

TRABAJO ESPECIAL DE MAESTRÍA

**QUIMIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN LA LUNA Y GRUPO
COGOLLO EN NÚCLEOS DEL SUBSUELO DEL LAGO DE
MARACAIBO, CUENCA DE MARACAIBO, OCCIDENTE DE
VENEZUELA**

Proyecto de Trabajo Especial
de Maestría
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Ing. Iván J. Baritto T.
Para optar al Título de
Magister Scientiarum en
Ciencias Geológicas

Caracas, Diciembre 2009

TRABAJO ESPECIAL DE MAESTRÍA

QUIMIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN LA LUNA Y GRUPO COGOLLO EN NÚCLEOS DEL SUBSUELO DEL LAGO DE MARACAIBO, CUENCA DE MARACAIBO, OCCIDENTE DE VENEZUELA

TUTOR ACADÉMICO: Dr. Franco Urbani

Proyecto de Trabajo Especial
de Maestría
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Ing. Iván J. Baritto T.
Para optar al Título de
Magister Scientiarum en
Ciencias Geológicas

Caracas, Diciembre 2009

*“La Educación es el pasaporte hacia el Futuro, el Mañana
pertenece a aquellos que se preparan para él. Hoy”*

Malcolm X

A mis Padres y Hermanos....

BARITTO T., IVÁN J.

QUIMIOESTRATIGRAFÍA DE LA FORMACIÓN LA LUNA Y GRUPO COGOLLO EN NÚCLEOS DEL SUBSUELO DEL LAGO DE MARACAIBO, CUENCA DE MARACAIBO, OCCIDENTE DE VENEZUELA

Tutor Académico: Dr. Franco Urbani. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2009, 129 p.

Palabras Claves: Quimioestratigrafía, Grupo Cogollo, Formación La Luna, fluorescencia de rayos X, difracción de rayos X, Rock-Eval.

Resumen. La quimioestratigrafía se fundamenta en la caracterización geoquímica de las secuencias sedimentarias, la subdivisión de estas secuencias en base a su comportamiento químico y la correlación de los estratos entre las secuencias estratigráficas analizadas empleando para ello el uso de diversos elementos químicos mayoritarios, minoritarios y trazas que tienen la particularidad de reflejar huellas geoquímicas diagnósticas.

En este estudio se caracterizó químicamente a la Formación La Luna y las formaciones geológicas pertenecientes al Grupo Cogollo en dos núcleos del centro de la Cuenca de Maracaibo en el occidente de Venezuela, a través del uso de la geoquímica orgánica e inorgánica. Fueron analizados un total de 360 muestras provenientes de estos dos núcleos por medio de diversas técnicas analíticas tales como fluorescencia de rayos X por longitud de onda (FRX-LO), difracción de rayos X (DRX) en la fracción de roca total y pirólisis Rock-Eval.

Los análisis químicos consistieron en la determinación de las concentraciones (% en peso) de los componentes mayoritarios SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 ; y de los elementos trazas (ppm) Ba, Rb, Sr, Zr, Y, Cr, Ni, Cu y Zn. Los análisis llevados a cabo por pirólisis fueron el porcentaje de carbono orgánico total (COT) y demás parámetros tales como: T_{max} ($^{\circ}\text{C}$), S_1 (mg Hc/g roca), S_2 (mg Hc/g roca), S_3 (mg CO_2 /g roca), índice de hidrógeno (IH) e índice de oxígeno (IO). Las principales fases mineralógicas identificadas a través de DRX en roca total fueron: cuarzo, arcilla total, calcita, dolomita, siderita, pirita, feldespato potásico y sódico.

Con estos datos se elaboraron perfiles de concentración y se definieron unidades a partir de sus variaciones químicas, las cuales, mediante el uso de la estadística descriptiva, univariante y multivariante, permitieron caracterizar y reconocer las relaciones verticales existentes entre los muestras de roca de cada núcleo. Adicionalmente se efectuaron diversos análisis a través de diagramas caja y ternarios en los cuales se apreciaron las diferencias y similitudes químicas existentes entre cada una de las formaciones geológicas evaluadas.

En base a los perfiles químicos de concentración se definieron seis unidades químicas en cada uno de los pozos los cuales reflejan las principales características sedimentológicas de las rocas analizadas. Mediante el análisis de agrupaciones, estas unidades químicas pueden ser resumidas en tres grandes grupos para cada uno de los pozos, presentando además correlación química espacial a nivel de la cuenca. A partir del análisis factorial se definieron las siguientes cinco asociaciones geoquímicas de elementos: *Asociación carbonática* (CaO, Sr), *Asociación siliciclástica* (SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Rb), *Asociación orgánica* (COT, Na₂O, Zn, Ni, Cu, Cr), *Asociación de productividad orgánica* (P₂O₅, MgO, MnO, Ba) y *Asociación de minerales pesados* (Zr, Y).

Las correlaciones químicas efectuadas a través del análisis discriminante entre los Pozos A y B presentó un 76% de acierto entre las formaciones geológicas estudiadas, un 83% de efectividad en los grupos químicos definidos por análisis de agrupaciones y un 86% de acierto entre las secuencias estratigráficas genéticas. Estos resultados permiten señalar que tanto las formaciones geológicas como los ciclos genéticos secuenciales del Grupo Cogollo y la Formación La Luna muestran huellas geoquímicas diagnósticas y distintivas que se pueden correlacionar químicamente y que pueden emplearse de forma extensiva en otras áreas de interés exploratorio a nivel de estas secuencias Cretácicas en la Cuenca de Maracaibo donde se amerite su estudio.

Finalmente, este trabajo de investigación se constituye en el primer proyecto de quimioestratigrafía a nivel nacional que evalúa tanto al Grupo Cogollo como a la Formación La Luna de forma integral a nivel del subsuelo, unidades estratigráficas catalogadas como potenciales rocas reservorios y la principal roca madre de uno de nuestros principales sistemas petrolíferos depositados en el margen pasivo que se desarrolló durante el Cretácico en el occidente de Venezuela, ampliándose de esta manera el conocimiento hasta ahora existente de estas secuencias estratigráficas, además de contribuir sustancialmente con nuestra industria petrolera a contar con una herramienta de correlación y caracterización geoquímica adicional a las técnicas tradicionalmente conocidas en el ámbito petrolero, en la evaluación de áreas exploratorias en secuencias carbonáticas y siliciclásticas de forma conjunta, constituyéndose en una técnica que puede ser aplicable de manera estadísticamente confiable, aportando un mayor conocimiento y certeza en el área de la exploración petrolera y abriendo adicionalmente nuevas fronteras de investigación en esta materia.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVOS.....	1
1.1.1. Objetivo general.....	1
1.1.2. Objetivos específicos.....	1
1.2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	3
2. MARCO GEOLÓGICO.....	6
2.1. GEOLOGÍA REGIONAL.....	6
2.2. GEOLOGÍA LOCAL.....	18
2.3. TRABAJOS PREVIOS.....	28
3. MARCO TEÓRICO.....	34
4. MARCO METODOLÓGICO.....	37
5. RESULTADOS E INTERPRETACIONES.....	39
5.1. RESULTADOS ANALÍTICOS QUÍMICOS.....	39
5.1.1. Estadística univariante.....	42
5.1.1.1. Diagramas caja.....	42
5.1.1.2. Diagramas ternarios.....	51
5.2. DEFINICIÓN DE UNIDADES QUÍMICAS.....	58
5.2.1. Pozo A.....	58
5.2.2. Pozo B.....	64
5.3. ESTADÍSTICA MULTIVARIANTE.....	69
5.3.1. Análisis de agrupaciones.....	69
5.3.2. Análisis de factores.....	74
5.3.3. Funciones discriminantes.....	77
5.3.3.1. Correlación química entre los Pozos A y B.....	88
5.4. ANÁLISIS MINERALÓGICOS POR DRX.....	91
5.5. CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA MEDIANTE HERRON (1988).....	96
5.6. GEOQUÍMICA ORGÁNICA DEL GRUPO COGOLLO Y FM LA LUNA.....	100
5.7. INTERPRETACIONES GENERALES.....	107
6. SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
6.1. SUMARIO Y CONCLUSIONES.....	111
6.2. RECOMENDACIONES.....	118
7. BIBLIOGRAFÍA.....	119
8. APÉNDICES.....	130
8.1. Apéndice I. Columnas estratigráficas de los Pozos A y B.....	130
8.2. Apéndice II. Cartas bioestratigráficas de los Pozos A y B.....	132
8.3. Apéndice III. Detalles del marco teórico.....	134

8.4. Apéndice IV. Detalles del marco metodológico.....	185
8.5. Apéndice V. Tablas de resultados analíticos de componentes mayoritarios y elementos traza de los Pozos A y B.....	200
8.6. Apéndice VI. Tablas de resultados analíticos de medición de parámetros de geoquímica orgánica en los Pozos A y B.....	217
8.7. Apéndice VII. Tablas de valores de los coeficientes de variación y medianas de los diagramas caja de los Pozos A y B.....	221
8.8. Apéndice VIII. Perfiles de concentración químicos del Pozo A.....	224
8.9. Apéndice IX. Perfiles de concentración químicos del Pozo B.....	225
8.10. Apéndice X. Tablas de comparación de los componentes mayoritarios y elementos traza de las diferentes unidades químicas de los Pozos A y B.....	226
8.11. Apéndice XI. Tablas de medidas de tendencia central de los análisis de agrupaciones de componentes mayoritarios y elementos traza de los Pozos A y B.....	229
8.12. Apéndice XII. Tablas de coeficientes y ecuaciones de los factores generados en los Pozos A y B.....	232
8.13. Apéndice XIII. Tablas de clasificación de las funciones discriminantes generadas en los Pozos A y B.....	235
8.14. Apéndice XIV. Tablas de coeficientes de funciones discriminantes generadas en los Pozos A y B.....	243
8.15. Apéndice XV. Panel de correlación química de los Pozos A y B.....	259
8.16. Apéndice XVI. Tablas de resultados analíticos de difracción de rayos X (DRX) por roca total en los Pozos A y B.....	260
8.17. Apéndice XVII. Perfiles mineralógicos y de geoquímica orgánica del Pozo A...	266
8.18. Apéndice XVIII. Perfiles mineralógicos y de geoquímica orgánica del Pozo B...	267
8.19. Apéndice XIX. Tablas de clasificación geoquímica según esquema de HERRON (1988).....	268
8.20. Apéndice XX. Tablas de colores Munsell de los Pozos A y B.....	271

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1	Mapa con la localización de los pozos de estudio. Tomado de HACKLEY <i>et al.</i> (2005).....	3
Figura 2	Mapa del occidente de Venezuela mostrando la localización de la Cuenca de Maracaibo y sus áreas geográficas circundantes. Modificado de HACKLEY <i>et al.</i> (2005).....	6
Figura 3	Cuadro estratigráfico de las unidades más importantes del Jurásico en el occidente de Venezuela. Modificado de YORIS <i>et al.</i> (1997).....	7
Figura 4	Tendencias del basamento Paleozoico y Jurásico para el noroeste de Venezuela. Tomado de LUGO (1991).....	8
Figura 5	Cuadro estratigráfico de las unidades más importantes del Cretácico temprano en el occidente de Venezuela. Tomado de YORIS <i>et al.</i> (1997).....	9
Figura 6	Cuadro estratigráfico de las unidades más importantes del Cretácico Superior en el occidente de Venezuela. Tomado de YORIS <i>et al.</i> (1997).....	11
Figura 7	Mayores placas tectónicas del área caribeña destacándose el Bloque Triangular de Maracaibo, limitado por el sistema de fallas de Boconó, Bucarananga-Santa Marta y Oca-Ancón. Tomado de ESCALONA & MANN (2002).....	12
Figura 8	Corte estructural NO-SE de la Cuenca de Maracaibo desde los Andes de Mérida hasta la Sierra de Perijá. Tomado de YORIS <i>et al.</i> (1997).....	15
Figura 9	Orientación del alineamiento La Paz – Mara – El Moján y de las fallas de Icotea, Urdaneta y Pueblo Viejo entre otras. Tomado de CHACÍN (2003).....	17
Figura 10	Ejemplos del núcleo del Pozo A. A = Selección de puntos de muestreo, B = núcleo de la Formación Lisure, C = núcleo de la Formación La Luna.....	37
Figura 11	Diagrama caja del SiO ₂ para la formaciones geológicas del Pozo A.....	44
Figura 12	Diagrama caja del TiO ₂ para la formaciones geológicas del Pozo A.....	44
Figura 13	Diagrama caja del Al ₂ O ₃ para la formaciones geológicas del Pozo A...	44
Figura 14	Diagrama caja del Fe ₂ O ₃ para la formaciones geológicas del Pozo A...	44
Figura 15	Diagrama caja del MnO para la formaciones geológicas del Pozo A...	44
Figura 16	Diagrama caja del CaO para la formaciones geológicas del Pozo A.....	44
Figura 17	Diagrama caja del MgO para la formaciones geológicas del Pozo A....	44

Figura 18	Diagrama caja del Na ₂ O para la formaciones geológicas del Pozo A....	44
Figura 19	Diagrama caja del K ₂ O para la formaciones geológicas del Pozo A.....	45
Figura 20	Diagrama caja del P ₂ O ₅ para la formaciones geológicas del Pozo A.....	45
Figura 21	Diagrama caja del Cr para la formaciones geológicas del Pozo A.....	46
Figura 22	Diagrama caja del Ni para la formaciones geológicas del Pozo A.....	46
Figura 23	Diagrama caja del Cu para la formaciones geológicas del Pozo A.....	46
Figura 24	Diagrama caja del Zn para la formaciones geológicas del Pozo A.....	46
Figura 25	Diagrama caja del Ba para la formaciones geológicas del Pozo A.....	46
Figura 26	Diagrama caja del Y para la formaciones geológicas del Pozo A.....	46
Figura 27	Diagrama caja del Zr para la formaciones geológicas del Pozo A.....	46
Figura 28	Diagrama caja del Rb para la formaciones geológicas del Pozo A.....	46
Figura 29	Diagrama caja del Sr para la formaciones geológicas del Pozo A.....	47
Figura 30	Diagrama caja del SiO ₂ para las formaciones geológicas del Pozo B....	48
Figura 31	Diagrama caja del TiO ₂ para las formaciones geológicas del Pozo B....	48
Figura 32	Diagrama caja del Al ₂ O ₃ para las formaciones geológicas del Pozo B...	49
Figura 33	Diagrama caja del Fe ₂ O ₃ para las formaciones geológicas del Pozo B...	49
Figura 34	Diagrama caja del MnO para las formaciones geológicas del Pozo B...	49
Figura 35	Diagrama caja del CaO para las formaciones geológicas del Pozo B....	49
Figura 36	Diagrama caja del MgO para las formaciones geológicas del Pozo B...	49
Figura 37	Diagrama caja del Na ₂ O para las formaciones geológicas del Pozo B...	49
Figura 38	Diagrama caja del K ₂ O para las formaciones geológicas del Pozo B....	49
Figura 39	Diagrama caja del P ₂ O ₅ para las formaciones geológicas del Pozo B....	49
Figura 40	Diagrama caja del Cr para las formaciones geológicas del Pozo B.....	50
Figura 41	Diagrama caja del Ni para las formaciones geológicas del Pozo B.....	50
Figura 42	Diagrama caja del Cu para las formaciones geológicas del Pozo B.....	50
Figura 43	Diagrama caja del Zn para las formaciones geológicas del Pozo B.....	50

Figura 44	Diagrama caja del Y para las formaciones geológicas del Pozo B.....	50
Figura 45	Diagrama caja del Sr para las formaciones geológicas del Pozo B.....	50
Figura 46	Diagrama caja del Rb para las formaciones geológicas del Pozo B.....	50
Figura 47	Diagrama caja del Zr para las formaciones geológicas del Pozo B.....	50
Figura 48	Diagrama caja del Ba para las formaciones geológicas del Pozo B.....	51
Figura 49	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo A.....	53
Figura 50	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B.....	53
Figura 51	Diagrama ternario donde se compara la Formación Apón en ambos pozos.....	54
Figura 52	Diagrama ternario donde se compara la Formación Lisure en ambos pozos.....	54
Figura 53	Diagrama ternario donde se compara la Formación Maraca en ambos pozos.....	54
Figura 54	Diagrama ternario donde se compara la Formación La Luna en ambos pozos.....	54
Figura 55	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo A en base al SiO ₂ , Al ₂ O ₃ y CaO.....	55
Figura 56	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo A en base al SiO ₂ /5, Al ₂ O ₃ y K ₂ O.....	55
Figura 57	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo A en base al MgO*10, CaO y Sr/10.....	56
Figura 58	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo A en base al Rb, Zr y Sr/5.....	56
Figura 59	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo A en base al Ni, Cr y Al ₂ O ₃	56
Figura 60	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo A en base al Ni, Cr y Zr.....	56
Figura 61	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al SiO ₂ /5, Al ₂ O ₃ y CaO/5.....	57
Figura 62	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al SiO ₂ /5, Al ₂ O ₃ y K ₂ O.....	57

Figura 63	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al $MgO \cdot 10$, CaO y $Sr/10$	57
Figura 64	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al Zr , Rb y $Sr/5$	57
Figura 65	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al Ni , Cr y $Al_2O_3/5$	57
Figura 66	Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al Ni , Cr y Zr	57
Figura 67	Dendrograma del Pozo A donde se comparan las unidades químicas definidas por los perfiles (columna derecha) y por las agrupaciones (columna izquierda).....	71
Figura 68	Dendrograma del Pozo B donde se comparan las unidades químicas definidas por los perfiles (columna derecha) y por las agrupaciones (columna izquierda).....	73
Figura 69	Representación gráfica de los factores para la obtención de las diversas asociaciones químicas presentes en el Pozo A.....	76
Figura 70	Representación gráfica de los factores para la obtención de las diversas asociaciones químicas presentes en el Pozo B.....	77
Figura 71	Representación gráfica de las funciones discriminantes para la separación de las unidades químicas del Pozo A.....	78
Figura 72	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las formaciones geológicas del Pozo A.....	79
Figura 73	Representación gráfica de las funciones discriminantes de los grupos químicos del Pozo A.....	80
Figura 74	Representación gráfica de las funciones discriminantes de los subgrupos químicos del Pozo A.....	80
Figura 75	Representación gráfica de las funciones discriminantes de las unidades sedimentarias evaluadas en el Pozo A.....	83
Figura 76	Representación gráfica de las funciones discriminantes de las secuencias estratigráficas evaluadas en el Pozo A.....	84
Figura 77	Representación gráfica de las funciones discriminantes para la separación de las unidades químicas del Pozo B.....	85
Figura 78	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las formaciones geológicas del Pozo B.....	85
Figura 79	Representación gráfica de las funciones discriminantes de los grupos químicos del Pozo B.....	86

Figura 80	Representación gráfica de las funciones discriminantes de los subgrupos químicos del Pozo B.....	86
Figura 81	Representación gráfica de las funciones discriminantes de las unidades sedimentarias evaluadas en el Pozo B.....	87
Figura 82	Representación gráfica de las funciones discriminantes de las secuencias estratigráficas evaluadas en el Pozo B.....	88
Figura 83	Representación gráfica de las funciones discriminantes obtenidas en la correlación química de las formaciones geológicas de los Pozo A y B..	89
Figura 84	Representación gráfica de las funciones discriminantes obtenidas en la correlación química de los grupos generados por el dendrograma en el Pozo A y B.....	90
Figura 85	Representación gráfica de las funciones discriminantes obtenidas en la correlación química de las secuencias estratigráficas de los Pozos A y B.....	91
Figura 86	Litotipos por DRX determinados en la Formación Apón del Pozo A....	93
Figura 87	Litotipos por DRX determinados en la Formación Lisure del Pozo A...	93
Figura 88	Litotipos por DRX determinados en la Formación Maraca del Pozo A..	93
Figura 89	Litotipos por DRX determinados en la Formación La Luna del Pozo A	93
Figura 90	Litotipos por DRX determinados en la Formación Apón del Pozo B....	94
Figura 91	Litotipos por DRX determinados en la Formación Lisure del Pozo B...	94
Figura 92	Litotipos por DRX determinados en la Formación Maraca del Pozo B..	94
Figura 93	Litotipos por DRX determinados en la Formación La Luna del Pozo B	94
Figura 94	Esquema de clasificación de Herrón (1988) obtenido para el Pozo A...	97
Figura 95	Esquema de clasificación de Herrón (1988) obtenido para el Pozo B...	97
Figura 96	Distribución de litologías clásticas para la Formación Apón en el Pozo A según esquema de clasificación de Herrón (1988).....	98
Figura 97	Distribución de litologías clásticas para la Formación Lisure en el Pozo A según esquema de clasificación de Herrón (1988).....	98
Figura 98	Distribución de litologías clásticas para la Formación Apón en el Pozo B según esquema de clasificación de Herrón (1988).....	98
Figura 99	Distribución de litologías clásticas para la Formación Lisure en el Pozo B según esquema de clasificación de Herrón (1988).....	98

Figura 100	Esquema de clasificación geoquímica de rocas sedimentarias empleado para el Pozo A.....	99
Figura 101	Esquema de clasificación geoquímica de rocas sedimentarias empleado para el Pozo B.....	99
Figura 102	Diagrama del Índice de Hidrógeno (IH) vs Índice de Oxígeno (IO) del Pozo A.....	103
Figura 103	Diagrama del Índice de Hidrógeno (IH) vs Tmax en el Pozo A.....	104
Figura 104	Diagrama del Índice de Hidrógeno (IH) vs Índice de Oxígeno (IO) del Pozo B.....	105
Figura 105	Diagrama del Índice de Hidrógeno (IH) vs Tmax en el Pozo B.....	106
Figura 106	Espectro electromagnético. Tomado de FERNÁNDEZ (2002) en BARITTO (2003).....	136
Figura 107	Modelo físico donde se destaca de forma esquemática la generación de rayos x secundarios produciendo el fenómeno de <i>fluorescencia</i> . Tomado de FERNÁNDEZ (2002) en BARITTO (2003).....	139
Figura 108	Capas electrónicas K, L y M de donde son emitidos principalmente los rayos X. Tomado de www. Bruker.com	140
Figura 109	Relación de la ley de Bragg. λ = longitud de onda de los rayos X, d = espaciamiento entre las capas y θ = ángulo incidente de los fotones. Tomado de www. Panalytical.com	141
Figura 110	Esquema básico de un espectrómetro por longitud de onda (FRX-LO). Tomado de www. Bruker.com	142
Figura 111	Efecto del tamaño de grano o partícula en el análisis de FRX-LO. Tomado de www. Bruker.com	143
Figura 112	Efecto cristalográfico y/o mineralógico en el análisis de FRX-LO. Tomado de www. Bruker.com	144
Figura 113	Esquema del sistema óptico de un difractómetro de rayos x Philips. Tomado de ARIAS (2004).....	145
Figura 114	Esquema de un tubo de rayos x. Tomado de ARIAS (2004).....	145
Figura 115	Distribución de longitudes de onda de los rayos X que se producen en tubos de rayos X. Tomado de ARIAS (2004).....	146
Figura 116	Comparación de un espectro de radiación de cobre, A) antes y B) después de ser pasado por un filtro de Ni. Tomado de ARIAS (2004)..	147
Figura 117	Diferentes ambientes que favorecen la preservación de la materia orgánica. Tomado de SOTO (2007).....	150

Figura 118	Proceso de preservación y destrucción de la materia orgánica. Tomado de SOTO (2007).....	151
Figura 119	Esquema básico de procesos de madurez orgánica y formación de petróleo en la naturaleza. Tomado de NÚÑEZ-BETELU & BACETA (1994).....	155
Figura 120	Diagrama general mostrando las diferentes fracciones de la materia orgánica total de la roca analizada y los correspondientes parámetros y registros. Tomado de LAFARGUE <i>et al.</i> (1998).....	156
Figura 121	Esquema general de un analizador rock-eval. Las equivalencias de los picos son: S0=S1, S1=S2, S2=S3. Tomado de www.igiltd.com/.../Analyses/rock-eva.htm	158
Figura 122	Ejemplos de diagramas de Índice de Hidrógeno (IH) versus Tmax e Índice de Hidrógeno (IH) versus Índice de Oxígeno (IO) de la Formación Capacho. Tomado de CONTRERAS <i>et al.</i> (2007).....	159
Figura 123	Diagrama caja (<i>Box plot</i>) elaborado con el programa estadístico NCSS 2000. Tomado de CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000).....	163
Figura 124	Ejemplo de diagrama ternario del %SiO ₂ - %CaO*2 - Al ₂ O ₃ *5, donde se representan un conjunto de minerales de arcilla. Tomado de RACHOLD & BRUMSACK (2001).....	164
Figura 125	Ejemplo de variables concentradas en diversos grupos en un eje cartesiano. Tomado de VALLEIO (1992).....	165
Figura 126	Ejemplo de dendrograma donde son agrupados de acuerdo a sus similitudes los grupos de la Figura 124. Tomado de VALLEIO (1992)...	165
Figura 127	(a) Ejes de los factores principales, I ₁ e II ₁ , posicionados tal que las sumas de los cuadrados de las cargas factoriales son maximizados. Cada vector está representado por la carga de dos factores, uno en cada eje. (b) Nueva posición de los ejes de los factores, I ₁ e II ₁ , después de ser rotados tal que los ejes coinciden con los grupos de variables. Tomado de HARBAUGH & MERRIAM (1968).....	170
Figura 128	Función discriminante entre dos distribuciones bivariadas, mostrando solapamiento entre los grupos 1 y 2 a lo largo de ambas variables. Tomado de HARBAUGH & MERRIAM (1968).....	172
Figura 129	Perfiles químicos de cinco relaciones elementales en un pozo del Campo El Furrial, Edo. Monagas, donde es posible apreciar cuatro unidades químicas. Tomado de BARITTO <i>et al.</i> (2007).....	173
Figura 130	Composición química de las rocas más comunes. La sección en blanco son para sedimentos raros o inexistentes. Tomado de ARREAZA (2003).	179

Figura 131	Variación en la composición química de las areniscas, lutitas y carbonatos. Las composiciones de las rocas están dadas en porcentaje en peso. Tomado de ARREAZA (2003).....	180
Figura 132	Sistema de clasificación geoquímico de rocas clásticas. Tomado de HERRON (1998).....	181
Figura 133	Mortero y pistillo de acero para la disgregación de las muestras.....	185
Figura 134	Recipiente de carburo de tungsteno.....	186
Figura 135	Equipo Shaterbox SPEX modelo 8150.....	186
Figura 136	Muestras pulverizadas almacenadas en bolsas plásticas.....	186
Figura 137	Espectrómetro secuencial de rayos X por longitud de onda, marca AXIOS <i>petro</i> , modelo PW2450.....	188
Figura 138	Mortero y pistillo de ágata.....	191
Figura 139	Evaporación de la acetona.....	191
Figura 140	Prensa SPEX SamplePrep.....	191
Figura 141	Ejemplos de pastillas prensadas.....	192
Figura 142	Base de celulosa de la pastilla.....	192
Figura 143	Equipo de Rock-Eval 6 perteneciente al Laboratorio de Geoquímica Orgánica de PDVSA INTEVEP.....	193
Figura 144	Esquema básico de un equipo de Rock-Eval 6 estándar de proceso en serie, donde se visualizan los 2 hornos (pirólisis y oxidación), el detector de ionización de llama (FID), la celda infrarroja y el automuestreador programado. Tomado de BEHAR <i>et al.</i> (2001).....	194
Figura 145	Diagrama esquemático indicando la localización de la termocupla para la regulación de temperatura en el horno de pirólisis. Horno abierto = temperatura controlada por TC ₂ . Horno cerrado = temperatura controlada por TC ₁ . Tomado de LAFARGUE <i>et al.</i> (1998).....	195
Figura 146	Procedimiento analítico para el cálculo del COT a través del Rock-Eval 6. Tomado de BEHAR <i>et al.</i> (2001).....	197
Figura 147	Difractómetro de rayos X marca Phillips, perteneciente al Laboratorio de Rayos X de PDVSA INTEVEP, con el cual fueron analizadas las muestras geológicas.....	198
Figura 148	Ejemplo de portamuestras de aluminio donde fueron colocadas las muestras.....	199

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 1	Resumen de las principales características sedimentológicas del Pozo A.....	18
Tabla 2	Resumen de las principales características sedimentológicas del Pozo B.....	20
Tabla 3	Equivalencias de rocas carbonáticas según esquemas de clasificación de DUNHAM (1962) y EMBRY & KLOVAN (1971).....	22
Tabla 4	Distribución porcentual de tipos de rocas presentes en el núcleo A.....	22
Tabla 5	Distribución porcentual de tipos de rocas presentes en el núcleo B.....	24
Tabla 6	Tabla donde se presenta de forma discretizada el número total de muestras por pozo y por formación geológica analizada.....	39
Tabla 7	Composición química promedio de las formaciones geológicas del pozo A.....	40
Tabla 8	Composición química promedio de las formaciones geológicas del pozo B.....	41
Tabla 9	Parámetros geoquímicos orgánicos promedio obtenidos en ambos pozos.....	41
Tabla 10	Principales tipos de critales usados en FRX-LO. Tomado de www.Bruker.com	142
Tabla 11	Medidas empleadas para conjunto de datos en estadística descriptiva...	162
Tabla 12	Promedio de la composición química de componentes mayoritarios (%) en areniscas de algunas formaciones de Norte América. Tomado de ARREAZA (2003).....	177
Tabla 13	Promedio de la concentración de componentes mayoritarios (%) de una selección de 13 lutitas reportadas en la literatura. Tomado de ARREAZA (2003).....	178
Tabla 14	Promedio de la concentración de componentes mayoritarios (%) de una selección de rocas carbonáticas como materiales de referencia certificados.....	178
Tabla 15	Patrones estándares internacionales de rocas geológicas que fueron utilizados para el montaje de las curvas de calibración en este estudio...	190

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. OBJETIVO GENERAL

Efectuar el estudio quimioestratigráfico de la Formación La Luna y las formaciones geológicas pertenecientes al Grupo Cogollo en dos núcleos del centro de la Cuenca de Maracaibo en el occidente de Venezuela, a través del uso de la geoquímica orgánica e inorgánica con la finalidad de evaluar los procesos sedimentarios que tuvieron lugar en esta cuenca.

1.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

✓ Caracterización geoquímica inorgánica de las formaciones geológicas del Grupo Cogollo y la Formación La Luna en muestras pertenecientes a dos núcleos, a través del estudio de los componentes químicos mayoritarios (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5) y elementos trazas (Ba, Rb, Sr, Zr, Y, Cr, Ni, Cu, Zn) por la técnica de fluorescencia de rayos X por longitud de onda (FRX-LO), a través de la elaboración de perfiles de concentración de estos elementos y de relaciones químicas diagnósticas donde se puedan visualizar las heterogeneidades existentes para su posterior análisis e interpretación.

✓ Caracterización geoquímica orgánica de la Formación La Luna y del Grupo Cogollo (formaciones Lisure y Maraca), a través del análisis del % COT y parámetros de pirólisis tales como: Temperatura máxima (Tmax), hidrocarburos libres (S_1), potencial generador de hidrocarburos (S_2), índice de Hidrógeno (IH) e índice de oxígeno (IO).

✓ Caracterización mineralógica de todas las formaciones geológicas estudiadas en los dos núcleos, a través de la semi-cuantificación del porcentaje de los principales minerales existentes por la técnica de difracción de rayos X (DRX).

- ✓ Determinar para cada una de las muestras obtenidas de los núcleos analizados los códigos de colores “Munsell” con el fin de obtener las variaciones verticales de los mismos.
- ✓ Manejo estadístico univariado y multivariado de la información geoquímica generada, estableciendo el comportamiento general de los datos con un cierto grado de confiabilidad y de esta manera observar posibles anomalías químicas importantes en las secuencias estratigráficas.
- ✓ Definición de unidades químicas a partir de las tendencias observadas en las secuencias basándose en el análisis estadístico de la información química.
- ✓ Efectuar la comprobación geoquímica de los distintos contactos formacionales, secuencias estratigráficas y unidades sedimentarias del Grupo Cogollo y la Formación La Luna, definidos previamente por otros autores.
- ✓ Obtención de una clasificación de las rocas siliciclásticas en las formaciones Apón y Lisure a partir de su composición química, específicamente mediante el uso de relaciones de las concentraciones tales como $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$.
- ✓ Interpretaciones de los datos que sugieran posibles cambios en los procesos sedimentarios en base al uso de algunos elementos y relaciones químicas claves.
- ✓ Validación de las respuestas químicas obtenidas en las secuencias estratigráficas con la información sedimentológica.
- ✓ Realización de ensayos de correlación química entre los dos pozos analizados, empleando para ello análisis estadísticos multivariados con la data geoquímica generada y construcción de un panel de correlación químico en 2D entre los pozos.

1.2 UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada específicamente en el centro del Lago de Maracaibo, estado Zulia. El Pozo A está localizado en las coordenadas de latitud norte $9^{\circ}45'36.1''$ y de longitud oeste $71^{\circ}27'59''$ (coordenadas planas S 97.923,11 y E 15.127,33 con origen en la Catedral de Maracaibo), mientras que el Pozo B se encuentra en las coordenadas de latitud norte $10^{\circ}1'5''$ y longitud oeste $71^{\circ}25'31''$ (coordenadas planas S 39.791,55 y E 17.044,10 con origen en La Rosa) presentando una distancia de separación de 31 km entre ambos pozos aproximadamente. El primero de los pozos está ubicado en el Campo Centro Lago mientras que el segundo pozo se ubica en el Campo Lagunillas (Fig. 1).

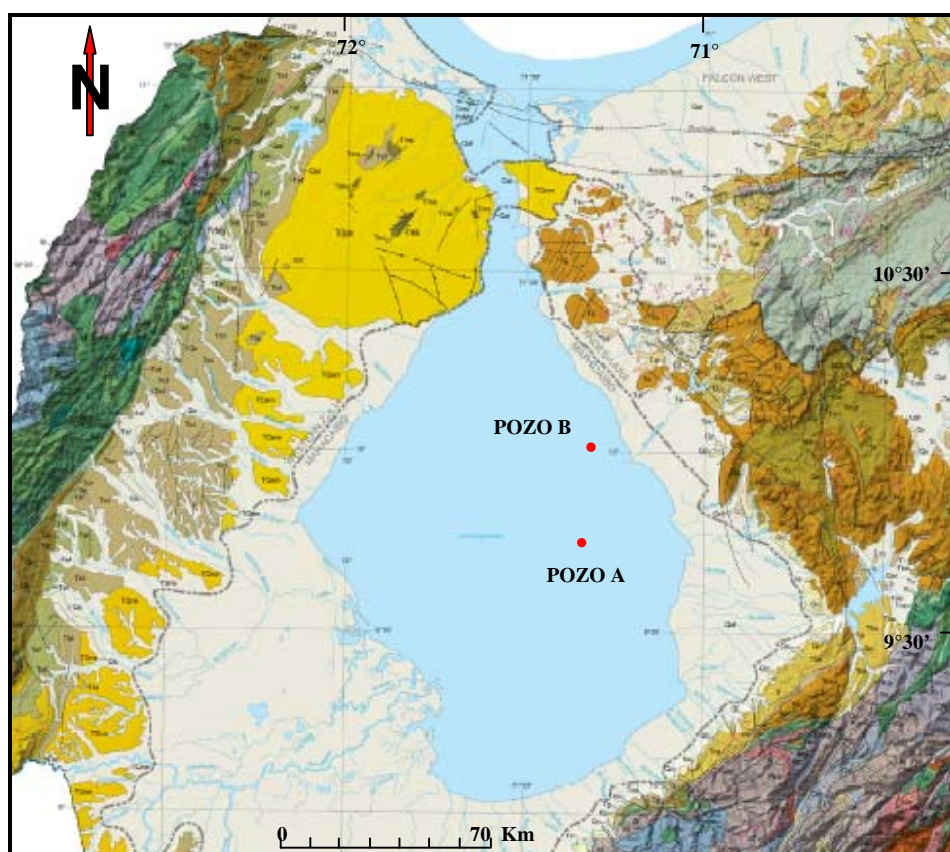


Figura 1. Mapa con la localización de los pozos de estudio. Tomado de HACKLEY *et al.* (2005).

1.4. AGRADECIMIENTOS

A la ilustre Universidad Central de Venezuela que por segunda ocasión me brinda sus conocimientos y me abre sus gloriosos espacios para seguir formándome como profesional de las geociencias, y a la cual sin duda alguna le estoy eternamente agradecido.

Al Laboratorio 330, adscrito a la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV por ser parte vital en mi capacitación profesional durante muchos años.

A PDVSA INTEVEP por brindarme la oportunidad de realizar esta Tesis en un proyecto que fue realmente importante en lo personal durante mis primeros pasos dentro de la empresa, y agradecer especialmente al Ing. Omar Contreras.

A Franco Urbani, maestro, amigo y a quien considero un verdadero padre académico, quien también por segunda ocasión se constituye en mi tutor con su guía siempre acertada, oportuna y desinteresada en todo momento. A ti Franco te quiero manifestar desde lo más profundo de mi alma toda mi gratitud, aprecio y cariño por toda la confianza que siempre has depositado en mí.

A todo el personal profesional y técnico de los Laboratorios de Fluorescencia y Difracción de Rayos X, Laboratorio de Geoquímica Orgánica y Preparación de Muestras Geológicas tanto de la Gerencia Técnica de Exploración y Caracterización de Yacimientos como de la Gerencia de Servicios de Laboratorios Generales adscritas a PDVSA INTEVEP: Margarita Navas, Fernando Peñalver, Wilfredo Mendoza, Henner Anzola, Ellys Laguado, Jesús Duque, Alí Ruíz.

Al Ing. David Mendi del Laboratorio 330 de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica de la UCV y a la Ing. Linda Delgadillo, quien fue mi primera tesista durante su estadía en INTEVEP y que igualmente fue parte importante en el desarrollo de este trabajo y a todas aquellas personas y amigos que incondicionalmente colaboraron en el desarrollo de esta tesis.

Iván Baritto agradece a:

A Dios ante todo por iluminarme en este sendero difícil pero pleno de satisfacciones y por permitirme vivir momentos muy especiales durante toda mi carrera profesional y personal, y a todas aquellas personas que siempre han creído y depositado su confianza en mi

A Mis Padres por el gran sacrificio realizado durante tantos años a pesar de las diversas limitaciones afrontadas, pero los cuales me brindaron en todo momento una educación rica en valores éticos y morales, dándome siempre su apoyo incondicional. A ti mamá que a pesar de tu delicado estado de salud siempre has estado allí espiritualmente con tus oraciones y buenos deseos compartiendo mis éxitos profesionales en momentos en los cuales no has podido estar presente físicamente. A mi hermano Jorge y mi hermana Isbelia, y a toda mi familia en general por siempre alentarme en la prosecución de mis metas personales y profesionales. A mi amigo, Zoilo Díaz por seguir siendo un guía y apoyo moral.

A todos mis compañeros de trabajo y amigos tanto de INTEVEP, INGEOMIN, UCV y del Proyecto EFAI-2008 con los cuales he compartido muy gratas experiencias durante todo el tiempo del transcurso de esta Tesis de Maestría: Alejandro Martínez, José Margotta, Adriana Pérez, Ysmarline Rincones, Argenis Bravo, Brian Vilas, Marcias González, Carlos Saavedra, Julio Lugo, Ernesto Silva, Raúl Cova, Efraín Betancourt, Luis Camposano, Yoleidys Hernández, Gilberto Soto, Moisés Pirela, José Antonio García, Felipe Quintero, Carmen Rodríguez, Onis Rada, Coromoto Labrador, Luz Suárez, José Zamora, David Moreno, Ramón Rondón, Tulio Peraza, Zuny Castro, Simón Assal, Pedro Camacho, Yuliana Hurtado, Elías Kassabji, Rigoberto Lara, Yenismer Tapias, Nieve El-Souki, Emerson Marfisi, Andrés Noriega, Rosalín Oliveros, Richard Reyes, Juan Carlos Sousa, Josmat Rodríguez, Jaime Salazar, Leila Angulo, Juan Villegas, Orlando Rivero, Ismael Mosquera, Liliana Iturriza, David Mendi, Lenín González. *Y a toda la gente de mi querido pueblo Carayaca....*

2. MARCO GEOLÓGICO

2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

La Cuenca de Maracaibo, localizada en el noroeste de Venezuela, está delimitada por la falla de Oca al norte, la Sierra de Perijá al oeste, los Andes de Mérida al sur y sureste, y la región de relieve bajo de Falcón – Lara al este. En el presente, la cuenca cubre un área de 50.000 km² dentro de la región de drenaje del Lago de Maracaibo (Fig. 2). Esta cuenca fue parte de una cuenca pericrátonica más larga que se extendía desde Venezuela a Perú a lo largo del margen occidental de los escudos brasileño y venezolano y que fue completamente aislada durante la orogénesis andina del Cenozoico tardío (MACELLARI 1988 *en* AZPIRITXAGA 1991).

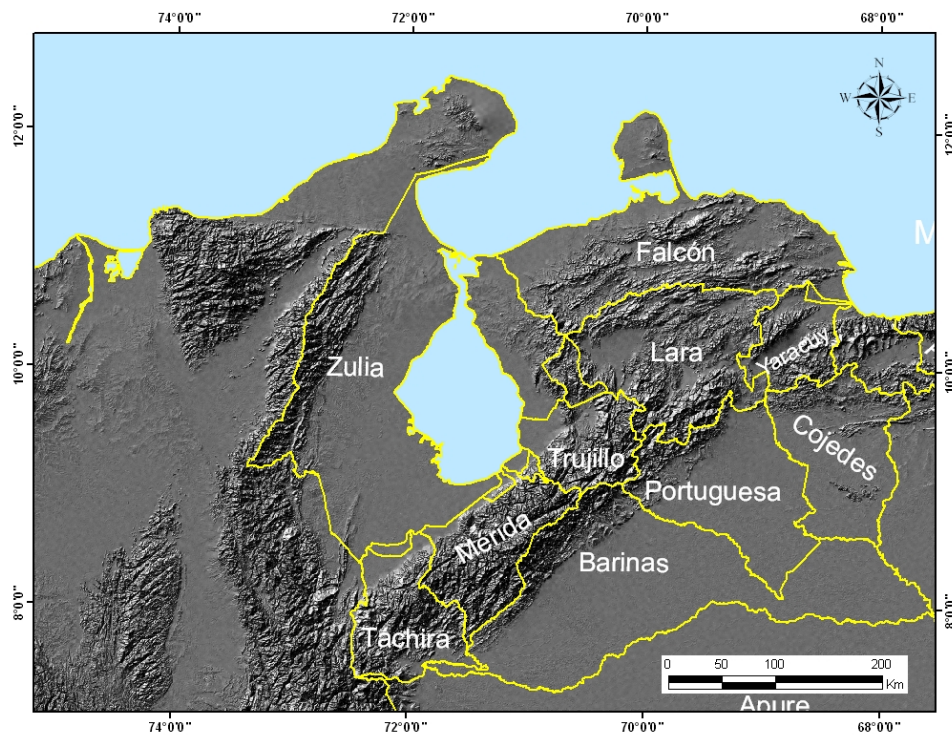


Figura 2. Mapa del occidente de Venezuela mostrando la localización de la Cuenca de Maracaibo y sus áreas geográficas circundantes. Modificado de GARRITY *et al.* (2004).

Las rocas sedimentarias mesozoicas más antiguas en la cuenca son la Formación La Quinta del Jurásico compuesta de areniscas rojas continentales y conglomerados asociados con rocas piroclásticas y rocas ígneas máficas a félsicas calcoalcalinas (Fig. 3). Los

sedimentos terrígenos fueron depositados dentro de *half-graben*s extensivos, los cuales tienden norte-noroeste (BOT & PERDOMO 1986 en AZPIRITXAGA 1991) siguiendo la tendencia presente de las montañas de Perijá - Valle del César – Valle del río Magdalena superior.

La Formación La Quinta también está presente en el área de los Andes de Mérida. Esta asociación de *graben* relacionado a estratos no marinos junto con rocas ígneas alcalinas y ácidas es típica de la fase temprana de un *rifting* en el desarrollo de un margen continental pasivo o “tipo Atlántico”. Después de la depositación de esta Formación, una etapa erosiva tomó lugar aplanando casi completamente los depósitos paleozoicos y mesozoicos (AZPIRITXAGA 1991).

Edad	Perijá y Guajira	Andes	Guárico y Cojedes	Cordillera de la Costa
Jurásico	Conglomerado de Seco Cajón/COCINAS La Quinta	La Quinta	Ipire	Pueblo Nuevo Las Brisas (<i>Zenda</i>)
	El Totumo Maccota			
	Volcánicas de La Gé Tinacoa			
Triásico				

Figura 3. Cuadro estratigráfico de las unidades más importantes del Jurásico en el occidente de Venezuela.

Modificado de YORIS *et al.* (1997)

Durante el Cretácico la Cuenca de Maracaibo fue parte de una plataforma extensiva que fue invadida por una serie de avances marinos. La plataforma Cretácica cubrió parte de Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela y alrededores de los Escudos Precámbricos de Guyana y Brasil. Es importante mencionar que esta plataforma extensa fue probablemente compleja, y sub-cuencas individuales fueron separadas por altos estructurales, islas o áreas positivas (GALLANGO *et al.* 1984 en AZPIRITXAGA 1991).

El Cretácico temprano en la Cuenca de Maracaibo está representado por la Formación Río Negro (Barremiense) y el Grupo Cogollo (Aptiense-Albiense). El Cretácico tardío está representado por la Formación La Luna (Cenomaniense-Santoniense) y la Formación Colón (Campaniense- Maastrichtiense) (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

La distribución de los sedimentos del Cretácico temprano estuvo controlada por una serie de surcos de tendencia noreste (Uribante, Machiques y Barquisimeto) y paleoaltos de tendencia noroeste (Arco de Mérida). Los surcos depositacionales fueron formados como una consecuencia de una subsidencia rápida en el área, resultando en el relleno de los grábenes con la Formación La Quinta (MACELLARI 1988 *en* AZPIRITXAGA 1991) (Fig. 4).

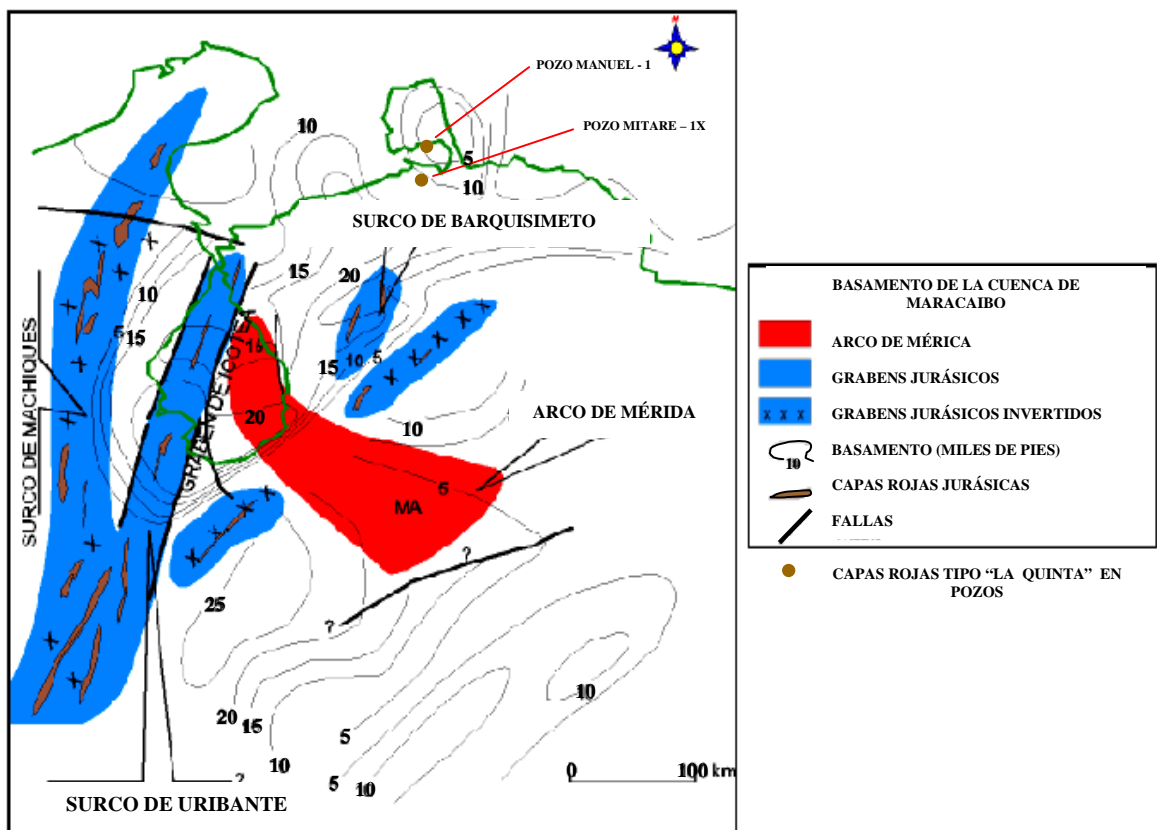


Figura 4. Tendencias del basamento Paleozoico y Jurásico para el noroeste de Venezuela.

Tomado de LUGO (1991).

Durante el Barremiense los sedimentos fluviales de la Formación Río Negro fueron depositados sobre la plataforma y las áreas de los surcos, donde ellos son más espesos (1.200 a 1.500 m en el surco de Machiques). La Formación Río Negro se acuña contra los bordes del Arco de Mérida y el Macizo de Santander (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980, MACELLARI 1988 *en* AZPIRITXAGA 1991).

El Grupo Cogollo fue depositado por todas las partes de la cuenca durante el Aptiense-Albiense (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980) y los rangos de espesor varían desde los 244 m (800') en el este a 366 m (1.200') en el oeste. En los bajos estructurales el Grupo Cogollo presenta aproximadamente 610 m (2.000') de espesor (BARTOK *et al.* 1981). ROD & MAYNC (1954) subdividieron al Grupo Cogollo en tres formaciones, de base a tope: Apón, Lisure y Maraca (Fig. 5).

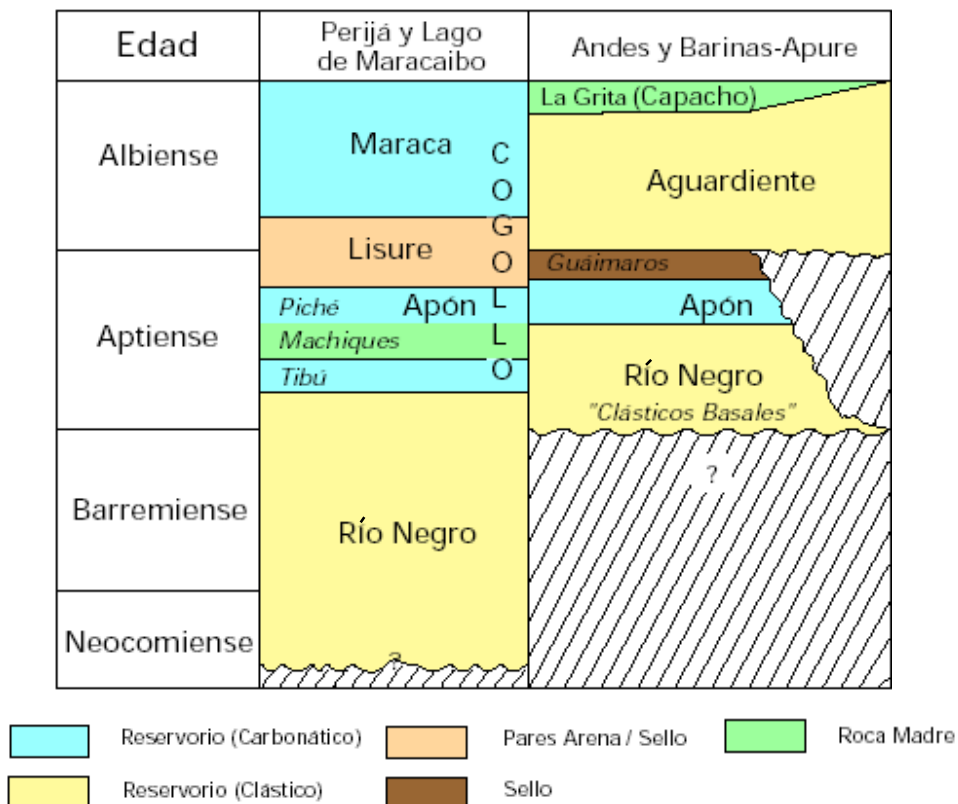


Figura 5. Cuadro estratigráfico de las unidades más importantes del Cretácico temprano en el occidente de Venezuela. Tomado de YORIS *et al.* (1997).

La Formación Apón está caracterizada por calizas fosilíferas, masivas, gris claro. RENZ (1954) subdividió la Formación Apón en tres miembros: Tibú, Machiques y Piché desde la base hacia el tope. El Miembro Tibú está compuesto de calizas fosilíferas de aguas someras. El Miembro Machiques representa carbonatos lutíticos pelágicos de naturaleza euxínica y que están restringidos al área de Machiques. En el subsuelo del Lago de Maracaibo y en el área de los Andes de Mérida, un miembro equivalente de dolomía

lutítico ha sido reconocido como un marcador regional persistente llamado Miembro Guáimaras. El Miembro Guáimaras (área de Maracaibo) y el Miembro Machiques (área de Perijá) están infrayacentes al Miembro Piché que está caracterizado por calizas fosilíferas depositadas en aguas más marinos normales.

La Formación Lisure está caracterizada por calizas fosilíferas, intercaladas con capas de areniscas glauconíticas, carbonáticas. Esta Formación está reconocida en la Sierra de Perijá y la Cuenca de Maracaibo. En el área de los Andes de Mérida, hacia el sur, la Formación Lisure grada lateralmente hacia areniscas de la Formación Aguardiente (SMITH 1951 *en* AZPIRITXAGA 1991).

La Formación Maraca de acuerdo a AZPIRITXAGA (1991) es un buen marcador estratigráfico en la Cuenca de Maracaibo, ésta es una delgada pero amplia caliza fosilífera que cubre completamente el Arco de Mérida. El espesor de Maraca varía de 45 a 60 m (148'-197') en el Lago de Maracaibo y tiene aproximadamente 20 m (66') en el área de los Andes de Mérida. La compactación y la subsidencia en ambos flancos del Arco de Mérida permitieron una acumulación más espesa de Maraca en los flancos.

La Formación Maraca es transicionalmente suprayacente a la Formación La Luna, la cual está caracterizada por calizas pelágicas negras laminadas. Esta Formación fue depositada durante la máxima expansión de los mares cretácicos en el noroeste de Suramérica e indica la depositación en un ambiente predominantemente anóxico (MACELLARI & DE VRIES 1987 *en* AZPIRITXAGA 1991). La Formación La Luna es la más importante roca madre en la Cuenca de Maracaibo. Seguido a la depositación de La Luna, un período de sedimentación lenta o condensada ocurrió antes de la subsecuente regresión (Campaniense). Los intervalos litológicos que representan este período de baja sedimentación son el Miembro Tres Esquinas (areniscas glauconíticas y fosfáticas) y el Miembro Socuy (calizas glauconíticas) de la Formación Colón. Esta Formación suprayace a la Formación La Luna y fue depositada bajo condiciones regresivas. En el área del Lago de Maracaibo, la Formación Colón está compuesta de lutitas marinas de color gris a negro glauconíticas, piríticas (Fig. 6).

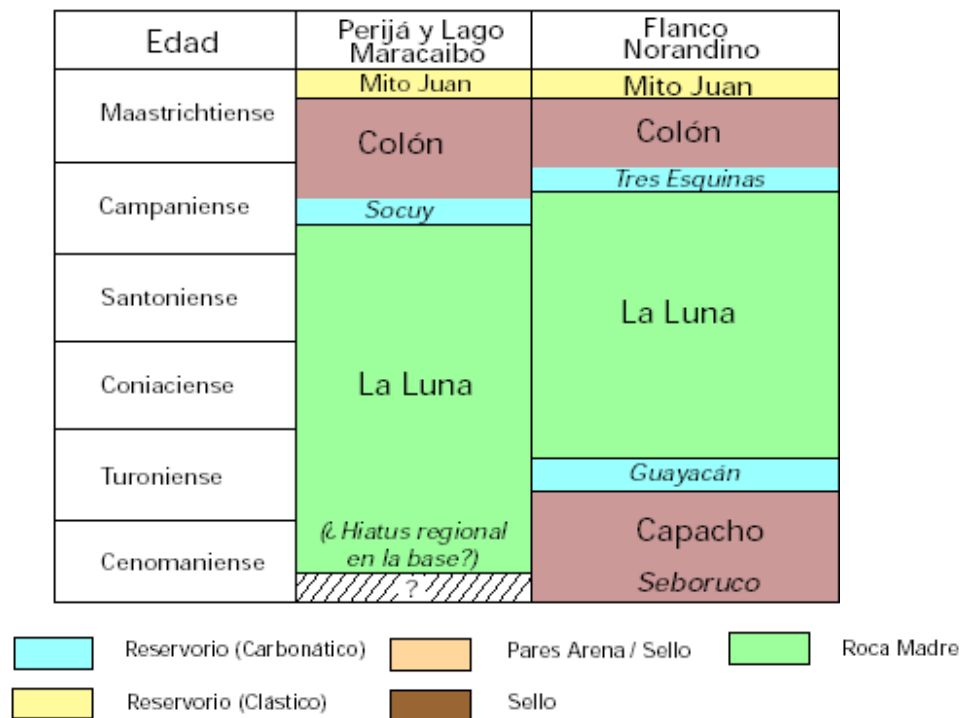


Figura 6. Cuadro estratigráfico de las unidades más importantes del Cretácico Superior en el occidente de Venezuela. Tomado de YORIS *et al.* (1997).

2.1.1. Marco estructural regional

La Cuenca de Maracaibo está afectada por numerosos eventos tectónicos que han controlado su configuración y tendencias estructurales. Varios autores (MARESH 1974, PINDELL *et al.* 1988, ROSS & SCOTSE 1988 *en* OSTOS 1990) le han atribuido un control directo con el origen y evolución de la placa Caribe. Entre el sistema de arco de islas a lo largo del margen Pacífico de Centro y Suramérica y el activo límite de placas de movimiento lateral-dextral presente a todo lo largo de la costa caribeña de Suramérica, se traza un complicado límite de placas. La Cuenca de Maracaibo está localizada dentro de una amplia zona de deformación activa, siendo una cuña litosférica triangular del noroeste del continente Sudamericano que está “escapando” activamente hacia el norte por encima de la delgada corteza del Mar Caribe a lo largo de las zonas de falla dextral de Boconó y sinestral de Santa Marta-Bucaramanga (LUGO & MANN 1995) (Fig. 7).

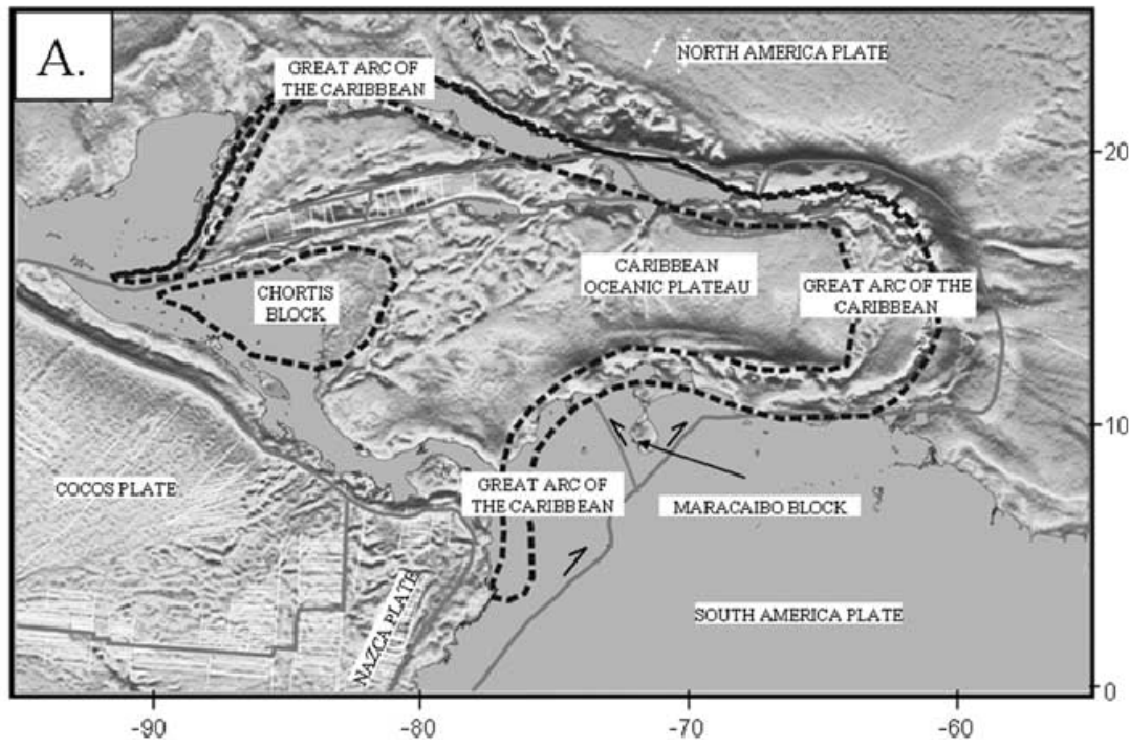


Figura 7. Mayores placas tectónicas del área caribeña destacándose el Bloque Triangular de Maracaibo, limitado por el sistema de fallas de Boconó, Bucarananga-Santa Marta y Oca-Ancón.

Tomado de ESCALONA & MANN (2002).

Según LUGO & MANN (1995), de manera general, la Cuenca de Maracaibo es un sinclinal que contiene varios kilómetros de rocas sedimentarias no metamorizadas del Jurásico hasta el Holoceno. A continuación son descritos los principales eventos tectónicos que afectaron y controlaron la estructura y sedimentación al norte de Venezuela, en especial de la Cuenca de Maracaibo, desde el Triásico hasta el Holoceno:

1.-) **Triásico-Jurásico:** Todos los modelos de evolución de la tectónica del norte de Venezuela tienen en común que se inician con la apertura continental durante el Jurásico, es decir, la separación de Norte y Sudamérica y la formación de un margen pasivo tipo Atlántico al norte de Sudamérica. Este período de tiempo está representado por un régimen extensional que se manifiesta en la cuenca como grabens y semigrabens de orientación NNE-SSO (asociados al período de *rifting*), como consecuencia de este evento se produce la depositación de sedimentos de la Formación La Quinta y posteriormente los sedimentos

continentales de la Formación Río Negro en el Cretácico Temprano. El origen de este sistema de grabens pudo también haber sido durante la formación del Arco de Mérida, para el cual las fallas principales de Icotea, Pueblo Viejo, Tigre, Valera, Carache de orientación NNE-SSO actuaron como límites entre los bloques tectónicos (LUGO 1991).

2-.) **Cretácico:** Durante el Cretácico Temprano, según LUGO (1991), la cuenca experimenta una subsidencia termal hasta el Aptiense que culmina con la sedimentación de la Formación Río Negro. A lo largo de este período se tiene una transgresión regional que cubre completamente la plataforma de Maracaibo. La litología es principalmente carbonática de mar poco profundo lo que indica que estas rocas se formaron en un margen pasivo (AUDEMARD 1991). El carácter transgresivo de la Cuenca de Maracaibo se debió mayormente a la subsidencia asociada a la carga sedimentaria en la plataforma, pero en el Cretácico Tardío (Campaniense-Maastrichtiense) comienza un período regresivo representado por los depósitos de la Formación Colón (LUGO 1991). OSTOS (1990) menciona que el ciclo regresivo en la Cuenca de Maracaibo es producto de la colisión del arco de islas del Caribe contra el bloque Sebastopol afectando la esquina noroeste de Suramérica.

3-.) **Paleoceno – Eoceno:** Durante este lapso de tiempo la Placa del Caribe se desplaza en dirección al este, producto de la colisión del arco de islas de las Bahamas contra la parte norte de la placa del Caribe, lo que generó una rotación en sentido horario de los terrenos transpresionales de Venezuela (OSTOS 1990). La migración de estos terrenos transpresionales hacia el este, generó el desarrollo diacrónico de cuencas *foredeep* perisuturales a lo largo del norte de Suramérica, por lo que la sedimentación y la distribución de las unidades sedimentarias hacia el norte y noreste de Venezuela estuvo controlada por la subsidencia de estas cuencas (OSTOS 1990). Según LUGO (1991), la secuencia de eventos en este período puede ser resumida de la siguiente manera:

✓ Desarrollo de una cuenca *flysch* de orientación NO-SE en la zona noreste de la cuenca durante el Paleoceno. El transporte tectónico producido por el emplazamiento de las napas sobrecarga la corteza e induce su flexura.

✓ Migración de la cuenca *foreland* hacia el suroeste, ubicándose sobre la zona de “cuello de botella” del actual Lago de Maracaibo.

✓ Durante el Eoceno Medio, por ser oblicuo el emplazamiento hacia el sur en el margen continental estable se produce la migración de la cuenca *foreland* y su *foredeep* hacia el sur-sureste.

✓ Estabilidad en la parte norte del lago en el Mioceno Tardío, progradando las primeras molasas hacia el suroeste.

✓ La etapa final revela condiciones de estabilidad en el área noreste del Lago de Maracaibo donde dominan condiciones marinas normales y hacia el sur de la cuenca se presentan deltas progradantes hacia el suroeste.

4-.) **Eoceno Tardío – Oligoceno:** Según LUGO (1991) este período se caracteriza por un régimen transpresivo que tiene como sus mayores evidencias las estructuras en flor positivas presentes a lo largo de las zonas de fallas de Icotea y Pueblo Nuevo, además de fallas extensionales *en echelon* NO-SE y estructuras compresionales *en echelon* NE-SO. Durante este período otro evento predominante es representado por el levantamiento de la Sierra de Perijá, para la cual SHAGAM *et al.* (1984) en LUGO (1991) en base a huellas de fisión determinó que la historia de levantamiento comienza en el Oligoceno Tardío en su parte centro-norte, posteriormente al norte y finalmente al sur para conectarse con el levantamiento andino venezolano. De acuerdo a LUGO (1991), el levantamiento de los Andes y Perijá se debe a la subducción Caribe-Nazca, el *foredeep* de Perijá asociado al levantamiento migró de oeste a suroeste del Lago de Maracaibo y posee su frente de corrimiento con vergencia al este.

5-.) **Mioceno – Plioceno:** LUGO (1991) interpreta para el período Mioceno Medio - Plioceno, posterior a un período de quietud y erosión de la Cuenca de Maracaibo, un incremento de la transpresión (hacia el norte), a lo largo de las fallas de Icotea y Pueblo

Viejo, con una componente compresional mayor que reactiva las estructuras existentes. Durante este período en la depresión de Táchira se une la Sierra de Perijá con Los Andes de Mérida que había iniciado un leve levantamiento en el Oligoceno.

6.-) **Plioceno-Pleistoceno:** Finalmente entre el Plioceno-Pleistoceno ocurre el principal levantamiento en la zona central de Los Andes de Mérida. Este período es atribuido a compresión E-O que resulta en los fallamientos y plegamientos de orientación N-S en la Sierra de Perijá y las zonas oriental y occidental del Lago de Maracaibo que correspondan a esta edad (LUGO 1991).

La Cuenca de Maracaibo está enmarcada por tres alineamientos orogénicos mayores: la Sierra de Perijá al oeste, los Andes de Mérida al sureste y la Serranía de Trujillo al este; este marco se completa con el sistema de falla de Oca en el norte que aparentemente separa a la Cuenca de Maracaibo del Golfo de Venezuela. En el área comprendida entre estos elementos estructurales mayores se desarrolla un amplio sinclinorio que integra estructuralmente la Cuenca de Maracaibo (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980) (Fig. 8).

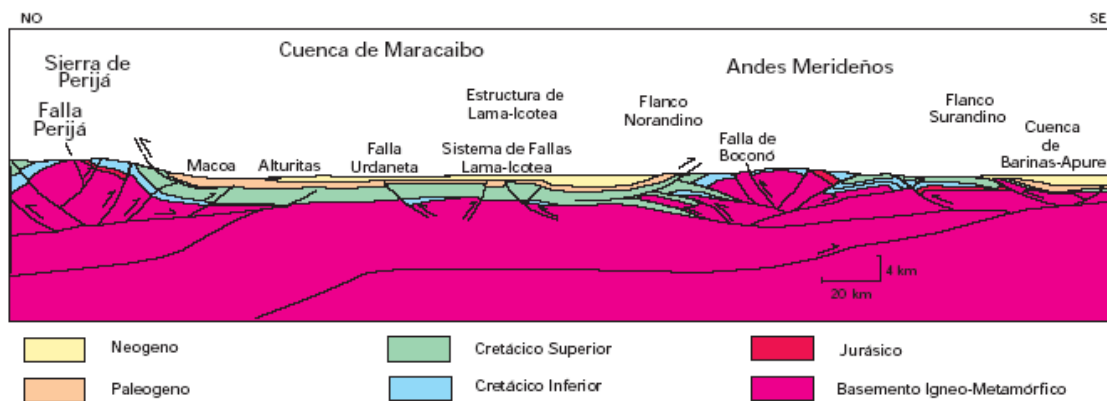


Figura 8. Corte estructural NO-SE de la Cuenca de Maracaibo desde los Andes de Mérida hasta la Sierra de Perijá. Tomado de YORIS *et al.* (1997).

La dirección de las fallas y ejes de anticlinales más importantes observadas dentro de la cuenca tienen una fuerte componente norte, pudiendo ser norte-noreste y son subparalelos a la Sierra de Perijá. Los principales alineamientos con esta tendencia, mencionados de

noroeste a sureste son el alineamiento La Paz – Mara - El Moján, la falla de Icotea y la falla de Pueblo Viejo, entre otras (Fig. 9). Una característica de la Cuenca de Maracaibo es la asociación de anticlinales con fallamientos en la cresta o cercanos a esta, completando su patrón con fallas de un sistema transversal de orientación ONO-ESE u oeste-este. La interacción de ambos sistemas de fallas en las zonas de fracturamiento acentuado, los levantamientos topográficos están provocados por estructuras de *horst* o de bloques levantados tipo domos (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

En la parte occidental de la cuenca predominan los anticlinales sobre las fallas, generalmente son domos alargados en sentido norte-sur, fallados en la cresta y cerca de ésta, con buzamientos marcados al sur y al norte. El alineamiento más importante de esta zona de la cuenca es el anticlinal La Paz – Mara – El Moján y tiene uno de los mayores relieves de origen estructural de la misma, está constituido por dos anticlinales asimétricos alargados conocidos respectivamente como La Paz y Mara, de orientación aproximada N20-40° E , con mayor buzamiento en el flanco oriental. Hacia el sur del alineamiento La Paz – Mara - El Moján se encuentra el alineamiento La Concepción cuyas características estructurales son similares a las del primero, además de presentar estructura en flor (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

La falla de Icotea es la más larga del área del Lago de Maracaibo, con un área mayor a 130 km de longitud. El desplazamiento vertical muestra una división “tipo tijera” hacia el norte a partir de una zona cercana al centro del lago y culmina al norte en una estructura de “cola de caballo”.

La falla de Pueblo Viejo es subparalela a la falla de Icotea, pero su comportamiento a lo largo del tiempo geológico ha sido más complejo, presentando inversiones en diversos períodos. A lo largo de ambas fallas pueden ser interpretadas a partir de perfiles sísmicos estructuras en flor (LUGO 1991).

El movimiento transcurrente tiene tendencia a desarrollar componentes verticales, que explican las formaciones de domos entre el enrejado de fallas de sistemas perpendiculares entre sí, además de ser fundamentales para la formación de estructuras en flor, para la cual

es necesario que los planos de fallas tengan forma convexa. Para la Cuenca de Maracaibo esa forma particular en los planos de falla están determinados principalmente por la naturaleza heterogénea del material que se fractura (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).



Figura 9. Orientación del alineamiento La Paz – Mara – El Moján y de las fallas de Icotea, Urdaneta y Pueblo Viejo entre otras. Tomado de CHACÍN (2003).

2.2. GEOLOGÍA LOCAL

2.2.1. Descripción de los núcleos

Se realizaron las descripciones sedimentológicas correspondientes a dos núcleos del centro de la Cuenca del Lago de Maracaibo referidas a los pozos A y B respectivamente, los cuales abarcan las formaciones geológicas pertenecientes al Grupo Cogollo (formaciones Apón, Lisure y Maraca) y la Formación La Luna en base al orden de sedimentación de base a tope. Es importante señalar que la descripción de estos núcleos fue tomada del trabajo efectuado por PINTO *et al.* (2008), los cuales fueron los investigadores responsables de llevar a cabo todos los análisis sedimentológicos pertinentes tales como: descripciones macroscópicas con la finalidad de determinar todos los litotipos presentes en estos núcleos, texturas, contenido fósil, facies, ambientes sedimentarios y estratigrafía secuencial, al igual que la descripción microscópica a través del análisis de las secciones finas tomadas en dichos pozos.

La descripción detallada de cada una de las columnas estratigráficas puede ser apreciada en el Apéndice I. En las siguientes tablas (Tabla 1 y Tabla 2) son presentadas de forma resumida las características sedimentológicas más resaltantes de ambos núcleos estudiados, entre los que podemos destacar los espesores evaluados, las principales litofacies presentes en las formaciones estudiadas y los ambientes depositacionales asociados a los mismos:

Tabla 1. Resumen de las principales características sedimentológicas del Pozo A.

Unidades Litoestr.	Prof. (Pies-metros)	Espesor (Pies-metros)	Litofacies presentes	Ambientes depositacionales
Formación La Luna	15.180' (4.627 m) 15.360' (4.682 m)	180' (54,8 m)	Lodolita/caliza lodosa/caliza lodogranular bioclástica pelágica con fósiles planctónicos/nectónicos	Submarea, rampa media a cuenca.
Formación Maraca	15.360' (4.682 m) 15.396' (4.693 m)	36' (10,97 m)	Caliza lodosa/caliza lodogranular/caliza granular/biomicrota esparcida/biomicrota empaquetada bioclástica con abundantes clastos de moluscos y equinodermos	Submarea, puede formar bajíos y bancos de arena, rampa interna a externa
Formación Lisure	15.396' (4.693 m)	416' (127 m)	Lodolita calcárea laminada/caliza lodosa, bioturbada o no Heterolítica: lodolita-limolita-arenisca de grano muy fino	Submarea, por encima del tren de oleaje de tormenta, rampa media a cuenca. Intermarea, llanura de marea, rampa interna.

Formación Lisure	15.812' (4.820 m)		Limolita/arenisca cuarzosa (con o sin glauconita y/o carbonato)	Submarea, por encima de las bases de oleaje de tormenta y de periodos de calma, rampa interna a externa.
			Caliza lodosa/caliza lodogranular bioclástica con algas, intraclastos, ooides y/o oncoides	Submarea, lagoon, rampa interna.
			Lodolita/caliza lodosa nodular intercalada con lodolita calcárea	Submarea, protegido a agitado, por encima de las bases de oleaje de tormenta y de periodos de calma, rampa interna a externa.
			Dolomía (cristalina, localmente arcillosa) y lodolita dolomitizada	Intermedia, rampa interna.
			Caliza lodogranular/caliza granular oolítica (puede ser bioclástica)	Submarea, somero, agitado, bajos y bancos de arena, rampa interna a media.
			Lodolita/caliza lodosa/caliza lodogranular/caliza granular bioclástica con peloides	Submarea, rampa media a externa
			Caliza lodosa/caliza lodogranular/caliza granular/biomicrita esparcida/ Biomicrita empaquetada bioclástica con abundantes clastos de moluscos y equinodermos	Submarea, puede formar bajos y bancos de arena, rampa interna a externa
			Marga o caliza margosa	Submarea, rampa media a cuenca
Formación Apón	15.812' (4.820 m)	262,99' (80,15 m)	Lodolita calcárea laminada/caliza lodosa, bioturbada o no	Submarea, por encima del tren de oleaje de tormenta, rampa media a cuenca.
			Caliza lodosa/caliza lodogranular bioclástica con algas, intraclastos, ooides y/o oncoides	Submarea, lagoon, rampa interna.
			Caliza lodosa/caliza lodogranular/biomicrita esparcida/biomicrita empaquetada bioclástica con foraminíferos orbitolínidos/miliólidos	Submarea, lagoon, marino restringido/abierto, rampa interna.
			Lodolita/caliza lodosa nodular intercalada con lodolita calcárea	Submarea, protegido a agitado, por encima de las bases de oleaje de tormenta y de periodos de calma, rampa interna a externa.
			Dolomía (cristalina, localmente arcillosa) y lodolita dolomitizada	Intermedia, rampa interna.
			Lodolita/caliza lodosa/caliza lodogranular/caliza granular bioclástica con peloides	Submarea, rampa media a externa
			Caliza lodosa/caliza lodogranular/caliza granular/biomicrita esparcida/ Biomicrita empaquetada bioclástica con abundantes clastos de moluscos y equinodermos	Submarea, puede formar bajos y bancos de arena, rampa interna a externa
Formación Río Negro	16.075' (4.900 m)	5,5' (1,67 m)	Arenisca cuarzosa conglomerática	Continental
	16.080' (4.902 m)		Conglomerado guijarroso con matriz arenosa	Continental
Basamento	16.097' (4.906 m)	14,93' (4,55 m)	Metalodolita	Metamórfico
	16.112' (4.911 m)		Metarenisca	

Tabla 2. Resumen de las principales características sedimentológicas del Pozo B.

Unidades Litoestr.	Prof. (Pies-metros)	Espesor (Pies-metros)	Litofacies presentes	Ambientes depositacionales
Formación La Luna	13.707' (4.178 m)	131' (39,92 m)	Lodolita/caliza lodosa/caliza lodogranular bioclástica pelágica con fósiles planctónicos/nectónicos	Submarea, rampa media a cuenca.
	13.838' (4.218 m)		Marga o caliza margosa	Submarea, rampa media a cuenca
Formación Maraca	13.838' (4.218 m)	57,33' (17,47 m)	Caliza lodosa/caliza lodogranular bioclástica con algas, intraclastos, ooides y/o oncooides	Submarea, lagoon, rampa interna.
			Caliza lodogranular/caliza granular oolítica (puede ser bioclástica)	Submarea, somero, agitado, bajíos y bancos de arena, rampa interna a media.
	13.895' (4.235 m)		Caliza lodosa/caliza lodogranular/caliza granular/biomícrita esparcida/ Biomícrita empaquetada bioclástica con abundantes clastos de moluscos y equinodermos	Submarea, puede formar bajíos y bancos de arena, rampa interna a externa
Formación Lisure	13.911' (4.240 m)	469,5' (143,10 m)	Brecha autoclástica	Intermarea a submarea, rampa interna a media.
			Lodolita calcárea laminada/caliza lodosa, bioturbada o no	Submarea, por encima del tren de oleaje de tormenta, rampa media a cuenca.
			Heteroolítica: lodolita-limolita-arenisca de grano muy fino	Intermarea, llanura de marea, rampa interna.
			Limolita/arenisca cuarzosa (con o sin glauconita y/o carbonato)	Submarea, por encima de las bases de oleaje de tormenta y de periodos de clama, rampa interna a externa.
			Caliza lodosa/caliza lodogranular bioclástica con algas, intraclastos, ooides y/o oncooides	Submarea, lagoon, rampa interna.
			Caliza lodosa/caliza lodogranular/biomícrita esparcida/biomícrita empaquetada bioclástica con foraminíferos orbitolínidos/miliólidos	Submarea, lagoon, marino restringido/abierto, rampa interna.
			Lodolita/caliza lodosa nodular intercalada con lodolita calcárea	Submarea, protegido a agitado, por encima de las bases de oleaje de tormenta y de periodos de clama, rampa interna a externa.
			Dolomía (cristalina, localmente arcillosa) y lodolita dolomitizada	Intermarea, rampa interna.
			Caliza lodogranular/caliza granular oolítica (puede ser bioclástica)	Submarea, somero, agitado, bajíos y bancos de arena, rampa interna a media.
			Lodolita/Caliza lodosa/caliza lodogranular/caliza granular bioclástica con peloides	Submarea, rampa media a externa
			Caliza lodosa/caliza lodogranular/caliza granular/biomícrita esparcida/ Biomícrita empaquetada bioclástica con abundantes clastos de moluscos y equinodermos	Submarea, puede formar bajíos y bancos de arena, rampa interna a externa
Formación Apón	14.380' (4.383 m)	275,5' (83,97 m)	Lodolita calcárea laminada/caliza lodosa, bioturbada o no	Submarea, por encima del tren de oleaje de tormenta, rampa media a cuenca.
			Caliza lodosa/caliza lodogranular bioclástica con algas, intraclastos, ooides y/o oncooides	Submarea, lagoon, rampa interna.
			Caliza lodosa/caliza lodogranular/biomícrita esparcida/biomícrita empaquetada bioclástica con foraminíferos orbitolínidos/miliólidos	Submarea, lagoon, marino restringido/abierto, rampa interna.
			Lodolita/caliza lodosa nodular intercalada con lodolita calcárea	Submarea, protegido a agitado, por encima de las bases de oleaje de

				tormenta y de periodos de calma, rampa interna a externa.
			Dolomía (cristalina, localmente arcillosa) y lodolita dolomitizada	Intermarea, rampa interna.
			Lodolita/caliza lodosa/caliza lodogranular/caliza granular bioclástica con peloides	Submarea, rampa media a externa
	14.656' (4.467 m)		Caliza lodosa/caliza lodogranular/caliza granular/biomicrota esparcida/Biomicrota empaquetada bioclástica con abundantes clastos de moluscos y equinodermos	Submarea, puede formar bajíos y bancos de arena, rampa interna a externa
Formación Río Negro	14.656' (4.467 m)	5' (1,52 m)	Arenisca cuarzosa conglomerática	Continental
	14.661' (4.469 m)		Conglomerado guijarroso con matriz arenosa	Continental
Basamento	14.677' (4.474 m)	19' (5,79 m)		
	14.696' (4.479 m)		Metarenisca	Metamórfico

Las litologías fueron clasificadas de acuerdo a DUNHAM (1962) y EMBRY & KLOVAN (1971) y las equivalencias de las rocas propuestas por estos autores son dadas en la Tabla 3. A partir de las principales descripciones texturales de las rocas presentes en cada una de las formaciones geológicas analizadas, se tiene en el núcleo A una distribución porcentual que puede ser visualizado en la Tabla 4, y según los esquemas de clasificación utilizados se desprende que en este núcleo la Formación Apón presenta una amplia variedad de litologías predominando fundamentalmente: lodolitas-calizas lodosas (21%), calizas lodogranulares (15%), calizas lodosas (15%), calizas lodosas-calizas lodogranulares (13%), lodolitas (13%) y dolomías (9%).

La Formación Lisure tiene la mayor variabilidad litológica de todas las unidades litoestratigráficas analizadas por cuanto tiene una mezcla de litologías carbonáticas y clásticas. Predominan las calizas lodogranulares (24%), areniscas glauconíticas (16%), calizas lodosas (14%), calizas lodosas-calizas lodogranulares (8%), lodolitas (7%) y heterolíticos (6%), entre otros.

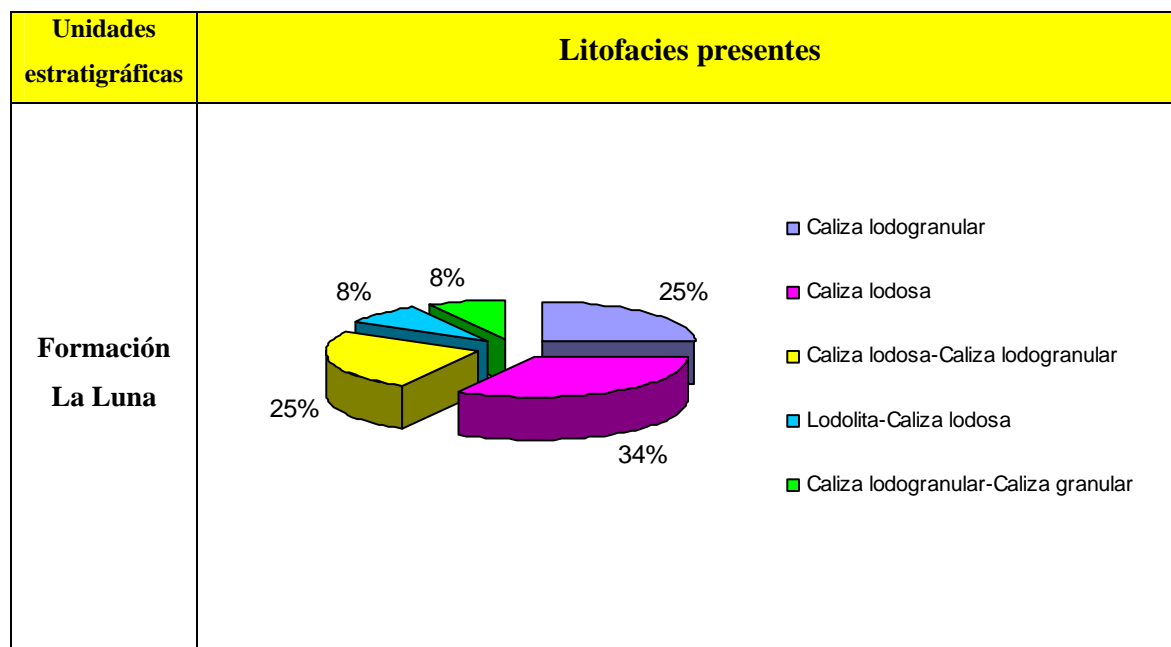
En la Formación Maraca que fue la unidad de menor espesor analizado prevalecen las biomicrotas empaquetadas (44%), biomicrotas esparcidas (14%), calizas lodogranulares (14%), calizas lodosas-calizas lodogranulares (14%) y calizas lodogranulares-calizas granulares (14%). Por otra parte la Formación La Luna suprayacente a la Formación

Maraca presenta como litologías dominantes a las calizas lodosas (34%), calizas lodosas-calizas lodogranulares (25%), calizas lodogranulares (25%), lodolitas-calizas lodosas (8%) y calizas lodogranulares-calizas granulares (8%).

Tabla 3. Equivalencias de rocas carbonáticas según esquemas de clasificación de DUNHAM (1962) y EMBRY & KLOVAN (1971).

Esquema de clasificación	Nombre	Equivalencia
DUNHAM (1962)	Mudstone	Lodolita
	Wackstone	Caliza lamosa
	Packstone	Caliza lodogranular
	Grainstone	Caliza granular
	Boundstone	Biolita
EMBRY & KLOVAN (1971)	Floatstone	Biomicrota esparcida
	Rudstone	Biomicrota empaquetada

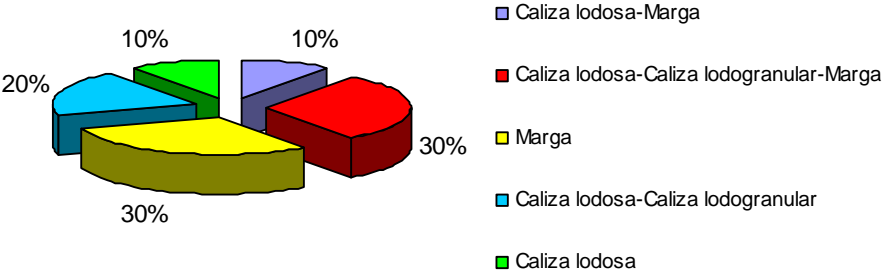
Tabla 4. Distribución porcentual de tipos de rocas presentes en el núcleo A.



<p>Formación Maraca</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Biomicrita empaquetada ■ Biomicrita esparcida ■ Caliza lodogranular ■ Caliza lodosa-Caliza lodogranular ■ Caliza lodogranular-Caliza granular
<p>Formación Lisure</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Caliza lodogranular ■ Lodolita ■ Caliza lodosa-Caliza lodogranular ■ Caliza lodosa ■ Caliza Granular ■ Arenisca Calcareo ■ Lodolita Calcareo ■ Arenisca Glauconítica ■ Caliza lodogranular-Caliza granular ■ Lodolita-Caliza lodosa ■ Heterolítico ■ Limolita
<p>Formación Apón</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ Caliza lodogranular ■ Lodolita-Caliza lodosa ■ Caliza lodosa ■ Caliza lodosa-Caliza lodogranular ■ Caliza granular ■ Lodolita ■ Dolomia ■ Arenisca Calcareo ■ Caliza lodogranular-Caliza granular

En la Tabla 5 se puede apreciar la distribución porcentual de las principales litofacies existentes para las diversas formaciones estudiadas pertenecientes al núcleo B, a partir de las principales descripciones texturales de acuerdo a los esquemas de clasificación anteriormente señalados. Para este núcleo podemos indicar que la Formación Apón tiene la siguiente composición litológica: calizas lodosas (21%), lodolitas-calizas lodosas (15%), lodolitas (11%), calizas lodogranulares (9%), dolomías (9%), biomicritas empaquetadas (8%), biomicritas esparcidas (7%), entre otros. En la Formación Lisure, similar al núcleo A presenta una amplia variabilidad de litologías donde predominan fundamentalmente: calizas lodogranulares (29%), calizas granulares (13%), lodolitas (13%), lodolitas-calizas lodosas (10%), dolomías (8%), calizas lodosas (7%) y lodolitas calcáreas (7%). Es importante destacar que en comparación al núcleo A, en esta Formación el número de areniscas disminuye considerablemente. Por otro lado la Formación Maraca tiene como principales litofacies a las calizas granulares (43%), calizas lodosas-calizas lodogranulares (29%), biomicritas empaquetadas (14%) y las calizas lodogranulares-calizas granulares (14%). La Formación La Luna presenta la siguiente distribución de litologías: margas (30%), calizas lodosas-calizas lodogranulares-margas (30%), calizas lodosas-calizas lodogranulares (20%), calizas lodosas-margas (10%) y calizas lodosas (10%).

Tabla 5. Distribución porcentual de tipos de rocas presentes en el núcleo B.

Unidades estratigráficas	Litofacies presentes
Formación La Luna	 <p> ■ Caliza lodosa-Marga ■ Caliza lodosa-Caliza lodogranular-Marga ■ Marga ■ Caliza lodosa-Caliza lodogranular ■ Caliza lodosa </p>

<p>Formación Maraca</p>	<p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Biomicrita empaquetada ■ Caliza granular ■ Caliza lodogranular-Caliza granular ■ Caliza lodosa-Caliza lodogranular </p>
<p>Formación Lisure</p>	<p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Caliza granular ■ Caliza lodogranular ■ Lodolita Calcarea ■ Heterolítico ■ Caliza lodogranular-Caliza granular ■ Caliza lodosa ■ Dolomia ■ Lodolita ■ Lodolita-Caliza lodosa ■ Caliza lodosa-Caliza lodogranular ■ Arenisca Galuconitica </p>
<p>Formación Apón</p>	<p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Caliza granular ■ Dolomia ■ Lodolita-Caliza lodosa ■ Lodolita calcárea ■ Lodolita ■ Caliza lodosa-Caliza lodogranular ■ Caliza lodogranular-Caliza granular ■ Caliza lodosa ■ Caliza lodogranular ■ Biomicrita empaquetada ■ Biomicrita esparcida </p>

2.2.2. Bioestratigrafía

De acuerdo a estudios bioestratigráficos en foraminíferos, palinología y nanoplancton cálcico efectuados por CABRERA *et al.* (2008) en el núcleo A, se pudo determinar para la Formación Apón una edad de Aptiense tardío desde los 16.076' hasta los 15.815' 6", ya que desde esta última profundidad hasta los 15.812', es decir, los tres últimos pies al tope de esta Formación se tiene una edad de Albiense. Esta edad de Aptiense tardío fue determinada por la aparición de los foraminíferos béticos *Choffatella dicipiens* hacia la base del núcleo y la *Orbitolina texana* hacia la parte media superior de la Formación, el primero de ellos arrojando una edad aproximada de 120 Ma mientras que el segundo arroja una edad de 118 Ma respectivamente.

Por su parte la Formación Lisure la cual va desde los 15.812' hasta los 15.396' presenta una edad de Albiense el cual fue determinado desde los 15.815' 6" con la aparición del palinomorfo *Xenascus ceratioides* el cual presenta una edad de 112 Ma y el alga *Neomeris cretacea* de 99,6 Ma. La Formación Maraca la cual abarca las profundidades que van desde los 15.396' hasta los 15.360', de acuerdo a CABRERA *et al.* (2008) presentan un hiatus de posiblemente 4 Ma? hacia el tope de dicha Formación entre los 15.383' y los 15.359' determinado por los fósiles *Neomeris cretacea* de 99,6 Ma (15.383') y el foraminífero planctico *W. baltica* de aproximadamente 95 Ma. La Formación Maraca solamente refleja una edad de Albiense hacia su base, es decir, entre los 15.396' y los 15.383'. Este hiatus ha sido reportado también entre la Formación Maraca y la Formación La Luna en la parte noroccidental y central de la Cuenca de Maracaibo como una discordancia fácilmente reconocible desde el punto de vista bioestratigráfico de acuerdo a ERLICH *et al.* (1999).

La Formación La Luna (15.360' – 15.180') por otra parte va desde una edad de Cenomaniense tardío hasta el Santoniense, entre los 95 Ma y los 83,5 Ma, determinados por los foraminíferos plácticos *Whiteinella baltica* y *Dicarinella assymetryca* respectivamente. De igual forma dentro de esta Formación se identificaron un conjunto de nanoplanctons entre los que podemos destacar: *Eprolitis septanarius* (88,8 Ma), *Micula*

decussata/stauroph y *Reinhardtites anthophorus* (85,5 Ma), *Eprolitis floralis* (84,7 Ma) y *Uniplanarius gothicus* (84,5 Ma), en orden estratigráfico ascendente.

De acuerdo a los investigadores HAMBALEK & MURAT (1994), los cuales realizaron el estudio sedimentológico y bioestratigráfico del núcleo B, plantean el reconocimiento de los tres miembros de la Formación Apón en el núcleo B: Miembro Tibú, Miembro Guaimaros y el Miembro Piché. Por la presencia de *Cylindroporella sugdeni* y *Choffatella decipiens* estos autores le asignan una edad de Aptiense al Miembro Tibú. Al Miembro Guáimaros se le asignó también una edad de Aptiense por su posición estratigráfica en relación a los miembros supra e infryacentes, mientras que la presencia de la *Cylindroporella sugdeni* dentro de la parte inferior del Miembro Piché sugiere una edad Aptiense para su base. La presencia de foraminíferos grandes del grupo de la *Orbitolina* sp. sugiere una edad Aptiense a Cenomaniense hacia la base de este Miembro. Según estos autores, del análisis palinológico a partir de la profundidad de 14.453' (parte media del Miembro), la presencia de los géneros *Inaperturopollenites* sp., *Corollina* sp., *Elateroplicitis* sp., y las especies *Corollina brasiliensis*, permiten inferir una edad Albiense/Cenomaniense sin diferenciar. Por lo antes señalado, el Miembro Piché se extiende del Aptiense hasta el Albiense – Cenomaniense (sin diferenciar).

La presencia de *Thaumatoporella parvovesiculifera* indica edad Albiense hacia el tope de la Formación Lisure. Por palinología, la presencia de los géneros *Inaperturopollenites* sp., *Corollina* sp., *Elateroplicitis* sp. y la especie *Corollina brasiliensis* implica para la Formación Lisure una edad Albiense/Cenomaniense sin diferenciar. Hacia el tope, los géneros *Deltoidospora* sp. e *Inaperturopollenites* sp., entre otros, aunado a la ausencia de esporomorfos tipo *Afropollis* sp., *Elateroplicitis* sp., se infiere una edad Cenomaniense?. Por lo antes expuestos, la edad probable para la Formación Lisure es Albiense-Cenomaniense (HAMBALEK & MURAT 1994).

Hacia la base de la Formación Maraca, según los análisis palinológicos, con la presencia de los géneros *Deltoidospora* sp. e *Inaperturopollenites* sp., entre otros, aunado a

la ausencia de esporomorfos tipo *Afropollis* sp., *Elateroplicitis* sp., los investigadores HAMBALÉK & MURAT (1994) infirieron una edad Cenomaniense?.

En base a la identificación de la fauna pláncica presente en la sección del núcleo B, se le asignó una edad de Turoniense Medio a Tardío a la sección de la Formación La Luna, dentro de la Zona de *Helvetoglobotruncana helvetica* y base de la Zona de *Marginotruncana sigali* (HAMBALÉK & MURAT 1994).

En el Apéndice II pueden ser observadas las cartas bioestratigráficas con las edades determinadas, acompañadas de las columnas estratigráficas generadas tanto para el Pozo A como para el Pozo B.

2.3. TRABAJOS PREVIOS

A continuación se muestran de forma sucinta algunos de los trabajos estratigráficos, sedimentológicos y geoquímicos más relevantes llevados a cabo en la zona de estudio:

LIDDLE (1946) describe en detalle la sección tipo de la Formación La Luna.

ROD & MAYNC (1954) muestran la estratigrafía del Cretácico, a través de columnas litoestratigráficas y correlaciones de las principales localidades.

RENZ (1959) efectúa el reconocimiento de tres miembros de la Formación La Luna: La Aguada, Chejendé y Timbetes, en los estados Lara y Trujillo, y de la misma manera introduce el Miembro Ftanita del Táchira.

FORD & HOUBOLT (1963) efectúa el estudio detallado de las microfácies en unidades litológicas del Cretácico en el Occidente de Venezuela.

JENKYNS (1980) realiza estudios sobre ambientes anóxicos del Cretácico. Ubica la Formación La Luna dentro de las facies pelágicas epíricas o mares continentales.

MARTÍNEZ R. (1980) realiza el estudio de la sedimentología y los ambientes sedimentarios de la sección inferior de calizas cretácicas en el Centro Lago, Río Negro y Quebrada Santa Rosa del Río Apón (estado Zulia).

MARTÍNEZ J. (1980) realiza el análisis sedimentológico de los ambientes sedimentarios de la sección superior de calizas cretácicas en Centro Lago, Río Negro y Quebrada Santa Rosa del Río Apón (estado Zulia).

BARTOK *et al.* (1981) realizan un estudio sedimentológico, diagenético y petrofísico del Grupo Cogollo en la Cuenca de Maracaibo utilizando información de superficie y de núcleos.

JORDAN & SCHERER (1982) efectúan el estudio acerca del grado de madurez, origen y distribución del kerógeno de la Formación La Luna en su sección tipo.

VIERMA (1984) realiza una correlación a partir de datos geoquímicos, isotópicos y biomarcadores de crudos y rocas madres en la cuenca de Maracaibo.

TALUKDAR *et al.* (1986) realizan un estudio sobre la generación y la migración de los hidrocarburos en la Cuenca de Maracaibo.

BOESI *et al.* (1988) realizan estudios estratigráficos del flanco Norandino en el sector Lobatera - El Vigía.

KUMMEROW (1988) elabora un análisis orientado a describir e interpretar la litología, la historia de depositación y la diagénesis de las rocas carbonáticas, con el objeto de determinar la calidad de yacimiento en un núcleo del centro de la Cuenca de Maracaibo.

GALEA-ÁLVAREZ (1989) estudia las microfacies, la edad y el ambiente de sedimentación en la Formación La Luna en el flanco norandino.

MÉNDEZ (1989a) realiza estudios de la Formación La Luna en donde propone una cuenca anóxica en una plataforma de aguas someras.

MÉNDEZ (1989b) establece un modelo depositacional para el Grupo Cogollo en un ambiente de plataforma interna en donde las litofacies y biofacies poseen una gran continuidad lateral, derivadas de ambientes depositacionales protegidos y separados de la cuenca profunda por un margen externo.

ANDARA (1990) realiza estudios geoquímicos y evidencias de migración primaria sobre las rocas madres de la Formación La Luna y Apón en los pozos del campo Las Villas, estado Zulia.

KUMMEROW (1990) integra la información sedimentológica obtenida de los análisis de los núcleos cretácicos de seis pozos del centro de la Cuenca de Maracaibo.

AZPIRITXAGA (1991) analiza los ciclos depositacionales de los carbonatos del Grupo Cogollo controlados por el influjo de siliciclásticos y los cambios relativos del nivel del mar en la Cuenca de Maracaibo durante el Cretácico temprano.

TRIBOVILLARD *et al.* (1991) realizan estudios en la Formación La Luna en los Andes venezolanos, donde proponen un ambiente de sedimentación de condiciones anóxicas y corrientes ascendentes a lo largo de la costa noroeste de Suramérica.

STOUFER (1993) establece la distribución regional del Carbono Orgánico Total (COT) y fosfato de la Formación La Luna en la cuenca de Maracaibo.

BAPTISTA (1994) establece el ambiente de la Formación La Luna en base a foraminíferos, de igual manera establece litomicrofacies que se integran con parámetros geoquímicos para evaluar el potencial generador de hidrocarburo.

MURAT & AZPIRITXAGA (1995) efectúan un estudio de análisis secuencial a los carbonatos del Grupo Cogollo (Barremiense-Cenomaniense) de la Cuenca de Maracaibo mediante la descripción sedimentológica de núcleos y registros.

PARNAUD *et al.* (1995) proponen una historia geológica en el occidente de Venezuela y la asocian con una serie de tectonosecuencias depositacionales.

MONGENOT *et al.* (1996) estudian los elementos trazas como marcadores paleoambientales en la roca madre cretácica (Formación La Luna).

PEREZ-INFANTE *et al.* (1996) estudian los controles globales y locales que influenciaron la depositación de la Formación La Luna en Venezuela.

DAVIS & PRATT (1997) estudian la acumulación cretácica de metales trazas, carbono orgánico y fósforo en la Formación La Luna (Alpuf-6), y lo comparan con otras unidades cretácicas (Atlántico Norte) y con los sedimentos modernos para evaluar la fuente y división de metales en el proto-Caribe Cretácico.

ALBERDI-GENOLET & TOCCO (1999) realizan un estudio comparativo de metales trazas y geoquímica orgánica del Miembro Machiques y La Formación La Luna.

ERLICH *et al.* (1999a) efectúan la caracterización geoquímica de cambios climáticos y oceanográficos registrados en el Albiense superior-Maastrichtiense inferior en el occidente de Venezuela.

ERLICH *et al.* (1999b) realizan estudios geoquímicos y paleoambientales para determinar los ambientes depositacionales en el occidente de Venezuela durante el Cretácico Tardío.

ERLICH *et al.* (2000) explican el nacimiento y muerte del “Mar de La Luna” y el origen de las fosforitas del Miembro Tres Esquinas.

ZAPATA *et al.* (2000) efectúan la caracterización isotópica de la Formación La Luna (Turonense superior – Campaniense) en Mesa Bolívar y sección de Las Hernández, estados Mérida y Táchira.

GONZÁLEZ & SÁNCHEZ (2001) caracterizan geoquímica y radiométricamente dos secciones estratigráficas de la Formación La Luna (Las Delicias y La Ortiza) en el edo. Táchira.

MATA (2001) identifica por medio de análisis factorial tres asociaciones de especies químicas para la Formación La Luna en las secciones de La Ortiza y Las Delicias (estado Táchira), evaluando el comportamiento y distribución vertical de 34 especies químicas.

DISCEPOLA & RODRÍGUEZ (2002) realizan la caracterización geoquímica de la Formación La Luna, en las secciones Flor de Patria y San Pedro del Río, estados Trujillo y Táchira.

LO MÓNACO *et al.* (2002) efectúan un estudio de la distribución de elementos mayoritarios y trazas en la Formación La Luna en una sección del Cañón Maraca, estado Zulia.

BRALOWER & LORENTE (2003) estudian la paleogeografía y estratigrafía de la Formación La Luna y los sistemas depositacionales cretácicos.

DE ROMERO *et al.* (2003) efectúan un estudio integrado de bioestratigrafía de microfósiles calcáreos y estratigrafía de isótopos de carbono en la Formación La Luna.

REY *et al.* (2003) analizan las microfácies laminadas de la Formación La Luna en una sección del río San Miguel del estado Mérida.

ZAPATA *et al.* (2003) realizan un estudio integrado (bioestratigrafía, sedimentología y geoquímica) en las secciones Las Hernández y San Miguel de la Formación La Luna.

REY *et al.* (2004) estudian los cambios ambientales y climáticos durante el EAO3 en la Formación La Luna.

SOTO (2007) efectúa la caracterización quimioestratigráfica de cuatro secciones de la Formación La Luna con la finalidad de evaluar los cambios eustáticos del nivel del mar que pudieron afectar la sedimentación cretácica en el occidente de Venezuela, estableciendo relaciones estratigráficas y secuenciales utilizando geoquímica orgánica e inorgánica.

REY *et al.* (2009) estudian la ciclicidad a escala milimétrica en la Formación La Luna y su relación con los ciclos solares durante el Santoniense y su vínculo con el final del evento anóxico oceánico 3 (EAO3).

3. MARCO TEÓRICO

La quimioestratigrafía se fundamenta en la caracterización geoquímica de las secuencias sedimentarias, la subdivisión de estas secuencias en base a su comportamiento químico y la correlación de los estratos entre las secuencias estratigráficas analizadas empleando para ello el uso de diversos elementos químicos mayoritarios, minoritarios y trazas que tienen la particularidad de reflejar huellas geoquímicas diagnósticas. La geoquímica orgánica e inorgánica aporta invaluable información que corrobora las variaciones estratigráficas registradas sobre las formaciones geológicas, y proporciona también importante información acerca de los cambios climáticos y ciclos sedimentarios registrados en una cuenca sedimentaria.

A partir de este estudio se caracterizarán una gran variedad de litologías que van desde calizas y dolomías, en un gran porcentaje, hasta litologías tales como areniscas y lutitas, estas últimas muy comunes dentro de la Formación Lisure, con lo cual se obtendrán huellas geoquímicas diagnósticas de todas estas rocas en la parte central de la Cuenca de Maracaibo, lo cual permitirá hacer el estudio extensivo en el futuro hacia otras áreas de esta cuenca geológica, además de vincular las respuestas geoquímicas que se obtengan de cada una de las formaciones analizadas con los procesos sedimentarios que han ocurrido en el área. El método analítico de especial interés que será utilizado en este trabajo lo constituye la fluorescencia de rayos X por longitud de onda (FRX-LO), la cual es una de las principales técnicas analíticas en la determinación cuantitativa de la composición elemental de muestras de roca basada en la excitación de la muestra.

La intensidad producida por los rayos X secundarios es usada para determinar las concentraciones de los elementos presentes en la muestra ya que estos presentan longitudes de onda característicos de cada elemento químico. Para cuantificar estas concentraciones es necesario tener una calibración estándar del equipo que sirva como patrón de referencia, para lo cual previamente son efectuadas correcciones que permiten eliminar los errores instrumentales y los efectos de la matriz (ROLLINSON 1993).

Otra de las técnicas espectrométricas utilizadas en el estudio es la difracción de rayos X (DRX), cuya principal aplicación es la identificación de la composición mineralógica de una muestra cristalina con la cual se analizarán un gran número de muestras de roca del Grupo Cogollo y la Formación La Luna.

La caracterización de la materia orgánica de las rocas sedimentarias es uno de los principales objetivos de la geoquímica orgánica. Los métodos de pirólisis son los más utilizados para obtener información del potencial, madurez y tipo de roca madre en diferentes cuencas sedimentarias. Entre estas técnicas la pirólisis Rock-Eval ha sido ampliamente usada en la industria como un método estándar en la exploración petrolera. Este método es el análisis geoquímico orgánico más básico de la materia orgánica sedimentaria. El método está basado en un calentamiento constante de las muestras de roca para que los hidrocarburos desarrollados puedan ser monitoreados como una función de la temperatura. Así, el monitoreo en el laboratorio de los hidrocarburos liberados por un incremento constante de la temperatura provee una vía para obtener la cantidad de hidrocarburos generados relativo al potencial total para generar (NÚÑEZ-BETELU & BACETA 1994).

Los valores obtenidos a través de la pirólisis tales como S_1 (mg Hc/g roca), S_2 (mg Hc/g roca), S_3 (mg CO_2 /g roca) y T_{max} ($^{\circ}C$), junto a otros parámetros como el contenido de carbono orgánico total (% COT), índice de hidrógeno (IH) e índice de oxígeno (IO) son todos indicativos del nivel de madurez de la materia orgánica, el tipo o los tipos de materia orgánica y la cantidad de hidrocarburos ya producidos o que pueden ser producidos para una muestra de roca estudiada (LAFARGUE *et al.* 1998).

La geoestadística es una rama de la estadística aplicada que trata con fenómenos que se manifiestan en el espacio (y/o tiempo) y que poseen algún grado de continuidad o variabilidad ofreciendo la posibilidad de integrar los diferentes tipos de datos proveyendo un formalismo para codificarlos (inclusive los no numéricos), el cual a su vez considera la incertidumbre implícita en la información y la transfiere a la predicción final (GONZÁLEZ 1995).

Las técnicas de análisis estadísticos univariados y multivariados tienen aplicaciones en todos los campos científicos y particularmente en el área de la geoquímica han sido extensamente utilizados en los últimos años por innumerables investigadores. En este trabajo se tratarán algunos métodos estadísticos univariados y multivariados para el procesamiento de los datos con la finalidad de manejar la información química de la cual se dispone y utilizar estas medidas numéricas para su posterior interpretación.

Entre estos métodos tenemos a la estadística descriptiva consistente en la presentación de los datos a través de tablas y gráficas, además de la síntesis de datos por medio de descripciones numéricas, los diagramas de caja, los diagramas ternarios, los análisis de agrupaciones o dendrogramas, el análisis de factores, las funciones discriminantes y los perfiles de distribución, los cuales son representaciones gráficas de todas las variables químicas generadas con la profundidad.

En la caracterización geoquímica de las rocas también se incluyen algunos diagramas o análisis geoquímicos especiales los cuales contribuyen a discretizar de alguna manera la información analizada. Entre estos análisis tenemos al esquema de clasificación geoquímica de HERRON (1988), los diagramas ternarios del SiO_2 , $(\text{Al,Fe})_2\text{O}_3 \cdot x \text{H}_2\text{O}$ y $(\text{Ca,Mg})\text{CO}_3$ que establecen la relación entre la composición química y el tipo de roca sedimentaria y los diagramas de dispersión logarítmicos del $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y el $(\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O})/\text{K}_2\text{O}$ los cuales reflejan la variación en la composición química de las areniscas, lutitas y carbonatos.

Los principales detalles teóricos de cada una de las diversas técnicas analíticas, estadísticas y de caracterización geoquímica utilizados en este estudio pueden ser consultados de forma detallada en el Apéndice III del trabajo.

4. MARCO METODOLÓGICO

Con el fin de llevar a cabo todos los objetivos planteados en este estudio, se establecieron las siguientes etapas de trabajo, las cuales pueden ser consultadas con mayor detalle en el Apéndice IV del trabajo:

✓ *Etapas de recopilación bibliográfica.*

✓ *Etapas de toma de muestras:* consistió en dos fases de muestreo, las cuales fueron efectuadas a los núcleos pertenecientes a los pozos A y B, localizados en las nucleotecas de PDVSA INTEVEP, Los Teques, estado Miranda y La Concepción, Maracaibo, estado Zulia, respectivamente. La recolección de las muestras se realizó de manera sistemática cada 5' (~ 1,5 m) para cada uno de los núcleos, de base a tope respetando siempre el orden de depositación sedimentaria (Fig. 10). Se tomaron aproximadamente 100 g de cada muestra, las cuales fueron rotuladas con el nombre del pozo y el intervalo estratigráfico a la cual fueron obtenidas.

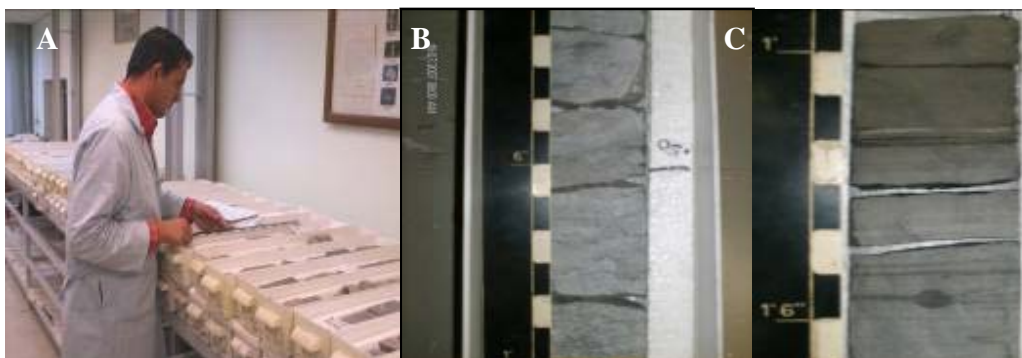


Figura 10. Ejemplos del núcleo del Pozo A. A = Selección de puntos de muestreo, B = núcleo de la Formación Lisure, C = núcleo de la Formación La Luna.

En el pozo A se obtuvieron muestras del intervalo estratigráfico que va desde los 15.180' hasta los 16.080', es decir, se analizó un espesor aproximado de 900' (~ 278 m) del cual se pudieron obtener 188 muestras, mientras que para el pozo B se muestreó el intervalo que abarca desde los 13.707' hasta los 14.654' 6", para un espesor aproximado de 954' (~ 295 m), obteniéndose en este pozo un número de aproximadamente 172 muestras, arrojando entre los

dos pozos estudiados un número total de 360 muestras recolectadas para los diversos análisis geoquímicos, con lo cual se abarcó un intervalo de muestreo de 1.854' (~ 574 m).

✓ *Etapa de tratamiento de las muestras*

✓ *Determinación de los colores “Munsell” de las muestras:* se determinaron los colores de las 360 muestras obtenidas de los Pozos A y B por comparación directa del polvo con el código de colores del catálogo “*Munsell Soil Color Charts*” (SOILTEST INC 1975).

✓ *Análisis químicos:* para el análisis de los componentes mayoritarios, minoritarios y trazas se utilizó un espectrómetro secuencial de rayos X por longitud de onda, marca AXIOS *petro*, modelo PW2450. Con este equipo se detectaron los siguientes componentes mayoritarios y minoritarios: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, CaO, MgO, Na₂O, K₂O, P₂O₅ en porcentaje en peso del óxido y los elementos trazas: Ba, Rb, Sr, Zr, Y, Cr, Ni, Cu, Zn en ppm.

✓ *Análisis del COT y Pirólisis:* se analizó el carbono orgánico total (% COT) y demás parámetros de pirólisis tales como: Tmax (° C), S₁ (mg Hc/g roca), S₂ (mg Hc/g roca), S₃ (mg CO₂/g roca), índice de hidrógeno (IH) e índice de oxígeno (IO). El equipo que se empleó para estos análisis fue un Rock-Eval 6.

✓ *Análisis de difracción de rayos X (DRX):* en el análisis mineralógico de todas las formaciones geológicas estudiadas se utilizó el análisis semicuantitativo por roca total, empleándose para ello un difractómetro de rayos X marca Philips. Se analizaron un total aproximado de 101 muestras para el Pozo A y 97 muestras en el Pozo B, obteniéndose un total de 198 muestras analizadas por esta técnica analítica.

✓ *Fase de procesamiento de los datos:* comprendió el procesamiento estadístico de la información geoquímica mediante la utilización de programas estadísticos tales como NCSS[®] 2000, MVSP[®] 3.1, STATGRAPHICS[®] 4.1, y Microsoft Excel[®] Xp.

5. RESULTADOS E INTERPRETACIONES

5.1. RESULTADOS ANALÍTICOS QUÍMICOS

Se analizaron 360 muestras de rocas provenientes de 2 núcleos extraídos de la Sección Cretácica del centro del Lago de Maracaibo, mediante las técnicas de fluorescencia de rayos X por longitud de onda (FRX- LO), difracción de rayos X (DRX) y geoquímica orgánica a través de la técnica de Rock-Eval 6. En la Tabla 6 se presenta el número total de muestras correspondientes a cada pozo y a cada formación geológica de forma detallada, al igual que los respectivos intervalos de profundidad analizados.

Tabla 6. Tabla donde se presenta de forma discretizada el número total de muestras por pozo y por formación geológica analizada.

Pozo	Formación Geológica	Profundidades Analizadas (Pies)	Espesores Efectivos (Pies)	Muestras Tomadas	Total de Muestras	
A	La Luna	15.180' – 15.360'	180'	52	188	
	Grupo Cogollo	Maraca	15.360' – 15.396'	36'		5
		Lisure	15.396' – 15.812'	416'		84
		Apón	15.812' – 16.075'	263'		47
B	La Luna	13.707' - 13.838'	131'	19	172	
	Grupo Cogollo	Maraca	13.838' – 13.895'	57'		16
		Lisure	13.911' – 14.380'	470'		92
		Apón	14.380' – 14.656'	276'		45
					360	

Las Tablas 7 y 8 reflejan los valores promedio obtenidos para cada pozo y formación geológica analizada, mientras que los resultados analíticos obtenidos para cada muestra son presentados en forma de tablas en el Apéndice V del presente estudio.

Tabla 7. Composición química promedio de las formaciones geológicas del pozo A.

Elementos (a)	POZO A			
	Formación La Luna	Formación Maraca	Formación Lisure	Formación Apón
SiO ₂	22,58	4,4	23,35	11,41
TiO ₂	0,15	0,05	0,24	0,10
Al ₂ O ₃	4,47	1,02	5,66	2,61
Fe ₂ O ₃	1,17	0,6	2,07	0,99
MnO	0,02	0,036	0,03	0,03
CaO	36,67	42,54	34,35	41,58
MgO	0,75	0,6	1,25	1,87
Na ₂ O	0,13	0,02	0,04	0,05
K ₂ O	0,95	0,18	0,92	1,11
P ₂ O ₅	0,49	0,15	0,36	0,18
CO ₂	28,21	33,42	26,98	32,67
Cr	98	22,4	35	19
Ni	139	13,2	14	4
Cu	12	20,4	16	3
Zn	609	30,4	55	43
Rb	29	9,6	42	28
Sr	608	346,2	514	293
Y	6	4,6	13	14
Zr	32	37,8	176	66
Ba	179	163,2	261	81

En la Tabla 9 son expresados los promedios de los parámetros de geoquímica orgánica medidos en Rock-Eval 6 para las formaciones Lisure, Maraca y La Luna. Los resultados analíticos obtenidos para cada muestra son presentados en forma detallada en las tablas del Apéndice VI. Los códigos de los colores Munsell para cada una de las muestras de los Pozos A y B analizadas son presentados en el Apéndice XX.

Tabla 8. Composición química promedio de las formaciones geológicas del pozo B.

Elementos (a)	POZO B			
	Formación La Luna	Formación Maraca	Formación Lisure	Formación Apón
SiO ₂	16,09	3,87	10,91	8,70
TiO ₂	0,16	0,05	0,12	0,10
Al ₂ O ₃	3,81	0,99	2,08	2,20
Fe ₂ O ₃	1,10	0,54	1,03	0,92
MnO	0,02	0,03	0,02	0,03
CaO	43,01	52,94	43,75	42,06
MgO	0,82	0,69	1,18	2,18
Na ₂ O	0,10	0,04	0,03	0,05
K ₂ O	0,96	0,31	0,80	0,96
P ₂ O ₅	0,41	0,25	0,35	0,17
CO ₂	33,79	41,59	34,37	33,04
Cr	100	17	21	27
Ni	100	10	6	8
Cu	11	3	3	3
Zn	449	31	55	60
Rb	23	10	19	27
Sr	561	390	321	360
Y	8	9	12	11
Zr	40	30	101	39
Ba	905	177	293	129

(a) Las concentraciones de los componentes mayoritarios se encuentran en %, mientras que los elementos trazas están en ppm.

Tabla 9. Parámetros geoquímicos orgánicos promedio obtenidos en ambos pozos.

Pozo	Formación	N° Muestras Promediadas	Parámetros geoquímicos orgánicos promedio							
			COT (%)	Tmax (°C)	S1 (mg HC/g de roca)	S2 (mg HC/g de roca)	S3 (mg HC/g de roca)	IP	IH	IO
A	La Luna	22	3,58	444,18	1,06	6,70	0,34	0,15	179,50	13,95
	Maraca	3	0,86	440,00	0,88	1,62	0,23	0,31	188,67	35,00
	Lisure	27	0,35	433,89	0,15	0,51	0,21	0,24	125,67	83,19
B	La Luna	6	2,69	515,50	0,11	0,42	0,31	0,23	20,67	20,50
	Maraca	6	0,43	457,33	0,08	0,15	0,26	0,33	40,17	79,50
	Lisure	35	0,24	474,66	0,03	0,07	0,23	0,24	29,74	136,80

5.1.1. ESTADÍSTICA UNIVARIANTE

5.1.1.1. Diagramas caja

Mediante esta técnica estadística se compararon las concentraciones de las muestras de roca de los dos pozos estudiados para cada una de las formaciones geológicas involucradas con las respectivas dispersiones estadísticas, de acuerdo a los coeficientes de variación y a los valores de las medianas, tal y como pueden apreciarse de forma resumida en la Tablas VII.1 y VII.2 (Apéndice VII) producto del análisis de estos diagramas.

Al analizar los diagramas caja del Pozo A podemos indicar que en relación al SiO_2 se tienen las mayores dispersiones de este componente en la Formación La Luna y la Formación Lisure, mientras que la Formación Maraca refleja la más baja dispersión de este componente químico, observándose que la mayor mediana se encuentra en la Formación La Luna con 18,30% y la más baja en la Formación Maraca con 5% (Fig. 11).

En cuanto al TiO_2 se aprecia un comportamiento parecido al del SiO_2 , siendo las formaciones Lisure y La Luna las que expresan las mayores dispersiones químicas mientras que las formaciones Apón y Maraca indican las menores dispersiones (Fig. 12). El máximo valor de mediana se encuentra en la Formación Lisure con 0,12% y el más bajo en la Formación Maraca con 0,05%. Los coeficientes de variación reflejan bastante similitud para ambos componentes químicos señalados.

En relación al Al_2O_3 podemos mencionar que esta variable presenta altas dispersiones en las formaciones Lisure, La Luna y Apón respectivamente y la más baja dispersión química en la Formación Maraca (Fig. 13). La más alta mediana se presenta en la Formación Lisure con 3,90% y la más baja en la Formación Maraca con 0,70%. Similar comportamiento en las tendencias puede ser apreciado en el diagrama caja del Fe_2O_3 (Fig. 14), el cual presenta la mayor mediana en la Formación Lisure con 1,15% y a las formaciones Apón y Maraca con las más bajas medianas (0,70%).

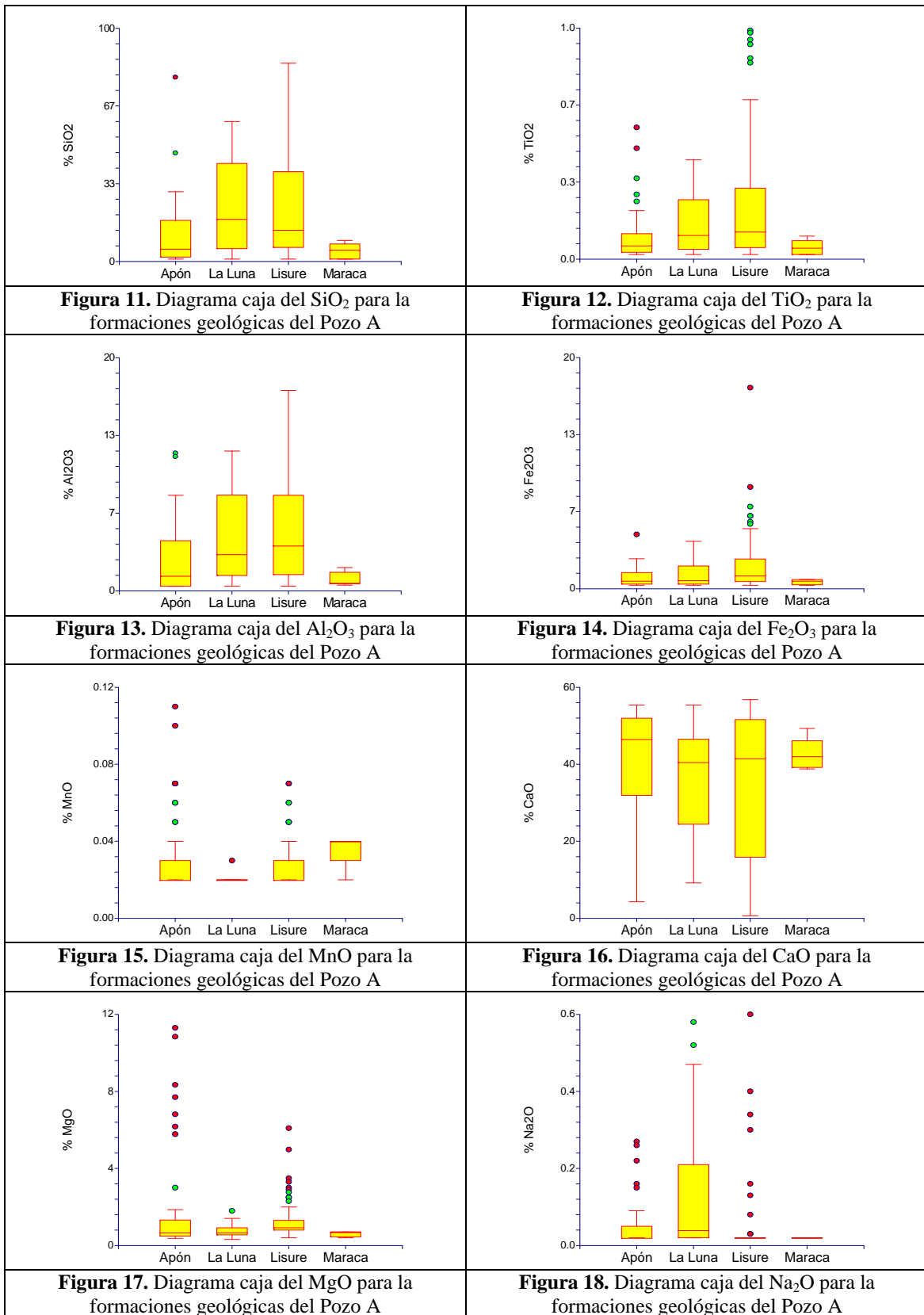
El MnO revela dispersiones químicas muy similares en las formaciones Apón, Lisure y Maraca con la excepción de la Formación La Luna, y esto también se ve reflejado en el coeficiente de variación el cual es de 7, indicando valores muy constantes de este componente la Formación La Luna (Fig. 15).

Al observar el diagrama caja del CaO para este pozo se presentan altas dispersiones en la Formación Lisure, pero la más alta mediana se ubica en la Formación Apón con 46,6% y la más baja en la Formación La Luna con 40,6 % (Fig. 16), lo cual se traduce en una alta variabilidad de este componente para la Formación Lisure por la heterogeneidad de litologías que presenta según la litología descrita, y esto también se ve manifestado en el coeficiente de variación el cual resultó ser de 56, es decir, este parámetro es mucho más elevado que en el resto de las formaciones geológicas interpretadas.

En cuanto al MgO observamos las más altas dispersiones tanto en la Formación Apón como en la Formación Lisure, las más bajas se encuentran en la Formación Maraca (Fig. 17). El mayor valor de mediana lo podemos apreciar en la Formación Lisure con 0,95% y los más bajos en las formaciones La Luna y Apón con 0,68%. No obstante, esta última Formación tiene el más elevado coeficiente de variación.

El Na₂O evidencia las más altas dispersiones en la Formación La Luna tal y como se visualiza en la Figura 18, además de mostrar el mayor valor de mediana el cual es de 0,04%. El K₂O tiene las dispersiones más elevadas en la Formación Lisure, lo cual se ve reflejado en el coeficiente de variación el cual es de 121, seguido por la Formación Apón con un coeficiente igual a 105. El mayor valor de mediana se presenta en la Formación La Luna con 0,62% y la más baja en la Formación Maraca con 0,20% (Fig. 19).

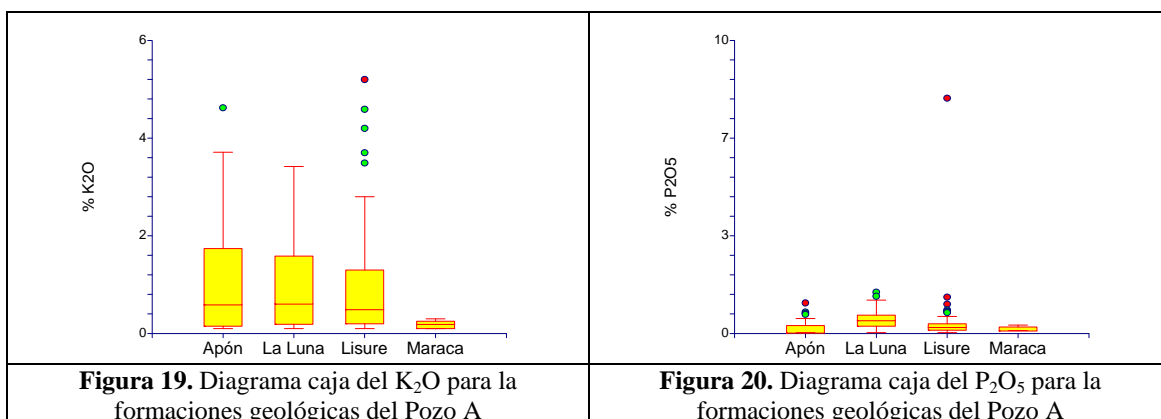
En la Formación Lisure se visualizan las más altas dispersiones en referencia al componente P₂O₅, reflejado además por el coeficiente de variación el cual es igual a 244. El valor de mediana más grande se tiene para la Formación La Luna con 0,46% y el más bajo en la Formación Apón con 0,04% (Fig. 20).



En la Formación La Luna se tiene, en cuanto a los elementos traza Cr, Ni, Cu, Zn y Ba, las más altas dispersiones (Figs. 21, 22, 23, 24 y 25). Para esta misma Formación se presenta de igual forma en los elementos Cr (98 ppm), Ni (139 ppm), Sr (608 ppm) y Zn (609 ppm) los valores más altos de medianas en relación al resto de las formaciones geológicas del Grupo Cogollo.

En referencia al Y, Ba y Zr la Formación Lisure refleja los valores de mediana más elevados (6 ppm, 190 ppm y 72 ppm respectivamente). En esta misma Formación también se presentan las mayores dispersiones químicas en cuanto a los elementos Y, Zr, Rb, Sr y Cu (Figs. 26, 27, 28 y 29).

En el Pozo B por su parte se tiene que el SiO₂ refleja los más altas dispersiones en las concentraciones de dicho componente, siendo los valores de mediana más elevados en la Formación La Luna con 8,10% y los más bajos en la Formación Maraca con 2,85% (Fig. 30). Este comportamiento químico también está reflejado en el TiO₂ en el cual la Formación Lisure tiene las dispersiones más elevadas, lo cual se ve manifestado en un coeficiente de variación igual 136. El mayor valor de mediana se ubica en la Formación La Luna con 0,08% y la más baja en las formaciones Apón y Maraca con 0,04% (Fig. 31).



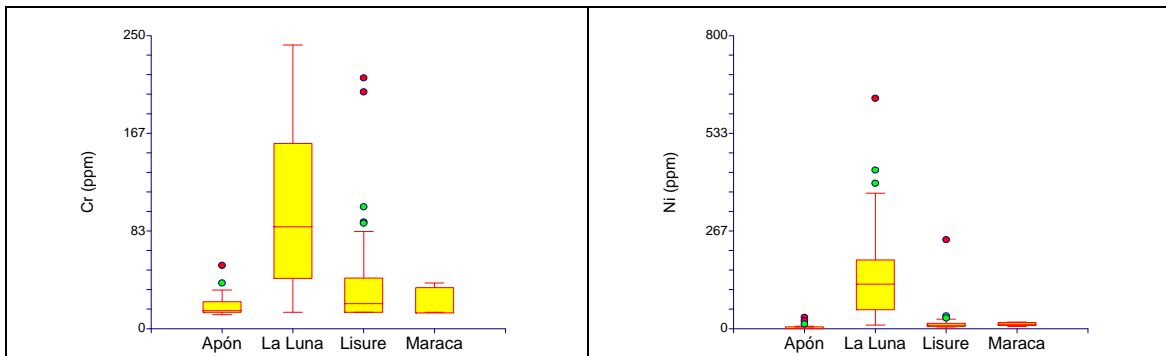


Figura 21. Diagrama caja del Cr para la formaciones geológicas del Pozo A

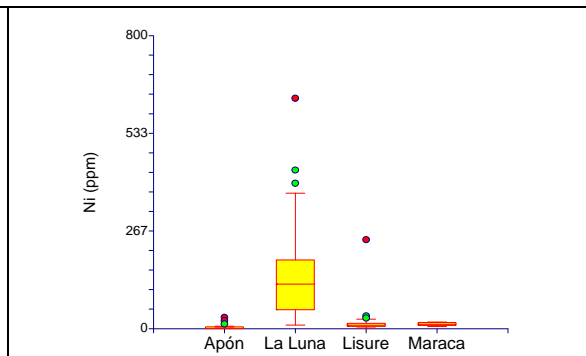


Figura 22. Diagrama caja del Ni para la formaciones geológicas del Pozo A

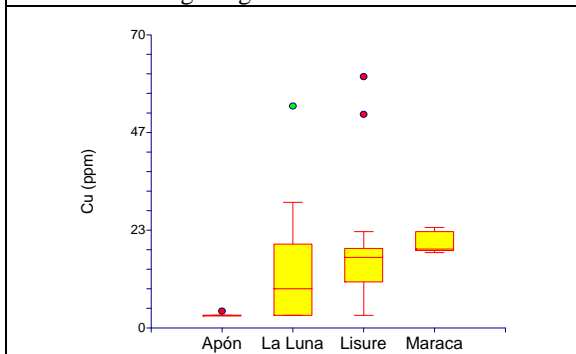


Figura 23. Diagrama caja del Cu para la formaciones geológicas del Pozo A

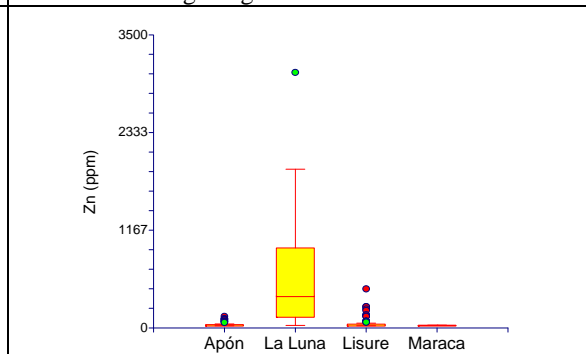


Figura 24. Diagrama caja del Zn para la formaciones geológicas del Pozo A

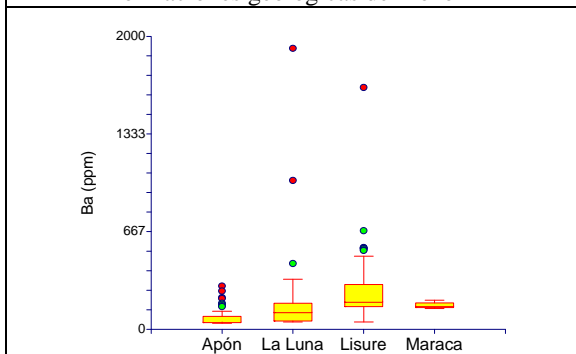


Figura 25. Diagrama caja del Ba para la formaciones geológicas del Pozo A

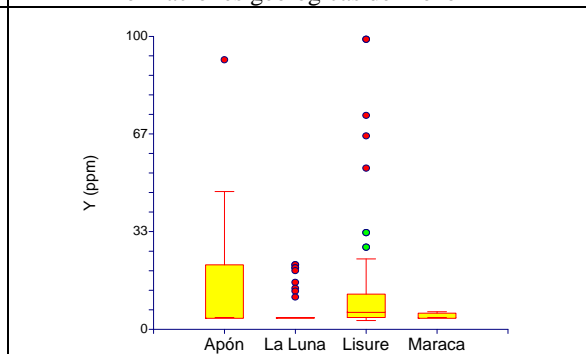


Figura 26. Diagrama caja del Y para la formaciones geológicas del Pozo A

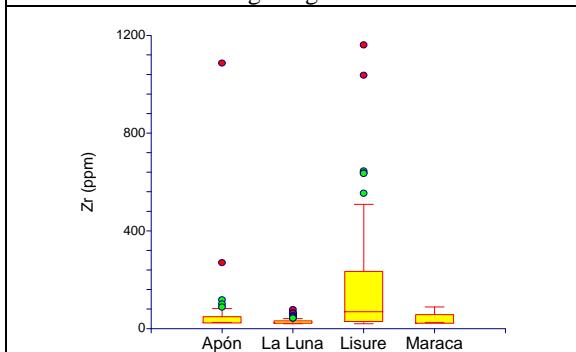


Figura 27. Diagrama caja del Zr para la formaciones geológicas del Pozo A

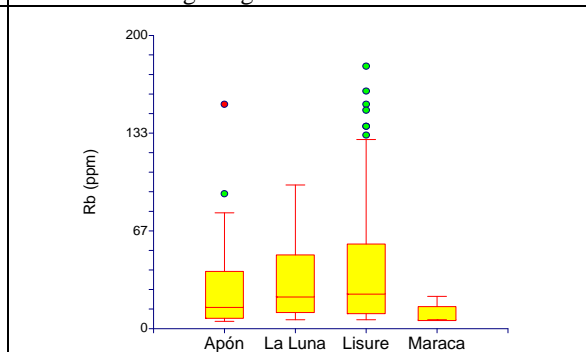
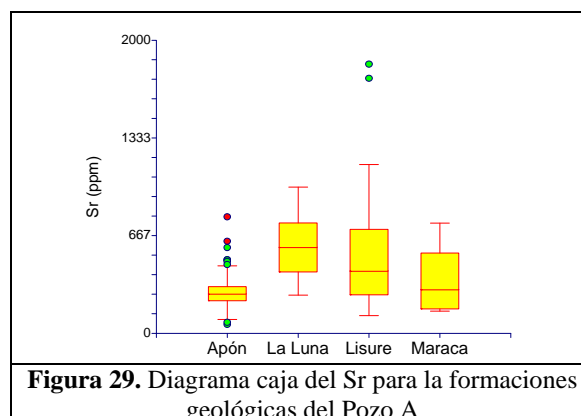


Figura 28. Diagrama caja del Rb para la formaciones geológicas del Pozo A



El Al_2O_3 tiene por su parte en la Formación Apón la más alta variabilidad química manifestada a través del coeficiente de variación el cual es igual a 118, mientras que el mayor valor de mediana se presenta en la Formación La Luna con 2,40% y la más baja en la Formación Maraca con 0,5% (Fig. 32). Esta alta variabilidad química se tiene para la Formación Apón con el Fe_2O_3 con un coeficiente de variación igual a 121, mientras que la Formación Lisure tiene el valor más alto de mediana con 0,65% y la Formación Maraca por otra parte presenta el valor más bajo con un 0,3% (Fig. 33).

El MnO por su lado muestra el mismo valor de mediana (0,02%) para las cuatro formaciones geológicas consideradas, pero refleja la más alta variabilidad química en la Formación Apón con un coeficiente de variación igual a 81 (Fig. 34).

El CaO tiene los valores de mediana más altos en la Formación Maraca con 52,75% y los más bajos en la Formación Lisure con 47,70%, mientras que las más altas dispersiones de este componente mayoritario se encuentran tanto en la Formación La Luna como en la Formación Apón, tal y como se aprecia en la Figura 35.

El MgO muestra la más alta variabilidad química en la Formación Lisure y la más baja se presenta en la Formación La Luna, de acuerdo al diagrama caja de la Figura 36. La Formación Apón tiene para este componente el mayor valor de mediana con 0,79% y la Formación Maraca representa por otra parte el valor más bajo con 0,56%.

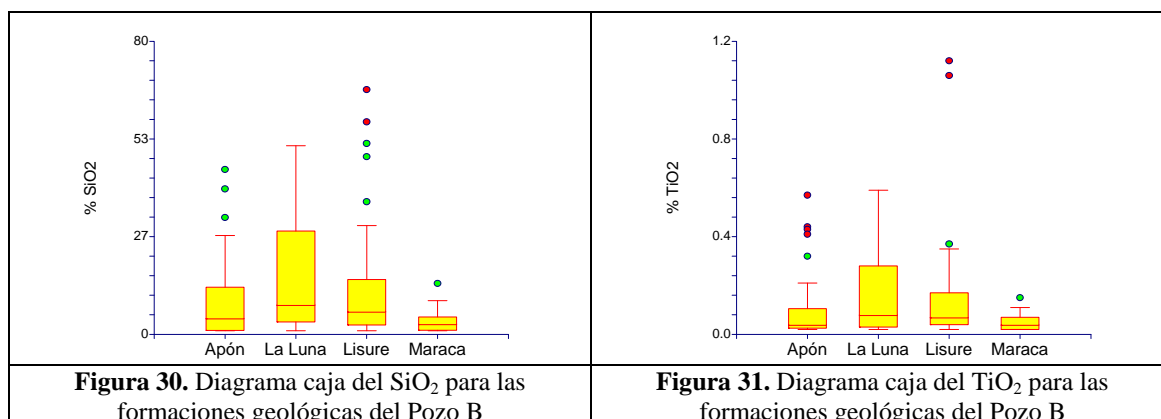
El diagrama caja del Na_2O expresa la mayor dispersión química en la Formación La Luna, lo cual se corrobora con el coeficiente de variación igual a 139, mientras que la Formación Maraca tiene la más baja variabilidad con un coeficiente igual a 54. En cuanto a los valores de las medianas se tiene que tanto las formaciones La Luna y Apón reflejan los mayores valores con 0,04% mientras que la Formación Lisure tiene la mediana más baja con 0,02% (Fig. 37).

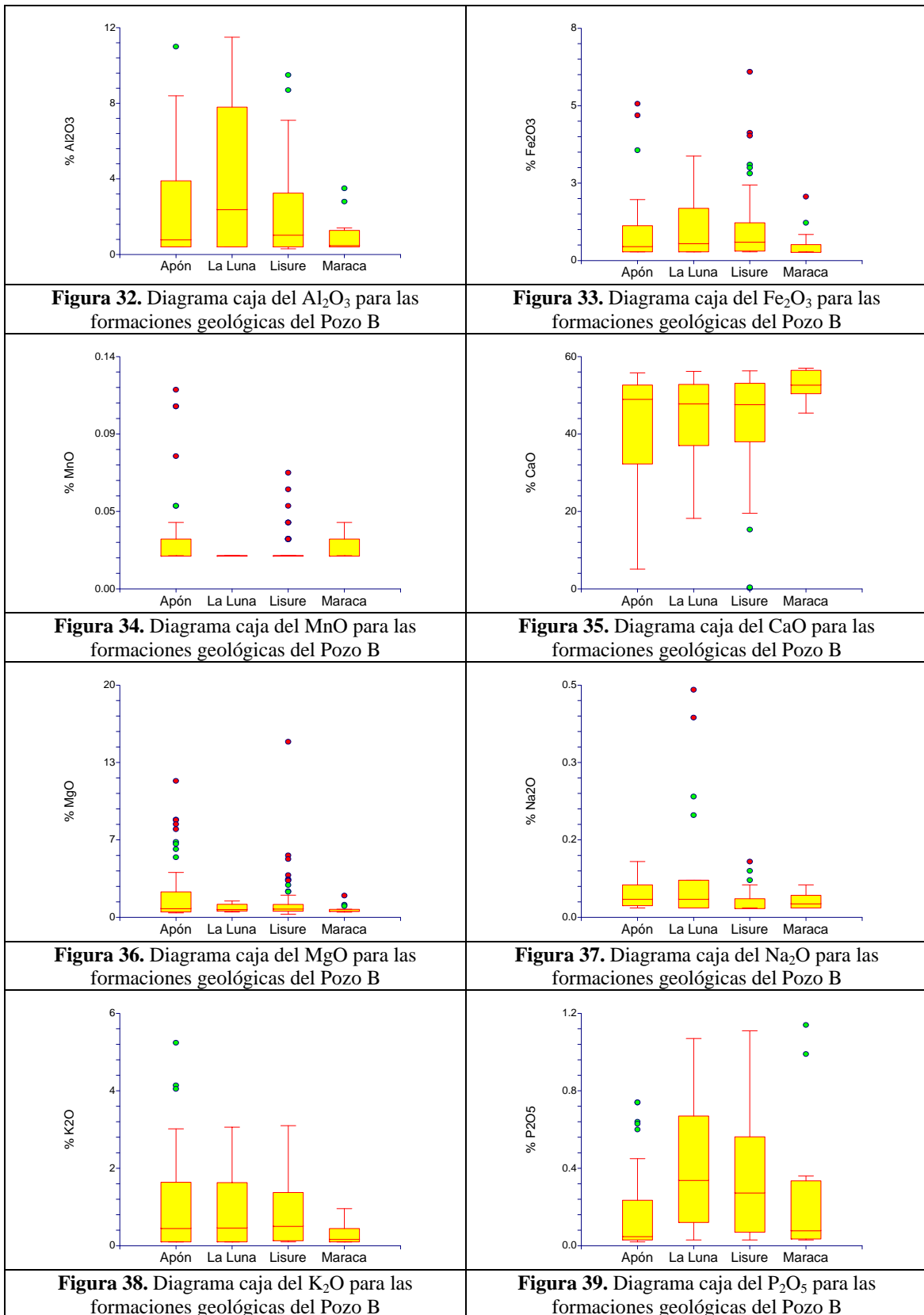
El K_2O presenta su mayor dispersión química en la Formación Apón y su más baja variabilidad en la Formación Maraca. Los valores de mediana más elevados para este componente se tienen en la Formación Lisure con 0,52% (Fig. 38).

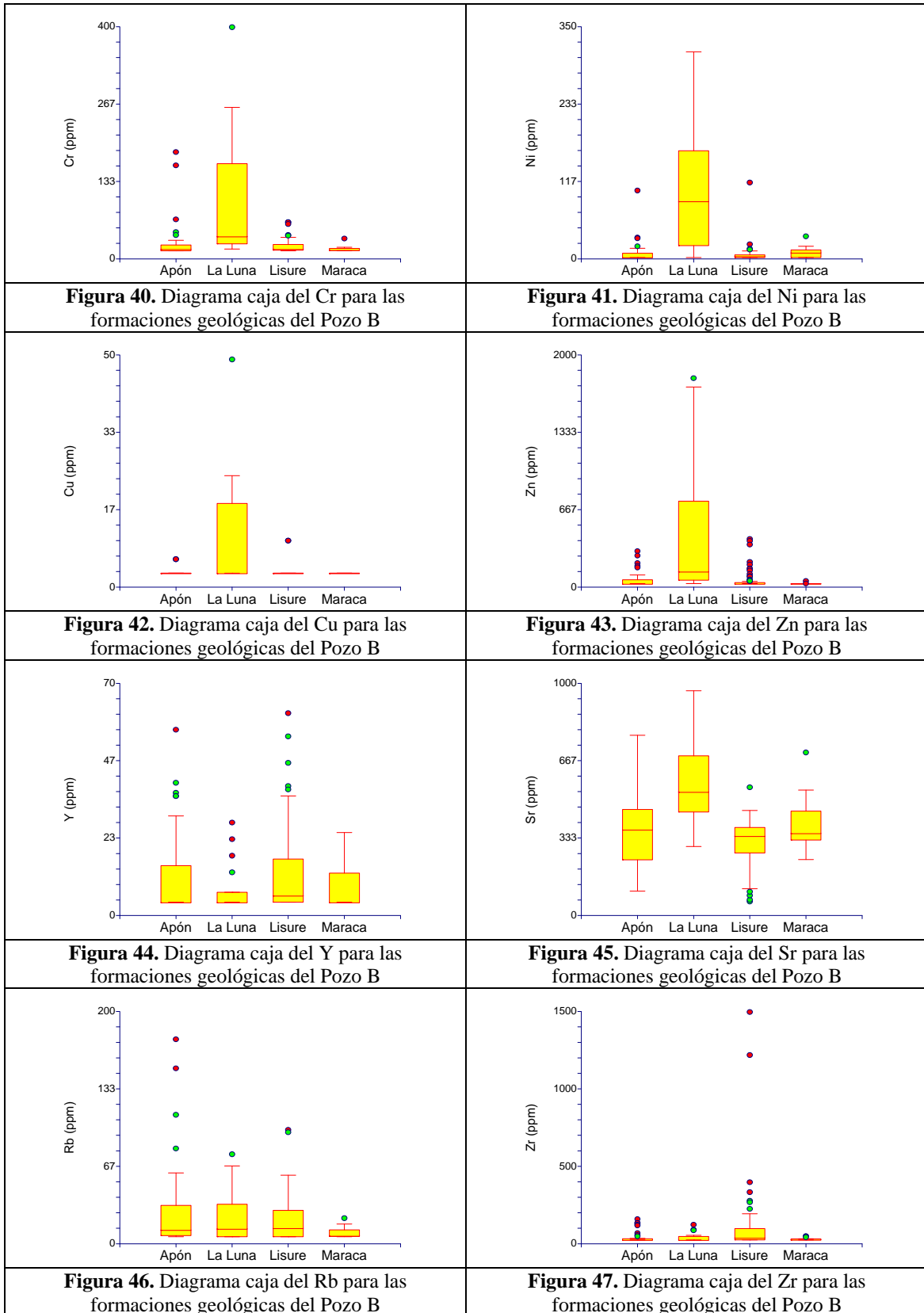
Por su parte el P_2O_5 expresa su mayor variabilidad química en la Formación Maraca y la más baja en la Formación La Luna. En esta última unidad estratigráfica se tiene el valor de mediana más alto con 0,34% mientras que en la Formación Apón se presenta el valor más bajo con 0,05% (Fig. 39).

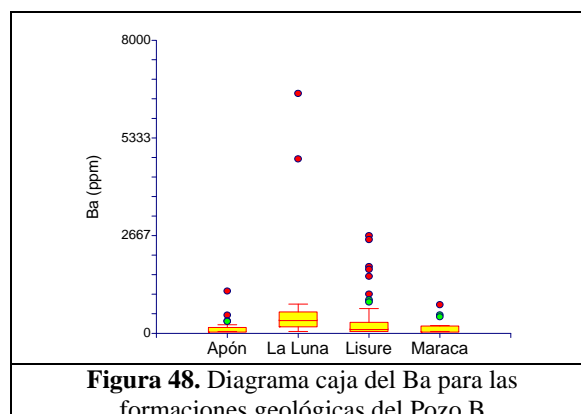
En relación a los elementos traza de este pozo se tiene que el Cr expresa una alta variabilidad en la Formación Apón (Fig. 40), mientras que el Ni refleja una alta dispersión en la Formación Lisure (Fig. 41).

El Cu muestra una alta variabilidad en la Formación La Luna (Fig. 42) mientras que el Zn lo expresa en la Formación Lisure (Fig. 43). En la Formación Apón se aprecia una alta variabilidad química para el Y, Sr y Rb respectivamente (Figs. 44, 45 y 46). Por su parte el Zr expresa esta dispersión química en la Formación Lisure (Fig. 47) y el Ba lo manifiesta en la Formación La Luna (Fig. 48).









Los valores de mediana más elevados para el Cr, Ni, Zn, Sr y Ba se aprecian en la Formación La Luna con 39 ppm, 87 ppm, 134 ppm, 533 ppm y 369 ppm respectivamente. Por su lado el Cu refleja valores de mediana igual en las cuatro formaciones geológicas estudiadas (3 ppm). El Rb expresa en la Formación Lisure la mayor mediana (14 ppm) al igual que el Y (6 ppm) y el Zr (39 ppm) para esta misma Formación perteneciente al Grupo Cogollo.

5.1.1.2. Diagramas ternarios

Con la finalidad de establecer las relaciones químicas existentes entre grupos de variables, fueron efectuados diagramas ternarios, los cuales representan una herramienta estadística de gran utilidad por cuanto se pueden discretizar grupos de muestras que representan ciertas características geoquímicas específicas. Particularmente en este estudio fueron efectuados un conjunto de diagramas ternarios donde se comparan componentes químicos mayoritarios, elementos trazas y relaciones químicas con el objeto de visualizar las diferencias existentes entre las formaciones geológicas presentes en un mismo pozo. El primero de los diagramas ternarios realizados fue el que comparaba o diferenciaba los elementos químicos carbonáticos de los elementos químicos relacionados con los siliciclásticos (SiO_2 , $(\text{Al, Fe})_2\text{O}_3$, $(\text{Ca, Mg})(\text{CO}_3)$) para cada pozo en particular.

En el Pozo A para el primero de estos diagramas realizados (Fig. 49), se visualiza como en la Formación Lisure y la Formación La Luna existen un conjunto de muestras que tienden hacia los vértices de influencia argilácea y siliciclástica mientras que el resto de las muestras

de este pozo tienden hacia el vértice de influencia carbonática del diagrama. De este análisis se desprende que efectivamente existe un conjunto que tienen una composición siliciclástica lo cual se corrobora con este gráfico.

En el Pozo B por otra parte también se aprecia un conjunto de muestras que tienden hacia la zona de influencia clástico – argilácea, pero en menor proporción si se compara al observado en el Pozo A, mientras que la mayor parte de las muestras se encuentran en el vértice de influencia carbonática (Fig. 50). No obstante, es necesario señalar que se aprecia un importante número de muestras que se encuentran en la parte media de estos diagramas ternarios en ambos pozos que podríamos considerar como de influencia sedimentaria de mezcla, es decir, que presentan tanto influencia carbonática como siliciclástica en su composición química, sobretodo a nivel de la Formación La Luna.

Al efectuar las comparaciones individuales entre las muestras pertenecientes entre uno u otro pozo para una misma unidad estratigráfica se puede destacar que en la Formación Apón del Pozo A existen 2 muestras que son silicilásticas mientras que en la Formación Apón del Pozo B existe sólo una muestra argilácea y el resto de las muestras son de origen carbonático (Fig. 51). En la Formación Lisure por el contrario el número de muestras argiláceas y silicilásticas para el Pozo A son mucho mayores que en el Pozo B. En el primero de los casos se tienen 17 muestras argiláceas y 2 muestras siliciclásticas mientras que la Formación Lisure del Pozo B presenta 2 muestras argiláceas y una muestra silicilástica (Fig. 52). El resto de las muestras de esta Formación se ubican en el campo de los carbonatos según este diagrama.

En la Formación Maraca tanto en el Pozo A como en el Pozo B las muestras analizadas son todas completamente carbonáticas, sin la influencia de los otros componentes químicos tal y como lo refleja el diagrama ternario de la Figura 53.

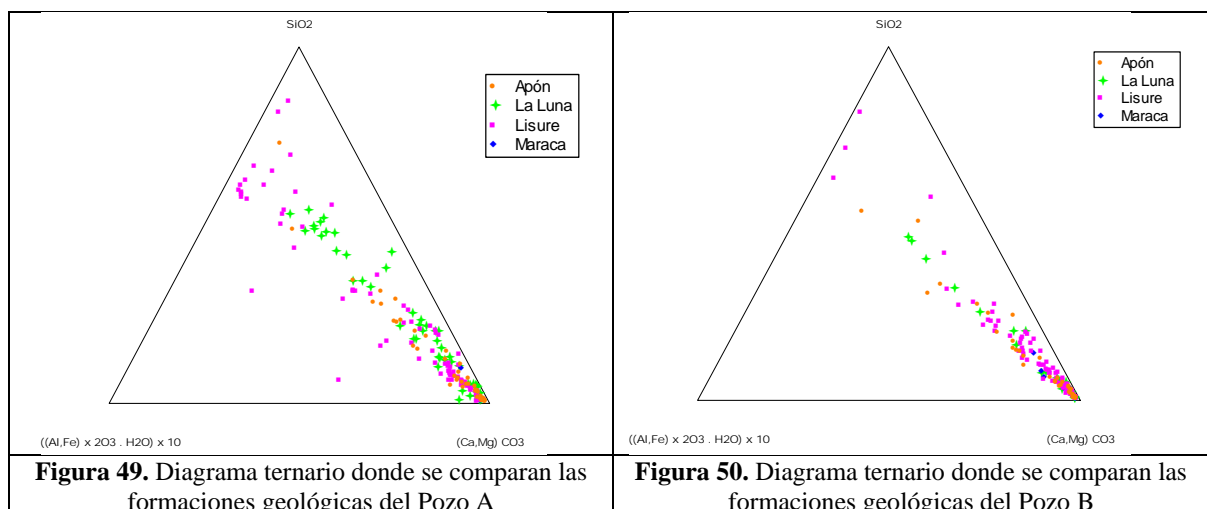
En relación a la Formación La Luna se observa fundamentalmente un conjunto de muestras que entran en el dominio que podríamos considerar de mezcla, es decir, entre la fracción carbonática y siliciclástica tal y como se aprecia en la Figura 54. Se tienen 11 muestras de la Formación La Luna pertenecientes al Pozo A que se encuentran en esta situación y 3 muestras

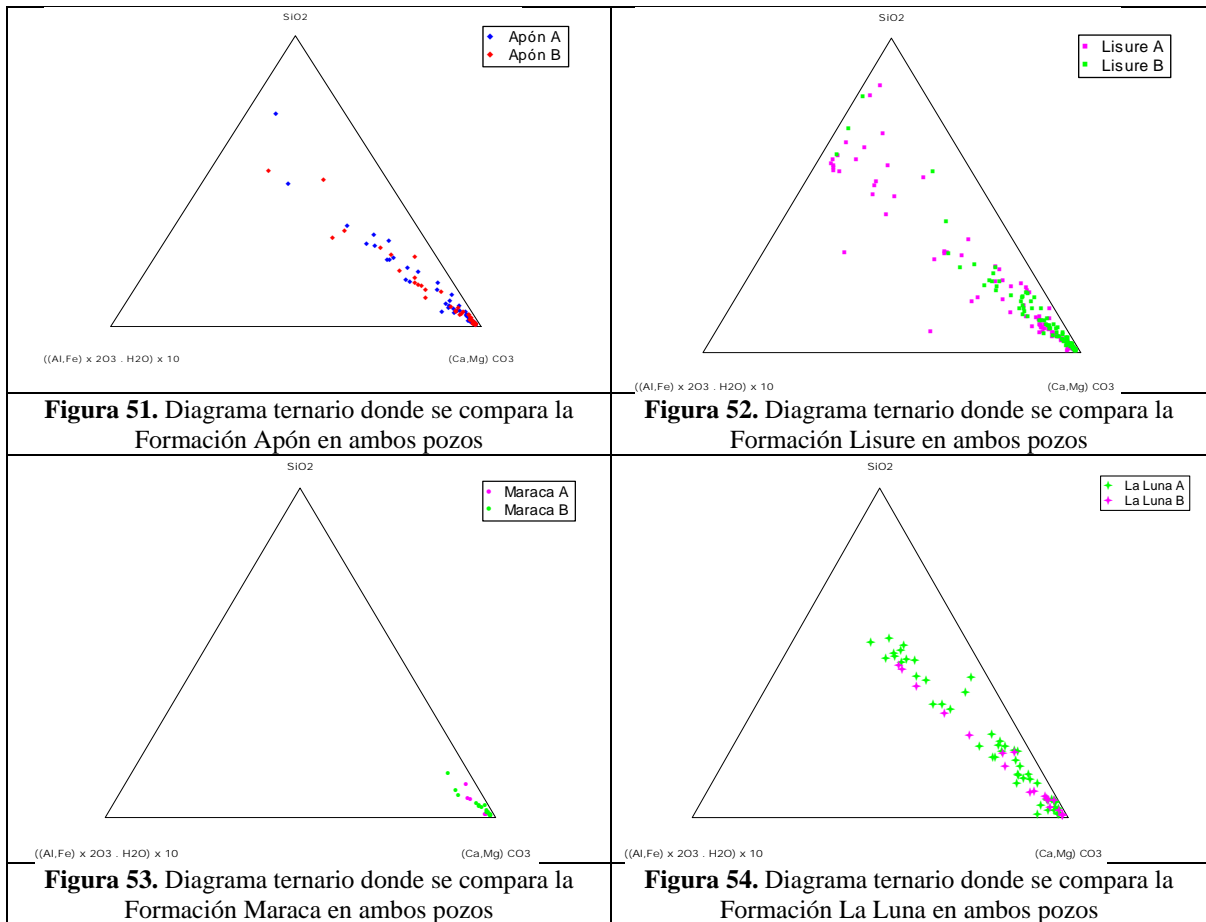
del Pozo B que igualmente entran en este dominio. El resto de las muestras de esta Formación se encuentran en un dominio netamente carbonático según el diagrama efectuado.

Adicionalmente fueron realizados otros análisis en cada uno de los pozos considerados a través de esta herramienta estadística. Estos análisis involucraron ciertos componentes mayoritarios y elementos trazas. En el Pozo A al evaluar los componentes SiO_2 , Al_2O_3 y CaO para las cuatro formaciones geológicas interpretadas se aprecia la existencia de un grupo de muestras de las formaciones Lisure, La Luna y unas pocas de la Formación Apón que tienden hacia el extremo del SiO_2 , lo que nos indica que presentan un enriquecimiento en este componente, mientras que la mayoría de las muestras se ubica hacia el vértice del CaO por ser de naturaleza fundamentalmente carbonática (Fig. 55).

Al comparar variables químicas de carácter silicilástico como el SiO_2 , Al_2O_3 y K_2O se aprecian un conjunto de muestras que tienden hacia el vértice del Al_2O_3 , principalmente de muestras pertenecientes a las formaciones Lisure y La Luna del Pozo A (Fig. 56).

Al efectuar el diagrama ternario en el Pozo A para aquellas variables de marcado carácter carbonático como el CaO , MgO y Sr se observa que existen un conjunto de muestras de la Formación Lisure y de la Formación Apón que están enriquecidas en el componente MgO , lo cual pudiera estar indicando muestras con influencia de dolomita. Igualmente se observan muestras de la Formación Lisure que reflejan un enriquecimiento en elemento Sr (Fig. 57).





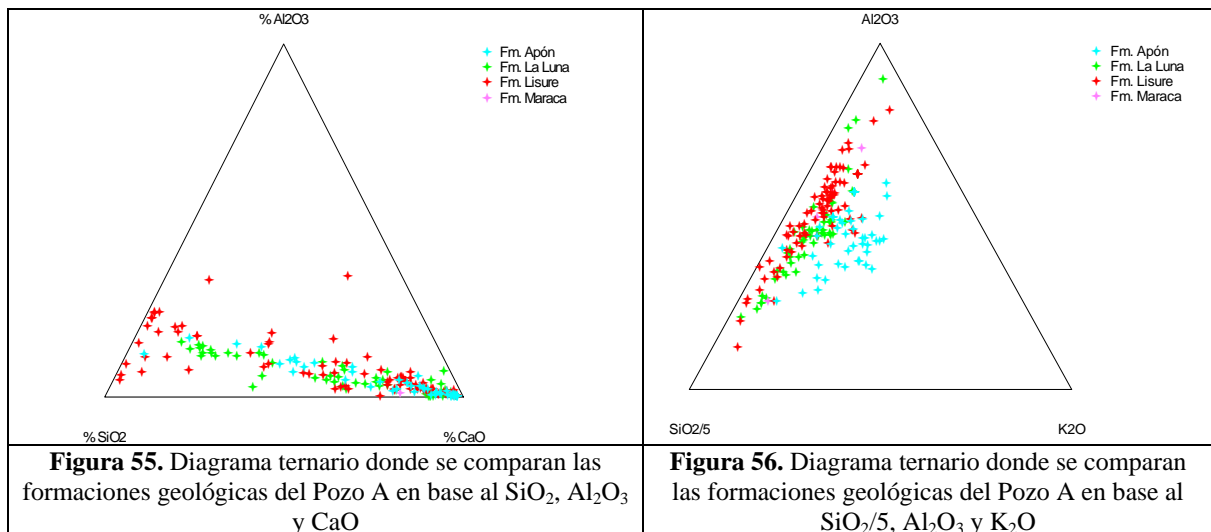
Al realizar la comparación de los elementos trazas de origen clástico y carbonático como el Rb, Zr y Sr respectivamente, en el Pozo A se aprecia que un número importante de muestras de la Formación La Luna se encuentran enriquecidas en Sr mientras que existen un importante grupo de muestras de la Formación Lisure que expresan un mayor contenido en el Zr, el cual es un elemento vinculado preponderantemente a las fracciones de minerales pesado dentro de las rocas siliciclásticas. En cuanto al Rb se presenta una ligera concentración de muestras de la Formación Apón y la Formación La Luna, elemento vinculado primordialmente a las fracciones arcillosas (Fig. 58).

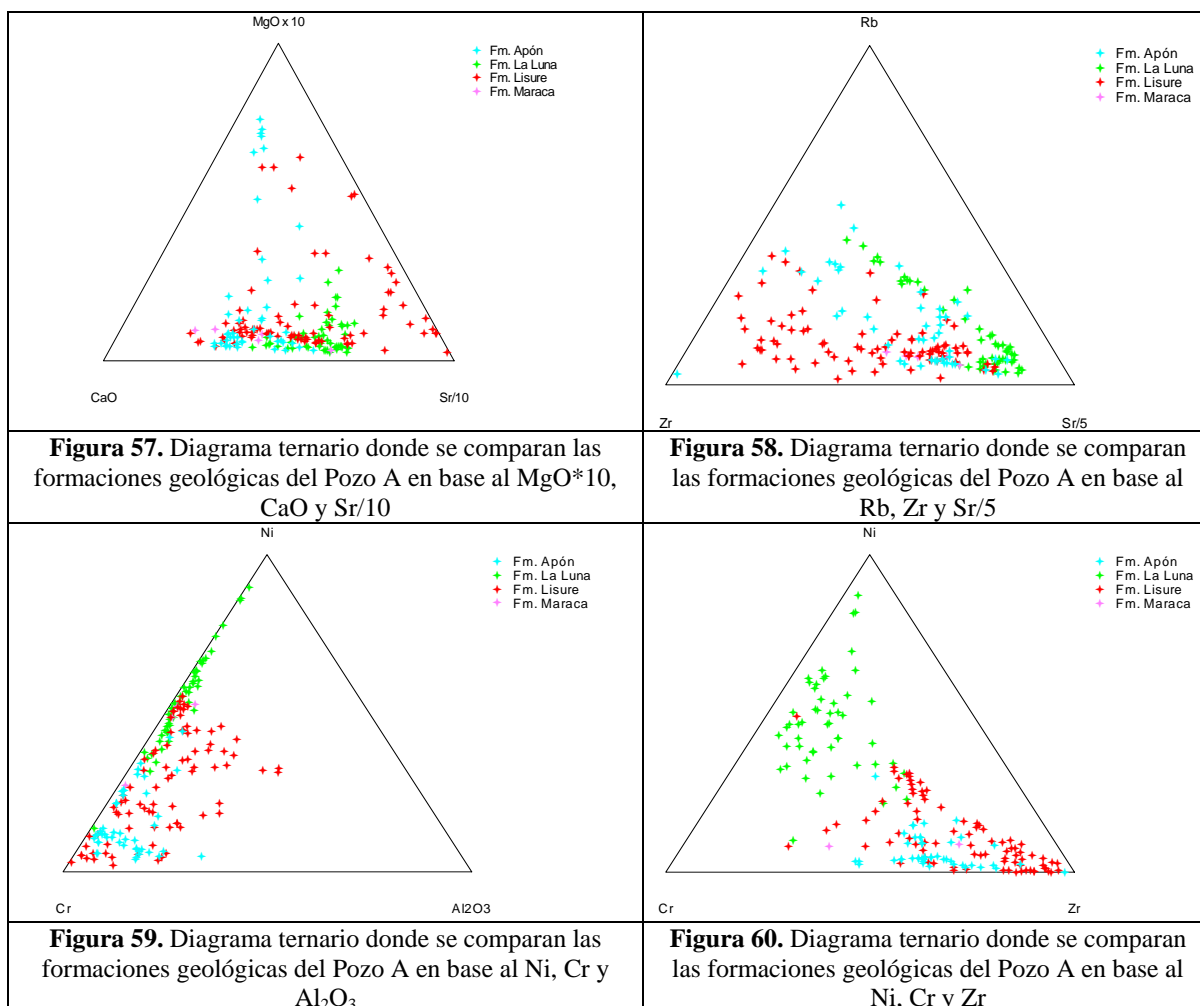
En otro orden de ideas al evaluar el diagrama del Ni – Cr – Al₂O₃ se tiene que las muestras de la Formación La Luna en el Pozo A se encuentran más enriquecidas en el primero de los elementos traza señalados mientras que las muestras de las formaciones Apón y Lisure se encuentran concentradas hacia el vértice del Cr (Fig. 59). Otro de los diagramas que corrobora

lo anteriormente expresado es el que se aprecia en la Figura 60 en donde se comparan el Ni – Cr – Zr, pero en este caso apreciamos que existen un conjunto de muestras de las formaciones Lisure y Apón que se encuentran enriquecidas en elemento Zr.

En el análisis de las formaciones geológicas del Pozo B se aprecia que para el primero de los diagramas efectuado (Fig. 61), el cual compara el $\text{SiO}_2/5 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}/5$, la mayor concentración de muestras se ubica hacia el vértice del $\text{CaO}/5$, lo cual nos indica una fuerte influencia carbonática. Sin embargo, se tienen una pocas muestras en este pozo de las formaciones Apón, Lisure y La Luna que son de marcado carácter siliciclástico. Si se analiza el diagrama ternario del $\text{SiO}_2/5 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{K}_2\text{O}$ no se observa una clara discretización entre las formaciones geológicas estudiadas. No obstante, sólo se visualiza que el conjunto de muestras se concentran entre el eje del SiO_2 y el Al_2O_3 (Fig. 62).

Al comparar variables de origen carbonático como el $\text{CaO} - \text{MgO} \cdot 10 - \text{Sr}/10$ apreciamos que existen varias muestras de la Formación Apón, específicamente 10 muestras, y 4 muestras de la Formación Lisure que están enriquecidas en MgO , lo cual posiblemente nos indican un contenido de dolomita en las mismas, mientras que el otro resto de las muestras están concentradas tanto el vértice del CaO como del Sr (Fig. 63).





Si se aprecia otro de los diagramas ternarios efectuados entre los elementos $Zr - Rb - Sr/5$ se tiene un grupo de muestras concentradas en Zr las cuales pertenecen a la Formación Lisure mientras que existe otro conjunto de muestras de la Formación Apón que reflejan un mayor contenido en elemento Rb , el cual es un elemento traza vinculado a las arcillas (Fig. 64). Al realizar la evaluación de los elementos $Cr - Ni - Al_2O_3/5$ de la Figura 65, se aprecia que las muestras de la Formación La Luna se encuentran en elemento Ni , mientras que las muestras de las formaciones Apón y Lisure reflejan una mayor concentración en el Cr . Otro de los diagramas efectuado fue el $Cr - Ni - Zr$ (Fig. 66), en el cual se visualiza muy claramente que el Ni está más concentrado en las muestras de la Formación La Luna, elemento químico relacionado a la materia orgánica mientras que las muestras de la Formación Lisure están más enriquecidas en el Zr lo cual demuestra su carácter siliciclástico.

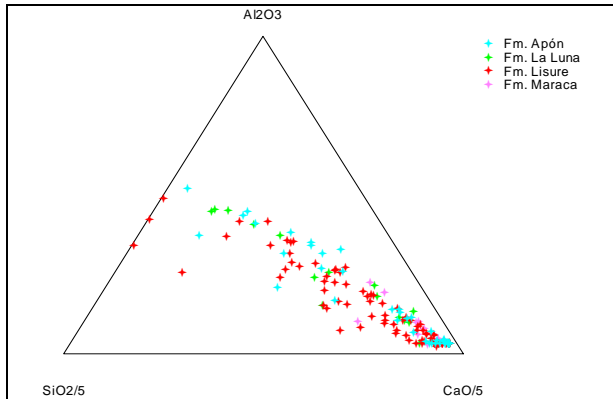


Figura 61. Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al $\text{SiO}_2/5$, Al_2O_3 y $\text{CaO}/5$

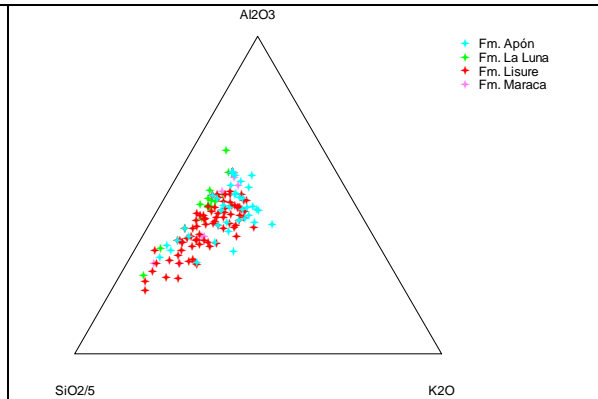


Figura 62. Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al $\text{SiO}_2/5$, Al_2O_3 y K_2O

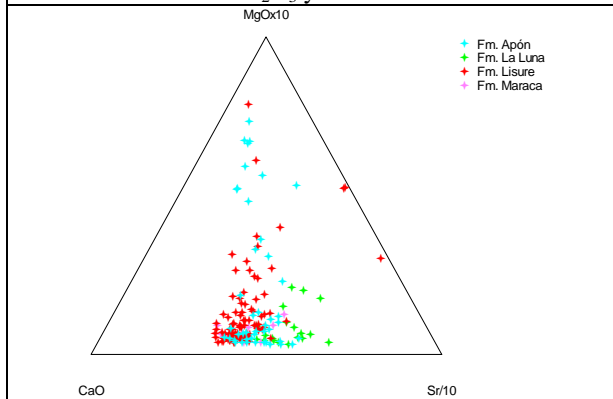


Figura 63. Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al $\text{MgO} \cdot 10$, CaO y $\text{Sr}/10$

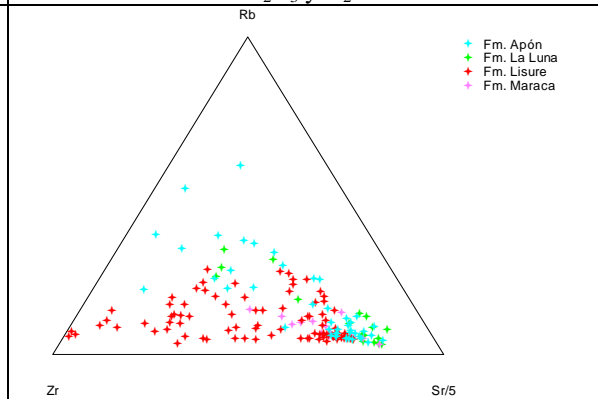


Figura 64. Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al Zr , Rb y $\text{Sr}/5$

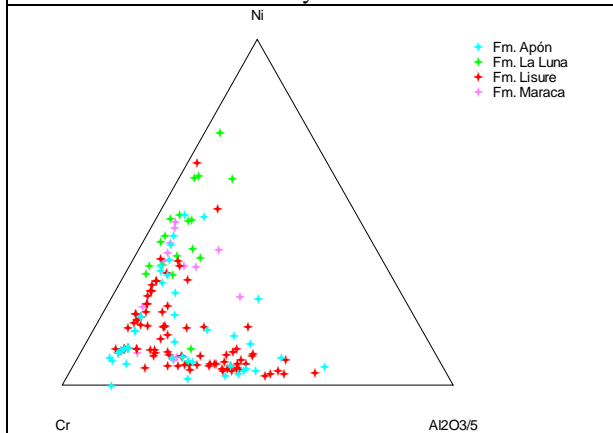


Figura 65. Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al Ni , Cr y $\text{Al}_2\text{O}_3/5$

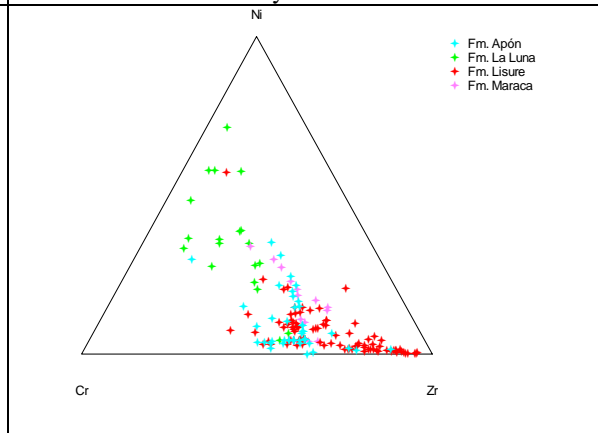


Figura 66. Diagrama ternario donde se comparan las formaciones geológicas del Pozo B en base al Ni , Cr y Zr

5.2. DEFINICIÓN DE UNIDADES QUÍMICAS

Los perfiles químicos de concentración de los componentes mayoritarios, elementos traza y relaciones elementales muestran las variaciones geoquímicas verticales reflejadas en los núcleos con la profundidad, lo cual permite establecer el comportamiento de las diferentes variables a través de las deflexiones de las curvas, manifestada mediante tendencias de máximos y/o mínimos.

A través de dichas deflexiones es posible establecer unidades químicas para las secciones estratigráficas estudiadas en un determinado pozo y/o afloramiento, utilizando para esto criterios como la definición de marcadores de primer orden, los cuales corresponden a fluctuaciones presentes en 5 o más variables químicas analizadas y marcadores de segundo orden los cuales pueden ser observados para una sola variable química. Las unidades químicas a su vez se encuentran delimitadas por 2 marcadores o entre un marcador y la base o el tope del núcleo.

Según PEARCE & JARVIS (1995) las deflexiones de forma simultánea en un mismo nivel estratigráfico y en varios perfiles químicos de concentración sugieren condiciones de sedimentación, variación del aporte sedimentario, cambios climáticos, entre otros. Las deflexiones en las curvas manifestadas como máximos y mínimos se suelen representar como unidades químicas de tendencia positiva (+) para el primero de los casos y unidades químicas de tendencia negativa (-) para las curvas con deflexiones mínimas.

5.2.1. POZO A

Para el Pozo A fueron definidas seis unidades químicas principales de acuerdo a los perfiles de concentración química (Apéndice VIII), los cuales corresponden a las unidades: UQA_A, UQB_A, UQC_A, UQD_A, UQE_A y la UEF_A.

La Tabla X.1 (Apéndice X) es un cuadro comparativo de valores máximos, mínimos y promedios de los componentes mayoritarios estudiados para cada una de las unidades

químicas definidas en los perfiles de concentración en el Pozo A (Apéndice VIII), mientras que en la Tabla X.2 (Apéndice X) se presenta otro cuadro comparativo para los elementos traza de este pozo.

La primera de estas unidades (UQA_A) se localiza hacia la base del Pozo A entre las profundidades de 15.932' 2" hasta los 16.075' 5". Esta unidad está caracterizada por presentar un comportamiento heterogéneo en cuanto a los componentes SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O y CaO. Las primeras cinco variables se encuentran estrechamente vinculadas mientras que el CaO refleja tendencias contrarias a los elementos antes señalados, lo cual nos indica litologías de carácter clástico dentro de esta unidad química incluida dentro de la Formación Apón. El MnO expresa hacia la base de la unidad mayores concentraciones mientras que el MgO y el Na₂O expresan comportamientos similares, en especial se visualizan dos ascensos ubicados en la parte media de la UQA_A, esto también nos indica litologías enriquecidas en estos componentes tales como las dolomías. En cuanto a los elementos P₂O₅, Cr, Ni y Cu no se aprecian inflexiones de dichas curvas, por el contrario reflejan tendencias bastante homogéneas.

En el Zn se observan dos pequeñas inflexiones positivas dentro de la unidad mientras que el Rb refleja una tendencia química parecida al K₂O lo cual nos indica su afinidad química a este componente. El Sr refleja dos inflexiones positivas que coinciden con las mayores inflexiones positivas del CaO lo cual nos señala también su afinidad química a este último componente. El perfil químico del Y refleja heterogeneidad en su tendencia mostrando un máximo influjo hacia el tope de esta unidad. Este alto incremento hacia el tope se ve también manifestado por el Zr a pesar de presentar un perfil bastante homogéneo y en menor magnitud por el Ba el cual refleja tres pequeñas fluctuaciones positivas.

Los perfiles de las relaciones químicas reflejan varios intervalos de granulometría fina arcillosa según el perfil del SiO₂/Al₂O₃, el cual se corresponde también con el perfil del TiO₂/Al₂O₃. Las relaciones (SiO₂ + Al₂O₃)/CaO y Al₂O₃/K₂O son bastante homogéneas, solamente se aprecia una pequeña fluctuación hacia el tope de la unidad, el cual es más preponderante en las relaciones Zr/Rb y (Zr+Rb)/Sr, lo cual estaría indicando una

granulometría una granulometría clástico gruesa hacia el tope de la unidad predominando las fracciones carbonáticas sobre las siliciclásticas.

La segunda unidad química en orden estratigráfico de base a tope corresponde a la UQB_A que va desde los 15.815' 3" hasta los 15.392' 2". Esta unidad se caracteriza por presentar tanto en su tope como en su base máximos en los componentes SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃, Y y Zr. No obstante, a pesar de esto la unidad a través de todo su intervalo es bien homogénea y es de carácter netamente carbonático tal y como lo manifiesta el perfil del CaO, adicionalmente hacia la parte inferior de la unidad se aprecia un máximo del MgO, lo cual podría estar indicando una litología con influencia de dolomita.

Los perfiles geoquímicos del MnO, P₂O₅, Cr, Ni, Cu, Rb y Sr son igualmente homogéneos en sus tendencias. El elemento Ba refleja ligeras fluctuaciones al igual que el Sr. El Zn por su parte expresa en la sección intermedia y hacia el tope ligeros ascensos en su curva de concentración.

En relación a los perfiles de las relaciones químicas interelementales destacan dos importantes ascensos hacia la base de la unidad de las relaciones Zr/Rb y (Zr + Rb)/Sr lo cual se traduciría en una litología siliciclástica hacia la base de la unidad rica posiblemente en zircón. La relación SiO₂/Al₂O₃ refleja pequeñas fluctuaciones con un ligero ascenso en la parte media que se corresponde con la relación TiO₂/Al₂O₃ lo cual podría indicar granulometría de tipo fina-arcillosa hacia esta región de la unidad.

La tercera unidad química corresponde a la UQC_A ubicada entre los 15.675' y los 15.815' 3" de profundidad. Esta unidad se caracteriza por presentar alta heterogeneidad en el conjunto de las variables químicas analizadas. Esta unidad de acuerdo a las tendencias apreciadas puede ser dividida en tres secciones. La primera de ellas localizada en la base de la unidad y de carácter siliciclástico según los perfiles y la litología observada. Esto se ve corroborado por las tendencias ascendentes en los componentes SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃, Y y Zr, los cuales son variables químicas fuertemente asociadas a litologías siliciclásticas. También hacia esta parte de la unidad se aprecia un contenido importante del MgO y Na₂O lo cual indicaría

litologías con cierto contenido de dolomita. La sección intermedia de la unidad es de marcado contenido carbonático lo cual se traduce en el perfil del CaO, mientras que el tercio superior de la UQCa es nuevamente de marcado carácter siliciclástico manifestado una vez más con las tendencias observadas en el SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, K₂O, Fe₂O₃, Y y Zr.

En referencia a las relaciones químicas se aprecia muy bien el perfil del (SiO₂+Al₂O₃)/CaO un fuerte carácter silicilástico hacia el tope de esta unidad incluso si se compara con el resto de las unidades químicas de este pozo analizadas. Igualmente se tienen tres importantes ascensos positivos en la curva del SiO₂/Al₂O₃ mostrando granulometrías arcillosas en diversas áreas de la unidad. En la curva del TiO₂/Al₂O₃ esta granulometría fina-arcillosa es más pronunciada hacia la base de dicha unidad, en cuanto que el Zr/Rb refleja un máximo hacia la parte superior lo cual indicaría un contenido de zircón en la sección dominada por los siliciclásticos.

La cuarta unidad química en orden de importancia corresponde a la UQD_A ubicada entre las profundidades de 15.480' 6" y 15.675'. La unidad refleja una heterogeneidad en las tendencias de las variables químicas de los componentes mayoritarios y en ciertos elementos traza en virtud de reflejar diversos tipos litológicos a través de la unidad, hacia la base se aprecian ascensos en los elementos SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, K₂O, Rb, Cr, Ni, Cu, Zn, Y y Zr, los cuales corresponden con litologías siliciclásticas. No obstante, se encuentran intercaladas litologías carbonáticas por lo que también se aprecian ascensos en el contenido del CaO y el Sr, posteriormente en la parte media dominan las concentraciones del CaO y luego hacia la parte superior de la unidad se vuelven a reflejar perfiles de concentraciones heterogéneos en los cuales se visualizan dos ascensos en los elementos SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, K₂O, Rb y Zr debido a unas rocas siliciclásticas (areniscas) intercaladas con calizas, finalizando la unidad con una tendencia completamente carbonática reflejada por el ascenso del CaO. En efecto el tope de la unidad se caracteriza por presentar un fuerte incremento en el Sr y un descenso de las variables SiO₂, TiO₂, Al₂O₃ y K₂O.

En cuanto a las relaciones químicas en la curva de concentración del SiO₂/Al₂O₃ se aprecian varios ascensos a todo lo largo del perfil lo cual refleja una granulometría de carácter arcilloso, coincidente a su vez con el perfil de la relación Zr/Rb, indicando posiblemente un

enriquecimiento en estos niveles del mineral zircón. El perfil del $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ refleja ligeros incrementos en el K_2O hacia el tope de la unidad lo cual sugeriría posiblemente un mayor contenido del mineral illita dentro de las fracciones arcillosas.

La quinta unidad química en orden ascendente corresponde a la UQE_A , localizada entre los 15.351' 10" y los 15.480' 6". Está caracterizada por reflejar heterogeneidad en cuanto a su comportamiento químico hacia su base y sección intermedia, en virtud de apreciarse tendencias de máximos y de mínimos en los perfiles del SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Rb, Zr y CaO, debido a que presenta litologías siliciclásticas intercaladas con calizas hacia estas secciones de la unidad mientras que hacia el tope se aprecia un predominio de las litologías carbonáticas manifestado a través del perfil del CaO. En esta unidad se visualiza un máximo importante del P_2O_5 incluso para todo el pozo en cuestión dentro de una arenisca gluconítica lo que sugiere un posible nivel fosfático. Los elementos MgO, Cr, Ni, Cu e Y reflejan comportamientos homogéneos. El MnO expresa ligeros ascensos en la sección intermedia de la unidad mientras que el Ba refleja un ligero incremento hacia la base junto con el Zn.

En referencia a las relaciones químicas se aprecian dos ascensos importantes del $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ lo cual estaría indicando granulometrías tipo arcillosas hacia estas secciones. El perfil del $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ refleja un importante ascenso hacia la base incluso al compararse con todas las unidades lo que indicaría un enriquecimiento en el mineral tipo illita, igualmente se tiene un incremento importante hacia la base y el tope del $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ lo cual también corroboraría las tendencias del $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ de granulometrías finas arcillosas. Por otra parte la curva de la relación Zr/Rb expresa un ligero enriquecimiento del Zr hacia la parte media y una fuerte concentración del Zr hacia la base de la unidad, lo cual indicaría una posible concentración del zircón.

La sexta unidad química corresponde a la unidad localizada más hacia el tope del pozo, ubicada entre las profundidades de 15.180' 7" y 15.351' 10" denominada UEF_A . Es una unidad química que exhibe una alta heterogeneidad en los comportamientos químicos en la mayoría de las variables analizadas, traduciéndose en litologías igualmente heterogéneas tanto con influencia carbonática como siliciclástica, de acuerdo a las tendencias observadas en los

componentes SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , CaO , Rb y Sr . Tanto el MnO como el Zn , Y y Zr expresan homogeneidad en las tendencias. Hacia la parte superior de la unidad el Ba refleja un ascenso máximo en todo el pozo analizado. Otra característica importante para esta unidad son los incrementos máximos del Cr , Ni y Cu si se comparan con el resto de las unidades químicas analizadas para este pozo.

En referencia a las relaciones interelementales de esta unidad se puede indicar precisamente a través de las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ la heterogeneidad existente debido a las fluctuaciones de dichas curvas por cuanto se tienen litologías de influencia más arcillosa en esta unidad a diversos niveles estratigráficos, lo mismo ocurre con el Zr/Rb el cual refleja también heterogeneidad en su comportamiento e igualmente expresan ciertos niveles de carácter arcilloso mediante el incremento en el contenido de Rb , el cual es un elemento como se ha expresado en reiteradas ocasiones que está vinculado a las arcillas. El resto de los perfiles interelementales son homogéneos en sus tendencias. El $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ manifiesta un incremento hacia la base de la unidad lo cual se traduce en un posible incremento del mineral illita dentro de las fracciones arcillosas.

Al establecer una comparación entre las seis unidades químicas definidas a través de los perfiles de concentración y las formaciones geológicas analizadas, las unidades químicas UQA_A y UQB_A son correspondientes a la Formación Apón, las unidades UQC_A , UQD_A y la UQE_A corresponderían a las formaciones Lisure y Maraca y la unidad química UQF_A se inserta dentro de la Formación La Luna. Igualmente al establecer comparaciones entre la columna estratigráfica de colores *Munsell* y las formaciones geológicas analizadas y mostradas en el Apéndice VII de este trabajo, se aprecian muy claramente dos tendencias en la distribución de colores. La primera tendencia corresponde a colores marrón oscuro correspondientes a la Formación La Luna hacia el tope de la columna, las cuales se discretizan muy bien de los colores *Munsell* de las formaciones pertenecientes al Grupo Cogollo con tonalidades de colores marrones y grises mucho más claros a los visualizados en la Formación La Luna. Sin embargo, dentro de los colores *Munsell* del Grupo Cogollo se tienen ciertos grupos de roca con tonalidades de colores oscuros destacando sobretodo las rocas siliciclásticas encontradas en la Formación Lisure, las cuales tienen colores que destacan del

resto de las rocas presentes tanto dentro de esta Formación como del resto de las otras formaciones.

5.2.2. POZO B

En el Pozo B se definieron de igual forma seis unidades químicas según los perfiles de concentración química (Apéndice IX). Estas unidades corresponden a las unidades: UQA_B, UQB_B, UQC_B, UQD_B, UQE_B y UQF_B. En la Tabla X.4 (Apéndice X) es mostrado un cuadro comparativo de valores máximos, mínimos y promedios de los componentes mayoritarios estudiados para cada una de las unidades químicas definidas en los perfiles de concentración en el Pozo B, mientras que en la Tabla X.3 (Apéndice X) se presenta otro cuadro comparativo para los elementos traza de este pozo.

La unidad química basal está localizada entre los 14.512' 2" y los 14.654' 6" de profundidad y corresponde a la UQA_B. Se caracteriza por manifestar incrementos o ascensos hacia la parte media superior en los componentes SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, MgO y P₂O₅, mientras que hacia el tope es fundamentalmente carbonático de acuerdo al CaO y el Sr. Esta sección media superior de acuerdo al contenido de MgO refleja un contenido en dolomita importante al igual que hacia la base de la unidad la cual se traduce también en la litología apreciada en la columna estratigráfica observada en el Apéndice VIII. El MnO también refleja hacia la base un máximo importante al igual que el P₂O₅ y el Y. El Sr expresa máximos relevantes en la parte media de la unidad, consistente además con el contenido del CaO mientras que el P₂O₅ refleja un ascenso positivo hacia la parte media superior de la unidad coincidente con las dolomías observadas en la columna estratigráfica. Los elementos Na₂O, Cr, Ni, Cu, Zn, Zr y Ba manifiestan bastante homogeneidad a todo lo largo de la unidad.

En cuanto a las relaciones interelementales destacan los contenidos de una posible granulometría fina arcillosa en la parte media y superior de la unidad de acuerdo a las relaciones del SiO₂/Al₂O₃ y TiO₂/Al₂O₃. La relación Al₂O₃/K₂O manifiesta un cierto incremento hacia el tope lo cual sugiere un posible incremento en el mineral de arcilla illita debido al aumento en el contenido del K₂O.

La segunda unidad química corresponde a la UQB_B ubicada entre los 14.228' 8" y los 14.512' 2". Esta unidad refleja tres máximos hacia la base en los componentes SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Rb y Cr los cuales están vinculados a litologías siliciclásticas, ya que en el resto de la unidad predomina el contenido de CaO, con ligeros incrementos de las primeras variables señaladas hacia el tope de la unidad. En esta unidad también destacan los ascensos máximos manifestados por el P₂O₅ al tope de la unidad lo cual estaría indicando niveles fosfáticos dentro de las calizas. El MgO refleja un máximo en la parte media de la unidad el cual coincide con el Na₂O indicando probablemente una caliza con influencia de dolomita. El MnO, Ni, Cu, Zn y Ba son bastante homogéneos en su comportamiento químico. El Y expresa también varios máximos hacia el tope de esta unidad.

Las relaciones químicas por otro lado referentes al SiO₂/Al₂O₃, TiO₂/Al₂O₃, Al₂O₃/K₂O y Zr/Rb expresan heterogeneidades en sus tendencias. Hacia la sección superior de la unidad se tienen litologías de granulometría fina arcillosa según los perfiles del SiO₂/Al₂O₃, TiO₂/Al₂O₃ y Zr/Rb. Hacia la base y la parte media de la unidad según el Al₂O₃/K₂O se aprecia un predominio del Al₂O₃ sobre el K₂O lo cual podría reflejar un dominio de las fracciones arcillosas del mineral de tipo caolinita mientras que en el resto de la unidad se aprecia unos pequeños máximos del K₂O lo cual señalaría un incremento del contenido de illita.

La tercera unidad corresponde a la UQC_B localizada entre los 14.010' 11" y los 14.228' 8". Existe a nivel de esta unidad una alta heterogeneidad en el comportamiento de las variables químicas estudiadas en virtud de que existe una mayor influencia de litologías siliciclásticas junto a las calizas. Hacia la base de la unidad esta tendencia se ve manifestada por máximos ascensos en el SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Rb, Zr, Y, Cr, Cu y Zn, variables de fuerte influencia siliciclástica, lo cual corrobora lo anteriormente expresado. Luego hacia la parte media y superior de la unidad visualizamos una mayor variabilidad en cuanto a las tendencias en la mayoría de las variables químicas ya que se tienen calizas, lutitas, dolomías y calizas con influencia arcillosa y esto se comprueba además con los perfiles del CaO, K₂O, SiO₂, TiO₂, Al₂O₃ y Rb. El P₂O₅ refleja hacia la parte media de la unidad un incremento importante en su contenido lo cual también podría estar indicando niveles enriquecidos en fosfatos. El Cr, Ni,

Zn y Cu son de características homogéneas a todo lo largo de la unidad. El Ba por su parte indica tres ligeros máximos hacia la base de la unidad.

Las relaciones elementales expresan precisamente esta variabilidad de muestras con contenido siliciclástico y esto se ve a su vez manifestado a través del $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y Zr/Rb a todo lo largo de la unidad. Igualmente se tiene una heterogeneidad del $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ manifestado con un máximo en la base de la misma, lo cual se traduce en un aumento del mineral de illita según esta relación química, aunque también predomina en otros intervalos estratigráficos de esta unidad química.

La cuarta unidad química en orden estratigráfico corresponde a la UQD_B, ubicada entre los 13.911' y los 14.010' 11". La base de esta unidad refleja contenido clástico expresado por ascensos máximos en las curvas del SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Rb y un decrecimiento en el CaO al igual que hacia el tope de la unidad donde se visualizan fluctuaciones de los elementos señalados además del Fe_2O_3 y del Y, mientras que la sección media de la unidad expresa un mayor contenido de CaO, es decir, que es netamente carbonática. Hacia el tope de la unidad se tiene un ascenso máximo en el contenido del P_2O_5 , lo cual indicaría posibles niveles fosfáticos. El Cr, Ni y Zn reflejan tendencias similares. El MnO manifiesta un máximo hacia el tope de la unidad mientras que el MgO tiene dos ascensos máximos los cuales son consistentes con dos dolomías presentes dentro de la unidad.

Las relaciones químicas $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, Zr/Rb y $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ expresan tendencias bastante heterogéneas, lo cual tiende a confirmar la influencia arcillosa que existe dentro de los grupos de rocas carbonáticas analizadas para este intervalo. En el $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y Zr/Rb se destacan dos intervalos con máximos ascensos coincidentes entre sí lo cual confirmaría un nivel de granulometría arcillosa en estos dos niveles. Hacia la base se tiene una mayor presencia del mineral caolinita que hacia la parte media superior de acuerdo al perfil del $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$.

La quinta unidad se encuentra entre las profundidades de 13.821' hasta los 13.911' y corresponde a la UQE_B. Es una unidad de marcada influencia carbonática manifestado a través

del perfil del CaO, no obstante, se aprecian ligeros incrementos en la parte media en cuanto a las variables SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, MnO, Rb e Y, mientras que hacia la base se aprecia un fuerte incremento de estos mismos elementos. Por su parte el Cr, Ni, Cu y Zn manifiestan un aumento hacia el tope de la unidad mientras que mantienen homogeneidad en el resto de la unidad. El P₂O₅ expresa un ascenso máximo relevante tanto en la parte media superior como en el tope de la unidad lo cual indicaría un nivel fosfático en las rocas carbonáticas evaluadas para este intervalo. De igual forma se aprecia un contenido importante del Ba hacia el tope de la unidad el cual incluso llega a ser el más elevado dentro de todo el pozo estudiado pudiendo estar relacionado a un nivel de productividad orgánica.

La relación química SiO₂/Al₂O₃ refleja hacia la parte media superior un máximo ascenso el cual se traduce en una granulometría tipo arcillosa, mientras que los perfiles del Al₂O₃/K₂O y del TiO₂/Al₂O₃ son de tendencias heterogéneas. Hacia la base de la unidad existe un predominio según estos perfiles y también del SiO₂/Al₂O₃ de un mayor contenido de arcillas y de la posible influencia del mineral caolinita. En la parte media estas tendencias son fluctuantes mientras que hacia el tope se incrementa el contenido de arcillas pero imperando posiblemente la illita. El Zr/Rb no refleja en esta unidad grandes contrastes en su comportamiento químico.

La última de las unidades químicas corresponde a la UQF_B en el tope del Pozo B entre las profundidades de 13.707' y 13.821'. En esta unidad se aprecia claramente dos ascensos positivos máximos en las variables SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Na₂O, Rb, Cr, Ni, Cu, Zn e Y, tanto en la parte media inferior y superior de la unidad y decreciente en el contenido de CaO, mientras que este mismo elemento aumenta hacia la base y la parte media de la unidad, lo cual se traduce en litologías con fuerte influencia carbonática pero en dos intervalos estratigráficos específicos presenta un mayor contenido silicilástico. El P₂O₅ también manifiesta unos ascensos máximos positivos importantes hacia la base, el tope y la parte media inferior de la unidad lo cual indicaría niveles ricos en fosfatos. De igual manera el Cr, Ni, Cu y Zn reflejan los más altos incrementos para esta unidad si se comparan con el resto de las unidades químicas de este pozo. Estos elementos en conjunto están vinculados a condiciones oxido-reductoras del medio sedimentario y se encuentra también estrechamente

relacionado a la presencia de materia orgánica en las rocas lo cual es consistente con la unidad estratigráfica analizada, correspondiente a la Formación La Luna. El Sr por otra parte refleja un incremento hacia el tope de la unidad manifestado como un ascenso máximo del perfil de concentración.

En referencia a las relaciones químicas se destaca al perfil del $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ el cual refleja un máximo ascenso hacia el tope de la unidad el cual se asocia a una granulometría arcillosa. Por otra parte el $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ también expresa un máximo positivo hacia el tope de la unidad química lo cual indicaría probablemente un enriquecimiento en el mineral de arcilla tipo illita dentro de la fracción arcillosa. En relación al $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y Zr/Rb se visualizan sólo ligeros incrementos que no expresan una marcada tendencia dentro de la unidad.

De igual manera al establecer una comparación entre las seis unidades químicas determinadas a través de los perfiles de concentración y las formaciones geológicas interpretadas como en el Pozo A, podemos señalar que la UQA_B corresponde a la Formación Apón, la parte inferior de la UQB_B también pertenece a esta última Formación y la sección superior de esta unidad química se encuentra en la Formación Lisure. Igualmente las unidades UQC_B y UQD_B se encuentran dentro de la Formación Lisure, la UQE_B abarca a toda la Formación Maraca y la UQF_B corresponde a la Formación La Luna.

Al comparar la columna de colores *Munsell* de este pozo mostrada en el Apéndice VIII, se observa un fuerte contraste entre la Formación La Luna y el Grupo Cogollo, análogo al Pozo A, ya que en la primera se presentan colores de tonalidades oscuras mientras que en las formaciones geológicas del Grupo Cogollo se tienen colores más claros con ciertas excepciones como la apreciada en las áreas de la columna estratigráfica con mayor influencia de siliciclásticos dentro de la Formación Lisure, donde se tienen uno tonos de colores más oscuros pero que de ninguna forma tienden a cambiar la tendencia general observada en todo el Grupo Cogollo y la Formación La Luna para este pozo.

5.3. ESTADÍSTICA MULTIVARIANTE

5.3.1. ANÁLISIS DE AGRUPACIONES

Los análisis de agrupaciones establecen asociaciones y estructuras en los datos aún cuando estos no sean aparentemente evidentes, por lo cual se constituyen en una poderosa herramienta estadística para encontrar estas asociaciones, estableciendo de esta manera esquemas de clasificación formal con los datos obtenidos a través del diagrama de árbol o dendrograma. En este estudio se establecieron con las 19 variables químicas analizadas (10 componentes mayoritarios y 9 elementos traza) grupos de muestras que reflejan características químicas distintivas respetando su posicionamiento estratigráfico, empleando para esto el programa estadístico MVSP[®] 3.1.

En la generación de los dos dendrogramas de los pozos estudiados se utilizó el método del vecino más alejado o “*Furthest neighbor*” con distancias euclidianas cuadráticas. Es importante mencionar que en los perfiles químicos de concentración no fueron establecidas subunidades químicas, mientras que a través de los dendrogramas si se pudieron obtener subgrupos de muestras con características similares dentro de una misma agrupación química definida.

Pozo A

El análisis de agrupaciones de este pozo reportó tres grupos de muestras conformados por: GA_A, GB_A y GB_C, los cuales a su vez están subdivididos en grupos.

El primero de estos grupos de muestras se subdivide en el GA_A I el cual va desde los 15.932' 2" hasta los 16.075' 5" de profundidad y el GA_A II el cual se encuentra delimitado por las muestras que van desde los 15.799' 3" hasta los 15.932' 2". El segundo grupo o GB_A se localiza en la parte media del dendrograma y se subdivide a su vez en tres subgrupos: el primero de ellos definido como GB_A I entre los 15.670' y 15.799' 3", el GB_A II el cual abarca las muestras que van desde los 15.480' 6" hasta los 15.670' y el tercer subgrupo o GB_A III que

abarca las profundidades entre los 15.351' 10" y 15.480' 6". El tercer grupo de este pozo o GB_C también se subdivide a su vez en tres subgrupos. El primero de ellos, el GC_A I entre los 15.245' 3" y los 15.351' 10", el segundo subgrupo o GC_A II que se localiza entre los 15.194' 5" y los 15.245' 3" y por último el tercer subgrupo o GC_A III ubicado hacia el tope del pozo entre las profundidades de 15.180' 7" y 15.194' 5".

Al compararse las seis unidades químicas establecidas a través de los perfiles de concentración con los grupos obtenidos con el dendrograma, los cuales fueron tres podemos indicar que con esta última herramienta estadística se obtuvieron un número de grupos generales mucho menor, sin embargo, a través de esta técnica se obtuvieron de igual forma ocho subgrupos de muestras los cuales coinciden algunos de ellos con las unidades químicas definidas por los perfiles de concentración en el Pozo A.

El GA_A determinado por el dendrograma abarca prácticamente a las unidades UQA_A y la UQB_A con una ligera diferencia en el límite superior que para el caso del grupo obtenido por el dendrograma fue en la muestra ubicada a los 15.799' 3" mientras que en los perfiles de concentración se localiza a los 15.815' 3", es decir, que el subgrupo GA_A I es coincidente con la UQA_A de los perfiles químicos y el GA_A II es casi coincidente con la UQB_A, con la excepción del límite superior antes señalado (Fig. 67). El grupo GB_A determinado por el análisis de las agrupaciones se encuentra entre los 15.351' 10" y los 15.799' 3" de profundidad y está subdividido en tres subgrupos. El primero corresponde con el GB_A I y es también casi coincidente en sus límites con la UQC_A, sólo con una ligera diferencia de una muestra en el tope y de tres muestras hacia su base. El segundo subgrupo o GBA II es también casi coincidente con la UQD_A, discrepando sólo la base en una muestra. El tercer subgrupo perteneciente al GB_A corresponde al GB_A III y coincide completamente con la UQE_A definida mediante los perfiles químicos de concentración.

La última de las asociaciones establecidas por el dendrograma corresponde al GC_A el cual coincide completamente con la UQF_A entre los 15.180' 7" y los 15.351' 10". Sin embargo, en el análisis de agrupaciones es posible discretizar tres subgrupos tal y como se visualiza en la Figura 67.

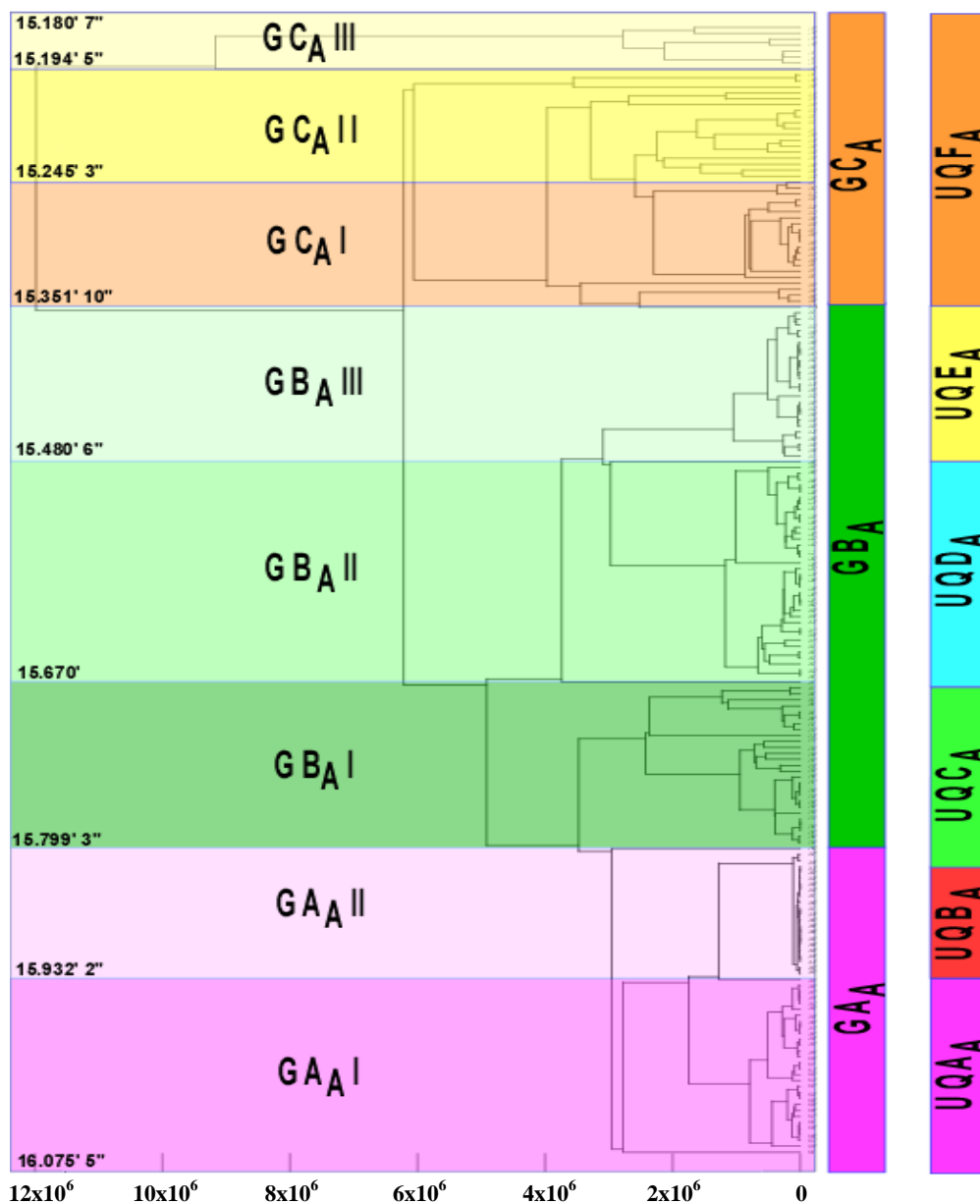


Figura 67. Dendrograma del Pozo A donde se comparan las unidades químicas definidas por los perfiles (columna derecha) y por las agrupaciones (columna izquierda). El eje horizontal está definido por las distancias euclídeanas cuadráticas y el eje vertical por la posición estratigráfica de cada muestra.

Pozo B

En este pozo a través del análisis de agrupaciones se reportaron igualmente tres grupos de muestras definidos como: GA_B, GB_B y GB_C con sus respectivos subgrupos de muestras. El

primero de los grupos o GA_B se subdivide a su vez en GA_B I que abarca las muestras que van desde 14.536' 2" hasta 14.654' 6", el segundo subgrupo o GA_B II que involucra las muestras que van desde los 14.207' 7" hasta los 14.536' 2" y el tercer subgrupo o GA_C III ubicado entre los 14.158' 4" y 14.207' 7". La segunda asociación de muestras o GB_B también se encuentra subdividida en tres subgrupos, el primero de ellos ubicado hacia la parte inferior o GB_B I entre los 14.010' 11" y 14.158' 4", el GB_B II es el segundo subgrupo e involucra a las profundidades que van desde los 13.911' hasta los 14.010' 11" y el tercer subgrupo o grupo GB_C III entre las profundidades de 13.821' y 13.911'. La tercera unidad o GC_B no presenta subgrupos por lo que solamente envuelve a las profundidades que van desde los 13.707' hasta los 13.821' (Fig. 68).

Al establecer la comparación entre estos grupos de muestras y los obtenidos por los perfiles de concentración encontramos que la UQA_B es comparable al subgrupo GA_B I, no obstante, el límite del tope difiere desde los 14.536' 2" a 14.512' 2", esta última profundidad determinada en los perfiles de concentración. Igualmente el GA_B II sería equivalente a la UQB_B , pero en este caso los valores tanto en el tope como en la base discrepan un poco más tal y como se aprecia en la Figura 68. En el tope y en la base por los perfiles de concentración estos límites se encuentran a 14.228' 8" y 14.512' 2" respectivamente mientras que por el dendrograma estarían a 14.207' 7" y 14.536' 2" respectivamente. El subgrupo GA_B III y el subgrupo GB_B I serían equivalentes a la unidad química UQC_B coincidiendo el límite superior en ambos casos a 14.010' 11" mientras que el límite inferior discrepa 21'. El subgrupo GB_B II si es completamente equivalente a la UQD_B tanto en su tope como en su base a 13.911' y 14.010' 11" respectivamente.

Igualmente el subgrupo determinado por el dendrograma GB_B III es también totalmente equivalente a la UQE_B desde los 13.821' hasta los 13.911' de profundidad, al igual que existe una total correspondencia entre la unidad química UQF_B determinada por los perfiles químicos y el GC_B desde los 13.707' hasta los 13.821' de profundidad.

Las medidas de tendencia central tales como el promedio, la mediana y la desviación estándar de los pozos A y B obtenidos para cada una de las agrupaciones arrojadas por los

dendrogramas, tanto para los componentes mayoritarios como para los elementos traza son mostrados en Apéndice XI (Tablas XI.1, XI.2, XI.3 y XI.4).

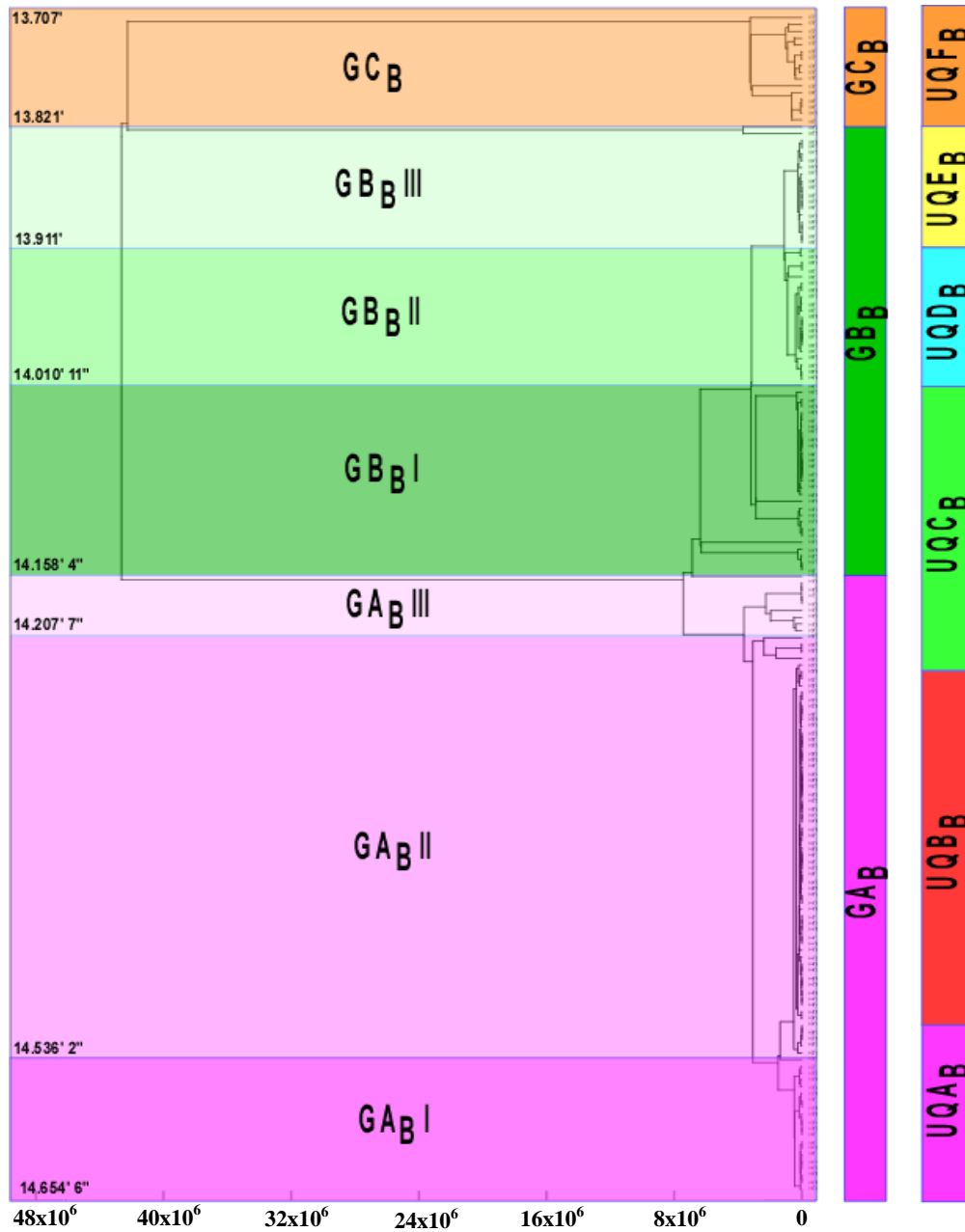


Figura 68. Dendrograma del Pozo B donde se comparan las unidades químicas definidas por los perfiles (columna derecha) y por las agrupaciones (columna izquierda). El eje horizontal está definido por las distancias euclidianas cuadráticas y el eje vertical por la posición estratigráfica de cada muestra.

5.3.2. ANÁLISIS DE FACTORES

Este método estadístico multivariable está diseñado para analizar interrelaciones dentro de grupos de variables u objetos. Tiene por finalidad construir pocas variables hipotéticas o factores que contienen la información esencial de un grupo de variables analizadas mucho más compleja y grande tomando ventaja de las interdependencias inherentes a los datos, permitiendo de este modo reducir la información de forma significativa (BARITTO 2003).

Esta técnica estadística fue empleada en este trabajo con el objetivo de establecer las afinidades existentes entre todo el conjunto de variables químicas analizadas tales como: componentes mayoritarios, elementos traza y % COT, definiendo de esta forma factores que pudieran reflejar correspondencias de orden químico, permitiendo al mismo tiempo establecer asociaciones de carácter químico que involucren a todas las muestras analizadas en los dos pozos.

El método de análisis de factores utilizado fue el *Modo-R* con el cual se quiere estudiar la interrelación existente entre las variables, mientras que el método de rotación utilizado fue *Varimax*, el cual se encarga de simplificar las columnas de la matriz de factores. Este método rota rígidamente el eje de factores de modo que ellos pueden coincidir con los vectores más divergentes en el espacio. Esto es realizado por la maximización de la varianza de la carga de los factores en cada factor manteniendo su ortogonalidad (JÖRESKOG *et al.* 1976). Para ilustrar la correlación multielemental el análisis de factores fue llevado a cabo a través del programa STATGRAPHICS® 4.1 con el cual se obtuvieron además de la tabla con los factores extraídos, los gráficos que ilustran las afinidades entre las variables analizadas y la varianza acumulada.

Pozo A

En este pozo con un 32% de la varianza total el Factor 1 muestra una combinación de elementos de carácter detrítico con altas cargas positivas en el lado derecho de la Figura 69 y un solo elemento correspondiente al CaO en el lado opuesto del diagrama con una alta carga negativa lo cual indica una correlación negativa de este compuesto al compararse con el resto

de los componentes definidos como de carácter detrítico entre los que podemos señalar al SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O y Rb. Los elementos MnO, MgO y Ba reflejan una débil carga positiva en este Factor 1, mientras que para el Factor 2 con un 49% de la varianza total se tiene una alta carga positiva de los elementos Na_2O , Zn, Ni, Cr, Cu y COT que podríamos considerar como de condiciones redox y son aquellos elementos que fundamentalmente caracterizan a la secuencia sedimentaria representada por la Formación La Luna, tal y como se observó en los perfiles químicos de concentración previamente discutidos. Igualmente para este Factor 2 se aprecian dos elementos de débil carga positiva representados por el Sr y el P_2O_5 , los cuales pudieran reflejar asociaciones químicas vinculadas a la productividad orgánica junto al el MnO, MgO y Ba de débil carga negativa. Adicionalmente el Zr expresa fuerte carga negativa y el Y débil carga negativa, al igual que una correlación negativa si se comparan a los elementos anteriormente señalados como redox para el Factor 2. Estos dos últimos elementos traza estarían dentro de una asociación que podríamos catalogar como de minerales pesados.

En resumen a partir del diagrama de factores realizado para el Pozo A (Fig. 69) podemos tener básicamente cinco asociaciones geoquímicas de elementos que agrupan las siguientes tendencias:

- *Asociación siliciclástica* = involucra a los elementos SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O y Rb.
- *Asociación carbonática* = vinculada principalmente al CaO.
- *Asociación orgánica* = relacionados a los elementos Na_2O , Zn, Ni, Cr, Cu y el COT
- *Asociación de minerales pesados* = comprende a los elementos Zr e Y.
- *Asociación de elementos de productividad orgánica* = P_2O_5 , MgO, MnO, Ba y Sr

La Tabla XII.1 (Apéndice XII) muestra los coeficientes generados para cada factor en las variables químicas analizadas para el Pozo A y su varianza respectiva. Partiendo de cada uno de estos coeficientes se generaron las ecuaciones de los dos factores multiplicando los coeficientes por la respectiva concentración de la variable química y posteriormente se sumaron todos los productos.

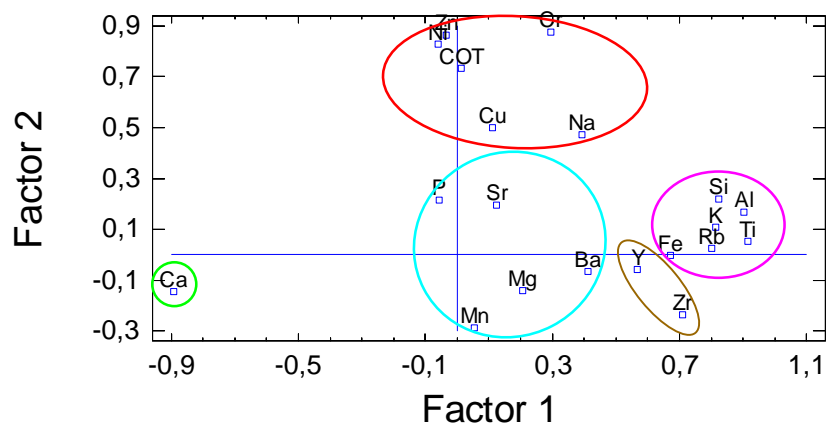


Figura 69. Representación gráfica de los factores para la obtención de las diversas asociaciones químicas presentes en el Pozo A.

Pozo B

En el Pozo B las tendencias geoquímicas se aprecian mucho más acentuadas o claras por cuanto el Factor 1 con un 42% de la varianza total revela altas cargas positivas para los elementos SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O y Rb al igual que para el Y y el Zr mientras que hacia la parte izquierda de la Figura 70 se tienen dos elementos con cargas negativas como los son el CaO y el Sr, los cuales correlacionan negativamente con el conjunto de elementos señalados anteriormente.

En cuanto al Factor 2 para un 61% del total de varianza se discretizan muy claramente un conjunto de elementos de altas cargas positivas similar al observado en el Pozo A el cual agrupa al Na_2O , Ni, Cr, Cu, Zn y el COT los cuales corroboran un marcado carácter óxido-reductor, mientras que se tiene un segundo grupo de elementos de débil carga positiva en este Factor 2 vinculados al P_2O_5 , MgO, MnO y Ba, que podríamos señalar como asociados a la productividad orgánica del medio sedimentario.

Para este pozo se presentan de forma análoga al Pozo A cinco asociaciones geoquímicas tal y como se visualizan en la Figura 70, definidas de la siguiente manera:

- *Asociación siliciclástica* = caracterizada por los elementos SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O y Rb.
- *Asociación carbonática* = vinculada a los elementos CaO y Sr.
- *Asociación orgánica* = relacionados a los elementos Na₂O, Zn, Ni, Cr, Cu y el COT
- *Asociación de minerales pesados* = referida a los elementos Zr e Y.
- *Asociación de elementos de productividad orgánica* = P₂O₅, MgO, MnO y Ba.

La Tabla XII.2 (Apéndice XII) muestra los coeficientes generados para cada factor en las variables químicas analizadas para el Pozo B y su varianza respectiva. A partir de cada uno de estos coeficientes se generaron las ecuaciones de los dos factores multiplicando los coeficientes por la respectiva concentración de la variable química y posteriormente se sumaron todos los productos.

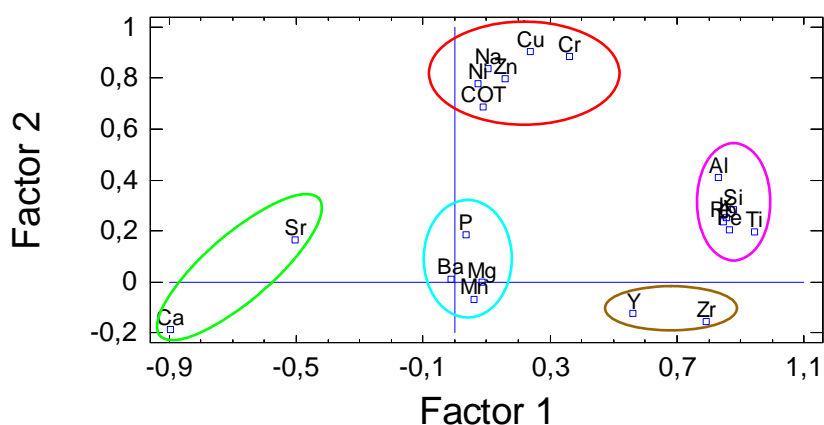


Figura 70. Representación gráfica de los factores para la obtención de las diversas asociaciones químicas presentes en el Pozo B.

5.3.3. FUNCIONES DISCRIMINANTES

El análisis discriminante se caracteriza por ser una técnica estadística multivariable de gran ayuda para establecer la clasificación de muestras en grupos predefinidos en base a variables múltiples. Es por esta razón que esta herramienta fue utilizada en este estudio con el objeto de discretizar o diferenciar las unidades químicas obtenidas en cada pozo mediante los perfiles de concentración, empleando todas las variables químicas orgánicas, inorgánicas y mineralógicas analizadas.

Adicionalmente se comprobaron en ambos pozos las formaciones geológicas estudiadas, los grupos y subgrupos obtenidos por los dendrogramas, las unidades sedimentarias establecidas para el área de estudio por BARTOK *et al.* (1981) y la estratigrafía secuencial también definida previamente para el área por MURAT & AXPIRITZAGA (1995). De igual forma se efectuaron ensayos de correlación química desde el punto de vista formacional, de estratigrafía secuencial y de agrupaciones para los dos pozos. Para el cálculo de las funciones discriminantes se empleó el programa STATGRAPHICS® 4.1 con el cual se obtuvieron los gráficos y las tablas de clasificación respectivas.

Pozo A

El primer ensayo efectuado por funciones discriminantes consistió en comprobar la discretización entre las unidades químicas previamente establecidas por los perfiles químicos de concentración. En este pozo fueron definidas seis unidades químicas que van desde la UQA_A hasta la unidad química UQF_A. De acuerdo al diagrama de funciones discriminantes se obtuvo un 85% de éxito en la discriminación de estas unidades (Fig. 71) lo cual resultó positivo en virtud del número de unidades comparadas, además de que la determinación de dichas unidades no corresponde a ningún criterio estadístico multivariable sino más bien a un criterio de carácter visual. La Tabla XIII.1 (Apéndice XIII) resume la discriminación efectuada por el programa para cada una de las unidades comparadas.

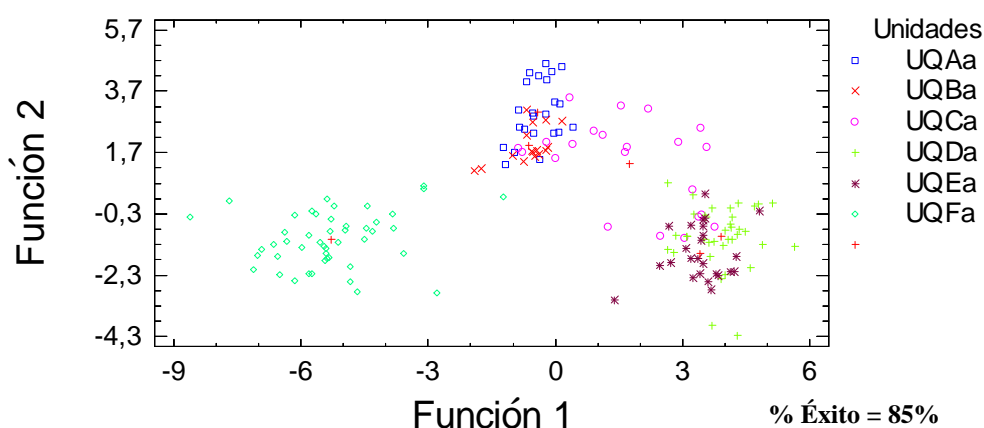


Figura 71. Representación gráfica de las funciones discriminantes para la separación de las unidades químicas del Pozo A.

El segundo ensayo de correlación correspondió a los contactos formacionales previamente establecidos por sedimentología con lo cual se obtuvo un 91% de éxito (Fig. 72), determinándose sin lugar a dudas que cada una de las formaciones geológicas analizadas presentan una huella geoquímica distintiva dentro del pozo. En la Tabla XIII.2 (Apéndice XIII) son mostrados de forma individual cada una de las formaciones geológicas evaluadas y su discriminación.

El tercer y cuarto análisis efectuado por funciones discriminantes correspondió a los grupos y subgrupos químicos determinados por el análisis de agrupaciones o dendrograma. Para el primero de los casos se obtuvo un porcentaje de acierto elevado, correspondiente a 96%.

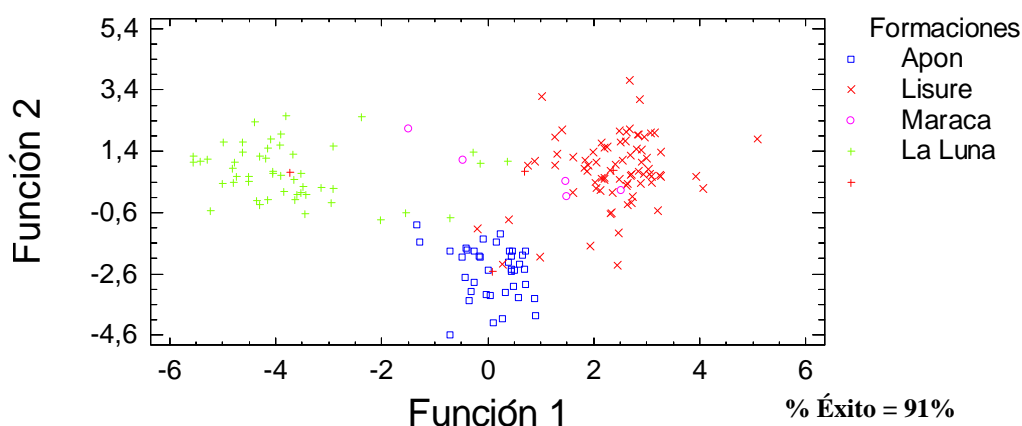


Figura 72. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las formaciones geológicas del Pozo A.

Los tres grupos químicos mayores obtenidos por el dendrograma evaluados en el ensayo corresponden a GA_A , GB_A y GC_A . El primero de estos grupos involucra a las formaciones Apón y Lisure inferior, el GB_A envuelve a la Formación Lisure superior y la Formación Maraca mientras que el GC_A corresponde a la Formación La Luna principalmente en términos de unidades litoestratigráficas (Fig. 73). La Tabla XIII.3 (Apéndice XIII) refleja la discretización efectuada en cada grupo químico.

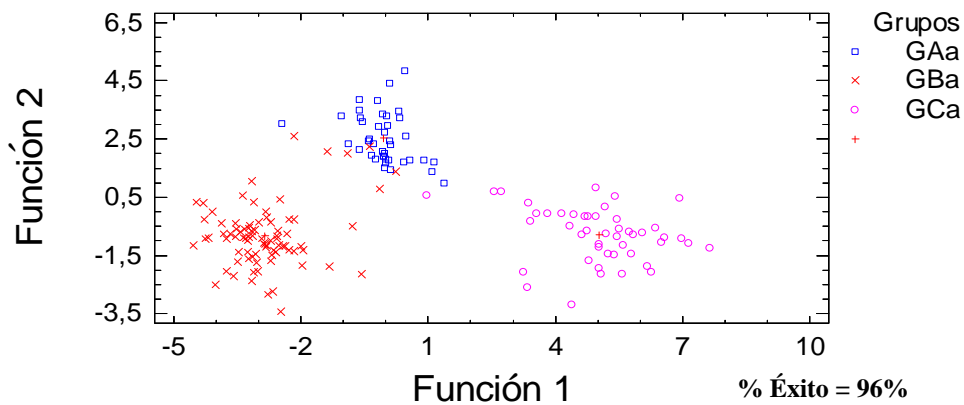


Figura 73. Representación gráfica de las funciones discriminantes de los grupos químicos del Pozo A.

En el análisis discriminante de los subgrupos igualmente obtenidos por el dendrograma observamos que el porcentaje de éxito baja notablemente hasta un 82% lo cual nos indica que existe interrelación entre ciertos subgrupos tal y como se aprecia en la Figura 74. No obstante, la clasificación es alta en virtud de sobrepasar el 80% de los casos correctamente clasificados. La Tabla XIII.4 (Apéndice XIII) refleja la clasificación parcial obtenida en cada subgrupo químico analizado.

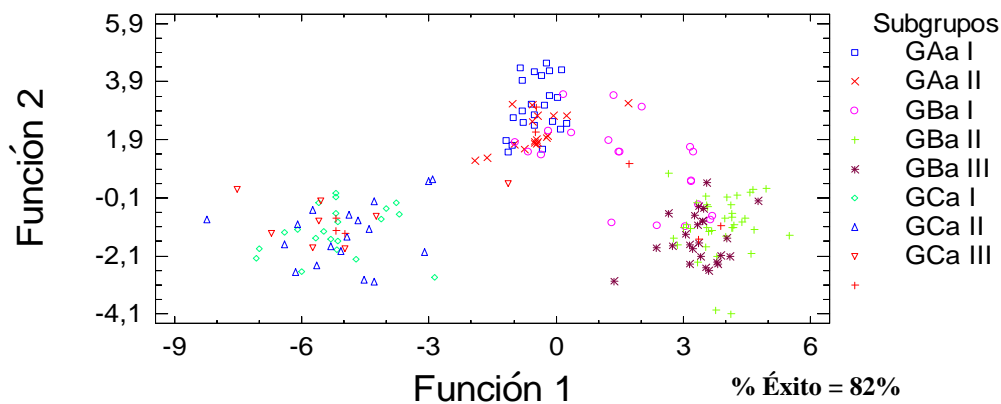


Figura 74. Representación gráfica de las funciones discriminantes de los subgrupos químicos del Pozo A.

Otro de los análisis por funciones discriminantes realizados en este pozo fue establecer una discriminación de las unidades sedimentarias establecidas por BARTOK *et al.* (1981) desde el punto de vista químico. Estos autores establecieron seis unidades sedimentarias que involucran a todo el Grupo Cogollo en base a las características sedimentológicas observadas en diversos núcleos del área, por lo que se introdujo en este trabajo una unidad adicional a las seis unidades

sedimentarias antes señaladas que correspondería a la Formación La Luna a efectos de efectuar el análisis discriminante correspondiente.

Las principales características sedimentológicas de estas unidades definidas por BARTOK *et al.* (1981) para el Grupo Cogollo son resumidas a continuación:

- *Unidad H*: La textura depositacional dominante es lodolita/caliza lodosa. El tope de la Formación Río Negro forma el marcador basal. El límite superior está localmente caracterizado por barras de calizas granulares y biostromos de pelecípodos. Las dolomías constituyen un elemento significativo de esta unidad.

- *Unidad G*: El tope de la unidad se caracteriza por una brecha intraformacional asociada probablemente con una diastema. La textura depositacional dominante son calizas lodosas, calizas lodogranulares y lodolitas. Una pequeña cantidad de influjos siliciclásticos están también presentes.

- *Unidad F*: Una brecha intraformacional marca el tope de la unidad. La brecha contiene fragmentos de carbonatos y guijarros angulares de cuarzo. Algunos intervalos están dolomitizados y la biturbación es común. En la parte basal niveles endurecidos (*hardgrounds*) están suprayacidos por sedimentos que contienen intraclastos y gasterópodos. Cerca del tope de la unidad calizas lodogranulares de oncolitas son comunes.

- *Unidades E y D*: Los topos marcadores de estas unidades son hechos de biostromos de pelecípodos y depósitos de barras costeras e interbarras. Lutitas no calcáreas y glauconitas son comunes.

- *Unidad C*: La parte basal de la unidad tiene una lutita característica ligeramente arenosa y está ampliamente distribuida en los pozos analizados por estos autores. La secuencia continua con sedimentos lagunales, lodositas y calizas lodosas con abundantes miliólidos y orbitolínidos. La unidad culmina con un depósito de interbarra que contiene oncolitas, ooides, material peletal y sedimentos supramareales. El tope de la unidad contiene estructuras “ojo de pájaro” y grandes granos de cuarzo.

- *Unidad B*: Sedimentos lagunales e intermareales constituyen la parte basal de la unidad. Están presentes *hardgrounds*. El tope está caracterizado por barras de calizas granulares oolíticas de alta energía y calizas lodogranulares esqueléticas.

- *Unidad A*: En la base de la unidad prevalecen sedimentos lagunales a intermareales. Los sedimentos son granulares y la textura depositacional es principalmente calizas lodogranulares. La unidad termina con un biostromo de pelecípodos y gradada finamente a las facies de la Formación La Luna.

El análisis de estas unidades sedimentarias arrojó un 78% de éxito, lo cual es indicativo de cierta interrelación química entre algunas unidades sedimentarias evaluadas por el valor de acierto obtenido. Por ejemplo en la Figura 75 las unidades A, B y C se focalizan en un mismo grupo, mientras que las unidades sedimentarias D, E y F se agrupan en otra área del gráfico y las muestras de la Formación La Luna por su parte se discretizan de los dos grupos anteriores visualizados en el diagrama. Es por esta razón que estas agrupaciones observadas impactaron de alguna forma el porcentaje de clasificación general obtenido para este análisis tal y como se desprende de la Tabla XIII.5 (Apéndice XIII).

No obstante, es importante señalar que BARTOK *et al.* (1981) agrupó estas unidades sedimentarias en dos grupos. Una división inferior consistente de las unidades D, E, F, G y H y una división superior que comprende a las unidades A, B y C, lo cual en efecto coincide con la discriminación química observada en la Figura 75 para las unidades relacionadas al Grupo Cogollo, donde se aprecia una interrelación química entre las unidades sedimentarias como fue indicado con antelación.

Estos mismos autores señalan que las unidades sedimentarias inferiores corresponden a sedimentos depositados en ambientes marino someros restringidos de baja energía, protegidos. El desarrollo de barras costeras e interbarras ocurren de forma esparcida. Las unidades sedimentarias clasificadas como del grupo de división superior (A, B, C) comprenden unidades sedimentarias que reflejan un ambiente menos protegido que las unidades basales,

prevaleciendo condiciones marino someras normales y localmente de alta energía sobre gran parte del norte y centro de la cuenca.

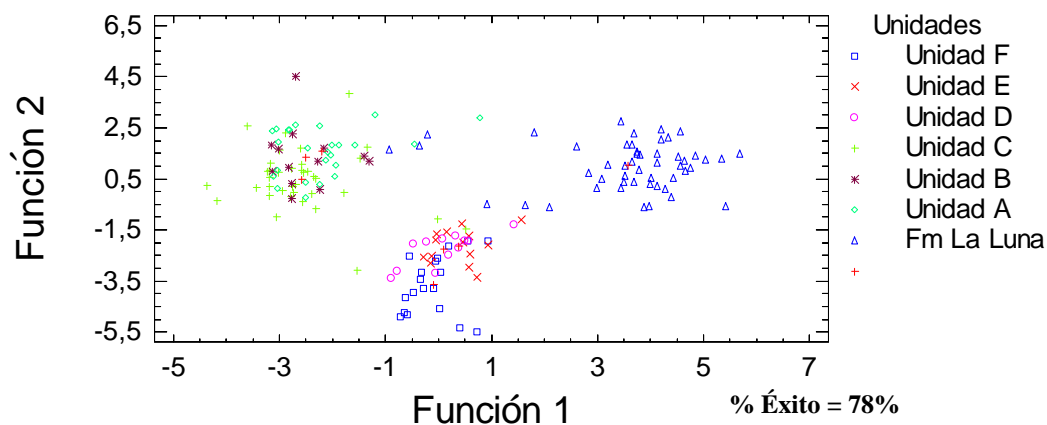


Figura 75. Representación gráfica de las funciones discriminantes de las unidades sedimentarias evaluadas en el Pozo A.

El último de los análisis discriminantes efectuados en el Pozo A fue comprobar si existía una discriminación desde el punto de vista químico de las secuencias genéticas establecidas por el estudio de MURAT & AXPIRITZAGA (1995) para las secuencias carbonáticas del Grupo Cogollo en la Cuenca de Maracaibo. En base al análisis secuencial de un conjunto de núcleos en gran parte de la cuenca estos autores propusieron las siguientes etapas genéticas para el área de estudio:

- *Ciclo I:* de edad Barremiense tardío – Aptiense temprano, el cual no envuelve a ninguno de los pozos analizados en este trabajo por presentar secuencias mucho más jóvenes en edad. Se caracteriza por tener dos secuencias de tercer orden. Este Ciclo I es interpretado como una rampa carbonática abierta en dirección oeste.

- *Ciclo II:* de edad Apítense temprano – Albiense, el cual es un ciclo completo regresivo – transgresivo que contiene seis secuencias de tercer orden, distribuidas en etapas de relleno durante la regresión y etapas de agradación y retrogradación durante la transgresión. Este ciclo está representado por el desarrollo de una plataforma carbonática interna a media “bordeada” (*Rimmed Shelf*).

- *Ciclo III*: de edad Albiense – Cenomaniense temprano el cual es otro ciclo completo regresivo – transgresivo formado internamente por ocho secuencias que se pueden seguir en gran parte de la cuenca según estos autores y que corresponde a una plataforma mixta de carbonatos y siliciclásticos, la cual contiene interdigitación de facies carbonáticas y siliciclásticas en dirección de la línea de costa hacia el sureste.

Adicionalmente para el análisis discriminante se involucra a la Formación La Luna como otro ciclo a ser considerado para observar la discriminación química existente entre cada una de las secuencias genéticas antes descritas para el Grupo Cogollo, en virtud de que representa un evento de hundimiento (*drowning event*) posterior a la etapa transgresiva de “*backstepping*” que culmina con la Formación Maraca. El análisis discriminante de estas secuencias genéticas indicó una alta discretización con un 99% de éxito alcanzado por todas las muestras consideradas para el Pozo A, tal y como se aprecia en la Figura 76, por lo cual podemos también señalar sin lugar a dudas que las secuencias genéticas evaluadas son químicamente diagnósticas en este pozo. En la Tabla XIII.6 (Apéndice XIII) pueden ser observadas las discriminaciones efectuadas para cada uno de estos ciclos genéticos.

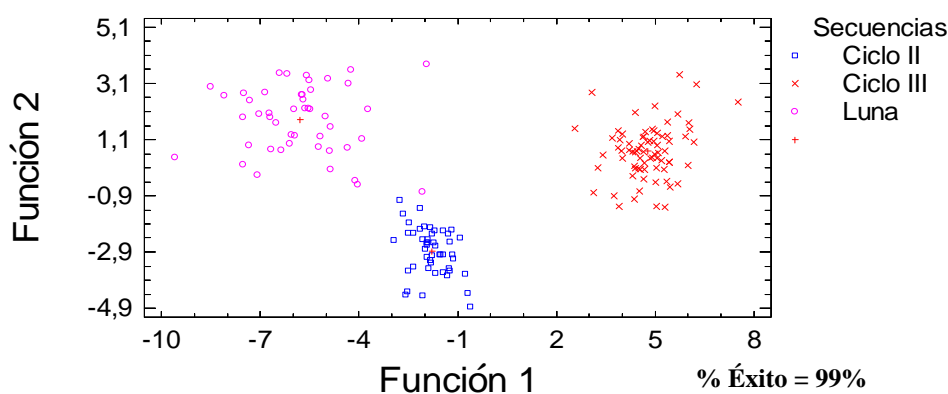


Figura 76. Representación gráfica de las funciones discriminantes de las secuencias estratigráficas evaluadas en el Pozo A.

Pozo B

El primero de los análisis realizados para el Pozo B en relación a las unidades químicas definidas mediante los perfiles de concentración reveló que de las seis unidades consideradas se obtuvo un 81% de acierto en la clasificación de las mismas, tal y como se destaca en la

Figura 77, ya que posiblemente existe una relación química entre ciertas unidades como por ejemplo la UQ_{E_B}, UQ_{D_B} y UQ_{C_B}. La Tabla XIII.7 (Apéndice XIII) muestra por su parte cada una de las discriminaciones químicas realizadas de forma particular en cada unidad evaluada.

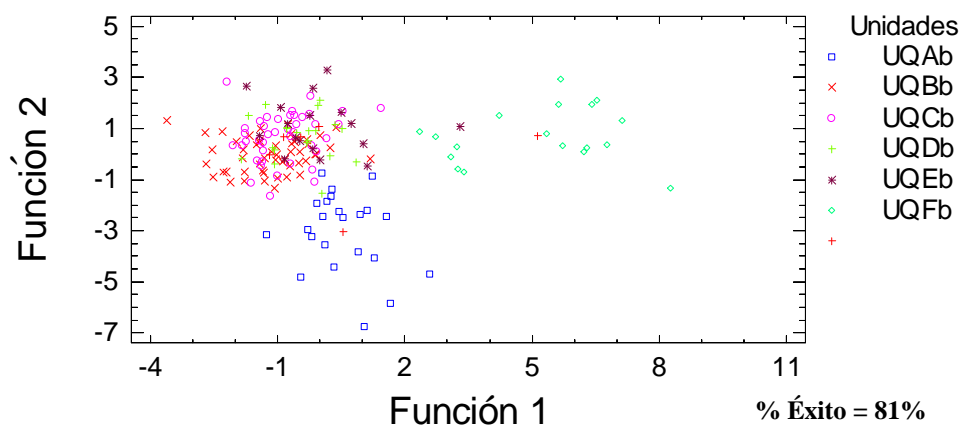


Figura 77. Representación gráfica de las funciones discriminantes para la separación de las unidades químicas del Pozo B.

El segundo ensayo de análisis discriminante en este pozo involucró a las formaciones geológicas analizadas con lo cual también se obtuvo un alto porcentaje de acierto equivalente a 87% de acertividad en la discretización química (Fig. 78), pudiéndose destacar como en el Pozo A, que existen huellas geoquímicas diagnósticas desde el punto de vista formacional también para el Pozo B. La Tabla XIII.8 (Apéndice XIII) refleja la discriminación química realizada en cada una de las formaciones geológicas consideradas.

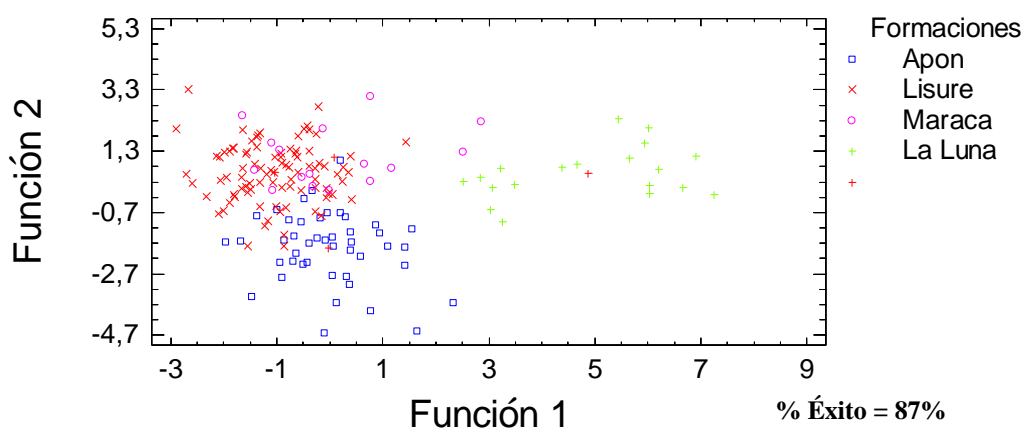


Figura 78. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las formaciones geológicas del Pozo B.

Los análisis número tres y cuatro correspondieron a los grupos y subgrupos de muestras obtenidos a través del análisis de agrupaciones o dendrogramas con los cuales se obtuvieron 81% y 82% de éxitos en las clasificaciones químicas respectivas. En el primero de los casos se aprecia en la Figura 79 un conjunto de muestras que reflejan relación química entre los grupos GA_B y GB_B , mientras que en los subgrupos con estas características químicas semejantes son más claramente visibles entre GA_B II y GA_B III, GB_B I y GB_B II de acuerdo al gráfico de funciones discriminantes observado de la Figura 80. Por su parte las Tablas XIII.9 y XIII.10 (Apéndice XIII) muestran por separado cada una de las discriminaciones realizadas para estos grupos y subgrupos químicos de muestras en el Pozo B.

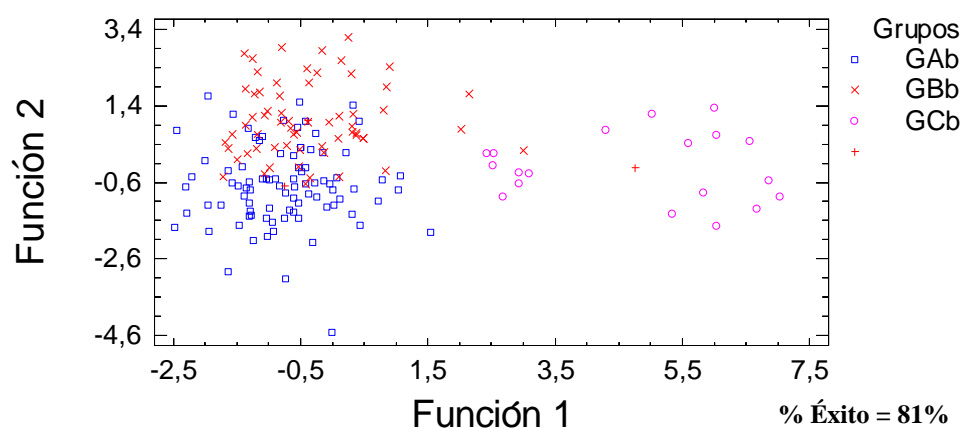


Figura 79. Representación gráfica de las funciones discriminantes de los grupos químicos del Pozo B.

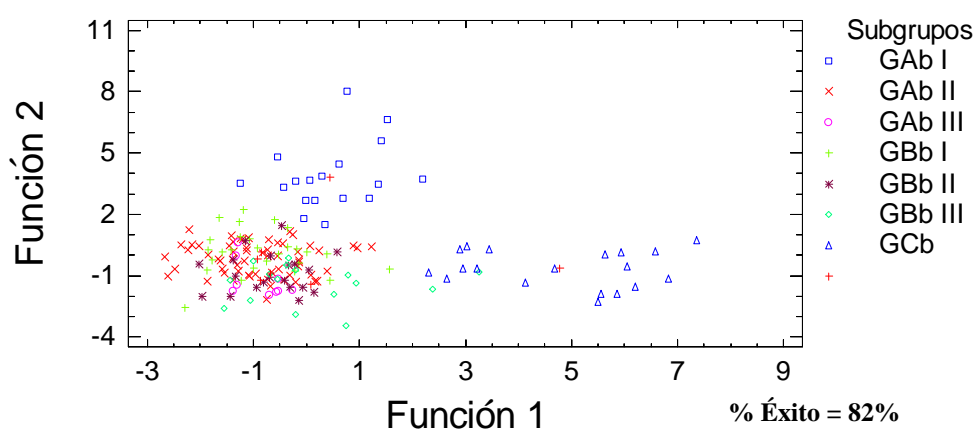


Figura 80. Representación gráfica de las funciones discriminantes de los subgrupos químicos del Pozo B.

El quinto ensayo realizado en este pozo fueron las unidades sedimentarias establecidas para la Cuenca de Maracaibo por BARTOK *et al.* (1981) aplicadas igualmente en el Pozo A y descritas con anterioridad. El análisis arrojó un 78% de éxito en la clasificación química, semejante al obtenido en el Pozo A. Al observar la Figura 81 se aprecia la existencia de algunas unidades sedimentarias que probablemente reflejan interrelación química. Las unidades más claramente visibles según el diagrama que están interrelacionadas son las unidades E, D, C y B por un lado, las unidades F, G y H en otro grupo y las muestras pertenecientes a la Formación La Luna son totalmente distinguibles de los otras dos de acuerdo al gráfico realizado. La Tabla XIII.11 indica de forma esquemática los porcentajes de acierto particulares obtenidos en cada una de estas unidades sedimentarias evaluadas.

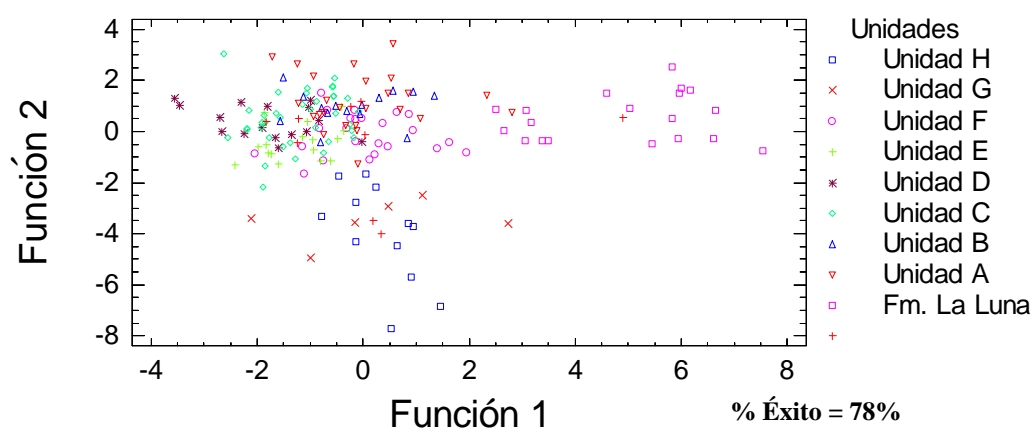


Figura 81. Representación gráfica de las funciones discriminantes de las unidades sedimentarias evaluadas en el Pozo B.

El último de los ensayos químicos efectuados de forma individual en el Pozo B fue al igual que en el Pozo A la comprobación química de las secuencias estratigráficas genéticas establecidas para el Grupo Cogollo en toda la Cuenca de Maracaibo por MURAT & AXPIRITZAGA (1995) con el cual se obtuvo un 92% de certeza en la clasificación, resultado que nos permite señalar efectivamente que estas secuencias son geoquímicamente distintivas en este pozo e incluso en la cuenca debido al alto porcentaje de aciertos obtenidos en ambos pozos. Según la Figura 82 sólo unas pocas muestras del Ciclo II tienen afinidad química con muestras del Ciclo III. Por su parte en la Tabla XIII.12 (Apéndice XIII) se presentan las discriminaciones particulares de cada una de estas secuencias genéticas del Grupo Cogollo y la Formación La Luna.

En el Apéndice XIV son mostradas todas las tablas que reflejan los coeficientes generados para las distintas funciones discriminantes de cada uno de los ensayos en este estudio realizados para ambos pozos.

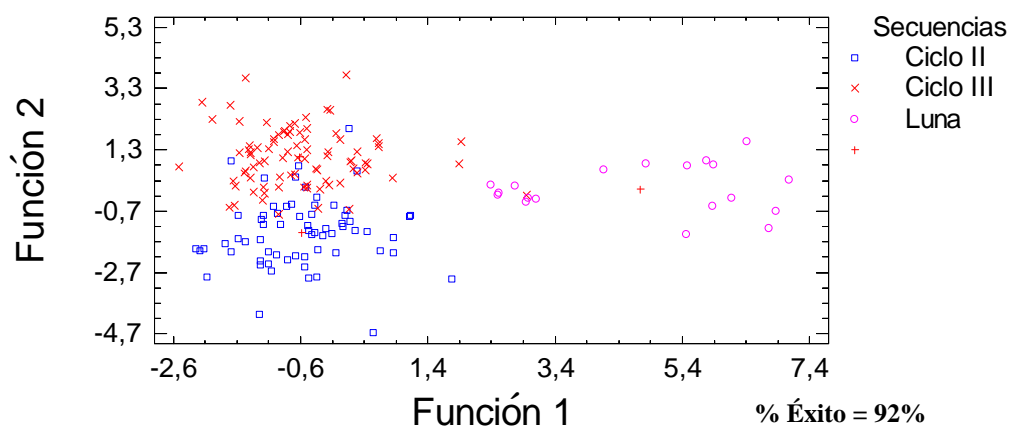


Figura 82. Representación gráfica de las funciones discriminantes de las secuencias estratigráficas evaluadas en el Pozo B.

5.3.3.1 Correlación química entre los Pozos A y B

Una vez efectuadas todas las pruebas por análisis discriminantes en cada uno de los dos pozos por separado, se procedió a realizar un primer ensayo de correlación química a nivel de formaciones geológicas con lo cual se obtuvo con un 76% de éxito una discriminación química a nivel formacional, considerando tanto el conjunto de muestras del Pozo A como del Pozo B pertenecientes a una misma formación geológica, es decir, honrando los intervalos estratigráficos en los cuales se ubicaban las muestras en ambos pozos. En la Figura 83 se aprecia la buena discretización existente entre las muestras de la Formación La Luna de ambos pozos y el resto de las formaciones geológicas pertenecientes al Grupo Cogollo. Se aprecia en este gráfico la afinidad química existente entre ciertas muestras de la Formación Apón y de la Formación Lisure, por lo cual el porcentaje de acierto en la clasificación no resultó más elevado.

No obstante, es un resultado bastante significativo en virtud de la separación física existente entre los dos pozos estudiados la cual es de aproximadamente 31 km, además de estar

correlacionándose fundamentalmente rocas carbonáticas puras y de mezcla, rocas dolomitizadas, además de pequeños intervalos siliciclásticos, los cuales tienden a ser en esencia químicamente heterogéneas en cuanto a su constitución. En la Tabla XIII.13 (Apéndice XIII) se reflejan las discriminaciones llevadas a cabo para cada una de las formaciones geológicas del área de estudio.

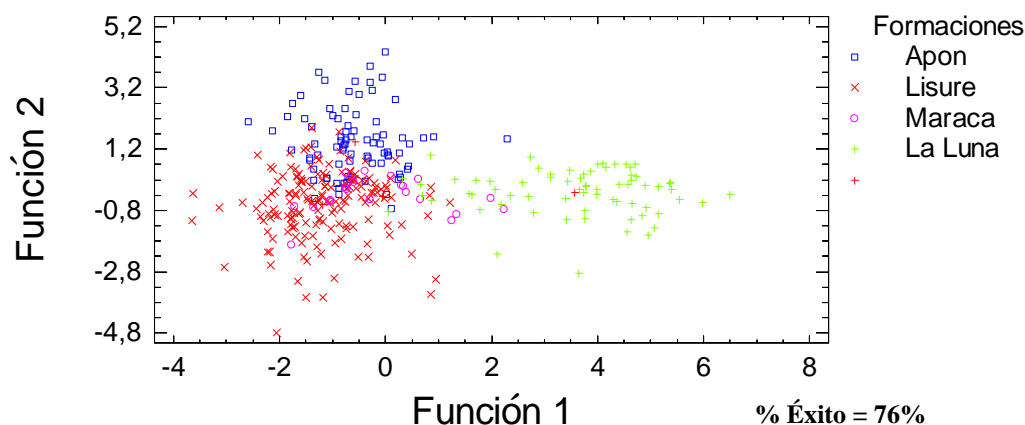


Figura 83. Representación gráfica de las funciones discriminantes obtenidas en la correlación química de las formaciones geológicas de los Pozo A y B.

El segundo ensayo de correlación química realizado entre los dos pozos fue de forma análoga al de las formaciones geológicas, considerar los tres grupos químicos principales establecidos a través del análisis de agrupaciones en ambos pozos y correlacionarlos como un solo grupo dependiendo de la ubicación estratigráfica en la cual se encontraban, obteniéndose un 83% de certeza o éxito en esta clasificación efectuada, lo cual se traduce en una buena afinidad o correspondencia química entre los grupos obtenidos del dendrograma (Fig. 84).

El grupo GC ab corresponde a las muestras de la Formación La Luna de ambos pozos, el cual arroja una buena separación de los grupos GA ab y GB ab, los cuales muestran según el gráfico efectuado una interrelación química de un cierto conjunto de muestras. El GA ab corresponde a la Formación Apón y la Formación Lisure inferior mientras que el grupo GB ab corresponde a la Formación Lisure superior e involucra también a la Formación Maraca de acuerdo a los análisis efectuados por los dendrogramas. En la Tabla XIII.14 (Apéndice XIII) son presentados los resultados parciales de cada una de las discriminaciones químicas realizadas en estas agrupaciones globales del área de estudio.

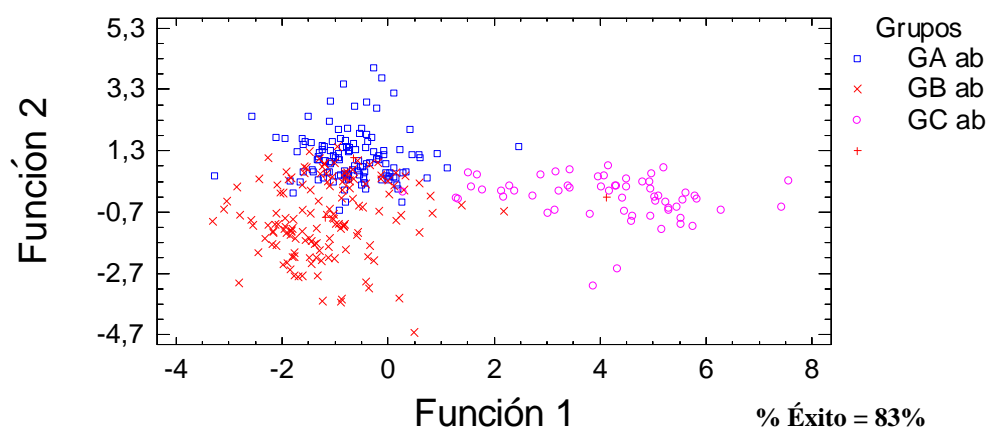


Figura 84. Representación gráfica de las funciones discriminantes obtenidas en la correlación química de los grupos generados por el dendrograma en el Pozo A y B.

El último ensayo de correlación química realizado entre ambos pozos fue el de comprobar los ciclos o secuencias estratigráficas genéticas establecidos por MURAT & AXPIRITZAGA (1995), los cuales fueron realizados por separado en ambos pozos y que arrojaron altos porcentajes de éxito en la clasificación de 99% y 92% de certeza para el Pozo A y el Pozo B respectivamente. En esta prueba el análisis arrojó un 86% de éxito en la correlación química de estas secuencias estratigráficas para el área de estudio de acuerdo a la Figura 85.

Este análisis conlleva a inferir que efectivamente como en las pruebas particulares realizadas en cada uno de los pozos, estas secuencias genéticas son correlativas químicamente en ambos pozos y tienen en consecuencia una huella geoquímica distintiva diagnóstica que puede ser extensiva a toda la Cuenca de Maracaibo en virtud de la extensión areal de la correlación química efectuada en este estudio, es decir, que no solo desde el punto de vista sedimentológico y estratigráfico tienen carácter regional sino que también desde el punto de vista químico estas secuencias genéticas tienen afinidad correlativa. La Tabla XIII.15 (Apéndice XIII) refleja las discretizaciones químicas de las secuencias estratigráficas correlacionadas en ambos pozos, mientras que en el Apéndice XV puede ser observado un panel de correlación químico realizado entre ambos pozos donde se ilustra las secuencias estratigráficas genéticas evaluadas en esta prueba de correlación.

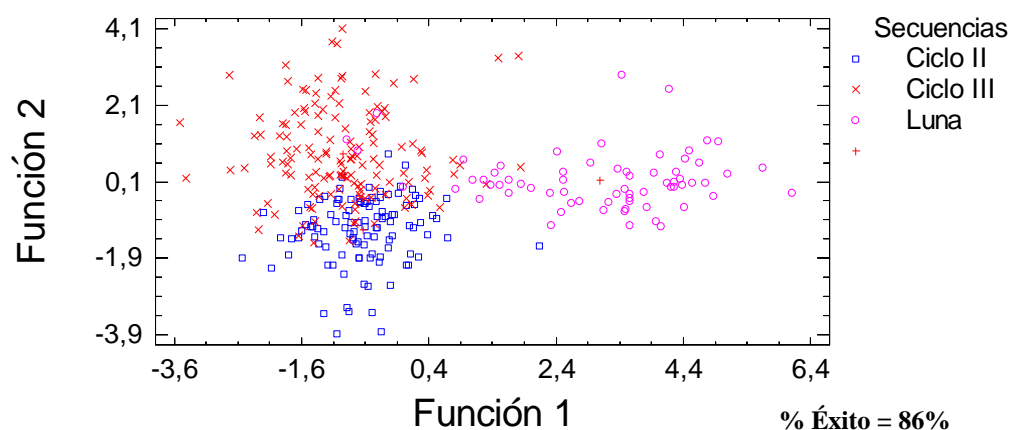


Figura 85. Representación gráfica de las funciones discriminantes obtenidas en la correlación química de las secuencias estratigráficas de los Pozos A y B.

5.4. ANÁLISIS MINERALÓGICOS DEL GRUPO COGOLLO Y FORMACIÓN LA LUNA MEDIANTE DRX

En este estudio fueron analizadas 198 muestras por difracción de rayos X (DRX) en la fracción de roca total. Del número total de muestras analizadas, 101 muestras corresponden al Pozo A y 97 al Pozo B, las cuales fueron tomadas cada 10' aproximadamente en ambos casos. Los resultados obtenidos por cada muestra en particular pueden ser visualizados en el Apéndice XVI del presente trabajo. Las principales fases mineralógicas semi-cuantificadas en orden de importancia fueron: cuarzo, calcita, arcilla, dolomita, pirita, siderita, feldespato potásico y feldespato sódico principalmente.

De acuerdo a la composición mineralógica de cada una de las muestras se generaron unas tablas de litotipos (ver Apéndice XVI) según los rangos de concentración imperantes determinados por DRX para cada muestra. A partir de estas tablas de litotipos se obtuvieron diagramas de torta donde se refleja de forma gráfica y sucinta la distribución de dichas litologías para cada una de las formaciones geológicas interpretadas.

En el Pozo A, según los gráficos analizados, se tiene que la Formación Apón (Fig. 86) refleja una alta variabilidad litológica predominando las calizas (49%), seguido por las calizas

arcillosas (21%), calizas arenosas (3%), calizas dolomíticas y dolomías arcillosas (6%), y por último las lutitas calcáreas, lutitas dolomíticas y areniscas arcillosas calcáreas con un 3% respectivamente. El total de muestras analizadas para esta Formación fue de 33 muestras.

La siguiente formación en orden estratigráfico corresponde a la Formación Lisure (Fig. 87) la cual refleja de igual manera una alta variabilidad litológica de acuerdo a los datos interpretados por DRX. Para un total de 36 muestras analizadas, en esta unidad estratigráfica se tiene un 41% de calizas, un 22% de calizas arcillosas, un 14% de areniscas calcáreas, un 8% de lutitas calcáreas, un 6% de lutitas y un 3% de calizas dolomíticas, areniscas arcillosas y lutitas dolomíticas respectivamente. De acuerdo a los resultados anteriormente señalados se tiene que tanto en la Formación Apón como en la Formación Lisure del Pozo A en cuestión, se presenta una alta influencia de litologías siliciclásticas, manifestado por la alta variabilidad de litotipos determinados, a pesar del predominio de las rocas con contenido carbonático.

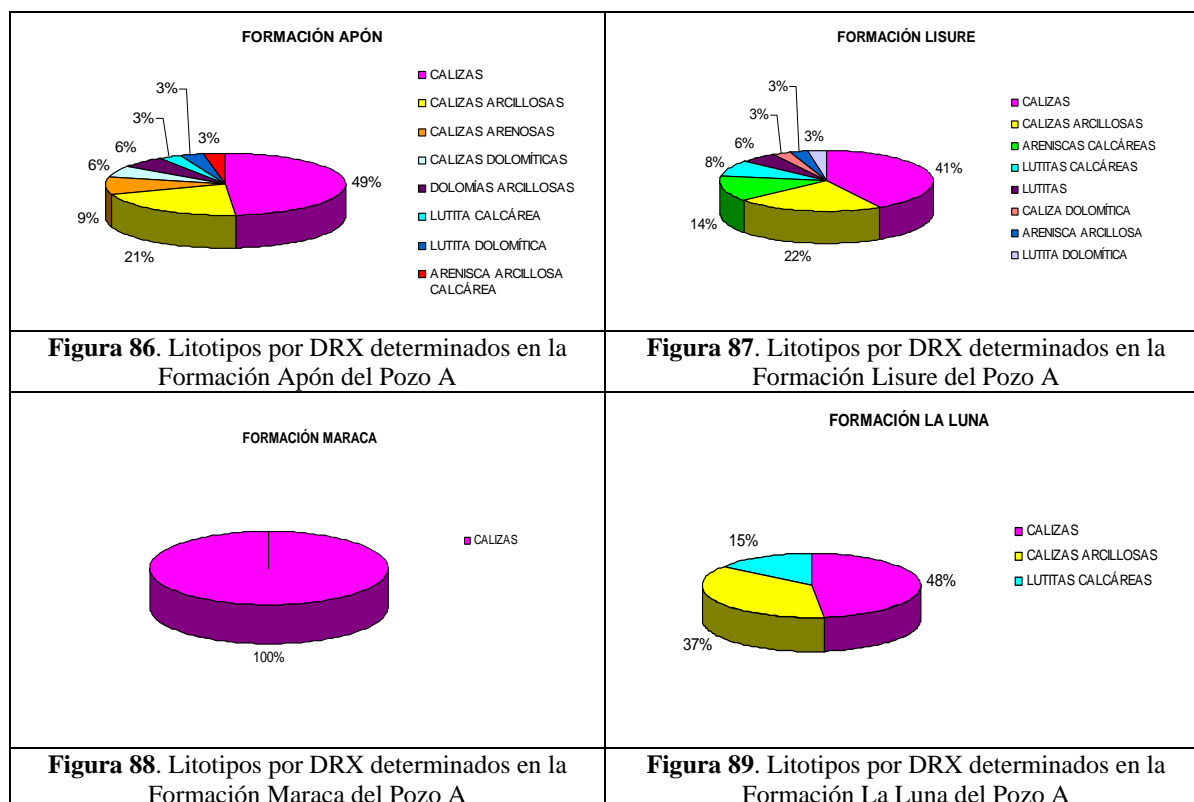
En la Formación Maraca de las 4 muestras evaluadas por DRX se tiene un 100% de calizas, lo cual se traduce en ninguna influencia de tipo siliciclástica (Fig. 88), mientras que en la Formación La Luna de las 27 muestras analizadas el 48% corresponden a calizas, un 37% a calizas arcillosas y un 15% a lutitas calcáreas (Fig. 89), lo cual corresponden con las litologías clásicas reportadas en diversos estudios para esta formación geológica.

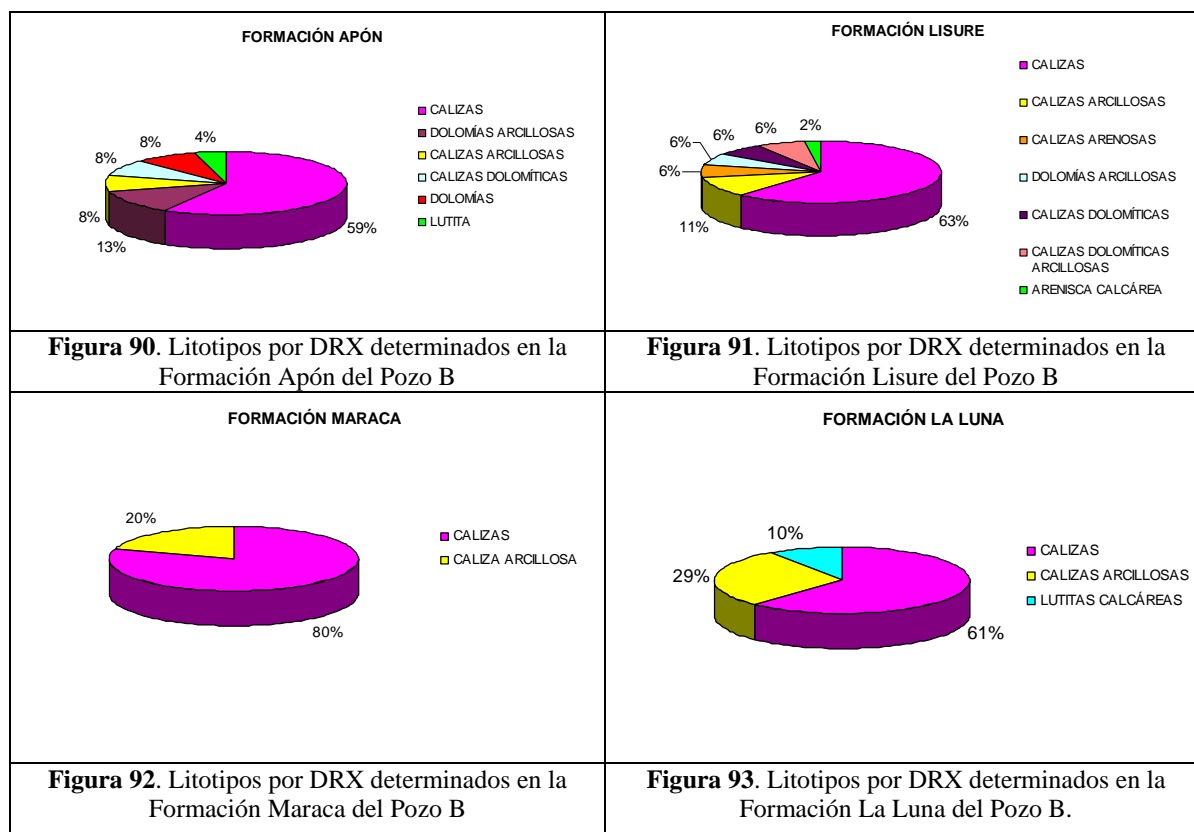
Por otra parte al analizar el Pozo B se tiene que en la Formación Apón para las 24 muestras estudiadas se presenta un 59% de calizas, un 13% de dolomías arcillosas, un 8% de calizas arcillosas, calizas dolomíticas y dolomías respectivamente y un 4% de lutitas (Fig. 90). En relación a la Formación Lisure de este mismo pozo, se tiene un 63% de calizas, un 11% de calizas arcillosas, un 6% de calizas arenosas, dolomías arcillosas, calizas dolomíticas y calizas dolomíticas arcillosas respectivamente, y un 2% de areniscas calcáreas (Fig. 91).

Al efectuar la comparación entre este pozo y el Pozo A se observa que las fracciones carbonáticas para las formaciones Apón y Lisure son mucho más altas comparativamente a estas mismas formaciones en el Pozo A, donde la fracción siliciclástica es mucho más relevante como se señaló con antelación, no obstante, podemos apreciar que para el Pozo B existe muestras con mayores contenidos de dolomita, influenciando por consiguiente los tipos

litológicos descritos en estas formaciones por DRX, lo cual se traduce en otra diferencia importante en comparación a las muestras analizadas en las formaciones Apón y Lisure del Pozo A, lo que podría estar sugiriendo posibles procesos de dolomitización de ciertos intervalos estratigráficos hacia esta región, los cuales posiblemente no estarían presentes hacia el Pozo A, el cual se encuentra localizado más hacia la parte sur del centro del Lago de Maracaibo.

En relación a la Formación Maraca para el Pozo B se presenta un 80% de calizas y un 20% de calizas arcillosas para un total de 5 muestras interpretadas (Fig. 92). Este último litotipo en esta Formación es nuevo si se compara con las muestras de la Formación Maraca del Pozo A donde los resultados arrojaron un 100% de calizas. En la Formación La Luna se tiene un 61% de calizas, un 29% de calizas arcillosas y un 10% de lutitas calcáreas, para un total de 21 muestras analizadas por DRX, lo cual no difiere a grandes rasgos de los litotipos interpretados en la Formación La Luna del Pozo A (Fig. 93).





Adicionalmente a los gráficos de torta efectuados para cada una de las formaciones geológicas en ambos pozos con el objeto de observar la distribución de los litotipos por DRX, también fueron elaborados perfiles de concentración de las principales fases minerales presentes tales como: cuarzo, arcilla, calcita y dolomita con la finalidad de apreciar su distribución vertical con la profundidad tanto del Pozo A como en el Pozo B, y compararlos visualmente con los perfiles de concentración químicos del % CaCO₃ y el % terrígenos (Ti), perfiles estos especialmente diseñados a través de cálculos estequiométricos derivados a partir de las concentraciones del CaO y TiO₂, ya que resumen en buena medida las tendencias químicas generales de ambos pozos y sirven adicionalmente como un patrón de comparación contra los perfiles mineralógicos realizados y contra otras variables químicas.

Los perfiles mineralógicos del cuarzo y de la arcilla revelan tendencias similares a lo largo de todo el Pozo A, destacando principalmente un incremento en aquellas áreas de influencia siliciclástica, especialmente hacia la base de la Formación Lisure o de la UQC_A donde se visualizan los máximos ascensos o incrementos de estos dos minerales (Apéndice XVII). Sin

embargo, las tendencias son heterogéneas a lo largo de la columna estratigráfica. En el perfil de concentración de la arcilla se aprecian máximos ascensos, el primero de ellos localizado hacia la base del pozo, específicamente en la UQA_A y en la UQB_A de la Formación Apón, en la base de la UQC_A y en el tope de la UQD_A perteneciente a la Formación Lisure y en la base de la UQF_A correspondiente a la Formación La Luna. Estos ascensos como se dijo anteriormente son coincidentes con el perfil del cuarzo.

En relación al perfil de la calcita se aprecia una heterogeneidad de esta fase mineral por cuanto se visualizan los mayores contenidos en las litologías carbonáticas mientras que decrece en aquellas zonas de mayor influencia siliciclástica, mostrando bastante similitud al perfil del CaCO₃ y tendencias contrarias al perfil del cuarzo. Por otro lado la dolomita muestra solamente unos máximos incrementos hacia la base del pozo, en específico en la UQA_A y la UQB_A de la Formación Apón donde se tienen rocas dolomíticas de acuerdo a las litologías observadas, por lo que existe correspondencia con las tendencias reflejadas por este mineral, mientras que en el resto del Pozo A es bastante homogéneo.

En referencia al Pozo B (Apéndice XVIII) las tendencias que presentan tanto el perfil del cuarzo como el de la arcilla son similares, manifestados como ascensos en un componente que son correspondidos como incrementos en el otro componente dado su estrecha relación composicional. No obstante, en el cuarzo se destaca un incremento relevante en la parte media de la unidad UQC_B mientras que el perfil de la arcilla refleja ascensos máximos en la UQF_B, correspondiente a la Formación La Luna y en la base de la UQB_B de la Formación Apón.

El perfil de la calcita es bastante heterogéneo en sus tendencias a todo lo largo del pozo por cuanto decrece en aquellas áreas que presentan un mayor contenido de cuarzo y de arcilla y a su vez refleja una imagen que podríamos llamar especular con relación a la dolomita con la sola excepción en la UQF_B y la UQE_B que al parecer no reflejan mayores contenidos en este mineral. Las mayores concentraciones de dolomita se encuentran hacia la base del Pozo B, específicamente en la UQA_B donde se aprecian los mayores incrementos de este mineral.

Las tendencias observadas en los perfiles del CaCO_3 y de terrígenos (Ti) tanto en un pozo como en el otro también las podríamos categorizar como de especulares por cuanto reflejan tendencias totalmente opuestas salvo ligeras excepciones, lo cual resume en gran medida donde se encuentran las mayores influencias carbonáticas y siliciclásticas de los Pozos A y B.

5.5. CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA SEGÚN ESQUEMA DE HERRÓN (1988)

Uno de los sistemas de clasificación geoquímica de mayor utilidad para clasificar rocas clásticas es el esquema de HERRÓN (1988), el cual demuestra una gran concordancia entre el sistema de clasificación geoquímica y las clasificaciones petrográficas estándares para areniscas y lutitas. Este esquema se fundamenta en la graficación de las relaciones logarítmicas del $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ versus el $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$. En este estudio este esquema fue particularmente aplicado a ciertas muestras clásticas de las formaciones Apón y Lisure, de acuerdo a los datos geoquímicos obtenidos de las mismas, a pesar de que existe un predominio de las litologías carbonáticas a lo largo de toda la columna estratigráfica de los dos pozos analizados. Los datos de estas relaciones logarítmicas y la identificación de las profundidades de las muestras estudiadas, al igual que los diagramas obtenidos pueden ser visualizados en las Tablas XIX.1 y XIX.2 (Apéndice XIX) y en las Figuras 94 y 95 respectivamente. Con los datos extraídos se elaboraron posteriormente diagramas de torta para apreciar la información obtenida de forma gráfica.

De la interpretación efectuada se tiene que en el Pozo A, de 8 muestras analizadas para la Formación Apón, 7 son wackas (87%) y 1 muestra es una litarenita (13%) (Fig. 96), mientras que en la Formación Lisure de las 27 muestras evaluadas, 11 muestras son wackas (40%), 8 muestras son lutitas (30%), 7 muestras son arenas-Fe (26%) y 1 muestra corresponde a una sublitarenita (4%) (Fig. 97).

En el Pozo B, en la Formación Apón se evaluaron 5 muestras las cuales quedaron clasificadas de la siguiente manera: 3 wackas (60%), 1 lutita (20%) y 1 arcosa (20%) (Fig. 98) y en la Formación Lisure se analizaron 8 muestras en total las cuales arrojaron los siguientes

resultados: 4 wackas (49%), 3 litarenitas (38%) y una lutita que representa el 13% del diagrama de torta observado (Fig. 99).

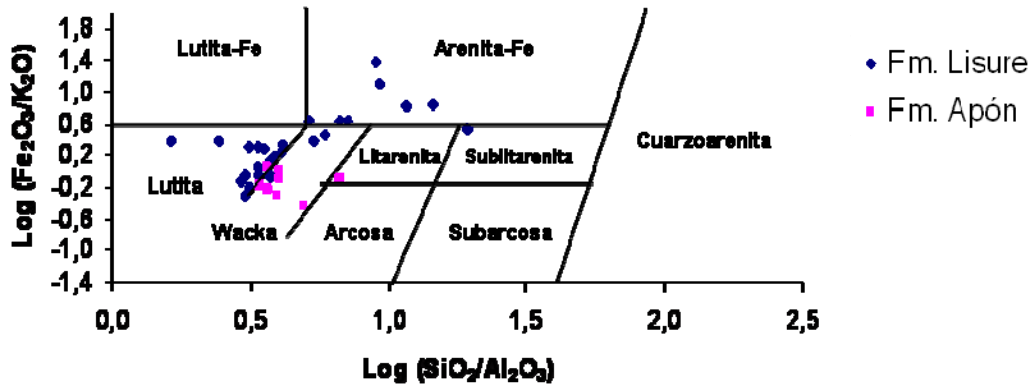


Figura 94. Esquema de clasificación de Herrón (1988) obtenido para el Pozo A

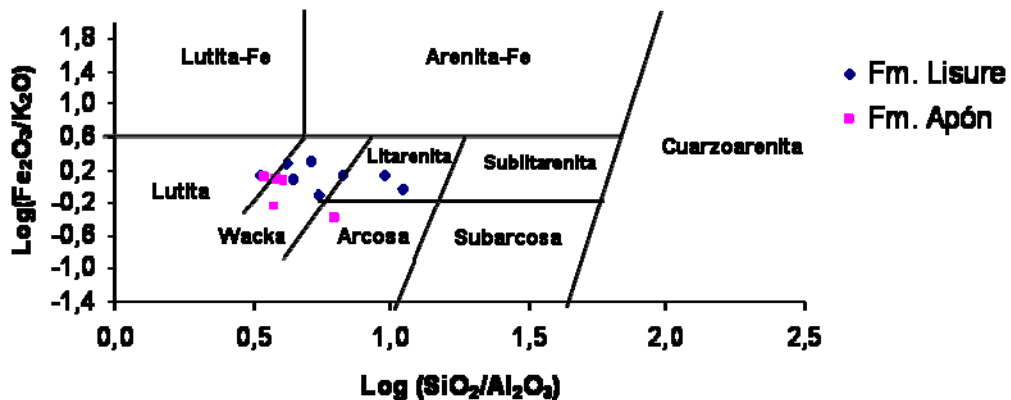
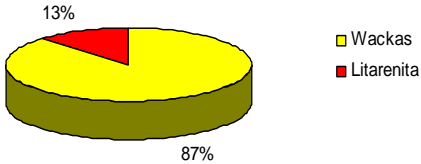
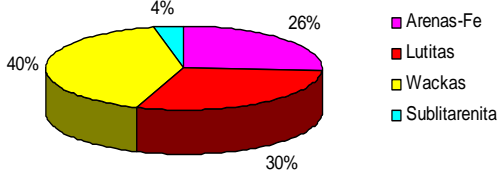
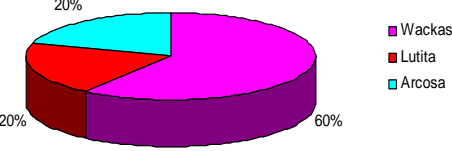
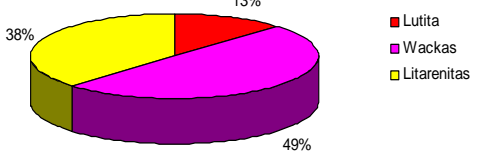


Figura 95. Esquema de clasificación de Herrón (1988) obtenido para el Pozo B

Igualmente fue efectuado otro diagrama de clasificación geoquímica de rocas sedimentarias, el cual involucra no sólo a las rocas clásticas sino también a rocas carbonáticas y que se obtiene graficando la relaciones logarítmicas del $(CaO+Na_2O)/K_2O$ versus la relación del SiO_2/Al_2O_3 . Esta última relación química produce una mayor variación entre las rocas clásticas y las rocas carbonáticas debido a la diferencia en la cantidad de cuarzo y minerales de arcilla en las areniscas y los carbonatos mientras que estas últimas rocas presentan altos valores de CaO y bajos valores de Na_2O y K_2O mientras que las lutitas y areniscas son bajas en Na_2O y CaO y altas en K_2O .

A través del diagrama antes señalado se puede apreciar en el Pozo A una gran cantidad de muestras de las diversas formaciones geológicas estudiadas que son de carácter netamente siliciclástico o presentan esta influencia sedimentaria, fundamentalmente en muestras de las formaciones Apón, Lisure y La Luna (Fig. 100), mientras que en el Pozo B, a través de este esquema observamos que el número de muestras de las formaciones antes señaladas se reduce su contenido siliciclástico (Fig. 101). No obstante, para los dos pozos analizados se tiene una gran cantidad de muestras que son de marcado carácter carbonático, incluso existen un conjunto de muestras que de forma preponderante presentan características que podrían señalarse como de mezcla, es decir, tienen de los tipos de influencia sedimentaria: tanto clásticos como carbonáticos.

<p style="text-align: center;">FORMACIÓN APÓN</p>  <p style="text-align: right;"> ■ Wackas ■ Litarenita </p>	<p style="text-align: center;">FORMACIÓN LISURE</p>  <p style="text-align: right;"> ■ Arenas-Fe ■ Lutitas ■ Wackas ■ Sublitarenita </p>
<p>Figura 96. Distribución de litologías clásticas para la Formación Apón en el Pozo A según esquema de clasificación de Herrón (1988)</p>	<p>Figura 97. Distribución de litologías clásticas para la Formación Lisure en el Pozo A según esquema de clasificación de Herrón (1988).</p>
<p style="text-align: center;">FORMACIÓN APÓN</p>  <p style="text-align: right;"> ■ Wackas ■ Lutita ■ Arcosa </p>	<p style="text-align: center;">FORMACIÓN LISURE</p>  <p style="text-align: right;"> ■ Lutita ■ Wackas ■ Litarenitas </p>
<p>Figura 98. Distribución de litologías clásticas para la Formación Apón en el Pozo B según esquema de clasificación de Herrón (1988).</p>	<p>Figura 99. Distribución de litologías clásticas para la Formación Lisure en el Pozo B según esquema de clasificación de Herrón (1988).</p>

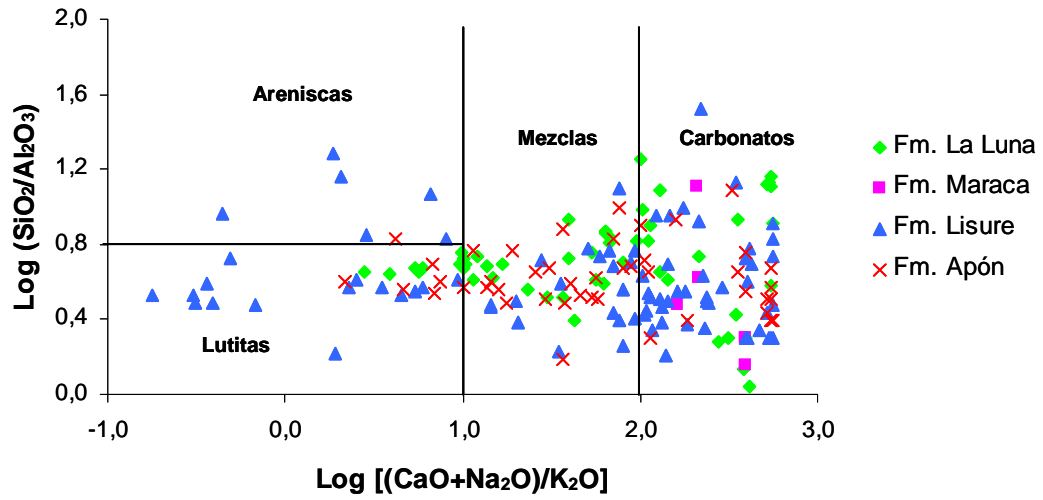


Figura 100. Esquema de clasificación geoquímica de rocas sedimentarias empleado para el Pozo A.

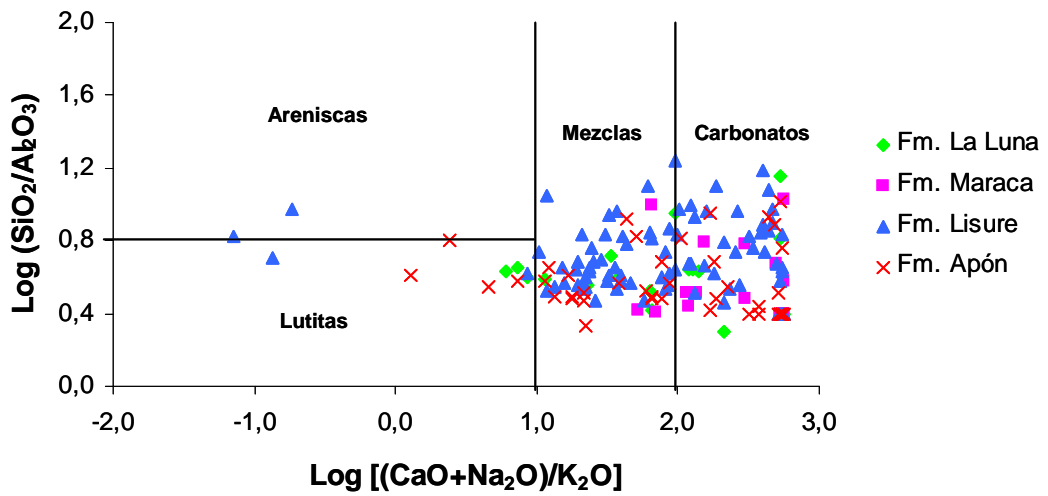


Figura 101. Esquema de clasificación geoquímica de rocas sedimentarias empleado para el Pozo B.

5.6. GEOQUÍMICA ORGÁNICA DE LA FORMACIÓN LA LUNA Y GRUPO COGOLLO

Las muestras evaluadas por geoquímica orgánica corresponden a un total de 99 muestras concernientes a 52 muestras del Pozo A y 47 muestras del Pozo B. Las únicas formaciones geológicas analizadas fueron las formaciones Lisure, Maraca y La Luna, ya que en la Formación Apón no fueron obtenidas muestras para los análisis geoquímicos orgánicos.

Los datos obtenidos de estos análisis incluyen todas las variables determinadas a través de pirólisis Rock-Eval, tales como determinación del carbono orgánico total (% COT), los parámetros S_1 (mg Hc/g roca), S_2 (mg Hc/g roca), S_3 (mg CO₂/g roca), índice de hidrógeno (IH), índice de oxígeno (IO) y temperatura máxima (Tmax). Es necesario señalar que a las muestras analizadas no se le determinó el % de reflectancia de vitrinita (% Ro) ni se le efectuó ningún tipo de extracción orgánica a aquellas muestras con mayor contenido de COT, únicamente se evaluaron aspectos tales como contenido y madurez de la materia orgánica presente en las rocas analizadas mediante los parámetros anteriormente indicados.

Los resultados obtenidos de la pirólisis Rock-Eval para los pozos A y B son mostrados en las tablas correspondientes al Apéndice VI. En estas tablas son especificados los valores del % COT, Tmax, S_1 (mg Hc/g roca), S_2 (mg Hc/g roca), S_3 (mg CO₂/g roca), índice de hidrógeno (IH) e índice de oxígeno (IO), mientras que los perfiles geoquímicos de estos parámetros para ambos pozos pueden ser visualizados en los Apéndices XVII y XVIII.

De acuerdo a los análisis realizados para los dos pozos y realizando la comparación con la clasificación de rocas generadoras basadas en el contenido de materia orgánica (% COT) de WAPLES (1985), podemos indicar que la Formación Lisure en el Pozo A muestra valores muy pobres de COT en rangos que van desde 0,1% hasta 0,5%, con la sola excepción de una muestra que presenta un 2,15%, la cual se caracterizaría de acuerdo al esquema empleado como de buen contenido en COT. En términos generales como valor promedio se tiene un 0,24% de COT para esta Formación, lo cual sustenta un valor muy pobre en términos de enriquecimiento orgánico.

En cuanto a la Formación Maraca de las tres muestras evaluadas los valores varían entre 0,25% y 1,58%, este último valor refleja un enriquecimiento moderado y se encuentra hacia el tope de esta Formación en contacto con la Formación La Luna. Las otras dos muestras presentan enriquecimientos de pobre a muy pobre de acuerdo al esquema de WAPLES (1985). El promedio fue de 0,86% el cual entra en el rango antes señalado.

Al analizar los contenidos de materia orgánica en la Formación La Luna del Pozo A se aprecia un cambio notable en cuanto al contenido de COT, por cuanto se presentan valores que oscilan entre 0,35% y 11,17% de COT. Se observan siete muestras que tienen un contenido muy rico de materia orgánica, en rangos que varían entre 4% y 12%, ocho muestras con rangos muy buenos de enriquecimiento (2–4%) y seis muestras que tienen un enriquecimiento moderado (1 – 2%) y solo una muestra que presenta contenido muy pobre de materia orgánica (ver Apéndice VI). El promedio general obtenido para la Formación La Luna en este pozo fue de 3,58%, el cual entra en la categoría de clasificación de muy bueno de acuerdo al esquema mencionado.

Este rango promedio se encuentra dentro de los valores promedio obtenidos para el centro del Lago de Maracaibo de acuerdo a los trabajos de SHERER (1995) y STOUFER (1993) en su estudio sobre la distribución regional del carbono orgánico de la Formación La Luna en la Cuenca de Maracaibo. También basados en una gran cantidad de datos recolectados en la cuenca, TALUKDAR *et al.* (1986) mostraron que el COT medido en la Formación La Luna presenta rangos que van desde 1,5% hasta 11% con un promedio de 3,8% lo cual es consistente con los resultados obtenidos para este pozo, mientras que los rangos del COT corregido van desde 2.5% hasta 11% con promedios de 5,6%.

Al evaluar el promedio de la madurez para la Formación la Luna en el Pozo A mediante el parámetro de Tmax (° C) se tiene que los rangos de madurez analizados indican que el nivel es maduro para esta Formación con rangos de temperatura que van desde los 435° C y 449° C, es decir, que en este pozo la Formación La Luna entró en rango de generación de hidrocarburos. Basados en la definición tradicional de “*ventana de petróleo*”, TALUKDAR *et al.* (1986) y TALUKDAR & MARCANO (1994) sugirieron en base a sus estudios que el comienzo, pico y fin

de la generación de petróleo para la Formación La Luna en la Cuenca de Maracaibo corresponde a valores de Tmax de 429° C, 435° C y 450° C respectivamente. De acuerdo a ERLICH *et al.* (1999) la madurez termal de las rocas Cretácicas varía ampliamente en el occidente de Venezuela.

Es importante señalar según trabajos como el de BARITTO *et al.* (2009) que los valores de COT que se determina en muestras con una madurez ubicada dentro o encima de la “*ventana de generación*” de hidrocarburos representan el COT residual, esto quiere decir que cuando la roca entró en la etapa de ventana de generación y ha alcanzado un nivel de evolución térmica adecuada para generar y expulsar los hidrocarburos, o ha alcanzado un nivel de elevada madurez, sobrepasando el nivel de evolución térmica donde pudo haber generado y expulsado los hidrocarburos, los valores de COT no presentan los valores originales ya que han sido alterados, de tal forma que si se desea conocer el COT original de la roca antes de la maduración es necesario disponer del tipo de materia orgánica (tipo de querógeno) y el valor de madurez en términos de reflectancia de vitrina (% Ro), parámetro no determinado en este estudio. Sin embargo, si se desea conocer en detalle acerca de cómo calcular el COT original para una muestra determinada se pueden consultar los trabajos de TALUKDAR *et al.* (1986), SWEENEY *et al.* (1995) y HERNÁNDEZ (2001).

Para evaluar la calidad de la materia orgánica tanto de la Formación La Luna como de las formaciones Lisure y Maraca, se efectuó el diagrama que compara el índice de hidrógeno (IH) versus el índice de oxígeno (IO) con el objeto de apreciar el tipo de querógeno (Fig. 102). Este diagrama elaborado para el Pozo A sugiere en términos generales un querógeno mixto entre Tipo II y Tipo III. El mayor predominio de querógeno Tipo III se encuentra relacionado a un conjunto de muestras de la Formación Lisure y el mayor predominio de querógeno Tipo II se encuentra vinculado a la Formación La Luna fundamentalmente y en segunda instancia a la Formación Maraca y a algunas muestras de la Formación Lisure.

En ninguna de estas muestras se dispone de la descripción visual de la materia orgánica para evaluar en detalle el tipo de maceral y sus características ópticas y estado de preservación con el objeto de correlacionar ambas informaciones acerca de la calidad de la materia orgánica.

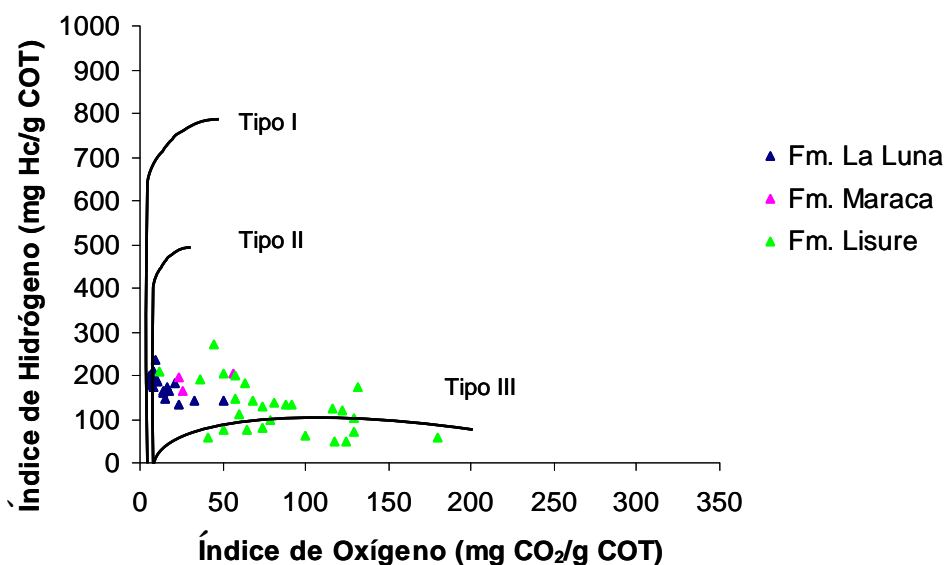


Figura 102. Diagrama del Índice de Hidrógeno (IH) vs Índice de Oxígeno (IO) del Pozo A.

Otro de los diagramas efectuados para evaluar la calidad de la materia orgánica fue el gráfico que involucra el índice de hidrógeno (IH) versus el Tmax (Fig. 103). Las líneas segmentadas apreciadas en este gráfico representan la madurez termal determinada por los valores del % Ro para un querógeno Tipo I, lo cual en nuestro caso es un Ro teórico en virtud de no haber sido determinado este parámetro. Las muestras por encima de 0,5 corresponden a querógenos inmaduros los cuales aún no han alcanzado todavía la generación de hidrocarburos, las muestras ubicadas entre 0,5% y 1,35% de Ro corresponden a querógenos en un estado de madurez localizada en ventana y las muestras por arriba de 1,35% presentan un nivel de madurez mayor el cual sólo genera gas seco/condensado.

Basándose en lo anteriormente expuesto las muestras correspondientes al Pozo A se encuentran entre 0,5% y 1,35% de Ro teórico, es decir, que el querógeno se encuentra en ventana de petróleo variando entre Tipo II y Tipo III, particularmente para la Formación La Luna, roca madre por excelencia en la cuenca occidental de Venezuela, refleja en la mayor parte de sus muestras un querógeno fundamentalmente Tipo II (origen marino), indicándonos además este diagrama que esta Formación estuvo en ventana de generación de hidrocarburos.

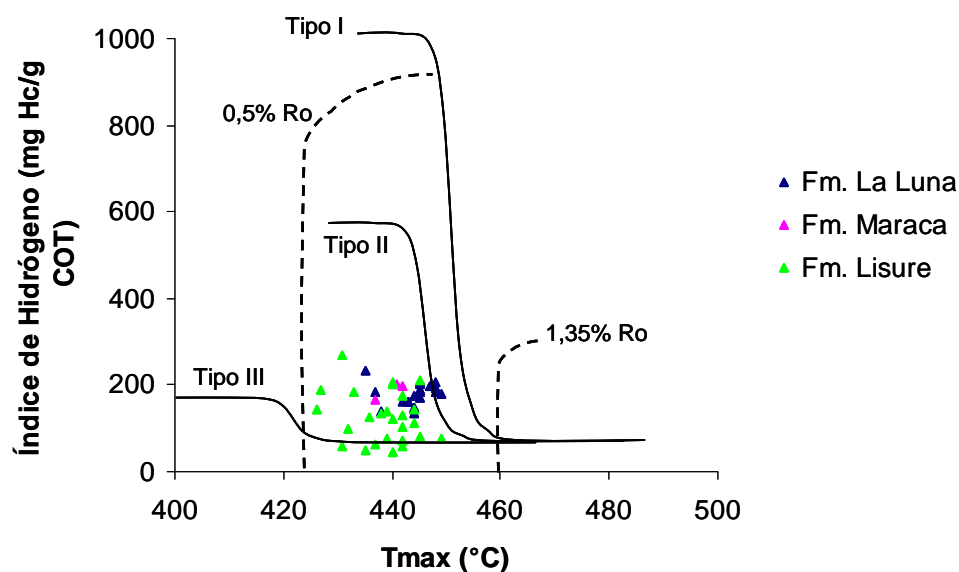


Figura 103. Diagrama del Índice de Hidrógeno (IH) vs Tmax en el Pozo A.

En relación al Pozo B se puede indicar que la Formación Lisure refleja valores que fluctúan entre 0,07% y 1,33%, lo que representa de acuerdo al esquema de clasificación de WAPLES (1985) valores muy pobres de enriquecimiento en COT. El promedio se encuentra en 0,24% de COT para un número de muestras evaluadas igual a 35.

La Formación Maraca por su parte muestra valores de COT que van desde 0,18% a 1,08%, lo cual se traduce en valores igualmente muy pobres de COT. El promedio total para esta Formación fue de 0,43% para un número de seis muestras evaluadas, y en la Formación La Luna para el mismo número total de muestras evaluadas los valores oscilan entre 0,52% y 4,61%, con un promedio de 2,69%, catalogándose como de bueno según el esquema empleado, teniendo dos muestras con pobre contenido, dos muestras con buen contenido y dos muestras con rico contenido en carbono orgánico total.

El promedio de COT obtenido en este pozo es menor al obtenido en el Pozo A para la Formación La Luna el cual fue de 3,58%. Igualmente al analizar la madurez en este pozo mediante el Tmax (°C) se aprecian rangos de madurez muy altos, es decir, se presentan valores por encima de 470° C llegando incluso hasta los 586° C sólo en la Formación La

Luna, lo cual claramente indica que existe una sobremadurez de las muestras analizadas para este pozo, que va mucho más allá de la “ventana de petróleo”. Anteriormente habíamos señalado que ERLICH *et al.* (1999) indicaba que la madurez termal de las rocas Cretácicas variaba ampliamente en el occidente de Venezuela y este es un claro ejemplo de lo anteriormente indicado.

La materia orgánica en este pozo sufrió una evolución importante, por lo que la mayoría de las muestras analizadas por los parámetros de la pirólisis Rock-Eval son inutilizables debido a que afectaron los valores originales, debido al alto grado de madurez alcanzado lo cual afectó igualmente a los valores originales de COT y del índice de hidrógeno disminuyendo sus valores. Esta disminución del contenido de carbono orgánico y del índice de hidrógeno es producto de los cambios y procesos químicos que experimenta la materia orgánica a medida que ésta es sometida a una mayor madurez. La madurez es principalmente una función de la temperatura de los sedimentos y del tiempo geológico. A pesar de no ser el COT original de la roca, aún se podría catalogar como un buen contenido de materia orgánica de la Formación La Luna en el Pozo B, de acuerdo al esquema de WAPLES (1985). Esta afectación de los parámetros por pirólisis se ve manifestado a través de los diagramas efectuados en este pozo (Figs. 104 & 105).

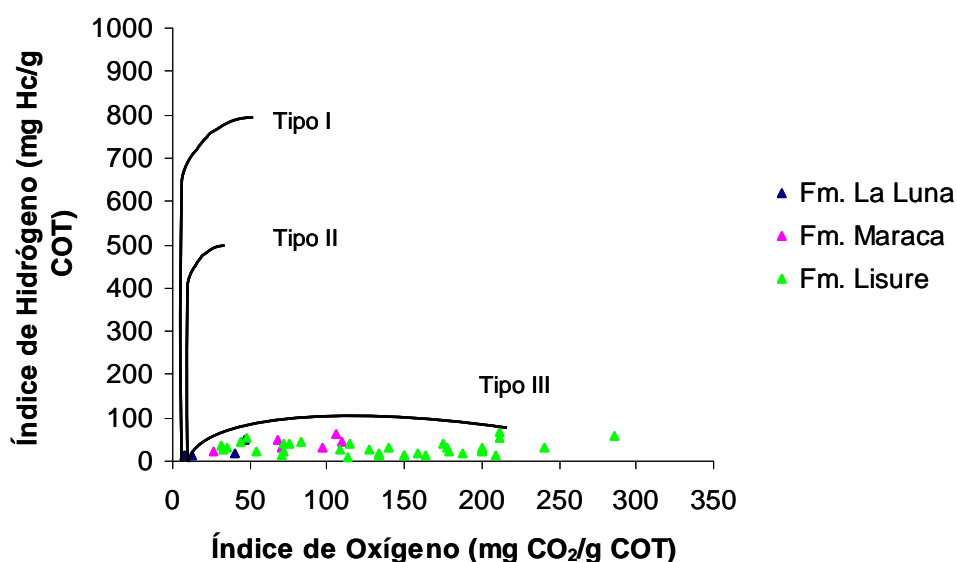


Figura 104. Diagrama del Índice de Hidrógeno (IH) vs Índice de Oxígeno (IO) del Pozo B.

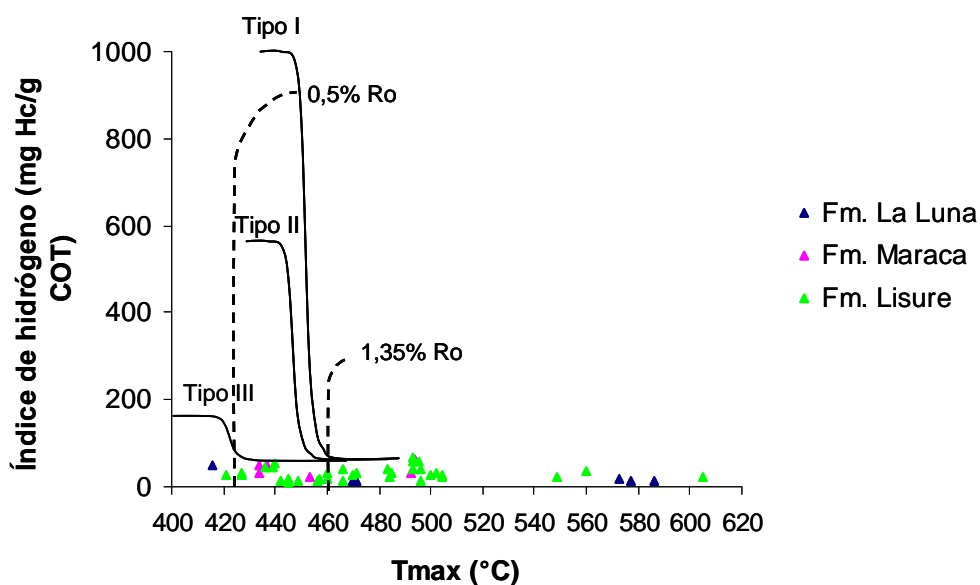


Figura 105. Diagrama del Índice de Hidrógeno (IH) vs Tmax en el Pozo B.

Los posibles factores que contribuyeron a la preservación de abundante materia orgánica en la Formación La Luna podrían ser atribuibles a la alta productividad orgánica la cual pudo haber aumentado por las corrientes upwelling (cinturón de upwelling migrante que afectó la bioproduktividad de sílice y carbonato, PÉREZ *et al.* 1996), anoxia asociada con circulación restringida de las aguas de fondo y una relativa carencia de dilución por sedimentos clásticos terrígenos de acuerdo a ERLICH *et al.* (1999).

5.7. INTERPRETACIONES GENERALES

La bioestratigrafía realizada por CABRERA *et al.* (2008) para el Pozo A reporta edades para el Grupo Cogollo que van desde Aptiense tardío hasta el Albiense (120 Ma – 99,6 Ma), con un hiatus de posiblemente 4 Ma en el tope de la Formación Maraca, mientras que la Formación La Luna refleja edades que van desde Cenomaniense tardío hasta Santoniense (95 Ma – 83,5 Ma). Este hiatus observado en este pozo es reportado entre la Formación Maraca y la Formación La Luna en la parte noroccidental y central de la Cuenca de Maracaibo como una discordancia fácilmente reconocible desde el punto de vista bioestratigráfico de acuerdo a ERLICH *et al.* (1999). Estos autores señalan que rocas del Albiense superior suprayacen inmediatamente rocas del Cenomaniense superior y que precisamente la causa de esta discordancia es incierta, mientras que el ahogamiento de la plataforma pareció ser un factor significativo sobre gran parte de la cuenca, la frecuente ocurrencia de *paleokarst* al tope de la Formación Maraca en el occidente de Maracaibo indica algunos períodos de exposición subárea, mientras que en el nororiente y centro de la Cuenca de Maracaibo, la discordancia es expresada como un *hardground* submarino.

En el Pozo B la bioestratigrafía fue efectuada por HAMBALÉK & MURAT (1994), aunque no reportan ningún hiatus, establecen edades Aptiense – Cenomaniense (125 Ma – 93, 6 Ma) para todo el Grupo Cogollo y Turoniense medio para la Formación La Luna.

A partir de toda la información generada en este estudio es posible indicar que las unidades estratigráficas analizadas correspondientes a las formaciones del Grupo Cogollo y la Formación La Luna en los Pozos A y B reflejan heterogeneidades en cuanto a su constitución sedimentológica, lo cual a su vez ha sido fielmente reflejado por todo el conjunto de análisis geoquímicos realizados. El Pozo A localizado hacia el sur del área de estudio refleja a nivel del Grupo Cogollo una mayor influencia siliciclástica que el Pozo B ubicado 31 km más hacia el norte del área. Este último pozo por el contrario muestra una notable disminución en el contenido de siliciclásticos lo cual se ve manifestado también en los análisis geoquímicos obtenidos, pero presenta un mayor contenido de dolomías y rocas con contenido de dolomita. No obstante, en ambos pozos pese a estas diferencias existen una gran cantidad de carbonatos

puros y carbonatos que se pudiesen considerar de mezcla por su influencia siliciclástica y esto aplica también para las muestras analizadas de la Formación La Luna.

De acuerdo a AZPIRITXAGA (1991) existieron dos importantes factores que controlaron la depositación de los carbonatos en el Grupo Cogollo: cambios en el nivel del mar y un período de influjo de siliciclásticos, los cuales tuvieron un efecto directo sobre el desarrollo de las plataformas y rampas carbonáticas en el cual el Grupo Cogollo fue depositado. Los siliciclásticos progradaron sobre los depósitos carbonáticos como consecuencia en la caída del nivel del mar lo cual produjo un estrés en la comunidad biológica inhibiendo de esta forma el crecimiento de los carbonatos por un período. Ahora bien el Pozo A quizás se ve más influenciado por el influjo de siliciclásticos que el Pozo B por encontrarse más cercano a la línea de costa y por ende a la fuente de sedimentos, la cual estaba ubicada hacia el sur del Pozo A.

Esta marcada tendencia de siliciclásticos se ve manifestada sobretudo a nivel de las formaciones Lisure y Apón, lo cual aparece reflejado en las diversas unidades químicas obtenidas mediante los perfiles de concentración. Igualmente a nivel de la Formación La Luna se presentan intervalos de influencia arcillosa junto a los carbonatos que esta unidad estratigráfica presenta, y esto también pudo ser visualizado mediante los perfiles de concentración geoquímicos elaborados

Las seis unidades químicas generadas mediante los perfiles de concentración de los componentes mayoritarios y traza en ambos pozos resumen de alguna forma las principales tendencias químicas manifestadas por las unidades estratigráficas con la profundidad de forma detallada. Esas tendencias obviamente reflejan la sedimentología presente en los Pozos. Estas unidades químicas a su vez pudieron ser categorizadas en grupos mucho más grandes mediante el análisis de agrupaciones, específicamente están incluidas en tres grandes grupos tanto en el Pozo A como en el Pozo B.

Estos tres grandes grupos químicos son en su constitución prácticamente equivalentes a las secuencias genéticas (ciclos secuenciales) establecidas por MURAT & AZPIRITXAGA (1995), las

cuales de acuerdo a los análisis discriminantes realizados en este trabajo arrojaron una correlación química exitosa a través de ambos pozos, lo cual corrobora su carácter químico distintivo o huella diagnóstica a través de la cuenca. Estos ciclos corresponden a: Ciclo II (plataforma carbonática bordeada), Ciclo III (plataforma mixta de carbonatos y siliciclásticos) y un tercer ciclo que se define como La Luna por presentar características litológicas y químicas distintivas.

Igualmente a nivel formacional se lograron correlacionar químicamente con un alto porcentaje de éxito todas las formaciones geológicas estudiadas en los dos pozos, lo cual se traduce también en que estas unidades estratigráficas presentan huellas geoquímicas que son diagnósticas y distintivas a través de toda la Cuenca de Maracaibo.

Estas huellas geoquímicas diagnósticas están vinculadas primordialmente a las cinco asociaciones geoquímicas obtenidas para ambos pozos a través del análisis factorial, ya que reflejan de alguna manera los principales comportamientos visualizados en las unidades químicas de los pozos:

- *Asociación carbonática*: Ca, Sr
- *Asociación siliciclástica*: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Rb.
- *Asociación orgánica*: COT, Na₂O, Zn, Ni, Cu, Cr.
- *Asociación de productividad orgánica*: P₂O₅, MgO, MnO, Ba.
- *Asociación de minerales pesados*: Zr, Y.

La asociación orgánica está definida prácticamente para la Formación La Luna en virtud de reflejar unas diferencias en cuanto a tendencias químicas bien notorias con respecto al resto de las formaciones, ya que la mayoría de los elementos traza mencionados en esta asociación y el COT se encuentran enriquecidos para esta unidad estratigráfica, lo cual lo hace claramente diferenciable desde el punto de vista químico del Grupo Cogollo. Estas tendencias de estos elementos traza de la asociación orgánica también se apreció en los diferentes análisis estadísticos univariados y multivariados efectuados. Esto de igual manera se ve reflejado en la columna de colores *Munsell* construida para los dos pozos, ya que la Formación La Luna

presenta tonalidades mucho más oscuras que el resto de las formaciones geológicas del Grupo Cogollo, lo cual la hacen discretizable. El resto de las asociaciones geoquímicas mencionadas se encuentra a todo lo largo de las unidades químicas definidas por los perfiles, caracterizando litologías particulares.

En cuanto al contenido de materia orgánica a nivel de la Formación La Luna también existen una claras diferencias entre el Pozo A y el Pozo B por cuanto en el primero de ellos las muestras presentan valores mucho más altos de COT, lo cual impacta el promedio general de este parámetro en el Pozo A, mientras que en el Pozo B los enriquecimientos en materia orgánica tienden a disminuir. No obstante, hacia este último pozo existe una sobremadurez de las muestras manifestados por altos valores de Tmax los cuales afectaron todas los parámetros de pirólisis determinados en este pozo, mientras que en el Pozo A las muestras se encuentran en estado de generación de hidrocarburos, por cuanto alcanzaron un nivel de madurez óptimo según los valores de Tmax determinados. También existe una diferencia notable en cuanto al contenido de COT de la Formación La Luna y el Grupo Cogollo debido a que este último presenta concentraciones muy pobres de este componente.

La Formación La Luna de acuerdo a REY *et al.* (2004) fue depositada bajo condiciones anóxicas/disóxicas en un mar epicontinental tropical en el margen noroccidental de Suramérica. Los grandes contenidos de materia orgánica son interpretados como una combinación de un clima cálido y lluvioso global, además de la presencia de barreras batimétricas que causaron la pobre circulación de las aguas junto a una baja tasa de ventilación dentro de la columna de agua, lo cual permitió la preservación de depósitos ricos en materia orgánica. Estas condiciones fue las que permitieron el enriquecimiento y preservación de los elementos de la asociación geoquímica orgánica antes señalado.

6. SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. SUMARIO Y CONCLUSIONES

✓ De acuerdo a la descripción de texturas se presentaron las siguientes distribuciones de litologías en ambos pozos:

Pozo	Unidades Estratigráficas	Litologías	Porcentajes (%)
A	Formación La Luna	Calizas lodosas	34
		Calizas lodosas-calizas lodogranulares	25
		Calizas lodogranulares	25
		Lodolitas-calizas lodosas	8
		Calizas lodogranulares-calizas granulares	8
	Formación Maraca	Biomicrotas empaquetadas	44
		Biomicrotas esparcidas	14
		Calizas lodogranulares	14
		Calizas lodosas-calizas lodogranulares	14
		Calizas lodogranulares-calizas granulares	14
	Formación Lisure	Calizas lodogranulares	24
		Areniscas glauconíticas	16
		Calizas lodosas	14
		Calizas lodosas-calizas lodogranulares	8
		Lodolitas	7
		Heterolitas	6
Formación Apón	Lodolitas-calizas lodosas	21	
	Calizas lodogranulares	15	
	Calizas lodosas	15	
	Calizas lodosas-calizas lodogranulares	13	
	Lodolitas	13	
	Dolomías	9	
B	Formación La Luna	Margas	30
		Calizas lodosas-calizas lodogranulares-margas	30
		Calizas lodosas-calizas lodogranulares	20
		Calizas lodosas-margas	10
		Calizas lodosas	10
	Formación Maraca	Calizas granulares	43
		Calizas lodosas-calizas lodogranulares	29
		Biomicrotas empaquetadas	14
		Calizas lodogranulares-calizas granulares	14
	Formación Lisure	Calizas lodogranulares	29
		Calizas granulares	13
		Lodolitas	13
		Lodolitas-calizas lodosas	10
		Dolomías	8
		Calizas lodosas	7
		Lodolitas calcáreas	7
Formación Apón	Calizas lodosas	21	
	Lodolitas-calizas lodosas	15	
	Lodolitas	11	
	Calizas lodogranulares	9	
	Dolomías	9	
	Biomicrotas empaquetadas	8	
	Biomicrotas esparcidas	7	

✓ La bioestratigrafía del Pozo A reportó edades para el Grupo Cogollo que van desde Aptiense tardío hasta el Albiense (120 Ma – 99,6 Ma), con un hiatus de posiblemente 4 Ma en el tope de la Formación Maraca, mientras que la Formación La Luna refleja edades que van desde Cenomaniense tardío hasta Santoniense (95 Ma – 83,5 Ma). En el Pozo B la bioestratigrafía mostró edades Aptiense – Cenomaniense (125 Ma – 93, 6 Ma) para todo el Grupo Cogollo y Turoniense medio para la Formación La Luna.

✓ A través de los diagramas caja efectuados en los Pozos A y B se pudo apreciar particularmente un mayor enriquecimiento de los elementos Ni, Cu, Zn y Cr para la Formación La Luna en ambos pozos en relación al resto de las formaciones geológicas analizadas.

✓ Mediante los diagramas ternarios en el Pozo A se observó como en la Formación Lisure y la Formación La Luna existen un conjunto de muestras que tienden hacia los vértices de influencia argilácea y siliciclástica, mientras que el resto de las muestras de este pozo tienden hacia el vértice de influencia carbonática. En el Pozo B por su parte, también se apreció un conjunto de muestras que tienden hacia la zona de influencia clástico – argilácea, pero en menor proporción comparado al Pozo A, mientras que la mayor parte de las muestras se encuentran en el vértice de influencia carbonática. También se observó un importante número de muestras que se encuentran en la parte media de estos diagramas ternarios en ambos pozos que se pueden considerar como de influencia sedimentaria de mezcla.

✓ Para el Pozo A fueron definidas seis unidades químicas principales de acuerdo a los perfiles de concentración química, los cuales corresponden a las unidades: UQA_A, UQB_A, UQC_A, UQD_A, UQE_A y la UEF_A. En el Pozo B también fueron definidas seis unidades las cuales corresponden a: UQA_B, UQB_B, UQC_B, UQD_B, UQE_B y la UQF_B.

✓ El análisis de agrupaciones del Pozo A reportó tres grupos de muestras conformados por: GA_A, GB_A y GB_C, los cuales a su vez están subdivididos en ocho subgrupos mientras que el Pozo B presenta igualmente tres grupos constituidos por: GA_B, GB_B y GB_C subdivididos a su vez en seis subgrupos. En algunos casos estos subgrupos son coincidentes con las unidades

químicas definidas por los perfiles de concentración en ambos pozos y en otros casos discrepan en sus límites superiores y/o inferiores.

✓ A través del análisis factorial fue posible establecer las siguientes asociaciones geoquímicas en los Pozo A y B, las cuales están determinadas primordialmente por las siguientes variables químicas:

- *Asociación carbonática*: Ca, Sr
- *Asociación siliciclástica*: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Rb.
- *Asociación orgánica*: COT, Na₂O, Zn, Ni, Cu, Cr.
- *Asociación de productividad orgánica*: P₂O₅, MgO, MnO, Ba.
- *Asociación de minerales pesados*: Zr, Y.

✓ El análisis discriminante en el Pozo A presentó un alto porcentaje de acierto (85%) en las unidades químicas definidas a partir de los perfiles de concentración, un 91% de certeza en cuanto a las formaciones geológicas evaluadas, un 96% y 82% de éxito en los grupos y subgrupos químicos obtenidos por el dendrograma, un 78% de acierto en las unidades sedimentarias evaluadas y un 99% de acierto en cuanto a las secuencias estratigráficas genéticas comprobadas.

✓ El análisis discriminante en el Pozo B presentó un porcentaje de acierto de 81% en las unidades químicas definidas a partir de los perfiles de concentración, un 87% de certeza en la formaciones geológicas evaluadas, un 81% y 82% de éxito en los grupos y subgrupos químicos obtenidos por el dendrograma, un 78% de acierto en las unidades sedimentarias evaluadas y un 92% de acierto en las secuencias estratigráficas genéticas estudiadas.

✓ La determinación de los grupos químicos a través del análisis de agrupaciones o dendrogramas fue más exitoso que la determinación de las unidades químicas a través de los perfiles de concentración, sobretodo en el Pozo A, de acuerdo al porcentaje de aciertos de las funciones discriminantes obtenidas, debido a que el último de los métodos señalados obedece a criterios más subjetivos por parte del intérprete mientras que los grupos generados por los

dendrogramas tienden a considerar diferencias quizás mucho más sutiles desde el punto de vista químico entre los diversos contactos establecidos entre estas unidades químicas.

✓ En cuanto a las correlaciones químicas efectuadas entre los Pozos A y B se presentó un 76% de acierto entre las formaciones geológicas, un 83% de éxito entre los grupos químicos definidos por el análisis de agrupaciones y un 86% de acierto entre las secuencias estratigráficas genéticas.

✓ Los análisis mineralógicos de la fracción de roca total por DRX en los Pozos A y B arrojaron los siguientes resultados:

Pozo	Unidades Estratigráficas	Litologías por DRX	Porcentajes (%)
A	Formación La Luna	Calizas	48
		Calizas arcillosas	37
		Lutitas calcáreas	15
	Formación Maraca	Calizas	100
	Formación Lisure	Calizas	41
		Calizas arcillosas	22
		Areniscas calcáreas	14
		Lutitas calcáreas	8
		Lutitas	6
		Calizas dolomíticas	3
		Areniscas arcillosas	3
	Lutitas dolomíticas	3	
	Formación Apón	Calizas	49
Calizas arcillosas		21	
Calizas arenosas		3	
Calizas dolomíticas		6	
Dolomías arcillosas		6	
Lutitas calcáreas		3	
Lutitas dolomíticas		3	
Areniscas arcillosas calcáreas		3	
B	Formación La Luna	Calizas	61
		Calizas arcillosas	29
		Lutitas calcáreas	10
	Formación Maraca	Calizas	80
		Calizas arcillosas	20
	Formación Lisure	Calizas	63
		Calizas arcillosas	11
		Calizas arenosas	6
		Dolomías arcillosas	6
		Calizas dolomíticas	6
		Calizas dolomíticas arcillosas	6
		Areniscas calcáreas	2
	Formación Apón	Calizas	59
Dolomías arcillosas		13	
Calizas arcillosas		8	
Calizas dolomíticas		8	
Dolomías		8	
Lutitas	4		

✓ A través de los colores *Munsell* fue posible discretizar muy claramente en las columnas estratigráficas de ambos pozos, las muestras pertenecientes a la Formación La Luna del resto de las muestras de las formaciones geológicas del Grupo Cogollo. Adicionalmente, los valores de RGB (*Red-Green-Blue*) de cada una de las muestras también fueron empleados en los diversos análisis por funciones discriminantes como variables adicionales a los componentes químicos mayoritarios y elementos traza, incrementándose con esto el número de variables químicas y por ende ayudando en la discriminación estadística en cada uno de los ensayos realizados y constituyéndose en un criterio de clasificación adicional.

✓ De acuerdo al esquema de clasificación geoquímica de HERRÓN (1988) evaluado en el Pozo A, de 8 muestras analizadas para la Formación Apón, 7 son wackas (87%) y 1 muestra es una litarenita (13%), mientras que en la Formación Lisure de las 27 muestras evaluadas, 11 muestras son wackas (40%), 8 muestras son lutitas (30%), 7 muestras son arenas-Fe (26%) y 1 muestra corresponde a una sublitarenita (4%). En el Pozo B, en la Formación Apón se evaluaron 5 muestras las cuales quedaron clasificadas de la siguiente manera: 3 wackas (60%), 1 lutita (20%) y 1 arcosa (20%) y en la Formación Lisure se analizaron 8 muestras en total las cuales arrojaron los siguientes resultados: 4 wackas (49%), 3 litarenitas (38%) y una lutita que representa el 13%.

✓ A través del esquema de clasificación geoquímico del $(CaO+Na_2O)/K_2O$ versus la relación del SiO_2/Al_2O_3 se pudo corroborar en el Pozo A que una gran cantidad de muestras de las diversas formaciones geológicas estudiadas son de carácter siliciclástico o presentan esta influencia sedimentaria, fundamentalmente en las formaciones Apón, Lisure y La Luna, mientras que en el Pozo B, se observó que el número de muestras de las formaciones antes señaladas presentan menor influencia siliciclástica. No obstante, los dos pozos analizados tienen una gran cantidad de muestras que son de marcado carácter carbonático, incluso existen muestras que presentan características que podrían señalarse como de mezcla, es decir, tienen los dos tipos de influencia sedimentaria: carbonatos y terrígenos.

✓ El promedio general obtenido de COT para la Formación La Luna en el Pozo A fue de 3,58%, mientras que en el resto de las formaciones del Grupo Cogollo para este mismo pozo

los valores son muy pobres. Los rangos de madurez analizados indican que el nivel es maduro para esta Formación con rangos de temperatura que van desde los 435° C y 449° C, es decir, que en este pozo la Formación La Luna entró en rango de generación de hidrocarburos. El tipo de querógeno obtenido para el Pozo A sugiere en términos generales un querógeno mixto entre Tipo II y Tipo III. El mayor predominio de querógeno Tipo II se encuentra vinculado a la Formación La Luna fundamentalmente.

✓ El promedio general de COT para la Formación La Luna en el Pozo B fue de 2,69%, mientras que en el resto de las formaciones del Grupo Cogollo también se reflejan valores muy pobres de este componente. En este pozo de acuerdo a los Tmax (°C) analizados se aprecian rangos de madurez muy altos, es decir, se presentan valores por encima de 470° C llegando incluso hasta los 586° C sólo en la Formación La Luna, lo cual claramente señala una sobremadurez térmica de las muestras analizadas para este pozo, lo cual afectó el resto de los parámetros por pirólisis Rock-Eval estudiados.

✓ Las formaciones geológicas del Grupo Cogollo y la Formación La Luna evaluadas muestran huellas geoquímicas diagnósticas y distintivas que se pueden seguir a lo largo del área de estudio tal y como se comprobó a través de los análisis discriminantes. De igual forma desde el punto de vista de estratigrafía secuencial los ciclos genéticos analizados reflejan de igual forma una alta discriminación geoquímica, los cuales podemos catalogar igualmente como diagnósticamente distintivos desde el punto de vista químico.

✓ Las tendencias químico-sedimentarias observadas en este estudio corroboran de alguna forma que el Grupo Cogollo se vio influenciado por un período de influjo de siliciclásticos importante que afectó de alguna forma el desarrollo de las plataformas y rampas carbonáticas sobre las cuales las unidades estratigráficas estudiadas fueron depositadas.

✓ Los posibles factores que contribuyeron a la preservación de abundante materia orgánica en la Formación La Luna podrían ser atribuibles a la alta productividad orgánica la cual pudo haber aumentado por las corrientes *upwelling*, anoxia asociada con circulación

restringida de las aguas de fondo y una relativa carencia de dilución por sedimentos clásticos terrígenos.

✓ La relevancia de estudio radica en que a través de la caracterización geoquímica orgánica e inorgánica de todas las formaciones geológicas analizadas de edad Cretácica se obtuvieron unos indicadores geoquímicos que servirán en el futuro para hacerlos extensivos en toda la Cuenca de Maracaibo, permitiendo con esto tener muchos más parámetros geoquímicos diagnósticos y estadísticamente confiables con los cuales se podrían analizar otras áreas de interés exploratorio donde se encuentren estas mismas unidades de roca.

✓ Este trabajo de investigación se constituye en el primer proyecto de quimioestratigrafía a nivel nacional que evalúa tanto al Grupo Cogollo como a la Formación La Luna de forma integral a nivel del subsuelo, unidades estratigráficas catalogadas como potenciales rocas reservorios y la principal roca madre de uno de nuestros principales sistemas petrolíferos depositados en el margen pasivo que se desarrolló durante el Cretácico en el occidente de Venezuela, ampliándose de esta manera el conocimiento hasta ahora existente de estas secuencias estratigráficas.

✓ El estudio contribuirá sustancialmente a la Gerencia de Exploración y Caracterización de Yacimientos de PDVSA INTEVEP a contar con una herramienta de correlación y caracterización química adicional a las técnicas tradicionalmente conocidas en el ámbito petrolero, en la evaluación de áreas exploratorias en secuencias carbonáticas y siliciclásticas de forma conjunta, técnicas estas que podrían ser aplicables de manera confiable en el futuro más próximo en nuestra industria petrolera nacional, aportando conocimientos y abriendo adicionalmente nuevas fronteras de investigación en esta materia.

6.2. RECOMENDACIONES

- ✓ Efectuar estudios de isótopos de $\delta^{18}\text{O}$ a nivel de todo el Grupo Cogollo y la Formación La Luna al igual que de $\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ en esta última Formación para evaluar en más detalle las excursiones existentes y asociarlas a posibles eventos globales e incluso correlacionarlas a otras secuencias estratigráficas.
- ✓ Complementar los análisis de geoquímica orgánica de la Formación La Luna evaluando el % Ro.
- ✓ Efectuar extracciones orgánicas a las muestras que resultaron más ricas en contenido de COT con el objeto de analizar en detalle los extractos.
- ✓ Hacer extensivo este estudio a otros pozos y/o afloramiento con la finalidad de seguir evaluando estas huellas geoquímicas diagnósticas de estas formaciones geológicas a través de toda la Cuenca de Maracaibo, e incluso incorporar muchos más elementos traza a través de otras técnicas analíticas de mayor resolución como por ejemplo ICP MS.

7. BIBLIOGRAFÍA

Abreviatura: UCV-G = Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito.

Abreviatura: UCV-MSc = Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ingeniería, Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Trabajo Especial de Maestría para optar al título de Magíster Scientiarum en Ciencias Geológicas, inédito.

- ALBERDI-GENOLET M. & R. TOCCO. 1999. Trace metals and organic geochemistry of the Machiques Member (Aptian-Albian) and La Luna Formation (Cenomanian-Campanian), Venezuela. *Chemical Geology* 160: 19–38.
- ALGEO T. & B. MAYNARD. 2004. Trace-element behavior and redox facies in core shales of Upper Pennsylvanian Kansas-type cyclothems. *Chemical Geology* 206: 289 – 318.
- ANDARA M. 1990. *Estudio geoquímico sobre rocas madres de las formaciones La Luna y Apón en el pozo 14RN-2X, Campo La Villa, Edo. Zulia, Venezuela: Evidencias de migración primaria*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Magíster en Geoquímica, inédito, 98 p.
- ARIAS I. 2004. *Estudio de minerales de arcilla presentes en muestras de sedimentos superficiales y núcleos de la Fachada Atlántica Venezolana*. UCV-G, 137 p.
- ARREAZA C. 2003. *Caracterización química de las formaciones Naricual y Querecual, en sus localidades tipo, estado Anzoátegui*. UCV-MSc, 322 p.
- ARTHUR M. A. & S. O. SCHLANGER. 1979. Cretaceous “Oceanic Anoxic Events” as causal factor in development of reef-reservoired giant oil fields. *Bull. Amer. Asoc. Petrol. Geol.* 63: 870-885.
- AUDEMARD F. 1991. *Tectonics of western Venezuela*. Rice University, Tesis Ph.D, 250 p.
- AZPIRITXAGA I. 1991. *Carbonate depositional styles controlled by siliciclastic influx and relative sea level changes, Lower Cretaceous, Central Lake Maracaibo, Venezuela*. Texas University, Tesis MA, 151 p.
- BAPTISTA N. 1994. *Geología y geoquímica de la Formación La Luna en sus secciones tipo en la cuenca de Maracaibo*. UCV-G, 278 p.
- BARITTO I. 2003. Caracterización química de muestras de sedimentos superficiales y de núcleos de la Facha Atlántica Venezolana. *Geos* (UCV, Caracas) 36: 76 + 456 p. en CD.

- BARITTO I., CAMPOSANO L. & F. URBANI. 2005. Aplicación del análisis de factores en la correlación química de núcleos del Frente Atlántico de Venezuela. p: 81-87. En: M. G. GÓMEZ, M. CAPALDO, C. YANES & A. MARTÍN (Eds) (2005). *Frente Atlántico venezolano. Investigaciones Geoambientales: Ciencias de la Tierra. Tomo II*. Petróleos de Venezuela, S. A. (PDVSA) – Fondo Editorial Fundambiente. Caracas, Venezuela. 159 p.
- BARITTO I., TEIXEIRA J. & J. LIMA. 2007. *Estudio quimioestratigráfico en el Campo El Furrial, Norte de Monagas*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT No.11591.2007, inédito, 59 p.
- BARITTO I., O. BETANCOURT, M. BOUJANA, D. CABRERA, L. CAMPOSANO, O. CONTRERAS, Y. HERNÁNDEZ, J. MARGOTTA, C. SAAVEDRA, L. SUÁREZ, B. VILAS, G. SOTO, A. MARTÍNEZ, A. PÉREZ, Y. RINCONES & J. ZAMORA. 2009. *Potencial petrolífero del flanco sur-andino, área de Rubio – San Cristóbal, estado Táchira, Venezuela*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT No. 12735.2009, inédito, 51 p.
- BARTOK P., T. J. REIJERS & I. JUHASZ. 1981. Lower Cretaceous Cogollo Group, Maracaibo Basin, Venezuela: sedimentology, diagenesis and petrophysics. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 65 (6): 1110 – 1134.
- BEHAR F., BEAUMONT V. & H. L. DE B. PENTEADO. 2001. Rock-Eval 6 technology: performances and developments. *Revue Inst. Fr. du Pétrole*, 56 (2): 111 – 134.
- BERTIN E. 1975. *Principles and Practice of X-ray Spectrometric Analysis*. Plenum Press, 2^a ed., New York-London, 1079 p.
- BOESI T., F. GALEA, G. ROJAS, M. LORENTE, I. DURÁN & M. VELÁSQUEZ. 1988. Estudio estratigráfico del Flanco Norandino en el sector Lobatera-El Vigía. *Mem. III Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera de las Cuencas Subandinas*, Caracas, 1: 1-41.
- BRALOWER T. & M. LORENTE. 2003. Paleogeography and Stratigraphy of the La Luna Formation and Related Cretaceous Anoxic Depositional Systems. *Palaios*, 18: 301–304.
- BRUKER-AXS. *Wavelength dispersive x-ray fluorescence (WD-FRX) and samples analysis*. <http://www.bruker-axs.com>. Consulta 15 junio 2008.
- BRUMSACK H. J. 2006. The trace metal content of recent organic carbon-rich sediments: Implications for Cretaceous black shale formation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 232: 344– 361.
- CABRERA D., FARIAS A., SOTO G., CONTRERAS C., ALFONZO S., GÓMEZ M. & O. BETANCOURT. 2008. *Datos bioestratigráficos del pozo A en el intervalo de núcleos 15180'-16112', Campo Centro Lago, Cuenca de Maracaibo, Venezuela*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT No. 11970.2008, inédito, 41 p.

- CAMPOSANO L. & M. MARTÍNEZ. 2000. *Caracterización química y radiométrica de secciones estratigráficas de las Formaciones Barco y Mirador, San Pedro del Río, estado Táchira*. UCV-G, 264 p.
- CAMPOSANO L. 2002. *Resultados integrados realizados para optimizar las mediciones con el espectrómetro de fluorescencia de rayos x por energía dispersiva NITON XL-722S*. Informe para el Laboratorio de Difracción y Fluorescencia de rayos X de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Inédito. Facultad de Ingeniería. Universidad Central de Venezuela, 47 p.
- CAMPOSANO L. 2007. *Estudio de los factores que controlan la sedimentación terrígena y biogénica durante el Pleistoceno/Holoceno en la Plataforma Deltana de Venezuela*. UCV-MSc, 137 p.
- CAPLAN M. & M. BUSTIN. 1998. Palaeoceanographic controls on geochemical characteristics of organic-rich Exshaw mudrocks: role of enhanced primary production. *Organic Geochemistry* 30: 161 – 188.
- CHACÍN C. 2003. *Caracterización química y radiométrica de muestras de canal correspondientes a cuatro pozos del Campo Petrolífero La Concepción, estado Zulia*. UCV-G, 254 p.
- DAVIS J. C. 1973. *Statistics and Data Analysis in Geology*. Wiley and Sons, New York, 550 p.
- DAVIS C. & L. PRATT. 1997. Factors influencing organic carbon and trace metal accumulation in the Upper Cretaceous La Luna Formation of the western Maracaibo Basin, Venezuela. En E. BARRERA & C. JOHNSON, Eds., *Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System Boulder*. Geol. Soc. America: 203-230.
- DELGADILLO L. 2008. *Caracterización química de la Formación Lisure en muestras de núcleo, Cuenca de Maracaibo*. Universidad de Los Andes, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Geológica. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Ingeniero Geólogo, inédito, 246 p.
- DEMAISON G. J. & G. T. MOORE. 1980. Anoxic environments and oil source bed genesis. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 64 (8): 1179 – 1209.
- ROMERO L., I. TRUSKOWSKI, T. BRALOWER, J. BERGEN, O. ODREMAN, J. ZACHOS & F. GALEA. 2003. An integrated calcareous microfossil biostratigraphic and carbon-isotope stratigraphic framework for the La Luna Formation, Western Venezuela. *Palaios* 18: 349 – 366.
- DISCEPOLA P. & D. RODRÍGUEZ. 2002. *Caracterización geoquímica de los carbonatos lodosos de la Formación La Luna, en las secciones de Flor de Patria y San Pedro del Río, estados Trujillo y Táchira*. UCV-G, 276 p.

- DOW W. G. 1977. Kerogen studies and geological interpretations. *Journal of Geochemical Exploration* 7: 79 – 99.
- DUNHAM R. 1962. Classification of carbonate rocks according to depositional texture. In: Classification of carbonate rocks (Ed. By W. E. Ham). *Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 1: 108-121.
- EMBRY A. F. & J. E. KLOVAN. 1971. A late Devonian reef tract on northeastern Banks Islands, Northwest Territories. *Bull. Can. Petrol. Geol.* 19: 730 – 781.
- ERLICH R., S. PALMER-KOLEMAN & M. LORENTE. 1999a. Geochemical characterization of oceanographic and climatic changes recorded in upper Albian to lower Maastrichtian strata, western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 20: 547–581.
- ERLICH R., O. MACSOTAY, A. NEDERBRAGT & M. LORENTE. 1999b. Palaeoecology, palaeogeography and depositional environments of Upper Cretaceous rocks of western Venezuela. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 153: 203–238.
- ERLICH R., O. MACSOTAY, A. NEDERBRAGT & M. LORENTE. 2000. Birth and death of the Late Cretaceous “La Luna Sea” and origin of the Tres Esquinas phosphorites. *Journal South American Earth Sciences* 13: 21-45.
- ESCALONA A. & P. MANN. 2002. Three-dimensional structural architecture and evolutionary history of an Eocene pull-apart basin, Maracaibo Basin, Venezuela: Towards and integrated understanding of Caribbean tectonics and stratigraphy (abs.):http://www.ig.utexas.edu/CaribPlate/reports/Texas_workshop.htm # abstracts (consultada Julio 2006).
- ESPITALIE J., J. L. LAPORTE, M. MADEC, F. MARQUIS, P. LEPLANT & J. PAULET. 1977. Méthode rapide de characterization des roches mères, de leur potentiel pétrolier et de leur degré d'évolution. *Revue Inst. Fr. du Pétrole*, 32 (1): 23 – 45.
- ESPITALIE J., G. DEROO & F. MARQUIS. 1986. La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. Partie 3. *Revue Inst. Fr. du Pétrole*, 41: 1.
- FORD R. & T. HOUBOLD. 1963. Las microfacies del Cretáceo de Venezuela occidental. *Internat. Sed. Petrog. Serv.*, 6: 67, 109 lam.; E. J. BRILL, (Leiden), Holanda. Resumen (1966) En: *Asoc. Venez. Geol. Min. y Petrol.*, Bol. Inform., 6(5): 151.
- GALEA-ÁLVAREZ F. 1989. Microfacies, edad y ambiente de sedimentación de la Formación La Luna, Flanco Norandino, Venezuela. En L.A. SPALLETI (ed.), *Contribuciones de los Simposios sobre el Cretáceo de América Latina. Parte A: Eventos y registro sedimentario*. Centr. Invest. Geol. Univ. Nac. La Plata, Argentina. A: 573-577.
- GARRITY C., P. HACKLEY, F. URBANI & A. KARLSEN. 2004. *Mapa Geológico Digital de Venezuela*. 1:750.000. <http://pubs.usgs.gov/of/2005/1038>. Consulta 20 junio 2008.

- GONZÁLEZ DE JUANA C., J. ITURRALDE DE AROZENA & X. PICARD. 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Caracas, Ed. Foninves, 2 tomos, 1021 p.
- GONZÁLEZ R. 1995. *Introducción a la Geoestadística*. Centro Internacional de Educación y Desarrollo (CIED). Inédito, Caracas, 232 p.
- GONZÁLEZ L. & G. SÁNCHEZ. 2001. *Caracterización geoquímica y radiométrica de dos secciones estratigráficas de la Formación La Luna, en el estado Táchira*. UCV-G. inédito, 246 p.
- HAMBALEK N. & B. MURAT. 1994. *Estudio sedimentológico de los núcleos Cretácicos de los pozos VLB-704 y VLE-738, Lago de Maracaibo*. PDVSA, Caracas, No EPC-13.492, inédito, 57 p.
- HARBAUGH J. & MERRIAM. 1968. *Computer applications in stratigraphic analysis*. John Wiley and Sons Inc., New York/London/Sydney. 282 p.
- HACKLEY P., F. URBANI, C. GARRITY & A. KARLSEN. 2005. *Mapa Geológico Digital de Venezuela. 1:750.000*. <http://pubs.usgs.gov/of/2005/1038>. Consulta 5 junio 2008.
- HEDBERG H. & L. SASS. 1937. Synopsis of the geologic formations of the western part of the Maracaibo basin, Venezuela. *Bol. Geol. y Min., Min. Fomento* 1(2-4): 73-112.
- HERNÁNDEZ P. 2001. *Modelado geoquímico de generación de hidrocarburos en el área de Urica- Mundo Nuevo, estado Anzoátegui*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias. Trabajo Especial de Grado para optar al título de Licenciado en Química, inédito, 152 p.
- HERRON M. 1988. Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58(5): 820-829.
- INTEGRATED GEOCHEMICAL INTERPRETATION. 2007. *Rock-Eval pyrolysis: analytical technique*. http://www.igild.com/.../Images/Rock_eva_1.jpg. Consulta 2 junio 2008.
- JARVIS I. 1992. Sedimentology, geochemistry and origin of phosphatic chalks: the Upper Cretaceous deposits of NW Europe. *Sedimentology* 39: 55-97.
- JARVIS I., A. MURPHY & A. GALE. 2001. Geochemistry of pelagic and hemipelagic carbonates: criteria for identifying systems tracts and sea-level change. *Jour. Geol. Soc. London* 158: 685-696.
- JARVIS I., A. MABROUK, R. MOODY & S. DE CABRERA. 2002. Late Cretaceous (Campanian) carbon isotope events, sea-level change and correlation of the Tethyan and Boreal realms. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 188: 215-248.

- JENKYN H. 1980. Cretaceous anoxic events: from continents to oceans. *Jour. Geol. Soc. London* 137: 171-188.
- JOHNSON R. A. 1997. *Probabilidad y Estadística para Ingenieros de Miller y Freund*. Quinta edición, Prentice-Hall Hispanoamericana S.A, México, 630 p.
- JONES B. & D. MANNING. 1994. Comparison of geochemical indices used for the interpretation of palaeoredox conditions in ancient mudstones. *Chemical Geology* 111: 111 – 129.
- JORDÁN N. & W. SCHERER. 1982. Petrografía Orgánica y Maduración de la Formación La Luna en su Sección Tipo, Cretáceo de Venezuela Occidental. *Rev. Tecn. Intevp* 2(2): 109-120.
- JORGENSEN N. 1986. Chemostratigraphy of upper cretaceous chalk in the Danish subbasin. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.*, 70 (3): 309-317.
- KENNEDY J. & A. NEVILLE. 1982. *Estadística para Ciencias e Ingeniería*. 2ª edición, Harla, México, 468 p.
- KITANIDIS P. K. 1997. *Introduction to Geostatistics: Applications in Hydrogeology*. Cambridge University Press, 249 p.
- KUMMEROW E. 1988. *Proyecto Facies del Cretáceo de la cuenca del Lago de Maracaibo, Estudio del Núcleo del Pozo CLA-111*. LAGOVEN, Maracaibo, CIPET No. 086214, inédito, 65 p.
- KUMMEROW E. 1990. *Proyecto Facies del Cretáceo de la Cuenca del Lago de Maracaibo, Estudio integrado de los Núcleos de los Pozos: SOL-6, UD-171, UD-149, LB-273, CLA-111 y VLB-7047*. LAGOVEN, Maracaibo, CITEP No. 21678, inédito, 45 p.
- LAFARGUÉ E., F. MARQUIS & D. PILLOT. 1998. Rock-Eval 6, applications in hydrocarbon exploration, production and soils contamination studies. *Revue Inst. Fr. du Pétrole* 53 (4): 421 – 437.
- LIANGQUAN L., G. KELLER, T. ADATTE & W. STINNESBECK. 2000. Late Cretaceous sea-level changes in Tunisia: a multi-disciplinary approach. *Jour. Geol. Soc. London* 157: 447 – 458.
- LIDDLE R. 1946. *The geology of Venezuela and Trinidad*. 2nd. Ed., Paleont. Res. Inst., Ithaca, New York, 890 p.
- LIPINSKI M., B. WARNING & H. J. BRUMSACK. 2003. Trace metal signatures of Jurassic/Cretaceous black shales from the Norwegian Shelf and the Barents Sea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 190: 459 – 475.

- LO MÓNACO, S., L. LÓPEZ, H. ROJAS, D. GARCÍA, P. PREMÓVIC & H. BRICEÑO. 2002. Distribution of major and trace elements in La Luna Formation, southwestern Venezuela Basin. *Organic Geochemistry*, 33: 1593-1608.
- LUGO J. 1991. *Cretaceous to Neogene tectonic control on sedimentation: Maracaibo basin, Venezuela*. Texas University, Tesis Ph. D, 222 p.
- LUGO J. & P. MANN. 1995. Jurassic – Eocene tectonic evolution of Maracaibo basin, Venezuela. In: A. J. TANKARD, R. SUÁREZ & H. J. WELSINK. Petroleum basin of South America. *Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 62: 725 p.
- MARTÍNEZ, J. 1980. *La sedimentología y ambientes sedimentarios de la sección superior de calizas cretáceas en Centro Lago, Río Negro y quebrada Santa Rosa del Río Apón (estado Zulia)*. UCV-G, 326 p.
- MARTÍNEZ, R. 1980. *La sedimentología y ambientes sedimentarios de la sección inferior de calizas cretáceas en Centro Lago, Río Negro y quebrada Santa Rosa del Río Apón (estado Zulia)*. UCV-G, 270 p.
- MASON B. & C. MOORE. 1982. *Principles of Geochemistry*. John Wiley and Sons, 4^{ta} edición, New York, 310 p.
- MATA L. 2001. *Estudio quimioestratigráfico de la Formación La Luna, estado Táchira*. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Ciencias, Instituto de Ciencias de la Tierra. Trabajo Especial de Grado, inédito, 145 p.
- MÉNDEZ J. 1989. La Formación La Luna. Características de una cuenca anóxica en una plataforma de aguas someras. *Mem. VII Congr. Geol. Venezolano*, 2: 852-866.
- MÉNDEZ J. 1989. Modelo depositacional del Grupo Cogollo. Talud externo, márgenes y plataforma interna. *Mem. VII Congr. Geol. Venezolano*, 2: 828-850.
- MEYERS S., B. SAGEMAN & L. HINNOV. 2001. Integrated quantitative stratigraphy of the Cenomanian – Turonian Bridge Creek Limestone Member using evolutive harmonic analysis and stratigraphic modeling. *Jour. Sed. Res.* 71 (4): 628 – 644.
- MONGENOT T., N. TRIBOVILLARD, A. DESPRAIRIES, E. VERGOS & F. LAGGONN. 1996. Trace elements as palaeoenvironmental markers in strongly mature hydrocarbon source rocks: the Cretaceous La Luna Formation of Venezuela. *Sedimentary Geology* 103: 23-37.
- MOORE D. & R. REYNOLDS. 1989. *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford University Press, 332 p.
- MURAT B. & I. AZPIRITXAGA. 1995. Aplicación del análisis secuencial en los carbonatos del Cretácico de la Cuenca de Maracaibo. *Bol. Soc. Ven. Geól.* (1-2): 7-29.

- NIEBUHR B. 2005. Geochemistry and time-series analyses of orbitally forced Upper Cretaceous marl-limestone rhythmites (Lehrte West Syncline, northern Germany). *Geol. Mag.* 142 (1): 31 – 55.
- NITON CORPORATION. 1998. *Field Portable X-ray Fluorescence Spectrometry for the Determinations in Soil and Sediment*. USA, 25 p.
- NOGUERA M. & S. YÉPEZ. 2002. *Caracterización química de secciones estratigráficas: formaciones Naricual y Querecual, estados Anzoátegui y Monagas*. UCV-G, 281 p.
- NÚÑEZ-BETELU L. & J. I. BACETA. 1994. Basics and application of Rock-Eval/TOC pyrolysis: an example from the uppermost Paleocene/lowermost Eocene in The Basque Basin, western Pyrenees. *Natur Zientziak* 46: 43 – 62 p.
- OSTOS M. 1990. Evolución tectónica sur – central del Caribe basado en datos geoquímicos. *Geos* (UCV, Caracas) 30: 1 – 294.
- PANALYTICAL. *The Bragg Law's*. <http://www.panalytical.com>. Consulta 20 julio 2008.
- PARENTE M., G. FRIJIA & M. DI LUCIA. 2007. Carbon-isotope stratigraphy of Cenomanian – Turonian platform carbonates from the southern Apennines (Italy): a chemostratigraphic approach to the problem of correlation between shallow-water and deep-water successions. *Jour. Geol. Soc. London* 164: 609 – 620.
- PARNAUD P., Y. GOU, J. C. PASCUAL, M. CAPELLO, I. TRUSKOWSKI & H. PASSALACQUA. 1995. Stratigraphic Synthesis of Western Venezuela. *Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 62: 681-698.
- PEARCE T. & I. JARVIS. 1995. High resolution chemostratigraphy of quaternary distal turbidites: a case study of new methods for the analysis and correlation of barren sequences. En: *Non-biostratigraphical methods of date and correlation. Geological Society Special Publication*. (89): 107-143.
- PEÑA D. 2002. *Análisis de datos multivariantes*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España Eds., 539 p.
- PÉREZ-INFANTE J., P. FARRIMOND & M. FURRER. 1996. Global and local controls influencing the deposition of the La Luna Formation (Cenomanian-Campanian), western Venezuela. *Chemical Geology* 130: 271-288.
- PETTIJON F., P. POTTER & R. SIEVERS. 1973. *Sand and Sandstones*. Springer – Verlag: USA, 553 p.
- PINTO J., S. ORTEGA, S. GONZÁLEZ, M. RANGEL & P. OROPEZA. 2008. *Estudio sedimentológico de la sección Cogollo-La Luna, bloques VIII y Centro Lago, Cuenca*

- del Lago de Maracaibo, Venezuela*. PDVSA-INTEVEP, Los Teques, CIT No. 11860.2008, inédito, 120 p.
- RACHOLD V. & H. J. BRUMSACK. 2001. Inorganic geochemistry of Albian sediments from the Lower Saxony Basin NW Germany: palaeoenvironmental constraints and orbital cycles. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 174: 121–143.
- RANGEL A., J. M. MOLDOWAN, C. NIÑO, P. PARRA & B. N. GIRALDO. 2002. Umir Formation: Organic geochemical and stratigraphic assessment as cosource for Middle Magdalena Basin oil, Colombia. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 86: 2069 – 2087.
- RENZ O. 1959. Estratigrafía del Cretáceo en Venezuela occidental. *Bol. Geol.*, 5(10): 3-48.
- REY O., J.A SIMO & M.A. LORENTE. 2003. Microfacies laminadas en la Formación La Luna, sección del río San Miguel, estado Mérida, Venezuela: descripción y significado. *Rev. Fac. Ing. UCV*, 18(3): 137-153.
- REY O., T. SIMO & M. LORENTE. 2004. A record of long- and short-term environmental and climatic change during OAE3: La Luna Formation, Late Cretaceous (Santonian–early Campanian), Venezuela. *Sedimentary Geology* 170: 85–105.
- REY O., L. LÓPEZ & S. LO MÓNACO. 2009. Identificación de ciclos solares durante el evento anóxico oceánico 3 (EAO3): Formación La Luna, Venezuela. *Rev. Fac. Ing. UCV*, 24(2): 5-12.
- ROD E. & W. MAYNC. 1954. Revision of lower Cretaceous stratigraphy of Venezuela. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 38: 193-283.
- ROLLINSON H. 1993. *Using Geochemical Data: Evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific & Technical, New York, 352 p.
- ROUESSAC F. & A. ROUESSAC. 2000. *Análisis químico*. Madrid: McGraw-Hill Interamericana de España Eds., 441 p.
- RUMMEL R. J. 1984. *Applied factor analysis*. Evanston Northwestern University Press. 78 p.
- SCOPELLITI G., A. BELLANCA, R. COCCIONI, V. LUCIANI, R. NERI, F. BAUDIN, M. CHIARI & M. MARCUCCI. 2004. High-resolution geochemical and biotic records of the Tethyan “Bonarelli Level” (OAE2, latest Cenomanian) from the Calabianca-Guidaloca composite section, northwestern Sicily, Italy. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 208: 293 – 317.
- SCOPELLITI G., A. BELLANCA, R. NERI, F. BAUDIN & R. COCCIONI. 2006. Comparative high-resolution chemostratigraphy of the Bonarelli Level from the reference Bottaccione

- section (Umbria–Marche Apennines) and from an equivalent section in NW Sicily: Consistent and contrasting responses to the OAE2. *Chemical Geology* 228: 266–285.
- SHERER W. 1995. Hydrocarbon families in The Maracaibo Basin, Western Venezuela. *Amer. Assoc. Petrol. Geol., Ann. Conv. abstr.* p. 85a.
- SOILTEST INC. 1975. *Munsell soil color charts*. Kollmorgen Corporation, USA, 34 p.
- SOTO G. 2007. *Identificación de sistemas encadenados en sedimentos pelágicos mediante métodos geoquímicos, Formación La Luna, occidente de Venezuela*. UCV-MSc, 219 p.
- STOUFER S. 1993. *Distribución regional del carbono orgánico y fosfato en la Formación La Luna, Cuenca de Maracaibo*. UCV-G, 173 p.
- STÜBEN D., U. KRAMAR, M. HARTING, W. STINNESBECK & G. KELLER. 2005. High-resolution geochemical record of Cretaceous-Tertiary boundary sections in Mexico: new constraints on the K/T and Chicxulub events. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 69 (10): 2559 – 2579.
- SWEENEY J., R. L. BRAUN, A. K. BURNHAM, S. TALUKDAR & C. VALLEJOS. 1995. Chemical kinetic model of hydrocarbon generation, expulsion, and destruction applied to the Maracaibo Basin, Venezuela. *Bull. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 79: 1515 – 1532.
- TALUKDAR S., O. GALLANGO & CHIN-A-LIEN, M. 1986. Generation and migration of hydrocarbons in the Maracaibo Basin, Venezuela: an integrated basin study. *Organic Geochemistry* 10: 261 - 279.
- TALUKDAR S. & MARCANO, F. 1994. Petroleum systems of the Maracaibo Basin, Venezuela. In *The Petroleum system – from source to trap* (eds Magoon, L. B. & Dow, W. G.), *Mem. Amer. Assoc. Petrol. Geol.* 60: 463-481.
- TRIBOVILLARD N., J. STEPHAN, H. MANIVIT, Y. REYRE, P. COTILLON & E. JAUTÉE. 1991. Cretaceous black shales of Venezuelan Andes: preliminary results on stratigraphy and paleoenvironmental interpretations. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 81: 313-321.
- TRIBOVILLARD N., T. ALGEO, T. LYONS & A. RIBOULLEAU. 2006. Trace metals as paleoredox and paleoproductivity proxies: An update. *Chemical Geology* 232: 12 – 32.
- TURGEON S. & H. J. BRUMSACK. 2006. Anoxic vs dysoxic events reflected in sediment geochemistry during the Cenomanian–Turonian Boundary Event (Cretaceous) in the Umbria–Marche Basin of central Italy. *Chemical Geology* 234 (3-4): 321 - 339.
- VALLEJO G. 1992. *Técnicas multivariadas aplicadas a las ciencias comportamentales*. Universidad de Oviedo. 36 – 57 p.

- VILLAMIL T. 1996. Depositional and chemical cyclicity in the cretaceous fine-grained strata of Colombia. A model for organic matter content. *Ciencia, Tecnología y Futuro*, Bogotá, 1(2): 5-23.
- VIERMA L. 1984. *Correlation of Crude Oils with Source Rocks in a portion of the Maracaibo Basin, Venezuela*. Indiana University, MA thesis, 165 p.
- WAPLES D. 1985. *Geochemistry in petroleum exploration*. Brown and Ruth Laboratories, Inc. Denver Colorado. 225 p.
- YORIS F., M. OSTOS & L. ZAMORA. 1997. Petroleum Geology of Venezuela. *En SCHLUMBERGER SURENCO C.A. Venezuela WEC 1997 Well Evaluation Conference*. Jolley Printing Inc, Houston, p. 1 – 44.
- ZAPATA E., M. LORENTE, O. REY & V. PADRÓN. 2000. Diagenetic evaluation of La Luna Formation in Tachira and Merida states, Western Venezuela. Paleogeography and hydrocarbon potential of the La Luna Formation and related Cretaceous anoxic depositional systems. *SEPM, Research Conference*. Caracas. 7-9 Septiembre.
- ZAPATA E., V. PADRÓN, I. MADRID, V. KERTZNUS, I. TRUSKOWSKI & M. LORENTE. 2003. Biostratigraphic, sedimentologic and chemistratigraphic study of the Luna Formation (Late Turonian-Campanian) in the San Miguel and Las Hernández sections, Western Venezuela. *Palaios* 18: 367-377.