

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE
SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO
CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS”**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Laverde Rengel Paola Nazaret
Para optar al Título
De Ingeniero Geólogo

Caracas, 2024

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**“CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE
SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO
CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS”**

TUTOR ACADÉMICO: Profa. Alba Castillo

COTUTOR ACADÉMICO: Prof. Ricardo Alezones

TUTOR INDUSTRIAL: Ing. Andry Caminero

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br. Laverde Rengel Paola Nazaret
Para optar al Título
De Ingeniero Geólogo

Caracas, 2024

Caracas, 05 de marzo de 2024

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Geología, Minas y Geofísica, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la Bachiller Paola Nazaret Laverde Rengel, portadora de la cédula de identidad V-25.978.080, titulado:

“Caracterización geológica para control de sedimentos en suspensión hídrica del yacimiento Cemento Cerro Azul, estado Monagas”

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Geólogo, y lo declaran **APROBADO**, acordando por unanimidad una nota de veinte (20) puntos.



Prof. Liliana Urbina

Jurado



Prof. Mauricio Hernández

Jurado



Prof. Alba Castillo

Tutora Académica



Prof. Ricardo Alezones

Co-tutor Académico

DEDICADO

A Dios Todopoderoso,

Por darme vida, salud, y la sabiduría que viene de Él,

para alcanzar tan anhelada meta.

A mis Padres,

Mi fuente inagotable de amor y apoyo incondicional.

A mi hermana,

Motivo de mi inspiración desde que supe de su existencia.

AGRADECIMIENTOS

A Dios Todopoderoso, creador del cielo y de la tierra, por su misericordia y amor infinito, porque puedo verlo glorificado en mí a través de esta meta alcanzada.

A mis padres, Yolis Nakary Rengel y Rafael Enrique Laverde Vivenes, por darme la vida, y en su transcurrir todas las herramientas necesarias para hacer de mí una persona de bien. Ustedes son mi mayor apoyo, el origen de todo lo que soy y seré, mi motivo. Los amo infinito.

A mi hermana, Pauli Nazaret, por ser mi compañera, amiga y apoyo incondicional. Eres motivo de mi inspiración y superación constante, para ser el mejor ejemplo para ti. Te amo.

A mis abuelos, por todo el amor que sembraron en mi corazón y que, hasta el día de hoy, aunque no se encuentren físicamente, me guarda. Así será siempre. Los amo, eternamente.

A mi familia, tíos, primos; de sangre y de corazón, por su apoyo y aliento a lo largo de este recorrido, por creer en mí, por amarme.

A mis amigos, por su compañía y apoyo incondicional en cada etapa vivida.

A la Ilustre Universidad Central de Venezuela, a la Facultad de Ingeniería, especialmente a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, por permitirme formarme en sus aulas.

A mis profesores de la EGMG, de ustedes me llevo todo el conocimiento impartido, y el amor a esta profesión que les aseguro ejerceré con la mayor vocación. Ustedes son el mejor ejemplo de ello.

A mis compañeros, de estudios, de risas, de lágrimas, de sueños. A los que hoy son colegas, a los que continúan en el camino para lograrlo, y a los que expandieron sus horizontes hacia otros rumbos. Gracias, por todo, por tanto. Los llevo en mi corazón.

A mis tutores académicos, Profa. Alba Castillo y Prof. Ricardo Alezones, por su orientación en la realización de este trabajo. Sin ustedes no hubiese sido posible.

A la Corporación Socialista del Cemento, en especial a todo el personal que labora en la Planta de Cemento Cerro Azul, por abrirme las puertas para la ejecución de este trabajo, por su apoyo en las diversas áreas, y por permitirme iniciar mi carrera profesional con ustedes. Eternamente agradecida.

A mi tutor industrial, Ing. Andry Caminero, por creer en mí y permitirme aprender de él. Para usted mi profundo cariño y respeto. Hoy y siempre.

A mis compañeros de la Gerencia de Canteras de Cemento Cerro Azul, por todo el apoyo brindado durante la ejecución de la presente investigación. Es un placer trabajar junto a ustedes.

¡A todos, gracias!

*Y todo lo que hagan, ya sea de palabra o de hecho,
háganlo en el nombre del Señor Jesús,
dando gracias a Dios el Padre por medio de Él (Col 3:17).*

Laverde R. Paola N.

**CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE
SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO
CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS**

Tutor académico: Profa. Alba Castillo. Tutor industrial: Ing. Andry Caminero
Tesis, Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. 2024, p. 129

Palabras claves: caracterización geológica, erosión hídrica, calizas, dolomitas, Cemento Cerro Azul.

Resumen: El objetivo del presente estudio es caracterizar geológicamente el yacimiento mineral de la empresa Cemento Cerro Azul, a fines del control de sedimentos en suspensión hídrica producidos en la ejecución de la actividad minera; considerando que es un depósito mineral en miras de explotación, la información generada será de gran utilidad para que la Empresa inicie el desarrollo eficiente de la cantera.

El área estudiada se encuentra enmarcada en la Serranía del Interior Oriental, específicamente al norte del estado Monagas, donde se delimitaron 8,5 hectáreas del área de concesión del yacimiento de la Planta de Cemento Cerro Azul. Para llevar a cabo el trabajo de investigación, se realizó la compilación teórica previa, y posteriormente como parte fundamental, el levantamiento en campo. Así mismo, se realizaron análisis de Difracción de Rayos X, análisis petrográficos y el ensayo de *Slake Durability Test* de las muestras recolectadas en la etapa de campo, que permitieron la clasificación química, textural y la determinación del índice de durabilidad de la litología aflorante.

Se determina que el sector es caracterizado por rocas sedimentarias de naturaleza carbonática, asociadas a la Formación El Cantil. Químicamente, la litología

predominante corresponde a calizas de alta pureza, con proporciones menores de dolomita. Se identificaron tres (03) facies de carbonatos dentro de la secuencia: 1) *Wackestones* 2) *Mudstones* y 3) Carbonatos Cristalinos de Dolomitas. El alto índice de resistencia de las rocas contra la potencial erosión del agua, da como resultado una pérdida de masa menor a 1%. La alteración de las características morfológicas y morfométricas del terreno, por la intervención antrópica, no acrecentarán el proceso erosivo. La afectación de los cursos naturales por acción de la minería sólo será de manera local, siempre que se mantengan las buenas practicas. Así mismo, se concluye que la materia prima mineral cumple con los estándares de calidad requeridos dentro del proceso de fabricación del cemento, obteniendo un promedio de Módulo de Cal (CaO) de 859.34, Módulo de Sílice (SiO₂) de 1.06 y Módulo de Alúmina (Al₂O₃) de 1.10. Finalmente, se sugiere realizar estudios exploratorios y prospectivos que permitan caracterizar a detalle el yacimiento mineral.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Generalidades.....	1
1.2. Ubicación.....	1
1.3. Planteamiento del problema.....	4
1.4. Justificación.....	5
1.5. Objetivos.....	6
1.5.1. Objetivo general.....	6
1.5.2. Objetivos específicos.....	6
1.6. Alcance y limitaciones.....	6
1.7. Antecedentes.....	7
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Geología regional.....	9
2.1.1. Estratigrafía regional.....	10
2.1.2. Geología estructural regional.....	17
2.1.3. Evolución tectonoestratigráfica.....	22
2.2. Consideraciones teóricas.....	25
2.2.1. Materias primas minerales.....	25
2.2.2. Yacimiento mineral.....	25
2.2.3. Rocas carbonáticas.....	26
2.2.4. Exploración geológica – minera y reconocimiento de rocas.....	28
2.2.5. Petrografía microscópica.....	29
2.2.6. Difracción de rayos X.....	30
2.2.7. <i>Slake Durability Test</i>	30
2.2.8. Erosión natural y antrópica.....	31
2.2.9. Erosión hídrica.....	31
2.3. Generalidades de Cemento Cerro Azul.....	32
2.3.1. Reseña Institucional.....	32
2.3.2. Objetivo principal.....	32
2.3.3. Misión.....	32
2.3.4. Visión.....	32
2.3.5. Proceso productivo.....	34
3. MARCO METODOLÓGICO	40
3.1. Diseño de la investigación.....	42
3.2. Tipo de investigación.....	42
3.3. Población y muestra.....	42
3.4. Procedimientos.....	42
3.4.1. Etapa de recopilación de información.....	43

3.4.2.	Etapa de campo	43
3.4.3.	Etapa de laboratorio	45
3.4.4.	Etapa de oficina.....	50
4.	GEOLOGÍA LOCAL	52
4.1.	Generalidades.....	52
4.2.	Tipos litológicos	53
4.2.1.	Calizas.....	53
4.2.1.1.	Características en campo	54
4.2.1.2.	Distribución y ubicación.....	58
4.2.1.3.	Contacto.....	58
4.2.1.4.	Análisis químico	58
4.2.1.5.	Análisis petrográficos.....	61
4.2.1.6.	Análisis de durabilidad	71
4.2.2.	Dolomitas.....	80
4.2.2.1.	Características en campo	80
4.2.2.2.	Distribución y ubicación.....	82
4.2.2.3.	Contacto.....	82
4.2.2.4.	Análisis químico	82
4.2.2.5.	Análisis petrográficos.....	83
4.2.2.6.	Análisis de durabilidad	86
4.3.	Relieve local.....	90
4.4.	Drenaje local	95
5.	INTERPRETACIONES Y DISCUSIONES	101
5.1.	Generalidades.....	101
5.2.	Interpretaciones morfológicas.....	101
5.3.	Interpretaciones litológicas.....	103
5.4.	Interpretaciones hidrográficas	105
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	109
6.1.	Conclusiones	109
6.2.	Recomendaciones	110
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	111
	ANEXOS	116

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1. Representación de la delimitación espacial de la zona de estudio con el uso de AutoCAD.....	2
Figura 1.2. Ubicación relativa de la Planta de Cemento Cerro Azul	3
Figura 2.1. Cuencas petrolíferas de Venezuela (Tomado de YORIS & OSTOS, 1997)...	9
Figura 2.2. Columna estratigráfica regional de la Cuenca Oriental de Venezuela (modificado de L.E.V., 1970).....	16
Figura 2.3. Mapa geológico esquemático de la Serranía del Interior (tomado de BELLIZZIA <i>et al.</i> , 1976, en WAGNER, 2004)	17
Figura 2.4. Bloque diagramático ilustrando el paso noreste a suroeste de un pliegue en caja a uno en no caja (tomado de ROSSI, 1985, en WAGNER, 2004).....	19
Figura 2.5. Bloque diagramático ilustrando la morfología de las estructuras en el sector Cerro García (tomado de ROSSI, 1985, en WAGNER, 2004).....	19
Figura 2.6. Mapa Estructural de la región nor-oriental de Venezuela (modificado de SUBIETA <i>et al.</i> , 1988, en WAGNER, 2004)	21
Figura 2.7. Clasificación en base a la textura depositacional de DUNHAM, 1962 (Modificado de MÉNDEZ, 2009).....	27
Figura 2.8. Clasificación textural de FOLK, 1962 (Modificado de MÉNDEZ, 2009) ...	28
Figura 2.9. Estructura de la Planta de Cemento Cerro Azul, C.A.....	33
Figura 2.10. Diagrama del proceso productivo de la planta de Cemento Cerro Azul. 34	
Figura 3.1. Resumen de la metodología utilizada para la elaboración del trabajo de investigación	41
Figura 3.2. Base topográfica del yacimiento, utilizando la herramienta AutoCAD, extraída de los archivos de Cemento Cerro Azul)	44
Figura 3.3. Representación de las rutas establecidas para la realización del levantamiento geológico de superficie de la zona de estudio, mediante la herramienta AutoCAD	44
Figura 3.4. Imagen del equipo de Difracción de Rayos X <i>Skyray</i> WDX400, perteneciente al laboratorio de Control de Calidad de Cemento Cerro Azul.....	48
Figura 3.5. Representación del procedimiento para realizar el SDT. (Tomado de TOMÁS, R., CANO, M., GARCÍA-BARBA, J., SANTAMARTA, J.C., HERNÁNDEZ, L.E., RODRÍGUEZ, J.A., ZAMORA, R. (2013)	49

Figura 3.6. Imagen del equipo de SLD, perteneciente al laboratorio Mecánica de Rocas de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, FIUCV	50
Figura 3.7. Cajetín utilizado para representar espacialmente los datos obtenidos en el estudio del yacimiento, mediante la herramienta AutoCAD	51
Figura 4.1. Afloramiento de caliza localizado en las coordenadas UTM (N1106638, E467625). Macizo, cubierto por materia vegetal. Meteoriza a color gris claro.....	55
Figura 4.2. Afloramiento de caliza con orientación N280°40'SO. Caliza limpia, densa, de color fresco gris oscuro y color meteorizado gris claro. Coordenadas UTM (N1106436, E467706).....	55
Figura 4.3. Tope de capa de caliza orientada N332°27'SO. Presenta diaclasas conjugadas. Color fresco gris medianamente oscuro y meteorizado gris claro. Coordenadas UTM del área de localización (N1106531, E467508)	56
Figura 4.4. Estrato de caliza de 60 cm de espesor y 4 m de persistencia, con orientación N300°22'SO. Diaclasada, meteoriza a gris claro. Coordenadas UTM (N1106554, E467517).....	57
Figura 4.5. Afloramiento de calizas grises oscuras que meteorizan a color gris claro, con rumbo y buzamiento de N327°25'SW. Coordenadas UTM (N1106547, E467762)	57
Figura 4.6. Representación espacial de las muestras de caliza pertenecientes a la subunidad I, utilizando la herramienta AutoCAD	58
Figura 4.7. Afloramiento de caliza de muy alta pureza, donde se extrajo la muestra Pica 1 - M7. Coordenadas UTM (N1106612, E467531)	62
Figura 4.8. Muestra de mano fresca del espécimen Pica 1 - M7)	62
Figura 4.9. Panorámica general de la muestra Pica 1 – M7 (Obj. 2.5X), donde se observa la presencia abundante de micrita, fragmentos fósiles y veta de calcita	63
Figura 4.10. Organismos fósiles presentes en la muestra Pica 1 - M7. A) Orbitolina y estilolita, vista en nícoles paralelos con objetivo 4X. B) Orbitolina, vista con objetivo 4X. C) Fragmento de molusco con inversión homoaxial visto con objetivo 4X. D) Sección longitudinal de foraminífero planctónico, panorámica con objetivo 20X. E) Fragmento de foraminífero, se infiere género Globotruncana, visto con objetivo 10X. F) Sección longitudinal de foraminífero planctónico, panorámica con objetivo 20X	64
Figura 4.11. Secciones microscópicas de la muestra Pica 1 – M3. A) Foraminífero con reemplazamiento de calcita y porosidad intrapartícula, visto con Obj. 10X. B) Fragmento de molusco con inversión heteroaxial, con Obj. 4X. C) Sección longitudinal de foraminífero planctónico, con Obj. 20X. D) Sección longitudinal de foraminífero planctónico relleno de micrita, visto con objetivo 20X	65
Figura 4.12. Afloramiento de caliza de alta pureza donde se extrajo la muestra Pica 4 – M20. Coordenadas UTM del área (N1106540, E467722).....	66

Figura 4.13. Muestra de mano fresca del espécimen Pica 4 – M20.....	66
Figura 4.14. Panorámica general de la muestra Pica 4 - M20. Se observa la presencia de abundante micrita y fragmentos fósiles. Además, vetas rellenas de calcita intersectadas con ángulo preferencial de 75°. Ambos con objetivo 4X. A) Nícoles paralelos y B) Nícoles cruzados. Sección microscópica de la muestra Pica 4 – M20. C) Fragmento de molusco con inversión homoaxial, vista en nícoles paralelos con objetivo 2.5X. C) Sección longitudinal de foraminífero planctónico, género Globigerinelloides, de edad Cretácico Temprano, panorámica en nícoles paralelos con objetivo 20X.....	67
Figura 4.15. Sección microscópica de la muestra Pica 4 – M20, con vetas rellenas de calcita y dolomitización. Observada en nícoles paralelos con objetivo 2.5X.....	68
Figura 4.16. Sección microscópica de la muestra Pica 4 – M20 con estilolita. Vista en nícoles paralelos con objetivo 2.5X.....	68
Figura 4.17. Sección microscópica de la muestra Pica 4 – M18. Se observa soporte de matriz micrítica con alto porcentaje de dolomita y ankerita. Vista con nícoles paralelos (A) y cruzados (B). Objetivo 2.5X.....	69
Figura 4.18. Sección microscópica de la muestra Pica 4 - M18. A) Foraminífero biserial con reemplazamiento de dolomita, vista en nícoles paralelos con objetivo 4X. B) Foraminífero uniserial con reemplazamiento de dolomita, vista en nícoles paralelos con objetivo 4X.....	69
Figura 4.19. Sección microscópica de la muestra Pica 4 – M18. A) Fragmentos fósiles rellenos de micrita con reemplazamiento de dolomita. Vista en nícoles paralelos con objetivo 2.5X. B) Estilolita presente en parte de la sección. Vista en nícoles paralelos con objetivo 4X.....	70
Figura 4.20. Muestra de mano fresca del espécimen Pica 5 – M31.....	70
Figura 4.21. Sección microscópica de la muestra Pica 5 – M18. A) Panorámica general, con vista en nícoles paralelos con objetivo 2.5X. B) Molusco con inversión homoaxial, panorámica en nícoles paralelos con objetivo 4X. C) y D) Posibles fragmentos de bivalvos. Nícoles paralelos. Objetivo 20X y 4X, respectivamente.....	71
Figura 4.22. Procedimiento del <i>Slake Durability Test</i> a muestra de caliza de alta pureza Pica 3 - M35. A) Peso resultante del primer ciclo de humectación y secado. B) Peso resultante del segundo ciclo de humectación y secado.....	72
Figura 4.23. Procedimiento del <i>Slake Durability Test</i> a muestra de caliza Pica 1 - M23 medianamente pura. A) Tara de los diez fragmentos posterior al primer ciclo de secado. B) Peso resultante del primer ciclo de humectación y secado. C) Peso resultante del segundo ciclo de humectación y secado.....	74
Figura 4.24. Procedimiento del <i>Slake Durability Test</i> a muestra Pica 4 - M26 de caliza medianamente pura. A) Tara de los diez fragmentos posterior al primer ciclo de secado. B) Peso resultante del primer ciclo de humectación y secado. C) Peso resultante del segundo ciclo de humectación y secado.....	76

Figura 4.25. Procedimiento del <i>Slake Durability Test</i> a muestra de caliza de baja pureza Pica 5 - M231. A) Peso resultante del primer ciclo de humectación y secado. B) Peso resultante del segundo ciclo de humectación y secado	78
Figura 4.26. Gráfico de porcentaje de pérdida de masa en muestras de caliza, separado por espécimen en los distintos ciclos del <i>Slake Durability Test</i>	79
Figura 4.27. Gráfico de porcentaje de pérdida de masa de muestras de caliza vs. ciclos del SDT	80
Figura 4.28. Afloramiento de dolomita donde se extrajo la muestra Pica 1 – M4. Coordenadas UTM del área (N1106480, E467510)	81
Figura 4.29. Muestra de mano fresca del espécimen Pica 1 – M4.....	81
Figura 4.30. Representación espacial de las muestras de dolomita pertenecientes a la subunidad II, utilizando la herramienta AutoCAD	82
Figura 4.31. Panorámica general de la muestra Pica 2 - M36. Soportada por cristales de dolomita, con presencia de cristales de ankerita en proporciones menores. Vista en nícoles paralelos, con objetivo 4X	84
Figura 4.32. Cristales de dolomita presentes en la muestra Pica 2 - M36, con su hábito romboédrico característico. Nícoles paralelos. Obj. 4X	85
Figura 4.33. Porosidad intracristalina presente en la muestra Pica 2 – M36. Vista en nícoles paralelos. Obj. 2.5X	85
Figura 4.34. Fragmento fósil con reemplazamiento de dolomita, presente en la muestra Pica 2 – M36	86
Figura 4.35. Procedimiento del <i>Slake Durability Test</i> a muestra Pica 2 – M36 de dolomita. A) Tara de los diez fragmentos posterior al primer ciclo de secado. B) Peso resultante del primer ciclo de humectación y secado. C) Peso resultante del segundo ciclo de humectación y secado.....	88
Figura 4.36. Gráfico comparativo de porcentaje de pérdida de masa en muestras de caliza y dolomita, en los distintos ciclos del <i>Slake Durability Test</i>	88
Figura 4.37. Gráfico de porcentaje de pérdida de masa de muestras de caliza y dolomita vs. ciclos del SDT	89
Figura 4.38. Representación 3D de la unidad morfológica localizada en las 8,5 ha estudiadas	90
Figura 4.39. Mapa de representación de elevaciones del área de estudio y sus adyacencias	91
Figura 4.40. Perfil topográfico “A” de sección longitudinal del terreno donde se observan las pendientes promedias del área, desde el punto (N1106666, E467812) hasta el punto (N1106345, E467479).....	92

Figura 4.41. Perfil topográfico “B” de sección longitudinal del terreno donde se observan las pendientes promedias del área, desde el punto (N1106650, E467752) hasta el punto (N1106613, E467519).....	93
Figura 4.42. Representación de las alineaciones de los perfiles A y B.....	94
Figura 4.43. Representación de trayectoria de los cursos de agua presentes dentro del área de estudio. Al este la quebrada “E” y al oeste quebrada “O”	95
Figura 4.44. Tramo del cauce de la Quebrada “O” donde se evidencia el material alojado.....	96
Figura 4.45. Representación de sección transversal de un tramo de la quebrada “E”, en el punto UTM (N1106511, E467755).....	97
Figura 4.46. Representación de sección longitudinal de un tramo de la quebrada “E”, en el punto UTM (N1106511, E467755).....	98
Figura 4.47. Tramo de recorrido de la quebrada “O”, se observa laja de caliza de 6 metros de ancho. Coordenada UTM (N1106509, E467471)	99
Figura 4.48. Representación de sección transversal de un tramo de la quebrada “O”, en el punto UTM (N1106369, E467446).....	100
Figura 5.49. Mapa relativo del área autorizada para minería de Cemento Cerro Azul y ventana geográfica del área de estudiada	108

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Coordenadas UTM, Sistema REGVEN, Huso 20, que delimitan la zona de exploración en estudio.....	2
Tabla 2.1. Clasificación de rocas carbonáticas en función del contenido de MgO (PETTIJOHN, 1975).....	26
Tabla 2.2. Clasificación de calizas según su contenido de CaO y SiO ₂ (HARRISON <i>et al.</i> , 1998)	27
Tabla 2.3. Clasificación del Índice de Durabilidad (I _D) según GOODMAN, 1980.....	30
Tabla 2.4. Capacidades nominales de las tolvas de dosificación de materia prima (Tomado de los archivos de la Empresa	36
Tabla 2.5. Especificaciones técnicas de los equipos medulares de la planta de Cemento Cerro Azul.....	39
Tabla 3.1. Parámetros instrumentales utilizados en el Laboratorio de Control de Calidad, CCA, para el análisis de Difracción de Rayos X.....	47
Tabla 4.1. Muestras de caliza recolectadas en la Pica #1.....	53
Tabla 4.2. Muestras de caliza recolectadas en la Pica #2.....	53
Tabla 4.3. Muestras de caliza recolectadas en la Pica #3.....	54
Tabla 4.4. Muestras de caliza recolectadas en la Pica #4.....	54
Tabla 4.5. Muestras de caliza recolectadas en la Pica #5.....	54
Tabla 4.6. Análisis químico de acuerdo al %MgO, realizado a las muestras de caliza de la Subunidad I	59
Tabla 4.7. Análisis químico de acuerdo al % de SiO ₂ , CO ₃ y MgO de las muestras de caliza pertenecientes a la subunidad I.....	60
Tabla 4.8. Muestras de dolomita recolectadas en las Picas #1 y #2.....	80
Tabla 4.9. Análisis químico de acuerdo al %MgO realizado a las muestras de dolomita de la Subunidad.....	83
Tabla 4.10. Análisis químico de acuerdo al % de SiO ₂ , CO ₃ y MgO de las muestras de dolomita de la subunidad II.....	83

ÍNDICE DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 3.1. Índice de durabilidad del <i>Slake Durability Test</i>	50
Ecuación 4.1. Índice de durabilidad ID1 aplicado a muestra de caliza de alta pureza, Pica 3 - M35	73
Ecuación 4.2. Índice de durabilidad ID2 aplicado a muestra de caliza de alta pureza, Pica 3 - M35	73
Ecuación 4.3. Índice de durabilidad ID1 aplicado a muestra de caliza medianamente pura, Pica 1 – M23	75
Ecuación 4.4. Índice de durabilidad ID2 aplicado a muestra de caliza medianamente pura, Pica 1 – M23	75
Ecuación 4.5. Índice de durabilidad ID1 aplicado a muestra de caliza medianamente pura, Pica 4 – M26	77
Ecuación 4.6. Índice de durabilidad ID2 aplicado a muestra de caliza medianamente pura, Pica 4 – M26	77
Ecuación 4.7. Índice de durabilidad ID1 aplicado a muestra de caliza de baja pureza, Pica 5 – M31	77
Ecuación 4.8. Índice de durabilidad ID2 aplicado a muestra de caliza medianamente pura, Pica 5 – M31	77
Ecuación 4.9. Índice de durabilidad ID1 aplicado a muestra de dolomita, Pica 2 - M36	87
Ecuación 4.10. Índice de durabilidad ID2 aplicado a muestra de dolomita, Pica 2 - M36.	87

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

Cemento Cerro Azul, C.A. (CCA) es una empresa del Estado venezolano, filial de la Corporación Socialista del Cemento, encargada de la extracción y procesamiento de materia prima para la fabricación de cemento Portland Tipo I, ubicada en El Pinto, estado Monagas. En la actualidad, es la única planta cementera a nivel nacional que cuenta con un yacimiento mineral que apenas está iniciando su proceso de explotación, por lo que el conocimiento de las características geológicas de las zonas potencialmente minables, es de trascendental importancia.

En vista de no existir trabajos de grado desarrollados en la zona de estudio, aunado a la falta de un estudio geológico actualizado y a profundidad necesario para la Empresa, se lleva a cabo este trabajo de investigación.

En este estudio, se caracteriza la geología del área de yacimiento estudiada, realizando un levantamiento adecuado que permita obtener datos para identificar y describir las litologías aflorantes, obteniendo información que pueda ser útil en los planes de explotación, de acuerdo a la calidad de la roca contenida para ser utilizada como material para fabricación de cemento, y, asimismo, dar recomendaciones a fines de controlar la producción de particulado fino ocasionado por la minería. La información proporcionada podrá sustentar a futuro un modelo predictivo de evolución de paisaje por erosión.

1.2. UBICACIÓN

El yacimiento perteneciente a la Planta de Cemento Cerro Azul C.A., se localiza geográficamente en la zona oriental del país, específicamente al norte del estado Monagas, municipio Piar, en la localidad de Brisas del Pinto.

El área de estudio se ubica en los espacios de montaña abierta, en territorio donde yacen rocas cuya ocupación está autorizada para operaciones de exploración y extracción mineral por CCA, situada al noreste de la zona de explotación actual dentro de los espacios de

LAVERDE, 2024. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.

Autorización de Ocupación del Territorio (AOT) de la cantera “El Pinto” perteneciente a Industrias Asociadas, C.A. (INDACA).

La zona definida consta de 8.5 hectáreas, que representan un tercio de la concesión actual del yacimiento. La Tabla 1.1, que se muestra a continuación, presenta las coordenadas UTM del área de estudio, seguidamente la Figura 1.1 su delimitación espacial. En la Figura 1.2, se muestra la ubicación relativa de Cemento Cerro Azul.

Tabla 1.1. Coordenadas UTM, Sistema REGVEN, Huso 20, que delimitan la zona de exploración en estudio.

Punto	Norte	Este
1	1106672	467500
2	1106327	467500
3	1106324	467596
4	1106558	467821
5	1106673	467819

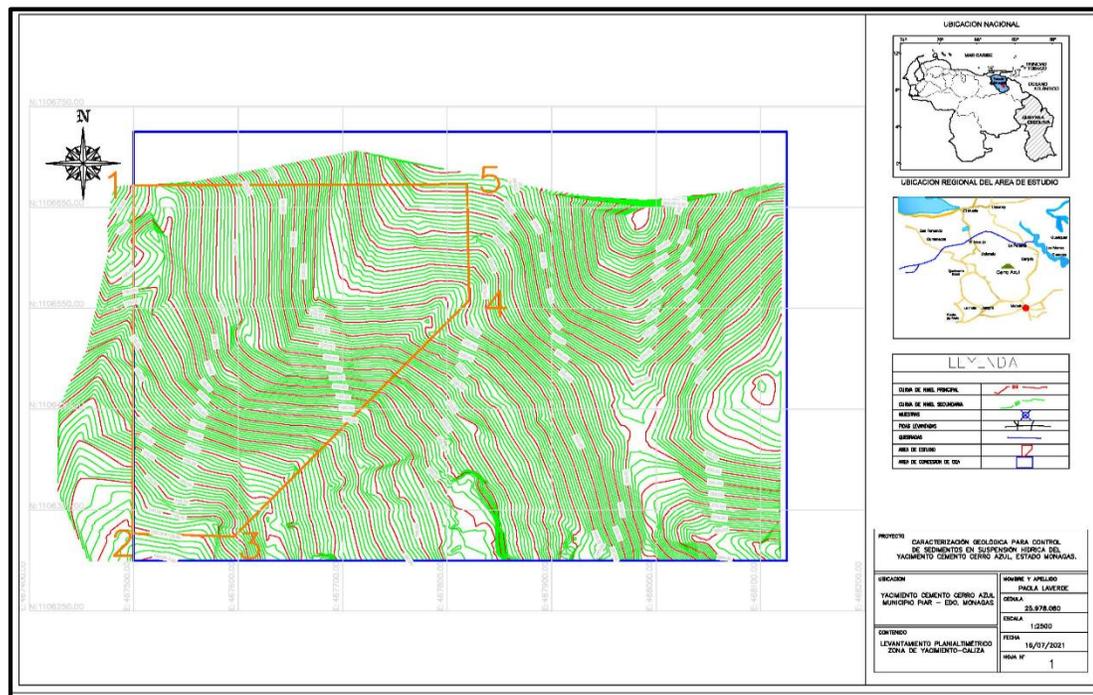


Figura 1.1. Representación de la delimitación espacial de la zona de estudio con el uso de AutoCAD.

LAVERDE, 2024. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.

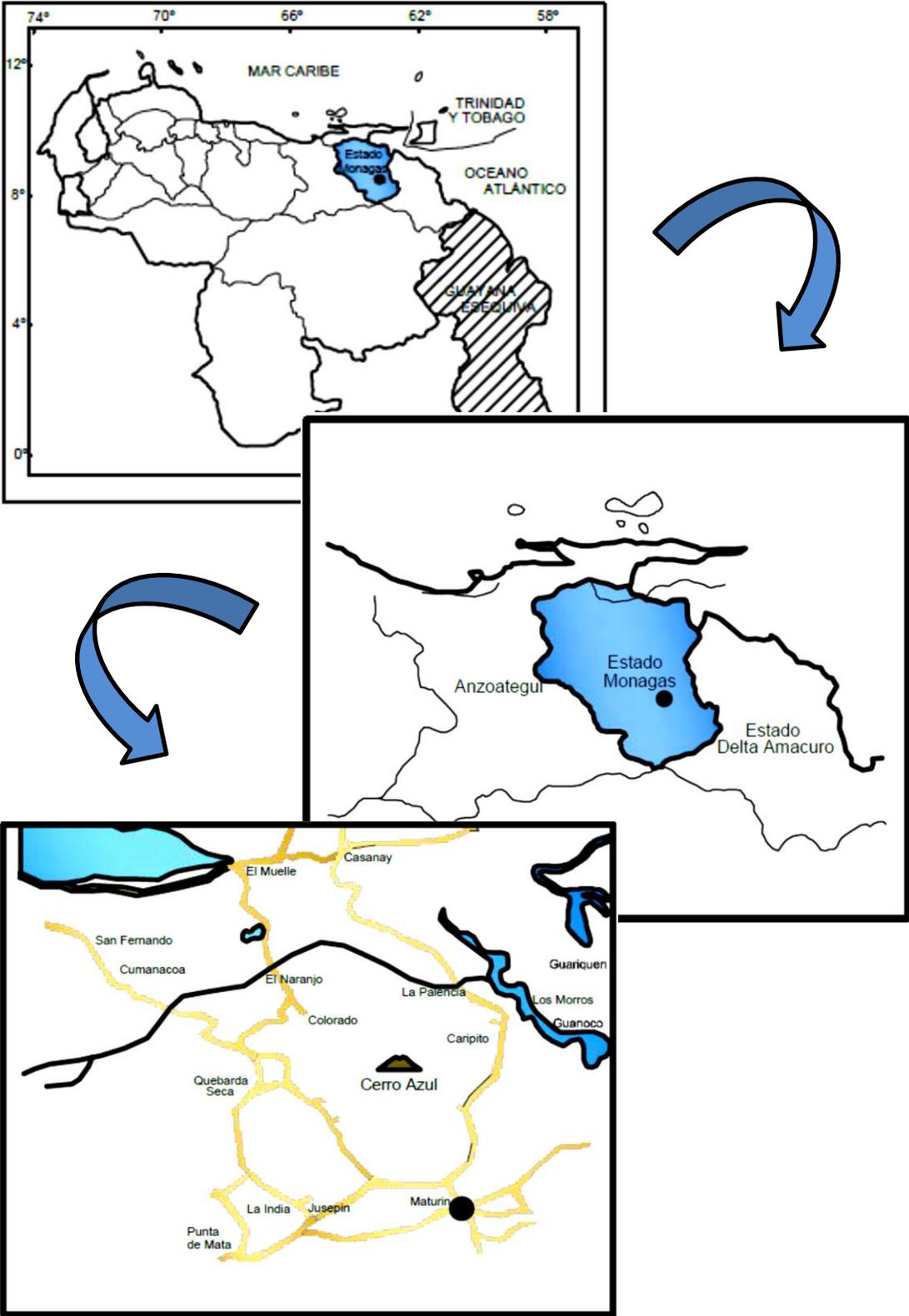


Figura 1.2. Ubicación relativa de la Planta de Cemento Cerro Azul.

Vías de Acceso

El acceso principal a la zona de exploración se realiza por vía terrestre a través de la carretera nacional asfaltada que enlaza a los poblados de Quiriquire y Aragua de Maturín, pasando por las adyacencias de la Planta de Agregados de INDACA. Generalmente, la parte sur - sureste del área de estudio, está asociada a caminos que dirigen a asentamientos campesinos. La zona norte-central solo cuenta con escasos caminos y trochas debido a que son zonas despobladas.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La Planta Cemento Cerro Azul C.A., enmarcada en la necesidad de impulsar el desarrollo de la infraestructura en el país y colocar en el mercado nacional cemento de alta calidad a precios competitivos, tiene una capacidad de producción de un (01) millón de toneladas al año. Por consiguiente, requiere inicialmente de la etapa de explotación y extracción de la materia prima mineral; caliza y arcilla, partiendo de esta el proceso operativo - productivo de la Planta.

Teniendo en cuenta que todos los yacimientos presentan diferentes características geológicas que deben ser exploradas, delineadas y evaluadas, a fin de planificar un método de minado que sea física, económica y ambientalmente sustentable, surgió la necesidad de proponer un proyecto de investigación que caracterice geológicamente el yacimiento y, a su vez, permita predecir y diseñar los controles de sedimentos en la minería a cielo abierto, teniendo en cuenta que dichas características pueden acrecentar o disminuir la producción de partículas sólidas durante los procesos erosivos, principalmente hídricos. Por ello, más que un problema sensu stricto, se trata de un trabajo prospectivo que permite en el marco de una geología ecológica, llevar a cabo una minería responsable.

Por consiguiente, se considera como oportunidad de beneficio para la Empresa atender esta propuesta, donde a través de la caracterización geológica del yacimiento se obtendrá información del potencial litológico para la explotación de la materia prima, así también del arrastre de sedimentos a producir y hacia dónde estos son transportados, a fin de mejorar las condiciones del sistema a futuro.

1.4. JUSTIFICACIÓN

Los estudios geológicos representan grandes aportes para el desarrollo eficiente de la actividad minera. Por esa razón, este trabajo pretende caracterizar la geología del yacimiento, y a su vez, proporcionar información que posteriormente pueda ser utilizada para controlar los sedimentos en suspensión hídrica originados en los procesos de erosión de la minería a cielo abierto, generando información que permita avanzar hacia un modelo predictivo de evolución de paisaje por erosión.

La cantera donde Cemento Cerro Azul realiza actualmente la extracción de la materia prima se encuentra dentro AOT de la cantera “El Pinto”. Favorablemente, se ha dado inicio al plan de explotación que proyecta irse adentrando al yacimiento en estudio, el cual pertenece a CCA. En este sentido, es posible prever que, en un futuro cercano, cuando inicie la explotación, la información obtenida durante este trabajo, será de gran utilidad para la Empresa. Por ello, la relevancia de este proyecto radica en la oportunidad que posee CCA de obtener información prospectiva que permita generar datos que sustenten la planificación minera en el complejo industrial, principalmente en el control litológico para la extracción de materia prima, calidad asociada, localización de los cursos de agua naturales, morfometría del terreno, y control de particulado sólido generado.

La importancia de este tipo de trabajo de investigación radica en que, tomando en cuenta el análisis de los resultados obtenidos, se logra alcanzar una actividad minera más sustentable, en armonía con el medio ambiente, siendo este un aporte al desarrollo socioeconómico de la Industria Cementera y Minera, logrando también la minimización de las consecuencias ambientales. Por ende, justificar esta investigación es creer y estar en pleno conocimiento que los mejores recursos que se poseen para el desarrollo y avance de nuestro país, son los recursos naturales.

1.5. OBJETIVOS

1.5.1. Objetivo General

Caracterizar geológicamente para control de sedimentos en suspensión hídrica el yacimiento Cemento Cerro Azul, estado Monagas.

1.5.2. Objetivos Específicos

- Describir las características morfológicas y morfométricas del relieve.
- Identificar la red de drenaje local y su patrón de escorrentía.
- Definir los tipos litológicos que conforman el yacimiento y su distribución espacial.
- Analizar mediante estudios de laboratorio la composición química, mineralógica y la resistencia a la degradación de las rocas.
- Determinar la susceptibilidad a la erosión hídrica en función de las características geológicas del yacimiento.

1.6. ALCANCE Y LIMITACIONES

Alcance

El alcance de esta investigación será la caracterización morfométrica, litológica, mineralógica y de calidad del yacimiento, con el fin de obtener información que permita controlar la erosión hídrica. Finalmente, se recomendarán acciones que permitan mejorar la planificación minera y controlar la generación de residuos sólidos.

Limitaciones

La Empresa no presenta datos históricos que vayan en la misma línea de investigación y carece de un estudio geológico – estructural, prospección geoquímica y cálculo de las reservas minerales. Asimismo, las condiciones para la toma de registros de campo y vehículos para el desplazamiento son limitadas.

1.7. ANTECEDENTES

Son diversos los trabajos que entran en esta línea de investigación, proporcionando información de interés para la realización de este estudio:

JASPE (2002), evaluó la incorporación de indicadores de sustentabilidad en la actividad minera carbonífera, con la finalidad de promover la coexistencia entre ambas actividades y mitigar los impactos socio-ambientales. Asimismo, estimó los sedimentos en suspensión hídrica que se vierten en la cuenca del río San Rafael de Guasare con la extracción de carbón; quedando demostrada la importancia del control de sedimentos para la conservación de los recursos naturales.

RODRÍGUEZ (2003), realizó la evaluación geológica y geotécnica entre la zona Morón-Mirimire, del estado Falcón, mediante el trabajo de campo y análisis petrográficos, logrando identificar ocho formaciones geológicas. Finalmente, a través de análisis de difracción de Rayos X, logró determinar la composición del material aluvional presente en la zona.

LA BARBERA (2005), creó conocimientos y herramientas para el control de residuos sólidos en suspensión descargados en fuentes hídricas, específicamente en la cuenca del río Botanamo, a causa de la pequeña minería del oro. En el diagnóstico del proceso minero-ambiental, identificó los principales agentes emisores de sedimentos. Concluyó que, aunque la calidad de la quebrada es excelente, la misma está un poco disminuida cerca del área del beneficio mineral.

VILLEGAS (2010), caracterizó geológicamente la cantera “San Bernardo”, ubicada en el municipio Tomás Lander, estado Miranda. A través del levantamiento geológico, análisis petrográficos y químicos, y el estudio geoquímico de las campañas de perforación, logró generar un modelo 3D y estimar la cantidad de reservas presentes en el yacimiento y la elaboración del mapa geológico de la zona.

CARRERO & RIVERO (2013), caracterizaron geológicamente la cantera de caliza “El Chupadero” a través del análisis de parámetros como: clasificación de tipos litológicos, caracterización química mediante titulación de carbonatos, fluorescencia de rayos X, análisis de pérdida al fuego, y caracterización petrográfica. Con los datos obtenidos en la caracterización geológica elaboraron un mapa geológico a escala 1:2500 y definieron la

geometría del yacimiento de roca caliza, estimando el volumen de roca por medio del método geométrico de los perfiles.

CASTILLO (2017), fue pionera en realizar una investigación acerca del transporte de sedimentos en suspensión hídrica en minas venezolanas, con el objetivo de proponer una aproximación para la estimación de la pérdida de suelos y promover el mejoramiento en la planificación y diseño de medidas de control de sedimentos, todo esto sobre la base de investigaciones de campo realizadas en proyectos previos. La autora recomendó de forma indispensable continuar con los estudios en esta línea de investigación en minería y ambiente, específicamente en la protección de los cuerpos naturales de agua, que son desmejorados en su calidad fisicoquímica por procesos de sedimentación inducidos por la actividad minera a cielo abierto.

COVA (2018), con el estudio de variables hidrológicas, geomorfológicas, geoquímicas y biológicas, y el uso de métodos experimentales, logró cuantificar la pérdida de suelo de la Corporación Venezolana de Minería, S.A., División Níquel. Asimismo, propuso un sistema de control integral de sólidos en suspensión hídrica para mantener y mejorar el rendimiento durante el uso minero. El autor expone que el grado más alto de erosión se presentó en las caras de los taludes, a través de la formación de cárcavas de distintos tamaños, y que los factores que influyeron directamente en la erosión fueron el grado de pendiente y su longitud, ya que influyen de forma proporcional a la velocidad y en el volumen de agua de escorrentía, así como en su poder erosivo.

QUIJADA (2021), evaluó la susceptibilidad en el proceso de erosión hídrica del yacimiento mineral Loma de Hierro de la Corporación Venezolana de Minería, S.A., División Níquel, Tiara – Edo. Aragua, mediante el uso de imágenes satelitales y el Sistema de Información Geográfico estableció las relaciones entre variables geológicas y su influencia en la generación de sedimentos transportados en suspensión hídrica. Determinó que las zonas de mayor susceptibilidad se concentran en condiciones de agresividad climática, en las laderas de las filas con inclinaciones pronunciadas, y en las áreas parcial y completamente descubiertas de vegetación.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

El capítulo presentado a continuación, expone la geología regional que enmarca la zona del yacimiento en estudio. Seguidamente, se describen las consideraciones teóricas necesarias para la comprensión del presente trabajo de investigación, y finalmente, se muestran las generalidades de la planta de Cemento Cerro Azul.

2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

La Cuenca Oriental de Venezuela es una cuenca flexural tipo antepaís situada en la zona centro-este de Venezuela, limitada al norte por el piedemonte de la Serranía del Interior central y oriental, al sur por el curso del río Orinoco; siguiendo aproximadamente el borde septentrional del Cratón de Guayana, al este continúa por debajo del Golfo de Paria, y al oeste por el levantamiento de El Baúl. Tiene una longitud aproximada de 800 kilómetros en sentido oeste-este, ancho promedio de 200 kilómetros de norte a sur, y un área total aproximada de 165.000 kilómetros cuadrados en los estados Guárico, Anzoátegui, Monagas y Delta Amacuro y una extensión menor en el estado Sucre (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980; Figura 2.1).

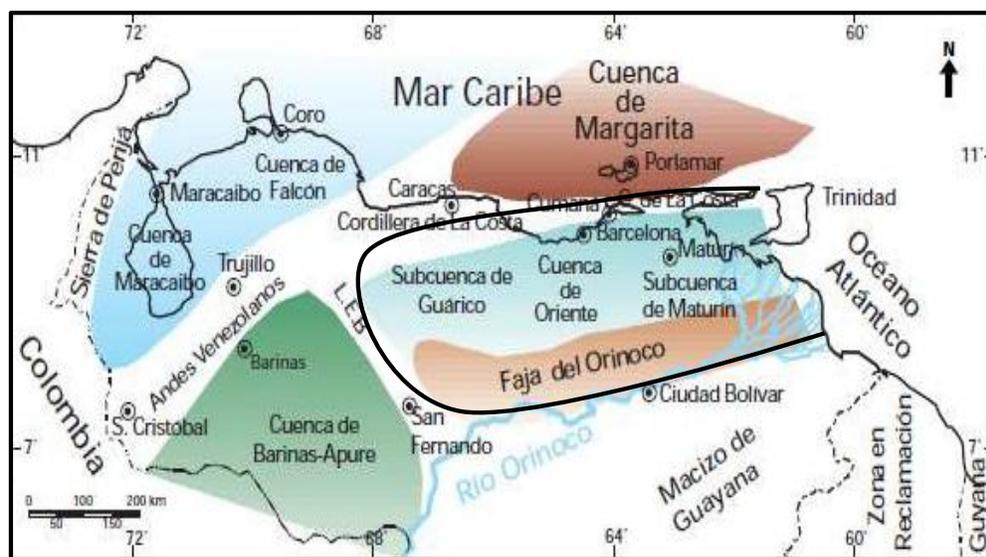


Figura 2.1. Cuencas petrolíferas de Venezuela (Tomado de YORIS & OSTOS, 1997).

CHEVALIER (1993), dividió la Cuenca Oriental de Venezuela en tres (03) zonas: Serranía del Interior, Subcuenca de Maturín y Faja Petrolífera del Orinoco. En este trabajo la sección de interés pertenece al flanco sur de la Serranía del Interior Oriental, por tal razón, se hará énfasis en la primera de las divisiones antes mencionadas.

2.1.1. Estratigrafía Regional

El proceso evolutivo sedimentario de la Serranía del Interior Oriental, específicamente en su flanco sur, inicia en el Cretácico. A continuación, se describe de forma cronológica, la secuencia estratigráfica y las unidades pertenecientes a esta provincia, que se visualizan en la Figura 2.2, Página 16.

- **Barremiense-Aptiense**

El periodo Cretácico en Venezuela oriental inicia con una transgresión generalizada hacia el sur con la acumulación de sedimentos clásticos y calcáreos de plataforma interna pertenecientes al Grupo Sucre, cuya base se desconoce, por lo que representa los estratos cretácicos más antiguos que se han podido observar. El intervalo litológico es conocido como Formación Barranquín y los ambientes que lo caracterizan fluctuaron entre transgresivos y regresivos, resultando en una interdigitación de ambientes marinos y continentales (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

Grupo Sucre

- **Cenomaniense-Campaniense**

El paso de Albiense al Cenomaniense está representado por el contacto entre las formaciones Chimana o El Cantil y la Formación Querecual, perteneciente al Grupo Guayuta.

Formación Barranquín: LIDDLE (1928), la define como un gran espesor de areniscas cuarcíticas intercaladas con lutitas varicoloreadas, con capas ocasionales de calizas verdosas o negras, más comunes en la parte superior. El espesor en su área tipo, en el pueblo Barranquín; entre Cumaná y el río Manzanares, es de 1.500 metros. De acuerdo a YORIS (1978), el eminente carácter transgresivo de esta Formación se encuentra enmarcado dentro de un ambiente marino somero íntimamente relacionado con facies sedimentarias de carácter no marino.

- **Aptiense medio-Albiense superior**

Formación García: Consiste predominantemente en lutitas oscuras y delgadas capas de areniscas de grano fino y calizas. El eminente carácter lutítico marino de la unidad, indica una lenta sedimentación, que puede ser evidenciada por el contenido de glauconita en su sección inferior. Su localidad tipo se encuentra en el flanco este del Pico García, unos 9,5 kilómetros al norte de Aragua de Maturín, y presenta un espesor de 95 metros. El Léxico Estratigráfico de Venezuela (LEV) le otorga una edad Aptiense Tardío y precisa que el paleoambiente corresponde a un ambiente de plataforma.

Formación El Cantil: De edad Aptiense-Cenomaniense. Definida por LIDDLE (1928) para designar las calizas y lutitas suprayacentes a la Formación Barranquín. En el LEV, se le describe como muy variable lateralmente. Las calizas fosilíferas macizas, frecuentemente con aspecto arrecifal, son típicas y localmente constituyen el mayor volumen de la Formación. De resto, están separadas entre sí por cantidades apreciables de arenisca, lutita y caliza finamente estratificadas. La sección tipo se ubica en el río Punceres, localidad de El Cantil, en el estado Monagas, donde su espesor alcanza los 866 metros.

FURRER & CASTRO (1997, en LEV 1997), describen en el sector Caripe, estado Monagas, dos (02) miembros: Miembro Mapurite, representado por arcillitas, limolitas arenosas de color negro, areniscas de grano fino a grueso y microconglomerados en canales, calizas arenosas de color gris a negro, con bioturbaciones silicificadas oscuras. Miembro Guácharo, constituido por calizas macizas, micritas y biomicritas, de color negro a gris, *wackestone* y coquinas de bivalvos, con intercalaciones margosas, de color negro a gris, de espesor variable con areniscas. En Caripito, se encuentran los miembros reducidos.

YORIS (1978), señala que la Formación El Cantil se depositó en una plataforma estable, donde la abundancia de facies laterales y verticales produjo una heterogeneidad a nivel regional.

Formación Chimana: HEDBERG & PYRE (1944) la definieron por primera vez en su localidad tipo ubicada en isla Chimana Grande, como un intervalo predominantemente lutítico, donde hacia el sur las areniscas toman incremento rápidamente. De acuerdo con GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) corresponde a un intervalo de ambiente nerítico, que consiste predominantemente en lutitas que meteorizan en color marrón, amarillo o verdosa,

con calizas marrón-oliva, fosilíferas y glauconíticas, y areniscas glauconíticas y micáceas.

YORIS (1984, 1985, 1988), en LEV 1997, establece la redefinición de la Formación Chimana y la subdivide en cinco (05) miembros que la conforman al sur y este de la Serranía del Interior: Caripe, Corral Viejo, Caripito, Chimana Grande y Putucual, diferenciados litológicamente de las formaciones El Cantil y Querecual.

La Formación es concordante en su base y en su tope, por lo que esta unidad representa una facies marina de transición entre los desarrollos de plataforma característicos de la Formación El Cantil y los ambientes euxínicos de la Formación Querecual (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

- **Cenomaniense-Campaniense**

El paso de Albiense al Cenomaniense está representado por el contacto entre las formaciones Chimana o El Cantil y la Formación Querecual, perteneciente al Grupo Guayuta.

Grupo Guayuta

Formación Querecual: Las condiciones ambientales durante la sedimentación fueron euxínicas con facies reductoras, en un fondo marino donde se acumularon las calizas laminares ricas en materia orgánica intercaladas con lutitas laminares de color negro con concreciones que caracterizan a Querecual. El espesor es de unos 700 metros en la sección tipo y su carácter es monótono a lo largo de toda la Serranía del Interior Oriental. En general, puede abarcar desde el Cenomaniense hasta parte del Santoniense (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

Formación San Antonio: Durante el Santoniense las condiciones se tornan más oxigenadas y hubo algún aporte clástico, así como de la sílice-biogénica que caracteriza a la sedimentación de esta Formación. Consiste predominantemente en lutitas oscuras y laminadas sobre calizas, con la presencia de numerosas capas de areniscas frecuentemente calcáreas, elementos distintivos con respecto a la Formación Querecual; una característica típica es la presencia de “diques” de arenisca e intervalos de ftanitas. La Formación San Antonio, de edad Cretácico Tardío, tiene un espesor de 350 metros en la sección tipo y su contacto con Querecual es concordante y transicional (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

- **Campaniense-Maastrichtiense**

Después del periodo de máxima transgresión marina representado en Venezuela oriental por el Grupo Guayuta, se produce un renovado aporte de arenas provenientes del Cratón de Guayana, que caracterizan a la Formación San Juan.

Grupo Santa Anita

Formación San Juan: De ambiente nerítico costero. Esencialmente un gran lente de arena fina en forma de cuña, gruesa al sur, pero que se adelgaza e interdigita hacia el norte con el desarrollo lutítico de la Formación Vidoño. Se caracteriza por el predominio de areniscas bien estratificadas, duras y resistentes, de grano fino bien escogido, de colores grises, que forman intervalos gruesos. Estas capas se intercalan con capas de lutitas negras, arenáceas, localmente calcáreas y limolitas negras, de muy pocos centímetros. GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980), señalan que la Formación es regresiva y su base, concordante y transicional sobre San Antonio, es progresivamente más joven hacia el norte.

- **Campaniense- Paleoceno/Eoceno**

Formación Vidoño: Desde el Maastrichtiense medio hasta el Terciario Inferior, sobre la Formación San Juan y en forma diacrónica, en las facies más profundas de la cuenca se sedimentan lutitas oscuras ricas en foraminíferos que caracterizan la Formación Vidoño, con zonas localizadas más arenosas y limolitas calcáreas duras. STANLY (1960, en GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980), señala que el ambiente sedimentario sugiere su ubicación en la zona nerítica externa a batial parcialmente restringida.

Formación Caratas: De edad Eoceno Temprano a Tardío. Sedimentación regresiva caracterizada por la presencia de areniscas calcáreas de grano fino a medio, lutitas, limolitas y algunas calizas dolomíticas. En su sección tipo se ha reportado un espesor aproximado de 315 a 335 metros. Su contacto es concordante y diacrónico con la Formación Vidoño. El Miembro Tinajitas es de carácter transicional con la Formación Caratas, aunque localmente puede ser abrupto (LEV, 1997).

- **Oligoceno**

Representado por la sedimentación del Grupo Merecure, conformado por las formaciones Los Jabillos, Areo y Naricual.

Grupo Merecure

Formación Los Jabillos: Su contacto inferior está marcado por un hiatus paleontológico sobre el Miembro Tinajitas de la Formación Caratas. Es una unidad resistente y topográficamente prominente en el flanco sur de la Serranía del Interior. Se caracteriza por una monótona secuencia de capas gruesas de areniscas cuarzosas, con guijas y guijarros de cuarzo. Se le otorga una edad Oligoceno Temprano. Su ambiente ha sido descrito convencionalmente como marino litoral con influencia fluvial (LEV, 1997).

Formación Areo: Consiste predominantemente de lutitas grises con capas delgadas de concreciones, glauconíticas, asociadas con moluscos, además de capas ocasionales de areniscas cuarcíticas duras y también algunas calizas duras y delgadas. En su sección tipo tiene más de 305 metros de espesor y sus contactos son concordantes sobre las formaciones Los Jabillos y Naricual, infra y suprayacente, respectivamente. SOCAS (1991, en LEV 1997) interpreta un ambiente de plataforma media, por su parte, VIVAS & MACSOTAY (1995, en LEV 1997) proponen un ambiente sedimentario de plataforma externa a batial superior.

Formación Naricual: En el Léxico Estratigráfico de Venezuela, ROSALES (1967) señala que está constituida en un 15-25% por areniscas cuarzosas, 75-85% de lutitas carbonosas, lutitas arenosas y limonitas finamente laminadas. Con un porcentaje de carbón que no alcanza 1%. PEIRSON (1965) propone un ambiente sedimentario regresivo en aguas dulces a muy salobres, relacionado a un sistema deltaico grande o una región amplia de tierras bajas pantanosas, mientras que SOCAS (1991) sugiere un ambiente regresivo de talud a plataforma externa en la base, que varía hacia arriba a marino abierto - marino restringido. Se le otorga una edad Oligoceno Tardío - Mioceno Temprano. Presenta un contacto bruscamente transicional, vertical y lateralmente, con las Formaciones Areo y Carapita.

- **Mioceno Temprano-Medio**

Formación Carapita: El Léxico Estratigráfico de Venezuela la define como una unidad casi exclusivamente de lutitas oscuras ricas en foraminíferos, con areniscas escasas. El contacto con las formaciones Naricual y Areo es concordante y transicional, e infrayace con fuerte discordancia a la Formación La Pica, o a la Formación Las Piedras más al norte. El paleoambiente fue mayormente de facies marinas profundas que pasan lateralmente hacia los bordes de la cuenca, a facies marinas someras y marginales.

- **Mioceno Superior**

Formación La Pica: Litológicamente, está constituida por una alternancia de lutitas y areniscas. Las primeras son oscuras, típicamente limolíticas, micáceas y ligníticas, frecuentemente laminadas con areniscas y limos. Las areniscas son de grano fino, intercaladas con limo y arcilla, ligníticas y micáceas. Se encuentra discordante sobre la Formación Carapita y concordante o discordante con la Formación Las Piedras según el área. El ambiente interpretado corresponde a un ambiente marino somero cercano a la costa (LEV, 1997).

- **Plioceno-Pleistoceno**

Formación Las Piedras: Según la descripción del LEV, la litología consiste principalmente en sedimentos finos mal consolidados, que incluyen areniscas y limolitas más o menos carbonosas, lutitas arcillosas, arcillitas y lignitos, depositados en ambientes fluvio-deltaicos y neríticos costeros. De edad Plioceno.

Formación Quiriquire: La sección tipo se encuentra en el Campo Quiriquire, noreste del estado Monagas, definido por REGAN (1938). Se caracteriza litológicamente por lentes irregularmente interestratificadas de peñones, peñas, gravas, areniscas, limos, arcillas arenosas y arcillitas, casi sin estratificación y mal consolidadas (LEV, 1997). La Formación Quiriquire se interdigita con y pasa lateralmente a la Formación Las Piedras, y localmente infrayace a la Formación Mesa (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.*, 1980).

Formación Mesa: De edad Pleistoceno. Caracterizada por cuerpos espesos de areniscas gruesas, friables, conglomerados, limolitas y arcillitas de ambientes continental, fluvial a lacustrino (LEV, 1997).

LAVERDE, 2024. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.

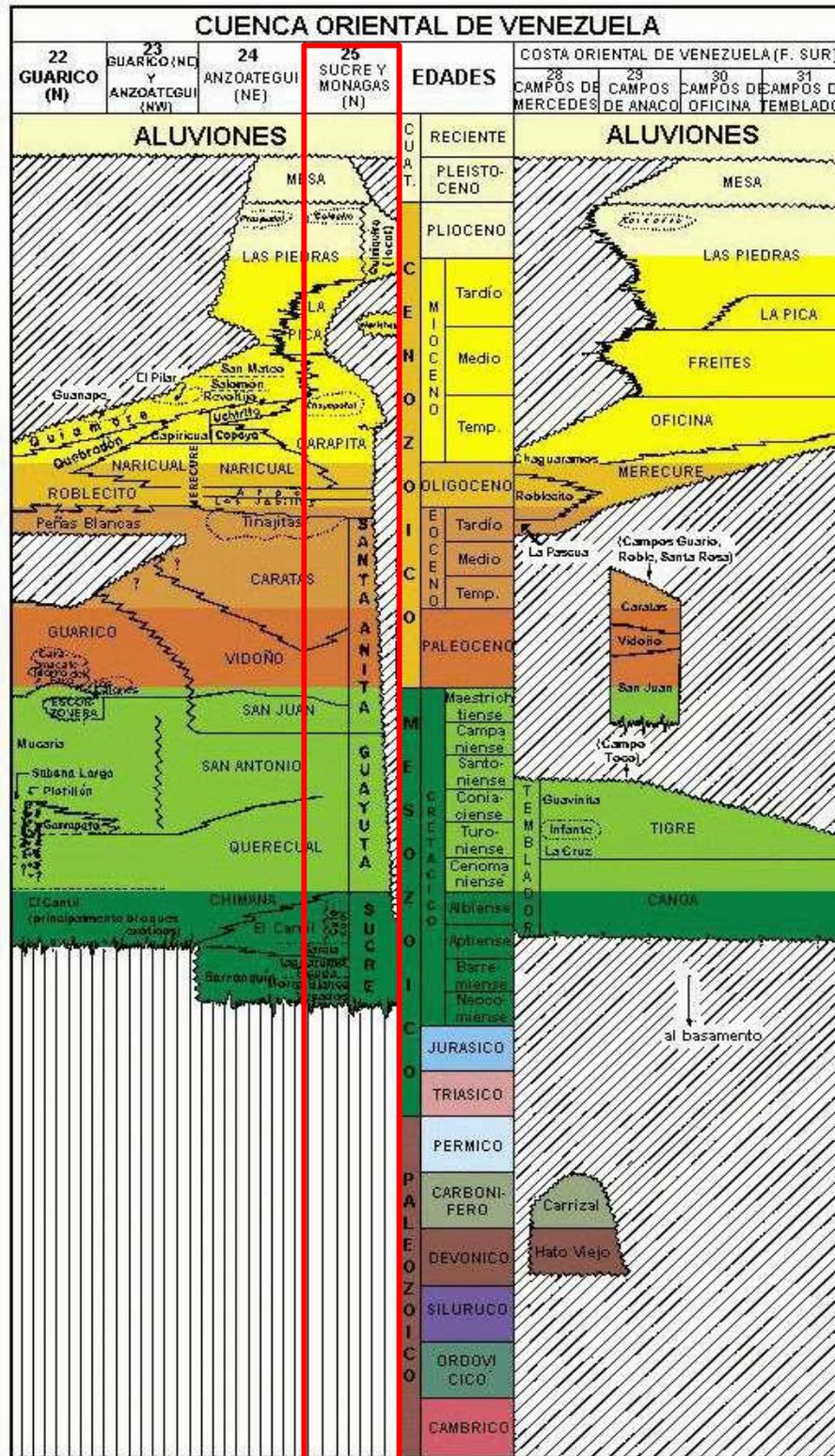


Figura 2.2. Columna estratigráfica regional de la Cuenca Oriental de Venezuela (modificado de L.E.V., 1970)

2.1.2. Geología Estructural Regional

La Serranía del Interior Oriental se ubica en la región septentrional de la Cuenca Oriental de Venezuela, con una extensión aproximada de 5.600 kilómetros cuadrados. Su límite norte es la costa atlántica e islas cercanas entre Barcelona y Cumaná, la costa del golfo de Cariaco y una línea casi este-oeste entre Cariaco y El Pilar. Al sur, la Cuenca Oriental. El límite oeste está definido por planicies inundables de los deltas del caño Turuépano, caño Guariquén y río San Juan. Su límite occidental fue definido por ROD (1959), como la falla de Urica.

- **Plegamientos**

VON DER OSTEN (1954, en YORIS 1978) describe la Serranía del Interior Oriental como un gran anticlinorio asimétrico con rumbo casi este-oeste y con el declive de su eje en ambas direcciones. La secuencia sedimentaria está plegada y fallada, donde las rocas que la constituyen son de edad Cretácica principalmente, hasta el Reciente, el mapa geológico esquemático se muestra en la Figura 2.3.

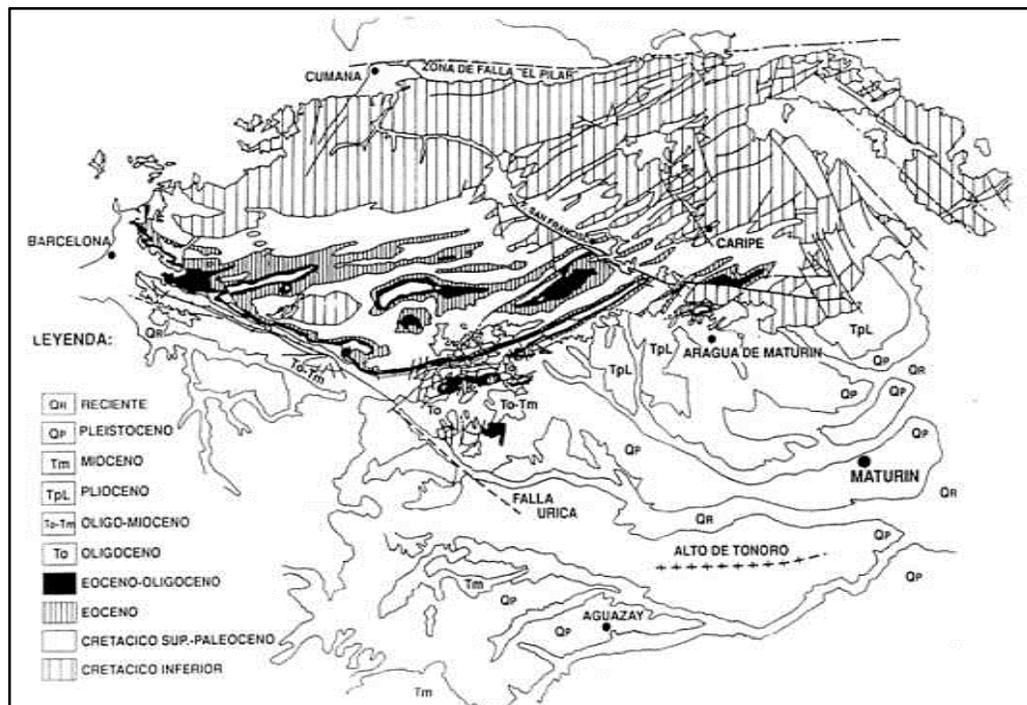


Figura 2.3. Mapa geológico esquemático de la Serranía del Interior (tomado de BELLIZZIA *et al.*, 1976, en WAGNER, 2004)

El mismo autor señala que los pliegues individuales muestran las mismas características de la estructura mayor, son asimétricos hacia el sur y la inclinación de sus ejes es hacia el este u oeste, según su posición geográfica. También expone que en la provincia estructural son comunes fallas de todos los tipos; fallas de corrimiento, de ángulo bajo y alto, generalmente con corrimiento hacia el sur; fallas normales, longitudinales y transversales, y fallas transcurrentes.

Concluye que en el oriente de Venezuela todas las estructuras fueron producidas por esfuerzos tectónicos dirigidos hacia el sur, originados por el empuje de la tierra fronteriza de Paria (hipotética) contra el Escudo de Guayana. Finalmente, postula la relación entre la falla de El Pilar con fallas transformantes al sur de la Placa Caribe, donde la formación de ésta trajo como consecuencia el campo de esfuerzos que deformó la zona del Interior a lo largo del norte del Cratón de Guayana.

ROSALES (1976, en YORIS 1978), en concordancia con lo expuesto por MURANI (1972), atribuye la estructura de la Serranía del Interior Oriental a esfuerzos compresivos dirigidos hacia el sur de una deformación causada por grandes fallas dextrales que afectaron todo el norte de Venezuela.

GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980), precisan que la Serranía del Interior Oriental es un gran anticlinorio de rumbo N70°E con declive hacia el oeste. Atribuye su levantamiento a un fenómeno orogénico tardío cuyos efectos, en territorio venezolano, solo se observan con la discordancia entre el Miembro Tinajitas de la Formación Caratas y la Formación Los Jabillos.

Los autores indican que, en general, los volcamientos y corrimientos son más abundantes en el flanco sur que en el flanco norte. El paso de las zonas con pliegues abiertos de plano axial vertical a las zonas volcadas “algunas veces” es violento, a través de uno o varios corrimientos; otras veces es más transicional por volcamiento gradual en los anticlinales. Las zonas volcadas del flanco sur son a menudo largas y paralelas o subparalelas al rumbo.

De acuerdo a ROSSI (1985), el estilo estructural de la serranía es plegado. Al noreste los pliegues son “en caja”, mientras que al suroeste no. Como se muestra en la Figura 2.4, cada anticlinorio en caja está seguido de un sinclinal abierto que converge hacia el suroeste en un solo anticlinal cilíndrico.

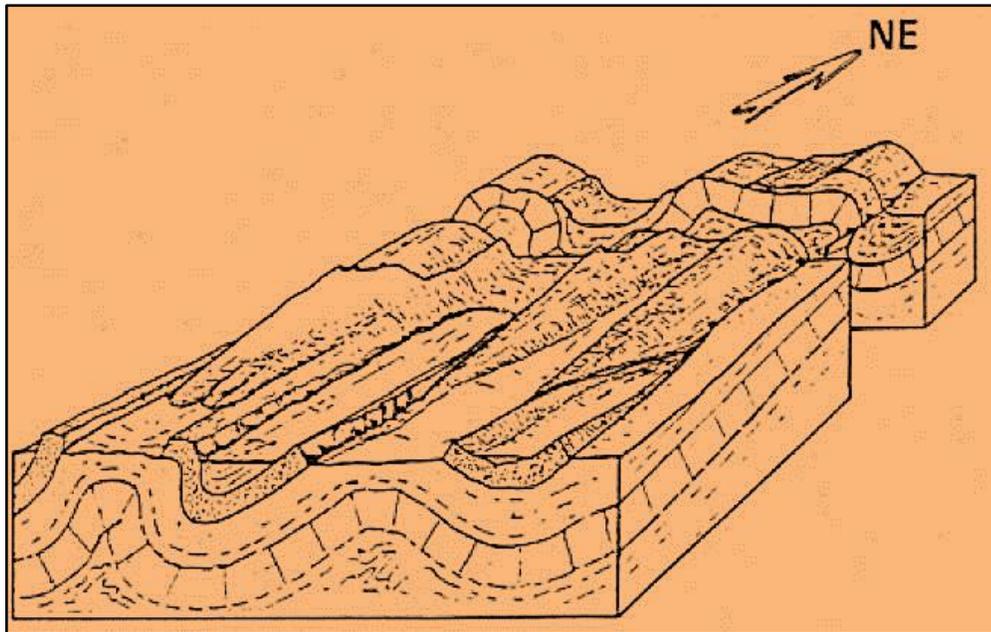


Figura 2.4. Bloque diagramático ilustrando el paso noreste a suroeste de un pliegue en caja a uno en no caja (tomado de ROSSI, 1985, en WAGNER, 2004)

En el piedemonte de la serranía, el dominio occidental presenta un estilo estructural simple, formado por una sucesión de pliegues en dirección N60-70°, asimétricos y algunos volcados hacia el sureste. La transición hacia el dominio oriental es a través del sinclinal volcado de río Aragua y el anticlinal de Cerro García. Ver Figura 2.5.

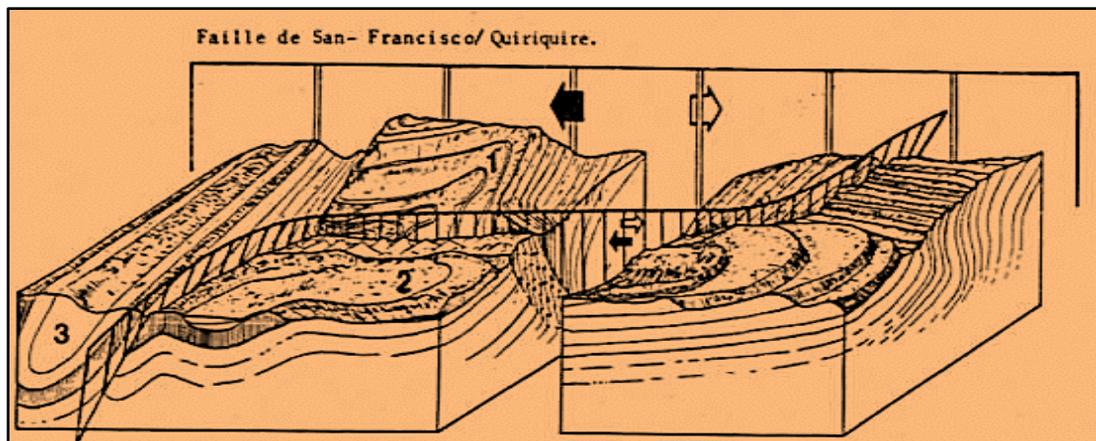


Figura 2.5. Bloque diagramático ilustrando la morfología de las estructuras en el sector Cerro García (tomado de ROSSI, 1985, en WAGNER, 2004).

- **Fallamiento**

Las principales estructuras presentes están constituidas por el sistema de fallas El Pilar, Urica y San Francisco, el corrimiento de Piritál, y el frente de deformación, directamente relacionadas con la interacción de las placas caribeña y suramericana, las cuales se muestran en la Figura 2.6.

Falla de El Pilar: Numerosos autores han considerado que la terminación septentrional de la Serranía del Interior Oriental está determinada por esta geofractura; una falla de desplazamiento de rumbo con movimiento predominantemente horizontal. Sin embargo, diversos autores como GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980), establecen que los datos de campo no justifican la transcurrencia de la falla. CARNEVALI (1988, en AGUILAR & PEREZ 1993) señala que presenta una tendencia este-oeste, lo que hace que sea postulada como el borde entre la Placa Caribe y la Placa Suramericana.

Falla de Urica: ROD (1959), manifiesta que se distingue desde la zona petrolera de Tacat, siguiendo muy aproximadamente la línea fronteriza entre los estados Anzoátegui y Monagas. SALVADOR & STAINFORTH (1968), añaden que el movimiento de la falla es transcurrente dextral y su desplazamiento horizontal oscila entre 8 y 10 kilómetros.

Falla de San Francisco: ROSALES (1972 y 1976, en GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980), indica que corta la superestructura anticlinal de la Serranía del Interior Oriental desplazando los afloramientos desde el tope de la Formación Barranquín hasta el tope de la Formación Areo. Describe que el rumbo de la falla es NW-SE, pasando progresivamente a E-W. También indica que el plano de falla es esencialmente vertical, hasta el Campo Quiriquire donde se inclina, buza hacia el norte y se confunde con el corrimiento de Piritál. Presenta un movimiento dextral y estima su desplazamiento entre 18 y 25 kilómetros, pudiendo alcanzar los 30 kilómetros.

Corrimiento de Piritál: De acuerdo a ROD (1959), esta estructura comienza al este de la falla de Urica y se prolonga hasta alcanzar la falla de San Francisco. GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980), resaltan que fue originada en toda su longitud por esfuerzos compresivos de naturaleza semejante. DI CROCE (1995) le asigna un desplazamiento vertical de 4-5 kilómetros y un desplazamiento horizontal entre 20 y 30 kilómetros.

Frente de Deformación o Corrimiento Frontal: SINGER *et al.* (1995, en WAGNER,

la misma fidelidad como los ejes de los pliegues. Sistema de fallas con orientación oeste-noroeste o noroeste, donde se destacan las fallas de San Francisco y Urica. Y un sistema de fallas con orientación noreste.

En resumen, la configuración estructural de la Serranía del Interior es producto de esfuerzos compresivos dirigidos hacia el sur. Una parte del acortamiento originó una deformación plástica evidenciada por un gran anticlinal con rumbo promedio N70°E y vergencia oeste, compuesto por pliegues secundarios de gran variedad; abiertos, isoclinales, concéntricos simples. La otra parte del acortamiento es frágil, generando corrimientos con tendencia general hacia el sur; entre los que destaca el corrimiento de Pirital, fallas rumbo-deslizantes; representadas principalmente por las fallas de El Pilar, Urica y San Francisco, y pequeñas estructuras.

2.1.3. Evolución Tectonoestratigráfica

En esta parte del trabajo se hará una descripción de los procesos tectónicos más importantes que controlan la disposición actual de la Serranía del Interior Oriental.

La evolución de la Cuenca Oriental de Venezuela, comprendida por la Faja Petrolífera del Orinoco, la Subcuenca de Maturín y la Serranía del Interior, resulta de la interacción compleja entre las placas Caribe, Suramérica y Norteamérica. De acuerdo a EVA *et al.* (1989) su evolución tectónica se divide en cuatro (04) episodios principales:

Etapa Pre-Rift

Esta secuencia se identificó mediante la utilización de líneas sísmicas, la misma tuvo lugar en el Paleozoico. Está asociada con la sedimentación de las formaciones Hato Viejo y Carrizal, ambas de edad Cretácico temprano, las cuales yacen de manera discordante sobre el basamento ígneo-metamórfico del Precámbrico. Estas unidades fueron depositadas en ambientes marinos costeros a neríticos.

Durante el Pérmico-Triásico el borde septentrional del Cratón de Guayana se levanta, la regresión marina que deja expuestos los sedimentos paleozoicos. Durante el periodo Triásico-Jurásico los sedimentos de las formaciones Hato Viejo y Carrizal estuvieron sometidos a la acción de agentes externos por más de 60 M.A., la mayor parte de estos fueron erosionados, quedando restos en algunas áreas y preservados en las grandes depresiones (MÉNDEZ, 2003).

Etapa de Rifting y Drifting

Comprende el lapso de tiempo entre Jurásico y Cretácico temprano. Desde el Triásico tardío al Jurásico temprano, estuvo caracterizada por la fase de “*Rifting*” continental, iniciándose con procesos distensivos que produjeron varias estructuraciones importantes y condicionaron la sedimentación en la Cuenca Oriental y demás cuencas venezolanas. Este periodo generó una serie de estructuras en grábenes con tendencia noreste. Todas estas depresiones fueron rellenadas durante el Jurásico por sedimentos continentales tipo “capas rojas” y mantos de basaltos. Este periodo está caracterizado por la sedimentación de la Formación La Quinta en el Graben de Espino, con sedimentos provenientes “posiblemente” del Cratón de Guayana (HEDBERG, 1950; BARTOK, 1993).

Etapa de Margen Pasivo

Transcurre entre Cretácico Tardío–Paleógeno. En este periodo de desarrollan, de norte a sur, tres (03) fases transgresivas que culminaron en el Turoniense, Paleoceno- Eoceno y Oligoceno, respectivamente, coincidiendo con las elevaciones del nivel del mar a nivel global VAIL *et al.* (1977, en PARNAUD *et al.*, 1995).

La primera fase transgresiva inicia con la depositación de las areniscas basales de la Formación Barranquín en el Barremiense (VON DER OSTEN, 1957). El mar avanza contra el borde del Cratón de Guayana, desarrollando ambientes neríticos - costeros y litorales. La sedimentación está controlada por avances y retiradas del mar a consecuencia de movimientos verticales del Cratón. El máximo avance transgresivo de esta fase está marcado por la depositación de carbonatos de plataforma que son diacrónicos en dirección norte-sur en la cuenca oriental. En el Aptiense-Albiense se sedimenta una plataforma bien definida y extensa, carbonático-clástica, correspondiente a las formaciones García, El Cantil, Chimana, Querecual y San Antonio, respectivamente, depositadas sobre la Formación Barranquín (PARNAUD *et al.*, 1995).

La siguiente transgresión tuvo lugar durante el periodo Paleoceno–Eoceno, y está representada por la arenisca masiva de la Formación San Juan. Posteriormente, se depositan los sedimentos finos de talud continental de la Formación Vidoño que es seguida diacrónicamente por los más arenosos de la Formación Caratas. Al final de esta transgresión, un levantamiento epirogénico produjo la erosión de las capas más superficiales. Esta sección

es la primera evidencia estratigráfica de la colisión y derrocamiento de la Cordillera de La Costa en el margen pasivo de Suramérica.

La transgresión final, ocurrida durante el Oligoceno, comenzó con la depositación de las areniscas basales de la Formación Merecure, depositada bajo un ambiente continental en la parte sur de la cuenca (área de Cerro Negro). Hacia el norte, en la Serranía del Interior, fue depositada bajo un ambiente de arrecife, definido por las formaciones Los Jabillos, Areo y Naricual, pertenecientes al Grupo Merecure (STAINFORTH, 1971).

Etapa de Colisión Oblicua

El margen pasivo culminó durante el Oligoceno, dando inicio a la colisión oblicua que se desarrolla desde el Mioceno temprano hasta el Reciente. De manera diacrónica y con un desplazamiento progresivo de dirección oeste-este, la Placa Caribe choca contra la Placa Suramericana, originando el cambio de la cuenca de margen pasivo a una cuenca antepaís (*foreland*). Esta interacción originó el levantamiento de la Serranía del Interior, que fue intensamente plegada y fallada, y el hundimiento de la parte central de la subcuenca de Maturín. PARNAUD et al., (1995) señala que la colisión oblicua dividió la cuenca antepaís en tres (03) sectores: área sur; correspondiente a la zona plataformal, área central; correspondiente al *foredeep*, y área norte, correspondiente al área de sobrecojimientos. En el Mioceno medio-tardío, el mar de la Cuenca Oriental se profundiza de oeste a este, sedimentándose en el *foredeep* la secuencia de lutitas de la Formación Carapita. Durante el Plioceno, la continua regresión del mar hacia el este, desarrolló ambientes fluvio-deltaicos y neríticos costeros, donde se depositaron las formaciones La Pica, Las Piedras; y su equivalente lateral Quiriquire. Finalmente, la Formación Mesa, de edad Pleistoceno y ambiente continental, suprayacente y da fin al proceso de sedimentación.

2.2. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

En esta sección, para el objetivo planteado, se exponen algunas definiciones, conceptos, clasificaciones teóricas, análisis y estudios, que conviene tener presente a lo largo de la investigación para su comprensión y análisis. Tales como: materias primas minerales, yacimiento mineral, rocas carbonáticas, clasificación química y textural de rocas carbonáticas, exploración geológica - minera y reconocimiento de rocas, análisis de difracción de rayos X, estudio de petrografía microscópica, *Slake Durability Test*, erosión natural, antrópica, y erosión hídrica.

2.2.1. Materias Primas Minerales

Son sustancias que se extraen de la corteza terrestre para aprovechar sus propiedades físicas o químicas. Esta definición comprende todos los minerales y rocas utilizados por el ser humano y los elementos y compuestos que se extraen de ellos. Se incluyen en esta definición los minerales y rocas que se utilizan en la construcción (áridos, rocas ornamentales, rocas para hacer cemento) y otros minerales industriales (arcillas, yeso, sal, aluminosilicatos, zeolitas), las gemas, los minerales de los que, mediante procesos mineralúrgicos, se extraen determinados elementos, el carbón, y los hidrocarburos.

Las materias primas minerales tienen un valor económico intrínseco debido a que son apreciadas por sus propiedades y aplicaciones, permitiendo satisfacer, mediante su aprovechamiento industrial, necesidades humanas muy diversas.

Debido a que son bienes proporcionados por la naturaleza, las materias primas minerales constituyen parte de lo que se conoce como recursos naturales (CANET & CAMPRUBÍ, 2013).

2.2.2. Yacimiento Mineral

Se designa de esta manera a los depósitos minerales que son susceptibles de ser explotados con un beneficio económico. Una vez evaluado detalladamente el yacimiento mineral y su contexto, y tomándose una decisión favorable para su explotación, inician las operaciones mineras encaminadas a compensar toda la inversión y producir un beneficio con rentabilidad económica.

Las labores mineras que se desarrollan a partir de ese momento comprenden la

extracción física, o ciclo operativo minero: arranque, carga, acarreo, y descarga de la masa mineral del yacimiento y el tratamiento o beneficio del mismo.

La elección de métodos de minado que se apliquen en un yacimiento concreto depende principalmente de los factores geológicos del yacimiento (CANET & CAMPRUBÍ, 2013).

2.2.3. Rocas Carbonáticas

De acuerdo a MÉNDEZ (2009), las rocas carbonáticas constituyen los sedimentos y rocas sedimentarias más abundantes después de los clásticos terrígenos. Se forman fundamentalmente por procesos químicos, bioquímicos y biológicos, los cuales se originan esencialmente por los procesos de meteorización y erosión de rocas preexistentes.

Las rocas carbonáticas contienen más del 50% de minerales de carbonatos los cuales están compuestos por CO_3^{2-} y uno o más cationes, siendo la calcita y la dolomita sus minerales más comunes. Así mismo, presentan diferentes componentes que pueden variar de acuerdo a su origen y procesos diagenéticos.

Se manejarán cuatro (04) sistemas de clasificación principales para las rocas carbonáticas, dos (02) en función de su composición química, y dos (02) de acuerdo a su arreglo textural. A continuación, se describen brevemente cada uno de ellos:

1) Clasificación química de rocas carbonáticas

PETTIJOHN 1975, diferencia cinco (05) tipos de rocas carbonáticas en función de su contenido de MgO, tal como se muestra en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Clasificación de rocas carbonáticas en función del contenido de MgO (PETTIJOHN, 1975).

Tipo de carbonato	% de MgO
Caliza	0% - 1,1%
Caliza Magnésiana	1,1% - 2,1%
Caliza Dolomítica	2,1% - 10,8%
Dolomita Calcítica	10,8% - 19,5%
Dolomita	19,5% - 21,7%

2) Clasificación química de calizas

Desde el punto de vista de la aplicación industrial, uno de los parámetros que se tiene

en cuenta se refiere a la composición química, casi más que en la composición mineralógica, razón por la cual se especifica el contenido de CaCO_3 o CaO , y MgCO_3 o MgO , o ambos, según HARRISON *et al.* (1998), expuesta en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Clasificación de calizas según su contenido de CaO y SiO_2 (HARRISON *et al.*, 1998)

Categoría	% CaCO_3	CaO	SiO_2
Muy alta pureza	$\text{CaCO}_3 \geq 98,5\%$	$\text{CaO} \geq 55$	≤ 1
Alta pureza	$94,5\% \leq \text{CaCO}_3 < 98,5\%$	$53 \leq \text{CaO} < 55$	1-3
Medianamente pura	$91\% \leq \text{CaCO}_3 < 94,5\%$	$51 \leq \text{CaO} < 53$	3-6
Baja pureza	$85\% \leq \text{CaCO}_3 < 91\%$	$47,6 \leq \text{CaO} < 51$	≥ 6
Muy baja pureza	$\text{CaCO}_3 < 85\%$	$\text{CaO} < 47,6$	≥ 10

3) Clasificación textural de rocas carbonáticas (DUNHAM, 1962)

De acuerdo con DUNHAM 1962, se distinguen dos (02) tipos generales de carbonatos: (01) los que presentan textura deposicional reconocible, y (02) los que presentan textura cristalina, imposibilitando conocer la textura deposicional. Ver Figura 2.7.

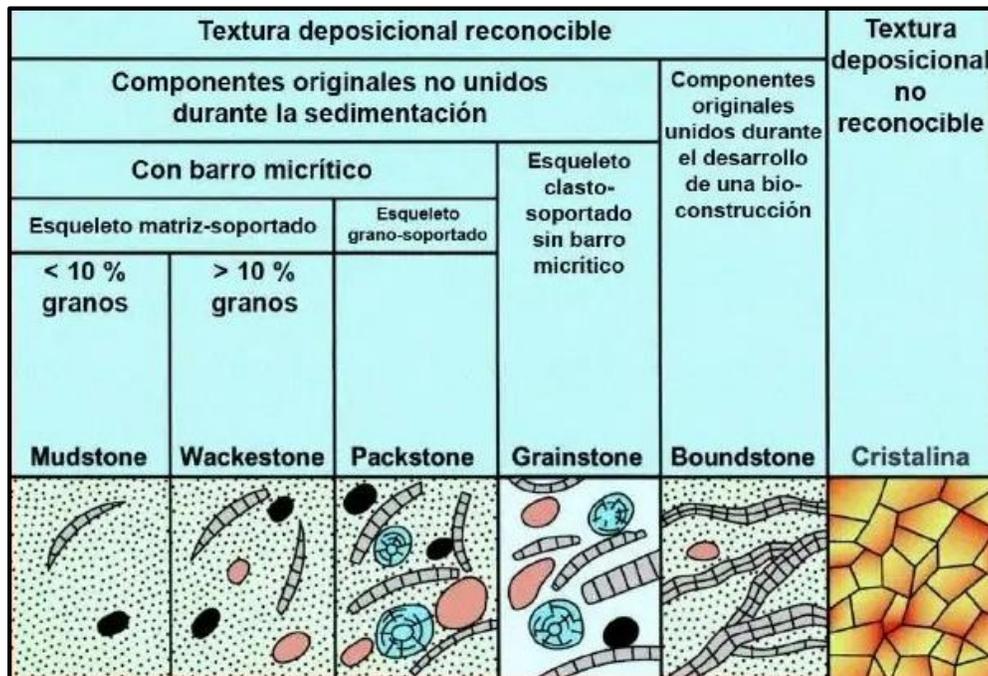


Figura 2.7. Clasificación en base a la textura deposicional de DUNHAM, 1962 (Modificado de MÉNDEZ, 2009).

4) Clasificación textural de rocas carbonáticas (FOLK, 1962)

FOLK 1962, establece una clasificación en función de las proporciones relativas de tres (03) constituyentes básicos: granos (aloquímicos), matriz micrítica y cemento esparítico (ortoquímicos). Ver Figura 2.8.

	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 retrabajado
Términos de Rocas	Micrita y Dismicrita	Micrita fosilífera	Biomicrita esparcida	Biomicrita agrupada	Bioesparita mal lavada	Bioesparita no escogida	Bioesparita escogida	Bioesparita redondeada
Terminología	Micrita Dismicrita	Micrita Fosilífera	Bio micrita		Bioesparita			
Análogos Terrígenos	Lutita o Arcillita		Arcillita arenosa	Arenisca inmadura o arcillosa	Arenisca submadura	Arenisca madura	Arenisca supermadura	

Figura 2.8. Clasificación textural de FOLK, 1962 (Modificado de MÉNDEZ, 2009).

2.2.4. Exploración geológica - minera y reconocimiento de rocas

El estudio en mayor o menor detalle de las características de una región o zona es necesario en cualquier estudio de ámbito geológico - minero, debido a que cada tipo de yacimiento mineral suele presentar características y condicionantes específicos que se deben conocer para poder llevar a cabo la exploración, ésta última, comprende la búsqueda de materias primas minerales.

Una vez realizado el hallazgo, generalmente, existen tres (03) maneras de investigar una roca: por métodos macroscópicos, microscópicos, y de laboratorio.

El reconocimiento macroscópico se lleva a cabo en la etapa de exploración, resultando el más “simple” y económico de los tres. En este, con la vista y el uso de las herramientas de campo, se describen todos los aspectos visibles, válidos, y profundos, tales como: textura, fábrica, color, densidad, dureza, morfología, minerales. Estas características pueden variar según el tipo de roca.

La microscopía, permite observar todos aquellos aspectos no visibles a la capacidad humana del ojo, por lo que es un método más profundo que da paso al hallazgo y estudio de

características intrínsecas. Este tipo de reconocimiento conlleva un mayor trabajo ya que requiere la preparación de las muestras.

Los análisis químicos, basados en la premisa fundamental de que la composición elemental de un yacimiento contribuye significativamente a la localización de su origen., amplían el rango de conocimiento de rentabilidad del yacimiento, permitiendo obtener las distribuciones anómalas de elementos o minerales. Por su parte, los métodos geomecánicos, se realizan con fines de determinar el comportamiento físico de las rocas o macizos bajo una determinada acción.

2.2.5. Petrografía Microscópica

La observación microscópica de secciones delgadas de rocas es un instrumento de suma importancia en petrografía, permitiendo la determinación precisa de los componentes, minerales constituyentes, y la estructura de las mismas, es decir, la manera como los elementos se encuentran asociados.

Los componentes petrográficos son aquellos que tienen entidad física; granos minerales, asociaciones particulares de determinados minerales, fragmentos de rocas relacionados o no genéticamente con la roca madre, componentes de la matriz y cemento, material amorfo o criptocristalino, porosidad, fracturas, entre otros. Algunos de estos se presentan en todos los tipos de rocas, mientras que otros se presentan sólo en algunos tipos, otros se presentan en cualquiera de los tipos rocosos, pero sólo ocasionalmente, como las fracturas.

Para realizar petrografía microscópica se necesita la apreciación de una serie de caracteres visibles, unos con luz ordinaria o natural, y otras con la ayuda de luz polarizada. Para ello, se emplea el microscopio petrográfico polarizante, cuyas características más importantes son el poseer una lente denominada polarizador, entre la fuente luminosa y la preparación de la muestra, 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, permitiendo analizar todos los aspectos inicialmente mencionados (GANDULLO *et al.* 2012, en *Guía Interactiva de Minerales y Rocas*

de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes).

2.2.6. Difracción de Rayos X

Se produce al bombardear un metal con electrones de alta energía. Cuando los electrones penetran en el metal se desaceleran y emiten radiaciones en un intervalo de longitudes de onda, sobre ésta aparecen picos agudos de alta intensidad. Puesto que todos los sólidos cristalinos poseen un patrón de difracción característico, la difracción de rayos X en muestras policristalinas permite abordar la identificación de las fases cristalinas.

En la actualidad es una de las técnicas más ampliamente usadas en el estudio de la materia sólida, otorgando resultados de compuestos estructurales a la química, mineralogía, y biología, permitiendo realizar estudios no destructivos de diversos tipos: análisis cualitativo, análisis cuantitativo, análisis microtextural, cambios de fase, análisis estructural (CORTES, H., MARTINEZ, P., VALENCIA, H. 2006).

2.2.7. Slake Durability Test (SDT)

El Índice de Durabilidad de *Slake* (SDI) es considerada una de las propiedades más importantes para el estudio de la resistencia de las rocas a la intemperie. Este método se ha desarrollado según la *American Society for Testing and Materials* (ASTM) D4644 y el objetivo de la prueba es proporcionar un índice que está relacionado con la resistencia de la muestra de roca contra la degradación resultante de dos ciclos de humectación y secado. Ver Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Clasificación del Índice de Durabilidad (I_D), según GOODMAN, 1980.

Clasificación “Slake Durability Test” (I_D) – (Goodman, 1980)		
Grupo	% Retenido después del primer ciclo (Peso Seco)	% Retenido después del Segundo ciclo (Peso Seco)
Muy Alta	> 99	>99
Alta	98 – 99	96 – 98
Moderada	95 – 98	86 - 95
Media	85 - 95	61 - 85
Baja	60 - 85	31 - 60
Muy Baja	< 60	< 30

2.2.8. Erosión Natural y Antrópica

El proceso erosivo se presenta de distintas formas. Según su origen, se clasifica como erosión natural y erosión antrópica.

GARCÍA-CHEVESICH 2008, señala que las cuencas, los valles y las playas han sido creados bajo distintos procesos erosivos naturales, los cuales se caracterizan por poseer lentas tasas de erosión, en las cuales el ser humano no es capaz de distinguir o darse cuenta de los cambios topográficos que ocurren. Este tipo de erosión natural se denomina erosión geológica. En cuanto a la erosión antrópica, expone que es aquella inducida por un repentino, y algunas veces inadecuado, uso de la tierra, siendo las actividades humanas en gran medida aceleradoras de las tasas de erosión.

MOSSA & JAMES 2013, explican que los cambios en la dinámica fluvial se pueden registrar por procesos naturales variados, tales como la migración fluvial y captura de arroyos. Sin embargo, las modificaciones humanas en la actualidad se superponen a los cambios naturales, siendo éstos determinantes en la alteración de los cauces; desde la introducción de contaminantes que influyen en la calidad de los sedimentos, hasta cambios de flujo, geometría y sedimentación.

En este sentido, la erosión puede ser provocada por distintos agentes exógenos, que de manera individual o en conjunto, son capaces de generar la energía suficiente para inducir el proceso erosivo.

2.2.9. Erosión Hídrica

Producida por la acción del agua, desde que impacta sobre la superficie del terreno hasta que la misma alcanza un cauce natural.

MINTEGUI & LÓPEZ (1990), definen este tipo de erosión como el proceso de disgregación de las partículas del suelo por la acción del agua, el cual culmina con el depósito de los materiales transportados por la corriente en áreas de sedimentación, cuando la capacidad de arrastre de las aguas se reduce hasta el punto de no permitir la continuación en el flujo de las partículas terrosas previamente incorporadas al mismo.

COLOMER *et al.* (2001) considera la erosión hídrica como uno de los principales procesos de pérdida de suelo y una de las formas más completas de degradación de las rocas.

2.3 GENERALIDADES DE CEMENTO CERRO AZUL

A continuación, se presentan aspectos generales de la empresa Cemento Cerro Azul, donde se encuentra el objeto en estudio. Toda la información presentada en esta sección es propiedad de la Organización; fue extraída de sus archivos institucionales y sintetizada para tal fin.

2.3.1. Reseña Institucional

Cemento Cerro Azul C.A., es una empresa del Estado venezolano, filial de la Corporación Socialista del Cemento, S.A. (CSC) y adscrita al Ministerio del Poder Popular de Industrias y Producción Nacional.

Fue creada bajo Decreto N° 4.198, de fecha 26 de diciembre de 2005, con el objeto de explorar, extraer y comercializar materia prima de caliza y arcilla, mediante el procesamiento y la comercialización de cemento Portland I y II, *Clinker* y sus derivados, contribuyendo con la producción y suministro de insumos y materias primas para las pequeñas y medianas industrias.

Inició formalmente sus operaciones en el año 2015. Cuenta con un espacio de 3.003 hectáreas de las cuales 50 son ocupadas por la Planta, cuya capacidad de producción es de un (01) millón de toneladas/año. En la Figura 2.9 se muestra la Estructura Operativa de la Planta.

2.3.2. Objetivo Principal

Destinar su producción al plan nacional de vivienda y desarrollo de infraestructura del país.

2.3.3. Misión

Producir cemento altamente competitivo, en cuanto a calidad y precio, destinados a apoyar el desarrollo de la infraestructura y el plan de vivienda del país, bajo el esquema de un desarrollo endógeno y en el marco de las líneas estratégicas de la Nación.

2.3.4. Visión

Ser una empresa líder en la producción de cemento a nivel nacional en armonía con el ambiente, con una visión integral, incluyente y participativa de las comunidades aledañas.

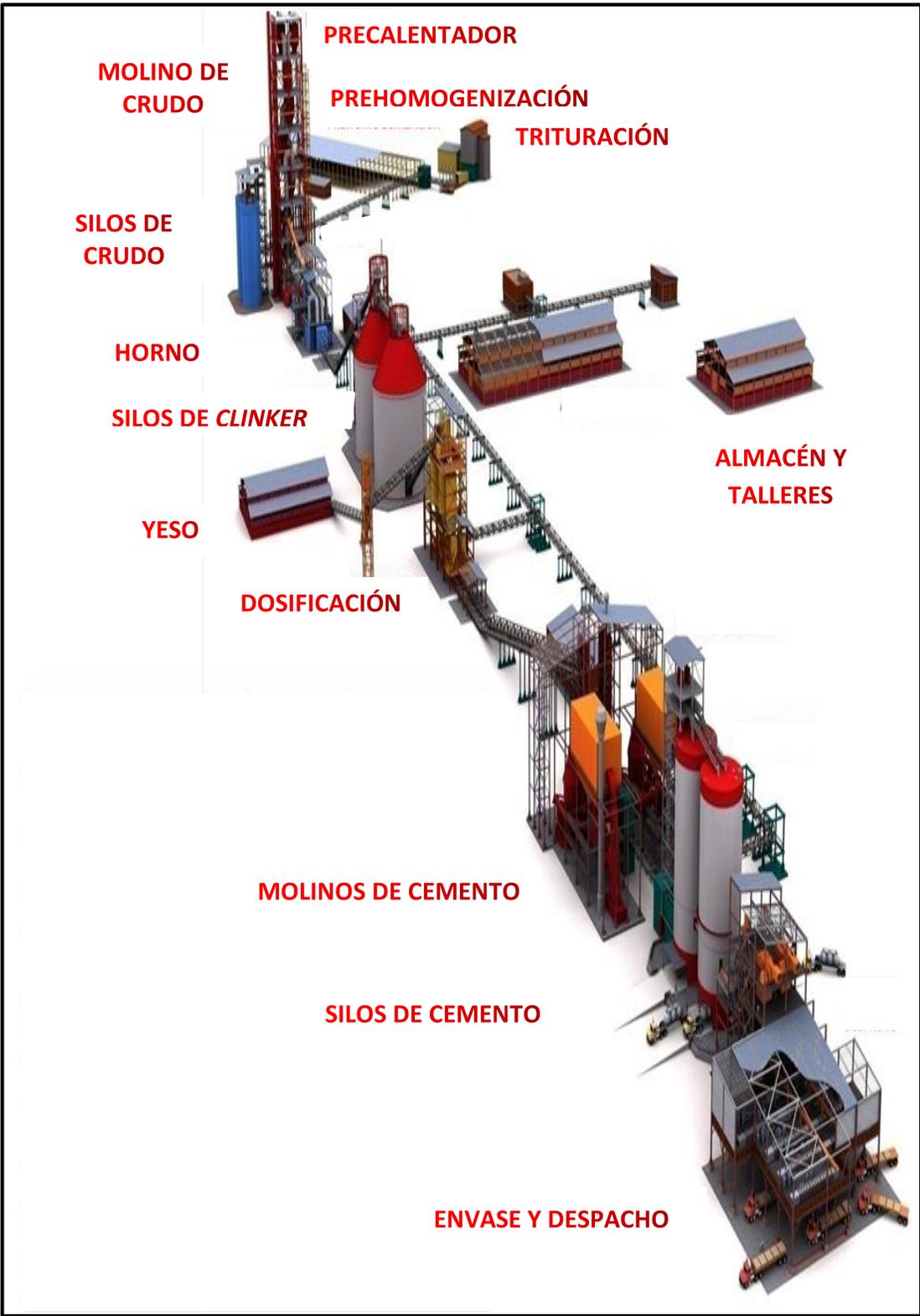


Figura 2.9. Estructura de la Planta de Cemento Cerro Azul, C.A.

2.3.5. Proceso Productivo

Cemento Cerro Azul cuenta con una planta Tipo II, cuyo proceso es ampliamente automatizado. En la Figura 2.10 se muestra el diagrama del proceso productivo para la fabricación del cemento portland Tipo I.

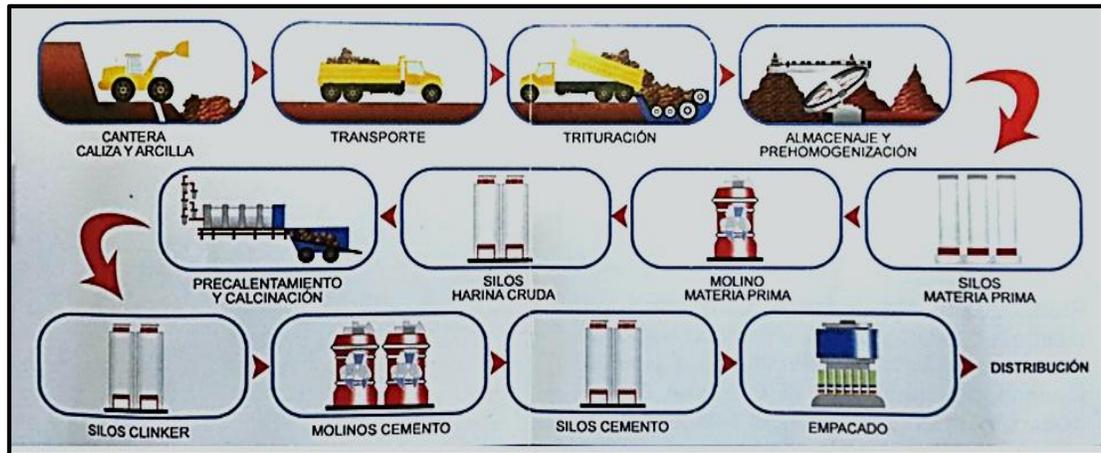


Figura 2.10. Diagrama del proceso productivo de la planta de Cemento Cerro Azul.

Canteras

Cemento Cerro Azul consta de un yacimiento de caliza, en miras de explotación, cuyo análisis de factibilidad (viabilidad) resulta una fuente de caliza económicamente rentable, explotable, y responsablemente minable. En la actualidad, la cantera para la extracción de caliza se encuentra dentro de la AOT de la cantera “El Pinto” perteneciente a INDACA, ubicada a 8 kilómetros de la Planta. Así mismo, consta de dos (02) canteras de arcilla, donde, en la actualidad, una sola de éstas se encuentra en desarrollo.

Transporte

La carga y el acarreo son actividades que se realizan de manera simultánea, paulatinamente a medida que se van desarrollando los bancos de explotación y bajando los niveles de elevación topográfica (cota). Para realizar el proceso la Empresa cuenta con una flota de equipos pesados de oruga y cargadores sobre ruedas, utilizados para la carga, y camiones articulados, para el acarreo. La distancia de acarreo actual desde la cantera de caliza hasta la Planta es de 8 kilómetros. No obstante, ya iniciaron los planes para la construcción de una vialidad más corta, que reduciría los tiempos de acarreo considerablemente. El destino

del material acarreado es la tolva de trituración o los patios de almacenamiento.

Trituración

Es la primera etapa del proceso de reducción de tamaño de las materias primas, y tiene como objetivo obtener un producto fácilmente transportable que sea conveniente para las etapas de procesamiento subsiguientes.

Recibe la materia prima, caliza y arcilla, proveniente de las canteras, donde el tamaño máximo de la carga de alimentación de piedra caliza admitido es 1,5 x 1,2 x 1,0 m. En el caso de la arcilla, el tamaño máximo de la carga de alimentación es 800 mm. El tamaño de granulación del producto final es de 95 % \leq 75 mm, hasta máximo 90 mm, medidos en malla de metal desplegado, según la *International Standardization Organization (ISO) 2591* e *ISO 3310*, para que sea lo más fino posible. De este modo, se mejora la eficacia de la operación de molienda.

La Empresa está dotada de una trituradora de etapa sencilla, marca *ThyssenKrupp*, diseñada para un índice de procesamiento de 1.200 ton/h de material mezclado, capacidad suficiente para abastecer los procesos de alimentación subsiguientes.

Almacenaje y Prehomogenización

El material triturado de caliza y arcilla es colocado en el galpón de almacenaje, cuyo espacio tiene una capacidad de 60.000 toneladas, aproximadamente.

El apilador, de marca *SCHADE*, posee una capacidad de diseño nominal de 1.300 ton/h. Dicho equipo, recibe el material de mezcla triturado y se encarga de apilarlo formando dos (02) pilas longitudinales a lo largo del galpón, una para abastecimiento y la otra para recuperación, cada pila tiene alrededor de 28.000 toneladas de capacidad. Las pilas se forman según el método “chevron” de apilamiento, con un ángulo de inclinación de 38°, una altura de 12 metros, y 122 metros de longitud cada una. Adicionalmente, se forma una tercera pila de 4.000 toneladas de capacidad, aproximadamente, donde sólo se apila caliza pura triturada, utilizada como material correctivo cuando la mezcla se encuentra baja en calidad o fuera de especificación.

En el galpón también se encuentra el recuperador, equipo encargado de recobrar el material de la pila de mezcla, formada previamente por el apilador. Durante este proceso de recuperación ocurre la prehomogenización del material. Al igual que el apilador, este equipo

es de marca *SCHADE*, y posee una capacidad nominal de 500 ton/h. El ancho de la pala del raspador es de 1.750 mm, y su altura de 350 mm, permitiendo un arrastre mayor de material, mejorando la eficiencia homogeneizadora, y descartando la segregación granulométrica productos de la expulsión del material.

Silos de Materia Prima

El material recuperado es transportado a las tolvas dosificadoras o silos de materia prima que alimentan el molino, mediante un sistema de cintas transportadoras. El proceso cuenta con cuatro (04) silos que almacenan material de mezcla, caliza, sílice y hierro. Las capacidades nominales de las tolvas se detallan en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Capacidades nominales de las tolvas de dosificación de materia prima (Tomado de los archivos de la Empresa).

Tolva	Capacidad de almacenaje
Mezcla	420 tn
Caliza (CaCO₃)	200 tn
Sílice (SiO₂)	200 tn
Hierro (Fe₂O₃)	250 tn

Molino de Materia Prima

Para el proceso de molienda de materias primas, Cemento Cerro Azul cuenta con un molino vertical, marca *LOESCHE*, modelo 48.4, cuya capacidad nominal es de 280 ton/h, cuando el material contiene un 8% de humedad, y de 260 ton/h, cuando la humedad del material alcanza el 12%. En esta etapa, el material proveniente del proceso de trituración y prehomogenización es llevado mediante reducción a un tamaño menor de 90 µm. Dicho proceso ocurre cuando, al caer la materia prima en el centro de la mesa de molienda y por la fuerza centrífuga que ejerce ésta en su giro, el material se desplaza hacia su periferia y cuatro (04) rodillos moledores con su peso trituran el material.

Silos de Harina Cruda

Durante el proceso de molienda, ingresa al equipo aire caliente recuperado del

Precalentador, que contribuye al proceso de secado de la harina cruda producida y facilita el desplazamiento de ésta hacia la parte alta del molino. Simultáneamente, el material alcanza el Clasificador o Separador Dinámico, que selecciona las partículas que cumplen con las dimensiones de salida requeridas. El material clasificado es enviado mediante ciclones al sistema de filtros de mangas y transportado por un sistema de cadena hacia los silos de harina cruda, donde ocurre la homogenización final y almacenamiento temporal.

La Planta cuenta con dos (02) silos de harina cruda, marca Ibau, cuya capacidad nominal es de 8.000 toneladas cada uno, tal como se reporta en la Tabla 2.5.

Precalentamiento y Calcinación

La harina cruda se transporta mediante elevadores de cangilones a la torre de Precalentador; el mismo cuenta con cinco (05) ciclones que generan el calor suficiente para el secado y la pre-calcinación de la mezcla cruda, antes de su entrada al horno. La temperatura de salida de la muestra cruda es de 900 °C. Seguidamente, con el material precalentado se alimenta el horno rotativo, donde se llevan a cabo las reacciones químicas de transformación de la harina cruda a *clinker*. A dicho proceso se le denomina clinkerización, y es alcanzando a los 1.400 °C, aproximadamente.

El horno de la Planta, de marca *Polysius*, posee 60 metros de longitud y 4,4 metros de diámetro, con una capacidad nominal de 3.300 ton/día. Está revestido por ladrillos refractarios que le permiten conservar las temperaturas internas, además de proteger el casco metálico del horno de las altas temperaturas.

El *clinker* para ser transportado y almacenado debe ser previamente enfriado y fragmentado. Para ello, se utiliza el Enfriador de *Clinker*, ubicado a la salida del material cocido o *clinker* en forma de lava incandescente, cuya función básica es enfriar violentamente el material hasta una temperatura de 100°C, aproximadamente. Éste diferencial de temperatura se logra mediante siete (07) ventiladores de alta capacidad de flujo, los cuales están dispuestos a lo largo del recorrido del material por las parrillas del enfriados. El enfriamiento de forma violenta del *clinker*, retiene su estructura molecular y, por ende, las propiedades y características de las misma. La fragmentación del *clinker* se logra mediante una trituradora de rodillos que rompe el *clinker* preenfriado y lo clasifica.

Silos de *Clinker*

El *clinker* es trasladado mediante un transporte de cadenas hasta los silos almacenadores. Cemento Cerro Azul cuenta con dos (02) silos cuya capacidad nominal es de 20.000 toneladas cada uno, tal como se muestra en la Tabla 2.5.

Molinos de Cemento

El *clinker* producido es transportado desde los silos de almacenamiento, hasta una zona de dosificación y pesaje. En este punto, el molino de cemento recibe como alimentación el *clinker* en proporciones de 95 o 96%, y se le adiciona 5 o 6% de yeso ($\text{SO}_4\text{Ca}_2\text{H}_2\text{O}$), éste último tiene como función promover el proceso de fraguado. A esta mezcla, adicionalmente, existe la posibilidad de agregarle un tercer elemento o aditivo, que puede ser caliza pura o escoria de alto horno.

El principio de funcionamiento de este molino vertical, es similar al del Molino de Crudo. Se basa en unos rodillos de sección troncocónica que se mueven en trayectoria circular y girando alrededor de su eje, sobre un lecho de material alimentado sobre una pista circular o mesa de molienda horizontal giratoria, presionando el material a moler.

La planta de Cemento Cerro Azul fue diseñada con dos (02) líneas de producción de cemento, Molino de Cemento N°1 y Molino de Cemento N°2, ambos marca *LOESCHE*, modelo LM 46.2 + 2 CS, con capacidad nominal de 130 ton/h cada uno.

Silos de Cemento

El material de cemento producido, después de salir del clasificador con dimensiones menores a 100 μm , es recuperado y llevado mediante aerodeslizadores y un elevador de cangilones hasta los silos de almacenamiento. La Empresa está dotada con dos (02) silos de cemento, marca *Ibau*, con capacidad de 8.500 toneladas cada uno.

Empacado

En esta última etapa, el cemento se traslada por medio de un sistema de aerodeslizadores a la máquina ensacadora con sacos de 42,5 kg, o a las tolvas con cemento a granel.

La ensacadora, marca *Haver & Boecker*, modelo 8RSE, tiene una capacidad de 2.400 sacos/h. Está diseñada para llenar simultáneamente ocho (08) sacos de cemento, mientras gira sobre su eje. Una vez que ésta culmina su giro de 360°, es el tiempo calculado para haber

llenado el saco con el peso estipulado de 42,5 kg. En ese momento, el asiento donde se posiciona, lo expulsa, dejándolo caer sobre un sistema de cintas transportadoras. En este proceso, es soplado para limpiar su superficie exterior y eliminar remanente de polvo, luego es verificado el peso del saco de acuerdo a las especificaciones de venta. Si el saco no cumple con estas especificaciones es desviado en la siguiente cinta hacia un rompесacos y es desechado. El saco se pierde, pero el cemento es retornado al proceso de ensacado para recuperarse. Si el saco pasa la comprobación de peso, continua hacia el andén de carga, para su despacho y venta.

De esta manera, se inicia la distribución del producto al mercado nacional.

En la Tabla 2.5, se resume la descripción técnica de los equipos medulares que conforman la planta de Cemento Cerro Azul.

Tabla 2.5. Especificaciones técnicas de los equipos medulares de la planta de Cemento Cerro Azul.

EQUIPO MEDULAR	MARCA	CAPACIDAD
Trituración	<i>ThyssenKrupp</i>	1.200 ton/h
Prehomogenización	<i>Schade</i>	60.000 ton
Molienda de crudo	<i>Loesche</i>	280 ton/h
Silos de crudo	<i>Ibau</i>	8.000 ton c/u
Precalent. Horno	<i>Polisyus</i>	3.300 ton/día
Silos de <i>clinker</i>	<i>Ibau</i>	20.000 ton c/u
Molinos de cemento	<i>Loesche</i>	130 ton/h c/u
Silos de cemento	<i>Ibau</i>	8.500 ton/h c/u
Planta de ensacado	<i>Haver & Boecker</i>	2.400 sac/h c/u

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

En este capítulo se describe de manera detallada la metodología utilizada en el desarrollo de la presente investigación, cuyo objetivo es la caracterización geológica para control de sedimentos en suspensión hídrica del yacimiento Cemento Cerro Azul.

Para cumplir con el objetivo planteado, el trabajo de investigación se desarrolla en cuatro (04) etapas: La primera, fase de recopilación de información, abarca la compilación de fundamentos teóricos acerca de la geología regional, e información técnica básica sobre los aspectos físicos y operativos de Cemento Cerro Azul. Para ello, se realizaron pesquisas bibliográficas y se llevó a cabo una visita técnica a las instalaciones de la Planta para obtener la información requerida, esta última permitió el reconocimiento del área de estudio.

La segunda, etapa de campo, realizada entre los meses de agosto y noviembre de 2019, con el objetivo de realizar un levantamiento geológico sistemático del yacimiento, que permitió obtener información de las características morfométricas del relieve, litológica, red de drenajes, los datos y las muestras necesarias para el desarrollo de la investigación.

La tercera etapa, de laboratorio, consiste en la realización de análisis químicos, petrográficos, y geomecánicos que permiten determinar la composición elemental, mineralógica, y la durabilidad de las rocas, respectivamente; características intrínsecas que están directamente relacionadas a la susceptibilidad de las mismas y su potencialidad de generación de sedimentos.

Finalmente, en la etapa de oficina, se llevó a cabo la interpretación e integración de los datos obtenidos en las etapas previas y el análisis de resultados, a fin de caracterizar la geología del yacimiento estudiado, así como determinar la susceptibilidad a ser afectado por la erosión hídrica, las conclusiones y recomendaciones de la investigación, y la elaboración del trabajo final. Ver Figura 3.1.



Figura 3.1. Resumen de la metodología utilizada para la elaboración del trabajo de investigación.

A continuación, se hace referencia del diseño, métodos, técnicas y procedimientos aplicados.

3.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Para PEÑA 1984 (citado en HURTADO, 2000, p. 148) el diseño “es un arreglo restringente, mediante el cual se pretende recoger la información necesaria a la pregunta de investigación”. En tal sentido, la presente investigación se ubica en un diseño de campo, donde la información necesaria para su avance se obtiene directamente de la realidad sin alterar las condiciones existentes. Para ello, se recolectaron datos mediante un levantamiento geológico en el yacimiento. Además, se obtuvieron muestras in situ, necesarias para realizar los análisis de laboratorios.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Con el objetivo de caracterizar la geología, a fin de controlar la generación de sedimentos en suspensión hídrica, la investigación se considera Descriptiva-Analítica, en la cual se caracterizan los rasgos geológicos del área de estudio que deben ser descritos para su comprensión, para conocer las relaciones existentes entre ellos y la generación de sedimentos, a fin de presentar conclusiones significativas que contribuyan al control de la erosión hídrica.

Según los datos obtenidos, la investigación es cualitativa y cuantitativa. La primera, debido a que los datos registrados en el campo son netamente descriptivos. El tipo cuantitativo, se origina en la etapa de laboratorio, al obtener los valores medidos de durabilidad, componentes químicos mayoritarios, y relacionarlos con las variables físicas del área.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

El objeto o población de estudio es el yacimiento mineral, conformado por las variables geológicas de interés. La muestra está representada por el área delimitada de estudio, ubicada dentro del yacimiento.

3.4. PROCEDIMIENTOS

A continuación, se detallan los procedimientos que fueron aplicados en cada etapa de la presente investigación. El desarrollo sistemático de los mismos hizo posible el cumplimiento de los objetivos planteados.

3.4.1. Etapa de Recopilación de Información

Para dar inicio al trabajo de investigación fue necesaria la búsqueda de información referente al tema. En esta etapa, se realizó el proceso de compilación del material bibliográfico preexistente; trabajos especiales de grado en el área de geología y minas, memorias de congresos y boletines geológicos, artículos relacionados, facilitando datos concernientes a la geología regional, así como trabajos previos en la misma línea de investigación que sustentan su desarrollo. Para ello, se recurrió principalmente a la Biblioteca Dr. “Virgil D. Winkler”, en la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Central de Venezuela (FIUCV), y a diversas páginas en la web.

Se realizó una visita técnica a la Planta de Cemento Cerro Azul, a fin de conocer la configuración física y operativa de la misma y hacer un reconocimiento previo del área de estudio. Además, se acudió a los archivos de la Empresa que proporcionaron información pertinente.

3.4.2. Etapa de Campo

En este período, comprendido del 21 de agosto al 27 de septiembre de 2019, se adquirieron los datos y muestras necesarias para el desarrollo de la investigación, mediante la realización de salidas de campo diarias a la zona de estudio en el yacimiento de la Planta Cemento Cerro Azul.

En la base topográfica proporcionada por la Empresa se estableció la ubicación y dirección de las picas que dan acceso a la zona de estudio, estableciéndose cinco (05) rutas que permitieran la adquisición de datos en las zonas de mayor interés, para hallar, validar y enlazar información de la geología de superficie. Con el apoyo del personal baqueano de la Gerencia de Canteras, se procedió a la apertura de las picas de manera progresiva, a medida que se fue realizando el trabajo de campo. Ver Figuras 3.2 y 3.3.

LAVERDE, 2024. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.

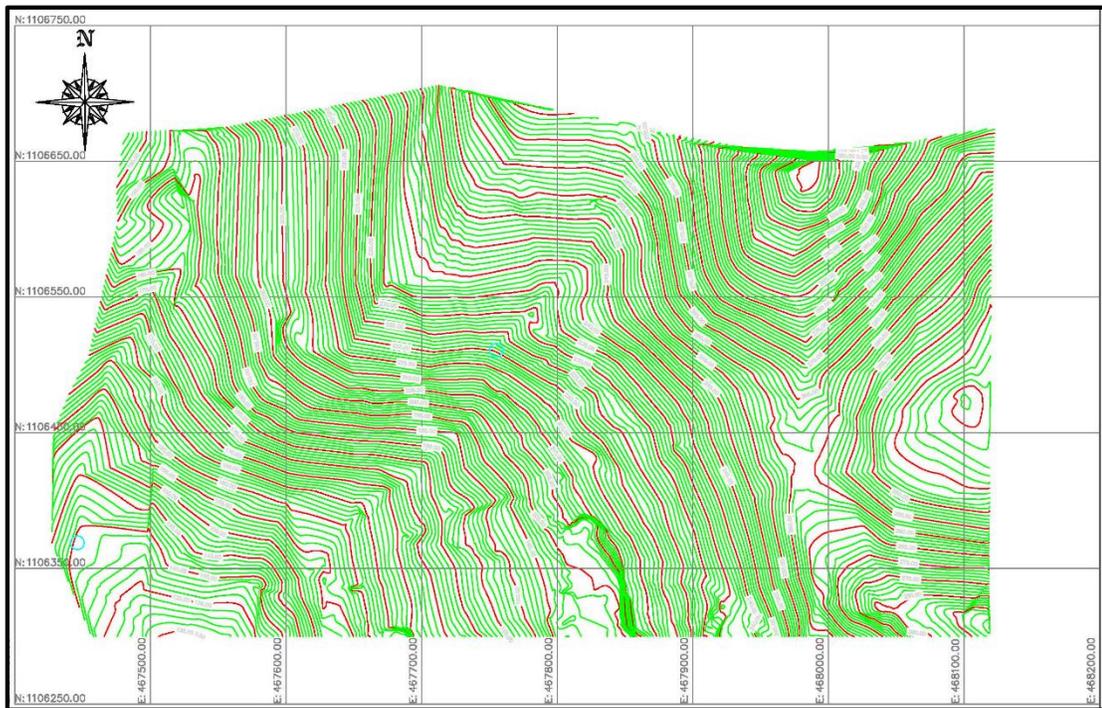


Figura 3.2. Base topográfica del yacimiento, utilizando la herramienta AutoCAD, extraída de los archivos de Cemento Cerro Azul.

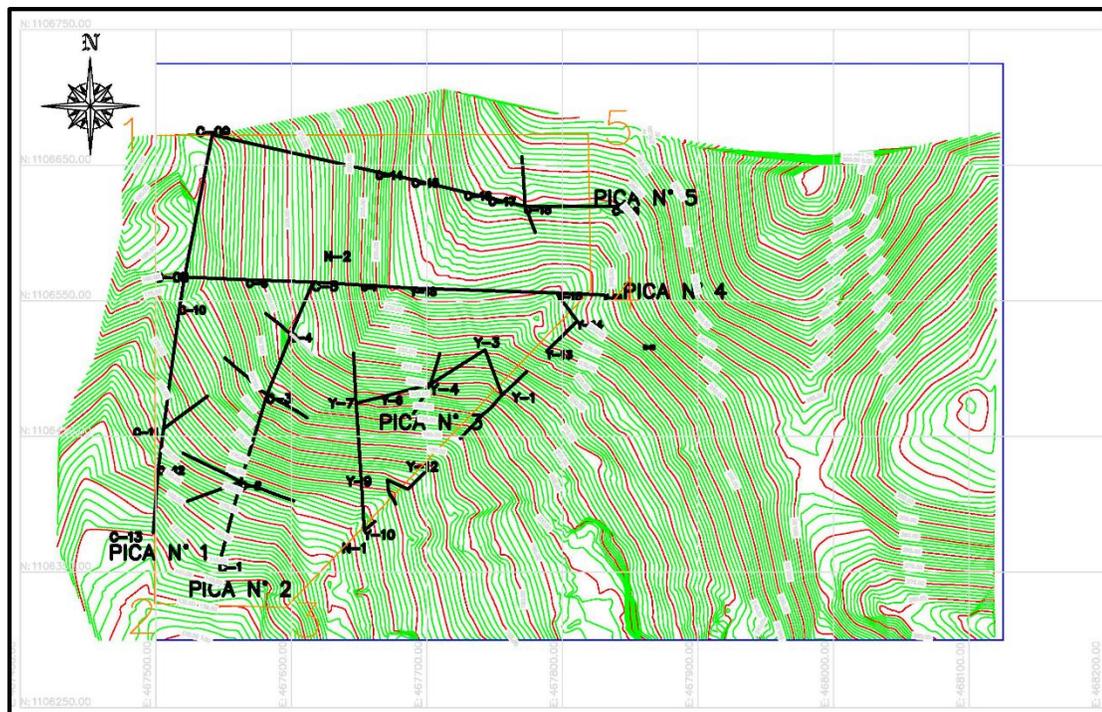


Figura 3.3. Representación de las rutas establecidas para la realización del levantamiento geológico de superficie de la zona de estudio, mediante la herramienta AutoCAD.

Se desarrollaron las siguientes actividades:

- Levantamiento geológico de la zona en estudio, a través de los afloramientos que se encontraron en las 8,5 hectáreas del área de la superficie del yacimiento estudiado.
- Identificación y descripción general de las características mesoscópicas de los afloramientos. En este punto, se hizo énfasis en los siguientes aspectos: tipo litológico, textura y tamaño de grano, color fresco y meteorizado, espesor, persistencia del estrato. Además, se realizó la medición de los planos de estratificación observados, en aquellas donde fue posible realizar mediciones de rumbo y buzamiento según las condiciones superficiales, con el uso de la brújula Brunton. Todos los datos y características fueron llevados en la libreta de campo.
- Identificación de las características morfológicas y morfométricas del relieve para determinar los atributos configuracionales, tomando en cuenta cuatro (04) aspectos principales: forma del relieve, pendiente, ángulo de declive, longitud de declive.
- Identificación de las quebradas o cursos de drenaje que atraviesan la zona de estudio, a fin de obtener la disposición, vertiente y cauce de los mismos.
- Recolección de 37 muestras de mano que representan la naturaleza litológica de los cuerpos rocosos que afloran en el área de estudio. Éstas fueron preservadas en bolsas plásticas e identificadas de acuerdo a: 1) tramo de la pica donde fue tomada y 2) número de la muestra, enumeradas desde el #1 hasta el #37. Guardando, además, registro de las coordenadas geográficas y la cota del área donde fue hallada. Las muestras antes mencionadas son necesarias para la posterior realización de análisis químicos y petrográficos en laboratorio.
- Registro fotográfico de la zona de estudio, afloramientos, quebradas, y puntos de interés, oportuno para la realización del presente trabajo.

3.4.3. Etapa de Laboratorio

En esta fase, se llevaron a cabo el análisis químico, estudio petrográfico y el ensayo de durabilidad de las muestras recolectadas en la etapa de campo, con el fin de determinar, de

forma cualitativa y cuantitativa, la composición elemental de las rocas, minerales contenidos y la resistencia de las rocas a la degradación, respectivamente.

- **Análisis Químico**

El análisis de Difracción de Rayos X se realizó en el Laboratorio de Control de Calidad de la Planta Cemento Cerro Azul, siguiendo con las pautas del Manual de Normas y Procedimientos, utilizado en el laboratorio de la Empresa. Es importante destacar que la granulometría inicial de las 37 muestras, para los fines convenientes, variaba alrededor de los 90 μm , y las mismas se encontraban en estado seco.

A continuación, se describe el procedimiento como lo indica el manual:

- 1) Se lleva a cabo la trituración primaria del espécimen, utilizando una trituradora de mandíbulas, marca *RETSCH*, modelo BB 200. Esta etapa consiste en el triturado inicial y grueso del material rocoso, mediante una trituración en modo continuo, obteniéndose una granulometría final $< 2 \text{ mm}$.
- 2) Se realiza el cuarteo de la muestra obtenida, a fin de conseguir una representación del espécimen que contenga todo el universo.
- 3) Seguidamente, la molienda preliminar y fina a la muestra previamente triturada y cuarteada, con la que se alcanza un tamaño de grano final $< 100 \mu\text{m}$. Esta etapa de pulverización se maneja con un molino de discos, marca *RETSCH*, tipo DM 200.
- 4) Homogenización del material pulverizado.
- 5) Pesaje de 40 gr de la muestra molida. Esta cantidad varía de acuerdo al tipo de material trabajado. La cifra citada corresponde a caliza.
- 6) Se vierte la medida del material molido preliminarmente en el juego de molienda y se agregan seis (06) gotas de trietanolamina al 40%, con 60% de etanol; dicho compuesto ayuda a que el material se disperse adecuadamente en el proceso de molienda subsiguiente.
- 7) Proceder a la molienda ultra fina del material preparado empleando el molino de discos vibratorio, marca *RETSCH*, modelo RS&NBSP 200. Al finalizar el proceso, la granulometría final es $< 20 \mu\text{m}$.
- 8) Tarar $8,5 \pm 0,5$ gr de la muestra seca.

- 9) Homogenizar el material pulverizado.
- 10) Agregar el material al cilindro portamuestra de la prensa peletizadora, marca *RETSCH*, tipo PP 40.
- 11) Colocar el conjunto debajo de la placa de presión para dar inicio al proceso de prensado.
- 12) Retirar la tableta del portamuestra por los bordes, evitando así contaminar la superficie de la misma que pueda generar errores en la medición. No se pueden analizar tabletas cuya superficie esté resquebrajada o contaminada.
- 13) Limpiar la tableta con ayuda de la aspiradora sin alcanzar la cara superior de la misma, a fin de garantizar que los bordes estén libres de material y evitar que residuos de muestra caigan en la cámara de vacío del DRX.
- 14) Identificar la tableta, usando un pequeño trozo de cinta adhesiva, etiqueta o marcador indeleble; dicha identificación se hace por la cara opuesta de la misma.

Una vez preparado el comprimido, se introduce en el portamuestra del equipo de análisis, un espectrómetro marca *Skyray*, modelo WDX400, que se muestra en la Figura 3.4. Las condiciones instrumentales se adaptaron a las utilizadas en el laboratorio de la Empresa, como se indica en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Parámetros instrumentales utilizados en el Laboratorio de Control de Calidad, CCA, para el análisis de Difracción de Rayos X.

Parámetros	
Tensión (kV)	40.006
Corriente (mA)	5.0000
Flujo de Gas (kPa)	110.00
Vacio (Pa)	12
Tiempo de prueba (min)	5 ~ 7



Figura 3.4. Imagen del equipo de Difracción de Rayos X *Skyray* WDX400, perteneciente al laboratorio de Control de Calidad de Cemento Cerro Azul.

- **Estudio Petrográfico**

En este estudio fueron trabajadas 8 de las 37 muestras a las que se le realizó el análisis por Difracción de Rayos X, tomando ejemplares que representaran el conjunto analizado previamente. Se llevó a cabo la descripción de secciones finas de muestras de rocas fresca y meteorizada, con el objetivo de obtener información representativa acerca de la composición mineralógica, rasgos texturales, contenido fósil, alteración y disolución, que permitieron caracterizarlas posteriormente. Dicho estudio fue llevado a cabo en el Laboratorio de Análisis Petrográficos de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, FIUCV.

- **Análisis de Durabilidad**

El *Slake Durability Test* (SDT), cuyas consideraciones teóricas fueron descritas en el capítulo anterior, se llevó a cabo en el Laboratorio de Mecánica de Rocas, adscrito a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, FIUCV. El procedimiento para realizar el ensayo

fue el siguiente:

- 1) Se fraccionó la muestra original en 10 trozos de tamaño regular, con un peso entre 40 y 60g, cada uno.
- 2) Se colocaron los 10 fragmentos de roca dentro de un tambor cilíndrico cuya superficie lateral es una malla rígida de 2 mm de abertura, se secaron a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ y se registró el peso A.
- 3) El tambor con la muestra se dispuso de forma horizontal dentro de un tanque lleno de agua, hasta un nivel de 2 cm por debajo del eje de rotación del cilindro.
- 4) Se hizo girar el conjunto durante un periodo de 10 minutos, a una velocidad de 20 rpm (1° ciclo).
- 5) Se retiró el tambor del tanque, y se insertó en el horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$. Una vez seca la muestra, se determinó el peso B.
- 6) Se repitió el ciclo anterior (pasos 3-4) (2° ciclo) volviendo a ensayar la muestra y secándola para obtener el peso C.
- 7) El tambor se limpió, y se registró su peso D.

Ver Figuras 3.5 y 3.6.

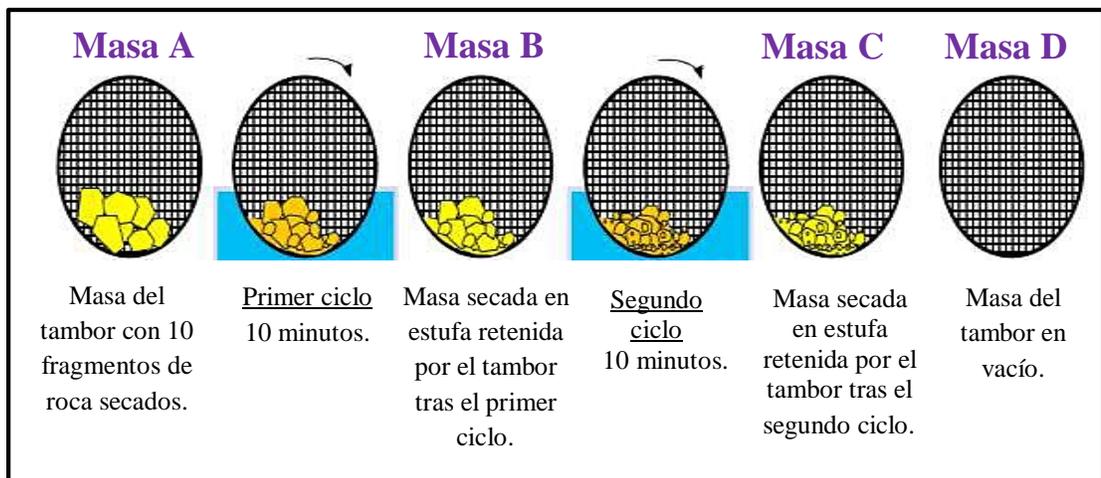


Figura 3.5. Representación del procedimiento para realizar el SDT. (Tomado de TOMÁS, R., CANO, M., GARCÍA-BARBA, J., SANTAMARTA, J.C., HERNÁNDEZ, L.E., RODRÍGUEZ, J.A., ZAMORA, R. (2013).

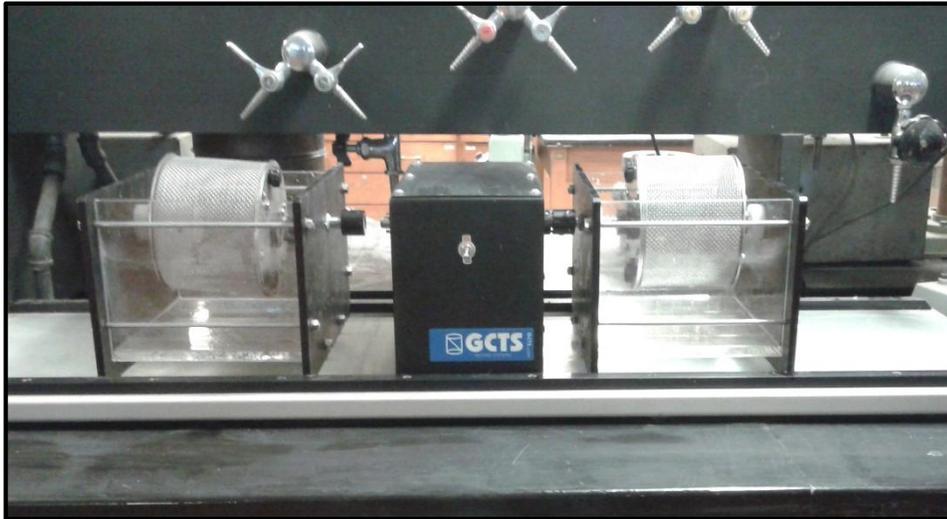


Figura 3.6. Imagen del equipo de SLD, perteneciente al laboratorio Mecánica de Rocas de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, FIUCV.

El índice de durabilidad de los diferentes ciclos se obtiene a partir de las masas secas determinadas, antes y después de cada ciclo, de acuerdo a lo planteado en la ecuación 3.1.

Ecuación 3.1. Índice de durabilidad del *Slake Durability Test*.

$$I_{d2} = \left[\frac{W_p}{B} \right] \times 100$$

Donde:

W_p = Diferencia de Masa del espécimen antes del Primer Ciclo - Masa del espécimen después del segundo ciclo seco.

B = Masa del espécimen antes del Primer Ciclo.

3.4.4. Etapa de Oficina

Ésta corresponde a la última etapa del presente trabajo de investigación, donde sistemáticamente se procedió a realizar la descripción y clasificación de las muestras de roca obtenidas en campo. Para el análisis de Difracción de Rayos X se utilizaron las sistematizaciones químicas de HARRISON *et al.* (1998) y PETTIOHN (1975), y para el análisis petrográfico se tomaron en cuenta las clasificaciones de acuerdo a DUNHAM (1962) y FOLK

LAVERDE, 2024. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.

(1962); todas previamente planteadas en las consideraciones teóricas del segundo capítulo. Asimismo, se realizó la determinación del índice de durabilidad mediante la ecuación del SDT.

Con los datos obtenidos en la etapa de campo y los análisis de los ensayos realizados en la etapa de laboratorio, se realizó la caracterización del yacimiento, utilizando la herramienta AutoCAD para las representaciones espaciales del mismo, reflejada en la Figura 3.7.

Finalmente, los resultados obtenidos permitieron establecer el potencial de generación de sedimentos, para generar así conclusiones y recomendaciones pertinentes a esta investigación con fines de control de la erosión hídrica.

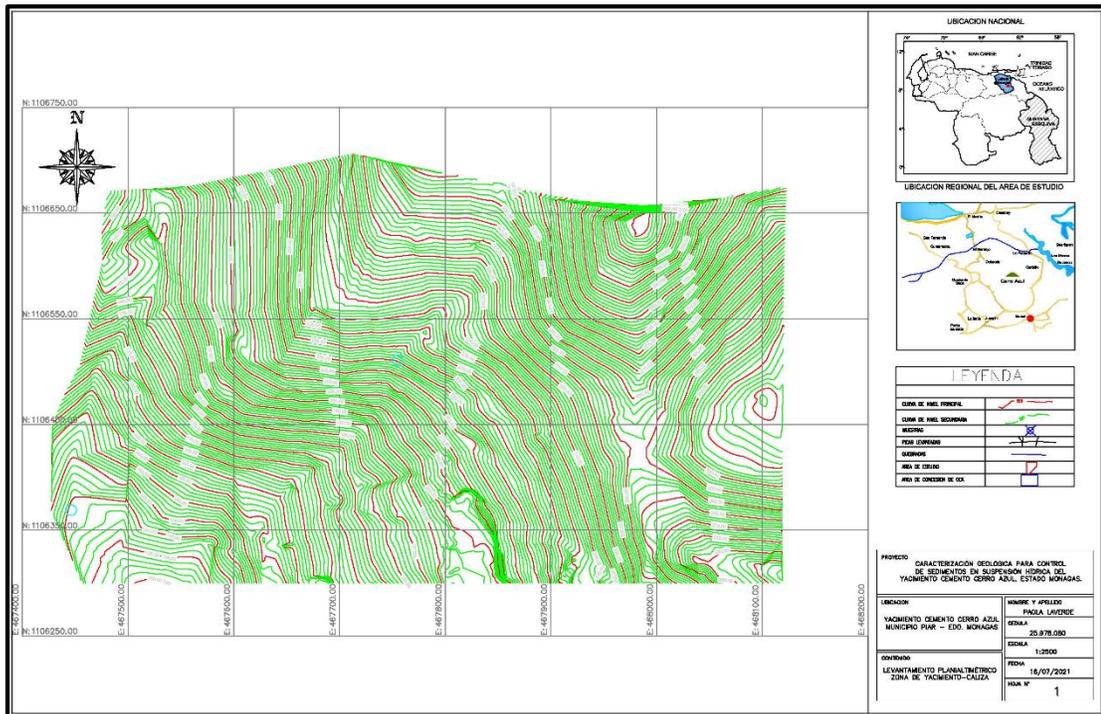


Figura 3.7. Cajetín utilizado para representar espacialmente los datos obtenidos en el estudio del yacimiento, mediante la herramienta AutoCAD.

CAPÍTULO IV

GEOLOGÍA LOCAL

4.1. GENERALIDADES

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es la caracterización geológica del yacimiento Cemento Cerro Azul, ubicado al norte del estado Monagas, a fines de control de erosión hídrica. En el capítulo presentado a continuación, se desarrollan los resultados obtenidos a partir de las características macroscópicas observadas en campo, a través de un levantamiento geológico sistemático de 8,5 hectáreas del yacimiento mineral, y los resultados de análisis químicos, microscópicos, y de durabilidad mediante métodos geomecánicos, derivados de la etapa de laboratorio.

La región objeto de estudio se encuentra ubicada en el flanco sur de la Serranía del Interior Oriental, constituida por un conjunto de unidades litológicas de origen sedimentario, formadas desde el Cretácico hasta los depósitos sedimentarios en el Reciente. Toda esta, enmarcada por un relieve montañoso fuertemente diseccionado, asociado a una fracción de la Serranía.

De acuerdo a la litología encontrada durante el levantamiento, el área de estudio consta de una unidad informal de rocas sedimentarias carbonáticas, que a su vez está dividida en dos (02) subunidades informales. Conforme al número de muestras analizadas y los resultados obtenidos, se puede considerar que la subunidad de calizas representa la mayoría de la población estudiada, siendo este tipo litológico la materia prima mineral de mayor importancia y utilidad industrial para la Empresa.

La unidad morfométrica presente en el área muestra valores entre los 130 y 310 metros sobre el nivel del mar, exponiendo un relieve ligeramente diseccionado, asociado a pre montañas bajas y lomeríos altos. Las pendientes del terreno varían en torno a los 70°.

La red hidrográfica local consta de dos (02) quebradas de régimen intermitente, muy importantes por su disposición dentro del yacimiento, longitud y profundidad del cauce. Forman parte de un patrón de drenaje dendrítico desarrollado sobre rocas altamente resistentes a la erosión, presentando una disposición irregular de sinuosidad moderada debido

al fuerte desnivel del terreno.

4.2. TIPOS LITOLÓGICOS

En esta sección, se definen las características de los afloramientos observados en el levantamiento de campo, en conjunto con el análisis químico, estudio petrográfico, y el ensayo de durabilidad realizado a las muestras obtenidas.

En el área de estudio se define una unidad informal de rocas sedimentarias carbonáticas. Para la descripción de los tipos litológicos se plantean las siguientes subunidades informales:

- Subunidad I (SUB-UI): Calizas
- Subunidad II (SUB-UII): Dolomitas

4.2.1. Calizas

En las Tablas 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 y 4.5, se resumen las 35 muestras que fueron tomadas en los afloramientos y su localización.

Tabla 4.1. Muestras de caliza recolectadas en la Pica #1.

Nombre de Campo	Ruta	Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte
CALIZA	Pica 1	M1	467513	1106378
		M2	467528	1106430
		M3	467501	1106441
		M5	467507	1106527
		M6	467544	1106579
		M7	467538	1106605
		M23	467480	1106530

Tabla 4.2. Muestras de caliza recolectadas en la Pica #2.

Nombre de Campo	Ruta	Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte
CALIZA	Pica 2	M9	467569	1106383
		M10	467570	1106451
		M11	467604	1106512
		M12	467607	1106545
		M13	467613	1106573
		M37	467573	1106424

Tabla 4.3. Muestras de caliza recolectadas en la Pica #3.

Nombre de Campo	Ruta	Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte
CALIZA	Pica 3	M24	467696	1106440
		M27	467630	1106466
		M28	467621	1106479
		M29	467638	1106551
		M32	467709	1106529
		M33	467697	1106513
		M34	467693	1106486
		M35	467688	1106439

Tabla 4.4. Muestras de caliza recolectadas en la Pica #4.

Nombre de Campo	Ruta	Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte
CALIZA	Pica 4	M15	467762	1106547
		M16	467733	1106552
		M17	467750	1106559
		M18	467735	1106621
		M19	467726	1106603
		M20	467722	1106540
		M21	467666	1106546
		M22	467657	1106585
		M26	467583	1106577

Tabla 4.5. Muestras de caliza recolectadas en la Pica #5.

Nombre de Campo	Ruta	Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte
CALIZA	Pica 5	M8	467743	1106628
		M14	467624	1106639
		M25	467678	1106604
		M30	467611	1106625
		M31	467743	1106626

4.2.1.1. Características en campo

Los cuerpos de roca se muestran mayormente en forma masiva, semiexpuestos, cubiertos de materia vegetal y sedimento no consolidado, tal como se muestra en las Figuras 4.1 y 4.2, por lo que no es posible obtener la disposición espacial de los mismos. Aquellos donde se observaron planos de estratificación, se le realizaron las mediciones adecuadas de

rumbo y buzamiento.



Figura 4.1. Afloramiento de caliza localizado en las coordenadas UTM (N1106638, E467625). Macizo, cubierto por materia vegetal. Meteoriza a color gris claro.



Figura 4.2. Afloramiento de caliza con orientación N280°40'SO. Caliza limpia, densa, de color fresco gris oscuro y color meteorizado gris claro. Coordenadas UTM (N1106436, E467706).

Predominan las calizas de color fresco notablemente oscuras, y color meteorizado que varían entre tonalidades grises claras, alcanzando grises blancuzcos. Presentan una notable reacción al ácido clorhídrico, indicando un alto contenido de carbonato. A escala intermedia, de varios metros, en su mayoría exhiben superficies onduladas y ocasionalmente planas, en escala reducida, de centímetros, las primeras presentan superficies rugosas, mientras que las segundas superficies regularmente lisas.

En general, los afloramientos presentan estructuras diaclasadas, asociadas a los efectos de disolución, como muestra la Figura 4.3. Se observaron sistemas de diaclasas conjugadas con dos (02) o tres (03) direcciones preferenciales, cuyas orientaciones preferenciales se encuentran entre $N10^{\circ}E30^{\circ}S$ y $N50^{\circ}O30^{\circ}S$.

La continuidad de los afloramientos puede alcanzar diversos metros, generalmente sólo se observa el tope del estrato asociado. La persistencia mayormente es corta a simple vista, dada la densa cubierta vegetal del área, que en extensas zonas no permite la visualización de la litología aflorante. Ver Figuras 4.4 y 4.5.



Figura 4.3. Tope de capa de caliza orientada $N332^{\circ}27^{\circ}SO$. Presenta diaclasas conjugadas. Color fresco gris medianamente oscuro y meteorizado gris claro. Coordenadas UTM del área de localización ($N1106531$, $E467508$).



Figura 4.4. Estrato de caliza de 60 cm de espesor y 4 m de persistencia, con orientación $N300^{\circ}22'SO$. Diaclasada, meteoriza a gris claro. Coordenadas UTM (N1106554, E467517)



Figura 4.5. Afloramiento de calizas grises oscuras que meteorizan a color gris claro, con rumbo y buzamiento de $N327^{\circ}25'SW$. Coordenadas UTM (N1106547, E467762)

4.2.1.2. Distribución y ubicación

La SUB-UI de calizas representa el 95% del área estudiada, distribuyéndose a lo largo de toda la zona, tal como se muestra en la Figura 4.6.

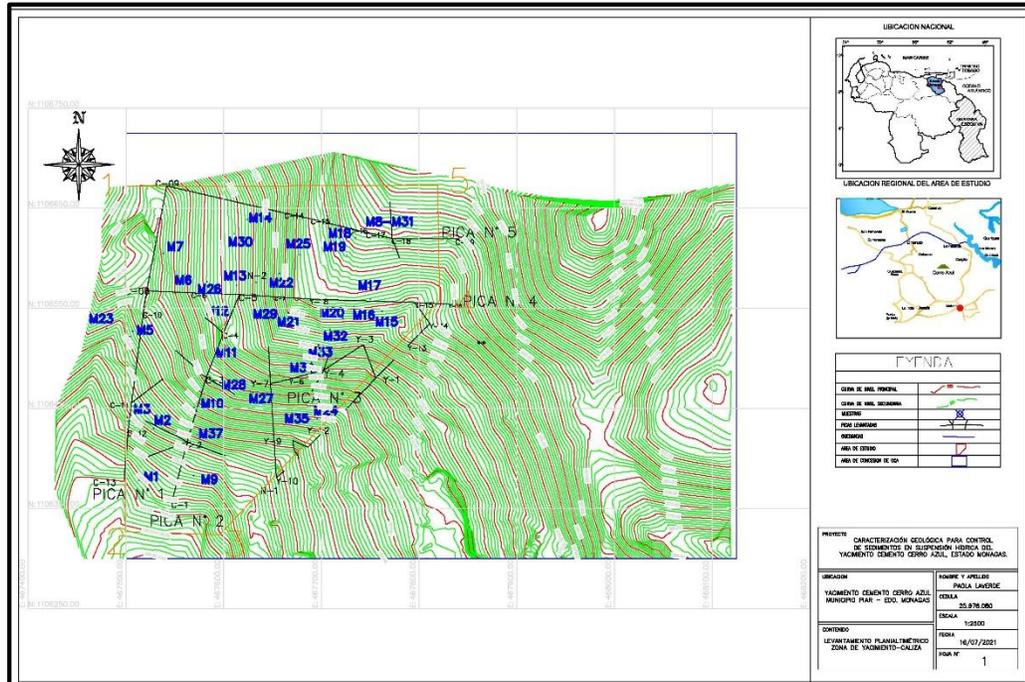


Figura 4.6. Representación espacial de las muestras de caliza pertenecientes a la subunidad I, utilizando la herramienta AutoCAD.

4.2.1.3. Contacto

La subunidad de caliza se encuentra en contacto discordante transicional con las rocas pertenecientes a la subunidad II.

4.2.1.4. Análisis químico de muestras de la SUBU-I

Las muestras obtenidas en la etapa de campo fueron analizadas por Difracción de Rayos X y clasificadas inicialmente según PETTJOHN (1975). Resultando un total de 28 muestras tipo caliza, seis (06) muestras de caliza magnesianas, y una (01) muestra de caliza dolomítica. Los resultados se presentan en la Tabla 4.6.

LAVERDE, 2024. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.

Tabla 4.6. Análisis químico de acuerdo al %MgO, realizado a las muestras de caliza de la Subunidad I.

Muestra	% MgO	Clasificación
M1	0,63	Caliza
M2	0,78	Caliza
M3	1,05	Caliza
M5	0,90	Caliza
M6	0,92	Caliza
M7	0,84	Caliza
M8	1,37	Caliza Magnesiana
M9	0,90	Caliza
M10	0,79	Caliza
M11	0,81	Caliza
M12	3,10	Caliza Magnesiana
M13	0,87	Caliza
M14	0,95	Caliza
M15	0,75	Caliza
M16	0,85	Caliza
M17	0,72	Caliza
M18	9,15	Caliza Dolomítica
M19	1,01	Caliza
M20	0,74	Caliza
M21	0,72	Caliza
M22	0,64	Caliza
M23	1,06	Caliza
M24	0,75	Caliza
M25	0,79	Caliza
M26	2,09	Caliza Magnesiana
M27	0,80	Caliza
M28	0,82	Caliza
M29	1,90	Caliza Magnesiana
M30	1,30	Caliza Magnesiana
M31	1,01	Caliza
M32	0,72	Caliza
M33	0,83	Caliza
M34	0,77	Caliza
M35	0,69	Caliza
M37	1,37	Caliza Magnesiana

Posteriormente, los especímenes fueron discriminados de acuerdo a la distinción de calizas, según HARRISON *et al.* (1998). Se obtuvieron un total de dos (02) muestras de calizas de muy alta pureza, 19 calizas de alta pureza, nueve (09) calizas medianamente puras y cinco (05) calizas de baja pureza. Los resultados del análisis químico se muestran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Análisis químico de acuerdo al % de SiO₂, CO₃ y MgO de las muestras de caliza pertenecientes a la subunidad I.

Muestra	Composición Química (%)			Clasificación
	SiO ₂	CO ₃	MgO	
M1	0,84	96,08	0,63	Caliza de muy alta pureza
M2	1,92	93,31	0,78	Caliza de alta pureza
M3	1,93	93,31	1,05	Caliza de alta pureza
M5	4,54	88,12	0,90	Caliza medianamente pura
M6	1,06	94,22	0,92	Caliza de alta pureza
M7	0,76	95,69	0,84	Caliza de muy alta pureza
M8	3,85	88,22	1,37	Caliza de baja pureza
M9	2,64	91,79	0,90	Caliza medianamente pura
M10	1,98	93,26	0,79	Caliza medianamente pura
M11	1,46	94,03	0,81	Caliza de alta pureza
M12	4,29	85,14	3,10	Caliza de baja pureza
M13	3,10	90,58	0,87	Caliza medianamente pura
M14	1,07	93,79	0,95	Caliza de alta pureza
M15	2,12	93,22	0,75	Caliza de alta pureza
M16	1,66	94,13	0,85	Caliza de alta pureza
M17	1,55	94,50	0,72	Caliza de alta pureza
M18	1,90	84,83	9,15	Caliza de baja pureza
M19	5,27	86,63	1,01	Caliza de baja pureza
M20	1,64	94,27	0,74	Caliza de alta pureza
M21	1,57	94,51	0,72	Caliza de alta pureza
M22	2,55	91,54	0,64	Caliza medianamente pura
M23	2,50	91,49	1,06	Caliza medianamente pura
M24	1,18	95,22	0,75	Caliza de alta pureza
M25	2,62	92,00	0,79	Caliza medianamente pura
M26	1,68	91,13	2,09	Caliza medianamente pura

M27	0,84	95,84	0,80	Caliza de alta pureza
M28	1,99	93,31	0,82	Caliza de alta pureza
M29	3,95	87,39	1,90	Caliza medianamente pura
M30	1,15	93,92	1,30	Caliza de alta pureza
M31	3,54	89,01	1,01	Caliza de baja pureza
M32	1,36	93,67	0,72	Caliza de alta pureza
M33	1,80	93,62	0,83	Caliza de alta pureza
M34	1,19	94,86	0,77	Caliza de alta pureza
M35	1,27	95,67	0,69	Caliza de alta pureza
M37	0,87	95,64	1,37	Caliza de alta pureza

4.2.1.5. Análisis petrográfico de muestras de la SUBU-I

De las 35 muestras de tipo caliza, resultantes del análisis químico de laboratorio, fueron seleccionados cinco (05) especímenes para su estudio petrográfico de acuerdo a su grado de pureza, que representasen el universo muestreado de la sección de estudio.

Para clasificar las muestras, de acuerdo a su textura, se utilizaron las sistematizaciones de DUNHAM (1962) y FOLK (1962), indicadas en las consideraciones teóricas del capítulo anterior.

La descripción petrográfica de las muestras de la subunidad I se desarrolla a continuación.

Pica 1 - M7

Muestra de caliza de muy alta pureza extraída de afloramiento semi expuesto, notablemente meteorizado, con orientación N290°22°SO, que exhibe la presencia importante de diaclasas por disolución, tal como se muestra en la Figura 4.7. El afloramiento presentó una alta tenacidad al momento de realizar la extracción del espécimen, lo que refleja la alta dureza del material. En muestra de mano, que se aprecia en la Figura 4.8, la roca presentó una alta reacción al ácido clorhídrico, color fresco gris notablemente oscuro, con vetas de calcita persistentes.



Figura 4.7. Afloramiento de caliza de muy alta pureza, donde se extrajo la muestra Pica 1 - M7. Coordenadas UTM (N1106612, E467531).



Figura 4.8. Muestra de mano fresca del espécimen Pica 1 - M7.

En petrografía microscópica, se observa soportada por 50% micrita, con 40% de componentes aloquímicos. Los últimos están representados principalmente por foraminíferos bentónicos y planctónicos, siendo abundante la presencia de Orbitolinas, importantes formadores de rocas en sedimentos cretácicos. También, se observa la presencia de fragmentos de moluscos, todos estos bien preservados, con inversión homoaxial de algunos fragmentos. Las vetas rellenas de calcita son persistentes en la sección (10%). La muestra presenta micritización de partículas esqueléticas. Exhibe también la presencia de estilolita en parte de la sección, que indica los procesos de disolución bajo presión durante la diagénesis. Es clasificada como *Wackestone*, de acuerdo a la clasificación textural de DUNHAM (1962), y Biomicrita agrupada, de acuerdo a la terminología de FOLK (1962). Ver Figuras 4.9 y 4.10.

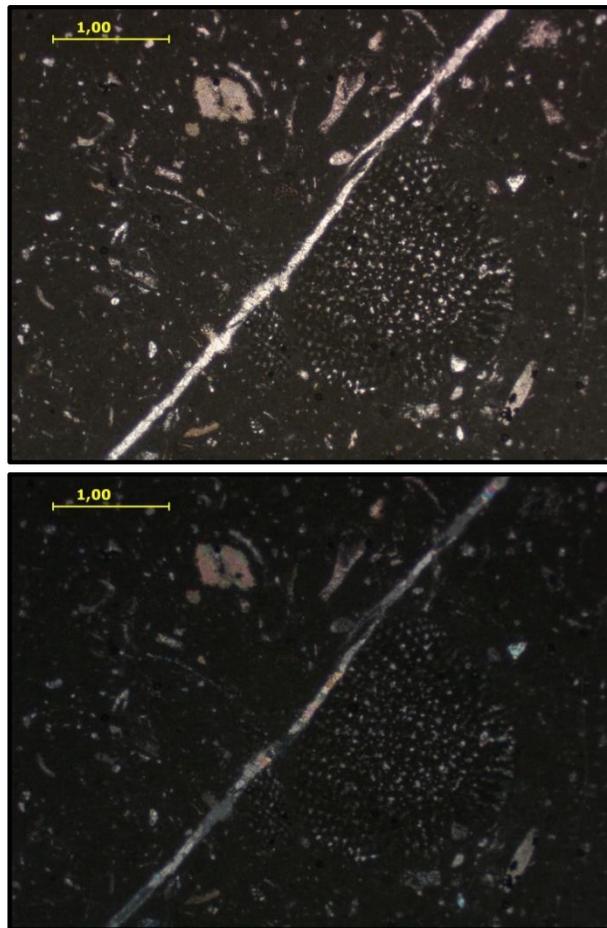


Figura 4.9. Panorámica general de la muestra Pica 1 – M7 (Obj. 2.5X), donde se observa la presencia abundante de micrita, fragmentos fósiles y veta de calcita.

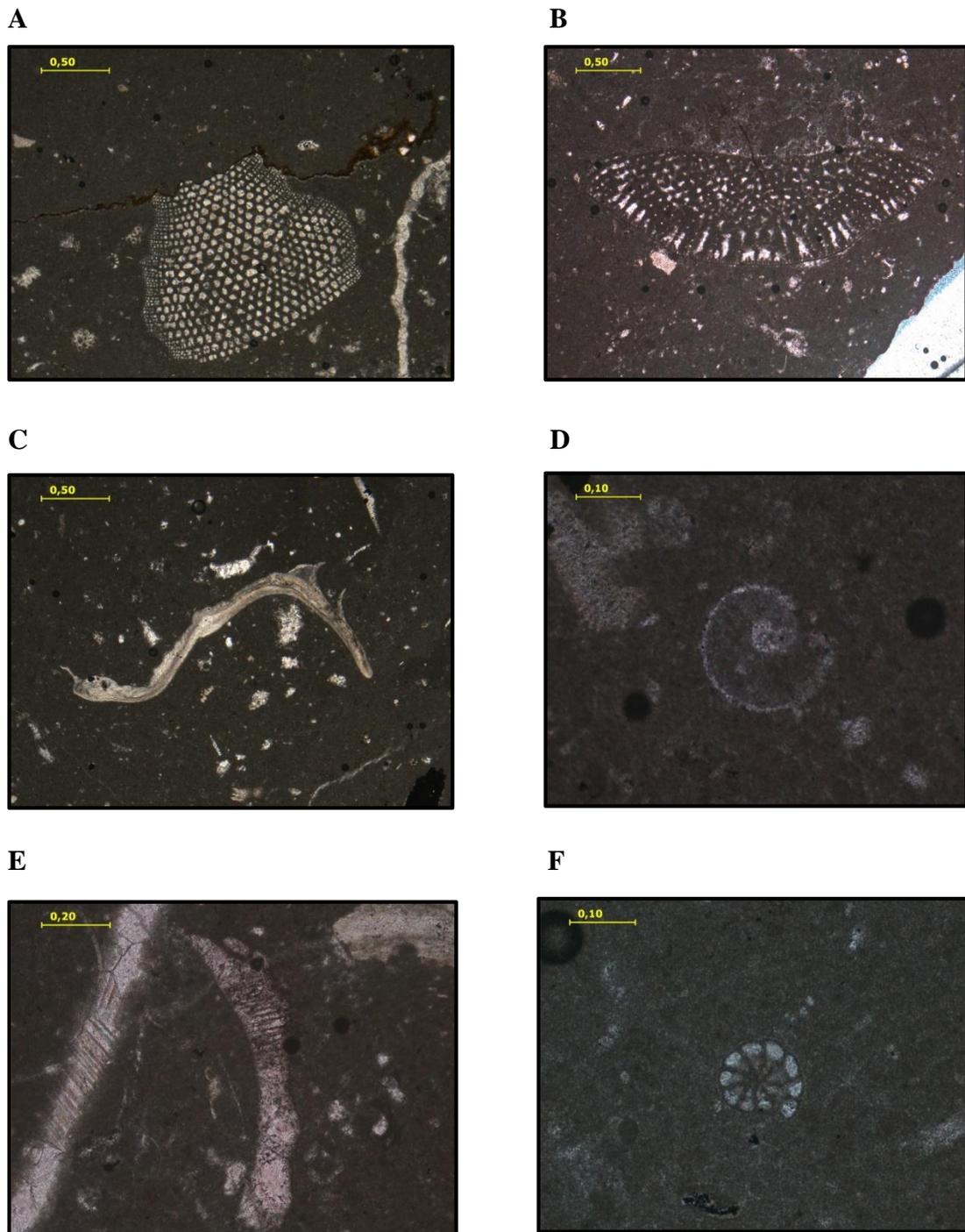


Figura 4.10. Organismos fósiles presentes en la muestra Pica 1 - M7. A) Orbitolina y estilolita, vista en nícoles paralelos con objetivo 4X. B) Orbitolina, vista con objetivo 4X. C) Fragmento de molusco con inversión homoaxial visto con objetivo 4X. D) Sección longitudinal de foraminífero planctónico, panorámica con objetivo 20X. E) Fragmento de foraminífero, se infiere género Globotruncana, visto con objetivo 10X. F) Sección longitudinal de foraminífero planctónico, panorámica con objetivo 20X.

Pica 1 – M3

Caliza de alta pureza, que en sección fina se presenta soportada por componente ortoquímico tipo micrita (60%), presente además en procesos orgánicos de micritización de partículas esqueléticas, y también presenta proporción de componentes aloquímicos (30%), representados en su mayoría por foraminíferos planctónicos, y algunos fragmentos de moluscos, determinando inversión homoaxial y heteroaxial de los mismos. Las vetas rellenas de calcita son persistentes en la sección, donde además se observan fragmentos fósiles reemplazados por calcita (10%). La muestra presenta porosidad intrapartícula despreciable de 1%, visualizada en Figura 4.11, A. Según las características de esta sección, se clasifica como *Wackestone*, de acuerdo a la clasificación textural de DUNHAM (1962), y *Biomicrita* esparcida, de acuerdo a la terminología de FOLK (1962).

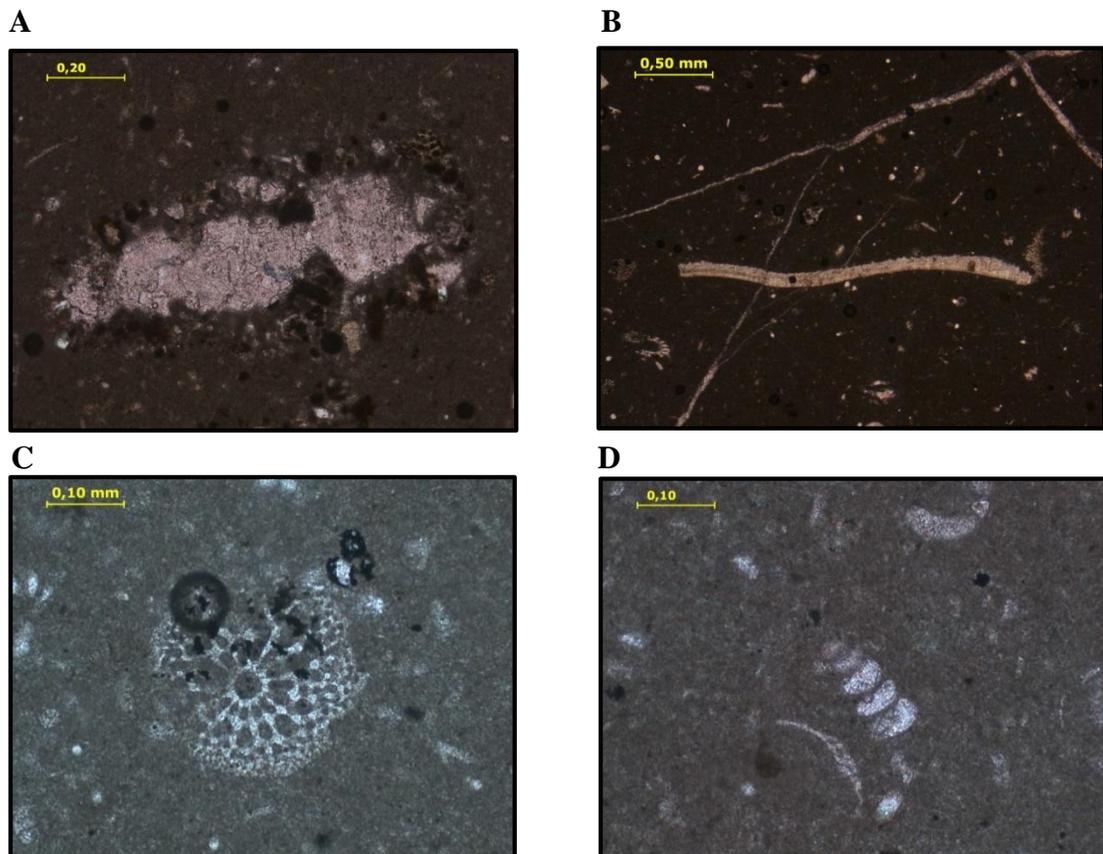


Figura 4.11. Secciones microscópicas de la muestra Pica 1 – M3. A) Foraminífero con reemplazamiento de calcita y porosidad intrapartícula, visto con Obj. 10X. B) Fragmento de molusco con inversión heteroaxial, con Obj. 4X. C) Sección longitudinal de foraminífero planctónico, con Obj. 20X. D) Sección longitudinal de foraminífero planctónico relleno de micrita, visto con objetivo 20X.

Pica 4 – M20

Muestra de caliza de alta pureza extraída de afloramiento semiexpuesto, con orientación N327°34'SO, tal como muestra la Figura 4.12. La muestra de mano, de aspecto masivo, color fresco gris oscuro y color meteorizado grisáceo, tamaño de grano muy fino, con vetas de calcita, presenta una alta reacción al ácido clorhídrico. De la muestra mencionada se extrajeron dos (02) ejemplares para análisis en sección fina, uno de muestra fresca; en Figura 4.13, y el segundo de la zona superficial expuesta a los agentes meteorizantes y erosivos.



Figura 4.12. Afloramiento de caliza de alta pureza donde se extrajo la muestra Pica 4 – M20. Coordenadas UTM del área (N1106540, E467722).



Figura 4.13. Muestra de mano fresca del espécimen Pica 4 – M20.

En sección fina, la muestra fresca presenta, al igual que las muestras anteriores, un alto porcentaje de matriz micrítica, seguida por fragmentos fósiles donde predominan foraminíferos planctónicos bien preservados que indican una edad Cretácico Temprano, y, en menor proporción, fragmentos de moluscos, que en algunos casos exhiben inversión homoaxial. Las vetas de calcita se muestran intersectadas entre sí, formando ángulos preferenciales de 75° , tal como muestran las Figuras 4.14 A, B, C y D.

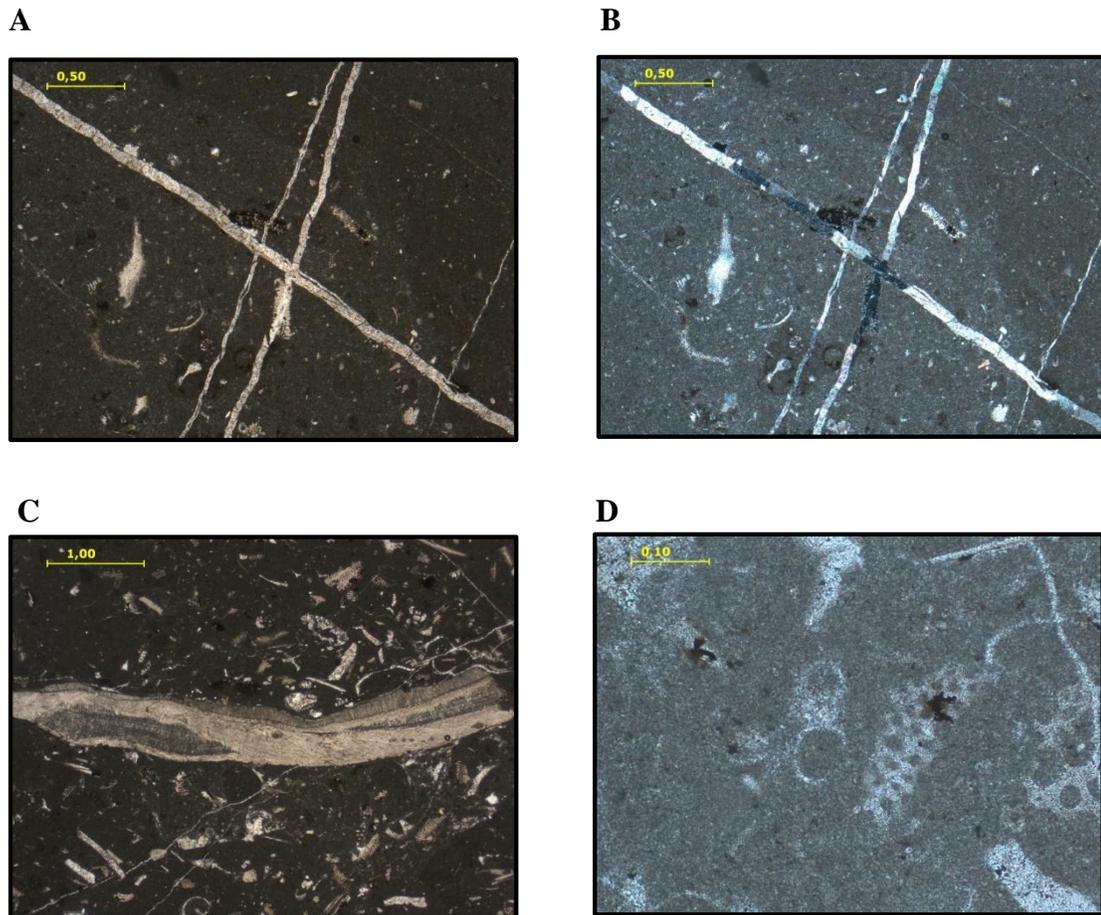


Figura 4.14. Panorámica general de la muestra Pica 4 - M20. Se observa la presencia de abundante micrita y fragmentos fósiles. Además, vetas rellenas de calcita intersectadas con ángulo preferencial de 75° . Ambos con objetivo 4X. A) Nícoles paralelos y B) Nícoles cruzados. Sección microscópica de la muestra Pica 4 - M20. C) Fragmento de molusco con inversión homoaxial, vista en nícoles paralelos con objetivo 2.5X. D) Sección longitudinal de foraminífero planctónico, género *Globigerinelloides*, de edad Cretácico Temprano, panorámica en nícoles paralelos con objetivo 20X.

La sección microscópica de muestra meteorizada exhibe dolomitización de los cristales de calcita presentes en las vetas, como se muestra en la Figura 4.15. Se observan cristales de ankerita. Presenta también estilolitas en parte de la sección, que indica los procesos de alta disolución bajo presión durante la diagénesis; ver Figura 4.16.

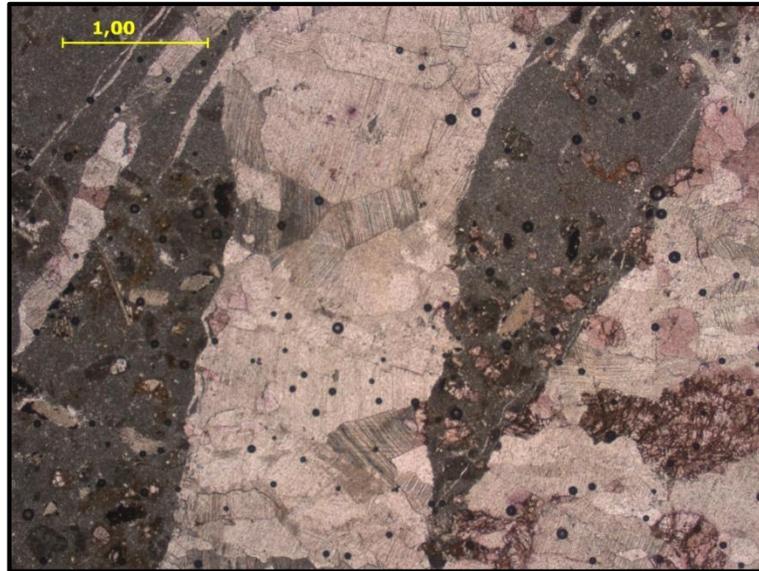


Figura 4.15. Sección microscópica de la muestra Pica 4 – M20, con vetas rellenas de calcita y dolomitización. Observada en nícoles paralelos con objetivo 2.5X.

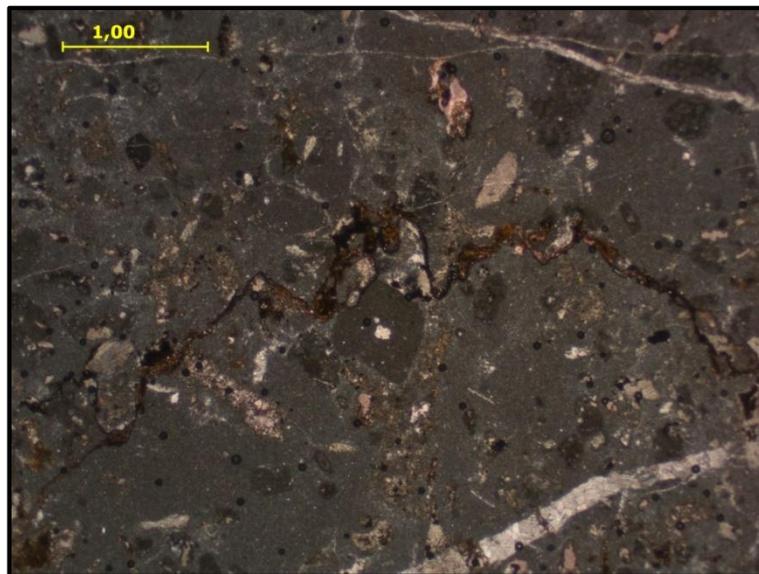


Figura 4.16. Sección microscópica de la muestra Pica 4 – M20 con estilolita. Vista en nícoles paralelos con objetivo 2.5X.

Pica 4– M18

Muestra de caliza de baja pureza, soportada por matriz con alto porcentaje de cristales de dolomita, y ankerita en menor proporción. Exhibe gran cantidad de foraminíferos con reemplazamiento de dolomitas. Se observa, además, estilolita en parte de la sección, que indica los procesos de disolución bajo presión durante la diagénesis. Esta caliza dolomítica, de acuerdo a su textura es clasificada como *Wackestone*, con la clasificación precisada por DUNHAM (1962), y Biomicrita agrupada, en función de la clasificación de FOLK (1962). Ver Figuras 4.17, 4.18 y 4.19.

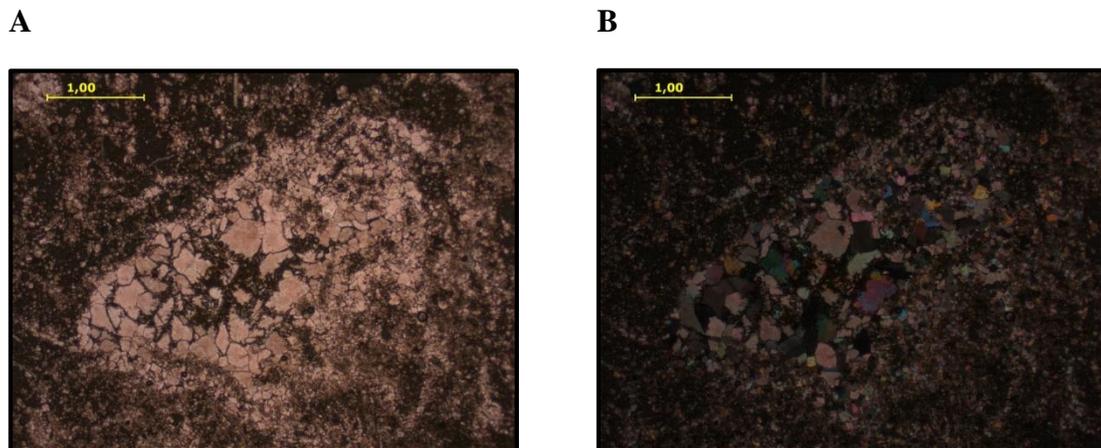


Figura 4.17. Sección microscópica de la muestra Pica 4 – M18. Se observa soporte de matriz micrítica con alto porcentaje de dolomita y ankerita. Vista con nícoles paralelos (A) y cruzados (B). Objetivo 2.5X.

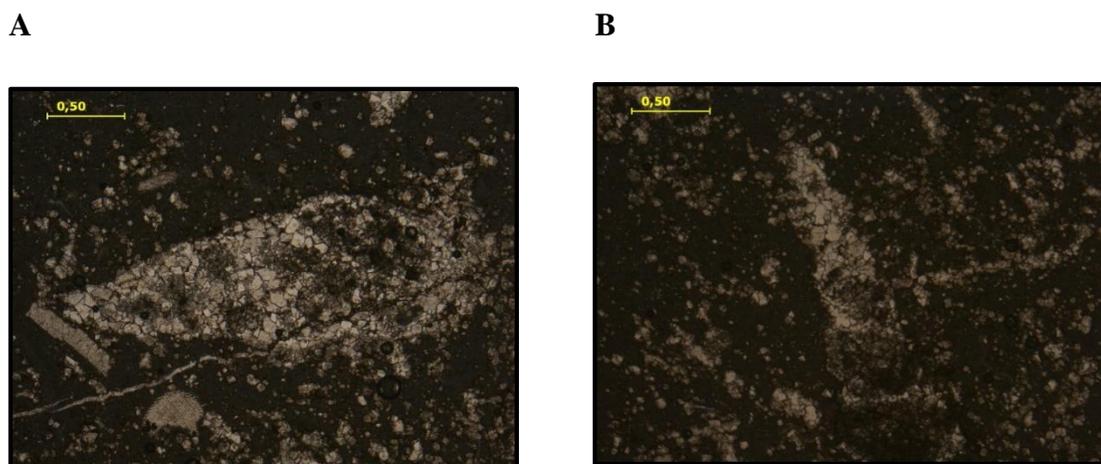


Figura 4.18. Sección microscópica de la muestra Pica 4 - M18. A) Foraminífero biserial con reemplazamiento de dolomita, vista en nícoles paralelos con objetivo 4X. B) Foraminífero uniserial con reemplazamiento de dolomita, vista en nícoles paralelos con objetivo 4X.

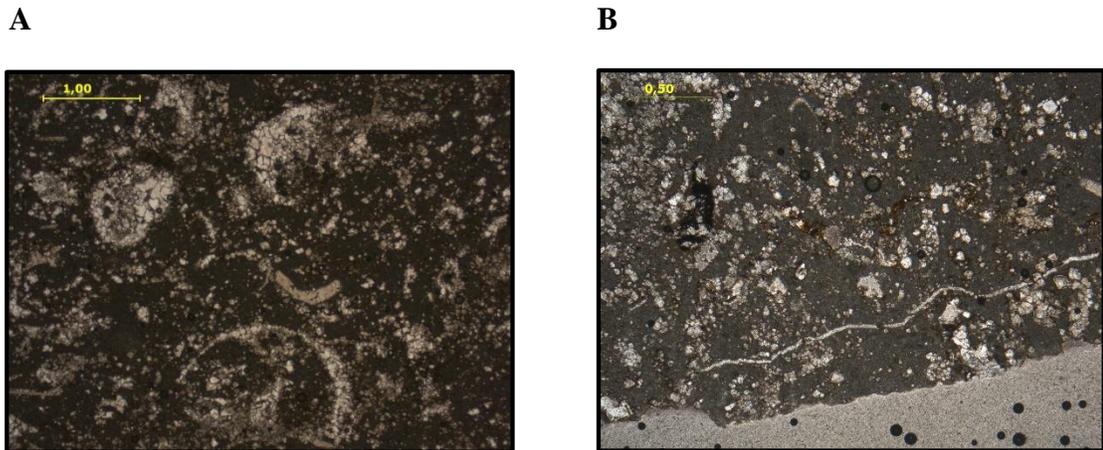


Figura 4.19. Sección microscópica de la muestra Pica 4 – M18. A) Fragmentos fósiles rellenos de micrita con reemplazamiento de dolomita. Vista en nícoles paralelos con objetivo 2.5X. B) Estilolita presente en parte de la sección. Vista en nícoles paralelos con objetivo 4X.

Pica 5– M31

Muestra de caliza de baja pureza, cuyo espécimen de mano muestra un color fresco gris rojizo, motivado a su alto contenido de magnesio, con tamaño de grano muy fino, y presencia notoria de vetas de calcita, en Figura 4.20. En sección fina, se muestra soportada por matriz con alto porcentaje de cristales de ankerita, que se observan bajo el microscopio formando agregados granulares, de color marrón, por alteración a óxidos e hidróxidos de hierro. Se observan organismos fósiles bien preservados. Es clasificada como *Mudstone*, con la clasificación precisada por DUNHAM (1962), y Micrita fosilífera, en función de la sistematización de FOLK (1962). Ver Figura 4.21.



Figura 4.20. Muestra de mano fresca del espécimen Pica 5 – M31.

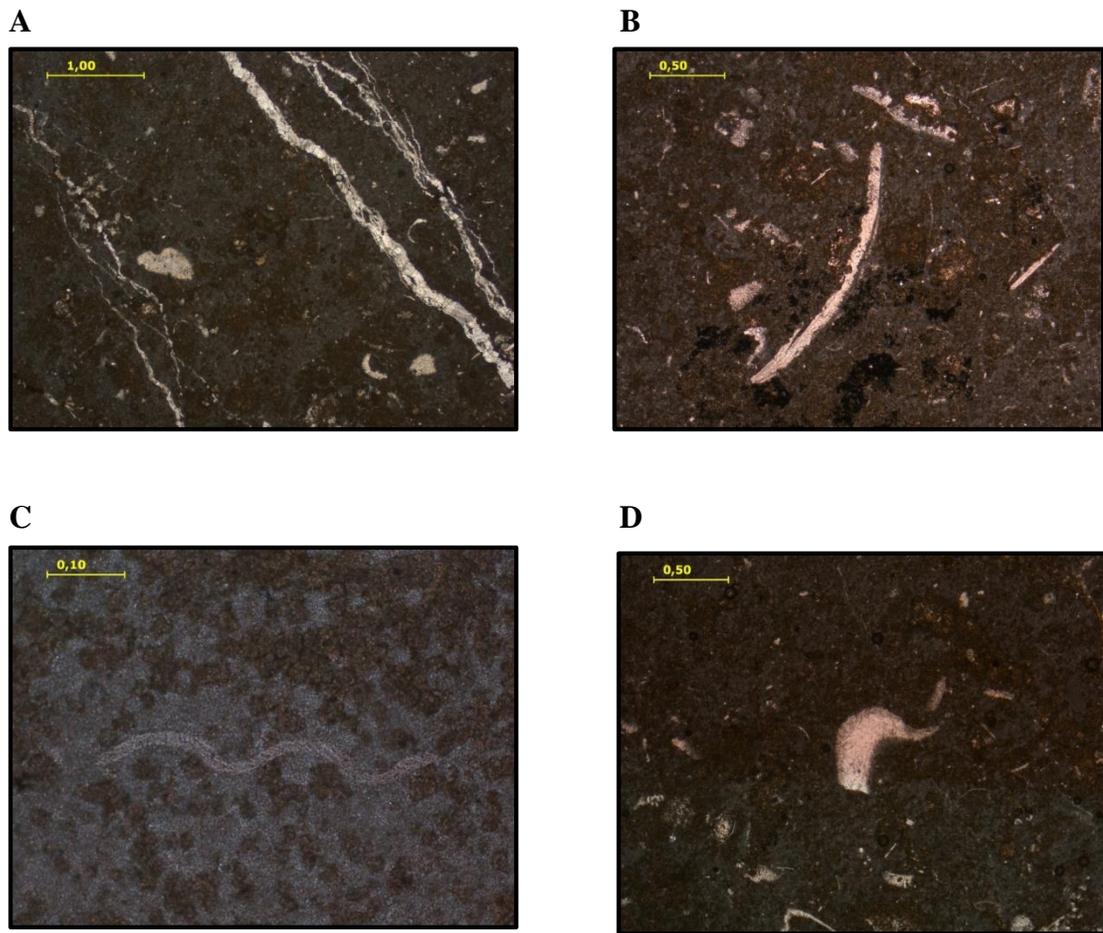


Figura 4.21. Sección microscópica de la muestra Pica 5 – M18. A) Panorámica general, con vista en nícoles paralelos con objetivo 2.5X. B) Molusco con inversión homoaxial, panorámica en nícoles paralelos con objetivo 4X. C) y D) Posibles fragmentos de bivalvos. Nícoles paralelos. Objetivo 20X y 4X, respectivamente.

4.2.1.6. Análisis de durabilidad de muestras de la SUBU-I

En esta parte, se ha caracterizado la durabilidad de las muestras obtenidas utilizando el *Slake Durability Test*. Fueron seleccionados cuatro (04) especímenes que cumplieren con la clasificación de caliza de alta, mediana, y baja pureza, y aplicado el procedimiento del SDT detallado en el capítulo anterior.

Para la clasificación de acuerdo al índice de durabilidad (I_D) se utilizó la Tabla 2.3, referida en las consideraciones teóricas.

Caliza de alta pureza

Seleccionada la muestra Pica 3 – M35 ubicada en las coordenadas UTM (N1106439, E467688). El peso inicial de los diez fragmentos de roca posterior al primer ciclo de secado resultó de 523,50 gr. Posterior al primer ciclo de humectación y secado reflejó un peso de 518,40 gr. Finalmente, se registró un peso de 516,70 gr luego del último ciclo de humectación y secado. Ver Figura 4.22.

A



B



Figura 4.22. Procedimiento del *Slake Durability Test* a muestra de caliza de alta pureza Pica 3 - M35. A) Peso resultante del primer ciclo de humectación y secado. B) Peso resultante del segundo ciclo de humectación y secado.

Con los pesos antes mencionados, utilizando la ecuación del índice de durabilidad, mencionada en el capítulo anterior, se obtuvieron los siguientes índices:

Ecuación 4.1. Índice de durabilidad I_{D1} aplicado a muestra de caliza de alta pureza, Pica 3 - M35.

$$I_{D1} = \frac{523,50 - 518,40}{523,50} \times 100 = 0,97\%$$

Ecuación 4.2. Índice de durabilidad I_{D2} aplicado a muestra de caliza de alta pureza, Pica 3 - M35.

$$I_{D2} = \frac{518,40 - 516,70}{518,40} \times 100 = 0,33\%$$

De acuerdo a la clasificación del índice de durabilidad, según GOODMAN (1980), expresado en la Tabla 2.3 del segmento de consideraciones teóricas del SDT, la muestra de caliza de alta pureza es clasificada como Muy Baja, lo que significa que la misma posee una probabilidad minúscula de degradarse en la intemperie ante la acción del agua como agente erosivo.

El resultado obtenido concuerda a cabalidad con lo observado en las características microscópicas intrínsecas del material, al presentar una porosidad nula dificulta el proceso de transporte de agua por capilaridad, dándole una alta resistencia al material para permanecer inalterable al paso del tiempo.

Caliza de mediana pureza

Seleccionados dos (02) especímenes, Pica 1 – M23 y Pica 4 – M26, ubicadas en las coordenadas UTM (N1106530, E467480) y (N1106577, E467583), respectivamente.

Cumpliendo con el procedimiento del SDT, la muestra M23 se fragmentó en 10 pedazos y se sometió al primer ciclo de secado, registrando un peso A de 555,10 gr. Seguidamente, los fragmentos fueron colocados en el tambor y se procedió a realizar el primer ciclo de sequedad, humedad y desmoronamiento, al realizar la tara del material se precisó un peso B de 551,80 gr. Posteriormente, se llevó a cabo el segundo y último ciclo de humectación y secado, marcando un peso C de 550,70 gr. En la Figura 4.23 se muestra el

pesaje mencionado.

A



B



C



Figura 4.23. Procedimiento del *Slake Durability Test* a muestra de caliza Pica 1 - M23 medianamente pura. A) Tara de los diez fragmentos posterior al primer ciclo de secado. B) Peso resultante del primer ciclo de humectación y secado. C) Peso resultante del segundo ciclo de humectación y secado.

A continuación, se presenta la valoración del ensayo a partir de la cuantificación de los índices de durabilidad, I_{D1} e I_{D2} , resultantes de los dos ciclos de humectación y secado.

Ecuación 4.3. Índice de durabilidad I_{D1} aplicado a muestra de caliza medianamente pura, Pica 1 – M23.

$$I_{D1} = \frac{555,10 - 551,80}{555,10} \times 100 = 0,59\%$$

Ecuación 4.4. Índice de durabilidad I_{D2} aplicado a muestra de caliza medianamente pura, Pica 1 – M23.

$$I_{D2} = \frac{551,80 - 550,70}{551,80} \times 100 = 0,20\%$$

Al presentar los porcentajes retenidos $I_{D1} < 60$ e $I_{D2} < 30$, la muestra de caliza medianamente pura Pica 1 – M23 es clasificada como Muy Baja, de acuerdo a la sistematización de GOODMAN (1980), reflejando como resultado la baja alterabilidad de la matriz rocosa por efecto del agua.

Para ensayar la muestra Pica 4 – M26 de caliza magnesiana, se procedió utilizando la misma metodología. En este caso, posterior al primer ciclo de sequedad, los 10 fragmentos de roca reflejaron un peso inicial de 558,40 gr. El segundo pesaje, correspondiente al primer ciclo de inmersión al agua y secado, taró 554,50 gr. Finalmente, se obtuvo un peso de 552,70 gr, resultante del segundo ciclo de sequedad, humedad y desmoronamiento. Obteniendo así los pesajes necesarios para el cálculo.

En la Figura 4.24, se detalla el procedimiento realizado. En la representación 44-A se observa el estado del agua al inicio del ensayo, antes del primer ciclo de humectación. En las figuras 44-B y 44-C es posible apreciar el cambio progresivo del elemento, donde se distinguen al fondo los sedimentos con tonalidades rojizas que decantan de manera rápida y discreta y se concentran al fondo del tanque, lo que indica una mayor delezabilidad de los sedimentos ricos en magnesio.

A



B



C



Figura 4.24. Procedimiento del *Slake Durability Test* a muestra Pica 4 - M26 de caliza medianamente pura. A) Tara de los diez fragmentos posterior al primer ciclo de secado. B) Peso resultante del primer ciclo de humectación y secado. C) Peso resultante del segundo ciclo de humectación y secado.

La valoración de los índices de durabilidad, de acuerdo a la cuantificación de la pérdida de material, es la siguiente:

Ecuación 4.5. Índice de durabilidad I_{D1} aplicado a muestra de caliza medianamente pura, Pica 4 – M26.

$$I_{D1} = \frac{558,40 - 554,50}{558,40} \times 100 = 0,70\%$$

Ecuación 4.6. Índice de durabilidad I_{D2} aplicado a muestra de caliza medianamente pura, Pica 4 – M26.

$$I_{D2} = \frac{554,50 - 552,70}{554,50} \times 100 = 0,32\%$$

La muestra ensayada corresponde a una caliza medianamente clasificada de acuerdo al índice de GOODMAN (1980) como Muy Baja, lo que significa que sufrió una pérdida mínima de material ante los ciclos de humedad, sequedad y desmoronamiento.

Ambas muestras de caliza medianamente puras apenas se ven afectadas por los ciclos de humedad – sequedad, indicando una alta durabilidad ante la acción del agua.

Caliza de baja pureza

En esta sección se ensayó la muestra Pica 5 – M31, hallada en la zona con coordenadas UTM (N1106626, E467743). En la aplicación de la metodología del SDT, se fragmentó la muestra en 10 trozos, que posterior al ciclo de secado marcaron un peso tara de 441,30 gr. El segundo peso registrado fue de 438,30 gr, que se obtuvo posterior al primer ciclo. Finalmente, luego el segundo ciclo de inmersión y secado, se registró un peso de 436,90 gr.

Los índices de durabilidad obtenidos se expresan a continuación:

Ecuación 4.7. Índice de durabilidad I_{D1} aplicado a muestra de caliza de baja pureza, Pica 5 – M31.

$$I_{D1} = \frac{441,30 - 438,30}{441,30} \times 100 = 0,68\%$$

Ecuación 4.8. Índice de durabilidad I_{D2} aplicado a muestra de caliza medianamente pura, Pica 5 – M31.

$$I_{D2} = \frac{438,30 - 436,90}{438,30} \times 100 = 0,32\%$$

Resultando una clasificación para la muestra Pica 5 – M31, según la sistematización de GOODMAN (1980), de Muy Baja probabilidad de desintegración.

La Figura 4.25 muestra los resultados del procedimiento.

A



B



Figura 4.25. Procedimiento del *Slake Durability Test* a muestra de caliza de baja pureza Pica 5 - M231. A) Peso resultante del primer ciclo de humectación y secado. B) Peso resultante del segundo ciclo de humectación y secado.

En la Figura 4.26, se muestran los resultados obtenidos en las muestras de caliza, determinados por el ensayo del *Slake Durability Test*. La muestra Pica 3 – M35 presentó mayor pérdida de masa que sus similares, seguida de las muestras Pica 4 – M26, Pica 5 – M31, y Pica 1 – M23, respectivamente.

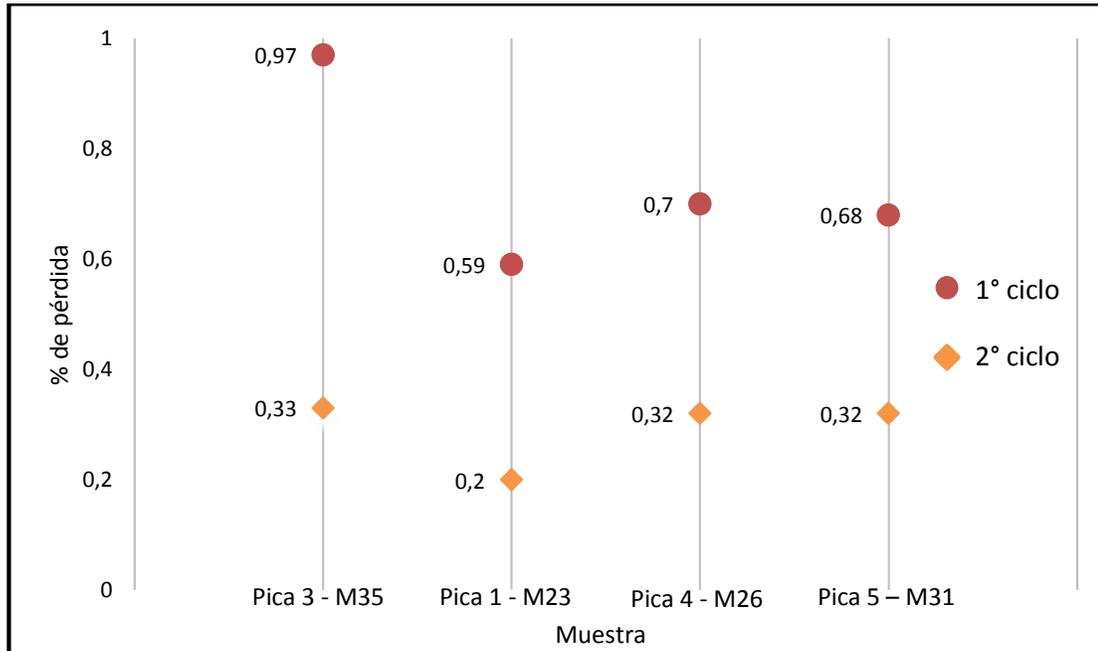


Figura 4.26. Gráfico de porcentaje de pérdida de masa en muestras de caliza, separado por espécimen en los distintos ciclos del *Slake Durability Test*.

Comparando los ciclos de pérdida de cada muestra, la tendencia es decreciente, tal como se refleja en la Figura 4.27. La mayor pérdida de masa que experimentan las muestras se obtiene en el primer ciclo, sin embargo, ésta no alcanza el uno por ciento. Durante el segundo ciclo de humectación y secado, las muestras sufrieron pérdidas mínimas, casi despreciables, de masa, que en promedio se ubican alrededor del 0,3%.

En vista de los valores obtenidos, se expone que, en conjunto, las rocas estudiadas tienen muy baja probabilidad de desintegrarse, es decir, la durabilidad de estos frente a la acción del agua es alta, siendo altamente resistentes a la alteración. Esto se debe a la gran homogeneidad y poca porosidad de las muestras, que reduce significativamente la influencia del agua en las mismas, por lo que, al tener poca variación de humedad, su resistencia se conserva inalterable.

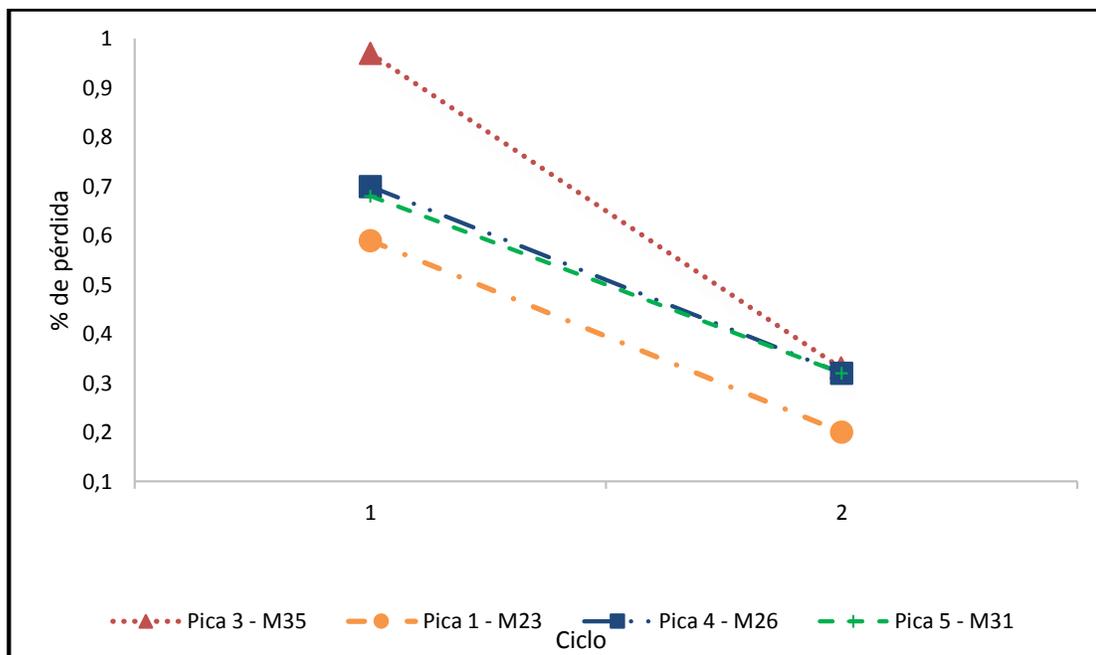


Figura 4.27. Gráfico de porcentaje de pérdida de masa de muestras de caliza vs. ciclos del SDT.

4.2.2. Dolomitas

La Tabla 4.8, presenta las muestras con caracterización dolomítica que fueron tomadas en los afloramientos del área de estudio.

Tabla 4.8. Muestras de dolomita recolectadas en las Picas #1 y #2.

Nombre de Campo	Ruta	Muestra	Coordenada Este	Coordenada Norte
DOLOMITA	Pica 1	M4	467510	1106480
	Pica 2	M36	467573	1106411

4.2.2.1. Características en campo

Los afloramientos de dolomitas pertenecientes a esta subunidad se encontraron en zonas con vegetación densa y gran cubierta de materia vegetal. Los mismos fueron descubiertos y se observaron afloramientos masivos, con persistencia promedio de 4 metros, cuyas rocas presentan un color fresco grisáceo con tonalidades pardas oscuras en gran parte de la sección, y color meteorizado gris claro, como se vislumbra en la Figura 4.28. En muestra de mano, se observa un tamaño de grano muy fino, compacto, presencia notoria de vetas de

calcita, con reacción al HCl, en Figura 4.29.



Figura 4.28. Afloramiento de dolomita donde se extrajo la muestra Pica 1 – M4. Coordenadas UTM del área (N1106480, E467510).



Figura 4.29. Muestra de mano fresca del espécimen Pica 1 – M4.

4.2.2.2. Distribución y ubicación

La SUB-UII de dolomitas, representa superficialmente el 5% del área estudiada, obteniéndose sólo dos (02) muestras de dicho espécimen, representadas espacialmente en la Figura 4.30.

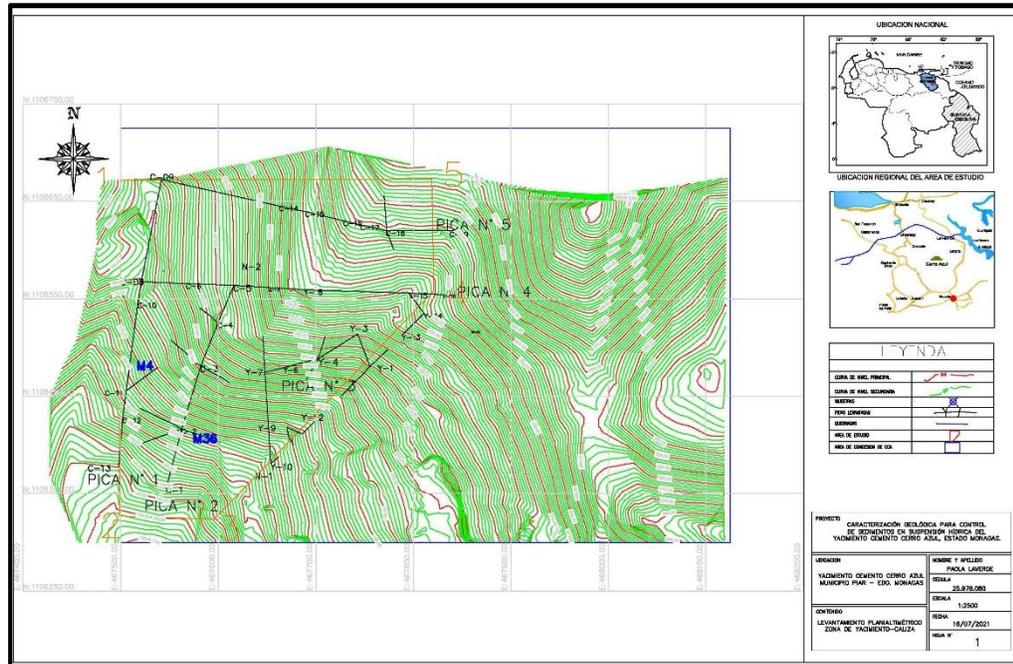


Figura 4.30. Representación espacial de las muestras de dolomita pertenecientes a la subunidad II, utilizando la herramienta AutoCAD.

4.2.2.3. Contacto

La subunidad de dolomita se encuentra en contacto discordante transicional con las calizas pertenecientes a la subunidad I.

4.2.2.4. Análisis químico de muestras de la SUBU-II

De acuerdo con los resultados cuantitativos obtenidos a través del análisis por Difracción de Rayos X, los especímenes fueron clasificados de acuerdo a su contenido de óxido de magnesio (MgO) según PETTJOHN (1975), donde resultó una (01) muestra tipo dolomita calcítica, y una (01) muestra tipo dolomita. Dichos resultados se expresan en la Tabla 4.9.

Tabla 4.9. Análisis químico de acuerdo al %MgO realizado a las muestras de dolomita de la Subunidad II.

Muestra	% MgO	Clasificación
M4	13,98	Dolomita Calcítica
M36	44,35	Dolomita

Así mismo, fueron clasificadas de acuerdo con la distinción según HARRISON *et al.* (1998), en esta sistematización tomando en consideración el porcentaje de trióxido de carbono (CO₃), y los módulos de calcio y sílice. Resultando ambas muestras calizas de muy baja pureza. Los resultados se muestran en la Tabla 4.10.

Tabla 4.10. Análisis químico de acuerdo al % de SiO₂, CO₃ y MgO de las muestras de dolomita de la subunidad II.

Muestra	Composición Química (%)			Clasificación
	SiO ₂	CO ₃	MgO	
M4	2,27	81,79	13,98	Caliza de muy baja pureza
M36	1,96	73,19	44,35	Caliza de muy baja pureza

En particular, se observa que muestra M4 presenta un contenido de MgO relativamente bajo y un contenido de CaO relativamente alto (baja relación MgO/CaO), a comparación de la muestra de dolomita de la muestra M36, indicando un proceso de dolomitización más exhaustivo y/o completo en esta última.

4.2.2.5. Análisis petrográfico de muestras de la SUBU-II

El estudio petrográfico se realizó a la muestra Pica 2 – M36, ya que la misma resultó ser la de menor pureza en el universo muestreado de la sección de estudio. Se analizaron los componentes ortoquímicos; micrita o matriz y cemento, extraclásticos, y los componentes aloquímicos, además de la porosidad. La muestra fue teñida de alizarina roja para poder diferenciar la calcita de la dolomita.

Finalmente, para clasificarla texturalmente se utilizaron las sistematizaciones de DUNHAM (1962) y FOLK (1962), previamente definidas en consideraciones teóricas del capítulo III.

Pica 2 – M36

Muestra soportada por componente ortoquímico de cemento, representado por cristales de dolomita, que se presentan de forma euhedral con su hábito romboédrico característico. La dolomitización de la muestra es extensa, con reemplazamiento total de la fábrica original. En menor proporción, se observan cristales de ankerita, localizados a lo largo de las vetas, estas últimas con reemplazamiento de dolomita, presentes en la sección. Exhibe porosidad intracristalina por disolución interna de los rombos de dolomita, la misma es valorada en un 5%. Ver figuras 4.31, 4.32 y 4.33.

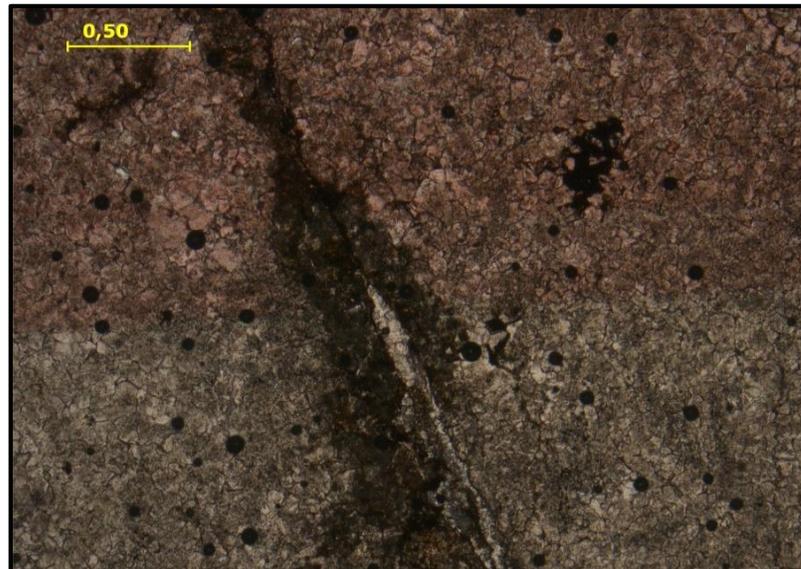


Figura 4.31. Panorámica general de la muestra Pica 2 - M36. Soportada por cristales de dolomita, con presencia de cristales de ankerita en proporciones menores. Vista en nicoles paralelos, con objetivo 4X.



Figura 4.32. Cristales de dolomita presentes en la muestra Pica 2 - M36, con su hábito romboédrico característico. Nícoles paralelos. Obj. 4X.

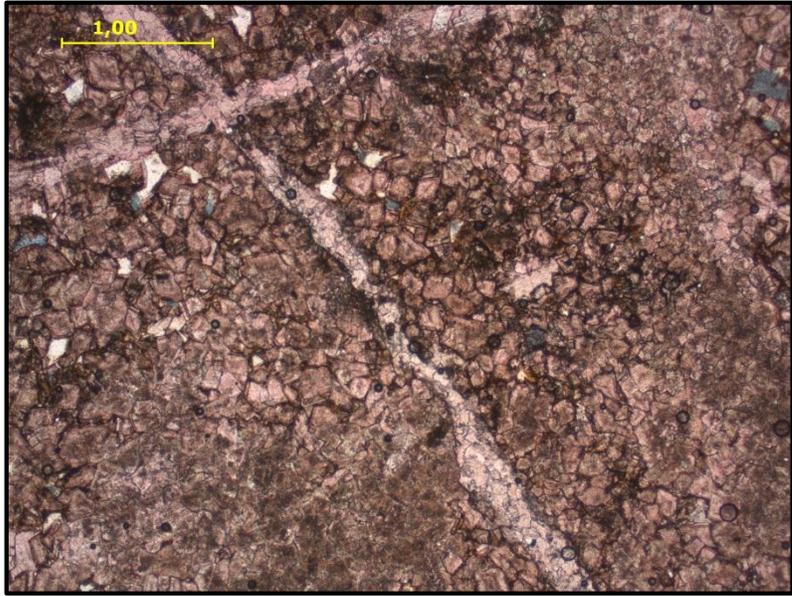


Figura 4.33. Porosidad intracristalina presente en la muestra Pica 2 - M36. Vista en nícoles paralelos. Obj. 2.5X.

Se observan, además, componentes aloquímicos en proporciones escasas despreciables, representados por fragmentos fósiles con reemplazamiento total de dolomita, tal como se muestra en la Figura 4.34.

De acuerdo a DUNHAM (1962), la muestra Pica 2 – M36 es clasificada como un “Carbonato Cristalino de Dolomita”.



Figura 4.34. Fragmento fósil con reemplazamiento de dolomita, presente en la muestra Pica 2 – M36.

4.2.2.6. Análisis de durabilidad de muestras de la SUBU-II

La caracterización de la durabilidad de la muestra Pica 2 –M36, mediante el ensayo del *Slake Durability Test*, fue realizada aplicando el procedimiento sintetizado en el marco metodológico. Posteriormente, fue clasificada de acuerdo al índice de durabilidad (I_D) referido en la Tabla 2.3.

Carbonato cristalino de dolomita

La muestra Pica 2 – M36, ubicada en las coordenadas UTM (N1106411, E467573), registró un peso tara de los 10 fragmentos de roca, posterior al primer ciclo de secado, de 523,30 gr. Seguidamente, luego del primer ciclo de humectación y secado reflejó un peso de 521,60 gr. Finalmente, al culminar el último ciclo, el peso del espécimen fue de 518,70 gr. Ver figura 4.35.

Con los pesos obtenidos, utilizando la ecuación del índice de durabilidad, se obtuvieron

los siguientes resultados:

Ecuación 4.9. Índice de durabilidad I_{D1} aplicado a muestra de dolomita, Pica 2 - M36.

$$I_{D1} = \frac{523,30 - 521,60}{523,30} \times 100 = 0,32\%$$

Ecuación 4.10. Índice de durabilidad I_{D2} aplicado a muestra de dolomita, Pica 2 - M36.

$$I_{D2} = \frac{521,60 - 518,70}{521,60} \times 100 = 0,56\%$$

La muestra ensayada corresponde a un carbonato cristalino de dolomita clasificado con un índice de durabilidad Muy Bajo, de acuerdo a GOODMAN (1980), debido a que la pérdida de masa ante los ciclos de humedad, sequedad y desmoronamiento, fue mínima.

Las muestras de la SUB-UII, al igual que la SUB-UI, también presentan una alta durabilidad ante la acción del agua como agente meteorizante y erosivo.

A



B



C

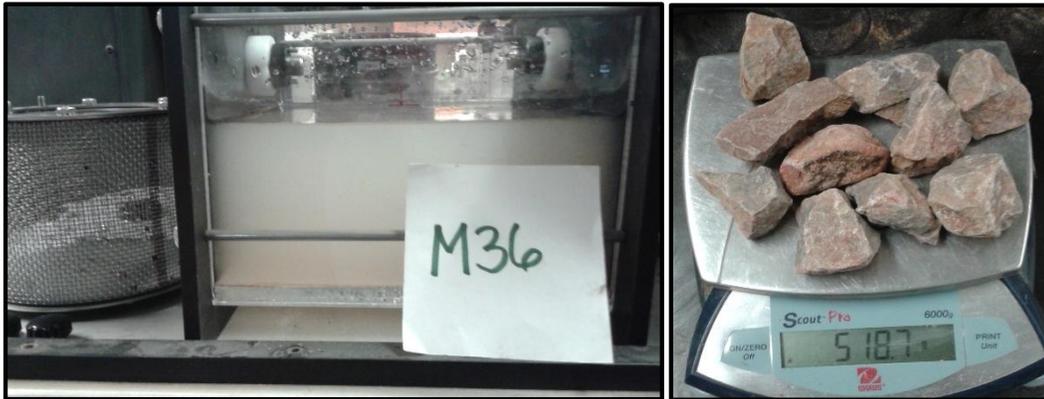


Figura 4.35. Procedimiento del *Slake Durability Test* a muestra Pica 2 – M36 de dolomita. A) Tara de los diez fragmentos posterior al primer ciclo de secado. B) Peso resultante del primer ciclo de humectación y secado. C) Peso resultante del segundo ciclo de humectación y secado.

En la Figura 4.36, se muestra una comparación de los índices de durabilidad obtenidos en las muestras de la subunidad I de Calizas y la subunidad II de Dolomitas, determinados por el ensayo del *Slake Durability Test*. Se realizó un promedio de los ID_1 e ID_2 obtenidos en las muestras de caliza, y se tomó el resultado de la muestra Pica 2 – M36 de dolomita. Se evidencia que esta última, presentó menor pérdida de masa que los distintos tipos de caliza promediados.

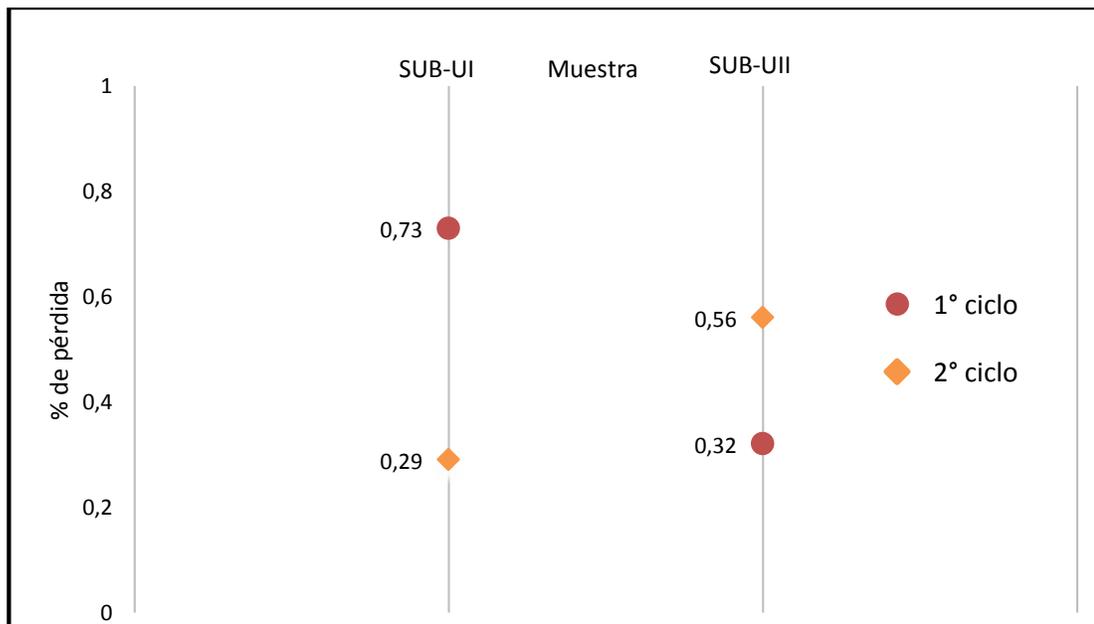


Figura 4.36. Gráfico comparativo de porcentaje de pérdida de masa en muestras de caliza y dolomita, en los distintos ciclos del *Slake Durability Test*.

También, se muestra que, a diferencia de las muestras de caliza, la dolomita experimenta una mayor pérdida de masa en el segundo ciclo de humectación y secado, por lo que presenta una tendencia creciente, como se refleja en la Figura 4.37. Aunque la pérdida de masa para el espécimen de Dolomita (SUB-UII) también es despreciable, alcanzando apenas un 0,88% en la suma de ambos ciclos, es posible inferir que las mismas pueden sufrir mayor desgaste que las Calizas (SUB-UI), a medida que su exposición a los agentes erosivos naturales es más continua y prolongada.

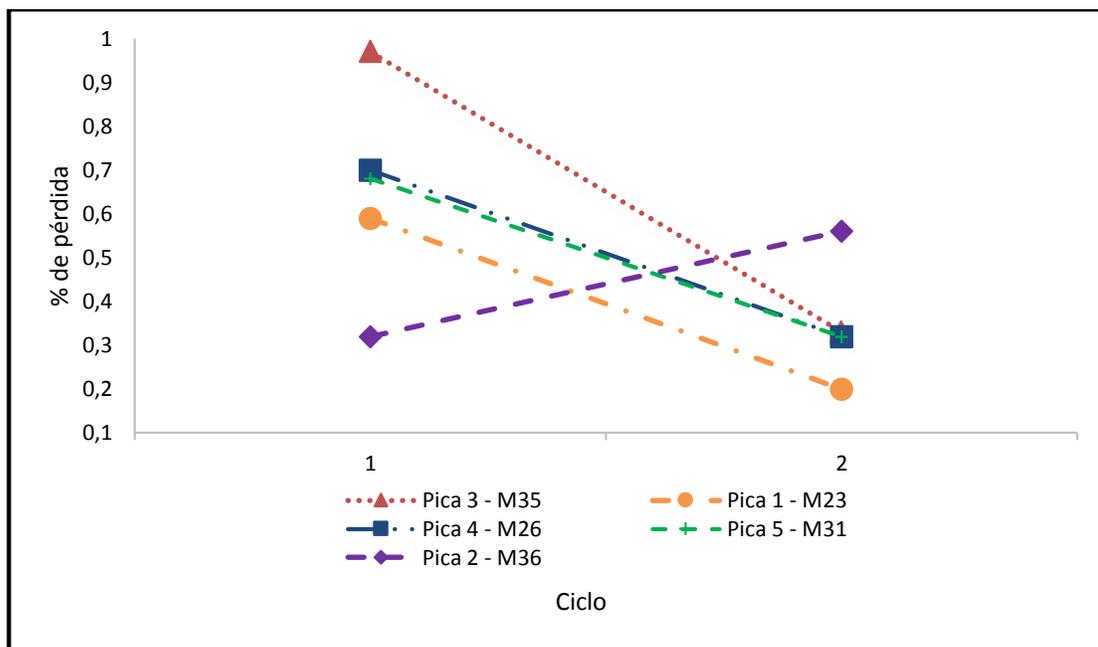


Figura 4.37. Gráfico de porcentaje de pérdida de masa de muestras de caliza y dolomita vs. ciclos del SDT.

4.3. RELIEVE LOCAL

En el presente apartado, se describen las características del relieve local del área estudiada, tomando en consideración lo observado en el levantamiento de campo y la data obtenida con el uso de la herramienta AutoCAD.

El área de estudio se encuentra enmarcada por un relieve montañoso fuertemente diseccionado, asociado a una fracción de la Serranía del Interior Oriental. La unidad morfológica localizada en las 8,5 hectáreas estudiadas, corresponde a prominencias topográficas de morfología colinada asociadas a premontañas bajas. Ver Figura 4.38.

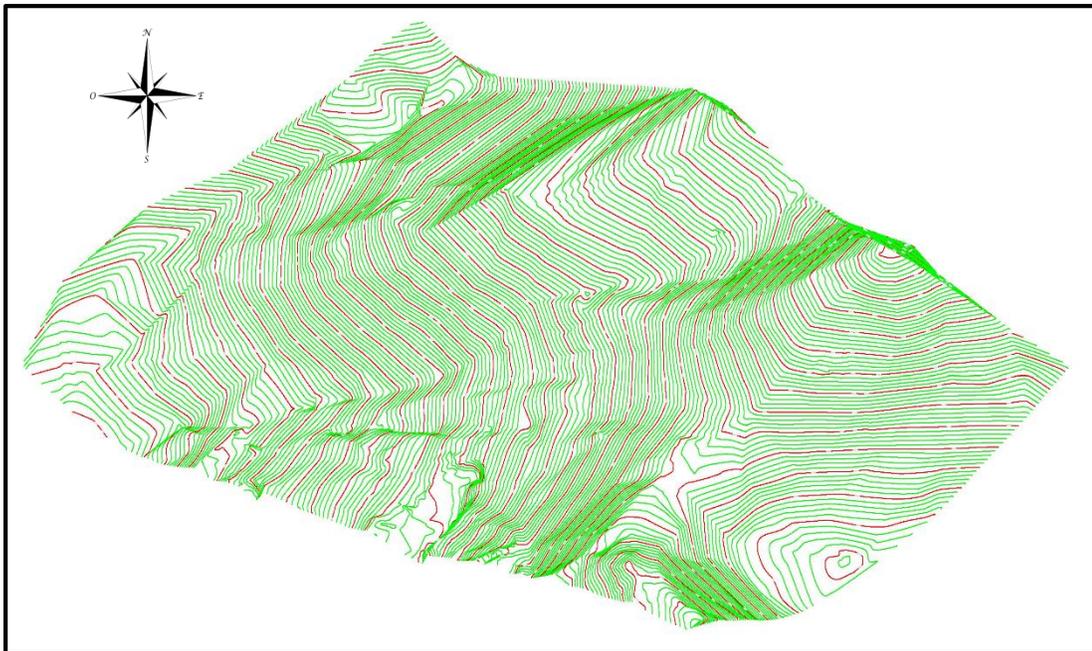


Figura 4.38. Representación 3D de la unidad morfológica localizada en las 8,5 ha estudiadas.

Muestra valores locales de altitud entre los 130 y 310 m.s.n.m., cuya superficie presenta un índice de relieve relativo bajo (180 m), exponiendo un relieve ligeramente diseccionado, tal como se muestra en la Figura 4.39.

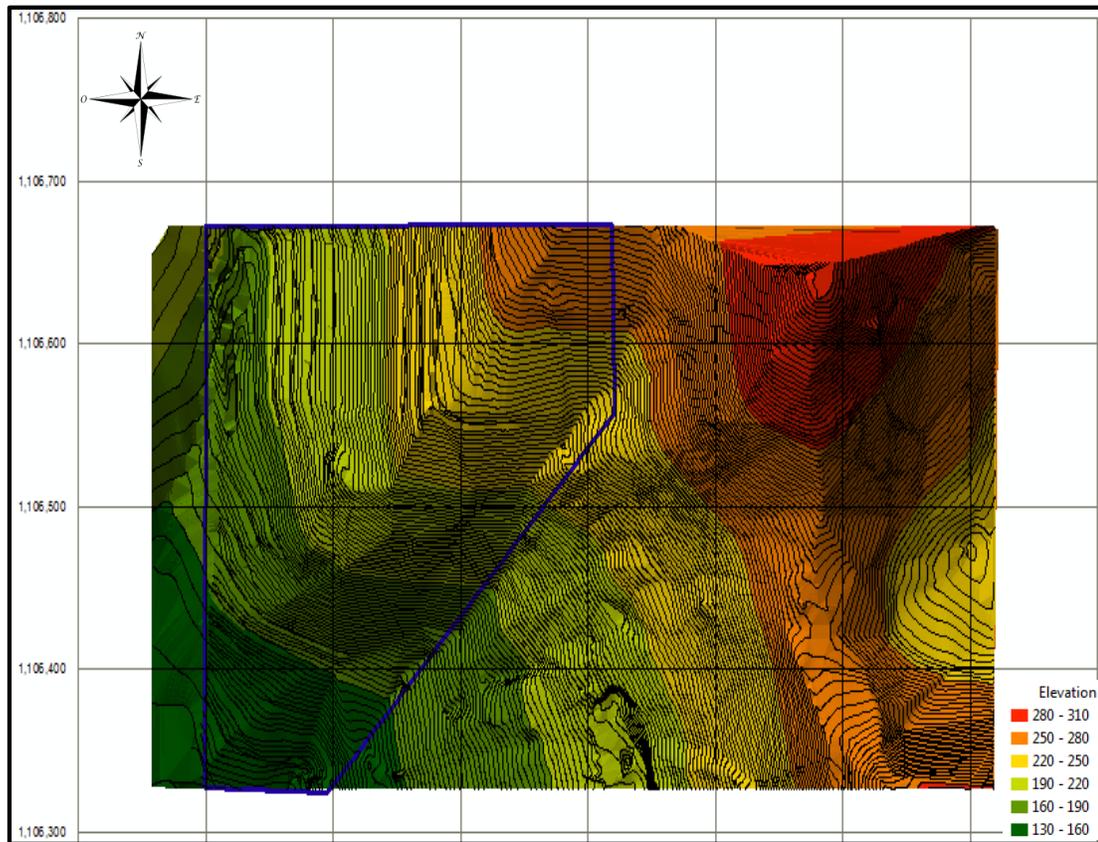


Figura 4.39. Mapa de representación de elevaciones del área de estudio y sus adyacencias.

Las pendientes del terreno son pronunciadas, desde los 60° , alcanzando valores de hasta 77° . Ver Figuras 4.40, 4.41 y 4.42.

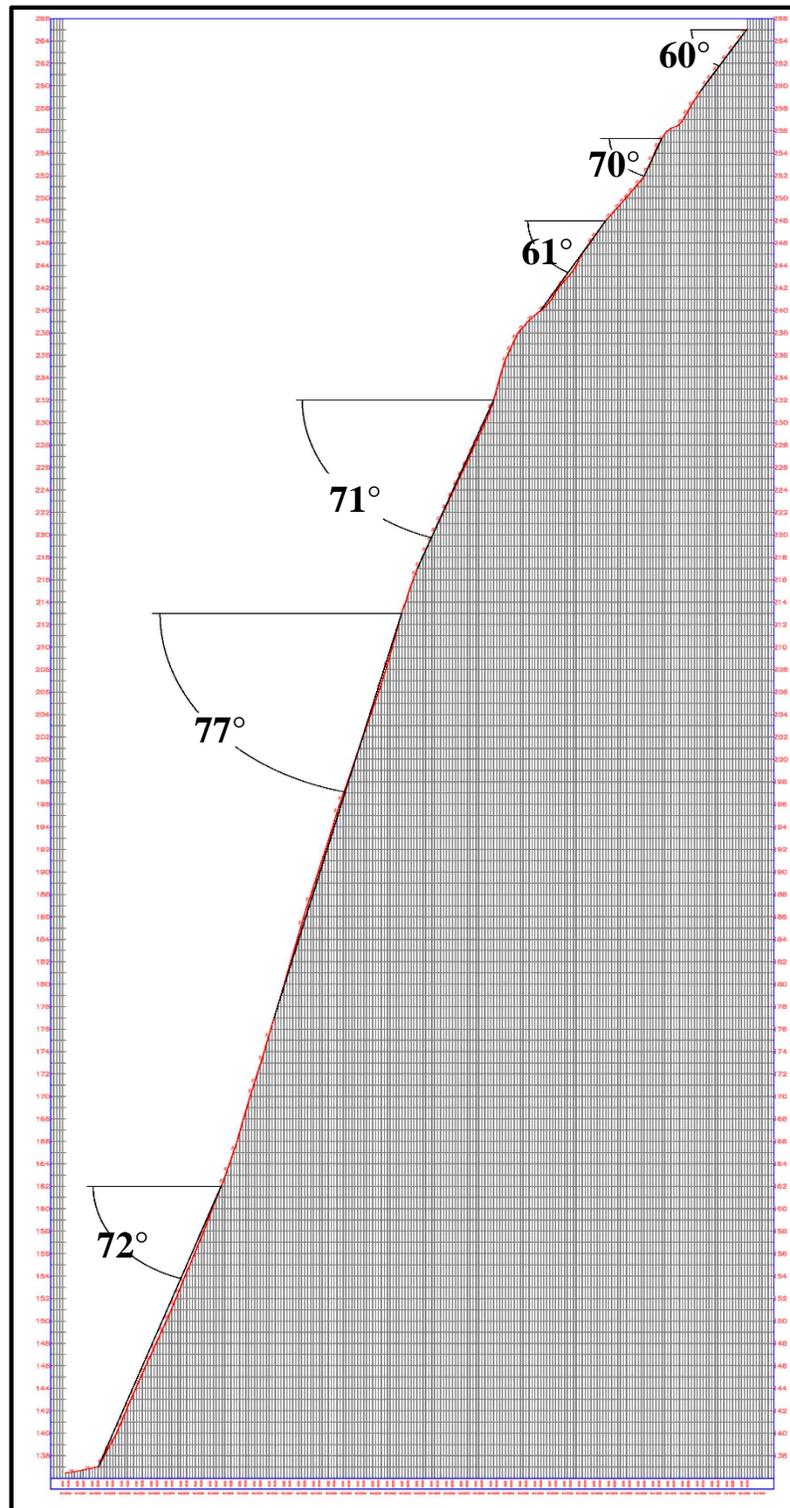


Figura 4.40. Perfil topográfico "A" de sección longitudinal del terreno donde se observan las pendientes promedio del área, desde el punto (N1106666, E467812) hasta el punto (N1106345, E467479).

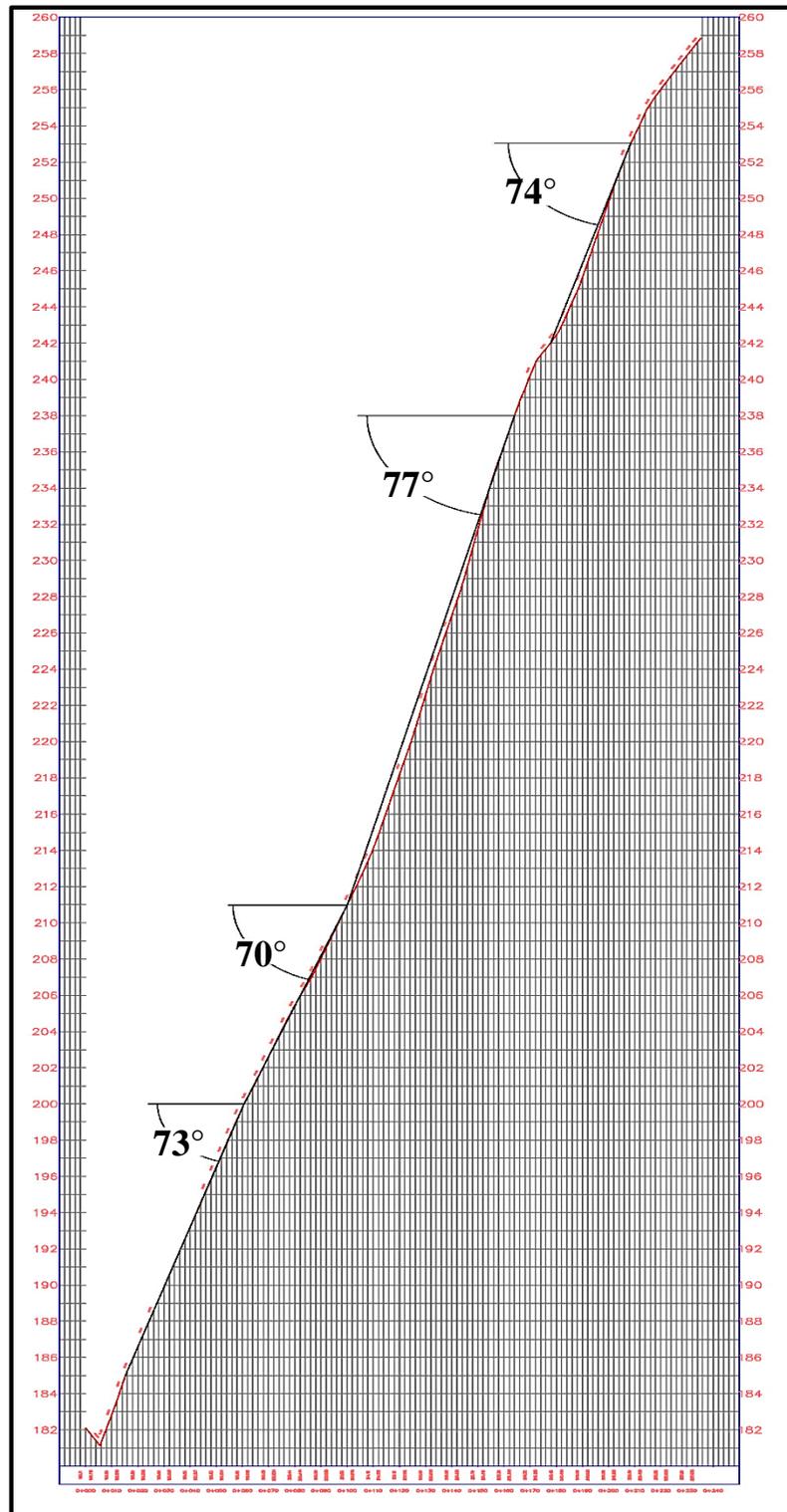


Figura 4.41. Perfil topográfico “B” de sección longitudinal del terreno donde se observan las pendientes medias del área, desde el punto (N1106650, E467752) hasta el punto (N1106613, E467519).

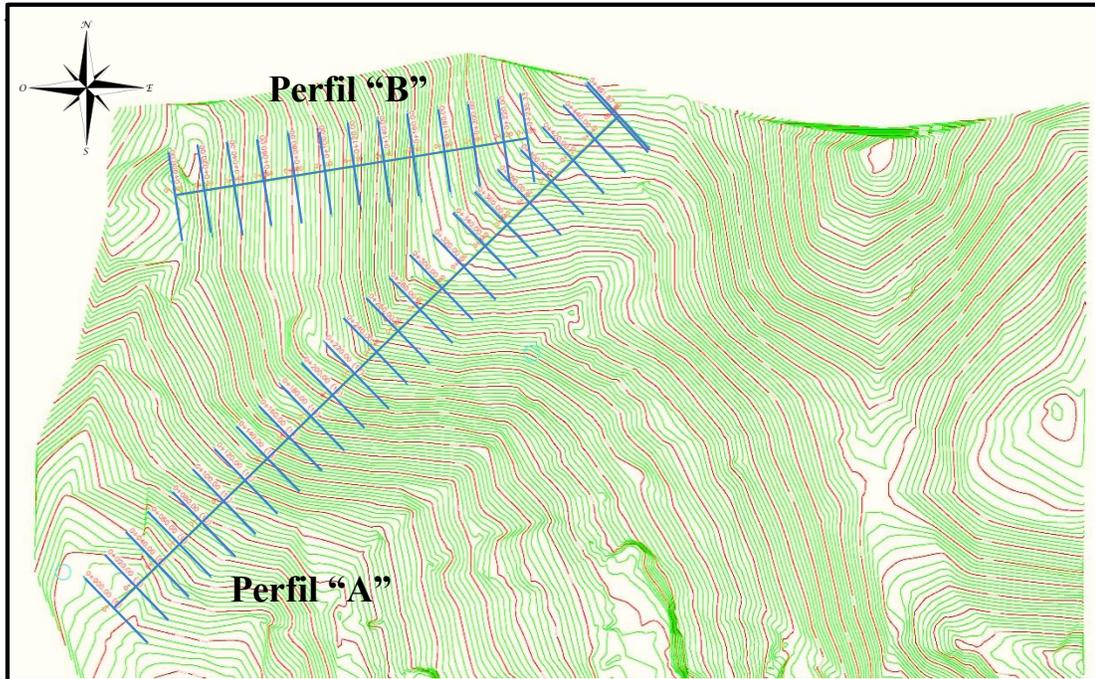


Figura 4.42. Representación de las alineaciones de los perfiles A y B.

Las fuertes pendientes que caracterizan el área de estudio, representan la mayor influencia topográfica para la severidad de la erosión y mayor potencial de arrastre de sedimentos. El aporte de este factor incide directamente en la producción de los mismos.

Es constante la presencia de materia orgánica vegetal a lo largo del área, lo que incrementa su estabilidad, rugosidad y porosidad, y que, a su vez, supone un aumento en la capacidad de infiltración.

El proceso de remoción de masa rocosa es bajo debido a la alta resistencia del material rocoso superficial. Por su parte, la erosión superficial generalizada del sustrato es abundante.

Otro factor importante que se desprende de la forma topográfica, es la capacidad de la vegetación de desarrollarse aun cuando las pendientes del área superan los 45°, ya que, en términos generales, se esperaría una baja probabilidad de su crecimiento.

4.4. DRENAJE LOCAL

La sección presentada, se realiza con la finalidad de describir las características de la red de drenaje local del área estudiada, tomando en consideración lo observado en el levantamiento de campo, y su posterior representación utilizando la herramienta AutoCAD.

En el área de estudio se manifiestan dos (02) quebradas de régimen intermitente, muy importantes por su disposición dentro del yacimiento, longitud y profundidad del cauce. Forman parte de un patrón de drenaje de baja densidad, desarrollado sobre rocas altamente resistentes a la erosión, presentando una disposición irregular de sinuosidad moderada debido al fuerte desnivel del terreno. Ver Figura 4.43.

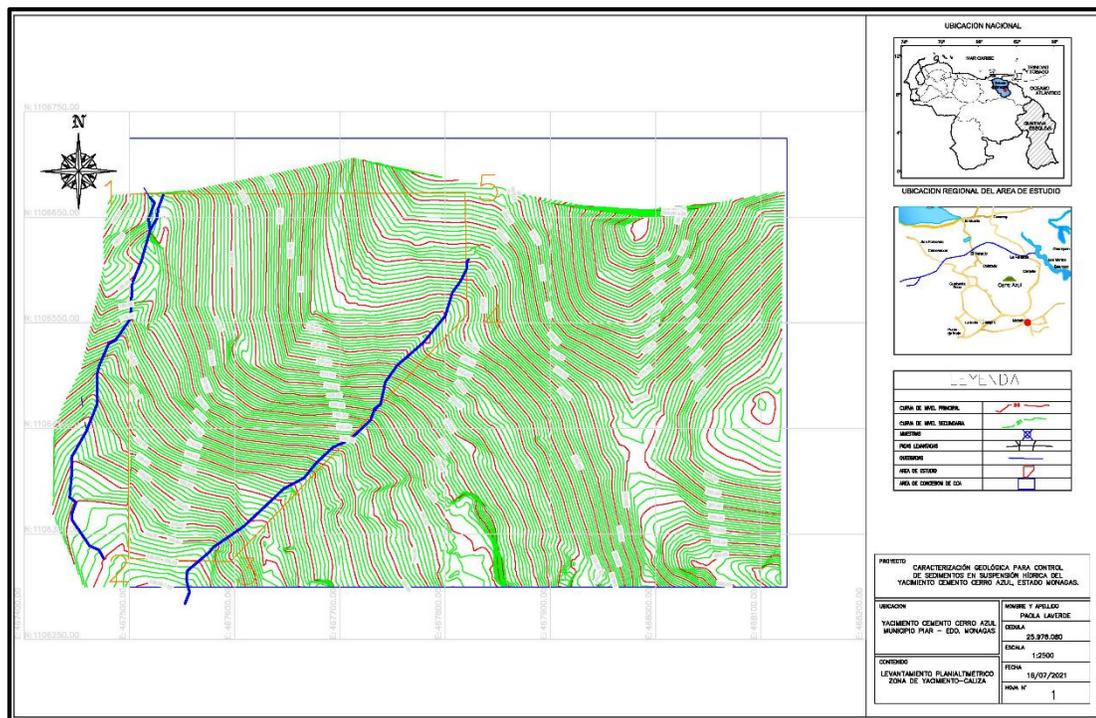


Figura 4.43. Representación de trayectoria de los cursos de agua presentes dentro del área de estudio. Al este la quebrada “E” y al oeste quebrada “O”.

El material alojado dentro de los cauces es predominantemente grueso y no desarrollan cohesión alguna. Debajo de éste se encuentran partículas de menor granulometría, tal como se muestra en la Figura 4.44.



Figura 4.44. Tramo del cauce de la Quebrada “O” donde se evidencia el material alojado.

Quebrada “E”

La quebrada “E”, ubicada al este de la zona, empieza a manifestarse en su curso medio en el extremo noreste del área, a 250 m.s.n.m., fluyendo en dirección noreste-suroeste hasta desembocar a 129 m.s.n.m., al sur del perímetro de estudio. El ancho promedio del cauce es de 6 metros, y a lo largo de su recorrido abarca una longitud de 447 metros, ocupando una extensión de 0,3 hectáreas, aproximadamente, que representan un 3,5% del área estudiada.

Las laderas presentan pendientes convexas, cuya longitud es moderadamente corta. La inclinación promedio de las laderas de dicha quebrada se ubica en torno a los 65°, tal como se muestra en la sección transversal representada en la Figura 4.45. Sin embargo, a pesar de las fuertes inclinaciones que la caracterizan, y que influyen directamente en la escorrentía superficial, la densidad de drenaje es baja.

Durante los días de lluvia, se pudo observar que el caudal de agua que fluye a través de la quebrada “E” es bajo. Esto también se evidencia por la densa cobertura vegetal a lo largo de todo su recorrido, constituyendo una importante defensa contra la erosión, ya que incrementa el resguardo frente al impacto de las gotas de lluvia, se frena la escorrentía y facilita la infiltración.

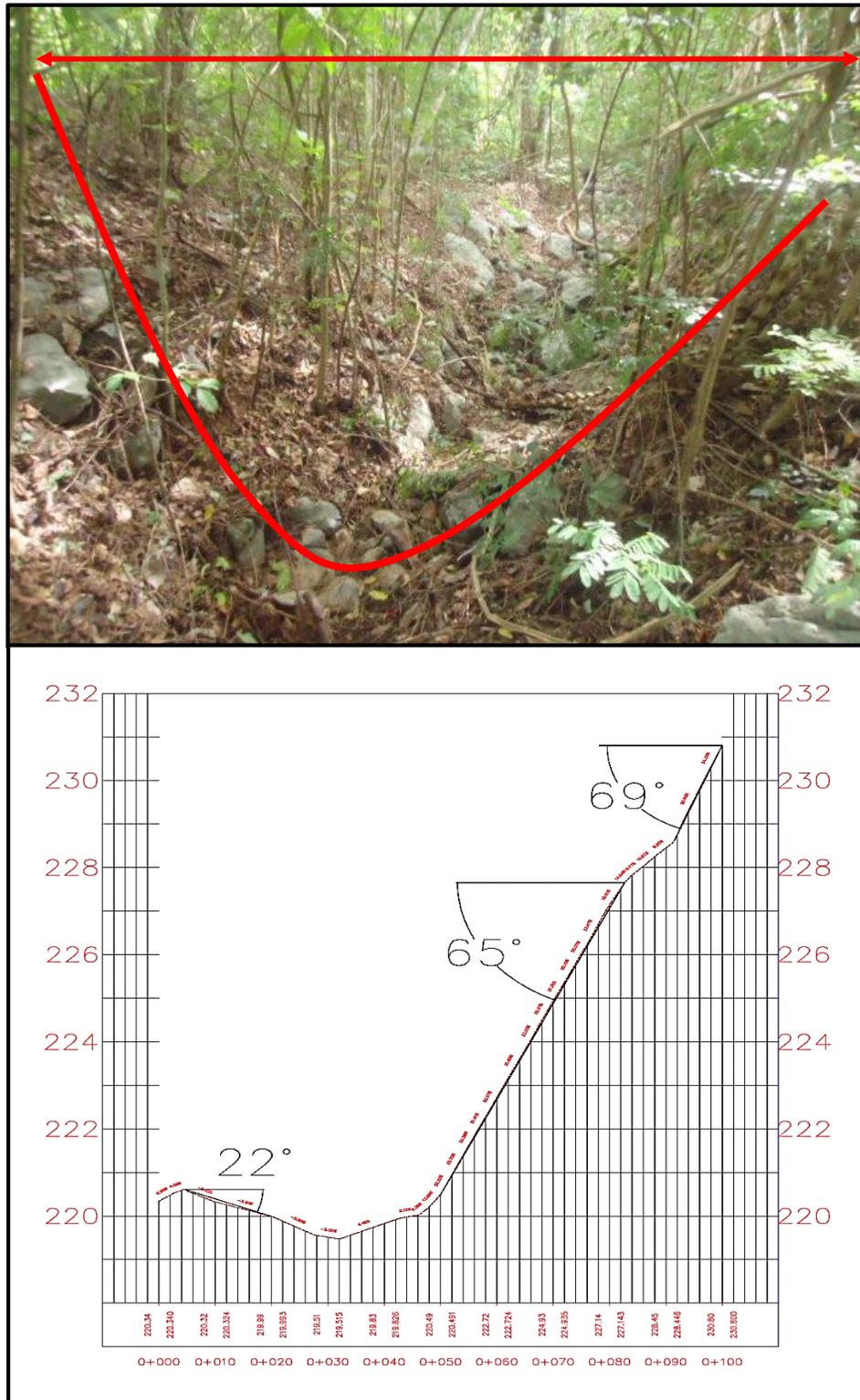


Figura 4.45. Representación de sección transversal de un tramo de la quebrada “E”, en el punto UTM (N1106511, E467755).

La pendiente media longitudinal de los tramos del cauce estudiado, visualizada a través de las secciones representadas en las Figuras 4.46-A y 4.46-B, es menor a 1%, lo que sugiere que la capacidad de transporte de los sedimentos de la Quebrada “E”, tanto en sedimentos en suspensión como carga de fondo, es baja.

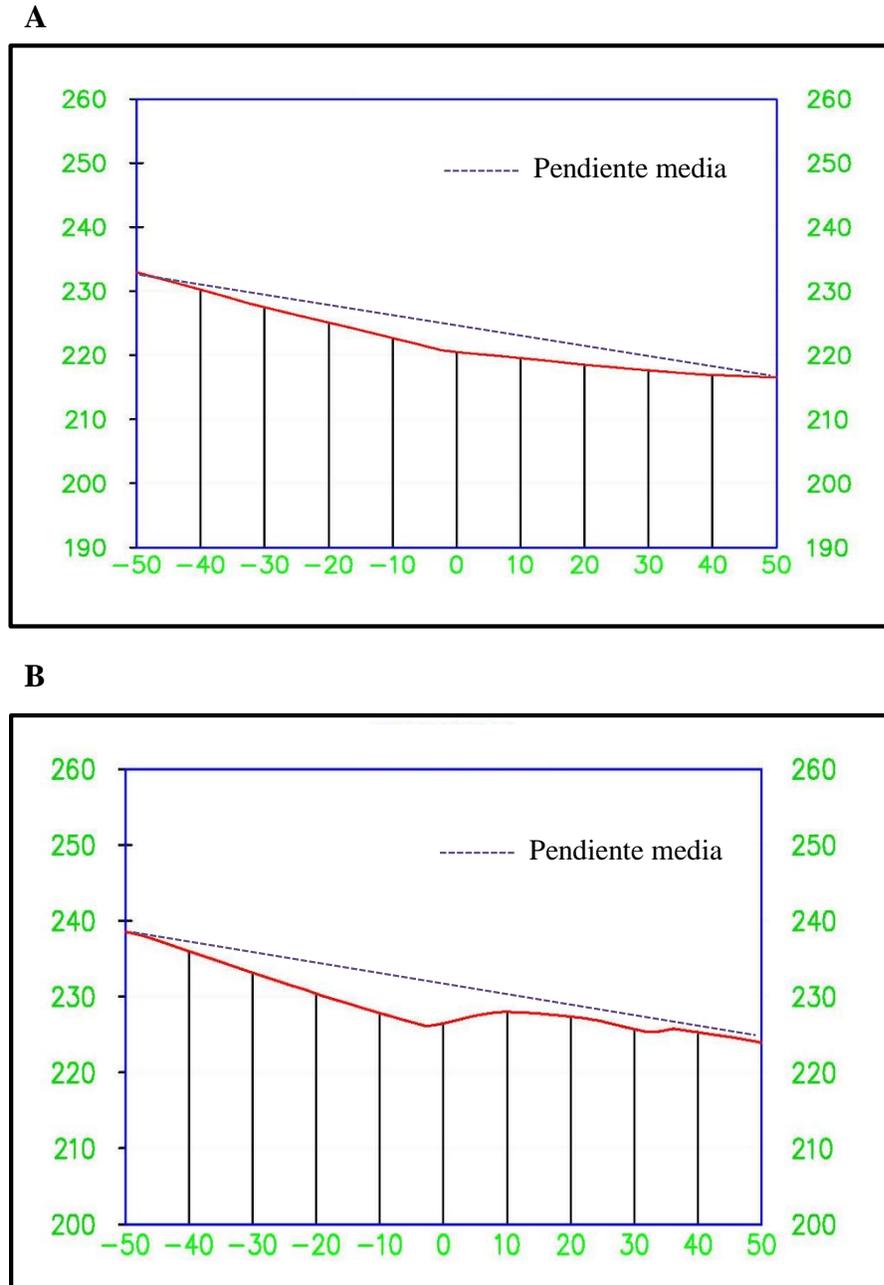


Figura 4.46. Representación de sección longitudinal de un tramo de la quebrada “E”, en el punto UTM (N1106511, E467755).

Quebrada “O”

Ubicada al oeste del área de estudio, por ello su nombre informal Quebrada “O”. Dentro del área, el punto más alto de la misma se ubica a 190 m.s.n.m., hacia el noroeste del prospecto en estudio, y desciende con rumbo suroeste donde desemboca a 134 m.s.n.m. La quebrada tiene una longitud de 387 metros que representan alrededor de 0,25 hectáreas. El ancho promedio del cauce de la quebrada “O” es de 6 metros. Ver Figura 4.47.

Al igual que su homóloga, exhibe laderas con pendientes convexas, con longitud moderadamente corta. La inclinación promedio de las mismas se ubica en torno a los 65°, cuya representación se muestra en la sección transversal de la Figura 4.48.

La densidad de drenaje de la quebrada “O” es moderada. A diferencia de la anterior, se pudo observar que el caudal de agua que fluye a través de la quebrada es representativo, considerándose el mayor caudal del área de estudio. En el recorrido del cauce, se observó la casi nulidad de cobertura vegetal a lo largo la quebrada, siendo éste un indicador de mayor velocidad de corriente y caudal fluvial, y, por ende, mayor capacidad de transporte de los sedimentos.



Figura 4.47. Tramo de recorrido de la quebrada “O”, se observa laja de caliza de 6 metros de ancho. Coordenada UTM (N1106509, E467471).

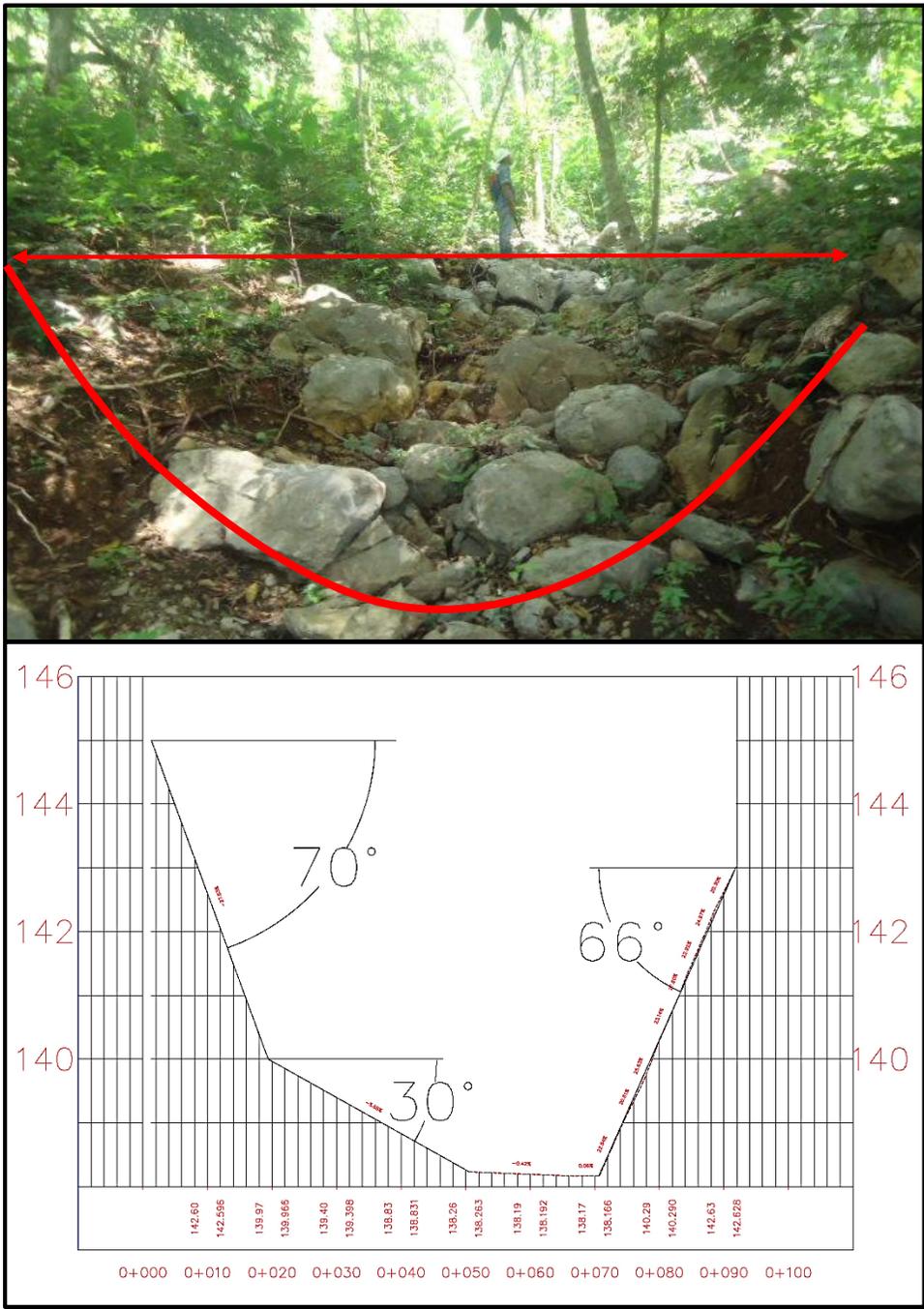


Figura 4.48. Representación de sección transversal de un tramo de la quebrada “O”, en el punto UTM (N1106369, E467446).

CAPÍTULO V

INTERPRETACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. GENERALIDADES

La caliza constituye hoy en día una de las rocas más explotadas y utilizadas a nivel mundial. En Cemento Cerro Azul, es utilizado a nivel industrial como fuente de materia prima para la fabricación de cemento. El único estudio realizado hasta la fecha, sobre la reserva mineral de este yacimiento, ha determinado como reserva estimada, con categorías de probables y posibles, 332 millones de toneladas de caliza, suficientes para abastecer el desarrollo del complejo industrial durante más de dos (02) siglos, a un ritmo de producción al máximo de la capacidad nominal o instalada de la Planta.

Tomando en cuenta la información adquirida durante cada una de las etapas, a través de las cuales se desarrolló el presente trabajo de investigación, esta sección tiene como propósito fundamental destacar las interpretaciones a fin del control de la erosión hídrica en el área objeto de estudio, derivadas de los datos obtenidos durante las etapas de campo y laboratorio, las cuales, a su vez, permiten establecer las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

5.2. INTERPRETACIONES MORFOLÓGICAS

La superficie que compone el yacimiento representa el factor inicial que condiciona las características del transporte de sedimentos, ya que está íntimamente ligada con el agua, siendo ésta su medio conductor y contenedor. En este sentido, la velocidad del flujo dependerá, además de la cantidad de agua, de la pendiente longitudinal del cauce, puesto que la gravedad impulsa la escorrentía fluvial.

El relieve de esta región es bastante irregular, hacia el norte se encuentra un paisaje montañoso escarpado, de fuertes pendientes que dan paso al agua en grandes velocidades, donde el esqueleto rocoso es de naturaleza calcárea, la meteorización y erosión de estas rocas han modelado un relieve característico de fila. Hacia el sur, los procesos erosivos geológicos

y antrópicos han formado un paisaje accidentado de piedemonte cuya cota más elevada es alrededor de los 200 msnm. En este paisaje los procesos erosivos han modelado una disección muy fuerte, originando canales de escurrimiento de las aguas superficiales y zonas receptoras de materiales coluviales provenientes de los relieves dominantes. Los suelos del área, debido a las características geológicas y topográficas, son de origen residual, poco evolucionados y moderadamente profundos, algunas veces asociados a afloramientos, los cuales se encuentran sometidos a una dinámica erosiva por escurrimiento difuso (laminar) y surcos, que se acrecientan en los sectores de mayor pendiente. Dichos suelos residuales posteriormente serán transportados a lugares distantes por la acción del agua.

Como parte del impacto, la actividad minera altera la estética del paisaje. La extracción de caliza como roca industrial, denominada “Cantera”, requiere la aplicación del método de explotación por banqueo. En Cemento Cerro Azul, de acuerdo a las características topográficas, geológicas y de estabilidad del terreno, la explotación del yacimiento iniciará con bancos escalonados descendentes, de 10 metros de altura, con mayores ángulos de talud de trabajo y final, ya que la roca es masiva, no deleznable y permite combinar las necesidades desde el análisis del equilibrio límite con las del proceso de erosión-sedimentación. Además, este método de explotación mineral permitirá, desde el inicio de la explotación, mayor rendimiento en el arranque, carga y acarreo, colocándose como conexión inicial los bancos desarrollados dentro de la zona de explotación actual de la cantera perteneciente a INDACA, permitiendo de este modo mayor control en las condiciones de seguridad para el personal y la maquinaria.

En este sentido, el proceso superficial de escurrimiento natural en cual el agua fluye por la superficie del terreno hacia los cauces será modificado por la intervención antrópica. Las pendientes naturales se verán alteradas por las excavaciones y banqueo, por lo que, al realizar excavaciones con sus respectivos drenajes, disminuirá la velocidad del transporte de agua, evitando su acumulación y reduciendo la fuerza erosiva de dicho agente. Debido a esa erosión antrópica del terreno, y la disminución de la aceleración de la velocidad de escurrimiento del agua, el potencial de arrastres de sólidos y sedimentos será menor a causa de la erosión hídrica.

Se debe realizar un adecuado manejo de los explosivos para las operaciones de

arranque de caliza y la disposición del material extraído de la mina, con la finalidad de no originar inestabilidad del terreno que puedan dar paso a caídas de rocas, acarcavamientos, procesos de subsidencia y deslizamientos no controlados, que pudiesen generar una sobrecarga de material en los cursos de drenaje preestablecidos en el diseño de mina. Al igual que las zonas de almacenamiento o apilamiento de material, que se deben ubicar cerca del área de extracción.

A medida del avance, se debe aprovechar el sentido descendente de la explotación para la recirculación de las aguas, que permitirán que éstas vayan a los niveles inferiores.

En este sentido, las modificaciones de las características morfológicas y morfométricas, previamente planificadas a fin de controlar principalmente de la variable de estabilidad del terreno, favorecerán a la disminución de la velocidad de escurrimiento del agua, por lo que el proceso de erosión hídrica será controlado.

5.3. INTERPRETACIONES LITOLÓGICAS

Las rocas carbonatadas, específicamente la caliza, es una roca sedimentaria que permite el paso del agua, es decir, es una roca permeable. Cuando el agua penetra en ella, se lleva a cabo el proceso de disolución, mediante el cual se disuelve el carbonato de calcio. El karst es el resultado de esta acción del agua sobre las rocas solubles de este tipo, siendo un proceso de disolución que tarda miles e incluso millones de años en desarrollarse. En el área de estudio no se encontraron evidencias exokársticas de este fenómeno, por lo que para efectos del presente trabajo no representa un factor condicionante en la generación de sedimentos depositados del agua que fluye dentro y a través de pasajes y conductos de cuevas. Sin embargo, por las características geológicas del área, no se descarta la presencia de elementos endokársticos al iniciar el proceso de explotación.

Otro factor que condiciona de una manera más clara la profundidad que alcanza el agua de lluvia, es la porosidad. De acuerdo a su origen, sea primaria o por procesos posteriores a su formación, como disolución y fracturación; que pueden hacer aumentar dicho coeficiente, ésta depende principalmente de la superficie de los poros más que del volumen de los mismos. Las rocas tipo caliza y dolomita estudiadas presentaron porosidad menor o igual al

1%, por lo que tampoco representa un factor dominante ya que no favorecen la entrada directa de agua.

Salvo pocas excepciones, estas rocas son muy estables frente a las variaciones de temperatura lentas. Sus coeficientes de dilatación son muy pequeños, semejantes, y la conductividad calorífica grande. Por lo que el cambio gradual del factor climático en las diferentes épocas del año tampoco originaría una posible delezabilidad en éstas.

De acuerdo los resultados de durabilidad obtenidos, donde las muestras analizadas presentan menos del 1% de delezabilidad, la acción del agua sobre este tipo de material no produce un índice preponderante de generación de partículas sedimentarias.

Por lo antes mencionado, es posible inferir que, en el caso de las calizas, que representan el mayor y más importante volumen litológico del área de estudio, así como las dolomitas, la tasa de desprendimiento de partículas motivado a la acción de la lluvia (erosión hídrica) resulta ser muy baja a nula, debido a la alta cohesividad del material, característica de rocas carbonáticas.

En el mismo orden de ideas, el yacimiento mineral en cuestión, tomando en cuenta la Formación estudiada, contiene intercalaciones lutíticas que representan el segundo tipo litológico predominante, que, aunque el mismo no fue observado aflorante en el estudio de campo, la extracción planificada del material carbonático originará también un desprendimiento de este material. A su vez, el impacto de las gotas de lluvia en los frentes expuestos producirá partículas que posteriormente son propensas a entrar en suspensión.

En este punto es importante mencionar, de acuerdo a la planificación minera, que el material lutítico mencionado también será utilizado en el proceso de fabricación del cemento mezclado con la caliza de alta pureza, por lo que formará parte del material cargado y acarreado hacia los patios de acopio, lo que significa que su tiempo de permanencia en el área de explotación es mínimo. No obstante, debe ser manejado con mayor cuidado, posicionándolo en zonas adecuadas de pendiente y altitud, para que en su tiempo de acopio no genere grandes cantidades de sedimentos arrastrados por acción del agua.

En este sentido, el proceso físico de erosión hídrica incluirá el desprendimiento y transporte de partículas insolubles representadas por piedra caliza, lutitas y materia residual de suelo transportado, por lo tanto, se puede concluir que la litología clástica es la que influirá

mayormente en la generación de sedimentos, por su aspecto poco consolidado, y alta deleznableidad, sin embargo, las tasas de erosión del mismo serán mínimas.

5.4. INTERPRETACIONES HIDROGRÁFICAS

El área de influencia del segmento del yacimiento en estudio, y próxima a explotación de caliza, es atravesada por afluentes de la quebrada Agua Blanca. En general, la escorrentía se genera de noreste hacia el suroeste y finalmente estos cursos de agua son recogidos por una pequeña quebrada, afluente de la quebrada El Consumo, en el extremo meridional, la cual drena hacia el sur, a la cuenca del río Punceres, uno de los afluentes principales de la subcuenca del río Guarapiche.

En tiempos próximos, al iniciar los trabajos de minería incipiente en el área de estudio, el desagüe de la cantera puede ser proporcionado por las pendientes naturales de la topografía, drenando por gravedad. El particulado fino generado producto de las actividades extractivas, estaría representado principalmente por sedimentos de caliza y lutitas que se encuentran alternantes.

Como se mencionó anteriormente, en el diseño de minado se debe planificar el avance hacia el yacimiento por el extremo este del área de estudio, dándole de este modo continuidad a los frentes desarrollados dentro de la zona de Autorizada para Ocupación del Territorio de la cantera INDACA, donde actualmente se llevan a cabo las actividades de extracción. Acá se hace necesario inicialmente, atravesar el segmento del afluente de la quebrada Agua Blanca denominado anteriormente quebrada “E”, paulatinamente será necesario cruzar la quebrada “O”.

La geometría del cauce (su amplitud, profundidad y rugosidad) representa el factor fundamental para definir la velocidad del agua. Teniendo en cuenta que los cauces de agua antes mencionados, que atraviesan el área, son de flujo intermitente, bajo caudal de agua y baja densidad de drenaje, la desviación planificada de dichas quebradas para el desarrollo de la actividad minera no representaría un mayor impacto ambiental por alteraciones en el volumen hídrico, velocidades de corriente, alteración de la dinámica propia del cuerpo de agua principal o aumento de sedimentos en el afluente que lo recibe ya que los efectos serán

localmente. Este proceso se desarrollaría de forma paulatina con el progreso de la mina, siendo ideal por lo general durante época de verano, con el fin de facilitar los procesos constructivos y de minimizar los impactos sobre la fuente hídrica.

La desviación de dichos afluentes producto de la actividad minera, tampoco afectaría la disponibilidad de las aguas superficiales y subterráneas en perjuicio de las comunidades aledañas, pues no la priva de la posibilidad de tener agua apta para consumo y para las actividades que garanticen su subsistencia, como es el caso de la agricultura y la ganadería, actividades predominantes en las zonas, ya que el volumen de sedimentos al ser controlado no produciría afectación de la oxigenación o calidad fisicoquímica del agua localizada ni la del agente receptor de dicho escurrimiento.

Cabe destacar que debe considerarse el factor climático. Durante el verano, debe hacerse un correcto posicionamiento de las pilas de material de mezcla (caliza y lutita), manejo de las zonas de erosión, acopio de material localizados en la parte alta de los taludes que puedan favorecer los procesos de remoción en masa y el continuo riego de la vialidad para disminuir considerablemente la emisión de partículas. En el tiempo de invierno, cuando los caudales fluviales aumentan, debido a la inexistencia actual de manejo de aguas de escorrentía y sedimentos, es importante realizar continua inspección y mejoramiento de los canales de desviación realizados en la excavación y banqueta para evitar la colmatación de los mismos.

En un futuro, el buen manejo de las aguas de libre escorrentía, dependerá básica y principalmente del diseño de los parámetros finales de la excavación, por este motivo, se deben adoptar pendientes adecuadas en los bancos principales de explotación, con la finalidad de direccionar las aguas de lluvia, así como liberación de presión hidrostática del sector de excavación, hasta la parte más baja de la mina. Así mismo, se podría evaluar a largo plazo la construcción de lagunas artificiales de sedimentación que recojan las aguas superficiales provenientes de la cantera.

En la Figura 5.49, presentada a continuación, se muestra el área total del yacimiento de Cemento Cerro Azul para el desarrollo de las actividades mineras, haciendo énfasis en la superficie estudiada en el presente trabajo, la cual representa aproximadamente un 8% del yacimiento.

La red hidrográfica del estado Monagas, presenta dos sistemas de drenaje: Sub-Región Paria, que comprende la cuenca del río San Juan, cuyos cursos de agua drenan hacia el Golfo de Paria, y Sub-Región Cuenca Occidental del Delta del Orinoco, que cubre los ríos que nacen en la Formación Mesa, estado Anzoátegui y drenan hacia el Caño Mánamo.

El área de estudio pertenece a la subcuenca del río Guarapiche, afluente directo del río San Juan (Caño Francés). La subcuenca del río Guarapiche, nace en las Lomas de José Barreto, ubicadas en la vertiente Sur de la Serranía de Turimiquire, aproximadamente a 800 m.s.n.m, y cuenta con una superficie de 3.754 kilómetros cuadrados.

El río Guarapiche es de régimen permanente, tiene un patrón de drenaje dendrítico y sus afluentes principales son los ríos Aragua, Punceres, De Oro, Guatatal, Taguaya, Guayuta y Orocuá. Las quebradas presentes en el área son de régimen intermitente, que discurren al río Punceres, afluente del río Guarapiche.

En este sentido, la zona de estudio se ubica en cuenca alta, de zona montañosa.

LAVERDE, 2024. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.

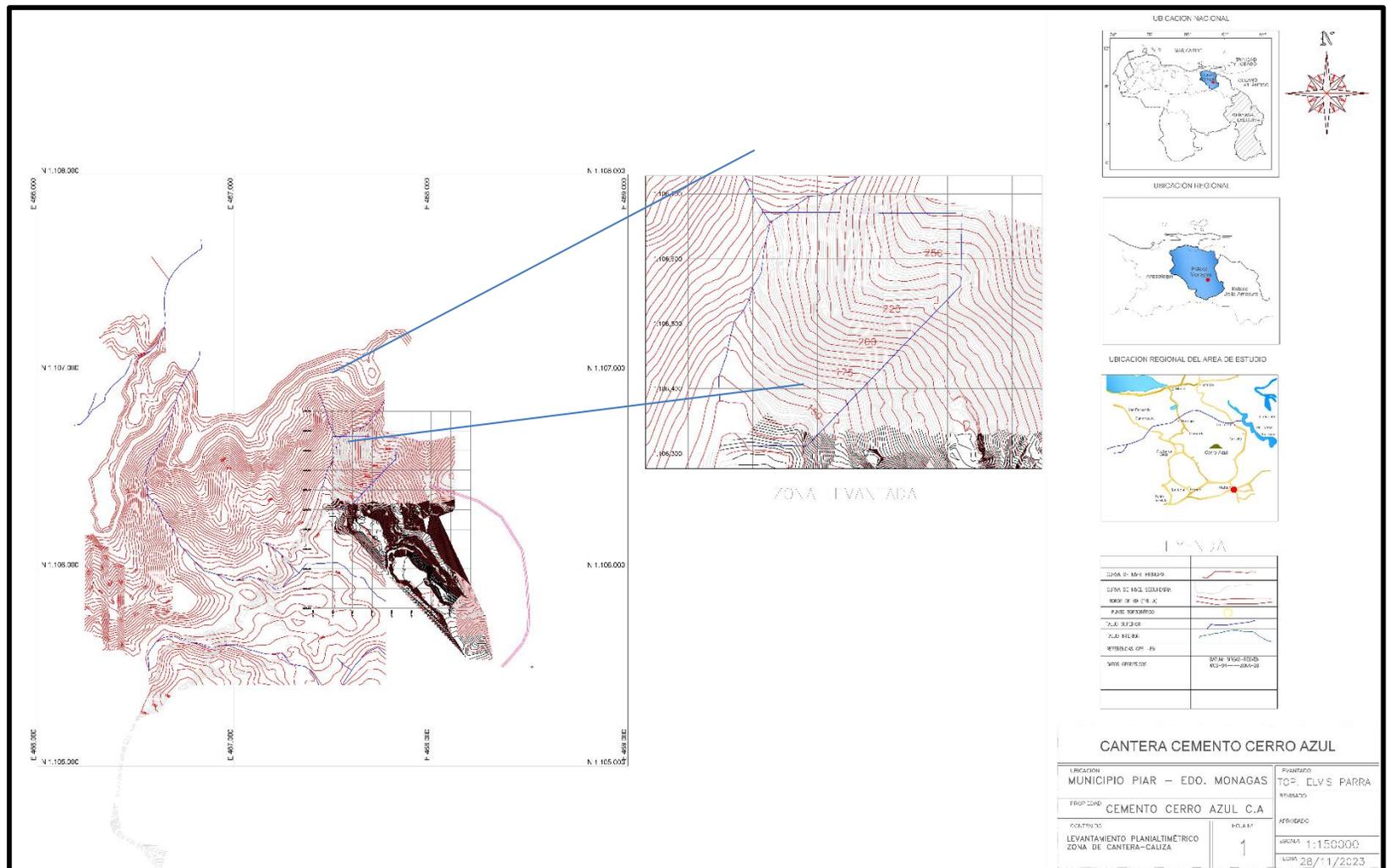


Figura 5.49. Mapa relativo del área autorizada para minería de Cemento Cerro Azul y ventana geográfica del área de estudiada.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. CONCLUSIONES

- La unidad carbonática establecida informalmente, presente en el área de estudio, correlacionada con las unidades formales, de acuerdo a las características litológicas y químicas analizadas, se correlaciona a la Formación El Cantil, asociada a un ambiente marino, euxínico, y constituida principalmente por calizas macizas, con intervalos de lutitas, e intervalos menores de dolomitas, que implican un modelo de dolomitización de soterramiento.
- Se identificó la presencia de tres (03) facies de carbonatos dentro de la secuencia: 1) *Wackestones* 2) *Mudstones* y 3) Carbonatos Cristalinos de Dolomitas.
- Se determina a través de pruebas ensayos de laboratorio que el porcentaje de pérdida de masa por acción del agua de la litología predominante en el área de yacimiento estudiada, es menor al 1%.
- El factor que genera mayor potencialidad de generación de sedimentos está representado por la morfología y morfometría del terreno. La modificación del mismo por acción de la actividad antrópica disminuye considerablemente la fuerza erosiva del agua.
- Se concluye que la afectación de los cursos naturales por la acción de la actividad minera, con buenas prácticas, sólo podría ser de manera local, sin poner en riesgo la dinámica propia y la sedimentación natural de los cuerpos de agua principales.
- Se corrobora que las rocas existentes en el área de estudio cumplen con los estándares de calidad requeridos dentro del proceso de fabricación del cemento Portland Tipo I, con un interés potencialmente económico, obteniendo un promedio de Módulo de Cal de 859,34, Módulo de Sílice de 1,06 y Módulo de Alúmina de 1,10.

6.2. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de prospección geofísica del yacimiento, mediante la ejecución de métodos sísmicos, que permitan delimitar la estructura interna y contactos litológicos, en profundidad, para planificar el pit limit del yacimiento mineral, según la estructura de costos y la relación costo/beneficio de la extracción mineral.
- Realizar una campaña de exploración geológica en detalle, que incluya perforación y recuperación de núcleos, a fin de obtener una mayor y mejor caracterización química, geológica y geotécnica de toda el área de concesión del yacimiento de Cemento Cerro Azul, C.A.
- Realizar un estudio hidrológico que permita conocer a detalle la influencia del régimen hidráulico dentro del yacimiento de Cemento Cerro Azul.
- Realizar una planificación de diseño minero y desarrollo de mina, con buenas prácticas, para las operaciones progresivas de la extracción de caliza para la empresa Cemento Cerro Azul, incluyendo el Plan de Cierre de Mina, a ser ejecutado desde el inicio de la explotación de la roca primaria. Las buenas prácticas de extracción minera deben garantizar la estabilidad de taludes y la recuperación de los impactos ambientales, mediante operaciones de trabajo seguro, insertando al medio físico natural y al sociocultural en los criterios de gestión minero ambiental.
- Integrar la información de las distintas áreas y factores para la creación de canalizaciones, depósitos y recolección de aguas de escorrentía en el desarrollo de la cantera.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUILAR, T., & PÉREZ, S. (1993). *Análisis de velocidades interválicas en la Cuenca Oriental de Venezuela.* Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

ASTM D4644-16. (s.f.). *Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Other Similar Weak Rocks.* ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016, www.astm.org.

BARTOK, P. (1993). *Pre-breakup geology of the Gulf of Mexico-Caribbean: It's relation to Triassic and Jurassic rift systems of the region.* *Tectonics*, Vol. 12, No. 2.

CANET, C., & CAMPUBRÍ, A. (2013). *Yacimientos minerales: Los tesoros de la tierra.* Primera edición. México.

CARRERO, R., & RIVERO, R. (2013). *Caracterización geológica y cálculo de volumen de calizas en una zona ubicada al norte de San Sebastián de los Reyes, Edo. Aragua.* Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

CASTILLO, A. (2017). *Control de sedimentos en minería a cielo abierto.* Trabajo de Ascenso, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

CHEVALIER, Y. (1993). *A cross section from the oil-rich Maturin Sub-basin to Margarita Island. The Geodynamic relations between South American and Caribbean Plates. Tectonics and Stratigraphy.* Field Trip. APPG-SVG. Comisión venezolana de estratigrafía y terminología. (1997). *Léxico Estratigráfico de Venezuela.*

COLOMER, J., & SANCHEZ, J. (2001). *Agricultura y procesos de degradación del suelo.* En Martín de Santa Olalla Mañas (Ed.) *Agricultura y Desertificación.* Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.

CORTES, H., MARTÍNEZ, P., & VALENCIA, H. (2006). *Fundamentos de Cristalografía.* Armenia, Colombia.

COVA, J. (2018). *Propuesta de un sistema de control integral de sólidos en suspensión hídrica, mina a cielo abierto C.V.M., S.A. División Níquel, Tiara-Estado Aragua.* Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

DI CROCE, J. (1995). *Eastern Venezuela Basin: Sequence Stratigraphy and Structural Evolution.* PhD. Thesis, Rice University, Houston, Texas, U.S.A.

DUNHAM, R.J. (1962). *Classification of carbonate rocks according to depositional texture.* En Classification of Carbonate Rocks. AAPG. Memoir 1.

EVA, A., BURKE, K.; MANN, P., & WADGE, G. (1989). *Four-phase Tectonostratigraphic of the Southern Caribbean.* Marine and Petroleum Geology, Vol. 6: 9-21.

FOLK, R.L. (1962). *Spectral subdivision of limestone types.* En Classification of Carbonate Rocks (Ed. por W.E.Ham), AAPG. Memoir 1.

GANDULLO, J., SÁNCHEZ, O., BLANCO, A., & SÁNCHEZ, F. (2012). *Guía Interactiva de Minerales y Rocas.* Manual de Mineralogía y Petrología. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Montes. Madrid, España.

GARCIA – CHEVESICH, P. (2008). *Procesos y Control de la Erosión.* Outskirts Press Inc. Arizona, U.S.A. 292 p.

GONZÁLEZ DE JUANA, C., ITURRALDE, J., & PICARD, X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas.* Vol. 2. Caracas: Ediciones Foninves.

GOODMAN, R. E. (1980). *Introduction to rock mechanics.* Reino Unido: Wiley.

HARRISON, D. J., INGLETHORPE, S. D. J., MITCHELL, C. J., & KEMP, S. J. (1998). *Procedures for the rapid assessment of limestone resources.* British Geological Survey. Technical Report WC/98/1.

HEDBERG, E. D. (1950). *Geology of the eastern Venezuela basin (Anzoátegui-Monagas-Sucre-eastern Guárico portion)*. Geological Society of America Bulletin. Vol. 61.

HEDBERG, H., & PYRE, A. (1944). *Stratigraphy of northeastern. Anzoátegui, Venezuela*. Geol. Soc. Am., Bull: 28.

HURTADO, J. (2000). “*Metodología de la investigación*”. Material impartido en Instituto Universitario de Tecnología Caripito, Monagas, Venezuela, 624 p.

JASPE, S. (2002). *Evaluación de la minería del carbón en los Estados Zulia y Falcón para la creación de distritos mineros sustentables*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

LA BARBERA, S. (2005). *Control de sedimentos en pequeña minería aurífera en Hoja de Lata, municipio Sifontes, estado Bolívar*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

LÉXICO ESTRATIGRÁFICO DE VENEZUELA. (1997). Tercera Edición: República de Venezuela, Ministerio de Energía y Minas, Vol. 1 y 2, 828 p.

LIDDLE, R. (1928). *The Geology of Venezuela and Trinidad*. Fort Worth, Texas: MacGowan, 552p.

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

MÉNDEZ, O. (2003). “*Geología del Petróleo*”. Material de la asignatura de Geología del Petróleo. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela.

MINTEGUI, J., & LÓPEZ, F. (1990). *La ordenación agrohidrológica en la planificación*. Bilbao, España. Servicio Central de Publicaciones del Gobierno Vasco. 309 p.

MOSSA, J., & JAMES, L.A. (2013). *Changing fluvial systems*. Physical

Geography, 34:4-5, 267-272.

MURANY, E. (1972). *Tectonic basins for Anaco Fault, Eastern Venezuela.* The American Association of Petroleum Geologists Bulletin.

PARNAUD, F., GOU, Y., PASCUAL, J. C., TRUSKOWSKI, I., GALLANGO, O., PASSALACQUA, H., & ROURE, F. (1995). *Petroleum Geology of the Central Part of the Eastern Venezuelan Basin.* En: Tankard, A.J., Suarez S., R., and Welsink, H.J., eds., *Petroleum basins of South America: American Association of Petroleum Geologists Memoir 62.* Tulsa, Oklahoma, U.S.A.

PETTIJOHN, F.J. (1975). *Sedimentary Rocks.* Harper and Row Publishers. New York, U.S.A.

QUIJADA, G. (2021). *Análisis espacial de susceptibilidad a la erosión hídrica para la determinación de los factores condicionantes en la producción de sedimentos, mina a cielo abierto C.V.M. S.A. División - Níquel, Tiara – Estado Aragua.* Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

REGAN, J.H. (1938). *Notas geológicas sobre el campo petrolífero de Quiquire, Distrito Piar, Estado Monagas.* Boletín Geología y Minas (Venezuela), Vol. 2.

ROD, E. (1959). *West end of Serranía del Interior.* AAPG Bull. 43 (4):772-789.

RODRÍGUEZ, M. (2003). *Proyecto de Evaluación Geológica y Geotécnica de la zona Morón-Mirimire, estado Falcón.* Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

ROSSI, T. (1985). *Contribution á l'étude géologique de la frontière sud-est de la plaque Caraïbes, la Serranía del Interior Oriental (Venezuela) sur le transect Cariaco-Maturín.* Bretagne Occidentale, 340 p.

SALVADOR, A., & STAINFORTH, R. M. (1968). *Clues in Venezuela to the geology of Trinidad and vice versa.* 10 pp.

STAINFORTH, R. (1971). *La Formación Carapita de Venezuela Oriental.* Congreso Geológico Venezolano. IV Caracas. Nov. 1969. Memoria Bol. Geolog. Caracas. Pub. Esp. S.I: p 433-463.

TOMÁS, R., CANO, M., GARCÍA-BARBA, J., SANTAMARTA, J., HERNÁNDEZ, L., RODRÍGUEZ, J., & ZAMORA, R. (2013). *Prácticas de Ingeniería del Terreno. Universidades de Alicante y de La Laguna.* Obtenido de <http://web.ua.es/es/ginter/> o <http://ocw.ull.es/>

VILLEGAS, G. (2010). *Caracterización geológica de la cantera San Bernardo ubicada en Municipio Tomás Lander de los Valles del Tuy, estado Miranda.* Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

VON DER OSTEN, E. (1957). *A fauna from the lower cretaceous barranquín formation of venezuela.* Jour. Paleont.

WAGNER, R. (2004). *Estudio estructural regional y análisis de deformaciones recientes en el frente de montaña de la serranía del interior oriental y en la parte norte de la subcuenca de Maturín.* Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

YORIS, F. (1978). *Estudio geológico a escala regional de una zona ubicada al oeste de Caripito, Estado Monagas.* Trabajo Especial de Grado, Universidad Central de Venezuela, Caracas.

YORIS, F., & OSTOS, M. (1997). *Geología de Venezuela: Geología General y Cuencas Petrolíferas.* En: Singer, J., ed., WEC 1997. Evaluación de pozos: Schlumberger-Sureco C.A. 1ra ed., Jolley Printing, Texas.

ANEXOS

Tabla AI. Resultados de análisis químicos de las muestras recolectadas.

LAVERDE, 2024. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS”

Ubicación			Composición Química (%)							Módulos		
Muestra	Este	Norte	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	CaO	MgO	SO ₃	CO ₃	SC	Si	Al
M1	467513	1106378	0,84	0,42	0,50	54,97	0,63	0,17	96,08	1732,65	0,91	0,84
M2	467528	1106430	1,92	0,97	0,52	53,29	0,78	0,27	93,31	776,98	1,21	1,87
M3	467501	1106441	1,93	0,66	0,78	53,29	1,05	0,28	93,31	796,59	1,34	0,85
M4	467510	1106480	2,27	0,81	2,52	46,32	13,98	0,25	81,79	517,55	0,68	0,32
M5	467507	1106527	4,54	1,96	1,28	50,15	0,90	0,22	88,12	316,27	1,40	1,53
M6	467544	1106579	1,06	0,60	0,70	53,84	0,92	0,52	94,22	1303,32	0,82	0,86
M7	467538	1106605	0,76	0,38	0,60	54,73	0,84	0,25	95,69	1845,00	0,78	0,63
M8	467743	1106628	3,85	1,69	2,05	50,21	1,37	0,16	88,22	355,93	1,03	0,82
M9	467569	1106383	2,64	1,13	0,77	52,37	0,90	0,22	91,79	567,64	1,39	1,47
M10	467570	1106451	1,98	0,92	0,49	53,26	0,79	0,27	93,26	766,54	1,40	1,88
M11	467604	1106512	1,46	0,77	0,62	53,73	0,81	0,32	94,03	995,07	1,05	1,24
M12	467607	1106545	4,29	1,94	1,94	48,35	3,10	0,20	85,14	310,69	1,11	1,00
M13	467613	1106573	3,10	1,39	0,95	51,64	0,87	0,33	90,58	472,13	1,32	1,46
M14	467624	1106639	1,07	0,65	0,90	53,58	0,95	0,79	93,79	1232,29	0,69	0,72
M15	467762	1106547	2,12	0,99	0,76	53,24	0,75	0,25	93,22	700,69	1,21	1,30
M16	467733	1106552	1,66	0,62	0,68	53,79	0,85	0,30	94,13	923,97	1,28	0,91
M17	467750	1106559	1,55	0,61	0,77	54,01	0,72	0,23	94,50	971,35	1,12	0,79
M18	467735	1106621	1,90	0,79	2,67	48,16	9,15	0,15	84,83	602,93	0,55	0,30
M19	467726	1106603	5,27	2,17	1,76	49,25	1,01	0,18	86,63	266,78	1,34	1,23
M20	467722	1106540	1,64	0,72	0,77	53,87	0,74	0,23	94,27	906,58	1,10	0,94
M21	467666	1106546	1,57	0,68	0,66	54,02	0,72	0,24	94,51	959,95	1,17	1,03
M22	467657	1106585	2,55	1,07	2,32	52,22	0,64	0,14	91,54	526,91	0,75	0,46
M23	467480	1106530	2,50	1,17	0,80	52,19	1,06	0,66	91,49	586,36	1,27	1,46
M24	467696	1106440	1,18	0,57	0,32	54,45	0,75	0,21	95,22	1301,20	1,33	1,78
M25	467678	1106604	2,62	1,17	0,98	52,50	0,79	0,20	92,00	561,28	1,22	1,19

LAVERDE, 2024. CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS”

M26	467583	1106577	1,68	0,82	1,23	51,97	2,09	0,69	91,13	803,11	0,82	0,67
M27	467630	1106466	0,84	0,62	0,42	54,82	0,80	0,23	95,84	1633,20	0,81	1,48
M28	467621	1106479	1,99	1,03	0,47	53,29	0,82	0,28	93,31	751,31	1,33	2,19
M29	467638	1106551	3,95	1,75	2,12	49,71	1,90	0,16	87,39	342,76	1,02	0,83
M30	467611	1106625	1,15	0,59	0,93	53,66	1,30	0,25	93,92	1186,98	0,76	0,63
M31	467743	1106626	3,54	1,62	2,10	50,69	1,01	0,13	89,01	384,35	0,95	0,77
M32	467709	1106529	1,36	0,77	1,59	53,51	0,72	0,19	93,67	930,59	0,58	0,48
M33	467697	1106513	1,80	0,89	0,54	53,48	0,83	0,27	93,62	830,28	1,26	1,65
M34	467693	1106486	1,19	0,72	0,45	54,23	0,77	0,22	94,86	1212,09	1,02	1,60
M35	467688	1106439	1,27	0,48	0,30	54,72	0,69	0,17	95,67	1267,43	1,63	1,60
M36	467573	1106411	1,96	0,79	3,35	41,12	44,35	0,03	73,19	478,27	0,47	0,24
M37	467573	1106424	0,87	0,51	0,34	54,70	1,37	0,22	95,64	1678,53	1,02	1,50
Promedio porcentual			2,10	0,96	1,11	52,25	2,75	0,27	91,59	859,34	1,06	1,10

Tabla A2. Descripción del *Slake Durability Test* de las muestras analizadas.

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO SLAKE-DURABILITY INDEX			 RIF: G-20000062-7
	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 2
	Paola Laverde	Miguel Castillejo	25-11-2019	Muestra: M23

Normas	ISRM	–
	ASTM	D4644-04 - Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks

DATOS GENERALES			
Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.		
Espécimen:	Pica 1 – M23		
Origen del espécimen:	Cemento Cerro Azul, C.A.		
Localidad	Yacimiento		
Coordenadas	N: 10°00'35.9"	O: 63°17'48.2"	
Cota	192		m
	Humedad		%
Peso 1	555.10	g	
Peso 2	551.80	g	Id12 0.59%
Peso 3	550.70	g	Id23 0.20%

REGISTRO

FOTO ETAPA INICIAL – Peso 1

FOTO ETAPA INTERMEDIA – Peso 2

FOTO ETAPA FINAL – Peso 2

$$\text{Índice de Slake-Durability } I_{d2} = \left[\frac{W_p}{B} \right] \times 100$$

Dónde: W_p = Diferencia de Masa del espécimen antes del Primer Ciclo
- Masa del espécimen después del segundo ciclo seco
 B = Masa del espécimen antes del Primer Ciclo

Clasificación “Slake Durability Test” (I_D) – (Goodman, 1980)		
Grupo	% Retenido después del primer ciclo (Peso Seco)	% Retenido después del Segundo ciclo (Peso Seco)
Muy Alta	> 99	>99
Alta	98 – 99	96 – 98
Moderada	95 – 98	86 - 95
Media	85 - 95	61 - 85
Baja	60 - 85	31 - 60
Muy Baja	< 60	< 30

Observación:	Clasificación Muy Baja
---------------------	-------------------------------

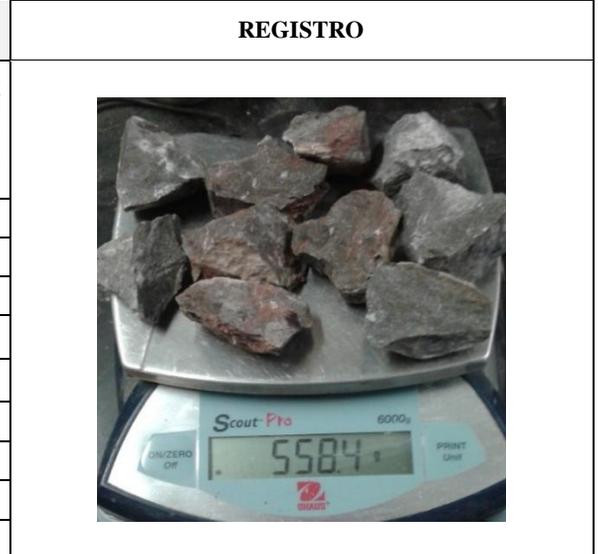
  RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO SLAKE-DURABILITY INDEX			  RIF: G-20000062-7
	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 2 de 2
	Paola Laverde	Miguel Castillejo	25-11-2019	Muestra: M23

RESUMEN MUESTRA M23											
<table border="1" style="margin: auto;"> <thead> <tr> <th>Ciclo</th> <th>Promedio</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Id12</td> <td>0.59%</td> </tr> <tr> <td>Id23</td> <td>0.20%</td> </tr> <tr> <td>Id13</td> <td>0.79%</td> </tr> <tr> <td colspan="2">Clasificación según Goodman – Muy Baja</td> </tr> </tbody> </table>		Ciclo	Promedio	Id12	0.59%	Id23	0.20%	Id13	0.79%	Clasificación según Goodman – Muy Baja	
Ciclo	Promedio										
Id12	0.59%										
Id23	0.20%										
Id13	0.79%										
Clasificación según Goodman – Muy Baja											

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO SLAKE-DURABILITY INDEX			 RIF: G-20000062-7
	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 2
	Paola Laverde	Miguel Castillejo	25-11-2019	Muestra: M26

Normas	ISRM	–
	ASTM	D4644-04 - Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks

DATOS GENERALES			
Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.		
Espécimen:	Pica 4 – M26		
Origen del espécimen:	Cemento Cerro Azul, C.A.		
Localidad	Yacimiento		
Coordenadas	N: 10°00'32"	O: 63°17'45.2"	
Cota	218		m
	Humedad		%
Peso 1	558.40	g	
Peso 2	554.50	g	Id12 0.70%
Peso 3	552.70	g	Id23 0.32%



$$\text{Índice de Slake-Durability } I_{d2} = \left[\frac{W_p}{B} \right] \times 100$$

Dónde: W_p = Diferencia de Masa del espécimen antes del Primer Ciclo - Masa del espécimen después del segundo ciclo seco
 B = Masa del espécimen antes del Primer Ciclo

Clasificación "Slake Durability Test" (I _D) – (Goodman, 1980)		
Grupo	% Retenido después del primer ciclo (Peso Seco)	% Retenido después del Segundo ciclo (Peso Seco)
Muy Alta	> 99	>99
Alta	98 – 99	96 – 98
Moderada	95 – 98	86 - 95
Media	85 - 95	61 - 85
Baja	60 - 85	31 - 60
Muy Baja	< 60	< 30

Observación:	Clasificación Muy Baja
---------------------	------------------------

  RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO SLAKE-DURABILITY INDEX			  RIF: G-20000062-7
	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 2 de 2
	Paola Laverde	Miguel Castillejo	25-11-2019	Muestra: M26

RESUMEN MUESTRA M26

Ciclo	Promedio
Id12	0.70%
Id23	0.32%
Id13	1.02%
Clasificación según Goodman – Muy Baja	

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO SLAKE-DURABILITY INDEX			 RIF: G-20000062-7
	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 2
	Paola Laverde	Miguel Castillejo	25-11-2019	Muestra: M31

Normas	ISRM	–
	ASTM	D4644-04 - Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks

DATOS GENERALES			
Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.		
Espécimen:	Pica 5 – M31		
Origen del espécimen:	Cemento Cerro Azul, C.A.		
Localidad	Yacimiento		
Coordenadas	N: 10°00'39.0"	O: 63°17'39.6"	
Cota	272	m	
	Humedad		%
Peso 1	441.30	g	
Peso 2	438.30	g	Id12 0.68%
Peso 3	436.90	g	Id23 0.32%



$$\text{Índice de Slake-Durability } I_{d2} = \left[\frac{W_p}{B} \right] \times 100$$

Dónde: W_p = Diferencia de Masa del espécimen antes del Primer Ciclo - Masa del espécimen después del segundo ciclo seco
 B = Masa del espécimen antes del Primer Ciclo

Clasificación "Slake Durability Test" (I_D) – (Goodman, 1980)		
Grupo	% Retenido después del primer ciclo (Peso Seco)	% Retenido después del Segundo ciclo (Peso Seco)
Muy Alta	> 99	>99
Alta	98 – 99	96 – 98
Moderada	95 – 98	86 - 95
Media	85 - 95	61 - 85
Baja	60 - 85	31 - 60
Muy Baja	< 60	< 30

FOTO ETAPA INICIAL – Peso 1



FOTO ETAPA INTERMEDIA – Peso 2



FOTO ETAPA FINAL – Peso 2

Observación:	Clasificación Muy Baja
---------------------	------------------------

  RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO SLAKE-DURABILITY INDEX			  RIF: G-20000062-7
	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 2 de 2
	Paola Laverde	Miguel Castillejo	25-11-2019	Muestra: M31

RESUMEN MUESTRA M31

Ciclo	Promedio
Id12	0.68%
Id23	0.32%
Id13	1.00%
Clasificación según Goodman – Muy Baja	

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO SLAKE-DURABILITY INDEX			 RIF: G-20000062-7
	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 2
	Paola Laverde	Miguel Castillejo	25-11-2019	Muestra: M35

Normas	ISRM	–
	ASTM	D4644-04 - Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks

DATOS GENERALES				REGISTRO			
Proyecto:		CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.					
Espécimen:		Pica 3 – M35					
Origen del espécimen:		Cemento Cerro Azul, C.A.					
Localidad		Yacimiento					
Coordenadas		N: 10°00'33"		O: 63°17'41.4"			
Cota		214		m			
		Humedad				%	
Peso 1	523.50	g					
Peso 2	518.40	g	Id12			0.97%	
Peso 3	516.70	g	Id23			0.33%	



$$\text{Índice de Slake-Durability } I_{d2} = \left[\frac{W_p}{B} \right] \times 100$$

Dónde: W_p = Diferencia de Masa del espécimen antes del Primer Ciclo - Masa del espécimen después del segundo ciclo seco
 B = Masa del espécimen antes del Primer Ciclo

Clasificación "Slake Durability Test" (Id) – (Goodman, 1980)		
Grupo	% Retenido después del primer ciclo (Peso Seco)	% Retenido después del Segundo ciclo (Peso Seco)
Muy Alta	> 99	>99
Alta	98 – 99	96 – 98
Moderada	95 – 98	86 - 95
Media	85 - 95	61 - 85
Baja	60 - 85	31 - 60
Muy Baja	< 60	< 30

FOTO ETAPA INICIAL – Peso 1



FOTO ETAPA INTERMEDIA – Peso 2



FOTO ETAPA FINAL – Peso 2

Observación:	Clasificación Muy Baja
---------------------	------------------------

  RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO SLAKE-DURABILITY INDEX			  RIF: G-20000062-7
	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 2 de 2
	Paola Laverde	Miguel Castillejo	25-11-2019	Muestra: M35

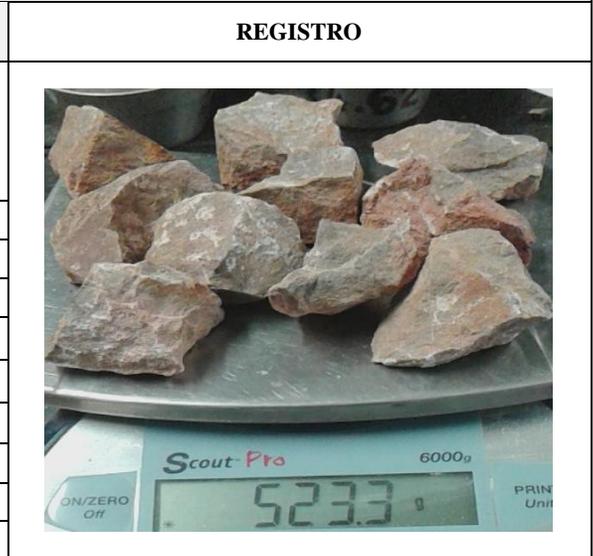
RESUMEN MUESTRA M35

Ciclo	Promedio
Id12	0.97%
Id23	0.33%
Id13	1.30%
Clasificación según Goodman – Muy Baja	

 RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO SLAKE-DURABILITY INDEX			 RIF: G-20000062-7
	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 1 de 2
	Paola Laverde	Miguel Castillejo	25-11-2019	Muestra: M36

Normas	ISRM	–
	ASTM	D4644-04 - Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks

DATOS GENERALES			
Proyecto:	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.		
Espécimen:	Pica 2 – M36		
Origen del espécimen:	Cemento Cerro Azul, C.A.		
Localidad	Yacimiento		
Coordenadas	N: 10°00'37.4"	O: 63°17'44.9"	
Cota	183	m	
	Humedad		%
Peso 1	523.30	g	
Peso 2	521.60	g	Id12 0.32%
Peso 3	518.70	g	Id23 0.56%



$$\text{Índice de Slake-Durability } I_{d2} = \left[\frac{W_p}{B} \right] \times 100$$

Dónde: W_p = Diferencia de Masa del espécimen antes del Primer Ciclo - Masa del espécimen después del segundo ciclo seco
 B = Masa del espécimen antes del Primer Ciclo

Clasificación "Slake Durability Test" (I_D) – (Goodman, 1980)		
Grupo	% Retenido después del primer ciclo (Peso Seco)	% Retenido después del Segundo ciclo (Peso Seco)
Muy Alta	> 99	>99
Alta	98 – 99	96 – 98
Moderada	95 – 98	86 - 95
Media	85 - 95	61 - 85
Baja	60 - 85	31 - 60
Muy Baja	< 60	< 30



Observación:	Clasificación Muy Baja
---------------------	-------------------------------

  RIF: G-20000062-7	LABORATORIO DE MECÁNICA DE ROCAS ENSAYO SLAKE-DURABILITY INDEX			  RIF: G-20000062-7
	CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA PARA CONTROL DE SEDIMENTOS EN SUSPENSIÓN HÍDRICA DEL YACIMIENTO CEMENTO CERRO AZUL, ESTADO MONAGAS.			
Código Proyecto:	Cálculo:	Revisión:	Fecha:	Página 2 de 2
	Paola Laverde	Miguel Castillejo	25-11-2019	Muestra: M36

RESUMEN MUESTRA M36	
Ciclo	Promedio
Id12	0.32%
Id23	0.56%
Id13	0.88%
Clasificación según Goodman – Muy Baja	