0.2000	10.4	113.9	
47.61	35.4	0.2000		34.9	1.0
50.23	283.1	0.2000	113.1	36.7	1.7
54.19	61.9	0.2000		6.9	7.4
55.14	145.0	0.2000	45.4	4.7	32.6
55.62	84.3	0.2000	4.9	2.3	6.2
56.12	45.0	0.2000			11.1
56.56	55.2	0.2000		10.0	31.0
60.09	254.1	0.2000	76.5		9.4
61.52	62.7	0.2000			10.7
62.08	144.9	0.2000			61.9
62.42	103.8	0.2000			0.7
62.82	51.3	0.2000		77.1	9.2
64.30	63.8	0.2000	4.8	5.8	1.5
67.52	98.7	0.2000			
67.62	80.6	0.2000	44.8	1.6	3.0
68.25	392.6	0.2000	87.7	17.5	17.7
69.30	54.8	0.2000			0.3
69.62	42.6	0.2000		1.0	
70.44	41.0	0.2000		9.5	7.5
73.50	114.0	0.2000	17.1		14.4
77.74	67.3	0.2000	10.6		8.0
80.05	117.9	0.2000	29.2	0.4	4.6
81.48	178.8	0.2000	26.9	0.7	2.0

MP19

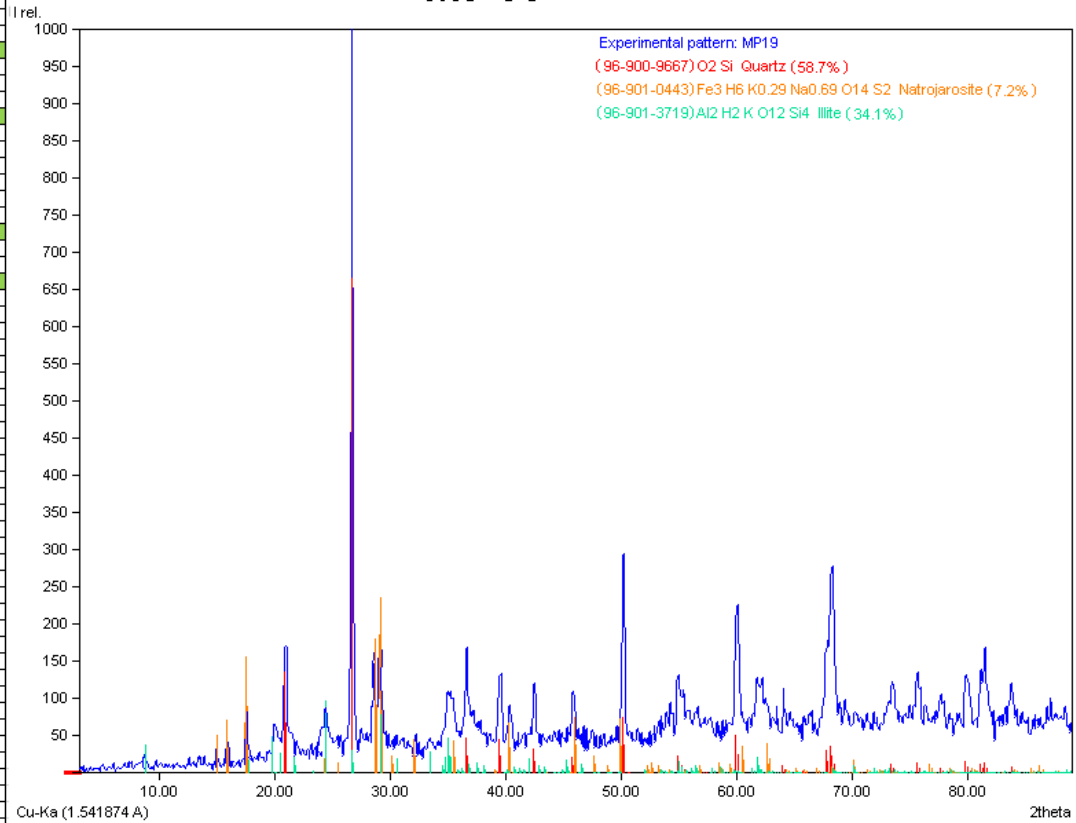


Figura 84. Difractograma y tabla con detalles de ángulo 2theta, intensidades y comparación mineral de la muestra MP19.

ARENISCA MORADA

MP16

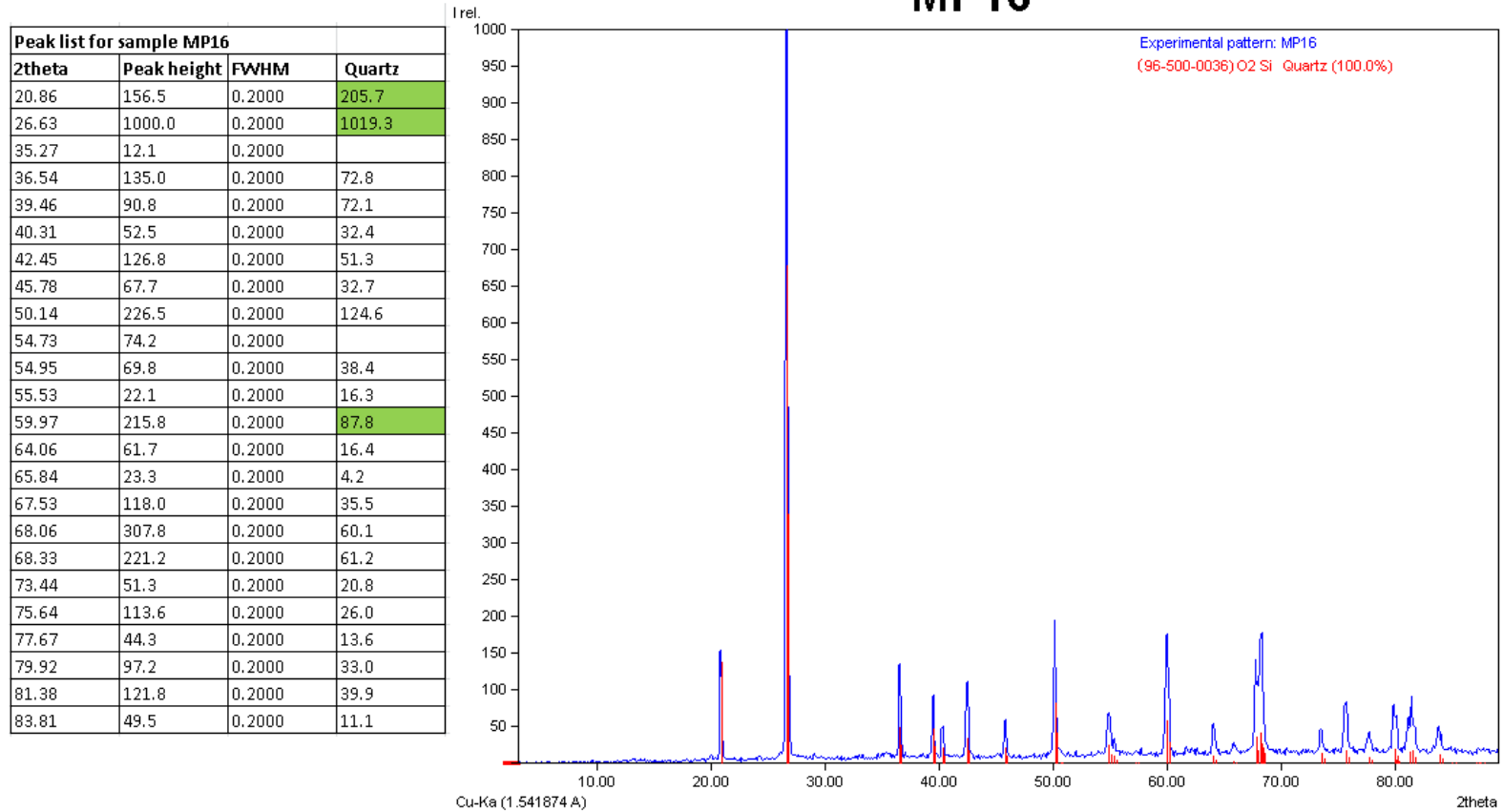


Figura 85. Difractograma y tabla con detalles de ángulo 2theta, intensidades y comparación mineral de la muestra MP16.

## LUTITAS NEGRAS

### MP17

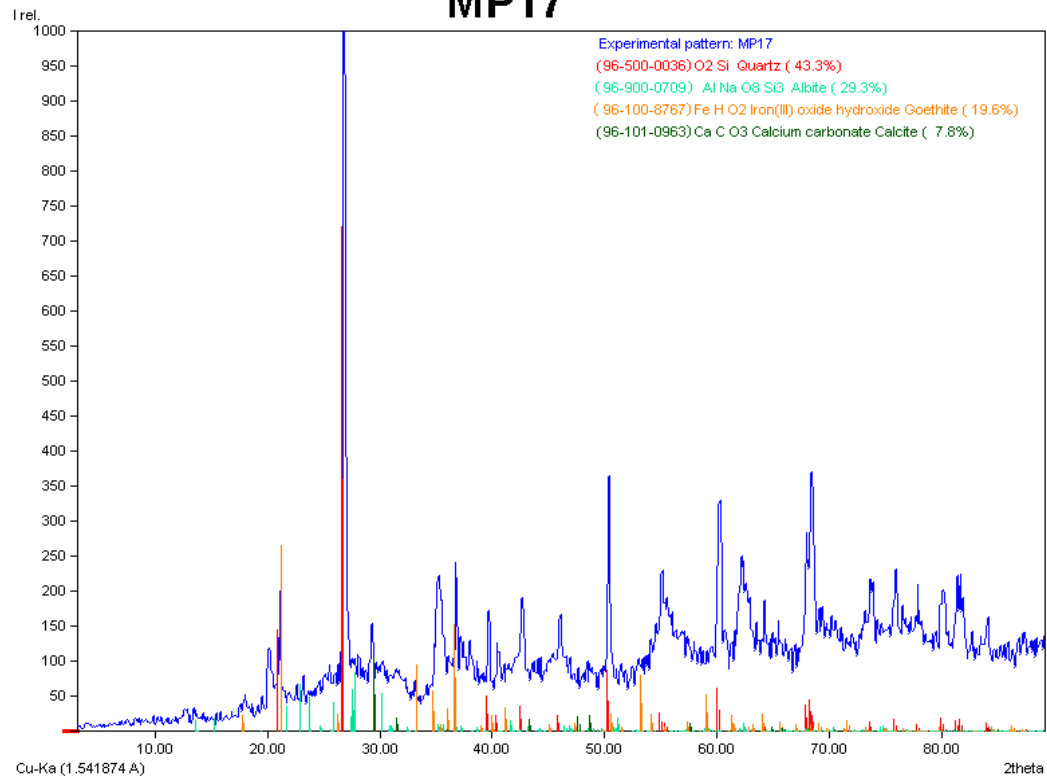


Figura 86. Difractograma de la muestra MP17.

Marley Navas. 2017

Peak list for sample MP17						
2theta	Peak height	FWHM	Quartz	Albite	Goethite	Calcite
17.98	38.7	0.2000				
20.28	127.8	0.2000				
21.15	154.9	0.2000	218.6		397.4	
21.67	45.4	0.2000		36.6		
21.73				18.3		
22.91	70.5	0.2000		68.0		
23.74	70.5	0.2000		68.2		
25.42	74.9	0.2000				
25.78	64.5	0.2000		66.9		
26.08	51.9	0.2000			37.7	
26.93	1000.0	0.2000	1083.2			
27.68	73.9	0.2000		255.7		
27.91	78.0	0.2000		42.6		
28.38	84.2	0.2000				
29.38	133.0	0.2000				159.1
30.09	81.9	0.2000		55.0		
30.28	59.8	0.2000		27.5		
30.98	55.9	0.2000		29.8		
31.59	69.5	0.2000				28.4
33.22	55.2	0.2000			94.7	
33.31				47.3		
34.69	50.4	0.2000		58.9		
34.78				29.4		
35.32	292.1	0.2000		37.6	15.8	
35.70				4.9		
36.08	86.3	0.2000		47.8	4.3	
36.58	155.9	0.2000	77.3	1.9	223.6	
36.88	197.5	0.2000		18.5		
37.48	100.0	0.2000		12.0		

Peak list for sample MP17						
2theta	Peak height	FWHM	Quartz	Albite	Goethite	Calcite
38.05	90.1	0.2000		1.0		
38.38	66.8	0.2000		6.4		
39.72	108.6	0.2000	76.6	2.1	23.0	
40.48	70.9	0.2000	34.4	0.5		
40.66	60.6	0.2000		3.5		
41.39	47.9	0.2000		13.1	51.4	
41.68	47.4	0.2000		22.2		
41.98	59.5	0.2000		2.5		
42.30				0.3		
42.67	160.7	0.2000	54.5	4.7		
43.53	40.3	0.2000		3.7	0.9	25.9
45.32	76.6	0.2000			14.2	
45.81			23.2			
46.12	152.7	0.2000	11.6			
47.63	90.2	0.2000				20.5
50.42	306.0	0.2000	134.2	4.5	36.9	
53.88	73.6	0.2000	1.0	24.1		
54.49	117.5	0.2000		3.5	12.1	
54.88	189.5	0.2000	27.2			
54.98	107.1	0.2000	13.6			
55.27	228.6	0.2000	17.3	7.2	10.5	
55.78	179.1	0.2000		1.2		
55.88	73.4	0.2000		0.6		
56.28	125.3	0.2000		0.6		
56.68	113.9	0.2000		2.3		
57.18	103.9	0.2000	2.6	7.3	13.8	
57.68	76.0	0.2000		12.3	6.9	17.6
58.20	65.2	0.2000		1.5		
59.40	58.2	0.2000		6.8	27.6	
60.24	336.4	0.2000	93.3	1.1		

Peak list for sample MP17						
2theta	Peak height	FWHM	Quartz	Albite	Goethite	Calcite
61.48	71.9	0.2000		3.6	50.2	0.3
62.28	283.9	0.2000		31.1		
62.88	168.6	0.2000		1.8	20.3	
63.48	87.3	0.2000			4.8	
64.21	108.1	0.2000	17.4	9.0	38.7	
64.88	67.1	0.2000		3.9		8.9
65.38	88.1	0.2000				
65.78	74.9	0.2000	4.4	11.7	20.5	8.1
66.25	60.7	0.2000		8.3		
67.68	147.0	0.2000	56.5	5.2	2.3	
68.36	438.1	0.2000	95.9	14.6	15.1	
68.68	300.2	0.2000	14.2	2.3		
69.36	123.9	0.2000		1.3	21.1	
69.68	102.0	0.2000		2.0	6.6	
70.36	108.5	0.2000		12.3		2.6
70.78	86.5	0.2000		0.8		1.3
73.03	89.7	0.2000		8.9	6.3	1.1
73.63	177.6	0.2000	22.1	4.0	3.1	
73.88	140.7	0.2000		1.2		
74.48	79.0	0.2000		14.3		
74.99	75.9	0.2000		18.6	10.8	
75.87	162.4	0.2000	27.6	0.7	2.6	
76.66	97.1	0.2000		3.4	8.0	0.5
77.05	82.2	0.2000		5.4		
77.58	98.3	0.2000	9.6	1.1	2.0	0.9
77.89	115.0	0.2000	4.8	1.2	0.9	
80.14	149.0	0.2000	37.7	3.7	3.4	
81.59	192.4	0.2000	35.3	0.6	0.4	2.9
83.78	67.5	0.2000		0.9	1.0	
83.93	55.4	0.2000	17.8	0.4	5.5	6.6

Figura 87. Comparación de intensidades, ángulo 2theta de la muestra MP17 con otros minerales.

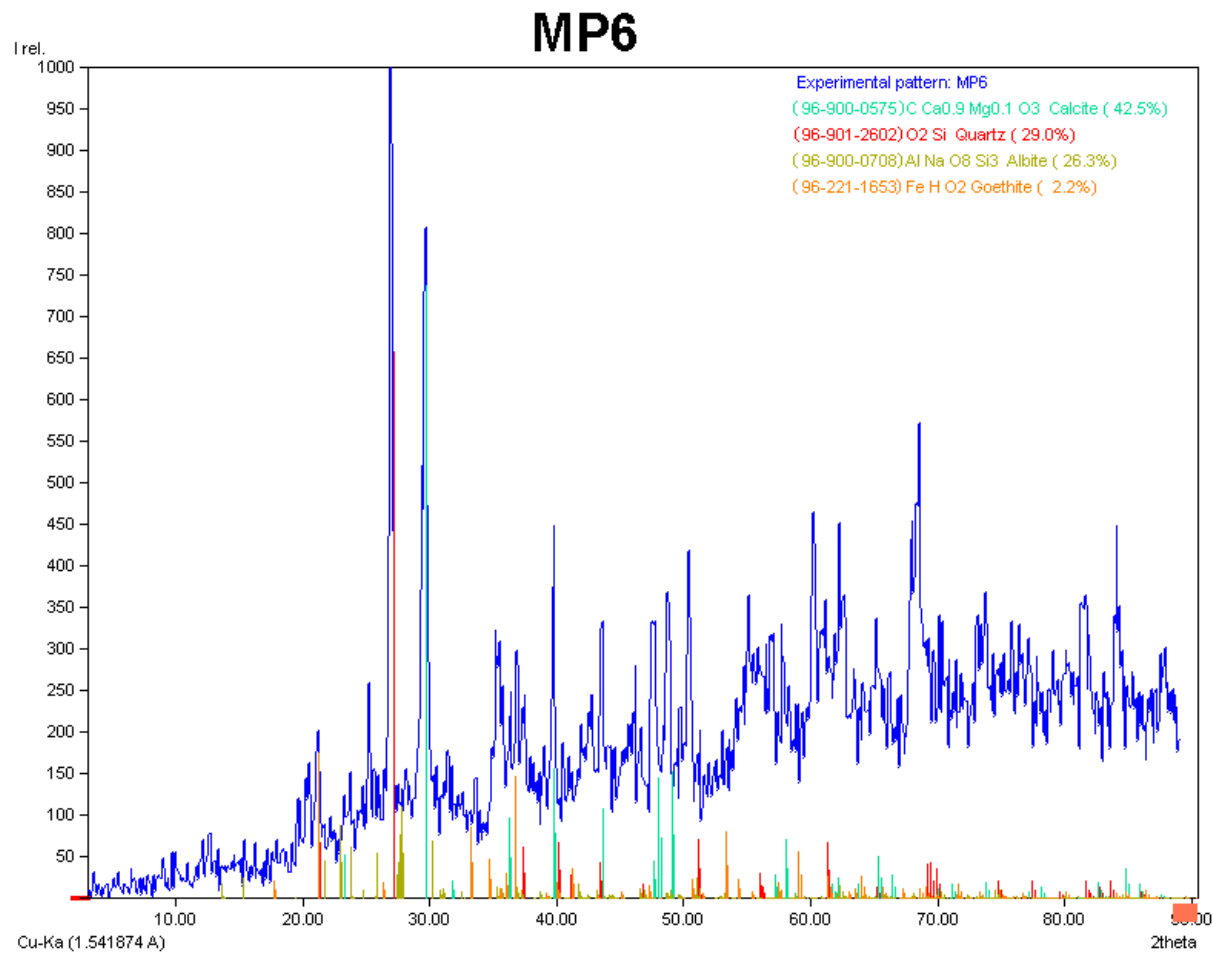


Figura 88. Difractograma de la muestra MP6.



## Marley Navas. 2017

Peak list for sample MP6						
2theta	Peak height	R/WHM	Calcite	Quartz	Albite	Goethite
12.45	69.3	0.2000				
12.75	77.7	0.2000				
19.96	93.9	0.2000				
20.47	159.2	0.2000				
21.23	210.8	0.2000		202.0		262.3
22.98	130.0	0.2000			87.4	
23.03					43.7	
23.29			52.9			
23.61	114.6	0.2000	26.5		94.1	
24.61	90.2	0.2000			16.6	
25.05	158.2	0.2000				
25.36	175.2	0.2000				
25.87	120.9	0.2000			86.9	
26.25	85.5	0.2000				29.0
26.99	977.8	0.2000		987.9		
27.44					29.3	
27.75	86.5	0.2000			360.0	
28.17	128.7	0.2000				
28.45	101.7	0.2000				
28.75	80.1	0.2000				
29.05	170.8	0.2000				
29.64	1000.0	0.2000	1107.7			
30.40	106.7	0.2000			104.7	
30.85	91.9	0.2000			32.1	
31.38	150.5	0.2000			5.7	
32.38	89.9	0.2000			13.8	
33.28	148.2	0.2000				87.0
33.36						43.5
34.74						46.6
34.83						23.3
35.25	350.6	0.2000			27.2	
35.51	357.2	0.2000			26.3	18.5
36.15	195.6	0.2000	145.8			46.4

Peak list for sample MP6						
2theta	Peak height	R/WHM	Calcite	Quartz	Albite	Goethite
36.74	267.7	0.2000			3.8	221.0
37.09	255.9	0.2000			32.9	
37.55	204.7	0.2000		92.4	5.4	
39.79	368.4	0.2000	234.2		0.9	20.3
40.15				67.8		
40.25				33.9		
40.85	98.6	0.2000		28.8	5.3	
41.85	122.1	0.2000			29.9	
42.68	218.2	0.2000			5.9	
42.68	218.2	0.2000			5.9	
42.68	218.2	0.2000			5.9	
45.35	118.9	0.2000			0.2	12.9
45.68	129.5	0.2000				
45.96	169.6	0.2000				
47.69	332.1	0.2000	66.8		0.2	7.7
48.08	329.0	0.2000	144.7			
48.78	342.0	0.2000	153.2		29.0	
50.44	309.0	0.2000		70.7	6.3	23.3
54.45	163.8	0.2000			4.3	34.8
54.85	226.1	0.2000				
54.95	128.3	0.2000				
55.31	276.5	0.2000			10.4	11.7
55.92	248.8	0.2000		31.2	2.1	
56.19	195.4	0.2000		35.9	0.5	
56.87	267.7	0.2000			2.8	
53.33						79.9
53.47						40.0
57.15	181.8	0.2000	42.4		6.6	
57.87	201.6	0.2000	71.3		18.3	9.3
59.07						56.0
59.23						28.0
60.28	389.0	0.2000			1.7	
61.11	299.0	0.2000		67.6	6.2	2.3
61.55	206.7	0.2000	76.1	33.8	4.8	56.6

Peak list for sample MP6						
2theta	Peak height	R/WHM	Calcite	Quartz	Albite	Goethite
62.43	403.6	0.2000	12.1		39.8	
62.95	158.8	0.2000			2.8	12.0
63.48	132.6	0.2000	17.3			17.9
64.26	117.3	0.2000				11.7
64.26	117.3	0.2000				40.3
65.22	217.6	0.2000	51.6	13.0	5.1	
65.55	156.0	0.2000	25.8	6.5	6.0	14.5
67.85	304.3	0.2000			15.1	2.7
68.34	542.1	0.2000			8.0	1.3
68.65	434.1	0.2000			11.3	17.1
69.45	187.2	0.2000		128.5	1.8	14.2
70.05	161.6	0.2000	17.1	54.7	3.2	8.3
70.38	171.9	0.2000			15.8	
70.75	129.5	0.2000			1.9	
72.04	114.6	0.2000			5.0	11.6
73.05	204.7	0.2000			6.4	
73.49	252.4	0.2000			7.7	11.2
73.70	231.7	0.2000	30.1		2.7	
74.87	147.4	0.2000	1.5	33.3	40.9	5.1
75.67	153.6	0.2000			4.8	1.3
76.09	152.3	0.2000				2.3
76.25	105.3	0.2000			2.0	1.2
76.53	168.8	0.2000			1.0	6.9
77.08	169.5	0.2000	7.9		8.7	4.0
78.02	109.4	0.2000	14.3		2.0	1.5
79.17	134.7	0.2000			2.1	
80.24	175.1	0.2000			5.6	13.4
80.65	129.6	0.2000			2.7	
81.67	293.1	0.2000	3.3	30.9	1.1	0.9
84.18	308.1	0.2000			0.7	11.5
85.32	111.3	0.2000	17.9		5.1	3.9
87.55	122.3	0.2000	4.5		0.3	5.5
87.86	153.1	0.2000	2.3		3.6	
88.45	86.0	0.2000			2.2	

Figura 89. Comparación de intensidades, ángulo 2theta de la muestra MP6 con otros minerales.

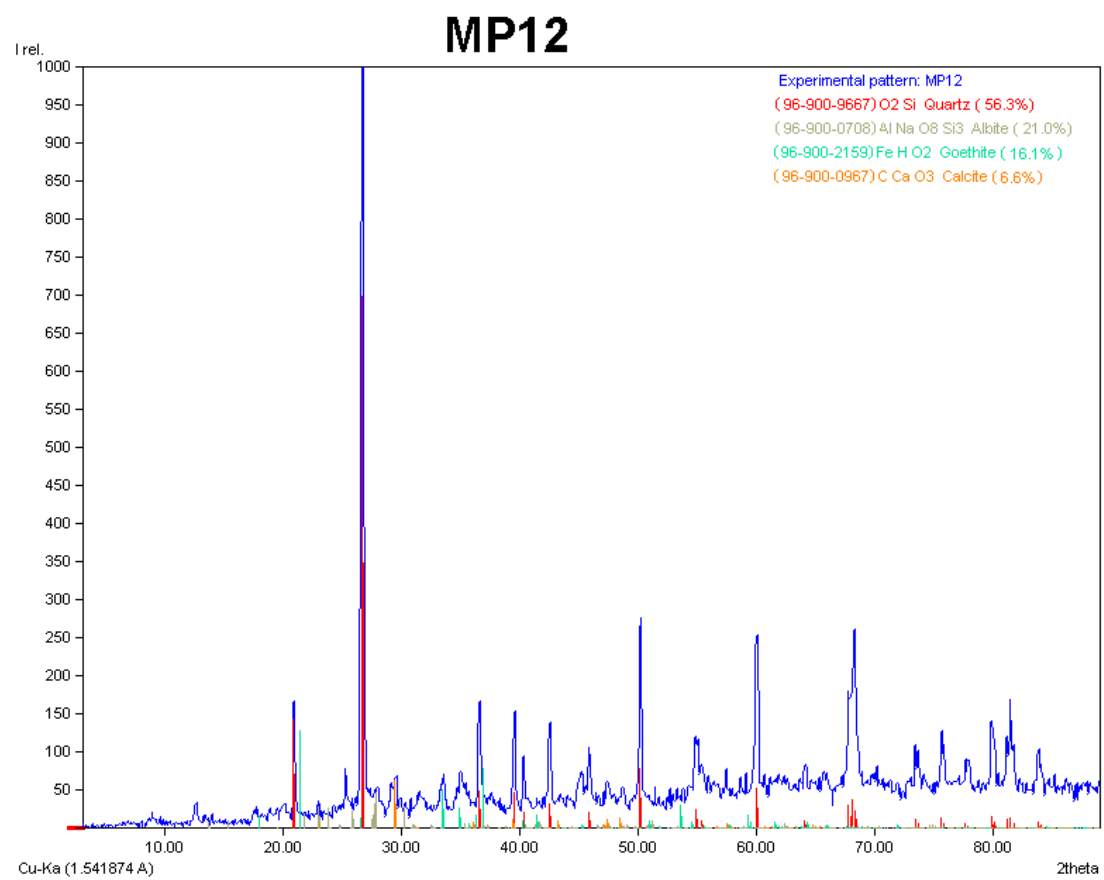


Figura 90. Difractograma de la muestra MP12.

Peak list for sample MP12						
2theta	Peak height	FWHM	Quartz	Albite	Goethite	Calcite
8.91	24.6	0.2000				
9.25	16.6	0.2000				
12.58	39.0	0.2000				
17.73	24.4	0.2000			24.1	
20.11	31.6	0.2000				
20.95	144.0	0.2000	214.6			
21.35					129.0	
22.98	38.4	0.2000		36.8		
23.76				26.4		
25.31	71.8	0.2000				
26.72	1000.0	0.2000	1047.3		20.1	
27.55	45.1	0.2000		78.1		
27.77	42.9	0.2000		86.0		
28.05	43.0	0.2000				
29.34	72.3	0.2000				94.9
30.18				29.4		
30.26				14.7		
31.57	36.0	0.2000				2.2
33.41	45.4	0.2000			50.4	
33.50					25.2	
34.75	56.5	0.2000			39.6	
35.10	73.2	0.2000		11.5		
36.65	159.3	0.2000	73.3	7.8	117.0	
39.54	139.4	0.2000	71.7	1.9	4.7	18.4
40.41	70.0	0.2000	32.6	0.3	22.3	
41.39					17.5	
42.53	116.9	0.2000	49.7	2.9		
45.15	78.0	0.2000		0.1	6.4	
45.85	99.5	0.2000	32.7			

Peak list for sample MP12						
2theta	Peak height	FWHM	Quartz	Albite	Goethite	Calcite
47.41	42.1	0.2000		0.6	9.2	24.8
48.65	34.2	0.2000		8.1	0.3	19.6
50.21	286.6	0.2000	118.7		0.8	
54.75	99.7	0.2000	24.9	0.6	13.1	
55.04	118.8	0.2000	22.8			
55.65	54.0	0.2000	5.2	5.0	4.1	
56.17	37.8	0.2000		0.5		
59.28					18.1	
60.02	270.0	0.2000	80.2	0.3		
61.57	39.0	0.2000		3.2	16.1	1.0
62.23	37.5	0.2000		14.6	1.8	
64.03	47.5	0.2000	10.1	0.5	4.6	
64.22	36.1	0.2000	5.1	3.8	11.2	
65.76	47.0	0.2000	3.7	7.1	4.0	1.3
67.55	114.3	0.2000	31.3	0.5	4.2	
68.16	367.0	0.2000	95.7	9.6	1.0	
69.01	35.0	0.2000		3.9	4.6	1.0
69.55	37.1	0.2000		0.6	6.4	0.5
70.01	57.0	0.2000		5.3	1.8	2.2
71.02	38.2	0.2000		0.7		
73.54	93.6	0.2000	17.9	3.9	2.4	0.3
74.32	35.5	0.2000		4.9		
75.75	112.3	0.2000	22.1	1.6	1.3	
76.96	37.8	0.2000		3.1	2.2	1.3
77.35	35.7	0.2000		1.3		0.6
77.80	72.9	0.2000	11.1	0.6	0.2	
80.01	135.5	0.2000	30.6	3.6		
80.85	36.1	0.2000	12.8	2.6	0.8	0.3
81.45	180.9	0.2000	28.2	0.8		2.6
83.89	84.4	0.2000	13.4	1.1		4.5

Figura 91. Comparación de intensidades, ángulo 2theta de la muestra MP12 con otros minerales.