

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE VOLUMEN DE
CALIZAS EN UNA ZONA UBICADA AL NORTE DE SAN SEBASTIÁN
DE LOS REYES, EDO ARAGUA**

**Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela por**

Br. Carrero Ronny

Br. Rivero Rubén

**Para optar al título
de Ingeniero Geólogo**

Caracas, Julio 2013

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE VOLUMEN DE
CALIZAS EN UNA ZONA UBICADA AL NORTE DE SAN SEBASTIÁN
DE LOS REYES, EDO ARAGUA**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Mauricio Hernández

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Manuel García

**Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela por**

Br. Carrero Ronny

Br. Rivero Rubén

**Para optar al título
de Ingeniero Geólogo**

Caracas, Julio 2013

CONSTANCIA APROBACIÓN

Los abajo firmantes, miembros del jurado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Geológica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por los Bachilleres Carrero Ronny y Rivero Rubén, titulado:

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE VOLUMEN DE CALIZAS EN UNA ZONA UBICADA AL NORTE DE SAN SEBASTIÁN DE LOS REYES, EDO ARAGUA

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 ideas expuestas por el autor, lo declaran APROBADO.

Prof. Ing. Ricardo Alezones

Jurado

Prof. Ing. Omar Márquez

Jurado

Prof. Ing. Mauricio Hernández

Tutor Académico

CARRERO, RONNY

RIVERO, RUBEN

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA Y CÁLCULO DE VOLUMEN DE
CALIZAS EN UNA ZONA UBICADA AL NORTE DE SAN
SEBASTIÁN DE LOS REYES, EDO ARAGUA.**

Tutor Académico: Prof. Mauricio Hernández. Tutor Industrial: Ing. Manuel García. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2013. 151p.

Palabras claves: San Sebastián de Los Reyes, Cantera de caliza el Chupadero, análisis químicos, estudios petrográficos, geología de yacimientos, cálculo de volumen, Formación Morro del Faro, Formación Garrapata, Formación Caramacate, Formación Las Hermanas, Aragua (estado).

Resumen: La zona estudiada pertenece a la llamada por MENÉNDEZ (1966), BELL (1968), BELLIZIA (1986), como Faja Piemontina, y comprende lo siguiente: Unidad de Calizas arrecifales, constituida principalmente por calizas masivas. Unidad de sedimentarias detríticas, no cíclicas con material calcáreo, constituido principalmente de ftanitas en secuencia con areniscas y lutitas. Unidad de sedimentarias detríticas, cíclicas, que se encuentra en contacto tectónico con la unidad de sedimentarias detríticas por una falla inversa con componente dextral, se compone de una litología compleja donde existen aporte de rocas sedimentarias, ígneo volcánicas y rocas metamórficas. Unidad de metavolcánicas, ubicada al este del mapa específicamente en el curso medio de la quebrada Las Dos Hermanas y que corresponde a un complejo de rocas

volcánicas separadas en discordancia con la unidad de rocas sedimentarias detríticas.

La caracterización geológica se realizó a través de análisis soportados en diferentes parámetros, tales como: 1- Clasificación de la roca caliza según Folk y Dunham (1962) para rocas carbonáticas, Pettijohn, Potter y Siever (1972) para areniscas, Mount (1985) para carbonatos de mezcla. 2- Clasificación de rocas ígneas volcánicas y plutónicas según Schmidt (1981) y el criterio de clasificación de Baamonde (modificado de BOGGS, 1992) para clasificar el conglomerado. Para la clasificación de Brechas se utilizó un criterio basado en la descripción de los afloramientos en campo y petrográficamente su composición mineralógica, grado de angularidad y disposición de los granos en la muestra observada en microscopio. 3- Caracterización química mediante titulación de carbonatos, fluorescencia de rayos X y análisis de pérdida al fuego. 4- Caracterización petrográfica, la cual consiste en una descripción de los principales elementos (minerales o fósiles) presentes en la muestra. 5- Elaboración de un mapa geológico en escala 1:2500 como resultado de toda la investigación elaborada en este trabajo.

Por último, los datos obtenidos mediante la caracterización geológica permitieron definir la geometría del yacimiento de roca caliza y por lo tanto la estimación del volumen de roca por medio del método geométrico de los perfiles.

DEDICATORIA

Este trabajo está especialmente dedicado a:

.....Mi madre, quien me dio las herramientas para esforzarme y ser un joven emprendedor y luego de irse de mi lado, aprendí a tener la fortaleza de seguir adelante y de nunca desistir para alcanzar mis objetivos y metas. Gracias madre, gracias a ti me esforcé y a pesar de ver esta carrera cuesta arriba, solo pensando en todo lo que me diste y enseñaste, pude lograr lo más anhelado para cualquier padre, el que un hijo culmine sus estudios universitarios. Gracias mami, bendición donde quiera que estés, siempre estás en mi corazón.

.....Mi padre, digno ejemplo de trabajo y constancia, gracias por haberme apoyado a lo largo de toda mi vida en las malas y buenas, creer en mí y en la oportunidad de poder retribuirte con la culminación de mi carrera profesional.

.....Mis hermanos, ejemplo de estudio, dedicación y constancia a la hora de alcanzar tus metas, les deseo el mayor de los éxitos en su vida y estaré ahí siempre de una manera u otra, para apoyarlos en las buenas y malas.

.... A mi abuela Elsa, quien siempre estuvo pendiente de mi esperando este día y sé que estará orgullosa.

Rubén Rivero.

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, mi segunda casa, Alma Mater que me abrigó durante los años de mi carrera profesional y aprender como dirigente estudiantil a trabajar y valorar lo que hago sin esperar nada a cambio, entendiendo que la humildad y la constancia son las herramientas que ayudan a abrir las puertas para lograr lo que te propones.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica y a todos sus profesores, por haberme dado los conocimientos para aplicarlos en el resto de mi vida como profesional. Al profesor Ricardo Alezones, por brindarme su apoyo a lo largo de toda mi carrera, al profesor y tutor Mauricio Hernández, por brindarme sus conocimientos y apoyo para culminar con esta etapa, al profesor Sebastián Grande, Mauricio Bermúdez y a todos los que aportaron en mi desarrollo profesional.

A mis tías y segundas madres Bader y Nayibe, mis tíos Enrique y Josesu, a mis primos todos siempre creyeron en mí y en la capacidad de ser el ingeniero profesional que soy hoy en día.

A Juan Carlos Matos y Ronny Carrero, por su gran colaboración, apoyo y aporte para el desarrollo de este trabajo y por su invaluable amistad.

A mis grandes compañeros, hermanos y amigos, Gerardo Ochoa, Luis Martínez, Darwin Guillón, Orlando Márquez, Rafael Pabón, Romar Vargas, Irma Peña y Pedro Ochoa, a todos mis compañeros y grandes amigos de campo largo por hacerme vivir grandes experiencias junto a ellos.

A todo el personal de F.N.C. de la Cantera y de la planta, por haberme dado la oportunidad de trabajar con ellos y prestarme las herramientas para elaborar este trabajo.

A mi novia, por estar ahí y brindarme su apoyo incondicionalmente cuando más lo necesitaba.

Rubén Rivero.

DEDICATORIA

Este trabajo está especialmente dedicado a:

...A mis padres, por brindarme siempre su apoyo incondicional y estar presentes cuando más los necesitaba.

...A mi esposa, por su infinita paciencia y su apoyo incondicional.

...A mis hijos, Sophia y Saúl por ser fuente de inspiración y darme ese empuje en la vida y así lograr la meta.

...A mis Hermanos, Yesenia, Coromoto, Deivid y Rafael por creer en mí y apoyarme en mi carrera.

...A la memoria de Frank Martínez.

Ronny Carrero

*“Para el logro del triunfo siempre
ha sido indispensable
pasar por la senda de los sacrificios”.*

Simón Bolívar.

AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela, mi segunda casa, donde conocí mucha gente y aprendí diferentes aspectos de la vida que me ayudaron a crecer como persona.

A la Escuela de Geología, donde viví los mejores y peores momentos de mi vida.

A mi compañero de tesis Rubén Rivero, por ser paciente y apoyarme en la realización de este trabajo especial de grado.

A Juan Carlos Matos, por su gran colaboración, apoyo y aporte para el desarrollo de este trabajo y por su invaluable amistad.

A mis grandes compañeros y amigos, Yordi Caraballo, Jesus Miguel Fermin, Gabriel Zarraga, Miguel Urbina, Aldo Bustos, Wilcar Payema, Matilde Landaeta, Kely Pérez (la negra), Melisa Sánchez, Johely Zurita, Maibelys Granadino, Andrés Malavé (er Pollo), Firas Maklad, William Martínez, Jesús (Yisus), Alejandro Zabala, Marcos Martus, María Teresa Artigas (mi santa), Angélica Gudiño, Reinaldo Pérez (Bazmaru), Ender Nieto (la Princesa), Gerardo Ochoa, Gregorio López, Isabel Pérez, Jonman, Yonder Melo, Juan Zambrano, Juan Pablo L'hoeste, Laura González, Yashira Cardona, La Negra Yuly, Luis Centeno, Luis Scremin, Karellys Leal, Manuel Azancot, María Lucarellis, Oscar Navarrete, José Luis Romero (Pija), Surimar Mora, Luis Palma, Adonái Alvares.

A mis amigos de infancia Jhon Angulo, Pedro Flores, Jorge Gómez y Jesús Paduani.

A mis compañeros de campo largo, Luis Carlos Romero, Gabriela Barroso, Lina Pantoja, Freddy Cisnero, Betssymar Maza, Esnatlin Simoza, Rubén Rivero, Denise Ortega, María A Moreno, Ileana Osorio, Ana Hernández, Edison Cadena, Zully Albertini, Marlene Flores. Por hacer del campo 2012 el mejor de todos.

A todo el personal de F.N.C. de la Cantera el Chupadero y de la planta Ocumare, por haberme dado la oportunidad de trabajar con ellos y prestarme las herramientas para elaborar este trabajo.

A Mis Hermanos de la vida, Yonkar Morillo, Freddy Cisnero y Juan Daniel Gómez.

A la Sra Morella Mikati, por su invaluable amistad y por su gran colaboración a lo largo de mi carrera.

Ronny Carrero

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Generalidades	1
1.2 Objetivo general	2
1.3 Objetivos Específicos	2
1.4 Ubicación y acceso.....	3
1.6 Antecedentes.....	5
1.7 Metodología.....	11
1.7.1 Etapa compilatoria.....	12
1.7.2 Etapa campo.....	12
1.7.3. Etapa de laboratorio.....	16
1.7.3.1. Análisis químicos.....	18
a) Análisis por titulación	19
b) Análisis por fluorescencia de rayos x	21
c) Análisis de pérdida al fuego	23
d) Caracterización Petrográfica	25
1.7.4 Etapa de Oficina.....	25
CAPÍTULO II	27
2.1 MARCO TEÓRICO.....	27
2.1.1 Levantamiento geológico de rocas sedimentaria.....	27
2.1.2 Análisis por titulación.....	27
2.1.3 Análisis de pérdida al fuego.....	28
2.1.4 Fundamentos de rayos x.....	29

2.1.4.1.....Fluorescencia de rayos X por dispersión de energía.....	30
2.1.5 Petrografía Microscópica.....	31
2.1.6 Rocas Carbonáticas.....	32
1) Clasificación Textural en rocas carbonáticas según Folk (1962)	
34	
2) Clasificación textual de Dunham (1962)	35
3) Clasificación de Rocas Carbonáticas de Mezcla según Mount (1985)	36
2.1.7 Clasificación de areniscas.....	41
2.1.8 Clasificación de rocas piroclásticas (Tobas y Cenizas).....	42
2.1.9 Geología Económica.....	43
2.1.9.1 Caracterización de macizos rocosos con interés económico.....	44
2.1.9.2 Tipos de macizos rocosos blandos.....	45
2.1.9.3 Minas a Cielo Abierto.....	46
2.1.9.4 Método de Canteras.....	47
2.1.9.5 Calculo de volumen.....	48
a) Método de secciones paralelas o perfiles.....	48
b) Cálculo de área mineralizada.....	49
El área de cada corte o perfil se puede calcular de diversas maneras: Planímetro, papel milimetrado o regla de Simpson.....	49

2.1.9.6 Operaciones de mina: Descripción del método de explotación a cielo abierto, indicando criterios utilizados y producción de mineral y estéril.....	50
CAPÍTULO III	52
3.1 GEOGRAFÍA FÍSICA.....	52
3.1.1 Clima.....	52
3.1.2 Vegetación.....	52
3.1.3 Fisiografía.....	53
3.1.4 Drenajes.....	53
3.2 GEOLOGÍA REGIONAL	54
3.2.1. Faja Piemontina.....	58
3.2.2. Faja Villa de cura.....	64
CAPÍTULO IV	70
4.1 GEOLOGÍA LOCAL.....	70
4.1.1 Generalidades.....	70
4.1.2 Caracterización Geológica.....	71
a) Unidad Litoestratigráfica (UI): Calizas arrecifales y prearrecifales.....	71
b) Unidad Litoestratigráfica (UII): Sedimentarias detríticas, no cíclicas con material calcáreo.....	98
c) Unidad Litoestratigráfica (UIII): Sedimentarias detríticas. cíclicas.....	108
d) Unidad Litoestratigráfica (UIV): Rocas Volcánicas.....	116
4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL.....	124

CAPÍTULO V	128
5.1 GEOLOGÍA DE YACIMIENTOS	128
5.1.1 Generalidades	128
5.1.2 Análisis químicos de interés minero	128
5.1.3 Estimación del volumen del yacimiento	135
CAPÍTULO VI	141
6.1 Sumario	141
6.2 Conclusiones	141
6.2 Recomendaciones	143
CAPÍTULO VII	144
7.1 Bibliografía	144
ANEXOS	151
I. TABLAS DE DESCRIPCION PETROGRÁFICAS (muestras estudiadas individualmente)	151
II. MAPA GEOLÓGICO GENERALIZADO DE LA CANTERA EL CHUPADERO, SAN SEBANTIÁN DE LOS REYES, EDO. ARAGUA	151
III. MAPA DE SECCIONES Y CORTES GEOLÓGICOS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE VOLUMEN DE CALIZAS	151

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig 1. Ubicación del Área de Estudio.....	4
Fig 2. Mapa Geológico de la Creole Petroleum Corporation.	6
Fig 3. Mapa Geológico de Guárico (San Juan de los Morros).....	7
Fig 4. Mapa de Geología de Superficie (Zona Central).....	9
Fig 5. Esquema de metodología a utilizar.	11
Fig 6. Levantamiento Geológico del morro, se observa un afloramiento de Chert estratificados.....	13
Fig 7. Levantamiento geológico de la Qda. La Hermana.	13
Fig 8. Afloramiento de chert, se observa un pliegue fallado en su limbo derecho. Locación qda Dos Hermanas.	14
Fig 9. Clasificación de muestra recolectada en campo.....	15
Fig 10. Triturador de mandíbula G-SIST.....	16
Fig 11. Equipo de molienda HERZOG.....	17
Fig 12. Discos y anillos de molienda.....	18
Fig 13. Equipos y materiales para ensayo de titulación.	20
Fig 14. Prensa Herzog para elaborar pastillas.....	22
Fig 15. Numeración de pastilla para análisis de Rx.....	22
Fig 16. Espectrómetro XRF MinipalRx PANalytical.	23
Fig 17. Preparación de muestra para análisis de pérdida al fuego.....	24
Fig 18. Horno donde se llevan las muestras para quemar los carbonatos totales.	25
Fig 19. Clasificación textural de rocas carbonáticas propuesta por Folk (1962). Tomado y modificado de Méndez, 2009.....	35
Fig 20. Clasificación textural de rocas carbonáticas propuestas por Dunham (1962). Tomado y modificado de Méndez, 2009.....	36
Fig 21. Sistema tetrahedral de clasificación de carbonato de mezcla. Tomado y modificado de Mount (1985).	37
Fig 22. Diagrama de representación binario. Tomado y modificado de Mount (1985).	38
Fig 23. Zona donde ocurre la mezcla puntual. Tomado y modificado de Mount (1985).	39
Fig 24. Zona donde ocurre la mezcla de facies. Tomado y modificado de Mount (1985).	40
Fig 25. Zona donde ocurre la mezcla "in situ". Tomado y modificado de Mount (1985).	40

Fig 26. Clasificación de areniscas según Pettijohn (1987). Tomado y modificado de Méndez, 2009.....	43
Fig 27. Clasificación de Tobas y Cenizas (Schmidt 1981).	44
Fig 28 Ejemplo de Minería a Cielo Abierto. Mina de Chuquicamata, Chile.....	46
Fig 29 Maquinarias utilizadas en método de las Canteras. Foto frente de explotación Cantera El Chupadero	48
Fig 30 Método de secciones paralelas. Tomado y modificado de Kazhdan (1982).	50
Fig 31. Resumen tectónico de la placa del caribe y sus regiones vecinas (modificado a partir de Pindell y Barrett, 1990, y Muehlberger, 1992). Tomado y modificado de Martin Meschede y Wolfgang Frisch (1998).....	55
Fig 32. Modelo Geotectónico. Se observa la colisión del arco volcánico. Tomado y modificado de Ana Izturiz.	55
Fig 33. Distribución de las fajas tectónicas al nor-centro de Venezuela. Tomado y modificado de Coello (2012).....	57
Fig 34. Esquema simplificado de las formaciones pertenecientes a las Fajas de Villa de Cura y Piemontina.....	57
Fig 35. Cuadro correlación entre unidades sedimentarias encontradas en las Fajas Piemontina, Volcada, y de Buzamientos Suaves, en las regiones o zonas definidas. (Unidades Oligo-miocénicas separadas por línea punteada, pertenecen a las fajas Volcada y de Buzamientos Suaves; bloques alóctonos separados con línea continua y flecha; contactos no definidos con interrogantes). Tomado y Modificado de Coello (2012).....	58
Fig 36. Corte idealizado en una sección de nuestra zona de estudio, en él se muestra la roca caliza aflorando. Tomado y modificado de Beck (1985).	61
Fig 37. Mapa Geológico donde se puede observar la Formación Caramacate, al norte de la falla de Cantagallo. Tomado y Modificado de CORPOVEN (1990).....	61
Fig 38. Mapas esquemáticos y secciones transversales, y no necesariamente a escala, que ilustra los mecanismos de formación y colocación de alóctonos. Tomado y Modificado de Pindell y Kennan (2005).....	63
Fig 39. Corte Transversal sintético de la Napa de Villa de Cura. 1-Lutitas con Olistolitos; 2-Lutitas y Calizas Arenosas (Maastrichtiense); 3-Caliza Maciza (Paleoceno Superior-Eoceno Inferior); 4-Esquistos Verdes con Glaucofano; 5-Metadiabasas; 6-Esquistos y Filitas; 7-Brechas y Tobas Basálticas; 8-Basaltos (espilitas). Tomado de Beck (1986).....	65
Fig 40. Cuadro correlación entre unidades encontradas en la Faja Villa de cura. Tomado y Modificado de Urbani (INTEVEP 1997).....	66

Fig 41. Estratificación simplificada de la Napa de Villa de Cura. 1-Piroxenolita, Hornblendita, 2-Gabro, 3-Gabro metamorfozido con glaucofano, 4- Hornablendita con plagioclasa, 5-Micrograbado dolerítico, 6-Basalto, 7-Brechas y Tobas basálticas, 8-Metadiabasa Metadiabasa afríca, 9-Metabasalto porfirico, 10-Toba de grano fino o chert, 11-Cuarcita bandeada con albita y glaucofano, 12- Esquistos verdes con glaucofano, 13-Cuarcita hojosa con albita y glaucofano, 14- Esquistos con clorita o estilpnomelano, 15-Cuarzofilita, 16-Esquistos y cuarcitas con clorita y epidoto. Tomado de Beck (1986). 67

Fig 42. Geología simplificada de las napas Loma de Hierro y Villa de Cura (Aragua-Miranda). 1-Neogeno-Cuaternario, 2-Caucagua-El Tinaco, 3-Complejo con Olistolitos, 4-Lutitas, Conglomerados y Caliza, 5-Caliza Maciza, 6- Conglomerados Volcanicos, 7-Lavas, Tobas y Brechas Basalticas, 8-Metatobas y Metalavas, 9-Lutitas con Olistolitos, 10-Lutitas, Conglomerados y Caliza, 11- Lavas Basalticas macizas, 12-Lavas en almohadillas, Brechas, Calizas y Radiolaritas, 13-Gabros cumulados, 14-Gabros cumulados anfibolizados, 15- Peridotita, Serpentina. a. Falla subvertical, b. Corrimiento, c. Corrimiento supuesto, d. Contacto estratigráfico. Tomado y Modificado de Beck (1985). 68

Fig 43 Calizas Arrecifales ubicadas en el frente de explotación 72

Fig 44 Calizas prearrecifales ubicadas en el frente de explotación..... 72

Fig 45 Mapa Ubicación muestras de la Unidad I que se les realizo estudios petrográficos 75

Fig 46 Afloramiento de calizas donde se tomó la muestra MEM 04 76

Fig 47 Muestra de mano MEM 04..... 76

Fig 48 Sección fina MEM 04, se observan foraminíferos (miliólidos) bien preservados y fragmentos de moluscos presentes. Objetivo 4x NX 77

Fig 49 Sección fina MEM 04, se observa inversión homoaxial en fragmento de molusco. También se observa cemento microespato y micritización de las partículas esqueléticas. Objetivo 10x NX 78

Fig 50 Sección fina MEM 04, vista general. Se observa cemento microespato y pseudoespato, fragmentos de moluscos y extraclastos, también se observa porosidad de fractura. Objetivo 10x NX..... 78

Fig 51 Muestra de mano MEM 06..... 79

Fig 52 Sección fina MEM 06. Se observa fragmentos de moluscos foraminíferos bien preservados (nummulites) en matriz micrita. Objetivo 10x NX 80

Fig 53 Muestra de mano MEM 11 81

Fig 54 Sección fina MEM 11. Se observa fragmentos de moluscos y nummulites reemplazado por cemento microespato y gran cantidad de matriz. Objetivo 10x NX.....	82
Fig 55 Muestra de mano MEM 13.....	83
Fig 56 Sección fina MEM 13. Vista general de la sección, en ella podemos ver matriz, cemento, fragmentos de moluscos que presentan inversión homoaxial y fragmentos de roca sedimentaria. Objetivo 4x NX	84
Fig 57 Afloramiento de calizas donde se toma la muestra MEM 15	85
Fig 58 Muestra de mano MEM 15.....	85
Fig 59 Sección fina MEM 15. Se observa fragmentos de moluscos y foraminíferos, fragmentos de roca sedimentaria y gran cantidad de micrita presente. Objetivo 10x NX.....	86
Fig 60 Sección fina MEM 15. Vista general. Objetivo 4x NX.....	86
Fig 61 Afloramiento de la muestra MEM 21.....	87
Fig 62 Muestra de mano MEM 21.....	88
Fig 63 Fragmento de molusco con cemento microespato, también se pueden observar fragmentos de rocas sedimentarias y micrita. Objetivo 4x NX.....	88
Fig 64 Muestra de mano MEM 27.....	89
Fig 65 Afloramiento de la muestra MEM 27.....	90
Fig 66 Fragmento de molusco con cemento pseudo espato y matriz micrita. Objetivo 4x NX.	91
Fig 67 Muestra de mano MEM 31.....	92
Fig 68 Se observa fragmentos de rocas, gran porosidad y fragmentos de moluscos y foraminíferos con procesos orgánicos de micritización de partículas esqueléticas, también se observa cemento microespato que se presenta recristalizado. Objetivo 4x NX	93
Fig 69 muestra de mano MEM 33.....	94
Fig 70 Afloramiento de la muestra MEM 33.....	94
Fig 71 Vista general sección fina de muestra MEM33. Objetivo 4x NX.....	95
Fig 72 Muestra de mano MEM 42.....	96
Fig 73 Afloramiento de calizas donde se tomó la muestra MEM 42	96
Fig 74 Sección fina MEM 42. Vista general de la muestra, se observa gran cantidad de aloquímicos en matriz micrita. Objetivo 4x NX.....	97
Fig 75 Afloramiento de la Unidad II. Se observa intercalación de Arenisca-Lutita plegada.....	99
Fig 76 Afloramiento de la Unidad II. Se observa intercalación de Cherts-Lutitas.	99

Fig 77 Muestra de mano de cherts.....	100
Fig 78 Mapa de ubicación de muestras de la Unidad II a las que se les realizó sección fina.....	101
Fig 79 Sección fina MEM 03. Grauvaca Feldespática. Vista general. Objetivo 4x	103
Fig 80 Sección fina MEM 02. Grauvaca cuarzosa con material calcáreo. Vista general. Objetivo 4x.....	104
Fig 81 sección MEM 101. Arenisca alquímica, se observa fragmentos de molusco reemplazado por cemento y fragmentos de extraclastos. Objetivo 10x derecha NX.....	105
Fig 82 Sección fina MEM 106. Se observa matriz con granos que tienen una orientación preferencial, esta es la zona de depositación en ambiente de baja energía. Objetivo 4x NX.....	106
Fig 83 sección MEM 106 se observa matriz con granos de diversas procedencias (Qz ígneo volcánico y metamórfico, fragmentos de roca sedimentaria) subredondeados, fragmentos de moluscos y glauconita. Esta es la zona de depositación en ambiente de baja energía. Objetivo 4x NX.....	107
Fig 84 sección MEM 106 Se observan foraminíferos bien preservados, algunos con reemplazo de cemento y fragmentos de algas, esta es la zona de depositación en ambiente de alta energía. Objetivo 4x NX.....	107
Fig 85 sección MEM 106 Zona de contacto entre depositación de ambientes de alta y baja energía. Observe que el contacto. Objetivo 4x NX.....	108
Fig 86 Muestra de mano de lutita metamorfizada. Ubicación qda. Las Hermanas	110
Fig 87 Muestra de mano arenisca grano medio. Ubicación qda. La Hermana	110
Fig 88 Afloramiento qda. La Hermana. Cherts plegados.....	111
Fig 89 Afloramiento qda. Dos Hermanas. Conglomerado. Se observan clastos de diferentes tamaños y composición	111
Fig 90 Mapa ubicación de muestras de la UIII a las que se le realizó petrografía	113
Fig 91 . Vista general sección fina MDH #3, se observa fragmento de roca (lítica volcánica). Objetivo 20x NX.....	114
Fig 92 Sección fina MDH 01. Conglomerado polimíctico. Se observan fragmentos de roca (metamórfica y sedimentaria) y fragmentos de plagioclasa y matriz carbonática. Objetivo 20x NX.....	115
Fig 93 Sección fina MDH20. Fósil con reemplazamiento. Fragmento de Roca volcánica (hacia la izquierda). Objetivo 20x NX.....	116

Fig 94 Afloramiento de conglomerado de rocas volcánicas. Ubicado en la qda. Las Hermanas.....	117
Fig 95 Contacto tectónico entre UIII y UIV. Ubicación qda Dos Hermanas	117
Fig 96 Lavas con textura amigdaloides. Ubicación qda. Dos Hermanas.....	118
Fig 97 Mapa Ubicación muestras de la Unidad IV que se les realizo estudios petrográficos	120
Fig 98 Vista general de la sección fina MDH14. Objetivo 10x NX.	121
Fig 99 Vista general de la sección fina MDH14. Se observa la matriz, cristales de plagioclasa y cuarzo y fragmentos de roca. Objetivo 20x NX.	122
Fig 100 Vista general sección fina MDH12. Objetivo 4x NX.....	123
Fig 101 Vista general sección fina MDH13. Objetivo 20x NX.	123
Fig 102 Fajas Tectónicas de la cadena Caribe Central. 1-Oligoceno-Neogeno-Cuaternario, 2-Faja Piemontina (Paleógena con facies flysch), 3-Faja de la Cordillera de la Costa, 4-Faja de Loma de Hierro, 5-Faja Caucagua-El Tinaco, 5.s-Serpentinas y Perioditas (Macizo de Loma de Hierro), 6-Faja de Villa de Cura. Tomado y Modificado de INTEVEP	126
Fig 103 Ubicación relativa de las fallas que constituyen los límites de la Faja Piemontina respecto a las demás fajas en la región. Tomado y modificado de Coello (2012).....	127
Fig 104 Mapa de la unidad I, en ella podemos observar de qué forma se tomaron los cortes de las secciones para el cálculo de volumen.....	137
Fig 105 Perfil II' realizado para estimar el cálculo de volumen de calizas	137

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Analisis quimicos realizados a las muestras de la Unidad I.....	97
Tabla 2 Resultados de analisis de titulaci3n de Carbonatos realizados a la Unidad I.....	129
Tabla 3 Continuaci3n resultados de analisis de titulaci3n de Carbonatos realizados a la Unidad I.....	130
Tabla 4 Resultados de Analisis de fluorescencia de Rayos X realizados a las muestras de la Unidad I.....	131
Tabla 5 Continuaci3n resultados de Analisis de fluorescencia de Rayos X realizados a las muestras de la Unidad I.....	132
Tabla 6 Resultados de analisis de p3rdida al fuego realizados a las muestras de la Unidad I.....	134
Tabla 7 Resultados de estimaci3n del volumen del yacimiento (Desde secciones A-A' hasta I-I').....	138
Tabla 8 Resultados de estimacion del volumen del yacimiento (Desde secciones J-J' hasta S-S').....	139
Tabla 9 Calculo del volumen total del yacimiento.....	140
Tabla 10 Unidades establecidas en campo y su correlaci3n con unidades formales.....	142

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Generalidades

La Fábrica Nacional de Cemento (FNC) es el ente encargado de la extracción de la materia prima para la elaboración de materiales utilizados en la construcción y la planta principal de procesamiento de la materia prima se encuentra en Ocumare del Tuy. En la actualidad, debido a los diferentes planes de desarrollo habitacional y de infraestructuras tales como: puentes, ferrocarriles, represas y vialidad; se ha incrementado la demanda de cemento y agregados, por lo que FNC se ve en la necesidad de aumentar la producción para así poder satisfacer la alta exigencia que existe en el país.

La Cantera El Chupadero es propiedad de la Fábrica Nacional de Cemento (FNC) dedicada a la producción de roca caliza y viene desarrollando esta actividad en un lote de terreno que formó parte de la Hacienda El Chupadero, localizada al norte de la carretera nacional San Sebastián-Pardillal, en jurisdicción del Municipio San Sebastián de los Reyes del Estado Aragua cuya zona de exploración abarca una superficie de 128 Ha. El área de estudio se encuentra en la Cordillera del Caribe, la misma está formada por la Cordillera de la Costa, Oriental y la Serranía del Interior.

A pesar de existir unos datos de trabajos anteriores realizados en la zona de estudio, la presente investigación se originó con el propósito de obtener conocimientos más precisos de la cantera El Chupadero, específicamente una caracterización geológica del yacimiento de roca caliza lo suficientemente precisa en su geometría y la calidad de la roca contenida para ser utilizada como material para fabricación de cemento y de esta manera poder estimar el volumen de sus reservas.

El motivo por el cual se llevó a cabo el estudio en la cantera El Chupadero, es porque ésta no tiene estudios geológicos actualizados, con los que se pueda optimizar el aprovechamiento de las reservas que posee la cantera, para determinar el volumen actual del yacimiento y su vida útil.

El estudio geológico debe establecer las condiciones óptimas de estudio de la cantera, para hacer un levantamiento adecuado que permita obtener datos suficientemente informativos para describir y delimitar el volumen y que dicha investigación pueda ser utilizada en futuros planes de explotación minera. Este trabajo especial de grado está orientado a la caracterización de la roca más óptima para la explotación de la materia prima y posterior elaboración del cemento.

Por tal motivo surgió la necesidad de realizar un plan de exploración de yacimientos de roca caliza, por lo que se realizó una caracterización geológica de la cantera El Chupadero para poder estimar el volumen de las reservas a fin de agilizar y orientar las labores de extracción de esta roca.

1.2 Objetivo general

Realizar una caracterización geológica de la cantera “El Chupadero”, que permita definir la geometría del macizo rocoso, sus límites y así poder estimar el volumen de reservas existentes en el yacimiento.

1.3 Objetivos Específicos

- Levantamiento geológico del macizo rocoso (morro) y de las quebradas Dos Hermanas y La Hermana.

- Caracterización petrográfica de las muestras recolectadas en campo.
- Caracterización química de las muestras recolectadas en campo mediante titulación de carbonatos para obtener los carbonatos totales presentes, fluorescencia de rayos X para determinar las concentraciones de los elementos mayoritarios (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO y CaO) y por último el análisis químico de pérdida al fuego para obtener con mayor precisión los resultados de los análisis anteriores.
- Elaboración un mapa geológico de la zona con los datos obtenidos durante toda la jornada investigativa de este trabajo.
- Estimación el volumen del yacimiento a través del método de los perfiles.

1.4 Ubicación y acceso

El área en estudio está ubicada en el municipio San Sebastián de los Reyes del estado Aragua, aproximadamente a 2 km al este de la población de San Sebastián (Fig 1).

Su acceso se logra a través de la carretera de Pardillal San Sebastián, vía Occidente, en la salida que se encuentra a 10 km aproximadamente de la población de Pardillal.

La cantera está localizada en terrenos pertenecientes a la empresa Fábrica Nacional de Cementos; hacia el extremo sur se encuentra con la carretera antes mencionada y hacia el norte, este y oeste con terrenos de carácter privado.

La zona en estudio alcanza unas 500 hectáreas, sin embargo la cantera El Chupadero abarca una zona de explotación más restringida con una superficie de 128 Ha. Esta zona estudiada se encuentra ubicada entre las coordenadas:

Caracterización geológica y cálculo de vol. de calizas al norte de San Sebastián de los Reyes, edo. Aragua

CARRERO R. y RIVERO R. (2013)

UTM: $\left\{ \begin{array}{l} \text{N } 1100000 \\ \text{N } 1098000 \end{array} \right.$ $\left\{ \begin{array}{l} \text{E } 705000 \\ \text{E } 703000 \end{array} \right.$ GEOGRÁFICAS: $\left\{ \begin{array}{l} 67^{\circ}09' \text{ W } \quad 9^{\circ}58' \text{ N} \\ 67^{\circ}07' \text{ W } \quad 9^{\circ}55' \text{ N} \end{array} \right.$

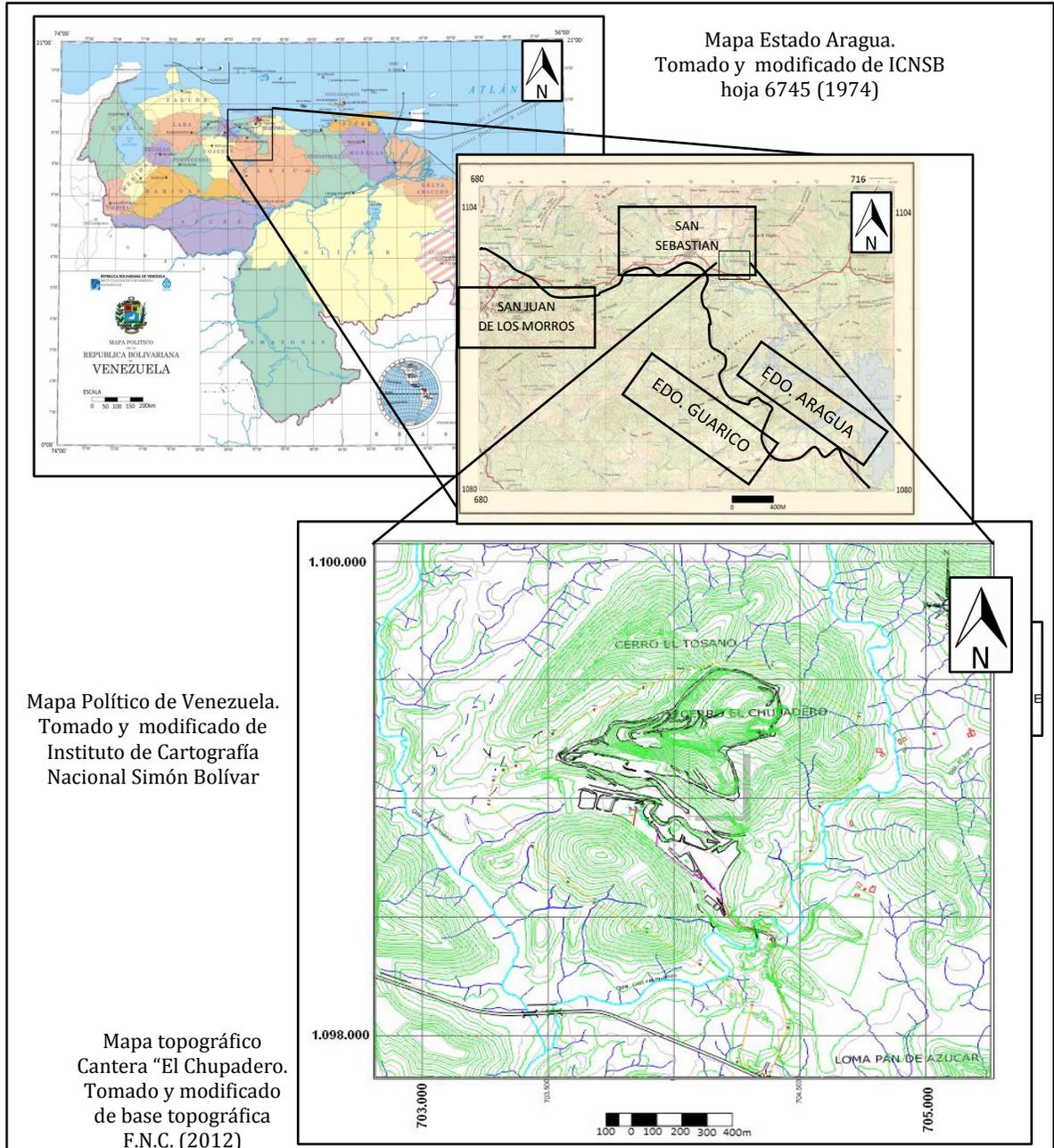


Fig 1. Ubicación del Área de Estudio.

1.6 Antecedentes

HESS “et al” (1960), realizaron trabajos para establecer la secuencia cronológica de eventos geológicos ocurridos al norte de Suramérica. Luego, en el transcurso de los años 70 aparecen publicaciones que reportan datos para tratar de explicar la existencia de las fajas o cinturones tectónicos que conforman el complicado mosaico geológico de la cordillera de la costa, soportando la idea de la aloctonia de algunos bloques como el caso concreto de villa de cura.

SHAGAM (1960), estudio la configuración geológica de la región de Aragua Central enfatizándose en la secuencia de rocas meta-volcánicas de Villa de Cura, dividiendo ésta en cuatro formaciones: El Caño, El Chino, El Carmen y Santa Isabel; ordenadas de más antiguas a más jóvenes. De igual manera trabaja con las Volcánicas de Tiara (actualmente Formación Las Hermanas); estableciendo la relación que tienen entre sí.

OXBURG (1960), presento un análisis completo del problema en relación con la posición estratigráfica y estructural del grupo villa de cura y sugirió que este grupo representaba parte del basamento pre-cretáceo.

OXBURG (1960), considera que todos los depósitos del cretáceo en la cordillera de la costa sufrieron un grado de metamorfismo correspondiente a la profundidad de su enterramiento y a su ubicación en una zona donde prevalecieron condiciones termales anormales durante el cretácico, antes que a episodios diastróficos discontinuos de metamorfismo separados por periodos de levantamiento y erosión.

OXBURG (1965), establece que la costa septentrional del centro de Venezuela está definida por una cordillera de montañas que se eleva bruscamente desde el nivel del mar hasta una altura de cerca de 2500 metros.

Ligeramente al sur de esta cadena se levanta una segunda serranía, menos elevada, subparalela a la anterior. La primera se conoce como cordillera de la costa y la segunda, como serranía del interior, juntas forman un cinturón montañoso costero de dirección este-oeste de 80 kilómetros de anchura más o menos. Este cinturón, en su extremo occidental, se encuentra con el extremo noreste de los andes en la región de Barquisimeto, hacia el este atraviesa el estado sucre y la península de Araya y Paria. La Cordillera de la Costa parece llegar hasta la Cordillera norte de la Isla de Trinidad.

CREOLE PETROLEUM CORPORATION C.O. (1965), realizó un conjunto de mapas en base a una integración geológica a escala 1:100.000, entre los cuales se usó el D-07. (Región San Sebastián de los Reyes, Creole Petroleum Corporation C.O., 1965).

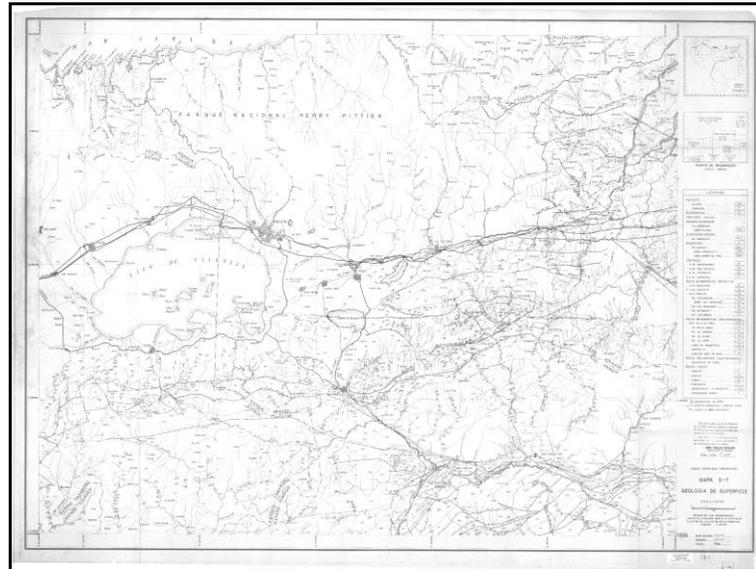


Fig 2. Mapa Geológico de la Creole Petroleum Corporation.

KONIGSMARK (1965), considera que el metamorfismo y plegamiento de los grupos caracas y villa de cura ocurrieron al final de cretáceo inferior (?),

seguidos durante el cenomaniense por la sedimentación de las volcánicas de tiara, compuestas de basaltos, diabasas y rocas sedimentarias asociadas.

BELL (1968), estudia la región de Camatagua mediante sus provincias estructurales: Faja de Villa de Cura, Faja Piemontina, Faja Volcada y Faja de Buzamientos Suaves; concluyendo que la Faja de Villa de Cura se emplazó en la parte norte de la cuenca de la Formación Guárico por efectos de un deslizamiento submarino gravitacional que finalizó en el Paleoceno. En este mismo trabajo define dos ambientes estructurales que se aplican en la región; uno presente en el borde sur de la Faja de Villa de Cura, donde suprayace, estructural o discordantemente, a la formación Guárico. El otro ambiente en el borde norte de la Faja Piemontina, donde constituye masas lenticulares de varios kilómetros de longitud considerados como bloques exóticos dentro de la Formación Guárico.

MAPA GEOLOGICO SAN JUAN DE LOS MORROS (1971), mapa base geológico a escala 1:100.000, hoja 6745, elaborado por el Ministerio de Energía y Minas, Dirección de Geología.

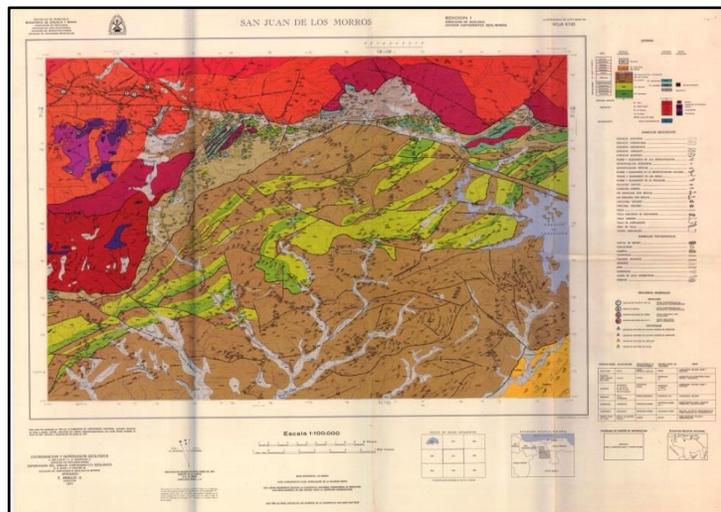


Fig 3. Mapa Geológico de Guárico (San Juan de los Morros).

BECK (1977), estudia la Faja Piemontina y la zona de corrimientos frontales, con lo cual definió que el tectonismo del mismo se debe a un proceso polifásico de esfuerzos supracorticales, responsables de la configuración estructural actual. Definiendo cuatro etapas para la formación del mismo, una fase compresiva que produjo los plegamientos del flysch, otra segunda dominada por una distensión norte-sur con fuerte subsidencia, una tercera etapa compresiva más intensa la cual provocó la formación de los corrimientos y la formación de escamas frontales y por último una fase de tectonismo con un movimiento ligero de fallamiento normal e inverso.

DICKINSON & SUCZEK (1979) y DICKINSON et al. (1983), Proponen que la variedad de rocas componentes de la Formación Garrapata es debido a la fuente mixta del complejo de subducción levantado por la colisión al norte de lo que se denomina como "microcontinente Sebastopol" con el arco magmático y los frentes de corrimiento generados a finales del Maastrichtiense (modelo de NAVARRO et al. 1987, 1988), y que la redistribución de estos sedimentos hacia el NE marcan la fuente para la Formación Guárico.

GIRARD (1981), designó con el nombre de formación las hermanas, a un conjunto de rocas volcánicas y volcánico-clásticas que afloran al sur del grupo de villa de cura, al norte de la población de San Sebastián, el cual había sido asignado originalmente por SHAGAM (1960) y PIBURN (1967), como parte de la Formación Tiara que aflora más al norte y que es parte de la napa de Loma de Hierro.

BECK (1985,1986), ubica a la formación tiara dentro de la "napa de loma de hierro" y a la formación Dos Hermanas (sic) en la "napa de villa de cura", así mismo cartografía a esta formación a través de una faja casi ininterrumpida desde San Sebastián (Aragua) hasta las colonias en el parque nacional Guatopo.

OSTOS Y NAVARRO (1985), dicen que en la Faja de Villa de Cura se distinguen dos unidades tectono-estratigráficas: a) el Grupo Villa de Cura, interpretado como un complejo de subducción asociado a un proceso de convergencia con polaridad sur, dentro de un océano marginal y b) la Formación Volcánicas de Tiara (redefinida Formación La Hermana) que representa el Arco Volcánico derivado del proceso antes citado.

CORPOVEN, proyecto Frente de Montaña (1990), realizan un Mapa de Geología de Superficie (Zona Central) a escala 1:50.000.

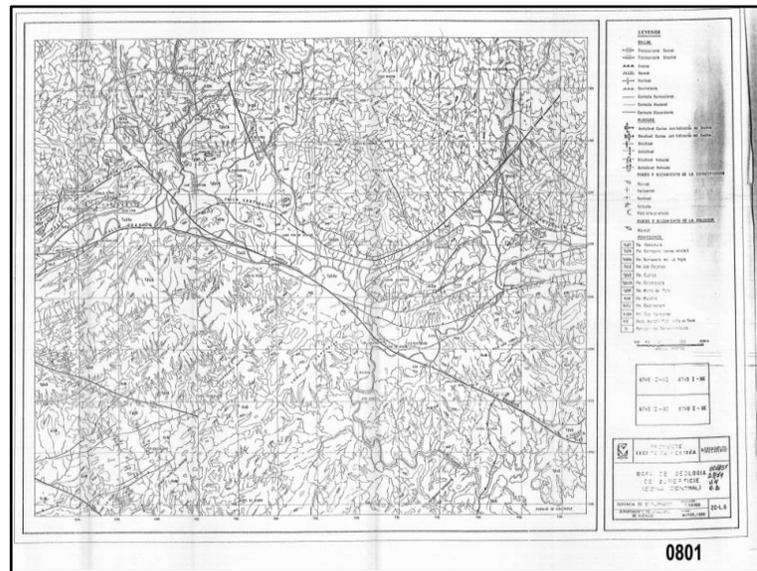


Fig 4. Mapa de Geología de Superficie (Zona Central).

URBANI, CHIRINOS & MARQUINA (1991), realizaron un estudio detallado en la Faja de Villa de Cura, en la región de Guatopo, describiendo detalladamente la litología del Grupo Villa de Cura, la Formación Las Hermanas y el Complejo de Apa. Establecen el grado de metamorfismo que alcanza cada una de estas unidades.

LOPEZ, R. y QUINTANA, B (1992), establecieron la metodología en el cálculo de reservas y definieron las áreas de explotación de la cantera Paso del Medio del municipio San Sebastián.

PINDELL et al. (1998), dice que la evolución tectónica de las cadenas montañosas, los sistemas estructurales de fallas y cuencas cenozoicas que se hallan en la zona limítrofe en dirección este-oeste de las placas caribeña y suramericana, desde Colombia hasta trinidad, fue controlada principalmente por la convergencia dextral oblicua entre las dos placas previamente mencionadas. La placa suramericana es la que se mueve relativamente hacia el oeste, puesto que la caribeña, de procedencia pacífica, se encuentra estacionaria anclada al manto, confinada entre las zonas de subducción centroamericana y de las Antillas menores y ha invadido el espacio entre norte y Suramérica. La reconstrucción tectónica evolutiva de la zona límite Caribe-Suramérica es críticamente dependiente de una restauración precisa de la geometría del noroeste Suramericano inmediatamente previa a la migración relativa del Caribe hacia el este.

BELLO C., ICHASO., A (1999), Realizaron un estudio Geológico y de factibilidad de material a ser utilizado como agregado grueso en la Hacienda El Cerro, Edo. Miranda.

GRANDE (2005), considera que La Cordillera de la Costa fue originada por una colisión rasante, en un régimen transpresivo, en la que el choque oblicuo de la placa del Caribe y del sistema arco-trinchera del arco de Grenada con el margen pasivo mesozoico del norte de Sudamérica provocó un complejo emplazamiento de bloques tectónicos de diferentes edades y orígenes, generando un vasto cinturón metamórfico de bajo grado, fuertemente deformado y muy caótico. El prisma de margen pasivo, alternado con

dislocaciones marginales transformantes, se depositó sobre un basamento muy complejo, con rocas de edades de precámbricas a paleozoicas.

ZAMBRANO, SÁNCHEZ, AVENDAÑO Y PARRA (2010-2011), establecieron un plan de explotación de Mina correspondiente a la Cantera “El Vegón”, donde los autores indican un plan de inversión en un período de tiempo para la extracción y procesamiento de roca caliza.

1.7 Metodología

Para la elaboración de éste proyecto se ejecutaron cuatro etapas básicas, las cuales han sido catalogadas como: compilatoria, de campo, de laboratorio y oficina. Esquema que sintetizan las diferentes etapas (Fig 5).

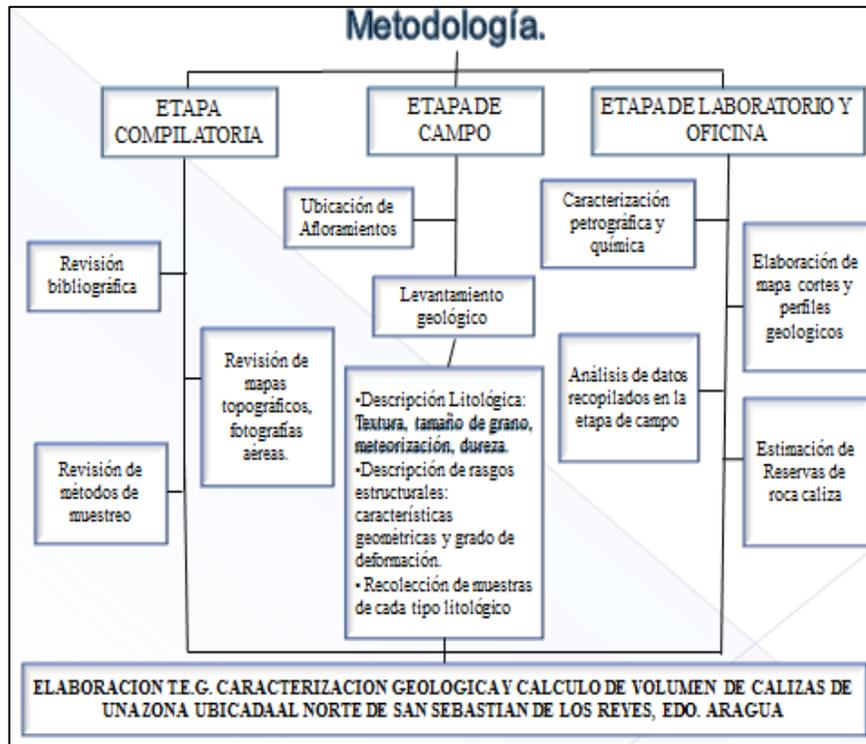


Fig 5. Esquema de metodología a utilizar.

1.7.1 Etapa compilatoria

En esta etapa se realizó una revisión y recopilación bibliográfica contenida en trabajos especiales de grado en el área de geología y minería, publicaciones de investigaciones realizadas y planes exploratorios y mineros; todos estos relativos a la geología regional de la zona de estudio, métodos de análisis de muestras para este tipo de trabajo y métodos de estimación de volumen de calizas. Se realizó la adquisición de los mapas topográficos y geológicos a escala 1:25000 y 1:5000, fotografías aéreas pertenecientes a la misión 030198 fotografías 1426, 1427, 1428 y 1429 de la zona de estudio, adquiridos en la biblioteca de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, el Instituto Geográfico Simón Bolívar y el mapa topográfico de la Cantera “El Chupadero” otorgado por la empresa FNC en escala 1:2500 actualizado en el mes de Mayo de 2012.

1.7.2 Etapa campo

La etapa de campo consistió en varias fases, las cuales se describen a continuación:

- Levantamiento geológico de la zona a través del estudio de los afloramientos encontrados en el morro de la cantera (Fig 6), de igual manera se llevó a cabo el levantamiento de las quebradas Hermana y Dos Hermanas (Fig 7).



Fig 6. Levantamiento Geológico del morro, se observa un afloramiento de Chert estratificados.

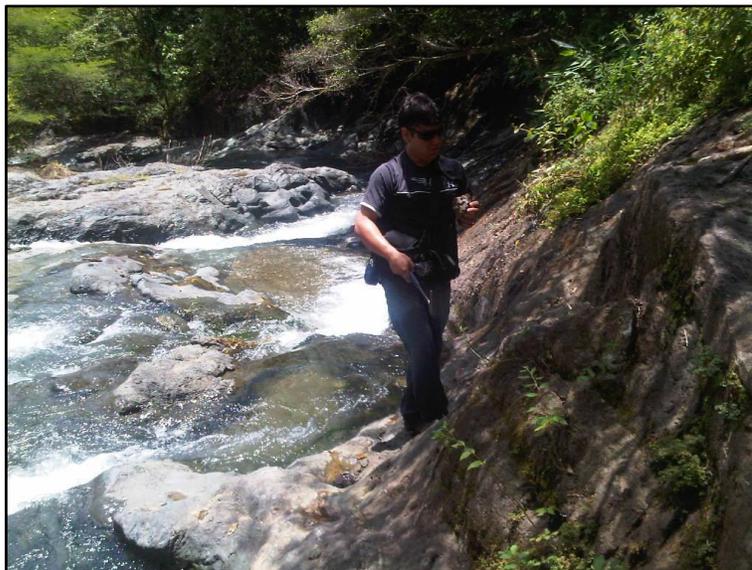


Fig 7. Levantamiento geológico de la Qda. La Hermana.

- Descripción geológica general en afloramientos a partir de los aspectos y características observables a simple vista (Fig 8), para el reconocimiento

de diferentes tipos litológicos y vaciar los mismos en la libreta de campo. La descripción macroscópica incluyó la identificación de texturas, composición mineralógica, tamaño de grano, presencia de fósiles y grado de meteorización. De igual manera se efectuó la descripción de rasgos estructurales presentes en la zona que fueron determinados por las características geométricas de las estructuras y su grado de deformación, así como la continuidad de estas deformaciones en dicha zona. La orientación de cada discontinuidad se midió a través del uso de una brújula geológica.



Fig 8. Afloramiento de chert, se observa un pliegue fallado en su limbo derecho. Locación qda Dos Hermanas.

- Recolección de 46 muestras de un tamaño promedio de 5x5cm en toda la zona, necesarias para la elaboración de estudios químicos y petrográficos.

- Toma de fotos de los distintos afloramientos y puntos de interés de la zona en estudio.
- Clasificación de las muestras recolectadas en campo. Las muestras que se colectaron se enumeraron de acuerdo a los siguientes criterios (Fig 9):

1.- Las primeras tres letras (en mayúscula) corresponde a la zona: "MEM", Muestra El Morro, "MDH", Muestra Dos Hermanas y "MLH", Muestra Las Hermanas

2.- El número siguiente a las primeras letras corresponde al número de la muestra, las cuales se enumeraron del 1 al #: "MEM 1" - "MEB #".

3.- El tercer símbolo ubicado debajo de estos dos criterios anteriores, corresponde al nivel o terraza donde se recolectó la muestra en el Morro:

"MEM 1"----- "MEM #"

M 180 ----- M 240



Fig 9. Clasificación de muestra recolectada en campo

1.7.3. Etapa de laboratorio

En ésta etapa se realizó, en primer lugar, el análisis químico y en segundo lugar el análisis petrográfico de las muestras colectadas en la etapa de campo, todo esto para caracterizar y determinar cuantitativamente el porcentaje de minerales contenidos en la roca, y luego vertical y poder cuantificar las reservas del yacimiento.

Los ensayos químicos se elaboraron en el laboratorio de la planta de la F.N.C. ubicada en Ocumare del Tuy siguiendo el manual de normas y procedimientos utilizados por esta empresa.

En primer lugar se procedió a realizar los ensayos físicos para obtener el tamaño adecuado de cada una de las muestras para ser sometidas posteriormente a los análisis correspondientes.

- Se tomó un trozo de muestra fresca de aproximadamente 5x5 cm y se introdujo en la trituradora de mandíbula G-SIST (Fig 10), con la se obtuvo un tamaño de grano de 5mm y aproximadamente 350g de los que se tomaron 200g y se colocaron en un pulverizador Bico Braun UA, para obtener un tamaño de grano no menor a 0,0625mm.

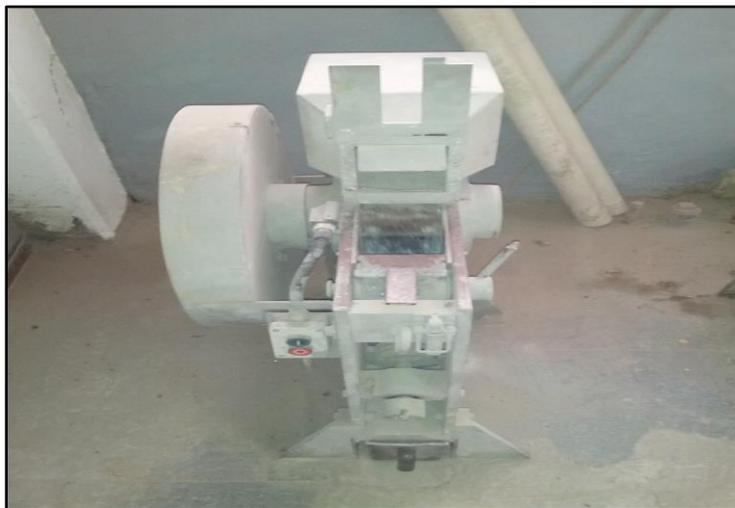


Fig 10. Tritrador de mandíbula G-SIST.

- Luego se tomaron 150 g de la muestra y se colocaron en un horno a 80° 100° por 30 minutos, con el propósito de extraer toda la humedad, para hacer más eficiente el próximo pulverizado.
- Se procedió a colocar la muestra en un equipo de molienda HERZOG (Fig 11), para obtener un tamaño de grano de 7,56 micras, usando morteros de carburo de Tungsteno de diámetro 17 x 4cm de profundidad con anillos y disco de 7x12x4cm. Para hacer este proceso de pulverización se utilizó la norma o código PO-OD-I-24 del manual de normas y procedimientos de F.N.C.



Fig 11. Equipo de molienda HERZOG.

- Se descontaminaron los equipos de molienda (discos y anillos), con un lavado con agua destilada para retirar las impurezas minerales y se secan en el horno a 100° por 5 minutos.

- Se colocan 20 gr de la muestra de roca pulverizada y seca, en los discos pulverizadores (Fig 12).
- Se añaden dos gotas de Trietanolamina a la muestra, para evitar que se adhiera a las paredes de los discos y anillos.
- Se muele durante 200 seg y se obtiene de esta manera un tamaño de muestra de 7,56micras.



Fig 12. Discos y anillos de molienda.

1.7.3.1. Análisis químicos

En esta etapa se realizaron tres tipos de análisis químicos para las muestras, el primero de ellos es la titulación de carbonatos (Fig 13), el segundo la fluorescencia de rayos X (Fig 14) y el tercero análisis de pérdida al fuego (Fig 17).

Los análisis por titulación se realizaron a todas las 37 muestras de roca caliza colectadas en el morro para determinar el porcentaje de carbonatos en cada una de ellas. Luego se seleccionaron de entre el universo de las muestras

que se les realizó el análisis de titulación 22 de ellas para realizarle el estudio de fluorescencia de rayos x y determinar el contenido de carbonatos totales presentes en cada una de ellas y también el contenido de magnesio, sílice, aluminio, hierro, calcio y minerales minoritarios. El método de selección de estas muestras radicó en tres criterios, el primero de ellos fue el alto porcentaje de carbonatos que arrojaron estas muestras en el análisis de titulación de carbonatos, el segundo por la ubicación de la muestra en el morro que está siendo estudiado, de esta forma se definieron unas muestras aleatoriamente al norte, al sur, al este y al oeste del morro, también en la zona central y por cotas en las cuales fue tomada la muestra con fines comparativos de los tenores en las distintas áreas de la zona en estudio; y el tercer criterio por los contactos presentes entre la caliza con otras litologías.

El tercer análisis corresponde al de pérdida al fuego, se realizó una vez obtenidos los resultados de fluorescencia de rayos x a las mismas muestras que se hizo referencia para este estudio. Este análisis químico fue realizado con el fin de verificar que los ensayos previos hayan sido efectivos y tener plena certeza de sus resultados.

a) Análisis por titulación

Para este análisis se estudió un conjunto de muestras tomadas en campo, en total de 37, cuyas características principales se observan en campo (color, dureza, reacción al HCl).

Según el manual de normas y procedimientos del laboratorio químico de la F.N.C. en su planta de Ocumare del Tuy código PO-OD-I-30 que lleva por título “determinación de carbonato de calcio en harinas y calizas” se debe realizar este análisis mediante el siguiente procedimiento:

1. Colocar en un envase, aproximadamente 10 g. de la muestra inicial y secarla en el horno por espacio de 10 minutos a una temperatura de 120 a 150°C.
2. Pesar 0,5000 g. de la muestra.

3. En un matraz cónico de 500 ml., completamente limpio, agregar la muestra previamente pesada.
4. Humedecer luego la muestra con un poco de agua destilada, limpiando con el agua las paredes interiores del matraz, donde han podido quedarse partículas de la muestra.
5. Añadir desde una bureta, 25 ml. de ácido clorhídrico (HCl) 0,50 N. Hay que verificar el enrase de la bureta antes de agregar el ácido.
6. Añadir tres gotas del indicador fenolftaleína.
7. Limpiar las paredes del matraz nuevamente con agua destilada y calentar la muestra sobre la plancha hasta ebullición. Agitar durante el calentamiento.
8. Enfriar inmediatamente con un baño de agua, hasta que el matraz alcance la temperatura ambiente.
9. - Se coloca en un mezclador magnético y se añade gota a gota hidróxido de sodio el cual es el reaccionante de la titulación.
10. Añadir el hidróxido de sodio (NaOH) 0,25 N, hasta que en la mezcla aparezca un tono rosado pálido.
11. Tomar la lectura de los mililitros (NaOH) 0,25 N, utilizados, y calcular:
(Fórmula y Tabla).



Fig 13. Equipos y materiales para ensayo de titulación.

b) Análisis por fluorescencia de rayos x

Se seleccionaron un total de 22 muestras de mano colectadas en campo, dicha selección se realizó en base a los resultados obtenidos en el análisis de titulación de carbonatos, cuyo método de selección se basó en tres criterios, el primero de ellos fue el alto porcentaje de carbonatos que arrojaron estas muestras en el análisis de titulación de carbonatos, el segundo por la ubicación de la muestra en el morro que está siendo estudiado, de esta forma se definieron unas muestras aleatoriamente al norte, al sur, al este y al oeste del morro, también en la zona central y por cotas en las cuales fue tomada la muestra con fines comparativos de los tenores en las distintas áreas de la zona en estudio; y el tercer criterio por los contactos presentes entre la caliza con otras litologías.

Estos ensayos químicos se elaboraron en la Planta de Ocumare del Tuy de FNC (Fábrica Nacional de Cementos), según el manual de normas y procedimientos del laboratorio químico de F.N.C. en su código PO-OD-I-24 de título "procedimiento para elaboración de pastillas para fluorescencia de rayos x", de la siguiente manera:

1. Tarar en la balanza un "Beaker" limpio y seco de 100 ml.
2. Pesar 1,00 g. de Cera "C" Micro-Molida, dentro del beaker.
3. Tarar nuevamente el "Beaker" con la cera.
4. Pesar 9,00 g. de la muestra de caliza pulverizada y seca.
5. Mezclar con una espátula la cera y la muestra hasta que este homogeneizada.
6. Colocar el material dentro del cilindro de la prensa Herzog (Fig. 14). Cerrar el brazo de prensado y apretar el tornillo. Presionar el botón de inicio para confeccionar la pastilla.
7. Para retirar la pastilla de la prensa, aflojar el tornillo y girar el brazo. Presionar nuevamente el botón de inicio para liberar la pastilla.

8. Tomar la pastilla por el borde, NO tocar la cara inferior, marcar la cara superior con la identificación correspondiente (Fig 15). La pastilla está lista para llevar al analizador.



Fig 14. Prensa Herzog para elaborar pastillas.



Fig 15. Numeración de pastilla para análisis de Rx.

Luego colocamos la pastilla prensada en el espectrómetro XRF MinipalRx PANalytical de sobremesa (Fig 16), el cual incluye la medida rápida de Al_2O_3 , SiO_2 , CaO (carbonatos totales), Fe_2O_3 y MgO_2 , controlado por microprocesador interno.



Fig 16. Espectrómetro XRF MinipalRx PANalytical.

c) Análisis de pérdida al fuego

Este análisis fue realizado a las 22 muestras que se les realizó el análisis por fluorescencia de rayos X según el manual de normas y procedimientos del laboratorio químico de F.N.C. en su código PO-OD-I-32 de título “determinación de la pérdida al fuego” para el material de calizas, de la siguiente forma:

1. Tomar un crisol de porcelana o de platino limpio, calentarlo en la plancha por encima de $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 15 minutos, para secarlo.
2. Dejar enfriar el crisol dentro del desecador por 15 minutos aproximadamente.

3. Pesar el crisol vacío (P0) en una balanza analítica (clase fina) con 4 decimales, medida en gramos.
4. Tarar el crisol vacío, la balanza indicará 0.0000 g.
5. Pesar 1,0000 g. de la muestra aproximadamente dentro del crisol (P1), expresando los 4 decimales.
6. Llevar el crisol con la muestra al horno a una temperatura de 1050°C, durante 30 minutos (Fig 18).
7. Retirar del horno el crisol más el calcinado, colocarlo en el desecador durante 15 minutos para enfriarlo.
8. Pesar el crisol más el calcinado (P2).
9. Calcular el % de pérdida al fuego con dos cifras significativas mediante la expresión:

$$\text{Pérdida al Fuego (\%)} = \frac{(P0 + P1 - P2) * 100}{P1}$$

10. Los resultados de Pérdida al Fuego (%), dependiendo del material, se reportan en los Registros PO-OD-R-01, PO-OD-R-13 , PO-OD-R-19 y PO-OD-R-31.



Fig 17. Preparación de muestra para análisis de pérdida al fuego.



Fig 18. Horno donde se llevan las muestras para quemar los carbonatos totales.

d) Caracterización Petrográfica

Consiste en la descripción de las secciones finas realizadas a las diferentes muestras recogidas en campo, utilizando un microscopio de luz polarizada y enfatizada en las siguientes características: composición mineralógica, fósiles, porosidad, cementación, disolución, reemplazo, textura, procesos diagenéticos o grados de metamorfismo, utilizando microscopio de luz polarizada. A través de este estudio clasificaremos la roca en la etapa de oficina.

1.7.4 Etapa de Oficina

Esta etapa corresponde a la etapa final de este trabajo y en esencia se procedió a:

- Se clasificaron las rocas obtenidas en campo, según Folk, Dunham

(1962) y Mount (1985) para rocas carbonáticas. Pettijohn, Potter y Siever (1972) para areniscas. Clasificación de rocas ígneas volcánicas y plutónicas, para Tobas y Cenizas según Schmidt (1981), así mismo se utilizó el criterio de clasificación de Baamonde (modificado de BOGGS, 1992) para clasificar el conglomerado y por ultimo para la clasificación de Brechas se utilizó un criterio basado en la descripción de los afloramientos en campo y petrográficamente la composición mineralógica, grado de angularidad y disposición de los granos en la muestra observada en microscopio.

- Elaboración de cortes geológicos y mapa geológico con los aspectos Estructurales y litológicos compilados en la etapa de campo y con los datos obtenidos en la etapa de laboratorio con la ayuda del software Autocad y CorelDraw, las cuales son herramientas muy útiles para la elaboración de los mismos.

- Se generaron tablas, cuadros y figuras utilizando el programa Excel, las cuales permitieron manejar la información obtenida durante el desarrollo de éste trabajo. (Puntos de GPS para delimitar el área de estudio, descripción de secciones finas, resultados de los ensayos químicos y tabla de estimación de volumen de material).

- Se realizaron los análisis de todos los ensayos realizados en la etapa de laboratorio con el fin de obtener suficiente información, para generar así conclusiones pertinentes a esta investigación.

- Estimación del volumen existente en el yacimiento por medio del método de los perfiles, estimando así las dimensiones de la zona de importancia para explotación de la empresa F.N.C.

CAPÍTULO II

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Levantamiento geológico de rocas sedimentaria

2.1.2 Análisis por titulación

En el análisis volumétrico la cantidad de sustancia que se busca se determina de forma indirecta midiendo el volumen de una disolución de concentración conocida, que se necesita para que reaccione con el constituyente que se analiza o con otra sustancia química equivalente. El proceso de adición de un volumen medido de la disolución de concentración conocida para que reaccione con el constituyente buscado, se denomina valoración. La disolución de concentración conocida es una solución patrón, que puede prepararse de forma directa o por normalización mediante reacción con un patrón primario. La titulación se lleva a cabo añadiendo lentamente, de una bureta, una solución patrón a la solución con el analito hasta que la reacción sea completa. El volumen de reactivo requerido para completar la titulación se determina por diferencia entre las lecturas inicial y final en la bureta. En una titulación, el punto de equivalencia se alcanza cuando la cantidad de titulante agregado es químicamente equivalente a la cantidad de analito presente en la muestra. Algunas veces es necesario añadir un exceso de solución patrón y después valorar el exceso, por retrotitulación, con un segundo reactivo patrón. En este caso, el punto de equivalencia corresponde al punto en que la cantidad de titulante inicial es químicamente equivalente a la cantidad de analito más la cantidad de titulante añadido en la retrotitulación. La titulación es el proceso de determinación de la cantidad de una solución de concentración conocida que se requiere para reaccionar completamente con cierta cantidad de una muestra que

se está analizando. A la muestra que se está analizando se le llama problema. A los procedimientos analíticos basados en una titulación con soluciones de concentración conocida se le llama análisis volumétrico. En el análisis de soluciones ácidas y básicas, la titulación implica la medición cuidadosa de los volúmenes de ácido y base que se neutralizan entre sí. Supóngase que tenemos una solución de ácido clorhídrico cuya concentración deseamos determinar, y que contamos en el laboratorio con una solución normal de una base con una concentración 1.2 N. La titulación se efectúa como sigue. En dos buretas separadas se ponen porciones de las dos soluciones, y en vaso se mide una cantidad conveniente del ácido, digamos 15 ml, usando la respectiva bureta. Alternativamente, se puede tomar del vaso una cantidad conocida del ácido usando una pipeta calibrada, con una pera de succión. Al ácido se le añade un indicador, tornasol o fenolftaleína, y el matraz se coloca debajo de la bureta con base. La base se va añadiendo al vaso, rápidamente al principio, más lentamente después, y gota a gota en la última etapa, hasta que una última gota cause el vire del indicador. Este cambio de color es la señal que indica el punto final de la titulación. Al llegar a este punto se ha añadido una cantidad de base que es equivalente en reactividad química a la cantidad de ácido en los 15 ml de la solución desconocida. Se toma nota de la nueva lectura en la reacción (ácido+base) y se realizan los cálculos pertinentes para saber el porcentaje de ácido presente en la reacción. (Manual de aseguramiento de calidad ISO-9000 F.N.C. (2001)).

2.1.3 Análisis de pérdida al fuego

La pérdida por calcinación (pérdida por ignición) de los materiales y en específico la caliza se determina por el calentamiento de una muestra de caliza

con masa conocida a una temperatura de 900°C a 1000°C, hasta que se obtenga la constancia de masa. Se determina entonces la pérdida de masa de la muestra y se arroja en porcentaje el resultado de la pérdida de masa que tuvo el elemento como consecuencia de la quema del CO₂ existente en el mismo. (Manual de aseguramiento de calidad ISO-9000 F.N.C. (2001)).

2.1.4 Fundamentos de rayos x

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas de una corta longitud de onda y alta frecuencia, producida por la desaceleración de electrones de alta energía y/o por transiciones de electrones que se encuentran en los orbitales internos de los átomos (SCKOOG et al., 1992).

Este tipo de radiación ocupa sólo una parte del espectro electromagnético y sus longitudes de onda varían entre 10 nm y 0,01 nm (1nm o nanómetro equivale a 10⁻⁹m). (Grande, (2005)).

Propósito:

- Identificación de elementos químicos presentes en una muestra.
- Cuantificación de elementos según los patrones disponibles.
- Apoyo a la identificación de fases por difracción de rayos-X.
- Apoyo a estudios petrogenéticos.

Según Camposano & Martínez (2000), los métodos de análisis que emplean rayos X son: Absorción, Difracción y Fluorescencia. Los métodos analíticos empleados en este trabajo es el de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía (FRX-DE).

2.1.4.1 Fluorescencia de rayos X por dispersión de energía

Es una técnica de muestreo versátil, rápida y no destructiva (en algunos casos en los que la penetración de los rayos X no fuera suficiente se requerirían cortes o pulidos, dependiendo también de la uniformidad de la muestra) relativamente nueva, que reconoce un gran número de elementos químicos (no compuestos químicos) y se presentan los resultados en tiempo real, permitiendo decidir la necesidad de muestreo adicional ante resultados analíticos no concluyentes. Logra alcanzar unos límites de detección de hasta 0.002% (20 ppm) (Camposano y Martínez, (2000)).

La técnica EDXRF utiliza la emisión secundaria o fluorescente de radiación X que se genera al excitar una muestra con una fuente emisora de rayos X. La radiación X incidente o primaria expulsa electrones de capas interiores del átomo. Entonces, los electrones de capas más externas ocupan los lugares vacantes, y el exceso energético resultante de esta transición se disipa en forma de fotones: la llamada radiación X fluorescente o secundaria. (Camposano y Martínez, (2000)).

Esta radiación de fluorescencia es característica para cada elemento químico. Por lo tanto, es posible identificar un elemento dentro del espectro de la muestra si se conoce la energía entre los orbitales atómicos implicados (longitud de onda). La concentración de cada elemento se detecta midiendo la intensidad de la energía asociada a cada transición de electrones. Es decir, la salida de un análisis EDXRF es un espectro que muestra la intensidad de radiación en función de la energía. (Camposano y Martínez, (2000)).

Esta técnica analítica es muy versátil y permite analizar más de 80 elementos, detectando concentraciones desde 100% hasta de unas pocas partes por millón (ppm) y además ésta es la técnica más usada en la determinación de elementos mayoritarios y traza en muestras de rocas, por ser un método rápido que puede llevar a cabo una gran cantidad de mediciones precisas, utilizando un espacio de tiempo relativamente corto (Corniel, 2010).

2.1.5 Petrografía Microscópica

La observación microscópica de secciones delgadas de rocas es un instrumento muchas veces decisivo en petrografía. Únicamente cuando la roca sea de grano muy grueso y de composición mineralógica variable, este tipo de observación será incompleta.

En petrografía, el fin del examen microscópico de una roca es la determinación precisa de sus minerales constituyentes y de su estructura, es decir, la manera como estos elementos están asociados. Este examen necesita la apreciación de una serie de caracteres visibles, unos con luz ordinaria o natural, y otras con la ayuda de luz polarizada.

Los cuerpos transparentes, en los cuales puede propagarse la luz, se dividen en:

- **Cuerpos isótropos o monorrefringentes**, en los cuales la luz se propaga con una velocidad independiente de la dirección. En ellos el índice de refracción es igual en todas las direcciones. Pertenecen a este grupo los minerales amorfos y los cristalizados en el sistema regular.

- **Cuerpos anisótropos o birrefringentes**, en los cuales la velocidad de la luz es función de su dirección de propagación y en ellos el índice de refracción varía según la dirección. Son birrefringentes los minerales cristalinos de todos los sistemas de cristalización, excepto los del sistema regular (Guía Interactiva de Minerales y Rocas de la E.T.S.I. de Montes-UPM (2012)).

En petrografía microscópica se emplea el microscopio petrográfico polarizante cuyas características más importantes son el poseer una lente denominada polarizador, entre la fuente luminosa y la preparación, que permite realizar observaciones con luz polarizada; tener una platina giratoria con limbo graduado que permite girar la preparación y medir los ángulos que ésta va tomando; y tener intercalada en el tubo, entre el objetivo y el ocular, otra lente denominada analizador que tiene un plano de polarización perpendicular al del polarizador, y que puede interponerse, o no, a voluntad. (Guía Interactiva de Minerales y Rocas de la E.T.S.I. de Montes-UPM (2012)).

2.1.6 Rocas Carbonáticas

Las rocas carbonáticas son rocas sedimentarias, pertenecen al grupo de rocas no clásticas, están compuestas predominantemente por minerales de calcita, aragonito y dolomita. Los materiales que las forman se encuentran cerca del sitio de depositación y se originan principalmente en el medio marino por procesos biológicos, y en el caso de la dolomita durante los procesos diagenéticos. Las rocas carbonáticas junto a las clásticas representan un 95% de la columna sedimentaria. Méndez (2009).

Folk (1962) separa los componentes de las rocas carbonáticas en 2 grupos principales: aloquímicos y los Ortoquímicos (micrita o lodo carbonático y cemento calcítico esparítico).

Méndez por otra parte (2009) separa los constituyentes de los carbonatos en cuatro grupos: granos no esquelatales, granos esquelatales, cemento y micrita. Los dos primeros pertenecen al grupo de los aloquímicos y los dos últimos al grupo de los ortoquímicos definidos por Folk (1962).

- **Aloquímicos:** Se refiere a agregados organizados de sedimentos o rocas carbonáticas que se forman en la cuenca, (Folk 1962) En este grupo se encuentran:

a) Intraclastos: Clastos que se forman dentro de la cuenca que han sido transportados, retrabajados y redepositados dentro de la misma cuenca. Se incluyen en este grupo los fragmentos de rocas tamaño arena. Folk (1962).

b) Oolitas: Son estructuras de composición carbonática, de forma elipsoide o esféricas laminadas alrededor de un núcleo que puede ser de granos carbonáticos, cuarzo, fragmentos fósiles, entre otros; los tamaños pueden variar de >1mm hasta <2mm. Méndez (2009)

c) "Pellets": Son cuerpos redondeados o de forma elíptica compuestos por lodo carbonático o micrita con estructura interna indefinida, generalmente se forman por restos fecales. Los tamaños están entre 0,03mm hasta 0,15mm aproximadamente. Folk (1962).

d) Partículas esquelatales o Bioclastos: fragmentos de organismos segregadores de carbonatos. Poseen estructura dura y mantienen una forma

reconocible, en este grupo entran las conchas, macrofósiles y microfósiles, partes esqueléticas, etc. Méndez (2009).

e) Extraclastos: Clastos que se originan fuera de la cuenca, tienen diversos tamaños pero que no poseen composición carbonática. Pueden ser granos de cuarzo, feldspatos, fragmentos de rocas, etc. Méndez (2009) los define como fragmentos de caliza o minerales ajenos a la sedimentación de la cuenca y transportados a ésta desde las áreas cercanas.

- **Ortoquímicos:** son aquellos sedimentos que sirven de rellenos entre los espacios o precipitan directamente con una composición carbonática. De acuerdo a su tamaño.

Folk (1962) reconoce dos tipos principales:

a) Calcita microcristalina o micrita: También llamada matriz o lodo carbonático debido a su tamaño muy pequeño. Los granos poseen un diámetro de 1 a 4 micras.

b) Cemento calcita esparítico: o cemento carbonático, son cristales que suelen tener un tamaño mayor a las 10 micras.

Se manejan tres sistemas de clasificación principales para las rocas carbonáticas, a continuación se describirán brevemente cada uno de ellos:

1) Clasificación Textural en rocas carbonáticas según Folk (1962)

Folk propone un sistema de clasificación de calizas de acuerdo a los tipos texturales y constituyentes principales (Fig 19). El autor define tres (3) componentes de los que parte la subdivisión de los tipos de calizas: a) Agregados carbonáticos o aloquímicos: son las partículas o granos carbonáticos, el autor

considera cuatro tipos de aloquímicos importantes en las calizas; Intraclastos: se describen como fragmentos penecontemporáneos, consolidados en los sedimentos carbonáticos que pueden ser re TRABAJADOS de partes esqueléticas y redepositados formando el nuevo sedimento, se producen por la erosión de capas sedimentarias, cuentan con variedades de tamaños y suelen estar redondeados; Oolitas; Fósiles y "Pellets". b) Calcita microcristalina o micrita: formada por granos con tamaños entre 1 y 4 micras de diámetro. Se produce por la abrasión de esqueletos. c) Calcita espática o cemento: formada por cristales de granos de 10 micras de diámetro en adelante, se distingue de la calcita microcristalina porque los cristales son claramente visibles. Su origen puede ser por precipitación química directamente en la roca, aunque muchas veces también ocurre por recristalización de la micrita.

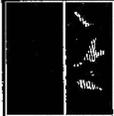
	Más de 2/3 partes con matriz de micrita				Similar en micrita y esparita	Más de 2/3 partes con esparita		
Aloquímicos %	0 - 1 %	1 - 10 %	10 - 50 %	Más de 50 %		Escogimiento pobre	Escogimiento bueno	Redondeado y re TRABAJADO
Términos de Rocas	Micrita y Dismicrita	Micrita fosilífera	Biomícrita esparcida	Biomícrita agrupada	Bioesparita mal lavada	Bioesparita no escogida	Bioesparita escogida redondeada	
								
Terminología	Micrita Dismicrita		Micrita Fosilífera		Biomícrita		Bioesparita	
Análogos Terrígenos	Lutita o Arcillita		Arcillita arenosa	Arenisca inmadura o arcillosa		Arenisca submadura	Arenisca madura	Arenisca supermadura

Fig 19. Clasificación textural de rocas carbonáticas propuesta por Folk (1962). Tomado y modificado de Méndez, 2009.

2) Clasificación textural de Dunham (1962)

Distingue dos tipos generales de carbonatos (rocas y sedimentos carbonáticos) (1) los que presentan **textura deposicional reconocible**, y (2) los

que presentan **textura cristalina**, no siendo posible reconocer la textura deposicional (Fig 20).

Textura deposicional reconocible					Textura deposicional no reconocible
Componentes originales no enlazados durante la deposición			Sin lodo soportada por granos	Componentes originales enlazados en la deposición: intercrecimiento de materia esquelética, laminación contraria a la gravedad, organismos incrustantes y aglutinantes, sedimentos rellenando cavidades de origen orgánico, etc.	
Contienen lodo (arcilla y limo fino de carbonato)		Soportada por granos			Grainstone
Soportada por lodo					
Granos: <10%	Granos: >10%				
Mudstone	Wackestone	Packstone			

Fig 20. Clasificación textural de rocas carbonáticas puestas por Dunham (1962). Tomado y modificado de Méndez, 2009.

3) Clasificación de Rocas Carbonáticas de Mezcla según Mount (1985)

Los carbonatos de mezcla son también denominadas Rocas Híbridas. Se le atribuye este término a aquellas rocas carbonáticas que dentro de su composición tienen más de un 10% de sedimentos clásticos (Mount 1985).

Mount (1985) propone un sistema de clasificación donde unifica los aspectos texturales con la composición de la roca. Los sedimentos mixtos consisten principalmente de cuatro componentes: arenas siliciclásticas, lodo siliciclástico, arenas carbonáticas y lodo carbonático. Los cuatro componentes definen los miembros finales del sistema de clasificación tetrahedral. Es necesario, cuando hacemos subdivisiones basados en textura y composición desarrollar definiciones precisas de cada uno de los componentes, ya que la literatura

describe contenidos variables de sedimentos mixtos, antiguos y modernos, usados en estos términos.

Para ello elabora un sistema tetrahedral (Fig 21) donde en cada vértice se especifica cada uno de los aspectos a evaluar:

- *Arenas*: Son considerados aquellos granos de cuarzos, feldspatos, otros silicatos y minerales pesados que estén en el rango de 0.0625 a 2mm en diámetro.
- *Lodo*: Describe sedimentos de siliciclastos cuyo diámetro es menor a 0.0625mm y generalmente están conformados por mezclas de sílice y arcillas.
- *Aloquímicos*: Son partículas carbonáticas detríticas con tamaños de hasta 20 micras, intracuenca que han sido transportadas u organizadas en forma de agregados. Comúnmente incluyen ooides, intraclastos, bioclastos y peloides.
- *Micrita*: Denominada lodo limoso con granos usualmente no mayores a 1-4 micras de diámetro. Sin embargo procesos posteriores de neomorfismo pueden actuar agrandando los cristales considerablemente.

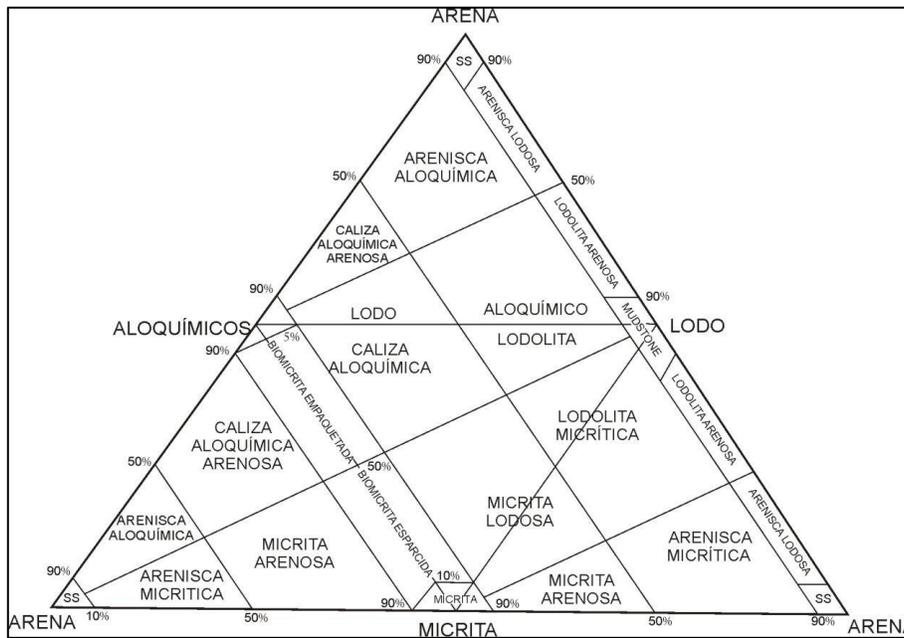


Fig 21. Sistema tetrahedral de clasificación de carbonato de mezcla. Tomado y modificado de Mount (1985).

A partir de allí realiza se genera un diagrama de representación binaria con respuestas positivas y negativas a las preguntas basadas en los aspectos anteriormente mencionados (Fig 22). El nombre de la roca está dado por los 2 o 3 componentes mayoritarios.

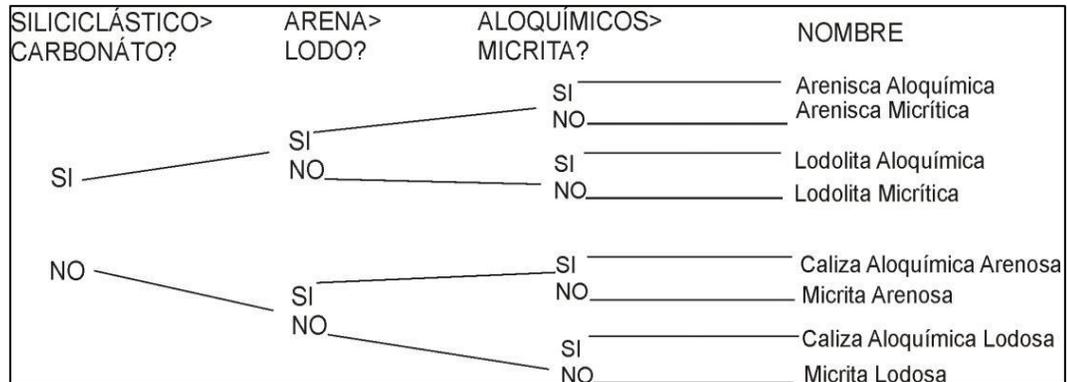


Fig 22. Diagrama de representación binario. Tomado y modificado de Mount (1985).

Posteriormente Mount (1985) relaciona los ambientes de plataforma con 4 procesos de depositación de rocas de mezcla, en donde explica que los sedimentos antiguos y recientes se unen mediante los mismos procesos de sedimentación. Estos procesos son agrupados en 4 categorías:

a) *Mezcla Puntual*: Tienen lugar eventos de sedimentación catastrófica, a) Evento de tormenta, donde ocurre una transferencia esporádica de sedimentos a lo largo de una facies a otra. Se transportan siliciclastos desde aguas profundas dominadas por carbonatos y b) La periodicidad de las mezclas genera que la influencia de siliciclastos sea poco común.

Este tipo de mezcla es poco común en sedimentos modernos, debido a los procesos de tormenta y dificultades en la observación, la erosión es la responsable de la presencia de los bioclastos y las arenas de cuarzo arrastrados en las tormentas. El ambiente donde se presenta es subatual, permitiendo el

predominio del lodo carbonático. Mount clasifica bimodalmente los fragmentos flotantes de esqueletos en lodo terrígenos (Fig 23).

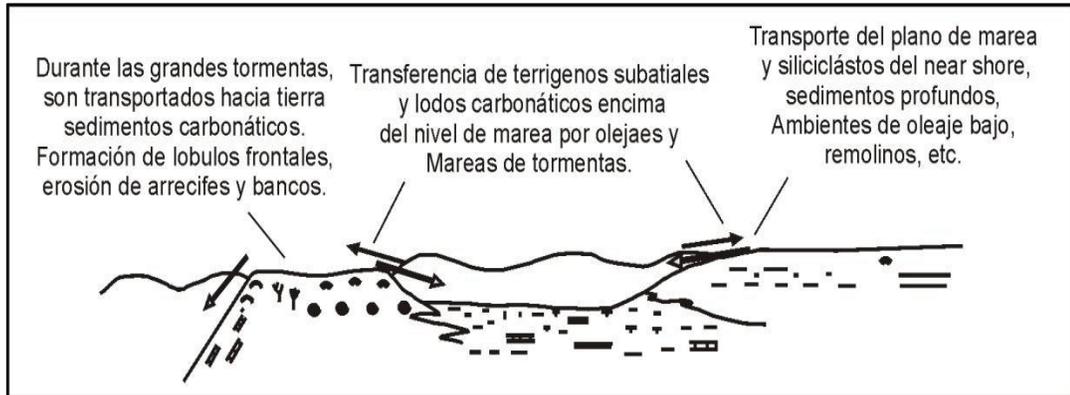


Fig 23. Zona donde ocurre la mezcla puntual. Tomado y modificado de Mount (1985).

b) *Mezcla de Facies*: Los sedimentos mixtos encuentran su forma en una gradación lateral entre las facies carbonato-siliciclástico. Los contactos estratigráficos entre estas litofacies son definidos y los contactos gradacionales pueden ocurrir en 2 facetas de depositación de plataforma: la primera es la Facies de Cambio, donde ocurre una alteración en las condiciones depositacionales en la plataforma y rápida migración del medioambiente por erosión. La segunda es la Facies de Transición Lateral del medio ambiente de carbonato-siliciclástico puede ocurrir de forma abrupta preservando los sedimentos mixtos. El ambiente abarca desde antes del arrecife hasta las extensiones del arrecife, existe una contribución eólica y la formación de dunas (Fig 24).

c) *Mezcla "In situ"*: Aquí los fósiles son incorporados a la mezcla por organismos de madriguera y corrientes oceánicas débiles. En la plataforma siliciclástica los sedimentos carbonáticos pueden ser autóctonos o parautóctonos. Las corrientes fuertes segregan el lodo carbonático proveniente del retrabajo de los esqueletos. Las algas contribuyen a la mezcla "in situ"

produciendo calcio. El material clástico se agrega por ambiente subatual poco profundo e intersticial. La precipitación inorgánica de cemento carbonático y litificación parcial de sedimentos intersticiales y subatales generan la formación local de sedimentos mixtos. Los ambientes en mezcla “in situ” pueden ser tanto subatales como terrígenos dominados por lodo (Fig 25).

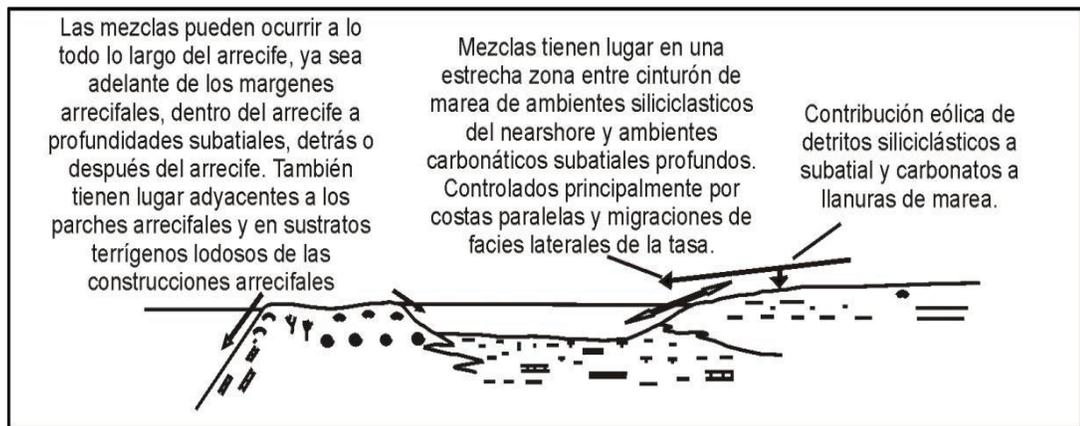


Fig 24. Zona donde ocurre la mezcla de facies. Tomado y modificado de Mount (1985).

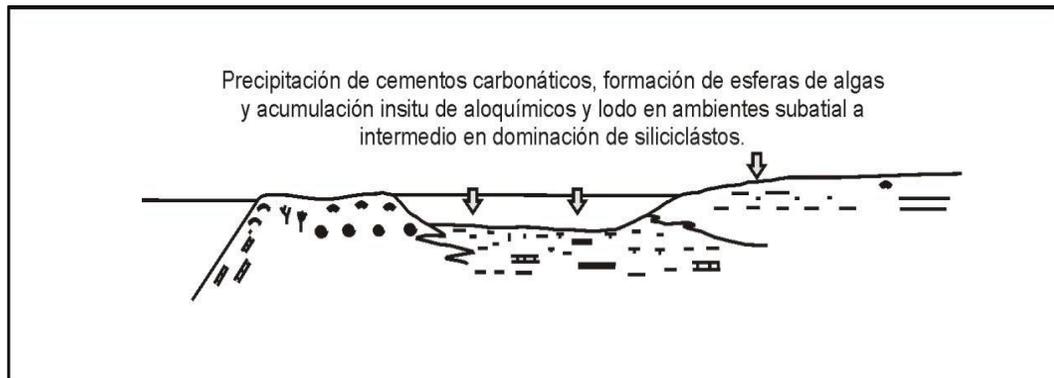


Fig 25. Zona donde ocurre la mezcla “in situ”. Tomado y modificado de Mount (1985).

d) *Mezcla a partir de la Fuente*: El material clástico mixto puede ser derivado de tectónica activa reciente, terrenos que contengan basamento metamórfico, areniscas cuarzosas y calizas marinas poco profundas. En las

fuentes mixtas los carbonatos no reflejan las condiciones paleoecológicas de la plataforma. La energía hidráulica actúa en la clasificación y abrasión de los clastos carbonáticos.

Por último Jeffrey Mount relaciona los carbonatos modernos ubicados entre el Ecuador y Latitud 60° a tres zonas de acuerdo al contenido fósil de las mismas:

a) Chlorozoan: Constituida por algas verdes y corales. Agua de moderada salinidad y altas temperaturas.

b) Chloralgal: Formada por algas verdes y ambiente de alta salinidad y alta temperatura.

c) Foramol: Zona que contiene foraminíferos y moluscos con un amplio rango de temperatura y salinidad.

2.1.7 Clasificación de areniscas

Un punto crítico en la elaboración del sistema de clasificación para las areniscas, es la elección de los criterios que serán empleados para construirlo. Para este tipo de rocas, un grupo relativamente grande de parámetros ha sido empleado por distintos autores para proponer diferentes planteamientos. En este sentido, han sido propuestas más de 50 clasificaciones de areniscas sobre la base de la composición de clastos, el porcentaje de cemento, la composición y porcentaje de cemento, el grado de alteración, las estructuras sedimentarias, entre otras Krynine (1948). Es importante destacar que en ningún caso todos estos parámetros fueron empleados en forma conjunta Scasso y Limarino (1997). En la práctica, dos aspectos de las areniscas han demostrado ser los más útiles para la clasificación Pettijohn (1975); Pettijohn et al. (1987); Boggs (1992):

- La composición de clastos: es empleada como un indicador de procedencia, y aunque su significado parece obvio, es necesario subrayar que la composición química no solo depende del área de la fuente. Sustanciales modificaciones en la composición, con eliminación selectiva de determinados componentes, pueden alcanzarse luego de un prolongado transporte. Estos cambios pueden deberse, por ejemplo, al efecto de determinados mecanismos de sedimentación y erosión.

- El porcentaje de matriz: este ha sido considerado en varias clasificaciones como un indicador de fluidez de las corrientes que depositaron las areniscas. Así, las areniscas que muestran bajos porcentajes de matriz son interpretadas como formadas a partir de corrientes altamente fluidas, mientras que aquellas con porcentajes significativos de material intersticial, reflejarían la existencia de corrientes altamente viscosas.

Tomando en cuenta estos dos aspectos, muchos autores han propuesto formas particulares de clasificación, de los cuales haremos énfasis específicamente en la clasificación según Pettijohn et al. (1987) que será la utilizada en esta investigación (Fig 26).

2.1.8 Clasificación de rocas piroclásticas (Tobas y Cenizas)

Cuando se dispone de la composición química, las rocas piroclásticas deben ser clasificadas de la misma manera que cualquier roca volcánica (clasificación TAS), pero ellas pueden contener impurezas significativas y sólo cuando el material extraño es mínimo puede aplicarse con confianza el nombre. Las rocas piroclásticas comúnmente se clasifican sobre del tipo de material fragmentado (colectivamente llamado piroclástico) o utilizando el tamaño de los fragmentos (que se agrega al nombre químico o modal). Si el volumen

porcentual de vidrio y fragmentos de cristales y rocas es determinado, se utiliza para la clasificación el diagrama triangular (Fig 27).

2.1.9 Geología Económica

Esta rama de la Geología se encarga del estudio de las rocas con el fin de encontrar depósitos minerales que puedan ser explotados con un beneficio práctico o económico. El geólogo económico se encarga de hacer todos los estudios necesarios para poder encontrar las rocas o minerales que puedan ser potencialmente explotados. La explotación de estos recursos se conoce como minería.

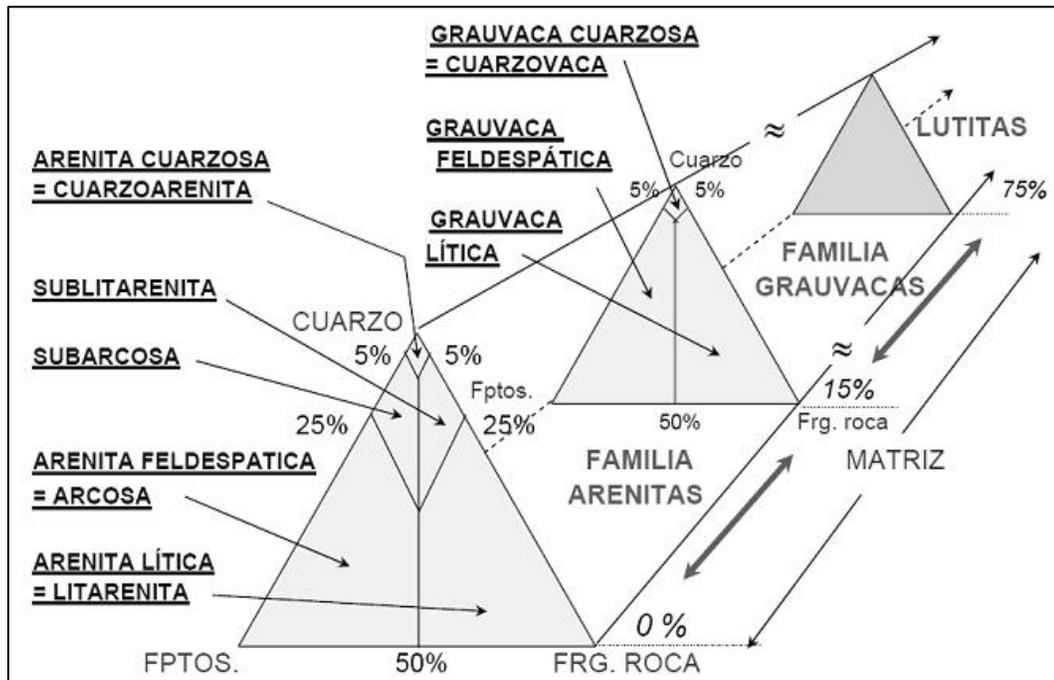


Fig 26. Clasificación de areniscas según Pettijohn (1987). Tomado y modificado de Méndez, 2009.

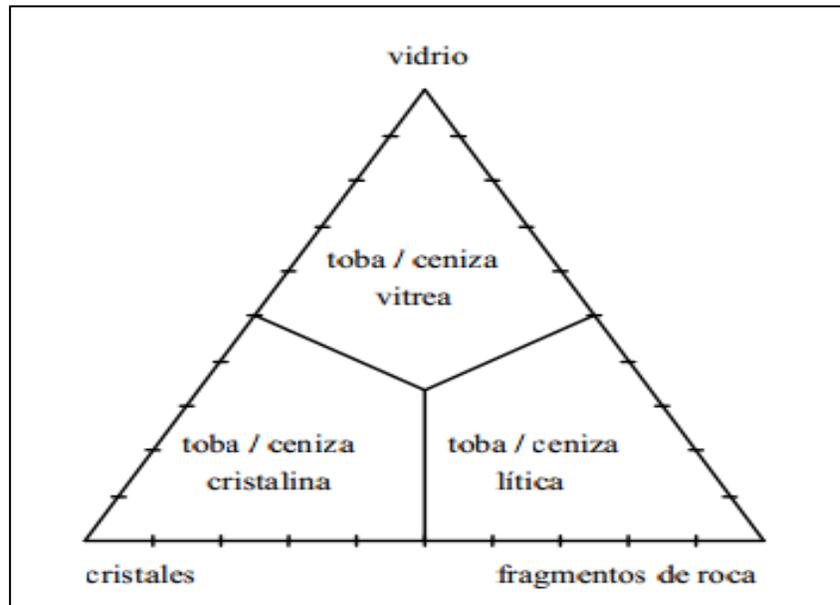


Fig 27. Clasificación de Tobas y Cenizas (Schmidt 1981).

2.1.9.1 Caracterización de macizos rocosos con interés económico

Es la actividad que se realiza durante todas las etapas del desarrollo del proyecto, desde la planificación inicial del mismo, hasta el desarrollo de la infraestructura de explotación del macizo, e incluso durante la actividad misma de explotación. Esta actividad consiste en la descripción y análisis de características observadas del macizo, también consiste en mediciones y ensayos que permiten adquirir parámetros cuantitativos útiles con el fin de mejorar la actividad de explotación.

Entre las fases que se requieren para caracterizar un macizo, la primordial es la caracterización geológica, pues esta establece las bases de las propiedades del macizo, sus tendencias y su distribución. De esta fase se desprende los análisis y planificación para el desarrollo de la actividad de explotación. Además la caracterización geológica es la herramienta indispensable para la planificación de las prospecciones geofísicas, las cuales,

según GONZÁLEZ V (2002) determinan el nivel final de perforaciones exploratorias, medidas y ensayos geotécnicos.

2.1.9.2 Tipos de macizos rocosos blandos

Según GONZÁLEZ (2002) estos se clasifican en:

- Fresco: de grado I; en este tipo de macizo no se aprecia meteorización, donde solo llega a existir una leve degradación o cambio muy tenue de la coloración en los planos de debilidad o discontinuidades del macizo.
- Levemente meteorizado: de grado II; en donde la meteorización se evidencia como el cambio de color del macizo y entre planos de debilidad. También este grado, puede presentar debilidad de la roca, en comparación con la roca fresca.
- Medianamente meteorizado: de grado III; En este grado de meteorización menos de la mitad de la roca se encuentra descompuesta o desintegrada, puede presentar decoloración tanto en la roca como en los planos de debilidad.
- Altamente Meteorizado: de grado IV; El macizo alcanza este nivel una vez que el mismo se ha desintegrado en gran medida, a tal punto que más de la mitad del macizo se encuentra descompuesto y desintegrado al suelo.
- Completamente Meteorizado: de grado V; Este es el grado de metamorfismo más alto que se puede alcanzar sin que haya cambio en la estructura del macizo, aunque la roca se encuentra sumamente meteorizada.
- Suelo residual: de grado VI; todo el macizo ha sido afectado por la meteorización, a tal punto que ha perdido la textura e incluso la estructura del mismo. Todo el material ha sido descompuesto y desintegrado al suelo, aunque este no ha sido erosionado.

2.1.9.3 Minas a Cielo Abierto

Son minas de superficie que adoptan la forma de grandes fosas en terraza cada vez más profundas y anchas. Los ejemplos clásicos de minas a cielo abierto son las minas de diamantes de Suráfrica, en las que se explotan las chimeneas de kimberlita, depósitos de mineral en forma cilíndrica que ascienden por la corteza terrestre. A menudo tienen una forma más o menos circular (Fig 28).

La extracción empieza con la perforación y voladura de la roca. El material extraído, clasificado como mineral se transporta a la planta de recuperación, mientras que el clasificado como estéril se vierte en zonas asignadas para ello. A veces existe una tercera categoría de material de baja calidad que puede almacenarse por si en el futuro pudiera ser rentable su aprovechamiento. (Bustillos y López (1997)).



Fig 28 Ejemplo de Minería a Cielo Abierto. Mina de Chuquicamata, Chile.

2.1.9.4 Método de Canteras

Las canteras son bastante similares a las minas a cielo abierto, y el equipo empleado es el mismo (Fig 29). La diferencia es que los materiales extraídos suelen ser minerales industriales y materiales de construcción. En general, casi todo el material que se obtiene de la cantera se transforma en algún producto, por lo que hay bastante menos material de desecho. A su vez, esto significa que al final de la vida útil de la cantera queda una gran excavación. (Instituto Geo-Minero de España (1995)).

No obstante, debido a los bajos precios que suelen tener los productos de la mayoría de las canteras, éstas tienen que estar situadas relativamente cerca de los mercados. Si no fuera así, los gastos de transporte podrían hacer que la cantera no fuera rentable. Por esta razón, muchas se encuentran cerca de aglomeraciones urbanas. (Instituto Geo-Minero de España (1995)).

También supone que las cavidades creadas por muchas canteras adquieren un cierto valor como vertederos de residuos urbanos. En las cercanías de las grandes ciudades, puede ser que la excavación creada por la cantera tenga un valor superior al del material extraído. (Instituto Geo-Minero de España (1995)).

Las canteras pueden subdividirse en dos grandes grupos:

- Aquellas donde se desea obtener un todo-uno fragmentado apto para alimentar a las plantas de tratamiento y obtener un producto destinado a la construcción en forma de áridos, a la fabricación de cementos, etc.
- Aquellas dedicadas a la explotación cuidadosa de grandes bloques paralelepípedicos, que posteriormente se cortan y elaboran. Estas últimas canteras se caracterizan por el gran número de bancos que se abren para arrancar los bloques y la maquinaria especial con la que se obtienen planos de corte limpios. En claro contraste con estas canteras se encuentran las primeras,

en las que la extracción no suele ser tan cuidadosa y son frecuentes las grandes alturas de banco con las que se trabaja. (Instituto Geo-Minero de España (1995)).



Fig 29 Maquinarias utilizadas en método de las Canteras. Foto frente de explotación Cantera El Chupadero

2.1.9.5 Cálculo de volumen

a) Método de secciones paralelas o perfiles.

Este método es, junto con el de los polígonos, uno de los más utilizados dentro de los métodos clásicos. Suele ser aplicable a cuerpos mineralizados más o menos irregulares que han sido investigados con sondeos cuyas direcciones permiten establecer cortes, perfiles o secciones. (Tomado de Villegas G. 2010).

La distancia entre cortes va a definir la exactitud del cálculo, pues secciones muy separadas pueden generar importantes errores debido a la existencia de cambios en la mineralización no controlada por los sucesivos perfiles.

Según BUSTILLO Y LÓPEZ (1997), para estimar el volumen del yacimiento se realiza a través de la metodología de perfiles paralelos que implica la siguiente fórmula:

$$V_{\text{bloque}} = \frac{(A1 + A2)}{2} * D$$

Donde V bloque: volumen del bloque entre los dos perfiles

A1: área del perfil 1

A2: área del perfil 2

D: distancia horizontal entre los dos perfiles

Posteriormente se suma la totalidad de los volúmenes hallados, para ello hacemos uso de la fórmula:

$$V_{\text{total}} = \sum_{i=1}^{n \text{ Vparcial}} V$$

b) Cálculo de área mineralizada.

El área de cada corte o perfil se puede calcular de diversas maneras: Planímetro, papel milimetrado o regla de Simpson.

En la mayoría de los casos en método del papel milimetrado es el más utilizado, ya que es bastante exacto y consiste en superponer un papel milimetrado a la sección y calcular cuantas unidades milimetradas existen en

el perfil, para después llevar a cabo la adecuada corrección en función del área correspondiente a la citada unidad milimetrada (Fig 30). (Bustillos y López (1997)).

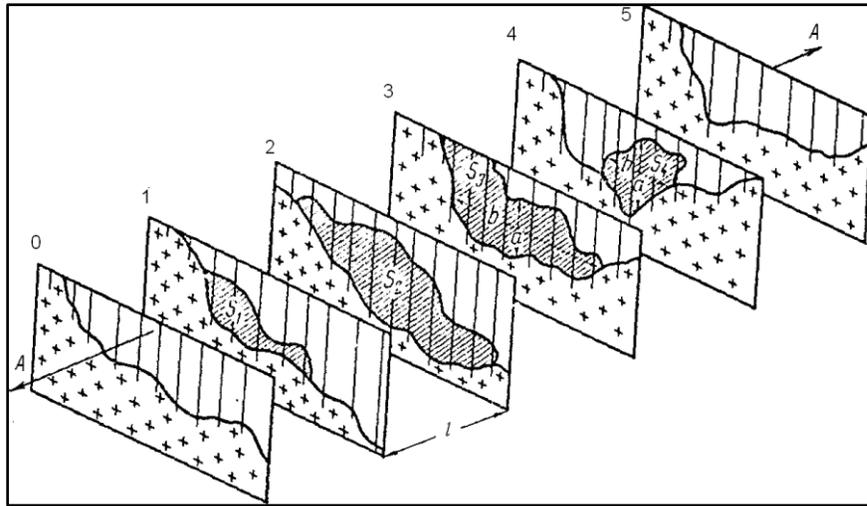


Fig 30 Método de secciones paralelas. Tomado y modificado de Kazhdan (1982).

2.1.9.6 Operaciones de mina: Descripción del método de explotación a cielo abierto, indicando criterios utilizados y producción de mineral y estéril

El Sistema de Explotación de la Cantera “Chupadero” es el convencional de minería a Cielo Abierto de bancos y terrazas mediante perforaciones verticales y efectuando voladuras programadas mediante el empleo de explosivos tales como: Anfo, Magna-Frac, retardos y cordón detonantes, siendo estos bancos de 10 m de altura diseñados acorde a los equipos de excavación adquiridos para la producción de agregados triturados, que permitan estos bancos la altura suficiente para una óptima excavación y productividad sin descuidar los parámetros básicos de seguridad al darle a cada frente la inclinación de los taludes 80° aproximados; y 10 m de Altura ya que la geología

local fue altamente activa, lo que generó zonas de alto diaclasamiento y fractura de la roca mayormente en las zonas de afloramientos, notando un comportamiento más homogéneo en la medida que se profundiza en el yacimiento de la caliza. Las rampas de acceso fueron diseñadas de tal forma que no sobrepasen el 10% de pendiente equivalente a los 5.71° de inclinación de cada terraplén. Respecto a los anchos de vías se diseñaron rampas de hasta 12 m de ancho operativo para facilitar el acceso en doble vía de los camiones roqueros en ambas direcciones y también para el tránsito de los equipos livianos de manera segura, evitando inconvenientes de riesgo o que pueda retrasar el proceso productivo y garantizar la seguridad en toda la operación minera. El plan se realizó manteniendo los criterios a cielo abierto, tales como: ángulo de corte en los frentes de avance, geometría de los paneles de explotación, ángulo de la pared alta, ancho de las terrazas de seguridad en cada nivel de explotación, y pérdida en la recuperación de caliza. La explotación de la caliza se continuará avanzando desde la pared alta hasta la pared baja, con la finalidad de recuperar la máxima cantidad de caliza posible, así como también para mantener una minería organizada caracterizada por frentes de trabajos amplios y productivos que permitan un flujo de material homogéneo a lo largo del año (Plan de mina “El Chupadero”, Sánchez “et al”. 2011).

La pared alta tendrá un ángulo general de 40 grados. Este ángulo permitirá mantener terrazas de seguridad por cada 10 metros de avance vertical, las cuales se distribuirán de la siguiente forma: 1 terraza de seguridad consecutiva de 10 metros (Plan de mina “El Chupadero”, Sánchez “et al”. 2011).

CAPÍTULO III

3.1 GEOGRAFÍA FÍSICA

3.1.1 Clima

El clima de la zona estudiada se caracteriza por ser tropical cálido lluvioso, el cual presenta dos estaciones; una de lluvia y otra de sequía. Las temperaturas oscilan entre los 25° C y los 26°C, presentándose las mayores temperaturas en abril y mayo. La estación lluviosa se presenta entre el período de Mayo a Noviembre. A comienzos de esta estación, las mayores precipitaciones ocurren entre los meses de junio y julio, siendo menores durante los últimos meses. El promedio de precipitación anual varía entre 1.200 y 1.500mm, con una humedad relativa del 80% (www.araguavirtual.com).

3.1.2 Vegetación

La vegetación presente en esta zona es de bosque seco tropical y bosque húmedo, pre-montañoso. Asimismo sus especies son mayormente deciduas, las cuales pierden sus hojas en la época de sequía y aumenta su follaje en lluviosa. Esta vegetación alta ocupa los terrenos adyacentes a los cursos de agua, garantizando así la conservación de los suelos. La cubierta vegetal arbústica es menos extensa, reduciéndose a pequeñas áreas cuyo grado de protección superficial es menos afectivo (www.araguavirtual.com).

3.1.3 Fisiografía

La región en estudio está situada en el estado Aragua en la parte central que forma parte de la Serranía del Interior. El área de estudio se encuentra en el frente de montañas del Guárico, cuyas elevaciones varían aproximadamente entre 250 y 800 metros, y está caracterizada por una sucesión de crestas alineadas en dirección Este-Oeste que siguen el rumbo estructural general y hacia el sur pasa a formar pequeñas colinas y los llanos centrales de Venezuela. Entre la Serranía y los Llanos hay una abrupta transición marcada por el valle del río Guárico, específicamente en el área entre Pardillal y San Juan de los Morros.

Quizás el rasgo fisiográfico más demarcado en el área es su grado de disección, los declives interfluviales son cóncavos hacia arriba y característicos por su pendiente abrupta. Las secciones de los valles son generalmente en forma de “V” entre laderas muy pronunciadas.

Generalmente en la Serranía del Interior las laderas son de pendiente media, con cimas redondeadas, mezclándose las estribaciones montañosas con lomas, colinas, cerros y lomerías, las cuales descienden progresivamente hacia la llanura. En el área los rasgos morfológicos más resaltantes están representados por filas cuyas alturas varían entre los 300 y 1.200m (Correa, 1982).

3.1.4 Drenajes

La red hidrográfica de la zona es muy densa, formando un reticulado tosco y está controlada generalmente por factores estructurales, resultando de ello un intrincado sistema de valles en forma de “V” bien encajados, siendo comunes los saltos y cascadas de gran altitud.

Los ríos y quebradas que conforman el área desembocan en el río Guárico, son de curso consecuente y de régimen permanente. Entre los principales ríos se destaca por su longitud el río Caramacate el cual presenta un valle con una llanura amplia en su tramo inferior, en el límite occidental de la zona la quebrada Dos Hermanas y en el límite oriental la quebrada la Hermana, ambas confluyen en el puente Las Hermanas y desembocan en el río Guárico (Correa, 1982).

3.2 GEOLOGÍA REGIONAL

La evolución geológica del sector norte-centro venezolano entre el Mesozoico-Cenozoico no es simple. Su ocurrencia está asociada a la naturaleza e historia de la colisión diacrónica entre los complejos márgenes litosféricos existentes en el sur de la placa del Caribe y el norte de la placa Suramericana. (Fig 31).

Navarro, Ostos y Yoris (1988), "Pindell et al". (1998) coinciden en considerar el choque de un arco de islas con la parte norte de Venezuela, la cual se comportaba como un área receptora de sedimentos adosada a una plataforma estable (Fig 32). La evolución tectónica de las cadenas montañosas, los sistemas estructurales de fallas y cuencas cenozoicas que se hallan en la zona limítrofe en dirección E-W de las placas Caribeña y Suramericana, fueron controladas principalmente por la convergencia dextral oblicua entre las dos placas anteriormente mencionadas.

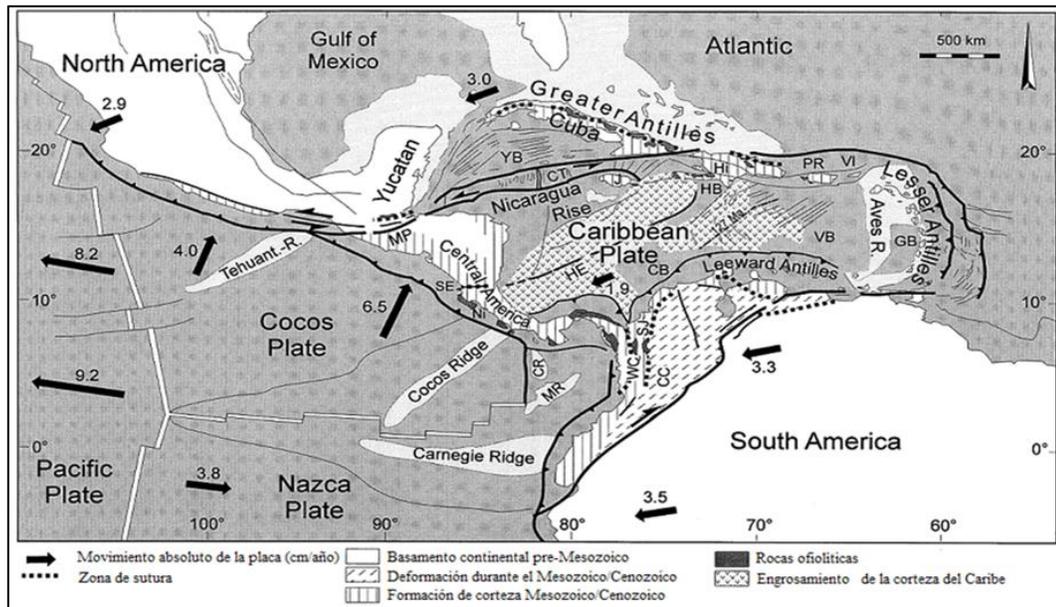


Fig 31. Resumen tectónico de la placa del caribe y sus regiones vecinas (modificado a partir de Pindell y Barrett, 1990, y Muehlberger, 1992). Tomado y modificado de Martin Meschede y Wolfgang Frisch (1998).

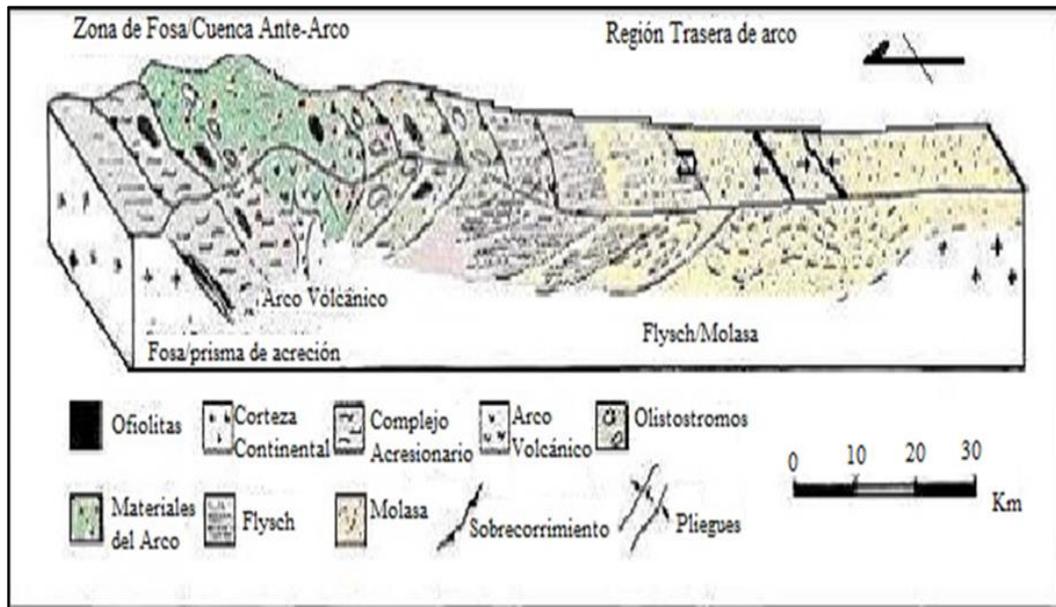


Fig 32. Modelo Geotectónico. Se observa la colisión del arco volcánico. Tomado y modificado de Ana Izturiz.

Los efectos de los procesos de compresión y transcurrancia durante la colisión, generó el adosamiento y levantamiento de las fajas al norte de Venezuela, formando una Cordillera de Montañas que se elevan bruscamente desde el nivel del mar hasta una altura de 2500 metros y hacia el sur se levanta una segunda serranía menos elevada, subparalela a la anterior. La primera se conoce como Cordillera del Caribe y la segunda como Serranía del Interior, juntas forman un cinturón montañoso costero de dirección E-W de unos 80 kilómetros de ancho, separadas en todas sus partes por una depresión topográfica definida de W-E por: el río Tinaco y su drenaje superior, la cuenca del Lago de Valencia y el Valle del río Tuy, (Oxburgh (1965)).

Debido a los diferentes rasgos estructurales, litológicos y a la complejidad topográfica de los terrenos observados en el centro norte de Venezuela, la Cordillera de la Costa y la Serranía del Interior fueron divididas en nueve Fajas tectónicas (Fig 33) que han sido actualizadas a través del tiempo, desde Menéndez (1966), Bell (1968), Bellizia (1986) y Urbani (2011). Se tienen de norte a sur y con un rumbo aproximado E-W: Faja Costera, Faja Ávila, Faja Caracas, Faja Caucagua-El Tinaco, Faja Loma de Hierro, Faja de Villa de Cura, Faja Piemontina y la Faja Volcada la cual posee la zona de fallas de Corrimientos; al sur de la Serranía del Interior se encuentra otra faja denominada Faja de Buzamientos Suaves. Las primeras siete fajas son interpretadas entre alóctonas o para-autóctonas, mientras que las unidades en la Faja Volcada y de Buzamientos Suaves se interpretan como autóctonas.

En la región estudiada afloran rocas pertenecientes a la Faja Villa de Cura, al norte, y a la Faja Piemontina, al sur, por lo que el estudio realizado en este trabajo se focalizó en las siguientes Formaciones: Morro del Faro, Caramacate, Garrapata y Las Hermanas. (Fig 34).

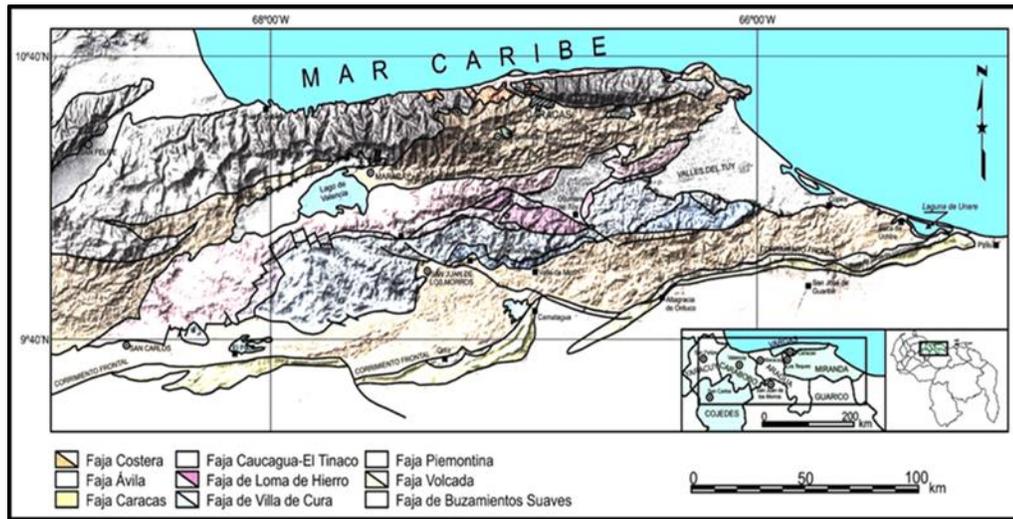


Fig 33. Distribución de las fajas tectónicas al nor-centro de Venezuela. Tomado y modificado de Coello (2012).



Fig 34. Esquema simplificado de las formaciones pertenecientes a las Fajas de Villa de Cura y Piemontina.

3.2.1. Faja Piemontina

La Faja Piemontina se extiende de E-W con aproximadamente 40 kilómetros de ancho, limitada al norte por la Faja de Villa de Cura y al sur por las Fajas Volcada y de Buzamientos Suaves. Dicha faja, está conformada por varias unidades sedimentarias, estas son definidas como para-autóctonas o alóctonas y en ellas se pueden reconocer varias asociaciones lito-estratigráficas (Fig 35) como lo son las formaciones Morro del Faro, Caramacate y Garrapata que se evidencian en la zona como olistolitos y olistostromos.

Zona		Zona 1: San Carlos, El Pao, La Escorzonera edo. Cojedes	Zona 2: Dos Caminos, Ortiz, San Juan de Los Morros, San Sebastian Oeste del edo. Guárico	Zona 3: Valle Morín, Camatagua y Taguay edo. Aragua	Zona 4: Altigracia de Orituco, San Francisco de Macalá, este del edo. Guárico	Zona 5: Batatal, Cúpira, San José de Guaribe, Boca de Uchire, edos. Miranda y Anzoátegui
Edad		MENÉNDEZ 1965 PEIRSON <i>et al.</i> 1966 MACSOTAY <i>et al.</i> 1995	PEIRSON <i>et al.</i> 1966 MACSOTAY <i>et al.</i> 1995 VIVAS & MACSOTAY 1997	PEIRSON <i>et al.</i> 1966 BELL 1968 MACSOTAY <i>et al.</i> 1995	PEIRSON <i>et al.</i> 1966 BELL 1968 BECK 1985 ALBERTOS 1989 MACSOTAY <i>et al.</i> 1995	PEIRSON <i>et al.</i> 1966 BELL 1968 CAMPOS & OSUNA 1977 CAMPOS <i>et al.</i> 1980
TERCIARIO	MIOCENO				Quiamare	Quiamare
	OLIGOCENO	Galera Quebradón	Galera Quebradón	Galera Quebradón	Galera Quebradón	Galera Quebradón
		Roblecito	Roblecito	Roblecito	Roblecito	Roblecito
	EOCENO	Orupe			Peñas Blancas	Peñas Blancas
		Garrapata	Garrapata	Garrapata	Garrapata	Garrapata
PALEOCENO	Los Cajones	Los Cajones	Los Cajones	Los Cajones	Los Cajones	
	Guárico	Guárico	Guárico	Guárico	Guárico	
CRETACICO	Maastrichtiense	Mamonal	Guárico	Morro del Faro Escorzonera	Caliza de Las Colonias	
	Campaniense	Mucaria	Mucaria	Mucaria	Mucaria	Mucaria
	Santoniense				San Antonio	San Antonio
	Coniaciense					
	Turonense	Querecual	Querecual	Querecual	Querecual	Querecual
	Cenomaniense					
	Albiense			Capas de Vallecito		Calizas Albienses
	Aptiense					

Fig 35. Cuadro correlación entre unidades sedimentarias encontradas en las Fajas Piemontina, Volcada, y de Buzamientos Suaves, en las regiones o zonas definidas. (Unidades Oligo-miocénicas separadas por línea punteada, pertenecen a las fajas Volcada y de Buzamientos Suaves; bloques alóctonos separados con línea continua y flecha; contactos no definidos con interrogantes). Tomado y Modificado de Coello (2012).

➤ Formación Morro del Faro (Paleoceno Medio-Tardío)

Está formada por grandes masas de calizas arrecifales de color gris, densas y con vetas de calcita, masas de turbiditas y algunas rocas volcánicas embebidas en forma caótica en una matriz limo-arcillosa calcárea (Fig 36).

Vivas y Macsotay (1997) separan ésta unidad litoestratigráfica de la Formación Guárico y la elevan a rango de Formación. Desde el punto de vista paleogeográfico la formación Morro del Faro forma parte de la cobertura sedimentaria de la Napa de Villa de Cura y no de la Napa Piemontina.

La formación está constituida por 300 a 350 m de calizas biostromales, biodetríticas con abundancia de foraminíferos, microalgas y otros organismos carbonáticos, dispuestas en capas submétricas a plurimétricas. Las calizas son macizas, compactas de color gris claro que meteoriza a gris azulado; su localidad tipo se encuentra a 5 kilómetros al noroeste de la ciudad de San Juan de los Morros, en esta misma región la formación suprayace en contacto discordante angular con el Grupo villa de Cura y en la región quebrada Honda-San Sebastián, la unidad aflora como megaolistolitos dentro de la Formación Caramacate. La edad sugerida para esta unidad es Paleoceno Medio-Tardío (FURRER en VIVAS & MACSOTAY 1997). El paleoambiente es de depósitos de bancos carbonáticos, biostromales de plataforma externa, formados sobre un arco volcánico insular.

➤ Formación Caramacate (Paleoceno Medio-Tardío)

Vivas y Macsotay (1995) separan esta unidad litoestratigráfica de la Formación Guárico y la elevan a rango de formación por pertenecer desde el punto de vista paleogeográfico a la cobertura sedimentaria de la Faja de Villa de Cura y no de la Faja Piemontina.

La localidad tipo se encuentra en el curso del río Caramacate, desde la carretera San Juan de Los Morros-San Sebastián, hacia el norte, hasta el

afloramiento extremo meridional de la unidad litodémica de Lavas y Tobas de Las Hermanas, también se observa aflorando al este de San Sebastián (Fig 37).

La formación es una unidad olistostrómica de 400 m de espesor, conformada por limolitas silíceas que se interestratifican con capas de calizas arcillosas, lutitas negras y capas de chert finamente laminado y bandeado en colores claros y oscuros; también son comunes las areniscas grauváquicas, parcialmente líticas. Sus estructuras sedimentarias son la gradación, las laminaciones paralela y cruzada, y estructuras de carga. Localmente a diferentes niveles se hallan diamictitas polimícticas que contienen clastos de volcánicas sin diferenciar. En la parte inferior y media de la secuencia, las pelitas contienen olistolitos carbonáticos, con lito y biofacies tipo Formación Morro del Faro.

Entre los fósiles se encuentran algas, foraminíferos bentónicos y briozoarios, poliquetos y algas incrustantes (afinidades con la Formación Morro del Faro); fragmentos de concha, y los foraminíferos planctónicos sugieren edad Campano-Maastrichtiense. Otra muestra con foraminíferos planctónicos sugiere una edad Paleoceno tardío.

En la región de San Juan de Los Morros la Formación Caramacate suprayace en discordancia angular a la Asociación Metamórfica de Villa de Cura (Esquistos de Santa Isabel). En el sector La Puerta-Guaiquera, la formación suprayace en contacto de hiatus a la Formación Morro del Faro. En la región de San Sebastián, la Formación Caramacate suprayace en discordancia angular a la unidad litodémica de Lavas y Tobas de Las Hermanas y en contacto de hiatus a la Formación Escorzonera.

El paleoambiente se define como batial inferior, depositado sobre un talud de arco.

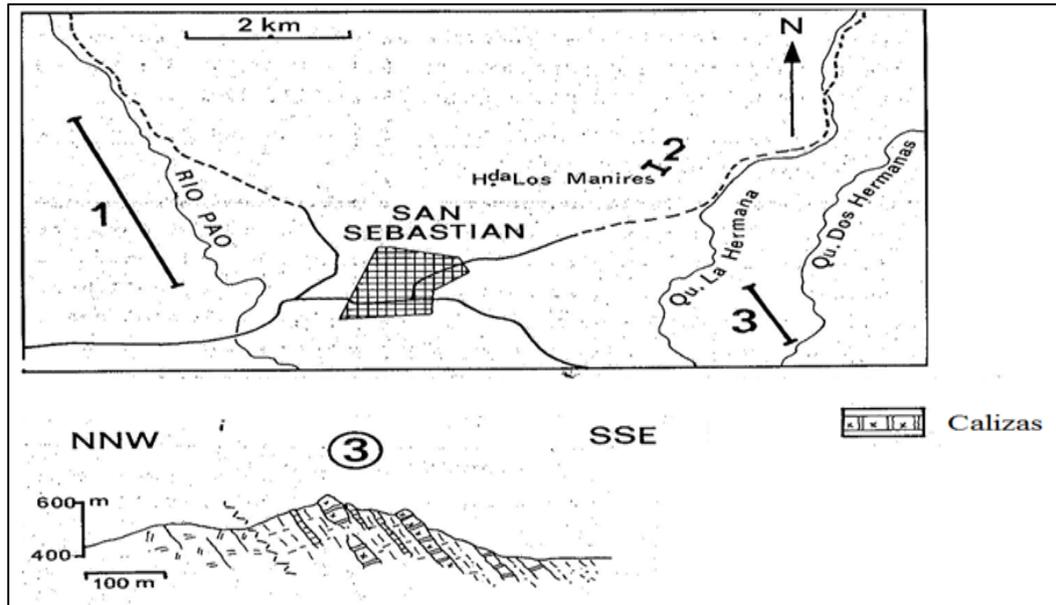


Fig 36. Corte idealizado en una sección de nuestra zona de estudio, en él se muestra la roca caliza aflorando. Tomado y modificado de Beck (1985).

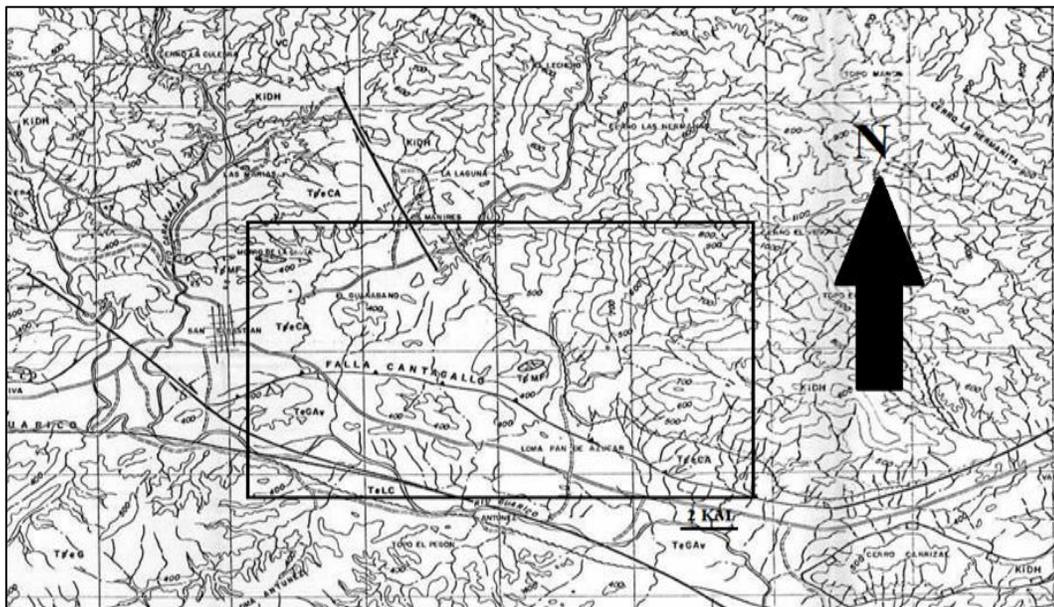


Fig 37. Mapa Geológico donde se puede observar la Formación Caramacate, al norte de la falla de Cantagallo. Tomado y Modificado de CORPOVEN (1990).

➤ Formación Garrapata (Eoceno Medio)

La referencia original de esta unidad fue realizada por Renz en 1.955, la cual es una secuencia de turbiditas cíclicas, perfectamente gradadas de espesor irregular desde los diez centímetros hasta los diez metros. Cada ciclo referido comienza con un conglomerado grueso seguido por una sucesión de turbiditas y lutitas, por lo que exhibe gradación ascendente. Las calizas o lutitas calcáreas duras son un constituyente menor que se hace más frecuente hacia el tope de la unidad. Las capas volcánicas son conspicuas y algunos cuerpos ígneos pudieron ser identificados como de diorita piroxénica y brechas de explosión asociadas.

La localidad tipo se encuentra en el Cerro Garrapata, al este de San Juan de los Morros y al sur del río Guárico y en la carretera entre San Juan de los Morros y San Sebastián. Bell (1968) propuso como sección de referencia, la expuesta en la quebrada Camatagüita, a unos 28 km al este de San Sebastián, estado Aragua.

La formación tiene un espesor aproximado de 2.000 m (Konigsmark, 1965) y consiste de conglomerados, asperones, grauvaca líticas y areniscas pura líticas interestratificados con cantidades variables de limolitas de color oscuro y cantidad menores de areniscas y lutitas silíceas, calcáreas y micáceas. Según Bell (1968) los conglomerados están compuestos de clastos de diversos tamaños entre subangulares y redondeados, y a su vez estos fragmentos son de composición variable, cementados por una matriz de composición similar a los clastos.

Localmente se encuentra hasta un 60% del espesor total de la formación, constituida por conglomerados caracterizados por su color gris oscuro. Las capas tienen espesores máximos de 50 metros, y son generalmente macizas y de

escogimiento pobre; sin embargo, se encuentra buena estratificación gradada en las capas de limolita y arenisca fina que se encuentra sobre los conglomerados.

La Formación Garrapata yace concordantemente sobre la Formación Querecual; ambas unidades parecen formar parte del mismo bloque alóctono (Bell, op. cit.) Hacia arriba, es transicional con la Formación Mucaria. Albertos (1989) describieron el contacto superior de la Formación Garrapata con Guárico como transicional, y el contacto inferior como tectónico.

Bell (1968) y Macsotay et al. (1995), sugieren un ambiente batial, para sedimentos controlados por gravedad en frente del arco de islas de la Faja de Villa de Cura. Pindell "et al". (2005) indica que el lugar de origen de la formación fue como parte del cinturón acrecional de lo que fuera el arco del Caribe avanzando hacia el sureste, hasta ser adosado sobre las unidades volcánicas y sedimentarias del norte de Venezuela hasta tomar la configuración actual (Fig 38).

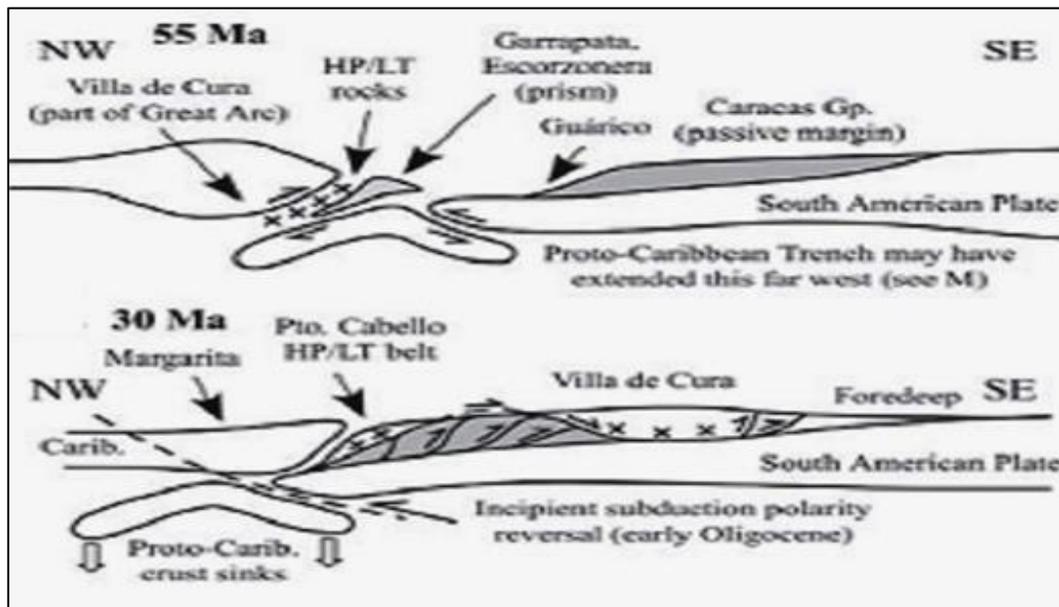


Fig 38. Mapas esquemáticos y secciones transversales, y no necesariamente a escala, que ilustra los mecanismos de formación y colocación de alóctonos. Tomado y Modificado de Pindell y Kennan (2005).

3.2.2. Faja Villa de cura.

La referencia original de este conjunto litológico se debe a Aguerrevere y Zuloaga (1.937), quienes utilizaron en primer lugar el término Serie de Villa de Cura para designar a una complicada asociación de rocas en los alrededores del poblado de Villa de Cura (estado Aragua). Luego estos mismos autores las consideraron como a un Grupo, desde el punto de vista litoestratigráfico. Posteriormente, otros autores que se citan a continuación: Smith, (1952); Shagam, (1960); Konigsmark, (1965); Oxburg, (1965); Menéndez, (1965-1966); Beck, (1968); Ostos y Navarro, (1986); Navarro "et al", (1987); Yoris, (1987); Ostos, (1990), han redefinido y reconsiderado este conjunto de rocas limitadas al norte y al sur por una serie de fallas de corrimiento; el cual ha sido dividido en unidades atendiendo a la abundancia relativa de tipos litológicos.

Esta unidad puede considerarse como un cinturón de unos 250 kilómetros de longitud por un ancho promedio de 23 kilómetros y con una orientación prácticamente este-oeste. Se extiende desde el estado Cojedes, al norte de la población de El Pao, hasta la región de Barlovento (estado Miranda). Tiene un espesor estimado en 10 kilómetros y se compone principalmente de rocas metavolcánicas y metasedimentarias de granulometría variable y de edad Jurásico-Cretácico. Los contactos, con las unidades adyacentes, son tectónicos y se interpretan como fallas de corrimiento (Fig 39).

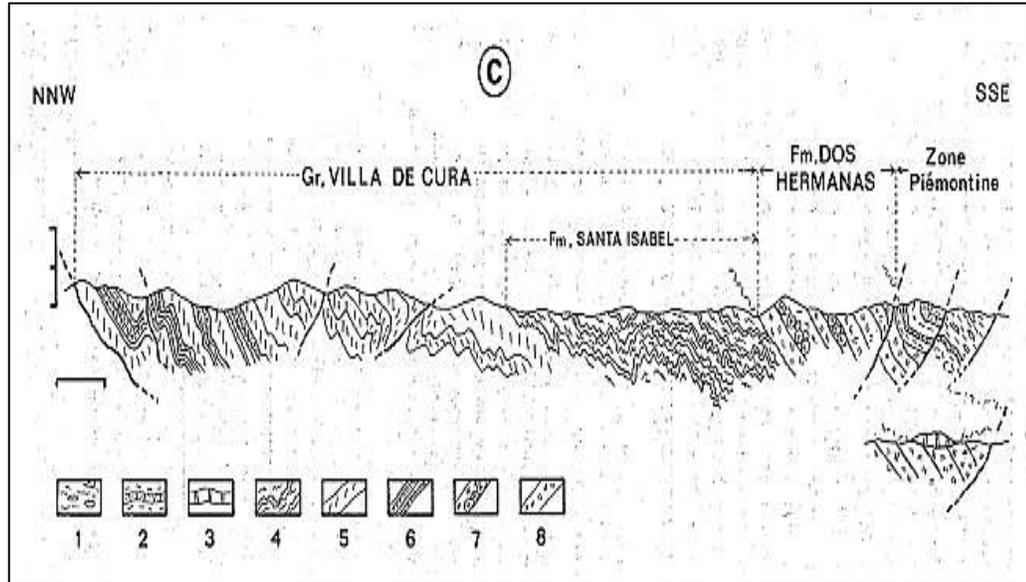


Fig 39. Corte Transversal sintético de la Napa de Villa de Cura. 1-Lutitas con Olistolitos; 2-Lutitas y Calizas Arenosas (Maastrichtiense); 3-Caliza Maciza (Paleoceno Superior-Eoceno Inferior); 4-Esquistos Verdes con Glaucofano; 5-Metadiabasas; 6-Esquistos y Filitas; 7-Brechas y Tobas Basálticas; 8-Basaltos (espilitas). Tomado de Beck (1986).

De norte a sur las sub-divisiones son las siguientes: El Caño: Está constituida por metatobas afaníticas finamente laminadas con cantidades menores de metalavas basálticas y andesíticas, El Chino: Consiste en metatobas estratificadas de grano fino con proporciones menores de metabasaltos, metaftanitas, filitas grafitosas, esquistos cuarzo-albíticos y granofels cuarzo-albíticos, El Carmen: Contiene una serie de metalavas basálticas de un espesor considerable, con fenocristales de augita, intercaladas con metatobas, granofels, metaftanitas y filitas grafitosas, Santa Isabel: Presenta granofels cuarzo-feldespático-epidóticos con intercalaciones de esquistos cloríticos y cantidades menores de metalavas piroxénicas y metaftanitas, Las Hermanas: Consiste en metatobas, metalavas y aglomerados volcánicos (Fig 40).

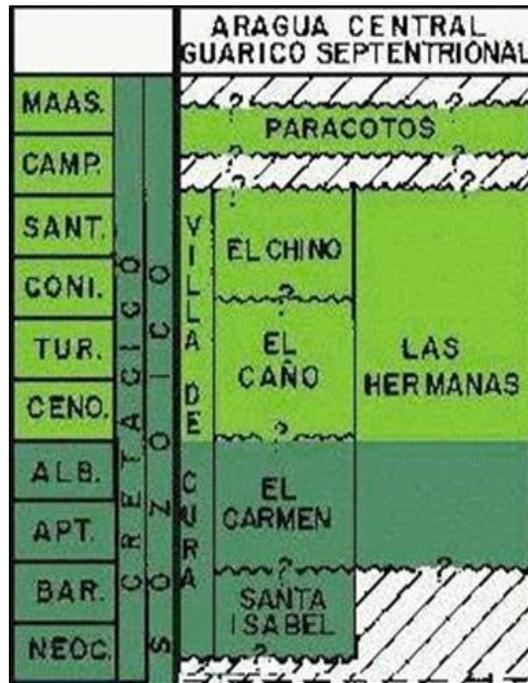


Fig 40. Cuadro correlación entre unidades encontradas en la Faja Villa de cura. Tomado y Modificado de Urbani (INTEVEP 1997).

➤ Formación Las Hermanas (Cretácico Temprano)

La formación Las Hermanas, según Piburn (1977), está caracterizada por dos miembros principales: el inferior, consiste esencialmente de conglomerados gruesos, con intercalaciones delgadas de tobas; el miembro superior está formado de tobas líticas, flujos de lavas y ftanitas. En la región de San Sebastián, esta unidad infrayace discordante a una secuencia de calizas arenosas y lutitas del Paleoceno. El contacto está marcado por un conglomerado basal, en el cual se entremezclan peñones redondeados de calizas fosilíferas del paleoceno con fragmentos de la Formación Las Hermanas. El miembro inferior está constituido esencialmente de conglomerados gruesos, mal escogidos, formados por fragmentos de lavas porfíricas vesiculares, ricas en plagioclasa y piroxenos. Los clastos son redondeados o sub-redondeados y pueden alcanzar

excepcionalmente hasta 60 cm de diámetro. Se presentan además pequeñas intercalaciones de tobas. Entre los minerales secundarios se mencionan sericita, clorita, prehnita, pumpellita y epidoto. El miembro superior está formado por tobas líticas, constituidas por fragmentos de tobas ricas en plagioclasa, trozos vesiculares de pómez y meta-lavas, algunas almohadilladas, como las que se presentan en la quebrada Las Hermanas (Fig 41), de donde toma el nombre la formación. También se presentan ocasionalmente lentes delgados de calizas.

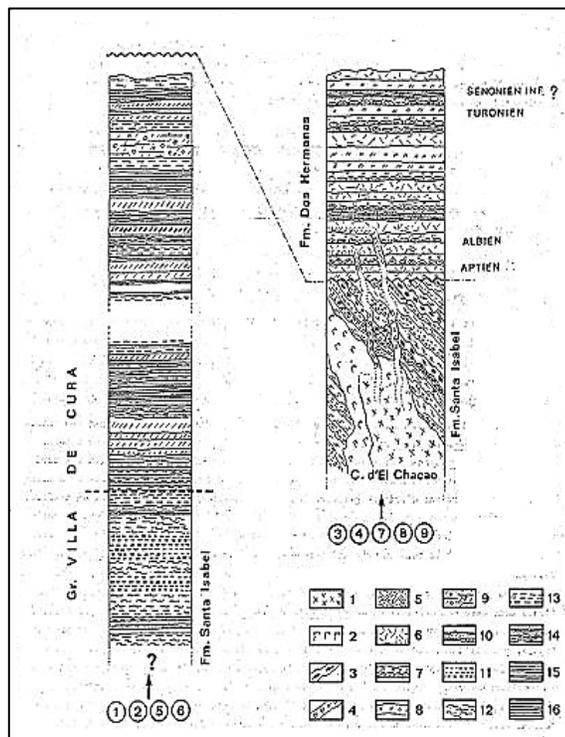


Fig 41. Estratificación simplificada de la Napa de Villa de Cura. 1-Piroxenolita, Hornblendita, 2-Gabro, 3-Gabro metamorizado con glaucofano, 4- Hornblendita con plagioclasa, 5-Micrograbro dolerítico, 6-Basalto, 7-Brechas y Tobas basálticas, 8-Metadiabasa Metadiabasa afríca, 9-Metabasalto porfírico, 10-Toba de grano fino o chert, 11-Cuarcita bandeada con albita y glaucofano, 12-Esquistos verdes con glaucofano, 13-Cuarcita hojosa con albita y glaucofano, 14-Esquistos con clorita o estilpnomelano, 15-Cuarzofilita, 16-Esquistos y cuarcitas con clorita y epidoto. Tomado de Beck (1986).

Su localidad tipo se encuentra en el curso medio de la quebrada Las Hermanas a 8 km al noreste de San Sebastián, Aragua (Fig 42). La mayoría de los autores postulan que la Formación Las Hermanas muestra bloques exóticos, que presentan su actual configuración, en respuesta a un transporte tectónico sobre la faja móvil de villa de cura, en donde las unidades conformantes son desmembradas y mezcladas dentro del frente de corrimiento de esta napa.

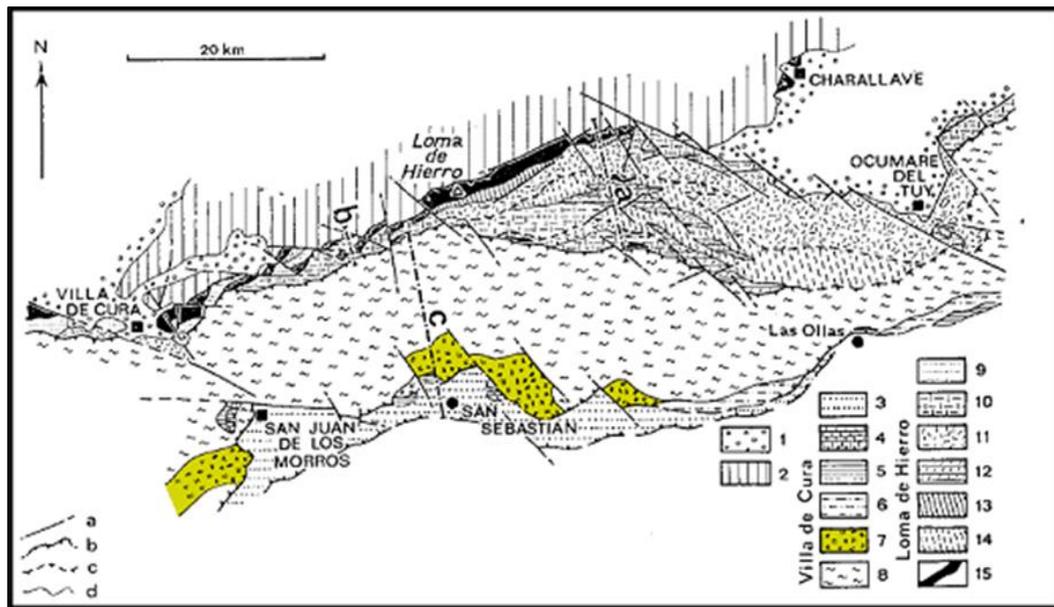


Fig 42. Geología simplificada de las napa Loma de Hierro y Villa de Cura (Aragua-Miranda). 1- Neogeno-Cuaternario, 2-Caucagua-El Tinaco, 3-Complejo con Olistolitos, 4-Lutitas, Conglomerados y Caliza, 5-Caliza Maciza, 6- Conglomerados Volcánicos, 7-Lavas, Tobas y Brechas Basálticas, 8- Metatobas y Metalavas, 9-Lutitas con Olistolitos, 10-Lutitas, Conglomerados y Caliza, 11-Lavas Basálticas macizas, 12-Lavas en almohadillas, Brechas, Calizas y Radiolaritas, 13-Gabros acumulados, 14-Gabros acumulados anfibolizados, 15-Peridotita, Serpentina. a. Falla subvertical, b. Corrimiento, c. Corrimiento supuesto, d. Contacto estratigráfico. Tomado y Modificado de Beck (1985).

La existencia de las lavas almohadilladas y de tobas que posteriormente serían metamorizadas, sugieren que la formación se acumuló subacuáticamente, pero no necesariamente a gran profundidad, asociado a un

arco de isla formado al norte; esta hipótesis es afianzada por los estudios geoquímicos llevados a cabo, Beck (1985), Navarro (1983) y Ostos & Navarro (1986), los cuales concuerdan en interpretar que estas rocas han sido formadas en un ambiente de arco de islas.

CAPÍTULO IV

4.1 GEOLOGÍA LOCAL

4.1.1 Generalidades

En este capítulo se desarrolló lo correspondiente a la fase de estudio de las muestras y datos recolectados en campo, del macizo que pertenece a la cantera el Chupadero, propiedad de la Fábrica Nacional de Cemento (F.N.C.), ubicada al noreste de San Sebastián de los Reyes, así como también, la caracterización de las quebradas La Hermana y Las Dos Hermanas, ambas bordean al morro y delimitan la zona en estudio permitiéndonos realizar un estudio litológico más detallado del área.

Se realizó un levantamiento sistemático de la cantera apoyado en la topografía, ya que esta ha sido modificada durante la actividad de explotación del material carbonático, por lo que en la actualidad es un macizo modelado de niveles y taludes, lo que permite un levantamiento geológico por cada nivel, desde el más alto al más bajo, y a todo lo largo del macizo.

De acuerdo a la litología encontrada durante el levantamiento, el área de estudio se divide en 4 unidades informales. De cada unidad se seleccionaron un número de muestras a las cuales se le realizaron distintos estudios; así pues a la Unidad I por ser la de mayor importancia a nivel comercial para la empresa a la cual se realiza esta investigación, se le practicaron diversos análisis químicos (titulación, fluorescencia de rayos x y análisis de pérdida al fuego) estudios petrográficos y descripción de muestra de mano in situ de un numero representativo de muestras. A las otras Unidades se les realizo solo la descripción de mano y descripción petrográfica.

4.1.2 Caracterización Geológica

En esta parte del trabajo se presentan los datos recopilados durante el levantamiento geológico, así como la descripción de sus características observadas en muestra de mano y bajo el microscopio. Para la descripción de cada tipo litológico se proponen las siguientes unidades informales:

- Unidad I (UI): Sedimentarias Carbonáticas, Calizas arrecifales y prearrecifales.
- Unidad II (UII): Sedimentarias detríticas, no cíclicas con material calcáreo.
- Unidad III (UIII): Sedimentarias detríticas, cíclicas.
- Unidad IV (UIV): Rocas ígneas Volcánicas.

a) Unidad Litoestratigráfica (UI): Calizas arrecifales y prearrecifales

- **Descripción litológica**

En el estudio de esta unidad se encuentran unas calizas de color fresco gris oscuro a claro, color meteorizado gris claro a blanco, las calizas se presentan de manera masiva sin presentar ninguna estratificación, con pequeñas fracturas (Fig 43, 44). Se observa gran cantidad de fósiles difíciles de identificar en muestra de mano ya que estos están muy fracturados debido a la alta energía que rigió durante el depósito de la caliza. La roca es muy densa y presenta una alta reacción al ácido clorhídrico lo que indica un alto contenido de carbonato, se observan cavernas rellenas de calcita de color amarillo.

También se pudo hallar en esta zona unas calizas que se encuentran de manera masiva, presentan un color fresco azul oscuro y un color meteorizado

azul claro, en muestra de mano no se observan fósiles, la roca es densa y presenta una alta reacción al ácido clorhídrico lo que indica un alto contenido de carbonatos, en el afloramiento se observan cavernas y diaclasas rellenas de calcita precipitada.



Fig 43 Calizas Arrecifales ubicadas en el frente de explotación



Fig 44 Calizas prearrecifales ubicadas en el frente de explotación

- **Distribución y ubicación**

Representada en el mapa geológico de color azul (UI). Se localiza en el Cerro El Chupadero, distribuyéndose en un 10% dentro de la región estudiada.

- **Contacto**

La base de la caliza está en contacto discordante transicional con las rocas siliciclásticas de la unidad (UII).

- **Paleoambiente**

Respecto al paleoambiente más preciso, Furrer en Vivas & Macsotay (1997) lo define como depósitos de bancos calcáreos, biostromales de plataforma externa, formados sobre un arco volcánico insular.

- **Descripción de muestras de la unidad**

Tal y como se estableció en el Capítulo I, se utilizó un criterio para la selección de las muestras las cuales se hace especial hincapié, ya que son claves para proveer información sobre la caracterización de la zona que se está realizando en el presente trabajo.

Para esta subunidad se analizaron 10 muestras bajo microscopio de luz polarizada, recolectadas aleatoriamente en la UI y de manera que abarcaran toda su extensión (Fig 45).

Las clasificaciones de rocas carbonáticas de Dunham (1962) y Folk (1962), fueron las usadas para definir el tipo de sedimento o roca de acuerdo a la textura depositacional y origen. Las dos clasificaciones utilizan patrones comunes como son los porcentajes de micrita, esparita, aloquímicos, y el grado de empaquetamiento. De acuerdo a estos parámetros, los términos utilizados para ambas clasificaciones son muy similares o equivalentes. De igual manera se

estudiaron unas secciones de rocas identificadas como carbonato de mezcla, para ello se utilizó la clasificación de Mount (1985) el cual atribuye este término a aquellas rocas carbonáticas que dentro de su composición tienen más de 10% de sedimentos clásticos.

Las calizas se clasificaron según Dunham (1962) como *packstones* (40 %), *wackstones* (40 %), *mudstones* (10%) y *grainstones* (10%); y según Folk (1962) como biomicrita (total 65%) en sus subdivisiones: esparcida (35%) y agrupada (30%), también las clasificadas como bioesparitas (total 35%) en sus subdivisiones mal lavada (15%), bien escogidas (10%) y no escogidas (10%). Las muestras son esencialmente puras, constituida principalmente por componentes carbonáticos (80 - 97 %), con poca influencia clástica (1 - 20 %) a excepción de tres muestras cuyos extraclastos superan al 25%, por ultimo las muestras en general presentan una porosidad muy baja (1-3%) a excepción de una muestra que presenta un 30% de porosidad.

Los componentes ortoquímicos se encuentran representados principalmente por matriz micrítica en considerable porcentaje y parcialmente recristalizada a microespato, donde también se observó recristalización a pseudoespato y en algunos casos a espato. El cemento es mayormente de tipo mosaico y gravitacional.

Los aloquímicos son los componentes mayoritarios en las muestras, los cuales están caracterizados fundamentalmente por microfósiles de diversos tipos faunales y en menor proporción por peloides. Los bioclastos se presentan esencialmente recristalizados por calcita y muy raramente por óxido de Fe, mayormente fracturados, redondeados y bien preservados en algunos casos.

A continuación presentamos la ubicación de las muestras estudiadas y una descripción más detallada de las muestras de esta unidad.

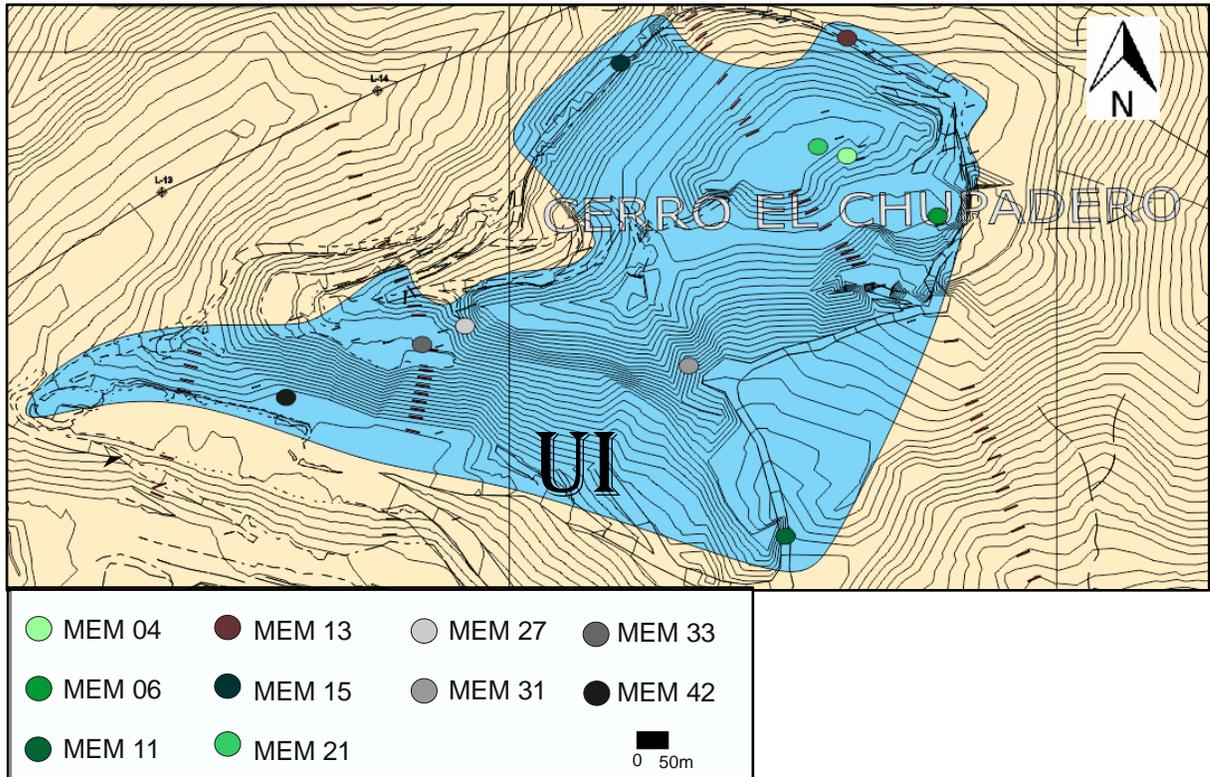


Fig 45 Mapa Ubicación muestras de la Unidad I que se les realizo estudios petrográficos

➤ **MEM04: Caliza soportada por lodo carbonatico (*Mudstone*)**

Muestra ubicada al norte de la zona de estudio, tomada en el nivel 620, el nivel más alto de la cantera (Fig 46, 47). Las rocas de este afloramiento se encuentran en secuencia con capas de lutitas y areniscas con un espesor de aproximadamente 5mm las lutitas y 10cm las areniscas, las calizas se presentan macizas sin ningún plano de foliación o diaclasamiento con granos macroscópicamente visibles, con vetas de calcita de aproximadamente de 1mm con algunas fracturas sin dirección preferencial y una considerable resistencia al romperse. No se le realiza el estudio de fluorescencia de rayos X y si se

caracterizó petrográficamente de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.



Fig 46 Afloramiento de calizas donde se tomó la muestra MEM 04

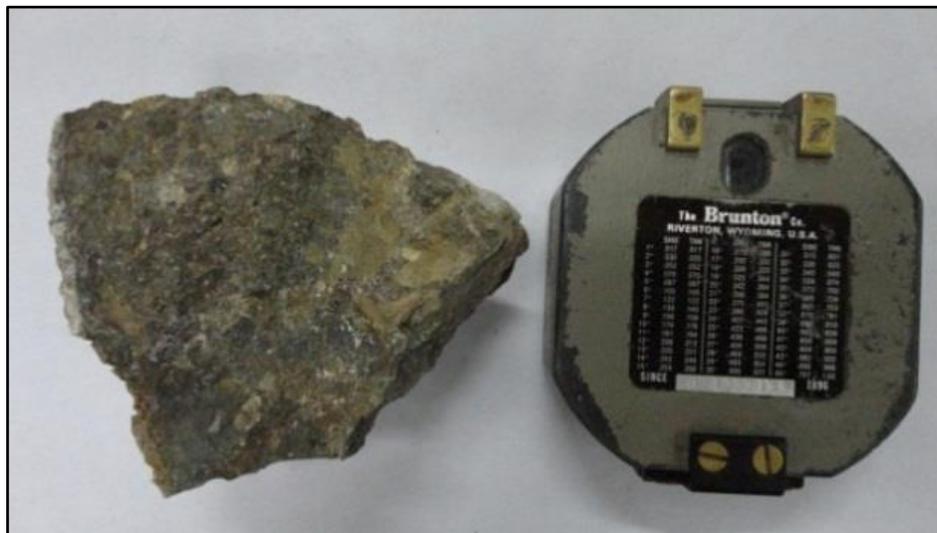


Fig 47 Muestra de mano MEM 04

En sección fina (Fig 48, 49, 50) la muestra presenta en orden de relevancia mayor porcentaje de ortoquímicos (50%) compuesto mayormente por micrita y en menor proporción cemento del tipo microespato y pseudoespato, luego presenta un porcentaje de casi un tercio de aloquímicos (29%) mayormente de intraclastos que de fósiles, con fragmentos de moluscos y algas poco conservados y presencia de foraminíferos (miliólidos) escasos pero bien conservados. La muestra presenta proceso diagenético de inversión homoaxial y micritización de partículas esqueléticas. Dadas las características de esta sección la muestra es clasificada como biomicrita esparcida según Folk (1962). Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo B.

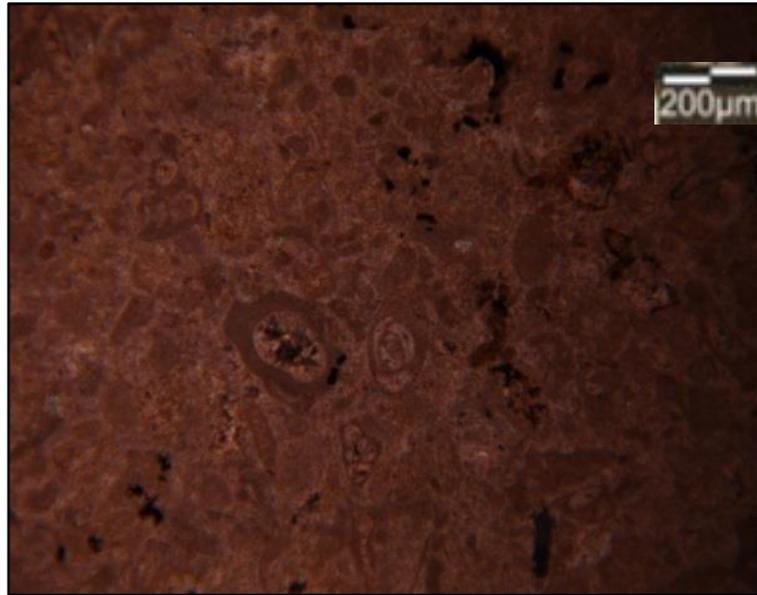


Fig 48 Sección fina MEM 04, se observan foraminíferos (miliólidos) bien preservados y fragmentos de moluscos presentes. Objetivo 4x NX

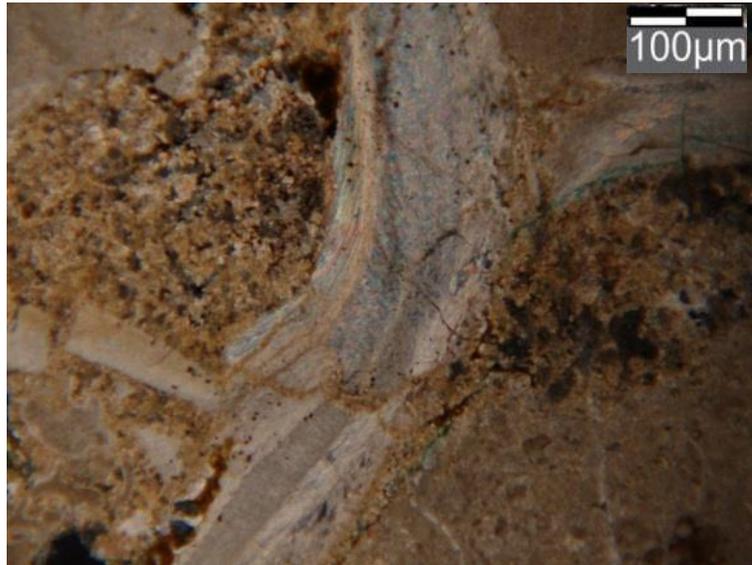


Fig 49 Sección fina MEM 04, se observa inversión homoaxial en fragmento de molusco. También se observa cemento microespato y micritización de las partículas esqueléticas. Objetivo 10x NX

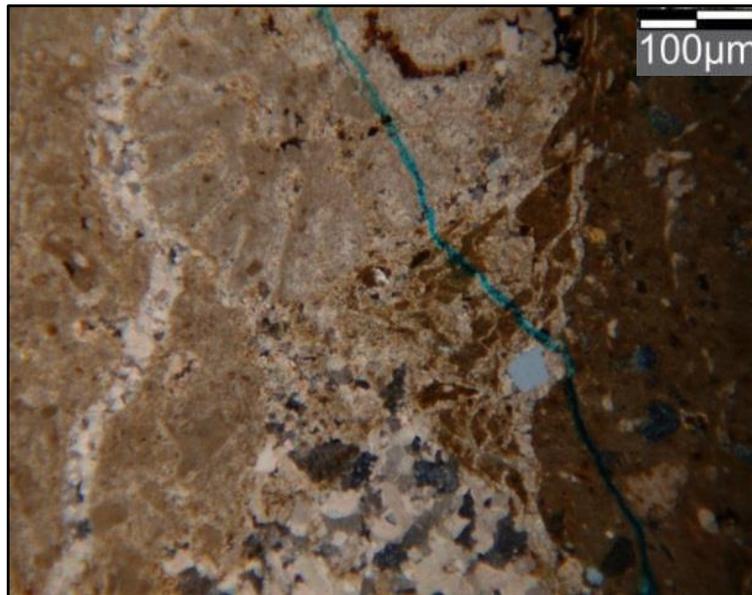


Fig 50 Sección fina MEM 04, vista general. Se observa cemento microespato y pseudoespato, fragmentos de moluscos y extraclastos, también se observa porosidad de fractura. Objetivo 10x NX

➤ **MEM 06: Caliza soportada por granos (*Packstone*)**

Muestra ubicada al noreste de la zona de estudio, tomada en la cota 575 del morro de calizas. Las rocas de este afloramiento se presentan altamente fracturadas, su color fresco es gris pardo y meteorizado marrón claro (Fig 51). A esta muestra se le realiza el estudio de fluorescencia de rayos X y también se le realizó la descripción petrográfica de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.

Según el estudio de titulación y fluorescencia, esta es una roca que tiene un 92% de carbonatos totales, bajo contenido de sílice y magnesio, lo que indica que es apta como materia prima para la elaboración de cemento, para más detalles de estos estudios véase la tabla 1.

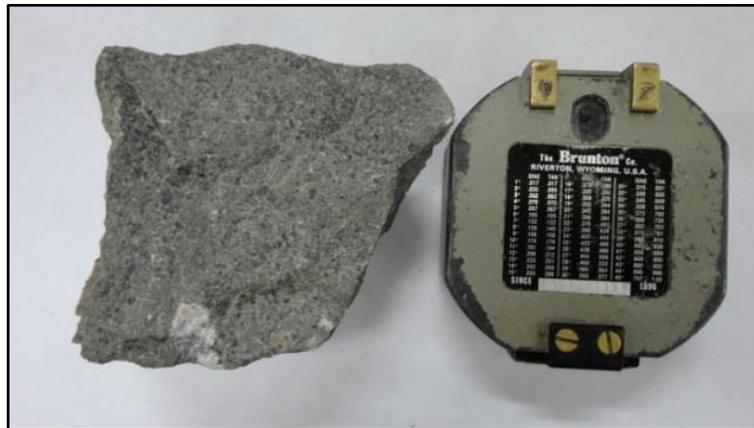


Fig 51 Muestra de mano MEM 06

En sección fina la muestra presenta una alta proporción de aloquímicos (59%) compuesto en partes iguales por intraclastos (fragmentos de equinodermos, moluscos y algas, presencia de miliólidos y nummulites bien conservados), también presenta una gran proporción de ortoquímicos (35%)

compuesto de matriz (micrita), presente también en procesos orgánicos de micritización de partículas esqueléticas, un 5% de extraclastos con cuarzo microcristalino metamórfico, lo cual indica que su fuente de aporte de sedimentos pertenece a una zona de metamorfismo, probablemente de la cordillera de la costa; por último la sección fina posee una porosidad despreciable (1%) (Fig 52). Dadas las características de esta sección la muestra es clasificada como biomicrita agrupada según Folk (1962). Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo B.

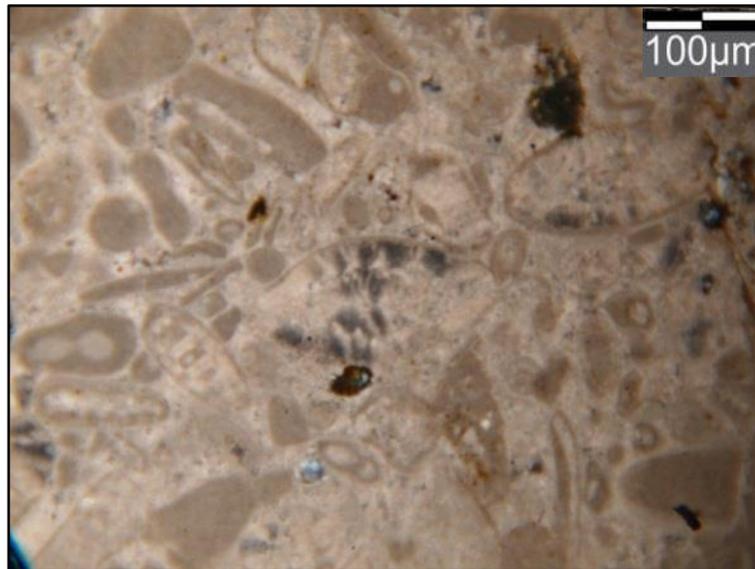


Fig 52 Sección fina MEM 06. Se observa fragmentos de moluscos foraminíferos bien preservados (nummulites) en matriz micrita. Objetivo 10x NX

➤ **MEM 11: Caliza soportada por lodo con más de 10% de granos (Wackestone)**

Muestra ubicada al sur de la zona de estudio, tomada en la cota 470 de la cantera, al este de la zona denominada frente de explotación. Las rocas de este afloramiento se presentan de carácter masivo, su color fresco es gris claro y

meteorizado gris oscuro (Fig 53), se encuentra en intercalaciones con lutitas y areniscas con un alto grado de compactación, diaclasadas con orientación preferencial de las diaclasas N25E25N. A esta muestra se le realiza el estudio de fluorescencia de rayos X y también se le realizó la descripción petrográfica de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.

Según el estudio de titulación y fluorescencia, esta es una roca que tiene un 77% de carbonatos totales, un significativo porcentaje de sílice (14,34%) y un bajo contenido de magnesio (1%). Para más detalles de estos estudios véase la tabla número 1.



Fig 53 Muestra de mano MEM 11

En sección fina (Fig 54) la muestra presenta una alta proporción de ortoquímicos (60%) con un 40% de matriz y 20% de cemento microespato, el restante porcentaje de esta sección es de aloquímicos (40%) compuesto por intraclastos (fragmentos de equinodermos, moluscos y algas, presencia de miliólidos y nummulites bien conservados), no posee extraclastos ni porosidad. Según las características de esta sección Folk (1962) clasifica la muestra

biomicrita esparcida. Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo

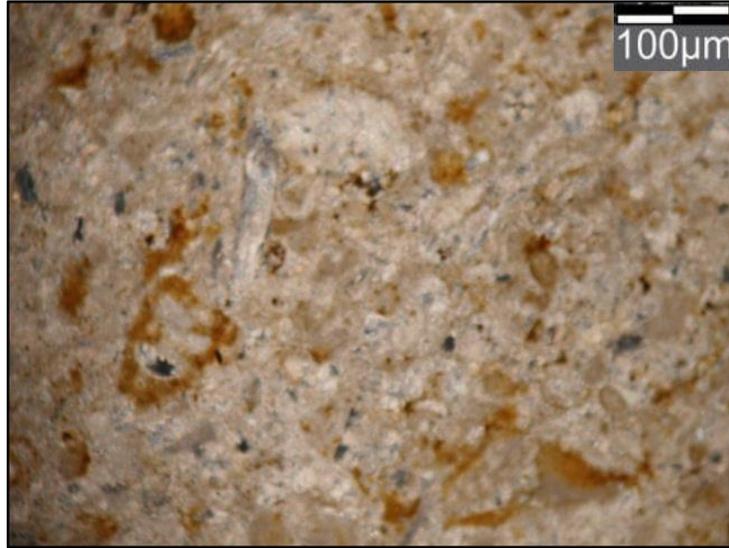


Fig 54 Sección fina MEM 11. Se observa fragmentos de moluscos y nummulites reemplazado por cemento microespato y gran cantidad de matriz. Objetivo 10x NX

➤ **MEM 13: Caliza Aloquímica Arenosa (*Packstone*)**

Muestra ubicada al norte de la zona de estudio, tomada en la cota 560 de la cantera, en contacto con otra litología, específicamente cherts de la UII. Las rocas de este afloramiento se presentan de carácter masivo, siguiendo el rumbo del plano de las diaclasas que siguen un rumbo preferencial marcadas por los cherts de la UII, su color fresco es gris claro con alto contenido de calcita y de color meteorizado marrón claro y gris, presenta una gran concentración de granos de calcita (Fig 55). A esta muestra se le realiza el estudio de fluorescencia de rayos X y también se le realizó la descripción petrográfica de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.

Según el estudio de titulación y fluorescencia, esta es una roca que tiene un 97% de carbonatos totales, un bajo porcentaje de sílice (1,15%) y un bajo contenido de magnesio (0,35%) por lo que es ideal para la empresa F.N.C. como materia prima para la elaboración de cemento. Para más detalles de estos estudios véase la tabla 1.



Fig 55 Muestra de mano MEM 13

En sección fina (Fig 56) la muestra presenta una 45% de ortoquímicos compuesto de un 15% de matriz y 30% de cemento que varía de microespato, pseudoespato a espato, tiene un porcentaje de aloquímicos de un 29% compuesto por intraclastos en su totalidad. También se pudo observar un 25% de extraclastos y aproximadamente un 1% de porosidad, al igual que la muestra, al ser estos extraclastos en su mayoría fragmentos de roca sedimentaria, se está en presencia de un aporte de sedimentos pertenecientes a una plataforma somera o zona de barreras. Según las características de esta sección la muestra es clasificada por Mount (1985) por contener un 25% de extraclastos como

Caliza Aloquímica Arenosa. Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo B.

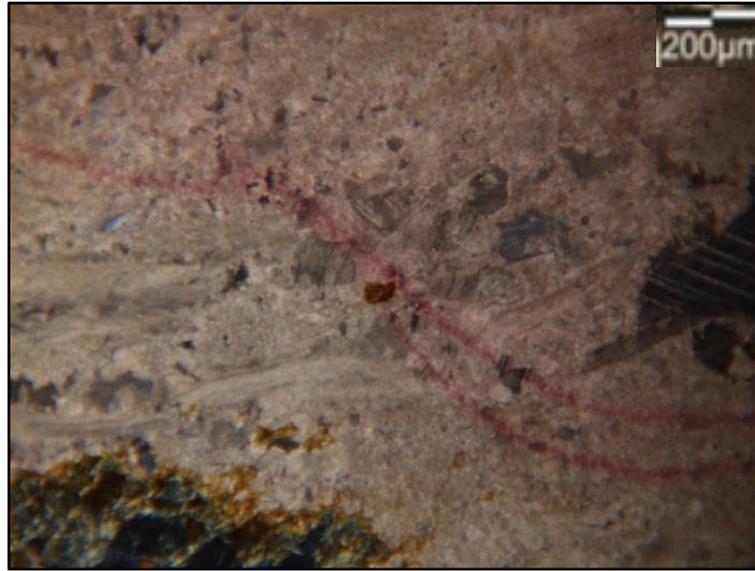


Fig 56 Sección fina MEM 13. Vista general de la sección, en ella podemos ver matriz, cemento, fragmentos de moluscos que presentan inversión homoaxial y fragmentos de roca sedimentaria. Objetivo 4x NX

➤ **MEM 15: Caliza soportada por granos (*Packstone*)**

Muestra ubicada al norte de la zona de estudio, tomada en la cota 540 de la cantera, en contacto con areniscas de la UII (Fig 57). Las rocas de este afloramiento se presentan con un alto grado de diaclasamiento cuya orientación preferencial de los planos es N35E65N, las diaclasas tienen un espaciamiento de aproximadamente de 20 cm, se presenta en alternancia con areniscas que miden aproximadamente 15cm de espesor, su color fresco es gris oscuro y marrón oscuro y de color meteorizado marrón claro y gris con una alta resistencia a romperse (Fig 58). A esta muestra no se le realiza el estudio de fluorescencia de rayos X y si se le realizó la descripción petrográfica de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.



Fig 57 Afloramiento de calizas donde se toma la muestra MEM 15

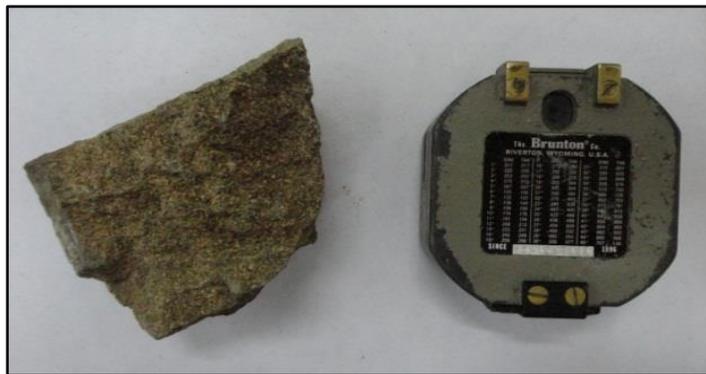


Fig 58 Muestra de mano MEM 15

En sección fina la muestra presenta una 25% de ortoquímicos compuesto de un 5% de matriz y 20% de cemento de tipo microspato y pseudoespato, tiene un porcentaje de aloquímicos de un 70% compuesto mayormente por fósiles de foraminíferos bien preservados (miliólidos y nummulites) y un 15% de intraclastos. También se pudo observar un 5% de extraclastos en bajo porcentaje de cuarzo volcánico y metamórfico policristalino y microcristalino (Fig 59, 60). Según las características de esta sección Folk (1962) clasifica la

muestra biomicrita agrupada. Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo B.

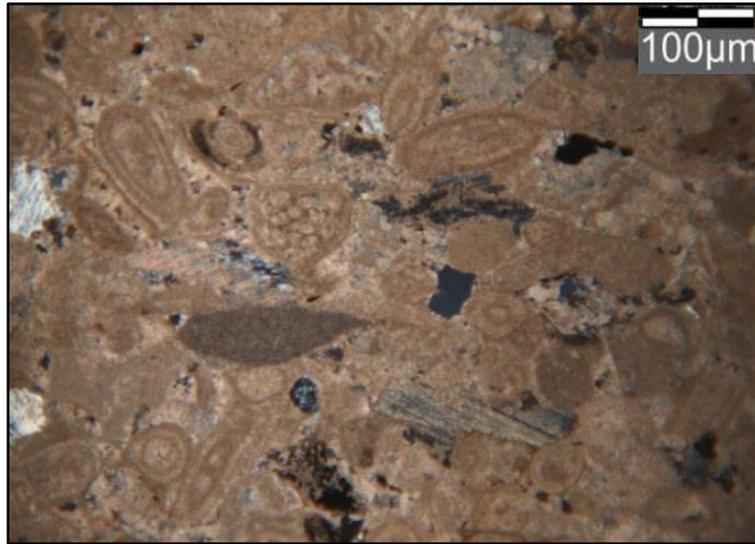


Fig 59 Sección fina MEM 15. Se observa fragmentos de moluscos y foraminíferos, fragmentos de roca sedimentaria y gran cantidad de micrita presente. Objetivo 10x NX

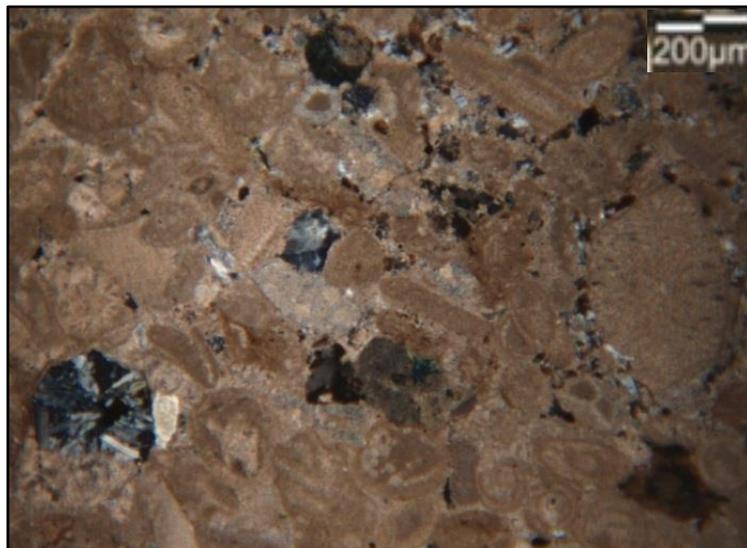


Fig 60 Sección fina MEM 15. Vista general. Objetivo 4x NX

➤ **MEM 21: Caliza soportada por lodo con más de 10% de granos
(*Wackestone*)**

Muestra ubicada al norte de la zona de estudio, tomada en la cota 610 de la cantera (Fig 61). Las rocas de este afloramiento se presentan masivas, compactas, sin planos de estratificación ni diaclasas, su color fresco es gris oscuro a negro y su color meteorizado gris claro con una alta resistencia a romperse (Fig 62). A esta muestra no se le realizó el estudio de fluorescencia de rayos X y si se le realizó la descripción petrográfica de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.



Fig 61 Afloramiento de la muestra MEM 21

En sección fina la muestra presenta una 65% de ortoquímicos compuesto de un 50% de matriz y 15% de cemento de tipo microespato y pseudoespato, tiene un porcentaje de aloquímicos de un 30% compuesto mayormente por fragmentos de moluscos y algas y un 15% de fósiles de foraminíferos bien preservados (miliólidos y nummulites) (Fig 63). También se pudo observar un

5% de extraclastos constituido por fragmentos de rocas sedimentarias, lo que indica un aporte de plataforma somera o zona de barrera. Según las características de esta sección Folk (1962) clasifica la muestra biomicrita esparcida. Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo B.

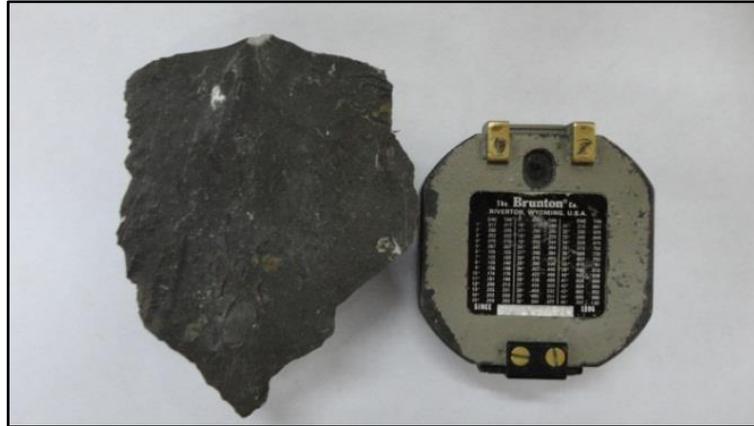


Fig 62 Muestra de mano MEM 21



Fig 63 Fragmento de molusco con cemento microespato, también se pueden observar fragmentos de rocas sedimentarias y micrita. Objetivo 4x NX

➤ **MEM 27: Caliza soportada por lodo con más de 10% de granos
(*Wackestone*)**

Muestra ubicada al sur de la zona de estudio, en el frente de explotación, tomada en la cota 520 de la cantera. Las rocas de este afloramiento se presentan masivas, compactas, con algunas fracturas sin orientación preferencial y con vetas de calcita igualmente sin orientación su color fresco es gris claro y su color meteorizado marrón claro y gris claro con una alta resistencia a romperse, se observa a escala macro huellas de fragmentos de bivalvos bien preservadas (Fig 64, 65). A esta muestra si se le realizó el estudio de fluorescencia de rayos X también se le realizó la descripción petrográfica de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.

Según el estudio de titulación y fluorescencia, esta es una roca que tiene un 90% de carbonatos totales, un porcentaje de sílice de un 5% y un bajo contenido de magnesio (1%). Para mayor información ver tabla 1.



Fig 64 Muestra de mano MEM 27

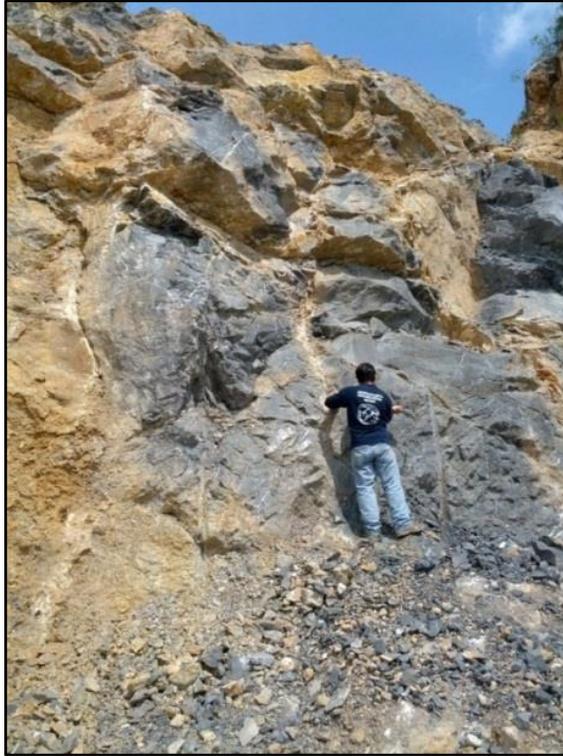


Fig 65 Afloramiento de la muestra MEM 27

En sección fina la muestra se identifica con claridad fragmentos de bivalvos bien preservados de tamaño de hasta 5mm, presenta una 60% de ortoquímicos compuesto de un 40% de matriz y 20% de cemento de tipo microspato y pseudoespato y escasamente se presenta cemento espato, tiene un porcentaje de aloquímicos de 35% compuesto mayormente por fragmentos de moluscos, algas y fragmentos de calizas y un 5% de fósiles de foraminíferos (Fig 66). También se pudo observar un 5% de extraclastos constituido por fragmentos de rocas sedimentarias, lo que indica un aporte de sedimentos de plataforma somera o zona de barrera. Según las características de esta sección Folk (1962) clasifica la muestra bioesparita escogida. Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo B.

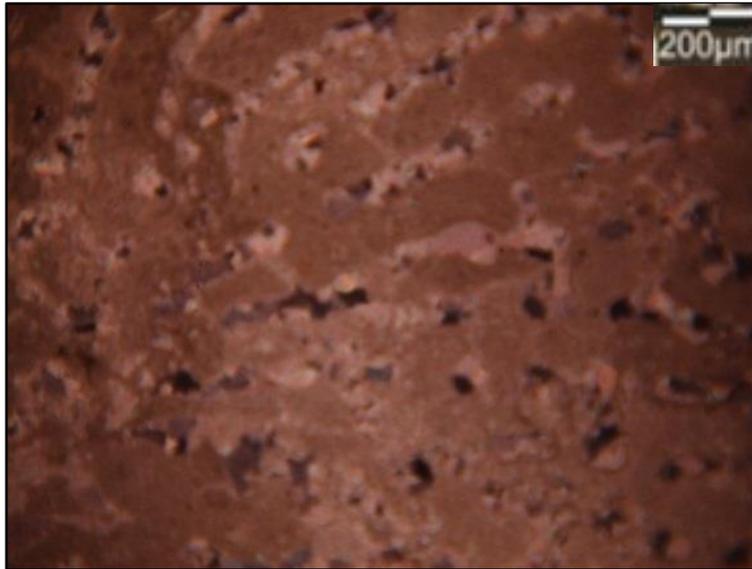


Fig 66 Fragmento de molusco con cemento pseudo espato y matriz micrita.
Objetivo 4x NX.

➤ **MEM 31: Caliza soportada por lodo con más de 10% de granos
(*Wackestone*)**

Muestra ubicada en el centro de la zona de estudio, hacia el este del frente de explotación, tomada en la cota 510 de la cantera (Fig 67). Las rocas de este afloramiento se presentan masivas, compactas, sin planos de estratificación ni diaclasas, con contenido de granos visibles macroscópicamente, su color fresco es marrón amarillento y su color meteorizado marrón claro. A esta muestra se le realizó el estudio de fluorescencia de rayos X y también se le realizó la descripción petrográfica de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.

Según el estudio de titulación y fluorescencia, esta es una roca que tiene un 90% de carbonatos totales, un porcentaje de sílice de un 3% y un muy bajo contenido de magnesio (0,2%) el más bajo registrado en toda la caracterización química realizada a las muestras de esta zona por lo que es considerablemente

apta como materia prima para la fabricación de cemento. Para más detalles de estos estudios véase la tabla 1.



Fig 67 Muestra de mano MEM 31

En sección fina presenta el mayor porcentaje de porosidad de todas las muestras pertenecientes a la UI (30%), posee un 45% de ortoquímicos compuesto de un 35% de matriz y 10% de cemento de tipo microspato, tiene un porcentaje de aloquímicos de 15% compuesto mayormente por fragmentos de equinodermos y algas y algunos fósiles de foraminíferos. También se pudo observar un 10% de extraclastos constituido por fragmentos de cuarzo ígneo volcánico y metamórfico microcristalino y policristalino (Fig 68), en mayor porcentaje presenta también fragmentos de rocas sedimentarias, lo que indica que su fuente de sedimentos pertenece a una zona de metamorfismo y de arco insular volcánico. Según las características de esta sección Folk (1962) clasifica la muestra biomicrita esparcida. Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo B.

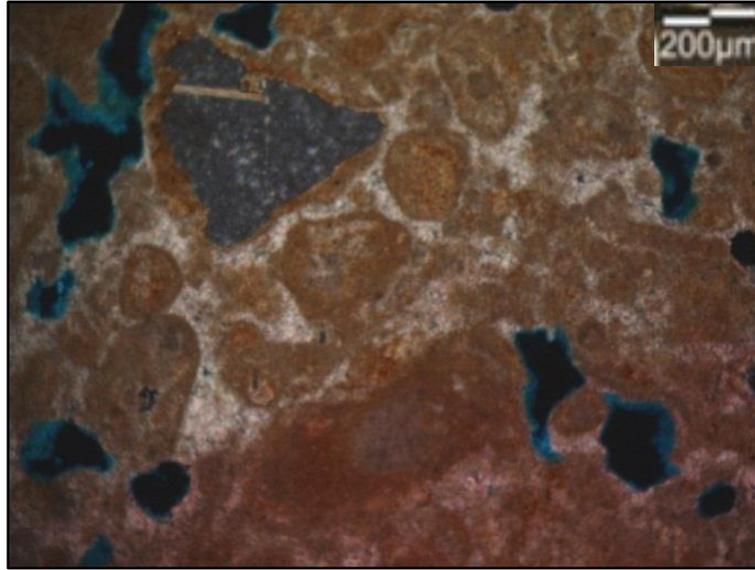


Fig 68 Se observa fragmentos de rocas, gran porosidad y fragmentos de moluscos y foraminíferos con procesos orgánicos de micritización de partículas esqueléticas, también se observa cemento microespato que se presenta recristalizado. Objetivo 4x NX

➤ **MEM 33: Caliza soportada por granos (*Packstone*)**

Muestra ubicada al sur de la zona de estudio, en el oeste del frente de explotación, tomada en la cota 500 de la cantera. Las rocas de este afloramiento se presentan masivas, compactas, sin planos de estratificación ni diaclasas, con vetas de calcita de 2 a 5mm de espesor. Su color fresco es gris oscuro a negro y meteorizado gris claro en ambos casos con vetas de calcita (Fig 69, 70). A esta muestra no se le realizó el estudio de fluorescencia de rayos X y si se le realizó la descripción petrográfica de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.

En sección fina presenta un 35% de ortoquímicos compuesto de un 20% de matriz y 15% de cemento de tipo microespato y pseudoespato (Fig 71), tiene un porcentaje de aloquímicos de 65% compuesto mayormente por fragmentos de equinodermos, moluscos y algas y algunos fósiles de foraminíferos

(nummulites). Según las características de esta sección Folk (1962) clasifica la muestra biomicrita mal lavada. Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo B.



Fig 69 muestra de mano MEM 33



Fig 70 Afloramiento de la muestra MEM 33

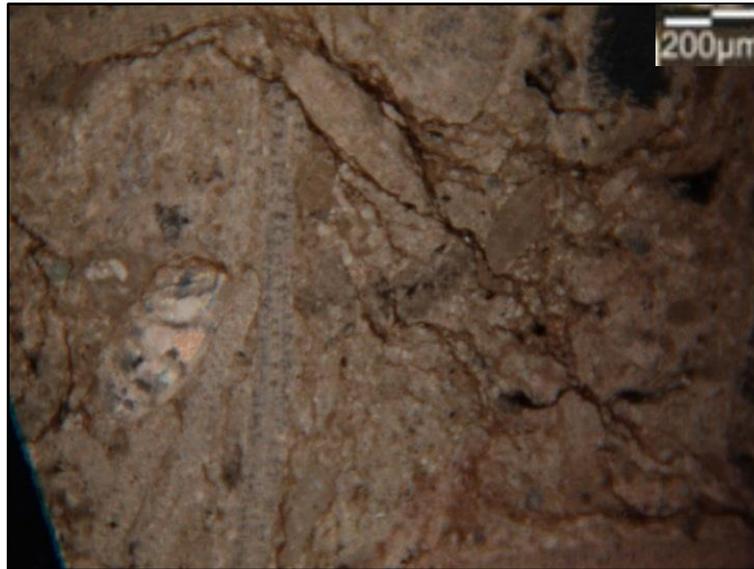


Fig 71 Vista general sección fina de muestra MEM33. Objetivo 4x NX

- **MEM 42:** Caliza soportada por lodo con menos de 10% de granos (*Mudstone*)

Muestra ubicada al sur de la zona de estudio, en todo el oeste del frente de explotación, tomada en la cota 420 de la cantera. Las rocas de este afloramiento se presentan masivas, compactas, sin planos de estratificación ni diaclasas, con granos de calcita y gran resistencia al romperse. Su color fresco es gris oscuro y meteorizado gris claro con marrón (Fig 72, 73). A esta muestra no se le realizó el estudio de fluorescencia de rayos X y si se le realizó la descripción petrográfica de acuerdo a los criterios de selección de muestras para tales estudios.

En sección fina presenta un 30% de ortoquímicos compuesto en su totalidad de micrita, tiene un porcentaje de aloquímicos de 60% compuesto mayormente por fósiles de nummulites y miliólidos bien preservados y un 15% de fragmentos de moluscos y algas (Fig 74). Según las características de esta

sección Folk (1962) clasifica la muestra como una biomicrita agrupada. Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo B.



Fig 72 Muestra de mano MEM 42



Fig 73 Afloramiento de calizas donde se tomó la muestra MEM 42

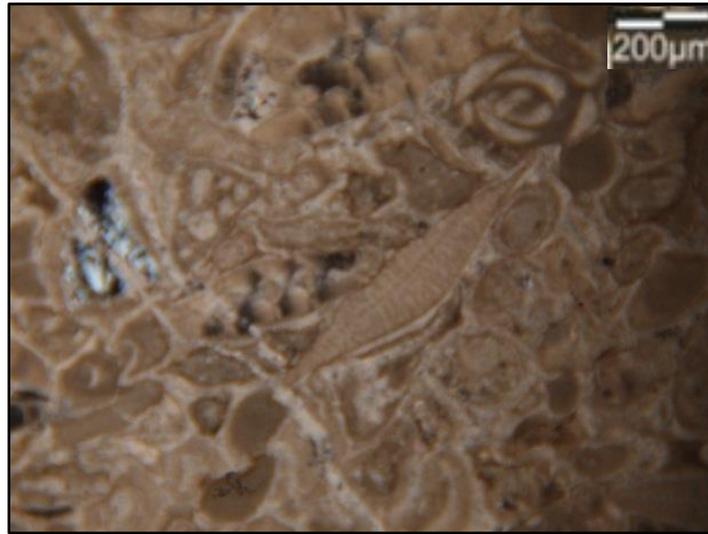


Fig 74 Sección fina MEM 42. Vista general de la muestra, se observa gran cantidad de aloquímicos en matriz micrita. Objetivo 4x NX

Del universo de las 10 muestras a las cuales se les realizó el análisis petrográfico, un total de 5 de ellas forman parte de las 22 muestras totales que se les realizó análisis químicos en el presente trabajo. Estas muestras se presentan los resultados de los análisis en la tabla siguiente:

Tabla 1. Análisis químicos realizados a las muestras de la Unidad I

MUESTRA	% CaCO ₃ (Titulación)	%CaCO ₃ (Frx)
MEM 06	91,49	92,53
MEM 11	82,03	77,96
MEM 13	96,76	97,15
MEM 27	91,56	90.04
MEM 31	92,17	90,53

**b) Unidad Litoestratigráfica (UII): Sedimentarias
detríticas, no cíclicas con material calcáreo**

• **Descripción litológica:**

Hacia el tope de esta unidad se observa un afloramiento de ftanitas (cherts (Fig 77).), con un color fresco negro y meteorizado negro parduzco, a lo largo del afloramiento los cherts se presentan estratificados y altamente diaclasados, en paquetes con un espesor aprox de 10m, en algunas zonas del afloramiento estos presentan amplias fracturas que representan plegamientos con intercalaciones de lutitas de color marrón. Contienen pequeñas vetas de cuarzo 0.5 a 1 cm de espesor, son densos y su escala de dureza de Mohs va de 6 a 7, por ser de carácter netamente silíceo no se observa contenido fosilífero (Fig 76). Hacia la base de esta unidad aflora una intercalación de areniscas y lutitas; en una secuencia tipo flysch, las areniscas son de color marrón y grano creciente hacia la base, algunas areniscas presentan un tamaño de grano medio y fino, las capas alcanzan un espesor promedio que va de 5 a 20 cm, se observa macroscópicamente la composición de la arenisca por granos de cuarzo, feldespatos, calcita y micas. Las capas de lutitas son de color marrón y presentan abigarramiento, en un afloramiento de 200m aproximadamente se observan pliegues cerrados lo que indica la dirección de los esfuerzos compresivos y la magnitud de estos esfuerzos (Fig 75).



Fig 75 Afloramiento de la Unidad II. Se observa intercalación de Arenisca-Lutita plegada.



Fig 76 Afloramiento de la Unidad II. Se observa intercalación de Cherts-Lutitas.



Fig 77 Muestra de mano de cherts.

- **Distribución y ubicación:**

Representada en el mapa geológico de color crema (UII). Se localiza en el cerro el Chupadero y cerro el Tosano, distribuyéndose en un 30% dentro de la región estudiada.

- **Contacto:**

La base de la unidad (UII) se encuentra en contacto tectónico (falla transcurrente dextral con componente inversa) con las rocas Cíclicas de origen turbidítico de la unidad (UIII). Realizando una consulta al mapa de CORPOVEN (1995), esta falla presente forma parte del “corrimiento de Cantagallo” aunque no se hallaron evidencias del mismo, que aflora a lo largo de la extensión regional de la zona en estudio. De igual manera la unidad se encuentra en contacto discordante abrupto con las rocas Volcánicas de la unidad (VI).

- **Paleoambiente:**

Según Vivas & Macsotay (1997) refieren las características de esta unidad a la que corresponde formalmente en el Léxico Estratigráfico de

Venezuela con la Formación Caramacate y está asociada a un paleoambiente batial inferior, depositado sobre un talud de arco volcánico insular.

- **Descripción generalizada de análisis petrográficos realizados a la UII**

Tal y como se estableció en el Capítulo I, se utilizó un criterio para la selección de las muestras. Para esta unidad se analizaron 3 muestras bajo microscopio de luz polarizante, recolectadas en la UII de manera tal que proporcione información mineralógica de la zona en estudio.

A continuación se presenta la ubicación de las muestras estudiadas y una descripción más detallada de las muestras de esta unidad (Fig 78).

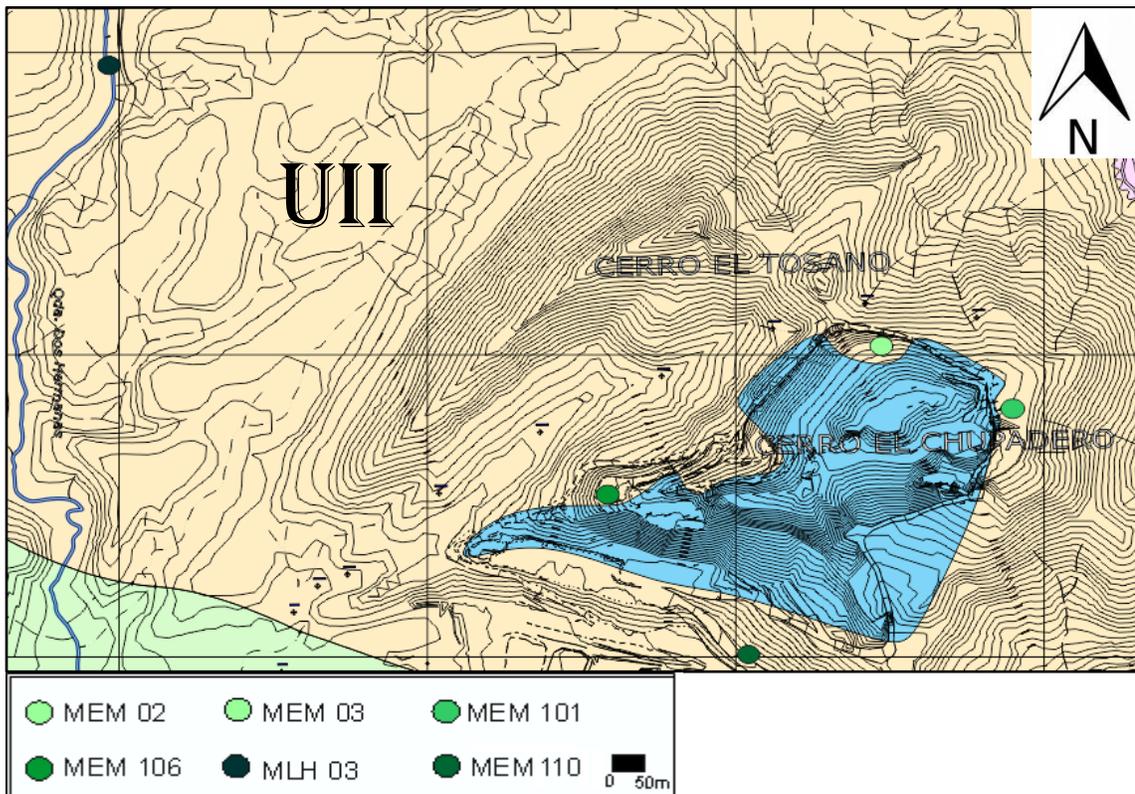


Fig 78 Mapa de ubicación de muestras de la Unidad II a las que se les realizó sección fina

Las seis secciones finas analizadas petrográficamente correspondientes a la muestra de mano de esta unidad fueron clasificadas según Petitjohn (1987) como Grauvaca Feldespática (MEM110 y MEM03) y Grauvaca Cuarzosa (MEM02 y MLH03). Las otras dos muestras son clasificadas como carbonatos de mezcla (MEM101 y MEM106), denominadas así por Mount (1985) por ser rocas carbonáticas cuyo contenido de sedimentos clásticos es superior al 10%, de esta manera se obtuvo una muestra denominada Arenisca Aloquímica y la otra denominada Micrita Arenosa.

En la muestra denominada grauvaca feldespática (Fig 79) los granos se presentan medianamente escogidos y presentan un grado de redondez de subangulosos a subredondeados y el contacto entre ellos es del tipo grano-matriz en mayor proporción y también se evidencian contactos longitudinales. La matriz está conformada por óxido de hierro (hematita, material oscuro) e hidróxido de hierro (goetita, material rojo claro, naranja o amarillento) y material carbonático, como forros o envoltorios sobre los granos y material carbonático. El cemento está conformado por cuarzo y minerales carbonáticos, la porosidad es de tipo intergranular y móldica mayormente en aproximadamente un 10%, también se presenta en menor proporción porosidad de fractura. El grado de compactación es de medio a bajo.

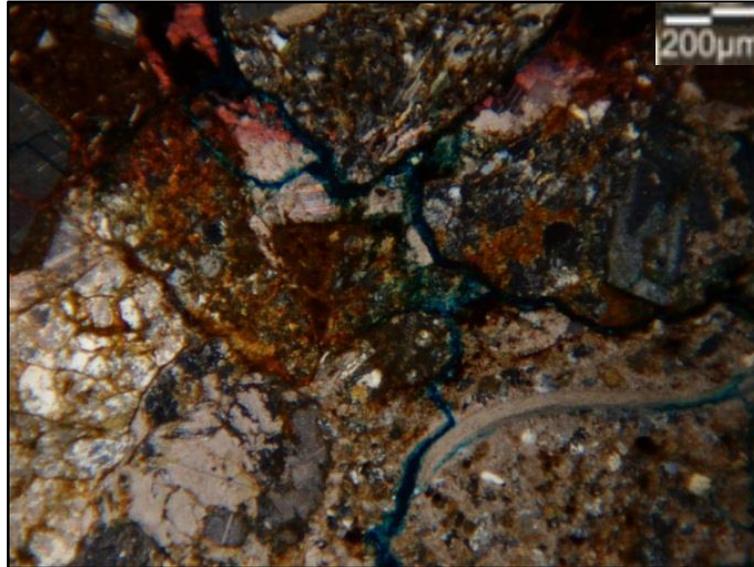


Fig 79 Sección fina MEM 03. Grauvaca Feldespática. Vista general. Objetivo 4x

En la muestra denominada grauvaca cuarzosa (Fig 80) los granos se presentan medianamente escogidos y presentan un grado de redondez subangulosos y el contacto entre ellos es del tipo grano-matriz en mayor proporción y también se evidencian contactos longitudinales. La matriz está conformada por óxido de hierro (hematita, material oscuro) e hidróxido de hierro (goetita, material rojo claro, naranja o amarillento) y material carbonático en menor proporción, como forros o envoltorios sobre los granos. La porosidad es de fractura aproximadamente en un 3%. El grado de compactación es de medio a alto. Se observa el cuarzo en sus variedades: extinción ondulatoria, microgranular, policristalino. Los minerales están distribuidos de forma heterogénea en la sección. Se observan otros minerales como: plagioclasas, feldespatos, moscovita, minerales de arcilla.



Fig 80 Sección fina MEM 02. Grauvaca cuarzosa con material calcáreo. Vista general. Objetivo 4x

Para la Arenisca Aloquímica (Fig 81) estudiada en sección fina presenta un 65% de ortoquímicos compuesto en su totalidad de cemento microespato a pseudoespato, tiene un porcentaje de aloquímicos de 5% compuesto de intraclastos y fósiles foraminíferos con proceso de reemplazamiento por glauconitización lo que indica una alteración diagenética en un ambiente de sedimentación marino somero. También se pudo observar un 20% de extraclastos, con cuarzo ígneo volcánico y microcristalino metamórfico en mayor proporción, fragmentos de roca y algunos minerales accesorios como glauconita, lo que nos indica que la procedencia del aporte de sedimentos es marino somero y en una zona de metamorfismo (cordillera de la costa). Según las características de esta sección la muestra es clasificada por Mount (1985) por contener un 40% de extraclastos como Arenisca Aloquímica. Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo B.

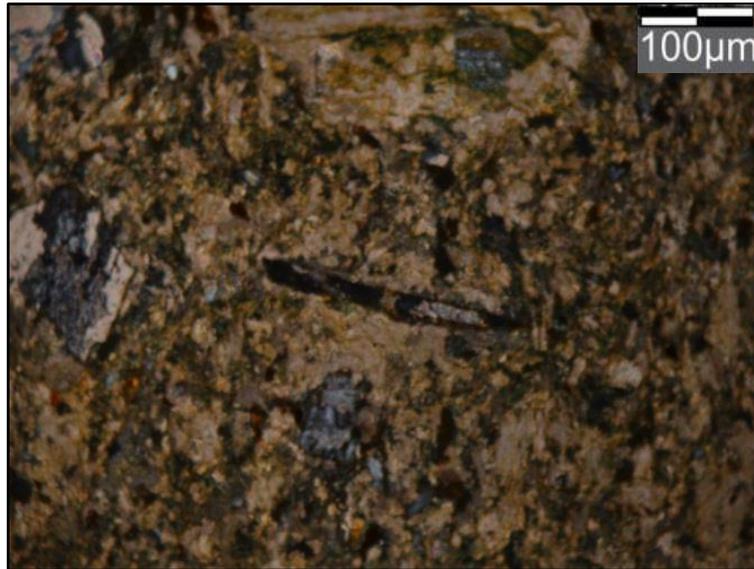


Fig 81 sección MEM 101. Arenisca alquímica, se observa fragmentos de molusco reemplazado por cemento y fragmentos de extraclastos. Objetivo 10x derecha NX.

Para la muestra clasificada como Micrita Arenosa (Fig 82, 83, 84, 85), en sección fina presenta un 35% de ortoquímicos compuestos de matriz en mayor proporción y de cemento microespato a pseudoespato en un 10%, tiene un porcentaje de aloquímicos de 22% compuesto de intraclastos (fragmento de moluscos y algas) y fósiles foraminíferos (nummulites) bien conservados con proceso de reemplazamiento por glauconitización lo que indica una alteración diagenética en un ambiente de sedimentación marino somero. También se pudo observar un 40% de extraclastos, con cuarzo ígneo volcánico y policristalino metamórfico en mayor proporción, fragmentos de roca sedimentaria y una proporción de minerales accesorios como glauconita, lo que indica que la procedencia del aporte de sedimentos es marino somero y de una zona de metamorfismo (Cordillera de la Costa). En la muestra se evidencia un cambio brusco de tamaño de grano, así pues pasa de micrita a granos bien orientados y luego de nuevo matriz micrita, lo que puede decir que en la zona donde se tomó esta muestra hubo una variación en el régimen hidráulico y como consecuencia

un cambio de fuente de sedimentos; así pues, la zona de matriz con granos bien orientados indica una depositación en ambiente de baja energía, luego se presenta una gran cantidad de granos de diversas procedencias (cuarzo ígneo metamórfico, fragmentos de roca sedimentaria, plagioclasas, etc.), fósiles bien preservados y en algunos casos glauconitizados que indica una depositación en ambiente de alta energía con un contacto perfectamente suturado entre ambas. Según las características de esta sección la muestra es clasificada por Mount (1985) por contener un 40% de extraclastos como Micrita Arenosa. Para más información véase la planilla de esta sección en el anexo B.

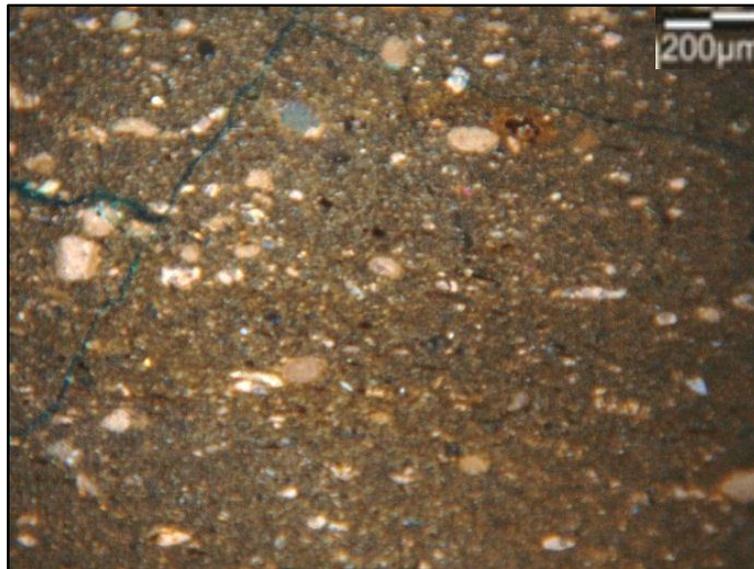


Fig 82 Sección fina MEM 106. Se observa matriz con granos que tienen una orientación preferencial, esta es la zona de depositación en ambiente de baja energía. Objetivo 4x NX

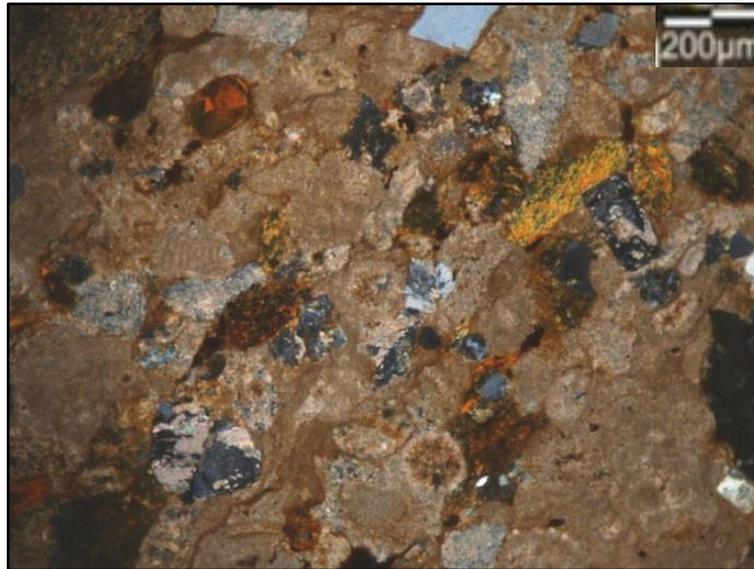


Fig 83 sección MEM 106 se observa matriz con granos de diversas procedencias (Qz ígneo volcánico y metamórfico, fragmentos de roca sedimentaria) subredondeados, fragmentos de moluscos y glauconita. Esta es la zona de depositación en ambiente de baja energía. Objetivo 4x NX.

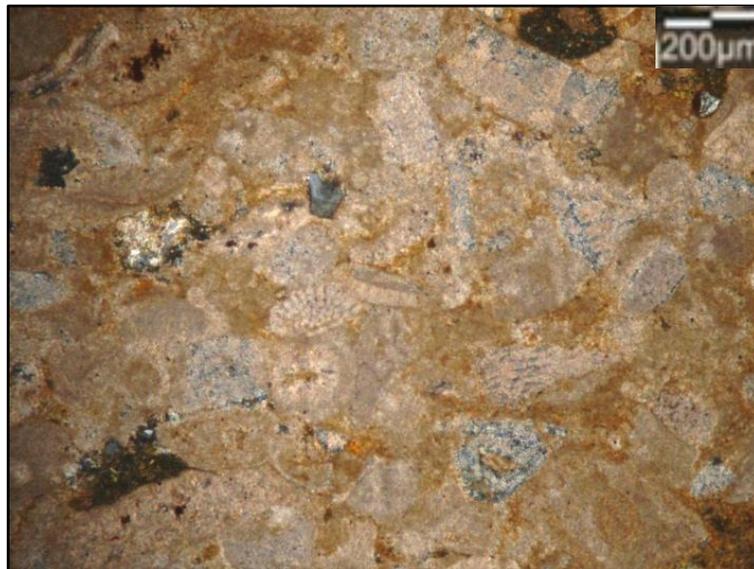


Fig 84 sección MEM 106 Se observan foraminíferos bien preservados, algunos con reemplazo de cemento y fragmentos de algas, esta es la zona de depositación en ambiente de alta energía. Objetivo 4x NX

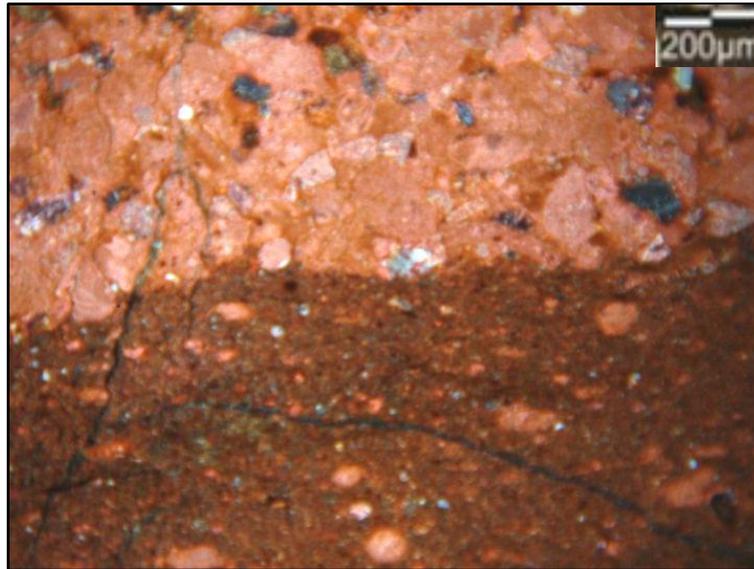


Fig 85 sección MEM 106 Zona de contacto entre deposición de ambientes de alta y baja energía. Observe que el contacto. Objetivo 4x NX

c) Unidad Litoestratigráfica (UIII): Sedimentarias detríticas. cíclicas.

• Descripción litológica:

Es descrita como una unidad de flujo-turbiditas compuesta de conglomerados, areniscas intercaladas con lutitas y en algunas zonas se observan intercalaciones de arenisca-lutita y calizas, estas calizas tienen un espesor promedio de 20 cm, con algunos casos donde se observan bloques de 5m de espesor. Los conglomerados (Fig 89) se observan en el curso medio de la quebrada Dos Hermanas y se presentan en capas de 2 a 15 m, de color gris verdoso, muy endurecidos, masivos y pobremente escogidos. Están compuestos por una variedad de fragmentos de rocas de unos 10 cm de diámetro promedio, que incluyen rocas sedimentarias, volcánicas, metamórfica. Hacia el curso medio de la quebrada Las Hermanas se observan intercalaciones de arenisca y lutita con un metamorfismo bajo (Fig 86, 87), ocasionalmente entre las intercalaciones

mencionadas anteriormente afloran capas de lo que se caracterizó como meta-ftanita (metacherts) (Fig 88) con espesores promedio del afloramiento de 1 a 2 m.

- **Distribución y ubicación:**

Representadas en el mapa geológico con el color verde. Se ubica en la franja sur de la cantera abarcando la parte sur de las quebradas Las Hermanas y Dos Hermanas. Ocupa un 25 % del mapa.

- **Contacto:**

Esta unidad infrayace en contacto tectónico (de falla) a la unidad (UII) y la unidad (UIV).

- **Paleoambiente:**

Como paleoambiente en la unidad (UII), se sugiere batial, característico para sedimentos controlados por gravedad en frente del arco de islas de la Faja de Villa de Cura. Pindell *“et al.”*(2005) indican que el lugar de origen de la formación fue como parte del cinturón acrecional de lo que fuera el arco del Caribe avanzando hacia el sureste, hasta ser adosado sobre las unidades volcánicas y sedimentarias del norte de Venezuela hasta tomar la configuración actual.



Fig 86 Muestra de mano de lutita metamorfizada. Ubicación qda. Las Hermanas



Fig 87 Muestra de mano arenisca grano medio. Ubicación qda. La Hermana



Fig 88 Afloramiento qda. La Hermana. Cherts plegados.



Fig 89 Afloramiento qda. Dos Hermanas. Conglomerado. Se observan
clastos de diferentes tamaños y composición

- **Descripción generalizada de análisis petrográficos realizados a la UIII**

Tal y como se estableció el criterio de selección de muestras en el Capítulo I, se seleccionaron las muestras a las cuales se les hacen los diferentes análisis, ya que son claves para proveer información sobre la caracterización de la zona que estamos realizando en el presente trabajo.

Para esta unidad se analizaron 5 muestras bajo microscopio de luz polarizante, recolectadas aleatoriamente en la unidad (UIII) (Fig 90) y de manera que abarcaran toda su extensión, las planillas de las muestras estudiadas pueden verse en el anexo B.

Del 100% de las secciones finas analizadas, las petrografías correspondientes a la muestra de mano de la unidad se clasificaron como Toba Lítica (MLH06 Y MLH09), Brecha de Flujo (MDH#3), Conglomerado Polimíctico (MDH01) y Caliza (MDH20).

La clasificación de Tobas y Cenizas de Schmidt (1981) fue la utilizada para definir el nombre de las Tobas presentes en el análisis petrográfico de la unidad en estudio; así mismo se utilizó el criterio de clasificación de Méndez Baamonde (modificado de BOGGS, 1992) para el conglomerado.

A continuación presentamos la ubicación de las muestras estudiadas y una descripción más detallada de las muestras de esta unidad.

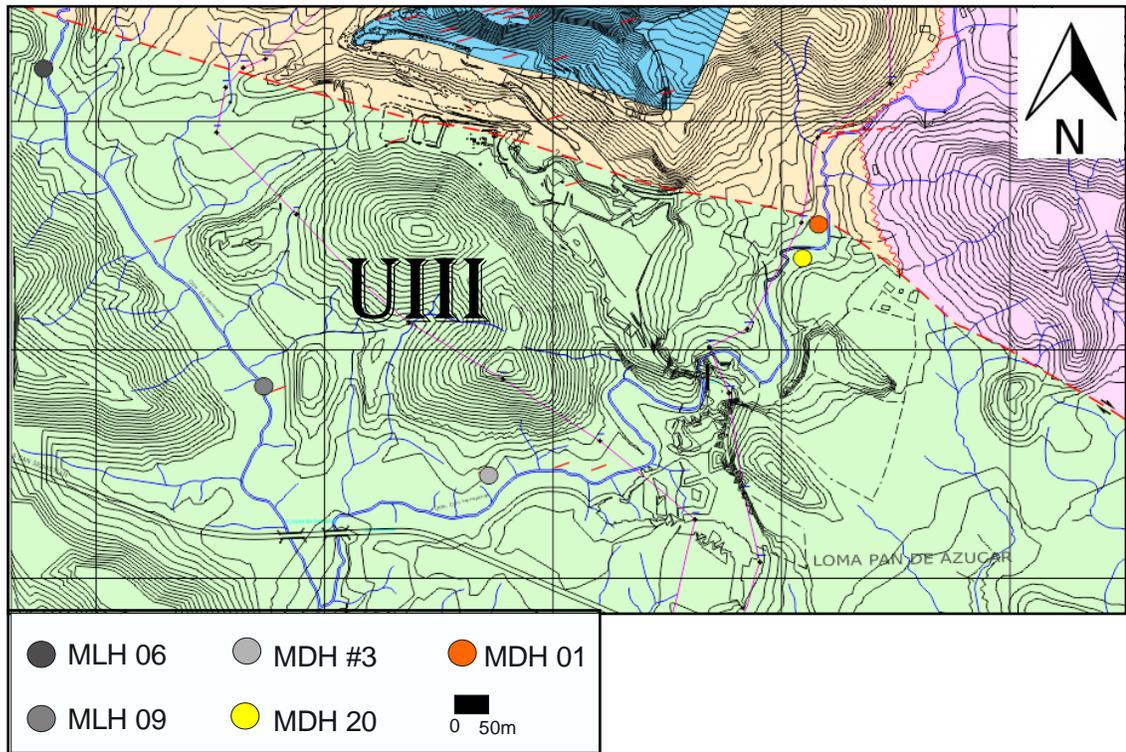


Fig 90 Mapa ubicación de muestras de la UIII a las que se le realizó petrografía

Para las Tobas Líticas la fracción más importante está constituida por fragmentos de roca. Cristales pirogénicos fracturados en cantidades subordinadas. Dichos fragmentos de cristales están formados principalmente de plagioclasas y piroxenos. La matriz está constituida de cuarzo (metamórfico, ígneo y sedimentario), feldespatos alcalinos y microlitos de plagioclasas.

Los fragmentos de rocas están compuestos por una matriz vítrea microcristalina con presencia de pequeños cristales que posiblemente sean plagioclasas las cuales en algunas muestras se observan alineadas y en otras no tanto. Este tipo de fragmentos de roca volcánica se encuentra distribuido en la mayoría de las muestras. Presentan un tamaño generalmente medio, con bordes

subangulares y esfericidad baja a muy baja. Representan el 70% de la roca mientras que los cristales constituyen el 30% de la muestra.

En una de las muestras de estas características existe un contacto entre dos texturas producto de erupciones ocurridas en diferentes tiempos: Lava toelítica, textura amigdalíode (clorita plumosa rodeada de óxido con amígdalas grandes y pequeñas. Plagioclasas y matriz fina) y Toba lítica, textura porfídica (Fragmentos de roca compuestos principalmente de lava volcánica en la cual se pueden apreciar microlitos de la matriz con fenocristales de plagioclasas y piroxenos principalmente).

En la sección correspondiente a la Brecha de Flujo (Fig 91) de manera generalizada se pudo evidenciar que los fragmentos son principalmente subangulosos. Los cristales están constituidos por: fragmentos de chert (los cuales presentan impurezas de minerales de arcilla), cuarzo metamórfico, cuarzo ígneo y cuarzo sedimentario, calcita, plagioclasas medianamente alteradas, sericita (producto de la alteración de las plagioclasas) y antigorita (serpentina).

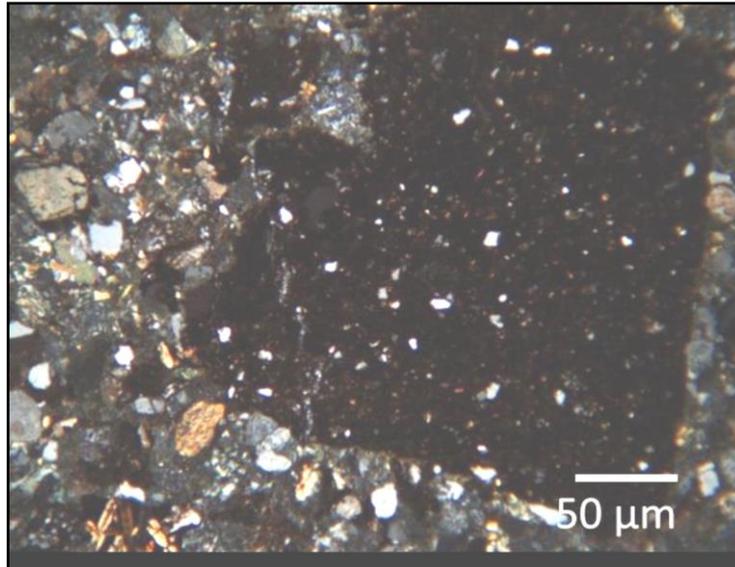


Fig 91 . Vista general sección fina MDH #3, se observa fragmento de roca (lítica volcánica). Objetivo 20x NX

Para el análisis correspondiente a la muestra clasificada como Conglomerado Polimíctico (Fig 92) los componentes principales son: 20% de cuarzo volcánico y 10% de cuarzo policristalino metamórfico; fragmentos de roca: 15% metamórficos (serpentinita), 5% ígneos (basálticos y tobas); 5% sedimentarios (lutitas y limolitas), 5% fragmentos de plagioclasa, 5% fragmentos de piroxenos, 1% chert; 1% de accesorios (óxidos), 2% Prehnita, 1% de clorita. Contiene 25% de matriz de minerales de arcilla y 5% de cemento (Calcita) mineral carbonático como reemplazo y micritizando a la matriz y algunas veces presente en vetas, cuarzo como sobrecrecimiento de granos y óxidos de hierro rellenando poros.

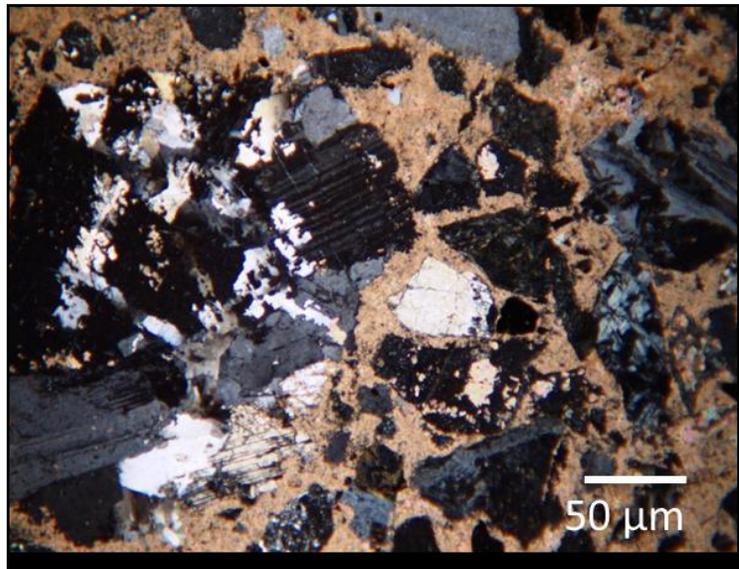


Fig 92 Sección fina MDH 01. Conglomerado polimíctico. Se observan fragmentos de roca (metamórfica y sedimentaria) y fragmentos de plagioclasa y matriz carbonática. Objetivo 20x NX.

Y la muestra clasificada como caliza (Fig 93) se caracteriza por contener un 25% fragmentos de roca volcánica en la cual los cristales de plagioclasa (andesita) se encuentran muy alterados pero euhedrales; 5% de fragmentos de chert. Presencia de fósiles con reemplazamiento; contiene 25% de matriz de

minerales de arcilla y carbonato; 5% de cemento (calcita) mineral carbonático como reemplazo y micritizando a matriz, 5% de porosidad.



Fig 93 Sección fina MDH20. Fósil con reemplazamiento. Fragmento de Roca volcánica (hacia la izquierda).
Objetivo 20x NX.

d) Unidad Litoestratigráfica (UIV): Rocas Volcánicas.

• Descripción Litológica:

Tobas volcánicas y aglomerados (Fig 94, 95). En la muestra de mano del afloramiento de las tobas se observan fenocristales de plagioclasas y piroxenos, con matriz recrystalizada a clorita, albita, calcita y epidoto. También se observan lavas con textura amigdaloides (Fig 96).



Fig 94 Afloramiento de conglomerado de rocas volcánicas. Ubicado en la qda. Las Hermanas

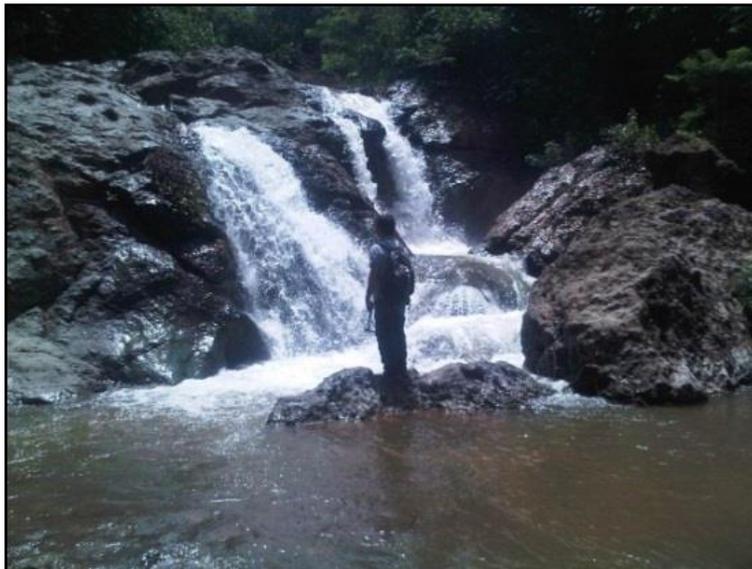


Fig 95 Contacto tectónico entre UIII y UIV. Ubicación qda Dos Hermanas



Fig 96 Lavas con textura amigdaloides. Ubicación qda. Dos Hermanas

- **Distribución y ubicación:**

Representadas en el mapa geológico con el color morado (Fig 97). Se ubica en el curso medio de la quebrada Las Dos Hermanas, en contacto tectónico (de falla) con la unidad (UIII). Este afloramiento distribuye en el área noreste de la zona en estudio, abarcando aproximadamente un 15% en el mapa.

- **Contacto:**

Se encuentra en contacto tectónico (falla transcurrente dextral con componente inversa) con la unidad (UIII) de la que se presume pertenece al sistema de fallas del Corrimiento de Cantagallo, y en contacto discordante abrupto con la unidad (UII).

- **Geoquímica y paleoambiente:**

Estas rocas pertenecen según varios autores a lo que se conoce formalmente como Formación Las Hermanas. Los estudios geoquímicos llevados a cabo por Loubet *et al.* (1980, 1985), Girard (1981), Navarro (1983, 1985), Beck (1985, 1986), Ostos y Navarro (1986) concuerdan en interpretar que estas rocas han sido formadas en un ambiente de arco de islas. Las muestras estudiadas por Giunta *et al.* (1995, p. 8) indican una composición basáltica - andesítica con una afinidad de serie de arco toleítico transicional (IAT) y calcoalcalino (CA).

- **Descripción generalizada de análisis petrográficos realizados a la UIV**

Tal y como se estableció en el Capítulo I, se utilizó un criterio para la selección de las muestras a las cuales les hacemos especial hincapié, ya que son claves para proveer información sobre la caracterización de la zona que estamos realizando en el presente trabajo.

Para esta subunidad se analizaron 6 muestras bajo microscopio de luz polarizada, recolectadas aleatoriamente en la UIV (Fig 97) y de manera que abarcaran toda su extensión, las planillas de las muestras estudiadas pueden verse en el anexo B.

Del 100% de las secciones finas analizadas, las petrografías correspondientes a la muestra de mano de la unidad se clasificaron como Toba Litica (MDH14), Brecha de Flujo (MDH10), Toba Cristalina (MDH12, MDH16 y MDH03) y Brecha de Caliza (MDH13).

La clasificación de Tobas y Cenizas según Schmid (1981) fue la utilizada para establecer el nombre de las muestras estudiadas. Esta clasificación considera los porcentajes presentes de vidrio, cristales y fragmentos de rocas.

Para clasificar las Brechas se utilizó un criterio basado en: vista de los afloramientos en campo, petrografía, composición mineralógica, grado de angularidad y disposición de los granos en la muestra observada en microscopio. Así pues, para las brechas de flujo se tomó en cuenta los distintos tipos de flujo de minerales presentes en ella y para las brechas de calizas los minerales de origen sedimentario presentes en la sección observada.

A continuación presentamos la ubicación de las muestras estudiadas y una descripción más detallada de las muestras de esta unidad.

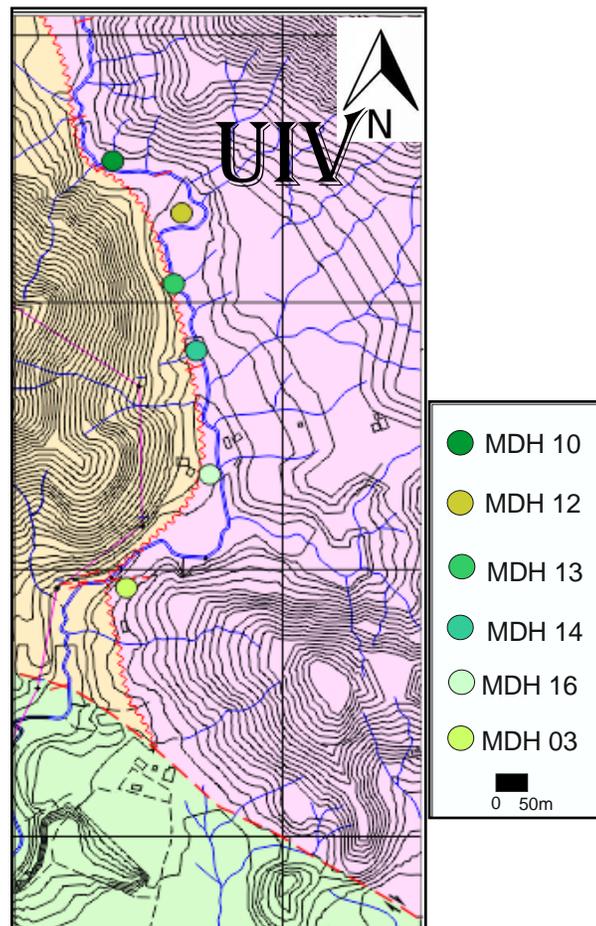


Fig 97 Mapa Ubicación muestras de la Unidad IV que se les realizó estudios petrográficos

En la muestra denominada la Toba Lítica (Fig 98, 99) la fracción más importante está constituida por fragmentos de roca. Cristales pirogénicos fracturados en cantidades subordinadas. Dichos fragmentos de cristales están formados principalmente de plagioclasa y piroxenos. Presenta una matriz constituida de cuarzo (Metamórfico e ígneo), feldespato alcalino y microlitos de plagioclasas. Abundancia de carbonato. Los fragmentos de roca son principalmente de origen volcánico y están compuestos por una matriz vítrea microcristalina con presencia de pequeños cristales que posiblemente sean plagioclasas las cuales en algunas muestras se observan alineadas y en otras no tanto. Este tipo de fragmentos de roca volcánica se encuentra distribuido en la mayoría de las muestras. Presentan un tamaño generalmente medio, con bordes subangulares y esfericidad baja a muy baja.

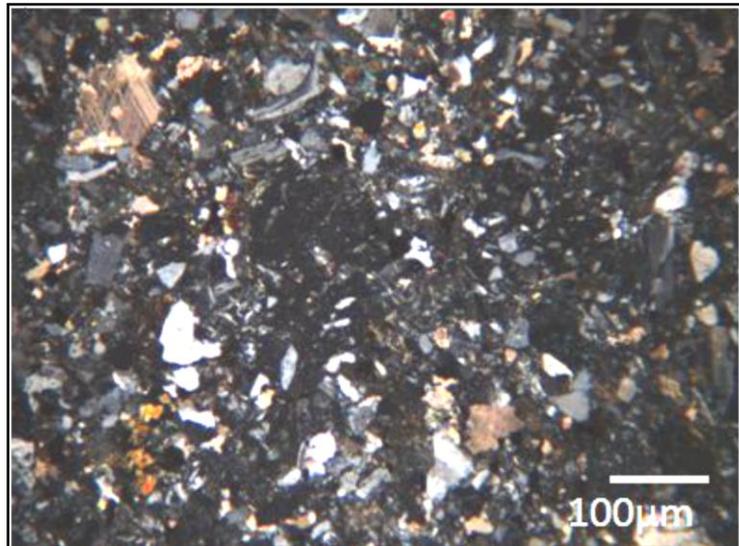


Fig 98 Vista general de la sección fina MDH14. Objetivo 10x NX.

En la Brecha de Flujo los fragmentos son principalmente sub-angulosos. Los cristales están constituidos por: Fragmentos de Chert (los cuales presentan impurezas de minerales de arcilla), Cuarzo metamórfico, cuarzo ígneo y cuarzo

sedimentario, calcita, plagioclasas medianamente alteradas, sericita (producto de la alteración de las plagioclasas) y antigorita (serpentina). Matriz: Constituida principalmente por material de arcilla, calcita y clorita lo cual indica gran alteración. Se detallan fragmentos líticos volcánicos incorporados durante el flujo.

Para las muestras de roca denominadas como Toba Cristalina (Fig 100) se observa composición principal de cristales y fragmentos de cristales. Presentan localmente fragmentos líticos (principalmente fragmentos de lava) cuya proporción alcanza el 15% del total de la roca. La mineralogía está compuesta de piroxenos y plagioclasas. Los cristales están agrietados comúnmente y corroídos además de presentar fragmentos muy angulosos. Se encuentran pequeñas vetas de cuarzo dentro de la muestra y fragmentos de cristales que en condiciones no explosivas habrían formado fenocristales en las lavas.

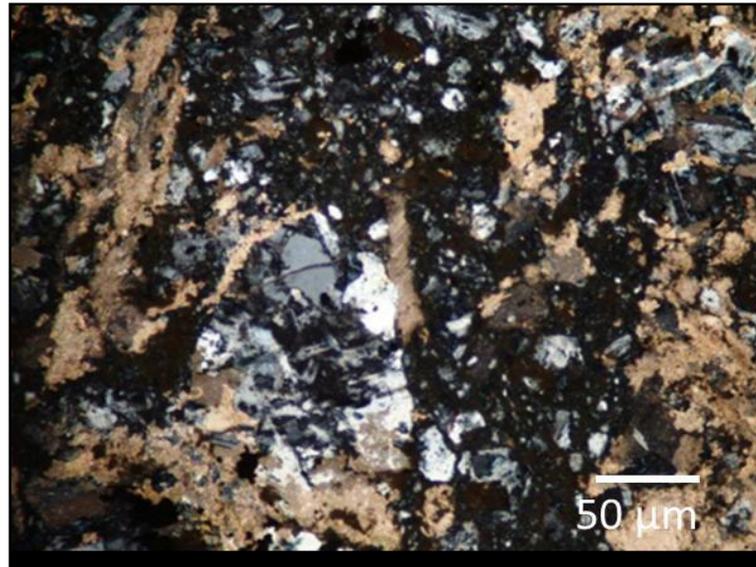


Fig 99 Vista general de la sección fina MDH14. Se observa la matriz, cristales de plagioclasa y cuarzo y fragmentos de roca. Objetivo 20x NX.

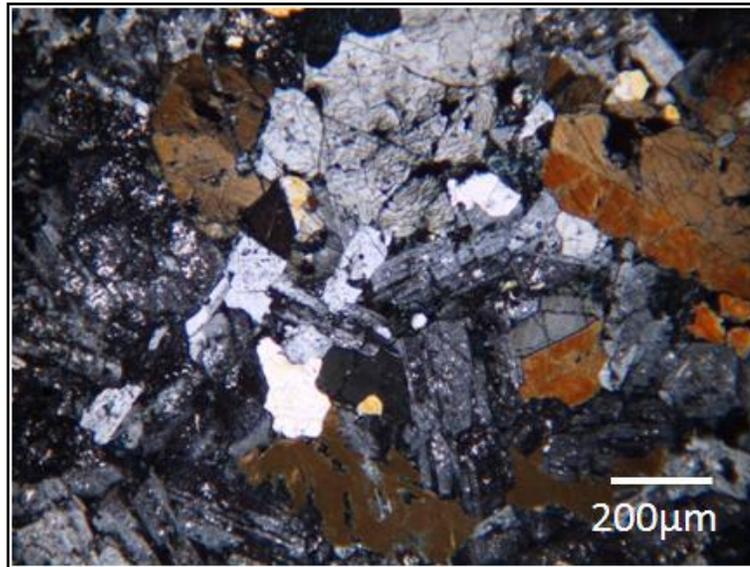


Fig 100 Vista general sección fina MDH12. Objetivo 4x NX

Por último la muestra caracterizada como Brecha de Caliza (Fig 101), esta se encuentra constituida principalmente por una matriz 50%, fragmentos de cristales 25% y fragmentos fosilíferos en un 15% y fragmentos de roca 5% . Ausencia de cuarzo. Cristales de piroxenos y plagioclasas muy alterados. Los fósiles se encuentran recristalizados y con reemplazamiento.

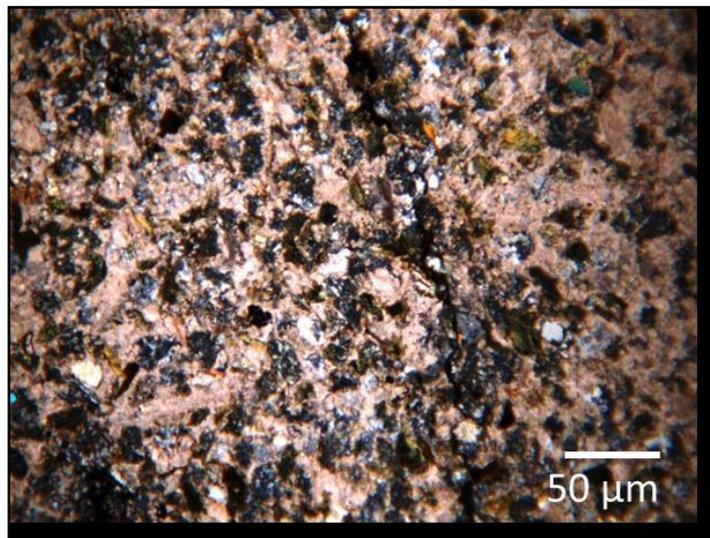


Fig 101 Vista general sección fina MDH13. Objetivo 20x NX.

Como resultado final de esta caracterización presentamos el mapa de unidades informales que abarca toda el área antes mencionada y que se puede ver en el anexo A.

4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

Grande (2005), considera que La Cordillera de la Costa fue originada por una colisión rasante, en un régimen transpresivo, en la que el choque oblicuo de la placa del Caribe y del sistema arco-trinchera del arco de Grenada con el margen pasivo mesozoico del norte de Sudamérica. Esto provocó un complejo emplazamiento de bloques tectónicos de diferentes edades y orígenes, generando un vasto cinturón metamórfico de bajo grado, fuertemente deformado y muy caótico, el resultado es lo que hoy en día se conoce como Fajas Tectónicas (que en total son nueve) orientadas con un rumbo aproximado E-W: Faja Costera, Faja Ávila, Faja Caracas, Faja Caucagua-El Tinaco, Faja Loma de Hierro, Faja de Villa de Cura, Faja Piemontina, la Faja Volcada y Faja de Buzamientos Suaves.

Debido a la ubicación geográfica del área del presente estudio, solo se encuentran rocas pertenecientes a la Faja Villa de Cura (formación Las Hermanas) y rocas de la Faja Piemontina (formaciones Morro del Faro, Caramacate y Garrapata).

La Faja de Villa de Cura, compuesta de una espesa acumulación de rocas volcánicas y sedimentarias, infrayace a una zona alargada de 250 kilómetros de longitud y 28 kilómetros de anchura máxima. Este bloque puede haberse deslizado hacia el sur a su posición actual en tiempos del Maestrichtiense tardío, en las primeras etapas del desarrollo de un profundo surco marino con rumbo este. Hacia el norte está se encuentra en contacto de falla (Falla de Agua Fría)

con la Faja de Loma de Hierro y en el sur la Faja de Villa de Cura es separada de la Faja Piemontina por la Falla de Cantagallo (Fig 102). Los rasgos que se observan en las fallas limítrofes de la faja de Villa de Cura se desarrollaron a lo largo de un contrafuerte autóctono, sin descartar la posibilidad de que el grupo Villa de Cura haya alcanzado su posición actual durante formación de la Cordillera de la Costa y por deslizamiento gravitacional pasando por encima de la Faja de Loma de Hierro adoptando su posición actual.

Las rocas metamorfizadas tanto volcánicas como sedimentarias presentes en la Faja de Villa de Cura, se encuentran plegadas en un amplio sinforme con rumbo al este hacia San Juan de los Morros. Todas las formaciones de la Faja Villa de Cura están presentes en el flanco norte del sinforme, dichas capas tienen buzamientos variables.

Bell (1968) explica que la Faja Piemontina es una provincia estructural contenida entre dos sistemas de fallas principales, donde el límite meridional está delimitado por la Falla de Corrimiento Frontal, a lo largo de la cual se encuentra en contacto con la Faja Volcada, mientras que el límite septentrional está constituido por la serie de fallas que la separan de la Faja de Villa de Cura (Fig 103).

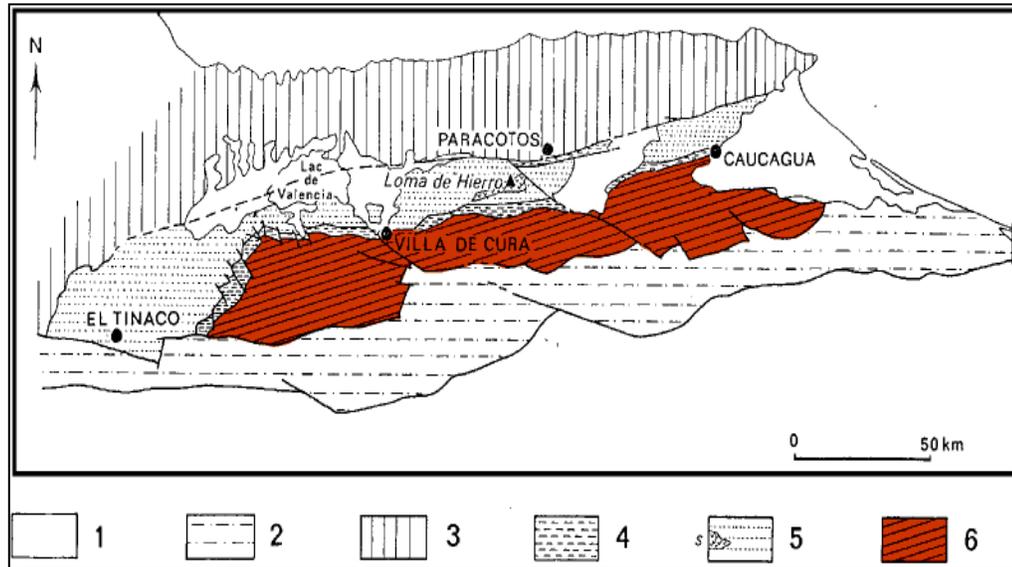


Fig 102 Fajas Tectónicas de la cadena Caribe Central. 1-Oligoceno-Neogeno-Cuaternario, 2-Faja Piemontina (Paleógena con facies flysch), 3-Faja de la Cordillera de la Costa, 4-Faja de Loma de Hierro, 5-Faja Caucagua-El Tinaco, 5.s- Serpentinis y Perioditas (Macizo de Loma de Hierro), 6-Faja de Villa de Cura. Tomado y Modificado de INTEVEP

Como estructuras mayores se observan plegamientos acostados hacia el sur en gran escala, fallas de corrimiento con buzamiento norte de orientación casi E-O (corrimiento de Cantagallo), y fallas transcurrentes de ángulo alto con orientación NW-SE.

La provincia estructural se caracteriza por la presencia de cerros y colinas lineales con crestas que siguen el rumbo de la estratificación y las fallas de corrimiento, con alturas que disminuyen hacia el sur. Los anticlinales y sinclinales individuales no persisten por unos pocos kilómetros y terminan en cierres, o pasan a fallas de corrimiento.

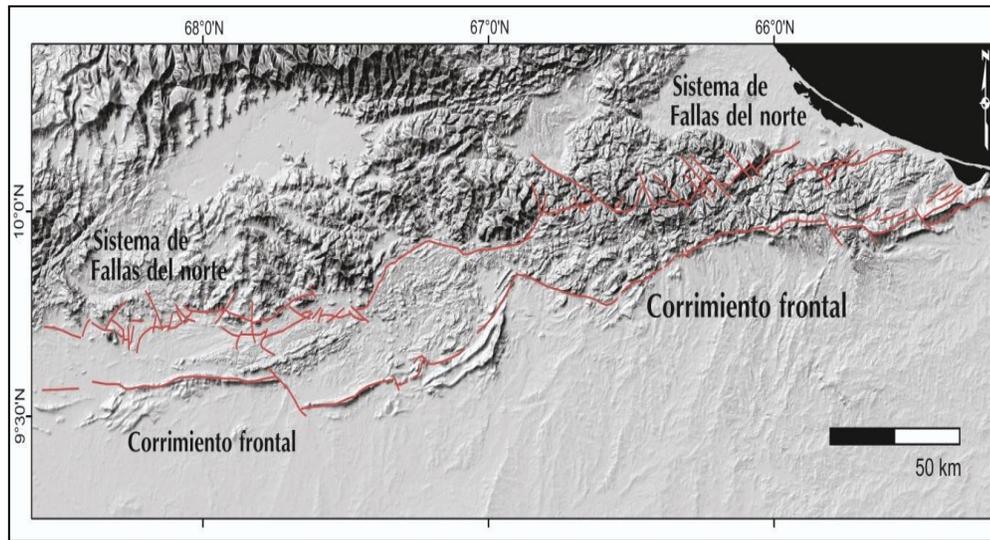


Fig 103 Ubicación relativa de las fallas que constituyen los límites de la Faja Piemontina respecto a las demás fajas en la región. Tomado y modificado de Coello (2012).

Dicho autor menciona que la mayor parte de la Faja Piemontina se caracteriza por un corrimiento imbricado, en el cual los estratos más antiguos se superponen repetidamente sobre los más jóvenes en una serie de lonjas tectónicas, dichos corrimientos buzanan al norte y tienen frecuente expresión sinuosa en la superficie. Se cree que las fallas de corrimiento tienden a la horizontalidad en profundidad y se haya producido una zona de corrimiento basal o superficie basal de desprendimiento o despegue. En las lonjas tectónicas más meridionales aparecen las formaciones Guárico, Los Cajones y Garrapata, hacia el norte comienza a aparecer la Formación Caramacate, Morro del Faro, Mucaria y más al norte aun es que aparecen lonjas de la Formación Querecual, esto se interpreta como indicio del ascenso de una zona de desprendimiento a través de las formaciones hacia el sur, de manera que las capas más antiguas sólo aparecen en las lonjas tectónicas del extremo norte.

CAPÍTULO V

5.1 GEOLOGÍA DE YACIMIENTOS

5.1.1 Generalidades

Un yacimiento en el cual la calidad y cantidad de los minerales presentes justifica un mayor estudio, el cual tiene por objetivo definir en cantidad, calidad, profundidad y dimensión del mismo con el fin de desarrollar las actividades mineras para que su explotación sea económicamente rentable y acorde con las tecnologías actuales es denominado yacimiento minero. Los yacimientos minerales son acumulaciones naturales de un mineral que permitan su explotación con rendimiento económico.

La geología de yacimientos se encarga del estudio de formaciones en la naturaleza en las que está presente una concentración de material económicamente rentable en profundidad, calidad, cantidad y dimensión y de provecho para un sector industrial determinado.

5.1.2 Análisis químicos de interés minero

A las muestras pertenecientes a la definida como (UI) se les realizaron varios estudios químicos para determinar con precisión el valor de concentración de los elementos, esto debido a que es la unidad de mayor importancia para la empresa F.N.C, en esta área se encuentra el frente de explotación de la materia prima para el uso de ella en la elaboración del cemento y materiales agregados. Entre los estudios realizados está el análisis por titulación de carbonatos realizado a 37 muestras, donde pudimos obtener la concentración p/p de carbonatos (CaO) totales ($\text{CaCO}_3 + \text{CaMgO}_3$), lo que nos permite definir la concentración de este en los distintos niveles del área en estudio (frente de explotación, zonas de contacto, cota máxima de elevación del

morro). Este análisis se realizó a partir de reaccionar una cierta cantidad de HCl con la muestra a analizar y se añade un indicador de reacción denominado fenolftaleína, se anota el cambio de color en la reacción y una vez obtenida esta lectura podremos obtener la concentración p/p a través de la fórmula:

$$\%CaCO_3 = 139,5530286 - (2,5568 * Volumen)$$

Esta fórmula fue proporcionada por el personal del laboratorio químico de la empresa y es la que nos permite realizar el cálculo estequiométrico de los carbonatos totales presentes en la muestra estudiada.

Los resultados obtenidos en el análisis de titulación de carbonatos de las muestras tomadas en la UI de la zona de estudio se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 2 Resultados de análisis de titulación de Carbonatos realizados a la Unidad I

MUESTRA	ML NaOH	% CaCO3
MEM 01	16.590	97,11
MEM 06	18.808	91,49
MEM 11	22.484	82,03
MEM 12	27.550	68,99
MEM 13	20.826	96,76
MEM 14	30.160	62,43
MEM 15	29.364	76,04
MEM 19	15.948	98,77
MEM 20	16.640	96,98
MEM 21	22.050	93,74
MEM 22	24.430	88,06
MEM 23	17.641	94,43
MEM 24	34.724	63,08

Tabla 3 Continuación resultados de análisis de titulación de Carbonatos realizados a la Unidad I

MUESTRA	ML NaOH	% CaCO ₃
MEM 25	24.134	88,66
MEM 26	25.162	86,24
MEM 27	22.954	91,56
MEM 28	26,76	71,16
MEM 29	26.978	70,65
MEM 30	16.608	97,11
MEM 31	22.692	92,17
MEM 32	18.080	93,27
MEM 33	22.940	91,56
MEM 34	17.694	94,30
MEM 35	18.131	93,15
MEM 36	16.402	97,62
MEM 37	17.333	95,19
MEM 38	24.200	77,68
MEM 39	28.118	79,10
MEM 39*	31.454	59,13
MEM 40	17,37	95,19
MEM 41	16.166	98,26
MEM 42	20.346	97,85
MEM 43	17.982	93,60
MEM 44	17.050	95,96
MEM 103	31.513	58,98
MEM 107	30,67	61,13
MEM 111	33.876	52,93

A partir de ello se puede evaluar la factibilidad de realizar otras evaluaciones químicas a las muestras (fluorescencia de RX) que arrojan resultados de mayor precisión, necesarios para la caracterización del frente de

explotación de la cantera “El Chupadero” y optimizar el estudio para la empresa F.N.C.

Una vez realizado este análisis se procedió a tomar 22 muestras de mayor representatividad en cuanto al contenido carbonático para realizarle el estudio de fluorescencia de rayos X a través del espectrómetro MiniPAL Rx PANalytical. Con este estudio se puede determinar la concentración p/p de CaO, y la concentración de CaCO₃, elemento de primordial interés para la empresa Fábrica Nacional de Cementos. Otras concentraciones obtenidas son las de CaMgO, Fe₂O₃, SiO₂, Al₂O₃. Los valores obtenidos en el estudio de fluorescencia de rayos x de las muestras tomadas en campo se representan en la siguiente tabla.

Tabla 4 Resultados de Análisis de fluorescencia de Rayos X realizados a las muestras de la Unidad I

MUESTRA	%SiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%CaO	%MgO	(Si+Al+Fe+Ca+Mg)	1.786*Ca	2.092*Mg	% Carbonatos Totales
MEM 06	4,25	1,11	0,54	50,40	1,20	57,51	90,02	2,51	92,53
MEM 11	14,34	1,85	1,24	42,47	1,00	60,91	75,86	2,1	77,96
MEM 13	1,15	0,54	0,35	53,99	0,35	56,38	96,42	0,73	97,15
MEM 14	20,57	4,49	3,47	34,59	1,1	64,22	61,78	2,3	64,08
MEM 22	5,64	1,50	1,44	46,68	0,98	56,24	83,37	2,05	85,42
MEM 23	3,15	0,66	0,38	53,02	1,14	58,35	94,69	2,39	97,08
MEM 24	26,01	4,84	2,63	33,19	1,99	68,66	59,27	4,17	63,44
MEM 26	9,22	1,46	0,90	46,23	1,42	59,23	82,56	2,97	85,53
MEM 27	5,50	1,10	0,80	49,25	1,00	57,66	87,96	2,08	90,04
MEM 29	19,10	3,2	1,72	37,65	1,55	63,22	67,25	3,24	70,49
MEM 30	1,32	0,41	0,19	52,48	0,82	55,22	93,74	1,72	95,46
MEM 31	3,00	1,09	0,67	50,43	0,23	55,41	90,06	0,47	90,53

Una vez configurado el equipo de fluorescencia de Rx del laboratorio de la Planta Ocumare del Tuy para que arroje valores del óxido de magnesio, siendo esta configuración que el valor de óxido de magnesio (MgO) sea menor que “1”, valor estandarizado por la empresa para referir que en la muestra no se presenta dolomitización en la zona de estudio, factor importante para el estudio de factibilidad de explotación por parte de F.N.C., ya que, el mismo es indicador de la pureza y resistencia de la materia prima y por ende saber exactamente su uso.

Tabla 5 Continuación resultados de Análisis de fluorescencia de Rayos X realizados a las muestras de la

Unidad I

MUESTRA	%SiO₂	%Al₂O₃	%Fe₂O₃	%CaO	%MgO	(Si+Al+Fe +Ca+Mg)	1.786*Ca	2.092*Mg	% Carbonatos Totales
MEM 34	3,36	0,62	0,33	51,38	0,84	56,53	91,76	1,75	93,51
MEM 36	0,90	0,39	0,22	54,05	1,13	56,69	96,53	2,37	98,90
MEM 37	2,65	0,60	0,47	53,78	0,88	58,38	96,05	1,85	97,90
MEM 39	17,59	2,25	1,36	40,22	0,79	62,21	71,83	1,65	73,48
MEM 39*	26,09	5,01	3,09	32,27	1,48	67,94	57,64	3,09	60,73
MEM 40	2,76	0,64	0,37	53,24	1,00	58,00	95,08	2,10	97,18
MEM 41	0,84	0,33	0,16	54,41	0,61	56,35	97,17	1,28	98,45
MEM 43	4,97	0,36	0,23	53,44	0,89	59,89	95,44	1,85	97,29
MEM 44	3,04	1,05	0,65	50,42	1,16	56,34	90,05	2,43	92,48
MEM 103	25,41	5,39	3,10	32,38	1,20	67,48	57,83	2,50	60,33

Por último, para corroborar el valor de CaCO₃ obtenido, se determinó el porcentaje a partir del valor del dióxido de carbono (CO₂). La premisa es que en rocas muy carbonáticas la mayor parte del calcio se encuentra asociado al

CaCO₃, de manera que a partir del %CO₂ asociado al %CaO se puede obtener el CaCO₃. Este CO₂ existente se determinó a través de un ensayo denominado pérdida al fuego, el cual se le fue realizado a todas las muestras que fueron sometidas al análisis de fluorescencia de rayos x y que no es más que llevar una cantidad de esta muestra a un horno industrial a una temperatura de 1000°C, una vez calentado por media hora se extrae la muestra y se lleva a pesar de nuevo. Luego de ello se anota ambos valores (peso antes y después de calentar) y se calcula el porcentaje del CO₂ asociado por medio de la siguiente ecuación (GONZÁLEZ & SANCHEZ 2001):

$$\%CO_2 = \frac{\%CaO * PM CO_2}{PM CaO}$$

Sabiendo que la ecuación estequiométrica es:



Se obtiene el porcentaje total de dióxido de carbono y dado que la muestra fue colocada en el horno antes de hacerle el estudio de fluorescencia de Rx, de acuerdo a la metodología aplicada por el laboratorio de la Planta Ocumare del Tuy, no se le agrega ningún valor de H₂O; como resultado final de la resta entre estos resultados y los carbonatos totales de cada muestra se obtiene el porcentaje de Calcio y Magnesio presente. Los resultados obtenidos en este estudio se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 6 Resultados de análisis de pérdida al fuego realizados a las muestras de la Unidad I

MUESTRA	Peso (gr) Crisol (C)	Peso (gr) Muestra (M)	Peso (gr) C+M (1)	Peso (gr) C+M (2) (1050°C)	1 - 2 (gr)	%Pérdida al fuego
MEM 06	34,40	1	35,40	34,90	0,50	50%
MEM 11	36,60	1	37,60	37,30	0,30	30%
MEM 13	36,90	1	37,90	37,50	0,40	40%
MEM 14	35,20	1	36,20	36,00	0,20	20%
MEM 22	35,40	1	36,40	36,00	0,40	40%
MEM 23	36,60	1	37,60	37,20	0,40	40%
MEM 24	34,70	1	35,70	35,40	0,30	30%
MEM 26	36,20	1	37,20	36,80	0,40	40%
MEM 27	35,20	1	36,20	35,80	0,40	40%
MEM 29	36,70	1	37,70	37,40	0,30	30%
MEM 30	34,70	1	35,70	35,30	0,40	40%
MEM 31	36,70	1	37,70	37,20	0,50	50%
MEM 34	36,90	1	37,90	37,50	0,40	40%
MEM 36	36,60	1	37,60	37,20	0,40	40%
MEM 37	34,90	1	35,90	35,40	0,50	50%
MEM 39	35,40	1	36,40	36,10	0,30	30%
MEM 39*	35,00	1	36,00	35,70	0,30	30%
MEM 40	34,40	1	35,40	34,90	0,50	50%
MEM 43	34,90	1	35,90	35,50	0,40	40%
MEM 44	36,60	1	37,60	37,20	0,40	40%
MEM 103	36,20	1	37,20	36,90	0,30	30%

De acuerdo a estos análisis, se caracteriza a la roca en tipo químico, con la finalidad de generar una estimación del tipo de roca que se encuentra en profundidad, a través de los valores de concentraciones obtenidos.

Para los efectos de este trabajo, se caracterizaron las rocas según los resultados químicos obtenidos de la siguiente forma: para los valores mayores al 70% de CaCO_3 , se considera a la roca como calizas, mientras que para valores menores a 70% de CaCO_3 se considera tipo Areniscas con material carbonático. Si $\% \text{CaCO}_3 < 70\%$ Areniscas con material carbonático. Si $\% \text{CaCO}_3 > 70\%$ Calizas.

Estos dos tipos químicos se relacionan con las unidades litológicas ya discriminadas en este mismo capítulo, gracias al estudio de fluorescencia de rayos x realizado a las 22 muestras de la unidad litológica (UI), que fueron seleccionadas de acuerdo al criterio de selección de muestras explicado en el capítulo I.

Las concentraciones anteriores son las de principal interés para la producción de cemento y/o agregados en la Planta Ocumare del Tuy, por lo que es pertinente conocer como varían a lo largo del frente de explotación y en profundidad del mismo, por ello es considerable que se realicen perfiles que reflejen las concentraciones de CaCO_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , Al_2O_3 .

5.1.3 Estimación del volumen del yacimiento

En base a los análisis químicos y sobre los tipos químicos y litológicos descritos anteriormente, se estimó el volumen de calizas presentes en el yacimiento El Chupadero, el cual fue medido siguiendo el método de secciones paralelas (Fig 104).

El tipo litológico mármol, constituye el material de mejor calidad del frente de explotación, y por ello ha sido explotado preferencialmente; sin embargo, en éste estudio se ha incorporó el tipo litológico “calizas en contacto” al volumen de reservas útiles, porque a pesar de que puedan incluir horizontes con relativamente altas concentraciones de sílice y de aluminio, poseen buenas concentraciones de carbonato y pueden ser explotados para confeccionar mezclas y así equilibrar y optimizar el aprovechamiento del total de reservas.

El volumen a estimar se consigue a partir de un área promedio entre dos secciones consecutivas.

Al multiplicar el área resultante por la distancia entre las dos secciones se obtiene el volumen del material deseado, señalado en la siguiente ecuación.

$$V_{\text{bloque}} = \frac{(A1 + A2)}{2} * D$$

Dónde:

V: Volumen parcial de las reservas

A1, A2, A3, A4, A5: Área de las secciones

D: Distancia entre las dos áreas.

Se realizaron 19 cortes geológicos en dirección norte sur (N-S) (Fig 104), con una distancia de 50 metros entre cada uno con los cuales se pudo determinar el área de caliza existente en la zona de estudio. A partir de allí, se relacionaron con el objetivo de estimar el volumen de material económicamente rentable para la fabricación de cemento, estimando el volumen total mediante la sumatoria de los volúmenes calculados para cada sección.

Sobre cada corte se realizó un perfil litológico que permitió calcular el área aproximada de la zona de interés, presentamos un perfil de ejemplo de cómo se realizaron los mismos (Fig 105), para mayor información de todas las secciones consulte el anexo C.

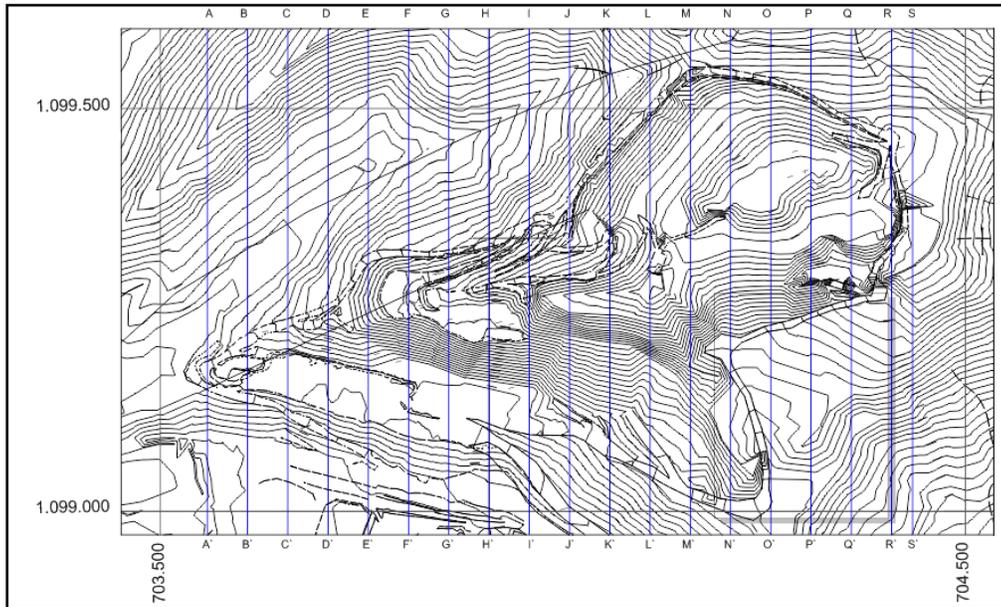


Fig 104 Mapa de la unidad I, en ella podemos observar de qué forma se tomaron los cortes de las secciones para el cálculo de volumen

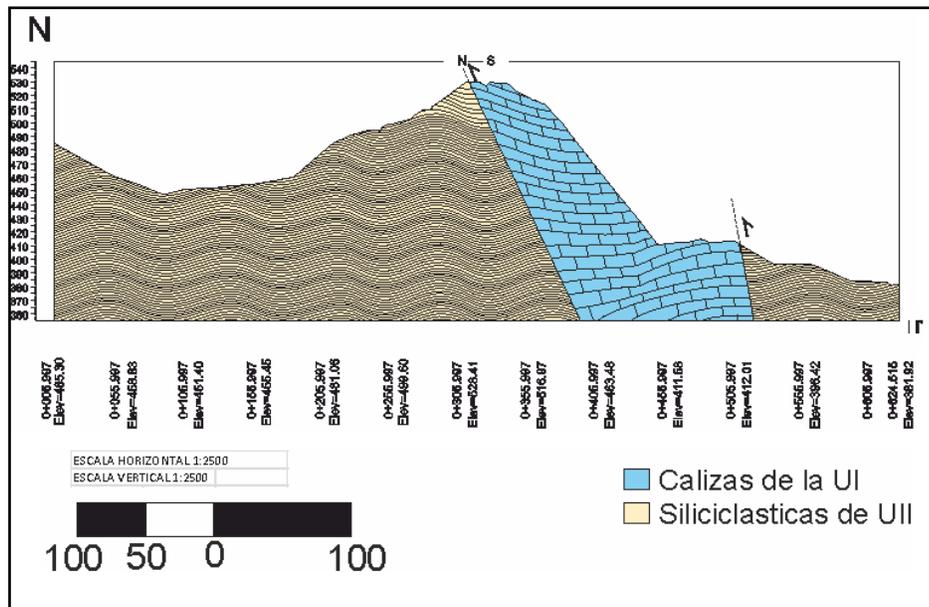


Fig 105 Perfil II' realizado para estimar el cálculo de volumen de calizas

A continuación se elaboraron tablas de cálculos pertinentes para estimar el volumen del yacimiento (véase tablas 7 y 8).

Tabla 7 Resultados de estimación del volumen del yacimiento (Desde secciones A-A' hasta I-I')

SECCIÓN	PROGRESIVAS	ÁREA CALIZA	SUMATORIA ÁREAS	DISTANCIA MEDIA	VOLUMEN CALIZA	VOLUMEN ACUMULADO CALIZA
A - A'	0+000,00	281,90				
			4.767,08	25,00	119.177,00	119.177,00
B - B'	0+050,00	4.485,18				
			10.493,37	25,00	262.334,25	381.511,25
C - C'	0+100,00	6.008,19				
			13.390,87	25,00	334.771,75	716.283,00
D - D'	0+150,00	7.382,68				
			16.386,29	25,00	409.657,25	1.125.940,25
E - E'	0+200,00	9.003,61				
			20.925,22	25,00	523.130,50	1.649.070,75
F - F'	0+250,00	11.921,61				
			26.264,80	25,00	656.620,00	2.305.690,75
G - G'	0+300,00	14.343,19				
			25.405,83	25,00	635.145,75	2.940.836,50
H - H'	0+350,00	11.062,64				
			25.981,14	25,00	649.528,50	3.590.365,00
I - I'	0+400,00	14.918,50				
			31.593,51	25,00	789.837,75	4.380.202,75

Total Volumen (M3)	4.380.202,75
---------------------------	---------------------

Total Volumen (Ton.)	10.950.506,88
-----------------------------	----------------------

Tabla 8 Resultados de estimación del volumen del yacimiento (Desde secciones J-J' hasta S-S')

SECCIÓN	PROGRESIVAS	ÁREA CALIZA	SUMATORIA ÁREAS	DISTANCIA MEDIA	VOLUMEN CALIZA	VOLUMEN ACUMULADO CALIZA
J - J'	0+450,00	16.675,01				
			60.528,14	25,00	1.513.203,50	5.893.406,25
K - K'	0+500,00	43.853,13				
			134.929,61	25,00	3.373.240,25	9.266.646,50
L - L'	0+550,00	91.076,48				
			190.695,43	25,00	4.767.385,75	14.034.032,25
M - M'	0+600,00	99.618,95				
			203.305,19	25,00	5.082.629,75	19.116.662,00
N - N'	0+650,00	103.686,24				
			207.812,95	25,00	5.195.323,75	24.311.985,75
O - O'	0+700,00	104.126,71				
			199.501,48	25,00	4.987.537,00	29.299.522,75
P - P'	0+750,00	95.374,77				
			174.890,40	25,00	4.372.260,00	33.671.782,75
Q - Q'	0+800,00	79.515,63				
			137.553,54	25,00	3.438.838,50	37.110.621,25
R - R'	0+850,00	58.037,91				
			72.567,96	12,83	931.046,93	38.041.668,18
S - S'	0+875,66	14.530,05				

Total Volumen (M3)	33.661.465,43
---------------------------	----------------------

Total Volumen (Ton.)	84.153.663,57
-----------------------------	----------------------

Tabla 9 Calculo del volumen total del yacimiento

Secciones	Total Volumen en M3	Total Volumen en ton.
A-A´ hasta I-I´	4.380.202,75	10.950.506,88
J-J´ hasta S-S´	33.661.465,43	84.153.663,57
TOTAL VOL. DE CALIZA	38.041.668,18	95.104.170,44

Para el cálculo de volúmenes en toneladas se utilizó la densidad de la caliza 2,5g/ml proporcionada por F.N.C como el factor de tonelaje.

Estos volúmenes indican que para el año 2013 existe un total de 95.104.170,44Tn en el área estudiada (Ver tabla 9), sin embargo, cabe destacar que este cálculo está basado únicamente bajo una base de datos de geología de superficie, en la cual se precisa a nivel de afloramiento la extensión que alcanza el recurso a explotar en la Cantera, esto sirve para evaluar un plan de explotación minera, puesto que se trata de una cantidad de reservas posibles, y no se podrá precisar las reservas probadas y probables hasta obtener otros estudios y perforaciones que se realicen en la zona en estudio que nos permitan detallar con una mayor precisión la presencia total del mineral a explotar y de esta manera poder realizar el modelado geométrico de las calizas en el área.

CAPÍTULO VI

6.1 Sumario

- La zona estudiada pertenece a la llamada por MENÉNDEZ (1966), BELL (1968), BELLIZIA (1986), como Faja Piemontina y extremo sur de la Faja de Villa de Cura, de la cual se definieron cuatro unidades: Unidad de Calizas arrecifales, Unidad de sedimentarias detríticas, Unidad de rocas de origen turbidítico, Unidad de rocas volcánicas, separadas por varios eventos que son consecuencia de las Napas formadas en la Cordillera de la Costa a raíz de la colisión de la Placa del Caribe con la Placa Suramericana.

- Las discontinuidades con mayor frecuencia en el área de estudio son las diaclasas, observadas esencialmente en los cherts de la UII que están en contacto con la UI, y escasamente en la unidad volcánica. Para la unidad sedimentaria se observaron rasgos estratigráficos escasamente definidos, por lo que no se asegura la existencia definitiva de planos de estratificación en esta unidad.

6.2 Conclusiones

- Estas unidades establecidas informalmente, pudieron ser correlacionadas con las unidades formales que menciona la literatura, de acuerdo las características lito-químicas analizadas. A continuación se muestra las unidades establecidas y su correlación (Ver tabla 10):

**Tabla 10 Unidades establecidas en campo y su correlación con unidades formales
que señalan los trabajos previos**

UNIDADES INFORMALES DEFINIDAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	UNIDADES FORMALES E INFORMALES BIBLIOGRÁFICAS
Unidad de Calizas arrecifales y prearrecifales	Unidad informal: Calizas Paleocenas, correlacionables con la unidad formal Formación Morro del Faro
Unidad de Sedimentarias detríticas, no cíclicas con material calcáreo	Correlacionable con la unidad formal Miembro Caramacate de la Formación Guárico
Unidad de Sedimentarias detríticas, cíclicas.	Correlacionable con la unidad formal Formación Garrapata
Unidad Metavolcánica	Correlacionables con la unidad formal Formación Las Hermanas

- La unidad sedimentaria carbonática, definida como Calizas arrecifales y pre arrecifales corresponde a ambientes marino-costeros de aguas someras, en los subambientes de arrecife y de plano arrecifal. La depositación de estas rocas en conjunto con la UII y UIV definidas en este trabajo, corresponden a una zona volcánica de un arco volcánico insular.

- El factor multiplicador aplicado por el laboratorio de la Planta Ocumare del Tuy, de 1,784 para obtener la concentración de CaCO_3 a partir del valor de CaO para la caracterización geológica de la cantera El Chupadero ubicada en el municipio San Sebastián de Los Reyes, estado Aragua es adecuado, ya que fue comparado con los resultados del análisis de fluorescencia de rayos x, obteniendo resultados precisos con un rango error menor al 1%.

- El volumen estimado para la actualidad en la UI es de 38.041.668,18

m³ que multiplicado por el factor de la densidad (2.6 g/ml) de la caliza corresponde a 95.104.170,44 Ton de caliza y dicho calculo pertenece a datos basados en geología de superficie, por lo cual no se obtienen resultados precisos de las reservas probadas, probadas y posibles, hasta no realizar los cálculos pertinentes que permitan definir con precisión el yacimiento de calizas.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar ensayos geotécnicos y geomecánicos al macizo en su área del frente de explotación para garantizar la estabilidad de los taludes sobre todo en la vialidad y áreas de trabajo.
- Se recomienda realizar estudios de prospección geofísica del macizo, a través de métodos sísmicos, con el fin de delimitar a profundidad y con un método preciso al yacimiento y de esta manera realizar una estimación de reservas de caliza existentes en la cantera a través de estos datos y los obtenidos en el presente trabajo.
- Se recomienda realizar una campaña de perforación y recuperación de núcleos, con el fin de obtener una mayor caracterización química, geológica y geotécnica de toda la cantera.
- Se recomienda realizar una campaña de exploración geológica de superficie hacia el área Sur de la cantera, en la ladera que se encuentra detrás de las oficinas con el fin de saber si existe calizas, su grado de pureza ya que de ser factible para su explotación, se estaría alargando la vida útil de explotación de esta mina.

CAPÍTULO VII

7.1 Bibliografía

AGUERREVERE, S. E. & ZULOAGA G. (1937). Observaciones geológicas en la parte central de la Cordillera de la Costa, Venezuela. Bol. Geol. y Min., Caracas, 1(2-4): 3-22.

ALBERTOS M. (1989). Estudio geológico y análisis petrográfico-estadístico de la Formación Guárico y sus equivalentes en la sección Altagracia de Orituco-Agua Blanca-Gamelotal-San Francisco de Macaira, estados Guárico y Miranda. UCV-G, 220 p.

BARRETO, J (2010) Caracterización Geológica de la Cantera Mume ubicada en el Municipio Cristóbal Rojas de los Valles del Tuy, Estado Miranda. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

BECK, C (1977). Geología de la Faja Piemontina y del frente de montaña en el norte del estado Guárico. V Congr. Geol. 2: 759-763.

BECK, C (1985). Le Chaîne Caraïbe au Meridein de Caracas: Geologie, Tectogenese, place dans l'évolution geodynamique Mesozoique-Cenozoique des Caraïbes Meridionales. L'Universite des Sciences et Techniques de Lille, Tesis de Doctorado de Estado, Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

BECK, C., 1986. Geologie de la chaine Caraïbe su meridien de Caracas (Venezuela). Soc. Geol. de Nord, Villeneuve s'Ascq, Francia, Public. no. 14, 462 p.

BELL, C (1968). The Garrapata Formation of Venezuelan Coast Ranges. Asoc Venez. Geol, Min y Petrol, Bol. Inform 11 (7): 187-206.

BELLIZZIA, A., GONZALEZ, L. (1971) Mapa San Juan de Los Morros, escala 1:100.000. Ministerio de Energía y Minas.

BELLO, C., ICHASO, D., AITOR, A (1999). Estudio Geológico y de factibilidad de material a ser usado como agregado grueso para para concreto. Hacienda el Cedro, Distrito Montalbán, Estado Carabobo. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

BOGGS, S. (1992) Petrology of Sedimentary Rock. Macmillan Publishing Co, New York, 707 p.

BUSTILLO, M., LÓPEZ JIMENO, C. (1997). Manual de evaluación y diseño de explotaciones mineras. Entorno Gráfico, Madrid. 705 pp.

COELLO, V. (2012). Significado tectónico y procedencia de la formación guárico a través de análisis petrográfico y minerales pesados, venezuela norcentral. Trabajo especial de grado. Universidad Central de Venezuela.

CORNIEL, Y (2010) Estudio Geológico de la Cantera el Melero, ubicada en el Distrito Cristobal Rojas, Municipio Charallave, Estado Miranda. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

CORPOVEN (1990). Mapa de Geología de Superficie (Zona Central), hoja 6745, escala 1:50.000. Gerencia de Exploración.

CORREA, J (1982). Geología de una zona ubicada al Norte de San Sebastián de Los Reyes, Edo Aragua. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas. Pag 2-25.

DELGADO, J., PRADA, G., YEPEZ, S (2005). Integración Geológica y Geofísica del transecto Puerto Maya San Juan de los Morros. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

DICKINSON, W. Y SUCZEK, C (1979). Plate tectonics and sandstones compositions. En: AAPG Bull. 63(12):2164-2182.

E.T.S.I. (2012). "Guía Interactiva de Minerales y Rocas de la E.T.S.I. de Montes-UPM". Montes, Forestal y del Medio Natural - Universidad Politécnica de Madrid.
FÁBRICA NACIONAL DE CEMENTOS. (2001). Manual de aseguramiento de la Calidad. Gerencia de Planta. ISO-9000, Ocumare del Tuy. Información Técnica.

FÁBRICA NACIONAL DE CEMENTOS. 2012. Actualización topográfica de la cantera Chupadero. Fábrica Nacional de Cementos, Ocumare del Tuy. Escala 1:1000.

FOLK, R. (1969) Petrología de las rocas sedimentarias México D.F. Instituto de Geología de la U.N.A.N. , MEXICO.

FOLK, R. (1974) Petrology of Sedimentary Rocks, Hemphill, Austin, TX, 159 pp.

GIRARD, D., 1981. Pétrologie de quelques séries spilitiques mésozoïques du domaine Caraïbe et des ensembles magmatiques de l'île de Tobago. Univ. de Bretagne Occidentale, Brest, Tesis de doctorado de 3er. ciclo, 229 p.

GRANDE, S (2005). Ciclos Tectónicos en la Cordillera de la Costa. GEOS N° 38: pág 4-6.

IZTÚRIZ, A Y GRANDE, S (2005). Datación Geocronológica de las Trondhjemitas presentes en el Cerro Pariapán, Estado Guárico; Venezuela. GEOS N° 38: pág 28-29.

KAZHDAN, A, (1982). Prospección de yacimientos minerales. Primera edición. España. Impreso por Gráfica Chile. Madrid, España. 587-p.

KONIGSMARK, T.A (1965). Geología del Área de Guárico Septentrional-Lago de Valencia. Boletín de Geología (6), Pág 209-383.

KRYNINE P, 1948, The megascopic study and field classification of sedimentary rocks, Journal of Geology, Vol. 56, No. 2, pp. 130-165.

LOPEZ, G. Y QUINTANA (1992). Plan de Explotación del Yacimiento de Caliza Paso del Medio, Municipio San Sebastián, Edo. Aragua. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

LUGO, J (1982). Geología de una zona ubicada al norte de San Sebastián de los Reyes, Edo. Aragua. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

MACSOTAY O., VIVAS, V., Y MOTICKA, P (1995). Biostratigraphy of the Piemontine Nappe of North-central Venezuela: Senonian to Eocene gravitational sedimentation. Bol. Geol., MMH. Publicación Especial. 10:114-123.

MARTINEZ, NAHYSA Y CAMPOSANO, L (2000). Caracterización química y radiométrica de secciones. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

MENDEZ, J. (2009) Carbonatos. Origen y Sedimentación. Universidad Central de Venezuela. Caracas, Venezuela

MENÉNDEZ, A (1966). Tectónica de la parte central de las montañas occidentales del Caribe, Venezuela. Bol. Geol., MMH. Caracas. 8(15): 116-139.

MESCHEDE, M. Y FRISCH, W (1998). A plate-tectonic model for the Mesozoic and Early Cenozoic history of the Caribbean plate. Pág 269-287.

MORCILLO, J. (1989). Temas básicos de química (2ª edición). Alhambra Universidad. p. 368.

MOUNT, J., (1985) Mixed siliciclastic and carbonate sediment: a propose First order textural and compositional classification. Sedimentology, 32; 435-442 p.

NAVARRO E., OSTOS, M., & YORIS, F (1988). Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte

norte-central de Venezuela durante el Jurásico medio – Paleógeno. Acta Científica Venezolana, 39 (5-6): 427-436.

NAVARRO E., OSTOS, M., Y YORIS, F (1987). Síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte norte-central de Venezuela durante el Jurásico medio – Paleoceno. Mem. I Jornadas de Investigación en Ingeniería. UCV, Facultad de Ingeniería. Caracas: 93-98.

NAVARRO, E. (1983). Petrología y petrogénesis de las rocas metavolcánicas del Grupo Villa de Cura. Revista Geos, Caracas, 28: 170-317.

OSTOS M. (1977). Geología de una zona al NE de Altagracia de Orituco, estado Guárico. UCV-G.

OSTOS, M. Y NAVARRO E. (1986). Faja de Villa de Cura. ¿Realmente un complejo de arco de isla alóctono?. Mem. VI Congreso Geológico Venezolano, Caracas, 10: 6615-6637.

OSTOS, M. Y NAVARRO, E (1986). FAJA DE VILLA DE CURA. ¿Realmente un complejo de arco de isla alóctono? VI Congreso Geológico Venezolano (10): pág 6615-6637.

OXBURGH, (1965). Geología de la Región del Estado Carabobo. Boletín de Geología. Caracas, (6), Pág 114-131.

PETTIJOHN, F.; PORTIER & SIEVER (1972) Sans and Sandstone. Springer-Verlag, New York; 618 p.

PIBURN, M. (1968). Metamorfismo y estructura del grupo Villa de Cura, norte de Venezuela, Bol. Geol., Caracas, 9(18): 183-290.

PINDELL, J. L., ROGERS, H. & DEWEY, F. J. (1998) Cenozoic Palinspastic Reconstruction, Paleogeographic Evolution and Hydrocarbon Setting of the Northern Margin of South America. S.E.P.M. Spec. Pub. No 58. 45-87 p.

PINDELL, J. Y KENNAN, L (2005). Plate-kinematics and Crustal dynamics of circum-Caribbean arccontinent interactions: Tectonic controls on basin development in Proto-Caribbean margins. Pág 39-46.

REMO, B. Y GONZÁLEZ V. (2002) Modelo geológico para la zona sur del yacimiento b-2x.71, eoceno frac, cuenca de maracaibo – Venezuela. Trabajo Especial de Grado. Universidad de Oriente, Núcleo Bolivar. Edo. Bolivar.

SANTIAGO, F., Y CARCEDO, F. (1995). Contaminación y depuración de suelos Instituto Tecnológico Geominero de España, 1995.

SCASSO, R. Y LIMARINO, C., 1997, Petrología y Diagénesis de Rocas Clásticas, Asociación Argentina de Sedimentología, Argentina.

SCHMID, R. (1981). Descriptive nomenclature and classification of pyroclastic deposits and fragments: recommendations of the I.U.G.S. subcommission on the systematics of. Geology. The geological society of America. Vol 9, p.41-43.

SHAGAM, R. (1960). Geología de Aragua central (Venezuela). Bol. Geol. Caracas, 3 (2): 574-673.

SKOOG, D., HOLLER, J. & NIEMAN, T. (2000). "Principios de Análisis Instrumental", Quinta Edición, McGraw Hill, Madrid, 2000.

URBANI, F. (2011). Review of Terranes, Belts and Nappes of the Cordillera de la Costa, Northern Venezuela. Geológica Acta, en prensa.

URBANI, F. (1997). Tabla de correlación de la Cordillera de la Costa. INTEVEP. Los Teques, Edo. Miranda.

URBANI, F., CHIRINOS, A., Y MARQUINA, M. (1991). Geología del Área de Guatopo el Guapo- El Guapo estado miranda y Guárico. Revista de Ingeniería, UCV, Caracas, 6(1), 5-30.

VILLEGAS, G. (2010). Caracterización Geológica de la Cantera san Bernardo ubicada en el Municipio Tomas Lander de los Valles del Tuy, Estado Miranda. Trabajo Especial de Grado. Inédito. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

VIVAS, V., Y MACSOTAY, O (1997). Reinterpretación de la cobertura sedimentaria Cretácico-Paleocena de la napa de Villa de Cura, Venezuela norcentral. Mem., VIII Congr. Geol. Venezolano, Caracas 2:517-525.

YORIS, F. (1987). Estudio comparativo preliminar sobre las cuencas de las formaciones: Guárico, San Juan Caratas, Punta Carnero y Pampatar, Venezuela central y nororiental. Mem. I Jornadas de Investigación en Ingeniería. UCV, Facultad de Ingeniería. Caracas: 52-57.

ZAMBRANO, Y., SANCHEZ, C., AVENDAÑO, M., Y PARRA, P (2010-2011). Plan de Explotación MINARSA (Cantera EL VEGON). INFORME. Venezuela.

FACTOR DE EXITO C.A. Municipio San Sebastián. Obtenida el 25 de agosto del 2013, <http://www.araguavirtual.com/informaciones/index/Municipio%20San%20Sebasti%C3%A1n>

ANEXOS

I. TABLAS DE DESCRIPCION PETROGRÁFICAS (muestras estudiadas individualmente)

II. MAPA GEOLÓGICO GENERALIZADO DE LA CANTERA EL CHUPADERO, SAN SEBASTIÁN DE LOS REYES, EDO. ARAGUA.

III. MAPA DE SECCIONES Y CORTES GEOLÓGICOS UTILIZADOS PARA EL CÁLCULO DE VOLUMEN DE CALIZAS