

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO



CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y RADIOMÉTRICA DE MUESTRAS DE CANAL CORRESPONDIENTES A CUATRO POZOS DEL CAMPO PETROLÍFERO LA CONCEPCIÓN, ESTADO ZULIA

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la **Br. Chacín Ortiz, Claudia
Carolina** para optar por el título de
Ingeniero Geólogo.

Caracas, mayo 2003

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y RADIOMÉTRICA DE MUESTRAS DE CANAL CORRESPONDIENTES A CUATRO POZOS DEL CAMPO PETROLÍFERO LA CONCEPCIÓN, ESTADO ZULIA

Tutor Académico: Dr. Franco Urbani

Presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la **Br. Chacín Ortiz, Claudia
Carolina** para optar por el título de
Ingeniero Geólogo.

Caracas, mayo 2003

A mis padres, Gladys y Antonio, los que me dieron la vida y con mucha dedicación y amor han hecho de mí la persona que soy.

A mis otros padres, Migdalia y Athanasio, que me han querido y apoyado de manera incondicional y por haberme hecho parte de su hermosa familia.

A Jorham, por quererme y estar conmigo en los momentos más difíciles.

Chacín O. Claudia C.

**CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y RADIOMÉTRICA DE MUESTRAS DE
CANAL CORRESPONDIENTES A CUATRO POZOS DEL CAMPO
PETROLÍFERO LA CONCEPCIÓN, ESTADO ZULIA**

**Tutor Académico: Dr. Franco Urbani. Tesis. Caracas. U.C.V. Facultad de Ingeniería.
Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. 2003. 254 p.**

Palabras Claves: FORMACIÓN MISOA, MUESTRAS DE CANAL, ANÁLISIS QUÍMICO, ANÁLISIS RADIOMÉTRICO, DEFINICIÓN DE UNIDADES.

Resumen

Cuatro pozos del campo petrolífero La Concepción (estado Zulia) fueron caracterizados química y radiométricamente, a partir del análisis de sus muestras de canal.

Mediante la técnica de espectrometría de fluorescencia de rayos x por dispersión de energía, se determinaron 8 elementos mayoritarios (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO y K_2O) y 8 traza (V, Ni, Zn, Rb, Sr, Zr, Hg y Pb). El análisis radiométrico se realizó mediante espectrometría gamma multicanal, estudiándose 15 variables radiométricas.

Se realizaron análisis estadísticos univariantes y multivariantes, útiles en la comparación de secciones y en la determinación de afinidades de ciertos componentes hacia asociaciones sedimentarias químicas predeterminadas.

La construcción de perfiles de distribución vertical permitió definir tres unidades químico – radiométricas mayores para los pozos denominados A, B y D y dos para el pozo C, además de las sub-unidades que las conforman. A nivel general los pozos A, B y C son similares, mientras que el pozo D es notablemente diferente.

Se estudió la posible continuidad de las unidades mayores, estableciéndose una unidad inferior (1-A + 1-B + 1-D), que no presenta continuidad lateral entre los pozos; una unidad intermedia (2-A + 2-B + 2-C + 2-D) que presenta continuidad entre los pozos B y C principalmente y una unidad superior (3-A + 3-B + 3-C + 3-D) que es continua entre todos los pozos.

Se determinó la existencia de un nivel calcáreo no reportado hasta los momentos para los miembros superiores de la Formación Misoa (Intervalo Misoa Superior), considerado para los pozos A y D como una roca carbonática, según la clasificación geoquímica de HERRON (1988).

También se concluyó que la secuencia estudiada es más arenosa hacia el norte y más lutítica hacia el sur, lo cual podría indicar una dirección de aporte norte-sur.

Al inicio de este Trabajo Especial de Grado, no se tenía información de ningún estudio previo realizado en las muestras analizadas, ni en sus respectivos pozos (exceptuando los registros gamma-ray), habiéndose llegado a los resultados obtenidos únicamente a partir de los análisis realizados. De esta manera queda demostrada la utilidad y aplicabilidad de las técnicas empleadas, en el estudio de secciones estratigráficas en las que no existen otros tipos de estudio que sirvan como base geológica.

El principal aporte de este Trabajo Especial de Grado radica en que se ha realizado un estudio bastante específico en una zona petrolífera de gran importancia en Venezuela, como lo es el campo La Concepción, en el cual no existían ningún tipo de datos de geoquímica inorgánica, permitiendo así establecer posibles relaciones entre los pozos estudiados y vincular las variaciones químicas a cambios en los procesos geológicos, y en general, conocer un poco más la geología de la zona.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	
ÍNDICE GENERAL	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
ÍNDICE DE TABLAS	x
LISTA DE APÉNDICES	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	1
1.1.1. Objetivo general	1
1.1.2. Objetivos específicos	1
1.2. Localización del área de estudio	2
1.3. Agradecimientos	5
2. ASPECTOS GEOLÓGICOS	7
2.1. Regionales	7
2.1.1. Generalidades de la Cuenca de Maracaibo	7
2.1.2. Estratigrafía Regional	7
2.1.3. Formación Misoa	18
2.1.4. Evolución tectónica de la Cuenca de Maracaibo	19
2.1.5. Estructura de la Cuenca de Maracaibo	28
2.2. Locales	30
2.2.1. Generalidades	30
2.2.2. Estratigrafía	31
2.2.2.1. Unidades formales	31
2.2.2.2. Unidades informales	33
2.2.2.3. Ambientes sedimentarios	37
2.2.3. Estructura	40
2.2.4. Entrampamiento de hidrocarburos	42

3. MARCO TEÓRICO	43
3.1. Espectrometría por fluorescencia de rayos x por dispersión de energía (FRX-DE)	43
3.1.1. FRX-DE con fuente de tubo de Rh	44
3.1.2. FRX-DE con fuente radiactiva de ^{109}Cd	44
3.2. Radiometría	47
3.2.1. Espectrometría de rayos gamma	51
3.3. Caracterización Geoquímica	54
3.3.1. La geoquímica como herramienta de correlación de secuencias sedimentarias	58
3.3.2. Clasificación de sedimentos terrígenos según HERRON (1988)	62
3.4. Trabajos previos en geoquímica de rocas sedimentarias	65
3.5. Geoestadística	77
3.5.1. Métodos estadísticos univariantes y multivariantes	77
3.5.1.1. Análisis Univariante	77
3.5.1.2. Estadística Multivariante	83
3.5.2. Series secuenciales o perfiles de distribución	87
4. METODOLOGÍA	89
4.1. Recolección de muestras	90
4.2. Fase de laboratorio	90
4.2.1. Análisis Químicos	92
4.2.1.1. Fluorescencia de rayos x por dispersión de energía (FRX-DE) con fuente de tubo de Rh	92
4.2.1.2. FRX-DE con fuente radiactiva de ^{109}Cd	95
4.2.2. Espectrometría gamma multicanal	99
4.3. Procesamiento de datos	101
4.3.1. Geoestadística	101
4.3.2. Perfiles de distribución	101

5. RESULTADOS	102
5.1. Resultados analíticos	102
5.2. Clasificación geoquímica	102
5.3. Estadística univariante	105
5.3.1. Histogramas de frecuencia químicos	105
5.3.2. Diagramas de caja químicos	118
5.3.3. Histogramas de frecuencia radiométricos	124
5.3.4. Diagramas de caja radiométricos	133
5.3.5. Diagramas de dispersión químicos y radiométricos	138
5.4. Definición de unidades químico – radiométricas	148
5.4.1. Unidades del Pozo A	150
5.4.2. Unidades del Pozo B	162
5.4.3. Unidades del Pozo C	174
5.4.4. Unidades del Pozo D	182
5.5. Estadística multivariante	193
5.5.1. Análisis de agrupaciones	193
5.5.2. Funciones discriminantes	201
5.5.2.1. Separación de tipos litológicos según la clasificación geoquímica de HERRON (1988)	201
5.5.2.2. Separación de las unidades químico – radiométricas mayores definidas	208
5.5.2.3. Separación de sub-unidades químico – radiométricas	214
5.5.2.4. Correlación de las unidades químico – radiométricas mayores en los pozos estudiados	221
5.6. Relación entre la evolución del marco geológico local y las unidades químico-radiométricas definidas	237
6. CONCLUSIONES	242
7. RECOMENDACIONES	245
8. BIBLIOGRAFÍA	246
APÉNDICES	255

ÍNDICE DE FIGURAS

	Págs.
Figura 1.1 Ubicación del Campo La Concepción.....	2
Figura 1.2 División del campo La Concepción en bloques (principales y secundarios) y ubicación de los pozos en estudio.....	4
Figura 2.1 Mapa de distribución de los grabens pre-cretácicos identificados en el occidente de Venezuela	9
Figura 2.2 Modelo esquemático secuencial desde el Paleoceno temprano hasta el Eoceno medio que muestra el desplazamiento de los cinturones de corrimiento	14
Figura 2.3 Cuadro de correlación estratigráfica del occidente de Venezuela desde el Jurásico al Reciente.....	16
Figura 2.4 Esquema tectónico regional de la Cuenca del Lago de Maracaibo	20
Figura 2.5 Tendencias del basamento Paleozoico y Jurásico para el noroeste de Venezuela	22
Figura 2.6 Patrón de migración de las cuencas de las cuencas <i>foreland</i> desde el Paleoceno hasta el Eoceno medio. Se muestra el cinturón plegado asociado	24
Figura 2.7 Evolución tectónica de la Cuenca del Lago de Maracaibo	26
Figura 2.8 Orientación del alineamiento La Paz – Mara – El Moján y de las fallas Icotea y Pueblo Viejo entre otras	29
Figura 2.9 Columna estratigráfica generalizada del campo La Concepción	34
Figura 2.10 Secuencia de mapas paleogeográficos del Eoceno del área Mara - Maracaibo	39
Figura 2.11 Corte estructural esquemático del campo La Concepción	41
Figura 3.1 Instrumento Niton XL-500 desplegando información de concentraciones de elementos traza de una muestra	45

Figura 3.2	Tabla periódica, mostrando los elementos radioactivos naturales en los recuadros rojos	47
Figura 3.3	Series de desintegración del U y Th. El eje vertical representa el peso atómico A y el horizontal el número atómico Z. Se muestran también los períodos de semidesintegración en años, días, horas, minutos y segundos	50
Figura 3.4	Zonas de interés o ventanas de medición del espectrómetro γ multicanal	51
Figura 3.5	Diagrama del sistema de radiometría de rayos gamma utilizado en este trabajo	53
Figura 3.6	Procesos que intervienen en la formación de una roca sedimentaria	55
Figura 3.7	Perfiles generados a partir de la composición de nueve elementos, en donde se puede apreciar las respectivas unidades químicas en que se ha subdividido la secuencia perteneciente a la Formación Green River en Wyoming (USA)	61
Figura 3.8	Correlación realizada entre dos pozos, utilizando como herramienta la caracterización geoquímica y el establecimiento de quimiofacies	62
Figura 3.9	Sistema de clasificación de sedimentos terrígenos	64
Figura 3.10	Diagramas de cajas en los que se indican sus elementos más importantes	79
Figura 3.11	Histograma y polígono de frecuencia del Rb en el pozo C	80
Figura 3.12	Histogramas y polígonos de frecuencia de distintos tipos elaborados mediante el programa NCSS 2000	81
Figura 3.13	Diagrama de dispersión de dos series de datos diferentes, mostrando la ecuación de la recta de regresión y coeficientes de correlación (R^2) de cada una	82
Figura 3.14	Representación gráfica de dos distribuciones bivariantes, mostrando el solapamiento entre los grupos A y B a lo largo de las variables X_1 y X_2	85
Figura 3.15	Dendrograma	87
Figura 3.16	Perfil de datos crudos y su respectivo promedio móvil 3	88

Figura 4.1	Equipo de molienda Shatterbox	90
Figura 4.2	Pesado de la muestra pulverizada	91
Figura 4.3	Almacenamiento de muestras pulverizadas en bolsas herméticas identificadas	91
Figura 4.4	Equipo Philips Minipal de fluorescencia de rayos x	92
Figura 4.5	Detalle del contenedor del Minipal, con una muestra adentro	92
Figura 4.6	Detalle de las partes del portamuestras plástico	93
Figura 4.7	Detalle de una muestra preparada para ser analizada en los equipos de fluorescencia de rayos x	93
Figura 4.8	Equipo Niton XL-722S conectado a una computadora mediante una interfase	96
Figura 4.9	Posición de la muestra preparada en la plataforma del Niton	98
Figura 4.10	Posición del equipo sobre la muestra a analizar	98
Figura 4.11	Detalle de una parte del equipo de radiometría	99
Figura 4.12	Detalle de una muestra dentro del cilindro de plomo del espectrómetro gamma	99
Figura 4.13	Detalle del equipo completo de radiometría en el que se observan sus partes interconectadas	100
Figura 5.1-a	Ubicación de las muestras de los pozos A y B en el esquema de clasificación de HERRON (1988)	103
Figura 5.1-b	Ubicación de las muestras de los pozos C y D en el esquema de clasificación de HERRON (1988)	104
Figura 5.2	Histogramas y polígonos de frecuencia químicos de los pozos estudiados	105
Figura 5.3-a	Diagramas de caja de los elementos mayoritarios de los pozos en estudio	119
Figura 5.3-b	Diagramas de caja de elementos traza de los pozos estudiados, exceptuando en Ni	119

Figura 5.4	Diagramas de caja de cada elemento químico en los pozos estudiados	120
Figura 5.5	Histogramas y polígonos de frecuencia radiométricos de los pozos en estudio	124
Figura 5.6	Diagramas de caja de las variables radiométricas de los pozos en estudio	134
Figura 5.7	Diagramas de caja de cada variable radiométrica en los pozos estudiados	135
Figura 5.8	Separación geoquímica de algunos elementos importantes de acuerdo a su potencial iónico	147
Figura 5.9	Perfiles de concentración química vs. muestras de un intervalo del Pozo A, mostrando la tendencia de sus curvas	149
Figura 5.10	Perfiles suavizados de las relaciones elementales del pozo A (promedio móvil 3)	154
Figura 5.11	Perfiles del pozo A con relaciones propuestas por GASSE <i>et al.</i> (1987, en BELLANCA <i>et al.</i> 1995) como indicadoras de salinidad y abundancia biogénica para carbonatos	161
Figura 5.12	Perfiles suavizados de las relaciones elementales del pozo B (promedio móvil 3)	165
Figura 5.13	Perfiles suavizados de las relaciones elementales del pozo C (promedio móvil 3)	178
Figura 5.14	Perfiles suavizados de las relaciones elementales del pozo D (promedio móvil 3)	187
Figura 5.15	Perfiles del pozo D con relaciones propuestas por GASSE <i>et al.</i> (1987, en BELLANCA <i>et al.</i> 1995) como indicadoras de salinidad y abundancia biogénica para carbonatos	192
Figura 5.16	Dendrograma estandarizado del pozo A, mostrando los grupos dados por este y las unidades químico radiométricas definidas	194
Figura 5.17	Dendrograma estandarizado del pozo B, mostrando los grupos dados por este y las unidades químico radiométricas definidas	196
Figura 5.18	Dendrograma estandarizado del pozo C, mostrando los grupos dados por este y las unidades químico radiométricas definidas	198

Figura 5.19	Dendrograma estandarizado del pozo D, mostrando los grupos dados por este y las unidades químico radiométricas definidas	200
Figura 5.20	Representación gráfica de las funciones discriminantes para los tipos litológicos clasificados según HERRON (1988) en el pozo A	202
Figura 5.21	Representación gráfica de las funciones discriminantes para los tipos litológicos clasificados según HERRON (1988) en el pozo B	203
Figura 5.22	Representación gráfica de las funciones discriminantes para los tipos litológicos clasificados según HERRON (1988) en el pozo C	204
Figura 5.23	Representación gráfica de las funciones discriminantes para los tipos litológicos clasificados según HERRON (1988) en el pozo D	206
Figura 5.24	Representación gráfica de los tipos litológicos según HERRON (1988) existentes en todos los pozos en estudio	207
Figura 5.25	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades químico – radiométricas mayores del pozo A	209
Figura 5.26	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades químico – radiométricas mayores del pozo B	210
Figura 5.27	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades químico - radiométricas mayores del pozo C	211
Figura 5.28	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades químico - radiométricas mayores del pozo D	213
Figura 5.29	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo A	214
Figura 5.30	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo B	216
Figura 5.31	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo C	218
Figura 5.32	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo D	220

Figura 5.33	Representación gráfica de las funciones discriminantes para los pozos en estudio en la unidad inferior (1-A + 1-B + 1-D) generadas por todas las variables analizadas (a) y por las variables químicas únicamente (b)	223
Figura 5.34	Representación gráfica de las funciones discriminantes para los pozos en estudio en la unidad intermedia (2-A + 2-B + 2-C + 2-D) generadas por todas las variables analizadas (a) y por las variables químicas únicamente (b)	224
Figura 5.35	Representación gráfica de las funciones discriminantes para los pozos en estudio en la unidad superior (3-A + 3-B + 3-C + 3-D) generadas por todas las variables analizadas (a) y por las variables químicas únicamente (b)	226
Figura 5.36	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades mayores en todos los pozos en estudio generadas por todas las variables (a) y por las variables químicas únicamente (b)	228
Figura 5.37	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades informales del pozo A	230
Figura 5.38	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades informales del pozo B	232
Figura 5.39	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades informales del pozo C	233
Figura 5.40	Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades informales del pozo D	235

ÍNDICE DE TABLAS

	Págs.
Tabla 2.1 Profundidad promedio de los niveles principales en el campo La Concepción	32
Tabla 2.2 Características de la Formación Misoa en la Cuenca de Maracaibo	33
Tabla 3.1 Elementos detectados por el Niton XL-722S de acuerdo a la fuente utilizada	44
Tabla 3.2 Isótopos y sus respectivos niveles de energía (keV)	53
Tabla 3.3 Ventanas y sus límites de energía en keV	54
Tabla 3.4 Composición química promedio de las rocas sedimentarias (en %)	57
Tabla 3.5 Medidas utilizadas en estadística descriptiva para conjuntos de datos	77
Tabla 5.1 Cuadro comparativo de los histogramas y polígonos de frecuencia químicos correspondientes a los pozos en estudio	117
Tabla 5.2 Cuadro comparativo entre los diagramas de caja químicos de los pozos en estudio	122
Tabla 5.3 Cuadro comparativo de los histogramas y polígonos de frecuencia radiométricos correspondientes a los pozos en estudio	133
Tabla 5.4 Cuadro comparativo entre los diagramas de caja radiométricos de los pozos en estudio	137
Tabla 5.5 Coeficientes de correlación (R) de los pozos A y B	139
Tabla 5.6 Coeficientes de correlación (R) de los pozos C y D	143
Tabla 5.7 Cuadro comparativo de los componentes químicos que ayudan a definir las distintas unidades químicas en el pozo A	150
Tabla 5.8 Cuadro comparativo de las relaciones estudiadas en las unidades del pozo A	153
Tabla 5.9 Cuadro comparativo de los componentes químicos que ayudan a definir las distintas unidades químicas en el pozo B	163

Tabla 5.10	Cuadro comparativo de las relaciones químicas en las unidades del pozo B	166
Tabla 5.11	Cuadro comparativo de los componentes químicos que ayudan a definir las distintas unidades químicas en el pozo C	174
Tabla 5.12	Cuadro comparativo de las relaciones químicas en las unidades del pozo C	177
Tabla 5.13	Cuadro comparativo de los componentes químicos que ayudan a definir las distintas unidades químicas en el pozo D	183
Tabla 5.14	Cuadro comparativo de las relaciones químicas en las unidades del pozo D	184
Tabla 5.15	Tabla de clasificación de los tipos litológicos según HERRON (1988) en el pozo A	202
Tabla 5.16	Tabla de clasificación de los tipos litológicos según HERRON (1988) en el pozo B	204
Tabla 5.17	Tabla de clasificación de los tipos litológicos según HERRON (1988) en el pozo C	205
Tabla 5.18	Tabla de clasificación de los tipos litológicos según HERRON (1988) en el pozo D	206
Tabla 5.19	Tabla de clasificación de los tipos litológicos según HERRON (1988) existentes en todos los pozos en estudio	208
Tabla 5.20	Tabla de clasificación de las unidades químico – radiométricas mayores del pozo A	209
Tabla 5.21	Tabla de clasificación de las unidades químico – radiométricas mayores del pozo B	210
Tabla 5.22	Tabla de clasificación de las unidades químico – radiométricas mayores del pozo C	212
Tabla 5.23	Tabla de clasificación de las unidades químico – radiométricas mayores del pozo D	213
Tabla 5.24	Tabla de clasificación de las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo A	215
Tabla 5.25	Tabla de clasificación de las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo B	217
Tabla 5.26	Tabla de clasificación de las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo C	219

Tabla 5.27	Tabla de clasificación de las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo D	221
Tabla 5.28	Tabla de clasificación de los pozos en la unidad inferior (1-A + 1-B + 1-D) utilizando todas las variables analizadas y las variables químicas únicamente	224
Tabla 5.29	Tabla de clasificación de los pozos en la unidad intermedia (2-A + 2-B + 2-C + 2-D) utilizando todas las variables analizadas y las variables químicas únicamente	225
Tabla 5.30	Tabla de clasificación de los pozos en la unidad superior (3-A + 3-B + 3-C + 3-D) utilizando todas las variables analizadas y las variables químicas únicamente	227
Tabla 5.31	Tabla de clasificación de las unidades mayores en todos los pozos utilizando todas las variables y las variables químicas únicamente	229
Tabla 5.32	Tabla de clasificación de las unidades informales del pozo A	231
Tabla 5.33	Tabla de clasificación de las unidades informales del pozo B	232
Tabla 5.34	Tabla de clasificación de las unidades informales del pozo C	234
Tabla 5.35	Tabla de clasificación de las unidades informales del pozo D	235
Tabla 5.36	Tabla resumen de las funciones discriminantes estudiadas en cada pozo y sus respectivos porcentajes de casos correctamente clasificados.....	236
Tabla 5.37	Tabla resumen de las funciones discriminantes generadas para estudiar la correlación de los pozos y sus respectivos porcentajes de casos correctamente clasificados.....	236

LISTA DE APÉNDICES

- I - A** Tabla de datos químicos y radiométricos correspondientes al pozo A
- I - B** Tabla de datos químicos y radiométricos correspondientes al pozo B
- I - C** Tabla de datos químicos y radiométricos correspondientes al pozo C
- I - D** Tabla de datos químicos y radiométricos correspondientes al pozo D
- II - A** Perfiles de elementos químicos mayoritarios y traza del pozo A
- II - B** Perfiles de elementos químicos mayoritarios y traza del pozo B
- II - C** Perfiles de elementos químicos mayoritarios y traza del pozo C
- II - D** Perfiles de elementos químicos mayoritarios y traza del pozo D
- III - A** Perfiles radiométricos suavizados del pozo A (promedio móvil 5)
- III - B** Perfiles radiométricos suavizados del pozo B (promedio móvil 5)
- III - C** Perfiles radiométricos suavizados del pozo C (promedio móvil 5)
- III - D** Perfiles radiométricos suavizados del pozo D (promedio móvil 5)
- IV** Topes de las unidades informales definidas por las empresas
operadoras del campo a partir de los registros gamma – ray; unidades
y sub-unidades químico – radiométricas definidas en este trabajo.
- V** Diagramas de dispersión en función de los tipos litológicos
- VI** Coeficientes no estandarizados de las funciones
discriminantes estudiadas
- VII** Coeficientes críticos de correlación según SNEDECOR (1946)

1. INTRODUCCIÓN

Como parte del proyecto CONICIT (Agenda Petróleo 97-003547) “Caracterización química y radiométrica de secciones estratigráficas como herramienta de correlación geológica” está prevista la realización de trabajos especiales de grado, que resulten en una contribución parcial a los perfiles químicos y de radiactividad gamma de las principales formaciones involucradas en los sistemas petroleros venezolanos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo general

Caracterización química mediante fluorescencia de rayos X por dispersión de energía y radiométrica mediante espectrometría gamma multicanal de muestras de canal de cuatro pozos ubicados en el Campo petrolífero La Concepción, estado Zulia.

1.1.2. Objetivos específicos

- Mediante este trabajo especial de grado se pretende definir unidades químico - radiométricas para cada pozo, a partir de variaciones verticales de los elementos mayoritarios y traza determinados y de las variables radiométricas analizadas.
- Identificar y caracterizar a partir de datos químicos y radiométricos los miembros de la Formación Misoa en el área de estudio.
- Estudiar la factibilidad de correlación de los pozos utilizando como herramienta el análisis químico de elementos mayoritarios y traza y de las variables radiométricas, en muestras de canal.
- Evidenciar cualquier relación química y radiométrica que pudiera existir entre los pozos, realizando procesamientos estadísticos con los datos obtenidos mediante técnicas de estadística univariable y multivariable.

1.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El campo La Concepción está ubicado en la costa occidental del lago de Maracaibo, a 20 Km al suroeste de la Ciudad de Maracaibo, entre los campos petrolíferos La Paz, Mara, Sibucara y Boscán (Fig. 1.1), bajo jurisdicción de los municipios Maracaibo y Jesús Enrique Lossada del estado Zulia, entre las coordenadas geográficas 10° - $10^{\circ}10'N$ y $70^{\circ}25'$ - $70^{\circ}30'W$, comprendiendo un área total de 325 Km^2 aproximadamente. La topografía de la región es monótona y plana con una elevación promedio de 70 m sobre el nivel del mar.

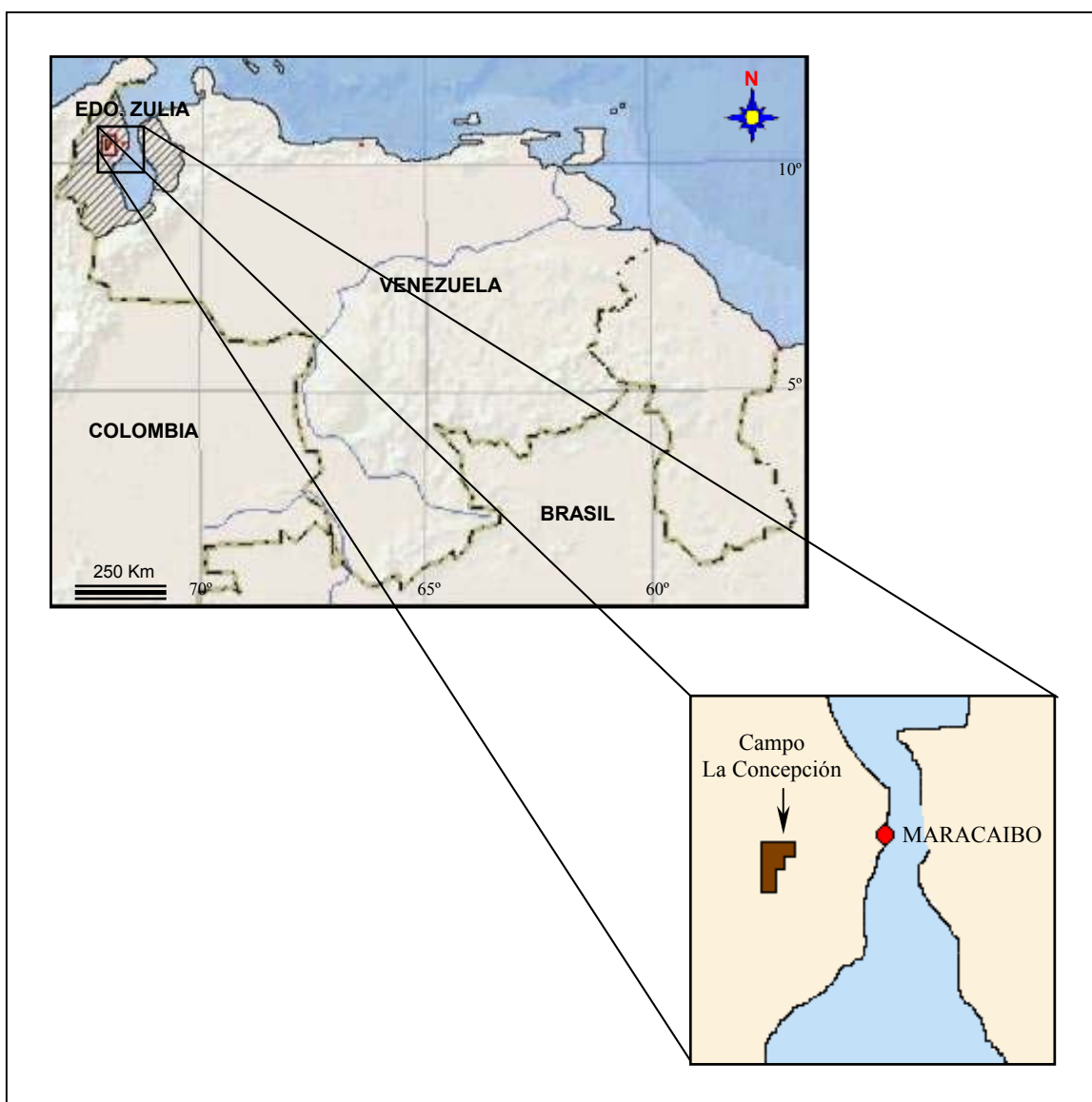


Fig. 1.1. Ubicación del Campo La Concepción.

Se encuentra dividido en 23 bloques geológicos, los cuales están relacionados directamente con la distribución de fluidos en el campo (ÁVILA 1996). Los pozos en estudio se ubican como sigue (Fig. 1.2):

Pozo A: al sur del Bloque 13 - Zamuro Centro

Pozo B: al norte del Bloque 9 – Punta Gorda Sur

Pozo C: al sur del Bloque 8 – Ramillete Centro

Pozo D: al sur del Bloque 17 – Guacharaca Centro

Las muestras analizadas son representativas de intervalos entre 10 y 70 pies (3 y 21 metros respectivamente). Las profundidades máximas de cada pozo son:

Pozo A: 4.325 pies (1.318 m)

Pozo B: 3.800 pies (1.155 m)

Pozo C: 3.160 pies (963 m)

Pozo D: 3.946 pies (1.203 m).

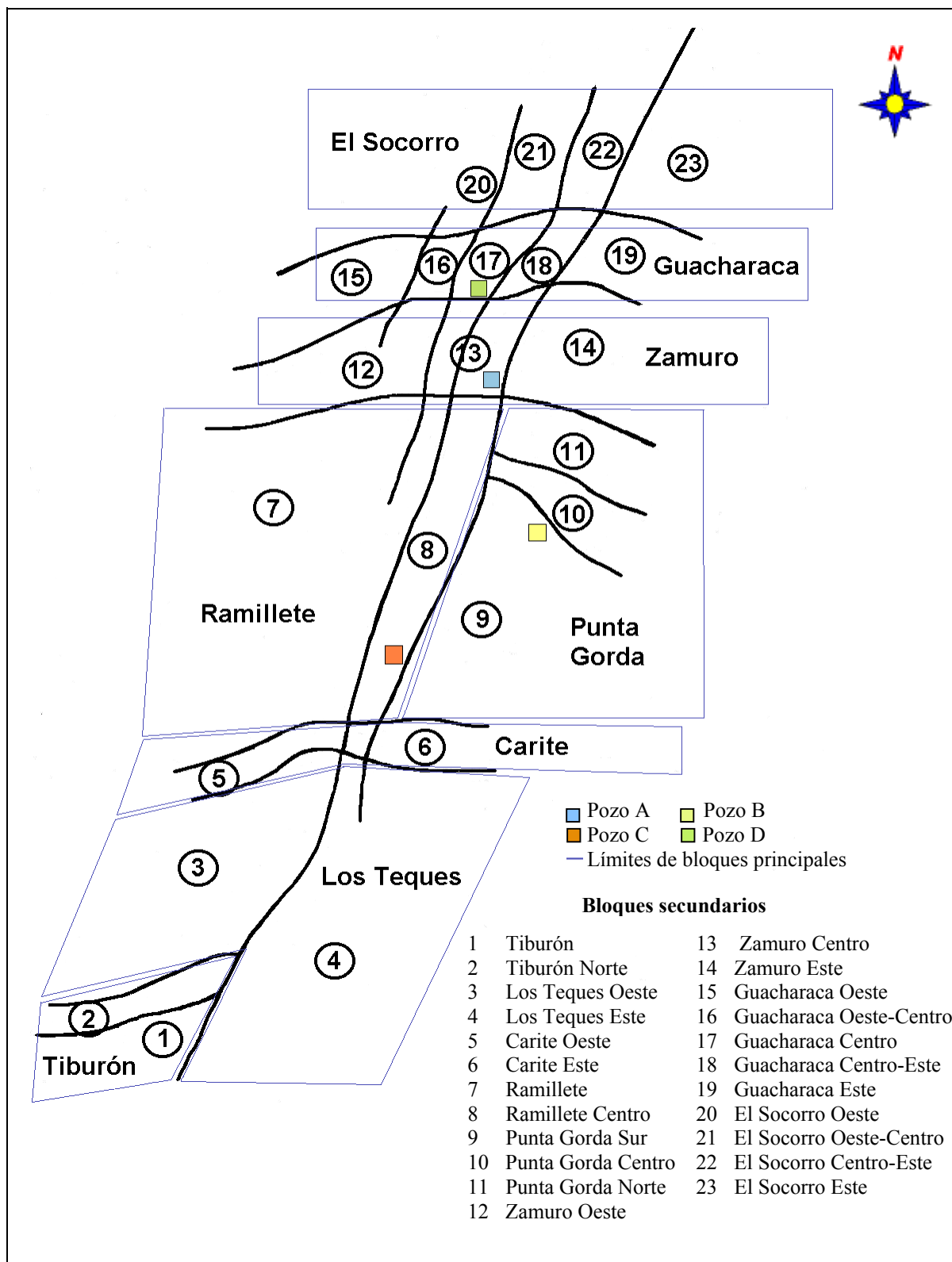


Fig. 1.2. División del campo La Concepción en bloques (principales y secundarios) y ubicación de los pozos en estudio. Tomado y modificado de ÁVILA (1996).

1.3. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos de este Trabajo Especial de Grado

A la ilustre Universidad Central de Venezuela y a su Facultad de Ingeniería, por su inmensa enseñanza.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, en cuyos pasillos y aulas conocí personas maravillosas y encontré mi propio camino.

Al CONICIT proyecto “Agenda Petróleo 97-003547” por el financiamiento de este trabajo.

A mi tutor, Prof. Franco Urbani por ser un gran guía, comprensivo y paciente en esta etapa tan importante de mi vida.

A Raúl Sánchez por su colaboración.

A los ingenieros Herbert Fournier y Luis Camposano, por sus recomendaciones oportunas, amistad y gran colaboración.

A los pasantes del Laboratorio de Difracción y Fluorescencia de Rayos X, Iván Arias e Iván Baritto, por su invaluable participación en la etapa de laboratorio.

A Mariela Noguera, Santiago Yépez, Joseph Cedillo y William Olaya por sus sugerencias y compañerismo.

Agradecimientos Personales

A Dios y a la Virgen, por la vida y por haber puesto en mi camino personas tan especiales como las que nombro a continuación.

A mis padres y hermanos, por ser una parte tan esencial de mi vida, por quererme y apoyarme de maneras tan diversas, por haberme dado ánimo en tantos momentos que flaqueaba. Sencillamente gracias por existir y por ser mi familia. Los quiero muchísimo.

A mis queridos tíos, Migdalia Febres y Athanasio Palamidis, por su inmenso apoyo, cariño y hacer de sus hijos mis hermanos y de su casa la mía. Los quiero muchísimo.

A toda mi gran y linda familia en Maturín, por estar siempre allí.

A mi adorado novio, Jorham Conteras, por estar conmigo en las malas y en las buenas, por tenerme tanta paciencia y por quererme tanto. Te quiero.

A los profesores Alfredo Mederos, Ricardo Alezones, Rafael Falcón, Omar Rojas, Aitor Ichaso y Ramón González por haberme dado grandes enseñanzas, contagiar a sus alumnos con un gran cariño por esta carrera y por ser personas tan especiales.

A mis amigos: María Alejandra Rojas, Diana Velásquez, Jorge Cabrera, Norelis Rodríguez, Luiraima Salazar, Francisco Cheng, Joseph Cedillo, William Olaya, Richard Linares, Eduardo García, Carmen Yegres, Erickson Bermúdez, Jesús Hernández, Pedro Otero, Rafael Ojeda, Javier Barrientos y José Zaragoza, por haber compartido conmigo los agridulces caminos recorridos en mi vida universitaria.

A mis amigas: Verónica Orozco, María Alejandra Araque, Cirainés Carpio e Isabel Navarro, por ser lo que son.

A todos mis profesores y preparadores, por llevarme hoy a obtener el título de ingeniero.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.1. REGIONALES

2.1.1. Generalidades de la Cuenca de Maracaibo

La Cuenca de Maracaibo contiene rocas sedimentarias que van desde el Jurásico hasta el Holoceno, sin embargo la mayor parte de lo que fue la sedimentación ocurrió durante el Cenozoico. Se considera que esta cobertura sedimentaria es de aproximadamente 10 km, la cual descansa sobre el basamento.

Desde el punto de vista sedimentológico, la cuenca presenta una alta complejidad debido a los procesos orogénicos ocurridos durante el tiempo geológico. Estos eventos tienen su origen en los levantamientos de la Serranía de Trujillo en el Paleoceno al Eoceno Temprano-Medio, seguido del levantamiento a lo largo de la Sierra de Perijá del Oligoceno al Mioceno y culminando con la elevación de los Andes de Mérida del Mioceno al Pleistoceno (ROJAS 2000).

Debido a lo antes expuesto la paleogeografía en el occidente de Venezuela es muy compleja, ya que las áreas positivas representaban barreras que afectaban los procesos sedimentarios, siendo esto un factor determinante en la variabilidad de las facies sedimentarias que existen en la Cuenca de Maracaibo.

2.1.2. Estratigrafía Regional

Basamento Paleozoico

El basamento en el Lago de Maracaibo está representado por dos unidades principales en el área de estudio, las rocas metasedimentarias de edad paleozoica de la Formación Mucuchachí con orientación NW-SE a lo largo del Arco de Mérida y la Formación La Quinta que se encuentra rellenando el sistema de grabens jurásicos, que poseen una orientación aproximada N-NE, al oeste de la zona de falla de Icotea (LUGO 1991) (Fig. 2.1).

El Arco de Mérida es un alineamiento ancestral que recorre transversalmente los Andes de Mérida actuales, representado bajo la Cuenca de Maracaibo por rocas sedimentarias de origen pelágico metamorfizadas de la Formación Mucuchachí y sus equivalentes de edad Mississipiense tardío - Pérmico. Según LUGO (1991), su relación estratigráfica es controversial ya que es suprayacente a las rocas sedimentarias ordovícicas no metamorfizadas de la Formación Caparo, por lo que si se consideran correctas las edades de ambas formaciones, el contacto entre estas representa un hiatus de aproximadamente 120 Ma. El contacto superior con la Formación Sabaneta es discordante y marca un cambio abrupto de ambientes sedimentarios, de depósitos marino profundos tipo *flysch* de la Formación Mucuchachí a los depósitos continentales fluviales y aluviales de la Formación Sabaneta de edad Pennsylvaniense-Pérmico (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

Distintos autores (SHAGAM & HARDGRAVES 1970, ARNOLD 1966 en LUGO 1991) consideran que la identificación de fragmentos metamórficos similares a los de la Formación Mucuchachí dentro de los depósitos conglomeráticos de la Formación Sabaneta, podrían indicar un levantamiento de las rocas de Mucuchachí mientras era depositada Sabaneta, por lo que le dan a la Formación Mucuchachí una edad pre-Pennsylvaniense. Para LUGO (1991) esto es evidencia de un emplazamiento tectónico de la Formación Mucuchachí en un tiempo pre-Pennsylvaniense o antes.

Sin embargo, debido a la ubicación del campo La Concepción dentro de la zona occidental de la Cuenca de Maracaibo, la unidad considerada basamento corresponde al Granito de El Palmar de composición granodiorítica, descrito por HEA & WHITMAN (1960 en GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980) como de grano fino y color anaranjado, en algunas zonas y en otras, como a lo largo del río Palmar, de color rosado a gris rosado de grano grueso, cuyas edades calculadas van desde el Paleozoico superior hasta el Triásico. Rocas similares a estas, han sido encontradas en el subsuelo de los campos petrolíferos Mara, El Totumo y La Paz, además de haber sido alcanzadas en el campo La Concepción por algunos pozos ubicados al sur del Bloque 8 – Ramillete centro (ÁVILA 1996).

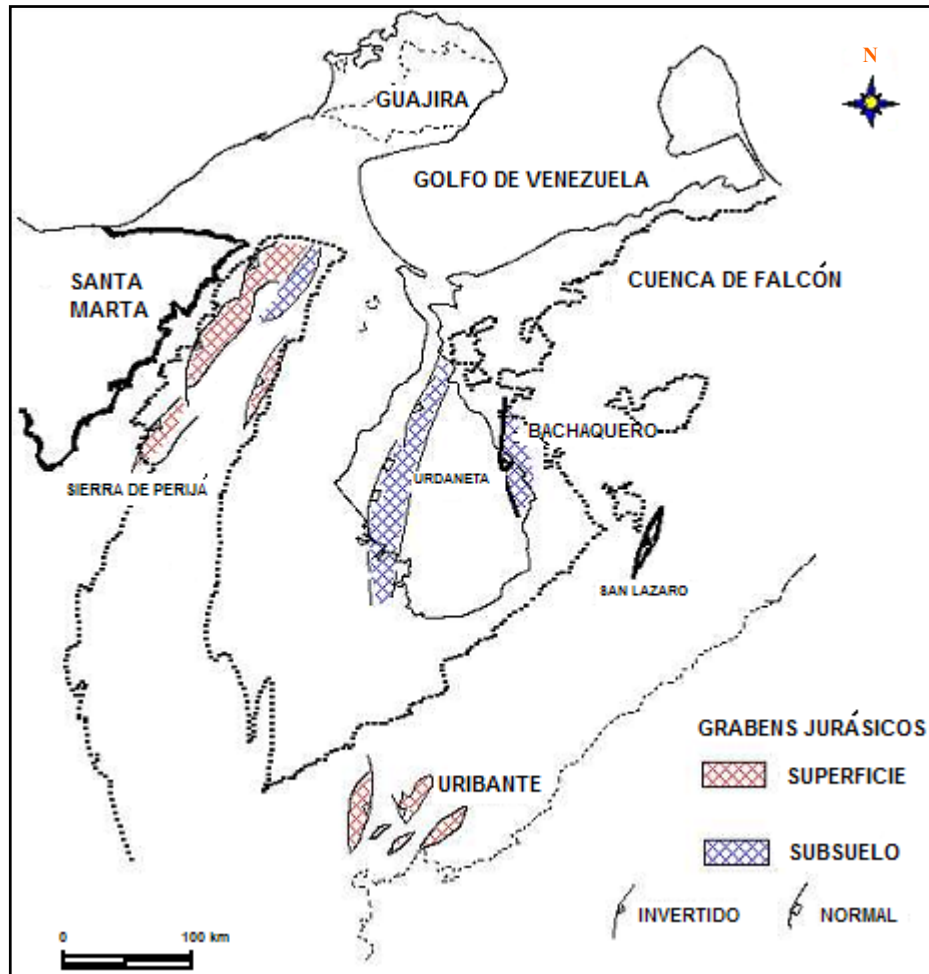


Fig. 2.1. Mapa de distribución de los grabens pre-cretácicos identificados en el occidente de Venezuela. Tomado de AUDEMARD (1991).

Jurásico

El Jurásico en el occidente de Venezuela está caracterizado por la depositación de capas rojas continentales del Grupo La Gé (formaciones Tinacoa, Macoíta y La Quinta), presentándose solamente la Formación La Quinta en las regiones de Los Andes de Mérida, el área del Lago de Maracaibo y Trujillo (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

La Formación La Quinta está representada por una secuencia de carácter clástico como limolitas y areniscas de color rojo ladrillo depositadas en un ambiente continental en el que alternan rocas sedimentarias de ambientes aluviales con depósitos lacustrinos o de agua salobre. Hacia el área de Perijá, el Grupo La Gé se interestratifica con rocas sedimentarias volcánicas, como areniscas piroclásticas (Volcánicas del Totumo) y tobas de composición intermedia (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

Después de la sedimentación de la Formación La Quinta, ocurrieron procesos erosivos que aplanaron las estructuras paleozoicas y mesozoicas en Perijá y el área de los Andes de Mérida, pero remanentes de esta Formación se localizan en fosas que reciben la mayoría de los sedimentos durante el Cretácico Temprano.

Cretácico

En el Cretácico se depositaron sedimentos sobre una plataforma tectónicamente estable y registran una transgresión regional desde el Cretácico Temprano hasta el Paleoceno (LUGO 1991).

En el Barremiense, se acumularon grandes espesores de sedimentos pertenecientes a lo que es la Formación Río Negro, la cual consiste en depósitos gruesos pobremente gradados algunas veces conglomeráticos de ambientes aluviales y fluviales, denominados por algunos autores como conglomerados basales, debido a que dicha Formación representa el inicio del período transgresivo en el occidente del país. El contacto basal de la Formación Río Negro es discordante sobre las rocas de la Formación La Quinta.

El intervalo Albiense-Aptiense está representado por el Grupo Cogollo, el cual comienza con la Formación Apón de edad Albiense, que tiene un espesor promedio de 100 m para el área del Lago de Maracaibo, está constituida por calizas esqueléticas micríticas grises bien estratificadas alternando con limolitas margosas, algunas areniscas y lutitas, depositadas en una plataforma costera externa, la cual indica el primer avance de la transgresión cretácica. Para dicha Formación se interpreta un contacto en su base generalmente abrupto con la Formación Río Negro, aunque aparentemente concordante y ligeramente diacrónico (CIEN 1998).

La segunda transgresión marina de mayor magnitud tiene lugar en el Albiense, invadiendo todo el occidente del país, durante este período se deposita la Formación Lisure de edad Albiense Tardío-Aptiense, está caracterizada por calizas microcristalinas interestratificadas con lutitas calcáreas depositadas en una amplia plataforma externa. Hacia el sur-sureste esta Formación grada a una secuencia clástica de areniscas calcáreas con granos angulares de cuarzo y glauconita con intervalos dolomitizados y secciones de intraclastos de la Formación Aguardiente. Su espesor alcanza los 120 m y su contacto en la base es concordante con la Formación Apón y en el tope es transicional con la Formación Maraca (PARNAUD *et al.* 1998).

La Formación Maraca de edad Albiense tardío - Cenomaniense temprano, en su base consiste de una secuencia de areniscas cuarzosas, capas de carbón que gradan hacia calizas masivas marrones tipo *packstone* interestratificadas con lutitas negras, abundantes oncolitos, algunas oolitas, pellets, granos compuestos que terminan en un biostromo de pelecípodos, que grada hacia las calizas bituminosas de la Formación La Luna suprayacente (CIEN 1998). El contacto superior coincide con la primera aparición de calizas bituminosas negras y laminadas, de la Formación La Luna. En cuanto a la interpretación ambiental, se le atribuyen ambientes lagunales a intermarea en la base, que pasa a marino llano hacia el tope (CIEN 1998).

Seguidamente la transgresión cretácica tuvo un fuerte pulso durante el Cenomaniense-Santoniense, específicamente en el Turoniense, donde se encuentra el pico de la máxima

transgresión marina, ya que la Formación La Luna se extiende mucho más hacia el sur en el occidente del país durante este período.

La Formación La Luna es la roca madre de petróleo de mayor importancia en la Cuenca de Maracaibo, consiste típicamente de calizas y lutitas calcáreas fétidas, con abundante materia orgánica laminada, delgadamente estratificadas, de color gris oscuro a negro, esto se debe a que esta Formación se depositó en un ambiente euxínico, cuyas profundidades según BOESI *et al.* (1988) van desde 100 m en el Turoniense hasta aproximadamente 800 m en el Campaniense. Esta Formación en general, suprayace concordantemente a la Formación Maraca e infrayace también concordantemente a la Formación Colón (CIEN 1998).

Posterior a todos los eventos transgresivos mencionados, durante el Barremiense-Santoniense, comienza un pulso regresivo y simultáneamente hacia el noroeste se da una colisión del arco de islas volcánico, el cual forma una cuenca tipo *foreland*, en donde se depositan las facies lutíticas de la Formación Colón de edad Campaniense-Maastrichtiense (PARNAUD *et al.* 1998). Esta Formación está constituida en su base por el Miembro Socuy, la cual consta de 40 m de caliza margosa de colores claros con intercalaciones muy escasas de lutitas, suprayacente a este se encuentra una gruesa secuencia de lutitas microfósilíferas gris oscuro a negras, macizas, piríticas y ocasionalmente micáceas o glauconíticas, con margas y capas de caliza subordinada. Las lutitas son más arenosas hacia la base y hacia la parte superior, donde cambia transicionalmente a la Formación Mito Juan (CIEN 1998).

La Formación Mito Juan de edad Maastrichtiense, depositada principalmente en ambiente litoral, está constituida por arcillas grises, verdosas y negras, localmente arenosas, en las cuales el contenido de limo y arena aumenta en sentido ascendente y en cuya parte superior se encuentran a veces capas delgadas de calizas y areniscas (CIEN 1998). Esta unidad representa el estado final de la caída relativa del nivel del mar, durante el Cretácico Tardío (LUGO 1991, en CARDOZO 1996).

Durante el Cretácico Tardío se dan altas tasas de subsidencia, LUGO (1991) considera que si se asume que las litologías lutíticas, como la Formación Colón, son producto de tasas de sedimentación lentas, entonces la principal causa deben ser atribuidas a subsidencia tectónica durante un episodio extensional renovado.

Paleoceno

La Formación Guasare, indica la subida relativa del nivel del mar con depósitos de calizas generalmente glauconíticas intercaladas con areniscas y lutitas localmente glauconíticas o carbonáticas (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980). La Formación Guasare representa una sedimentación de plataforma, desarrollada en la porción central de la Cuenca de Maracaibo durante el Paleoceno. Su litología y contenido fosilífero corresponden a un ambiente marino nerítico, el cual estuvo sujeto a influencias de tipo deltaico (CIEN 1998).

En la zona occidental del Lago de Maracaibo, suprayacente a la Formación Guasare se presenta la Formación Marcelina, descrita por HEDBERG & SASS (1937 en GONZÁLEZ DE JUANA 1980) para la zona noroeste del Distrito Mara como areniscas macizas, variablemente calcáreas, de color gris claro interlaminadas con lutitas grises oscuras y con numerosas capas de carbón sub-bituminoso y bituminoso. Esta secuencia representa un ambiente de depositación paludal.

El emplazamiento de las napas de Lara comienza al norte de la Cuenca de Maracaibo a finales del Paleoceno, las cuales se desplazan gradualmente hacia el este, formando nuevas cuencas tipo *foreland*, una de ellas de orientación N20°W, paralela al margen noreste del Lago de Maracaibo y otras orientadas aproximadamente este-oeste frente a las napas. Esta deformación flexural se refleja en una serie de ciclos transgresivos y regresivos del Eoceno (PARNAUD *et al.* 1995) (Fig. 2.2).

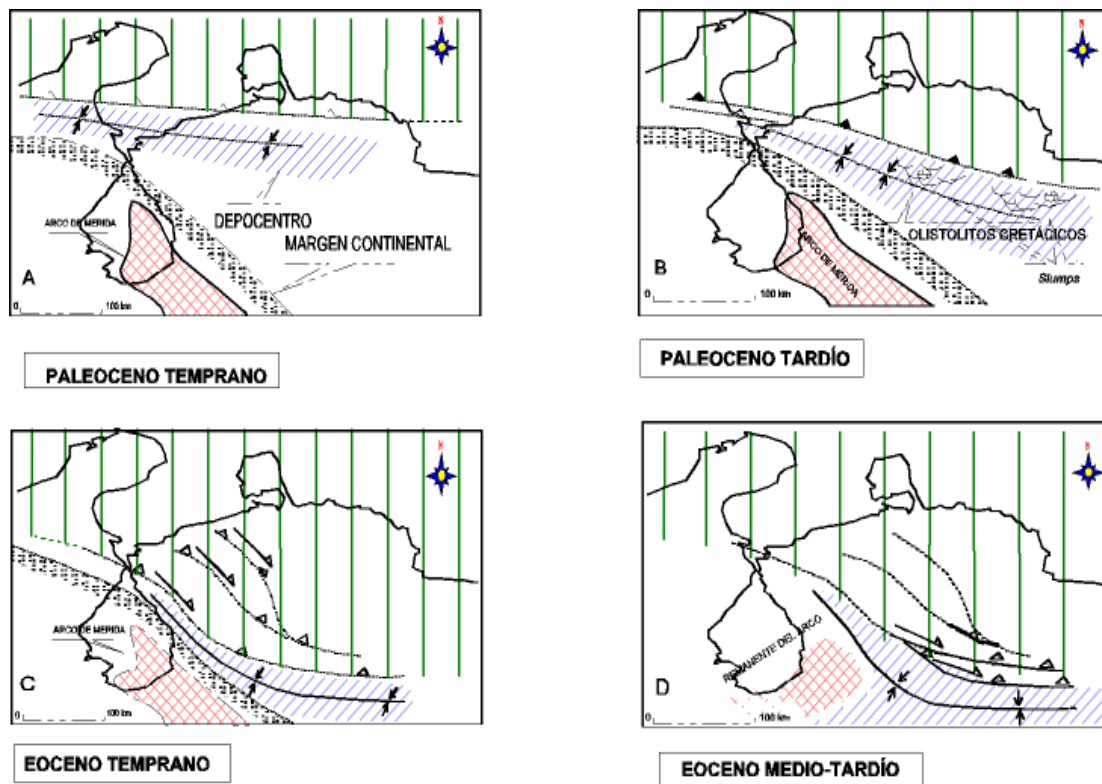


Fig. 2.2. Modelo esquemático secuencial desde el Paleoceno Temprano hasta el Eoceno Medio que muestra el desplazamiento de los cinturones de corrimiento. Tomado de LUGO (1991).

Eoceno-Oligoceno

La estratigrafía del Eoceno en la Cuenca de Maracaibo es difícil de calibrar debido a la falta de control paleontológico y los cambios de las facies sedimentarias, las cuales varían de ambientes marinos abiertos a condiciones sedimentarias más restringidas y continentales (ROJAS 2000).

Para el período Eoceno temprano – medio, PARNAUD *et al.* (1995) reconoce dos ambientes de sedimentación distintos para esta zona: para el sureste y suroeste de la Cuenca de Maracaibo una depositación de sedimentos continentales de la Formación Mirador y una zona de plataforma interna a costera que ocurre en la parte central de la cuenca y se refleja en areniscas y lutitas de la Formación Misoa.

La sedimentación de la Formación Misoa en la Cuenca de Maracaibo se extiende hasta finales del Eoceno Medio y será descrita con mayor detalle posteriormente (ver Capítulo 2.1.3. Formación Misoa, Pág. 18).

La Formación Mirador consiste en areniscas de grano fino a medio, intercaladas hacia el tope con lutitas y delgadas capas de carbón, depositadas en un ambiente fluvial durante el Eoceno medio y tardío (CIEN 1998), y se considera equivalente lateral de la Formación Misoa hacia el área de Perijá (Fig. 2.3).

Hacia finales del Eoceno cambia el área entera, presentando relieve positivo al este y noreste que separa la sedimentación continental de la Cuenca de Maracaibo, de una cuenca marina localizada en Falcón. El levantamiento al oeste y sur de la Sierra de Perijá y de la Cordillera Oriental Colombiana alimentan un sistema depositacional fluviodeltaico. Los sedimentos marinos fueron depositados en la parte oriental de la cuenca, la cual estaba abierta hacia el mar. La base de esta secuencia corresponde sísmicamente a una discordancia que representa la erosión del Eoceno desde el oeste al este y erosión del Paleoceno en la sección sur de la Cuenca de Maracaibo (PARNAUD *et al.* 1998). Al final del Eoceno se depositaron conglomerados litorales, arenas parálicas y lignitos (VAN ANDEL 1958 en CARDOZO 1996). Luego permaneció expuesta la cuenca durante el Oligoceno, erosionando intensamente esta zona, con condiciones de meteorización extrema y acción eólica que resultaron en rellenos esporádicos de depresiones (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

Según PARNAUD *et al.* (1995) la circulación marina continúa en la Cuenca Barinas-Apure y se extiende hasta la Cuenca de Maracaibo entre finales del Oligoceno tardío y el Mioceno temprano.

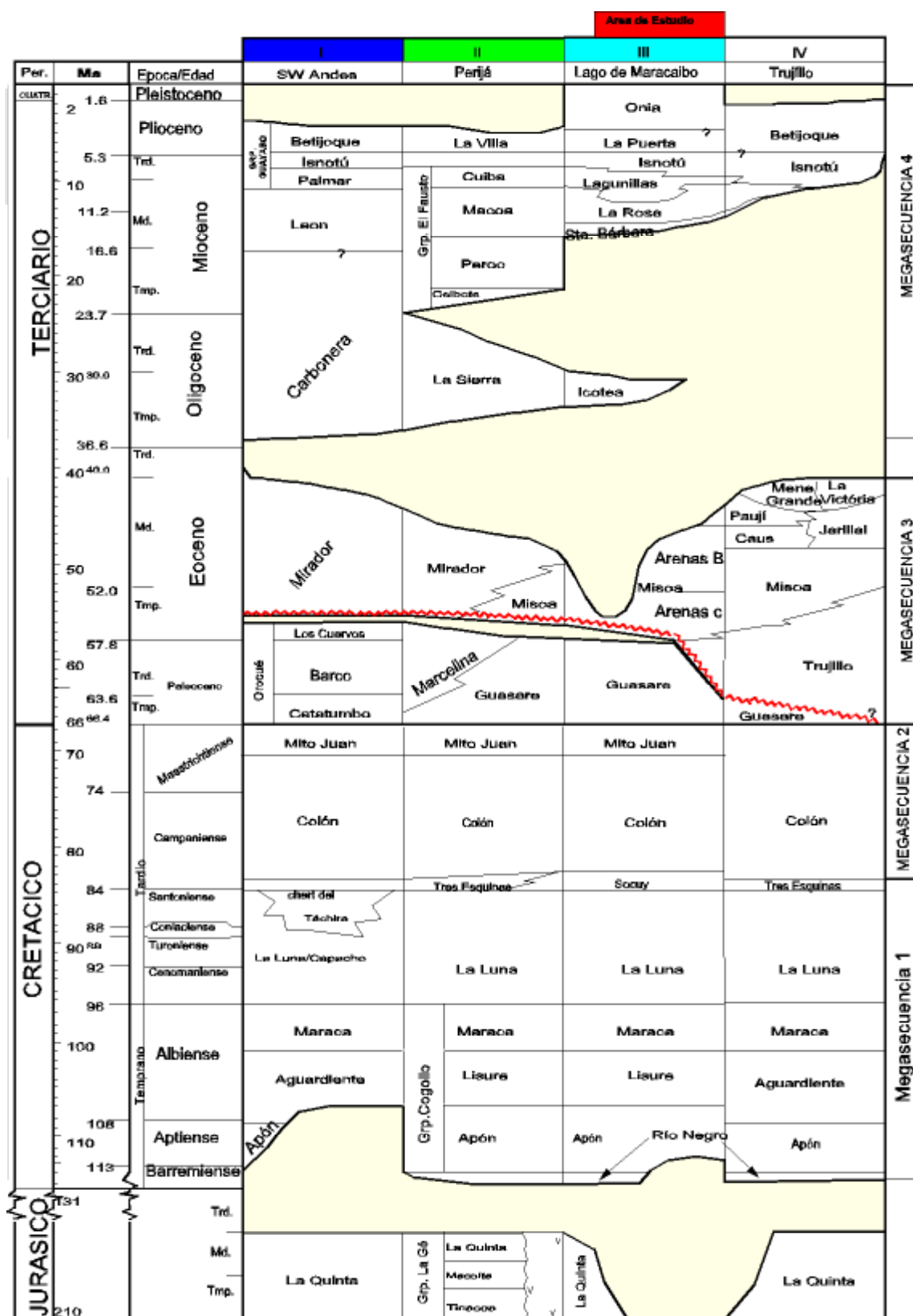


Fig. 2.3. Cuadro de correlación estratigráfica del occidente de Venezuela desde el Jurásico al Reciente. Tomado de LUGO (1991).

Oligoceno- Mioceno

La Formación Icotea de edad Oligoceno consiste en limolitas y arcilitas, ocasionalmente carbonáticas. Aunque se presenta de manera muy esporádica en el subsuelo del Lago de Maracaibo, se han reportado capas ocasionales de lutitas y areniscas, siendo frecuentes las esferulitas de siderita. SUTTON (1946 en CIEN 1998) postula la posibilidad de que estos sean depósitos eólicos en las zonas remanentes de la superficie de la discordancia del Eoceno. El color blanquecino y la presencia de las esferulitas de siderita, indican condiciones reductoras (HAAS & HUBMAN 1937).

Según HEDBERG & SASS (1937 en GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980) existe una equivalencia lateral de la Formación Icotea con la parte inferior del Grupo Fausto, constituida por las areniscas feldespáticas macizas y mal escogidas de la Formación Ceibote y lutitas abigarradas, asociadas esporádicamente a lignito, siendo esta secuencia correspondiente a ambientes continentales.

Mioceno-Holoceno

Durante el Mioceno Medio persiste la sedimentación marina en la Cuenca de Maracaibo, pero cambia gradualmente a una paleogeografía de agua dulce, mientras el ambiente marino se retira hacia el norte (PARNAUD *et al.* 1998). Una nueva fase transgresiva se inicia en el Mioceno medio, cubriendo de un mar poco profundo la mayor parte de la Cuenca de Maracaibo, depositando la Formación La Rosa (CIEN 1998), que consiste esencialmente de lutitas verdosas, fosilíferas, intercaladas con areniscas (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

La Formación La Villa ha sido descrita como arcilitas, limolitas y areniscas no consolidadas, aunque en algunos lugares presenta cementación secundaria de óxidos de hierro, de color pálido, pudiendo presentar localmente abigarramiento. Para esta Formación se estiman en el subsuelo unos 1350 metros de espesor y una edad de Mioceno medio a tardío, su contacto superior es discordante con la Formación El Milagro (CIEN 1998).

La Formación El Milagro, está constituida por areniscas friables y arenas no consolidadas, de color gris a crema amarillento, de grano fino a conglomeráticas

interestratificadas con estratos duros de arcilita ferruginosa resistente a la erosión. SUTTON (1946 en CIEN 1998) considera a esta Formación discordante sobre todas las unidades más antiguas y según GRAF (199 en GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980) se deposita sobre un amplio plano costanero y de poco relieve, como sedimentos fluviales y paludales sometidos a meteorización y anegamiento como mínimo tres veces durante el Cuaternario. El tope de la Formación El Milagro aflora o se encuentra cubierta por espesores delgados de suelo y aluvión reciente (CIEN 1998).

2.1.3. Formación Misoa

Según GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) la Formación Misoa constituye el intervalo más extenso y de mayor significación en la Cuenca de Maracaibo. Se puede definir como una sección de areniscas cuarcíticas de color gris claro en capas compuestas potentes, con intercalaciones de lutitas laminadas micáceas y carbonosas.

En general las areniscas de la Formación Misoa son grises blanquecinas o amarillentas a pardo oscuras, de grano fino que pasan gradualmente a limolitas y ocasionalmente de grano medio a grueso, angulares o subangulares. En su mayoría son duras, puras o arcillosas, bien cementadas y con inclusiones de material carbonáceo y minerales pesados (principalmente pirita, marcasita y magnetita) como accesorios (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

Según estos mismos autores las lutitas son de color gris oscuro a pardo, algunas veces verdoso o azulado, casi siempre micáceas, limo-arenosas, con abundante capas delgadas o láminas de material carbonoso, que les imparte una apariencia laminada distintiva. Localmente presentan concreciones de arcilita y ferrolita arcillosa, algunas veces calcáreas. Se presentan como intercalaciones de menor importancia dentro de las areniscas o como sucesiones gruesas y muy gruesas, de hasta varios centenares de metros entre los complejos arenosos. Mientras que las calizas que se presentan en la parte inferior de la formación son grises a azul grisáceo, generalmente bioclásticas con macroforaminíferos algas y fragmentos de gasterópodos y lamelibranquios, de uno a varios metros de espesor. No se encuentran en toda la extensión de la formación y reciben nombres locales por ser lenticulares, representan facies marinas someras.

Según VAN VEEN (1972) la Formación Misoa se depositó como parte de un enorme complejo fluvio-deltaico, con una fuente de sedimentos al sur o suroeste, de tamaño comparable al del actual río Mississippi. Aumenta gradualmente de espesor de sur a norte en la cuenca, simultáneamente con una disminución en el porcentaje de areniscas y en el tamaño promedio de grano.

Se reconocen varias etapas de avance del delta separadas por sedimentos lutíticos marinos de aguas someras, definidas por VAN VEEN (1972) como llanuras deltaicas, canales distributivos y frente del delta, a partir del estudio minucioso de las distintas secuencias de areniscas que esta Formación presenta. La influencia marina, restringida a delgados intervalos del centro-sur del Lago, aumenta su importancia hacia la zona centro-norte del mismo.

En general, la Formación Misoa es una secuencia transgresiva con sedimentos de planicie deltaica caracterizados por el desplazamiento de canales principales y afluentes y el movimiento de barras litorales al variar la profundidad, que presentan marcadas diferencias en las sucesivas fases de construcción del delta (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

Los distintos intervalos en los que se divide la Formación Misoa (ver Capítulo 2.2.2.2 Unidades Informales, Pág. 32) tienen su respectiva interpretación de ambiente de sedimentación y son descritos en el Capítulo 2.2.2.3.

2.1.4. Evolución tectónica de la Cuenca de Maracaibo

Tectonismo a escala 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 & SCOTese 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 Sudamérica y el activo límite de placa de movimiento lateral dextral presente a lo largo de la costa caribeña de Sudamérica, se traza un complicado límite de placas. La Cuenca de Maracaibo está localizada dentro de una amplia zona de deformación activa definida por la topografía como cuatro cadenas principales del norte de las montañas de Los Andes, 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 sinistral de Santa Marta-Bucaramanga (LUGO & MANN 1995) (Fig. 2.4).

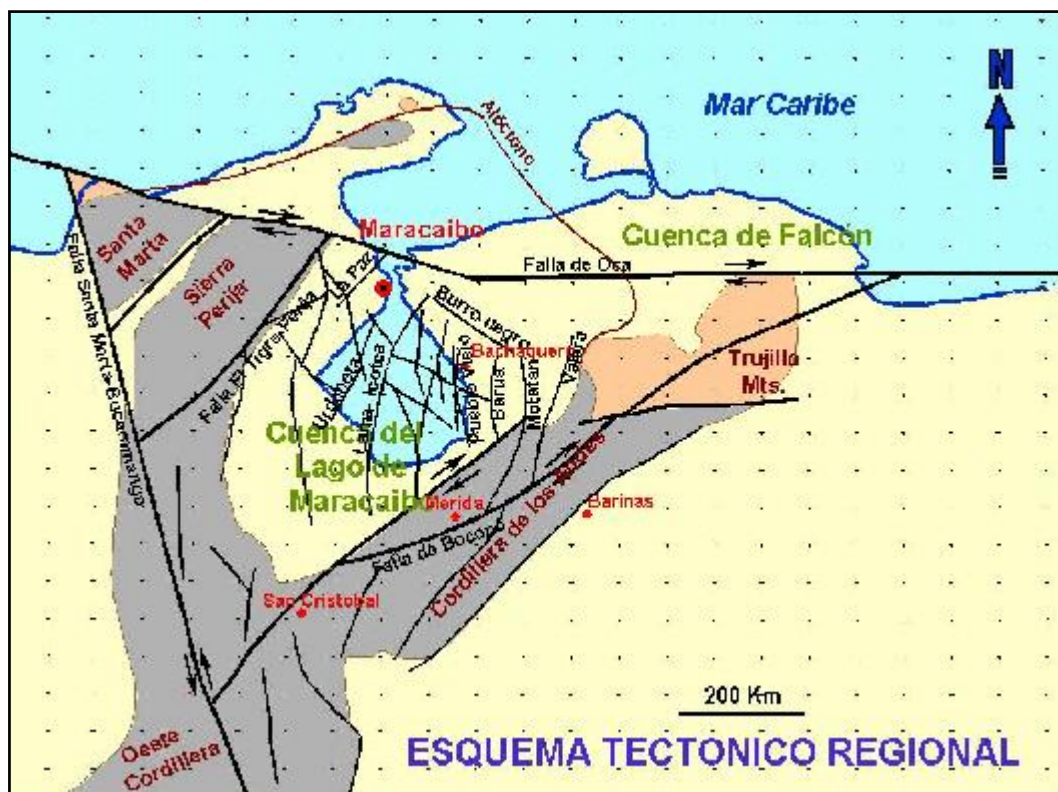


Fig. 2.4. Esquema tectónico regional de la Cuenca del Lago de Maracaibo. Tomado del Archivo Digital U.E. Barúa – Motatán.

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 Reciente.

A continuación serán 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 Reciente.

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-SSW (asociados al período de *rifting*), como consecuencia de este evento se reduce la depositación de sedimentos de la Formación La Quinta y posteriormente los sedimentos continentales de la Formación Río Negro en el Cretácico Temprano (Fig. 2.5). 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-SSW actuaron como límites entre los bloques tectónicos (LUGO 1991).

Cretácico

Durante el Cretácico Temprano, según LUGO (1991), la cuenca experimenta una subsidencia tectónica 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 Sudamérica.

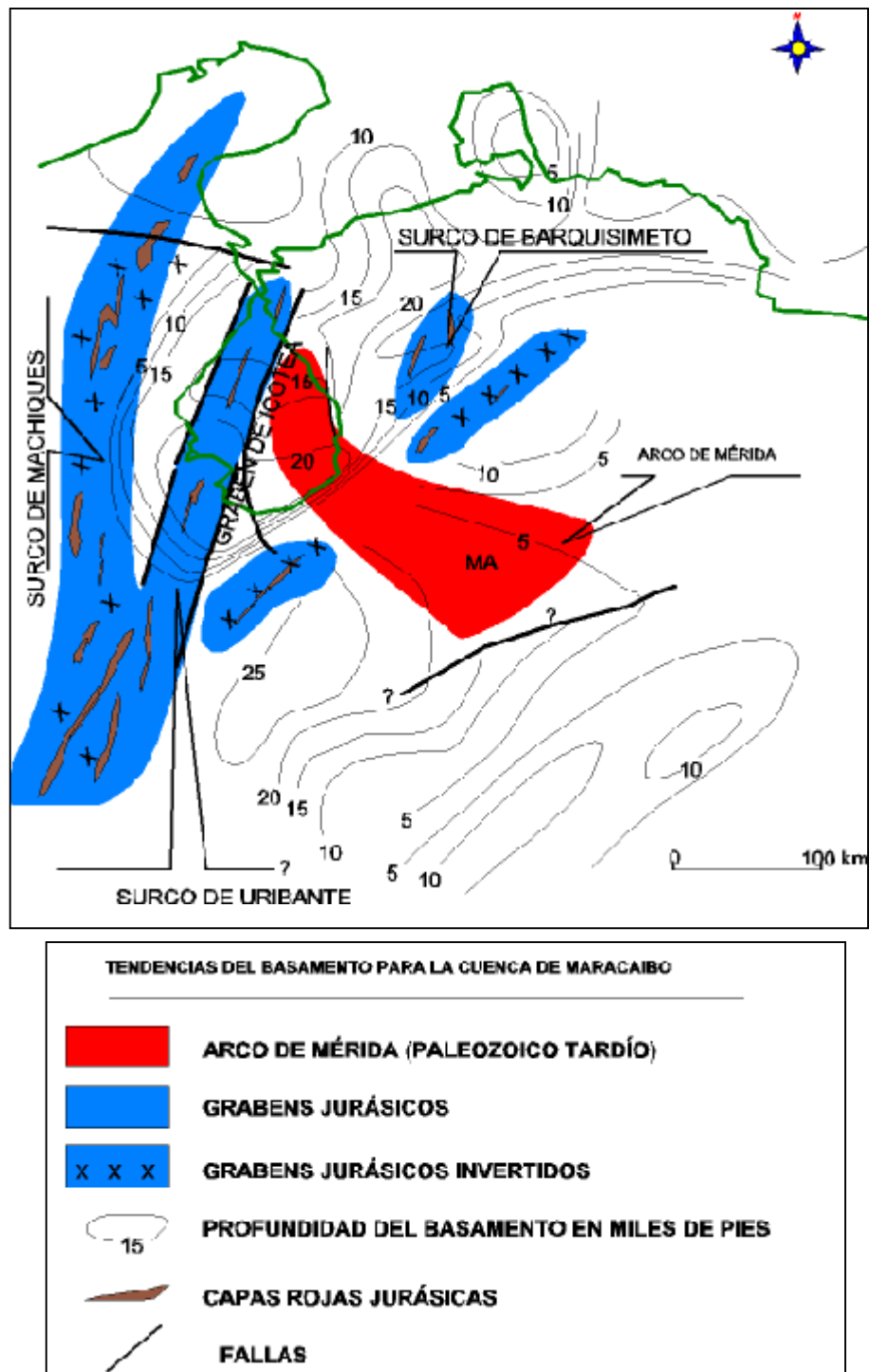


Fig. 2.5. Tendencias del basamento Paleozoico y Jurásico para el noroeste de Venezuela. Tomado de LUGO (1991).

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 Sudamérica, 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 (Fig. 2.6):

- a- Desarrollo de una cuenca *flysch* de orientación NW-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.
- b- Migración de la cuenca *foreland* hacia el suroeste, ubicándose sobre la zona de “cuello de botella” del actual Lago de Maracaibo.
- c- 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.
- d- Estabilidad en la parte norte del lago en el Mioceno tardío, progradando las primeras molasas hacia el suroeste.
- e- 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.

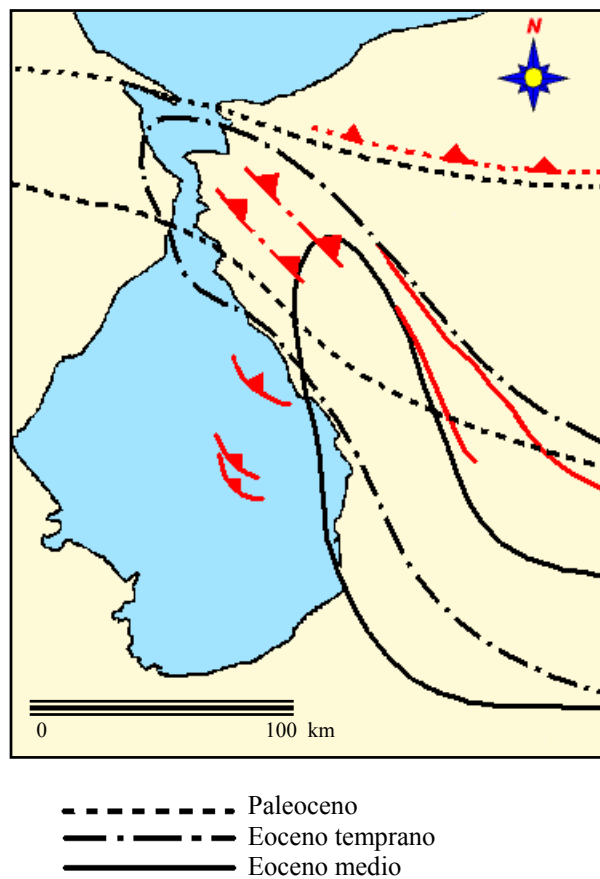


Fig. 2.6. Patrón de migración de las cuencas de las cuencas *foreland* desde el Paleoceno hasta el Eoceno medio. Se muestra el cinturón plegado asociado. Tomado de LUGO (1991).

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* NW-SE y estructuras compresionales *en echelon* NE-SW.

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. Según 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.

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.

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-W 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 figura 2.7 resume según LUGO (1991) la evolución tectónica de la Cuenca del Lago de Maracaibo, mostrando los seis episodios tectonoestratigráficos que reconoce en su trabajo.

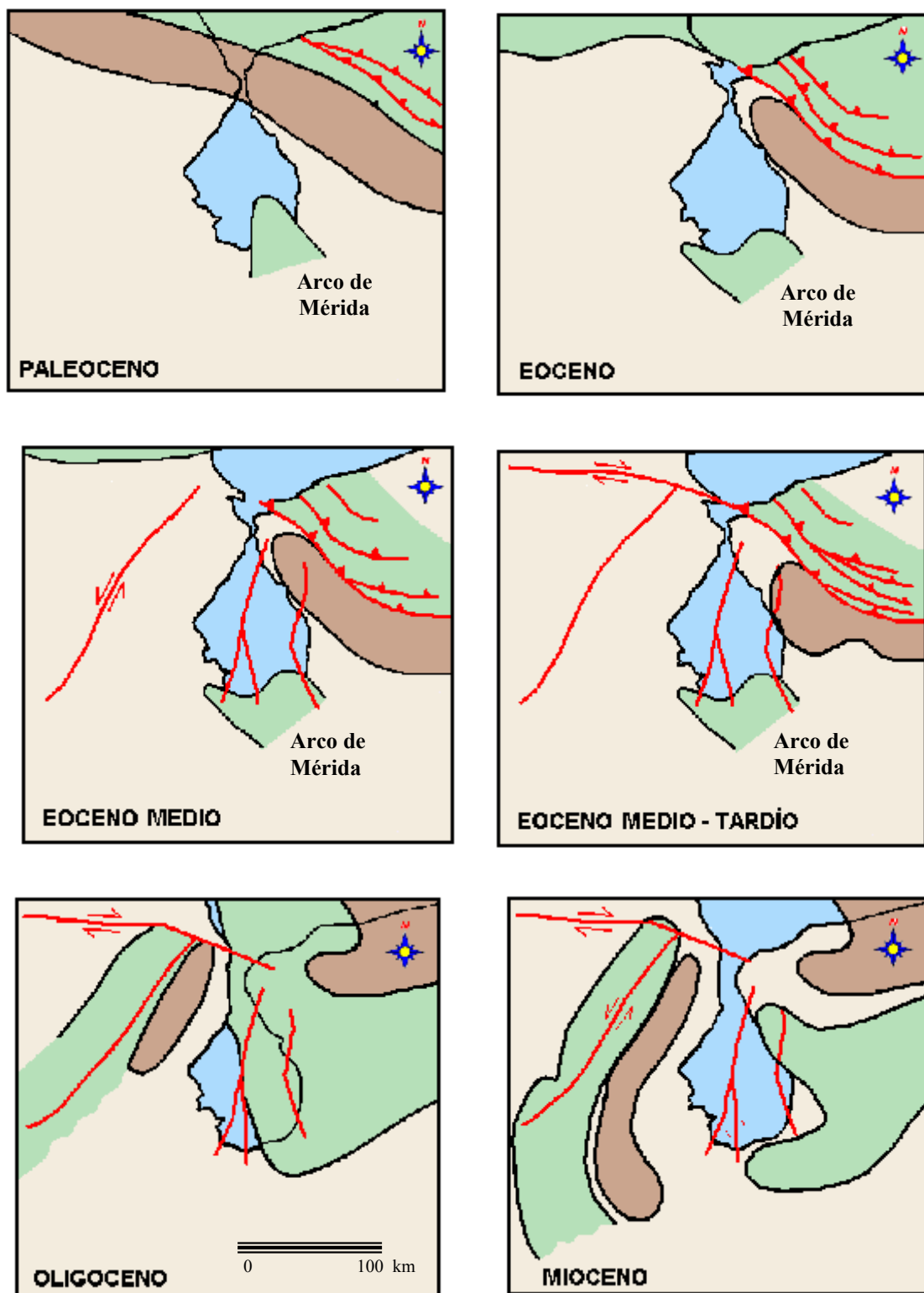


Fig. 2.7. Evolución tectónica de la Cuenca del Lago de Maracaibo.
Tomado de LUGO (1991).

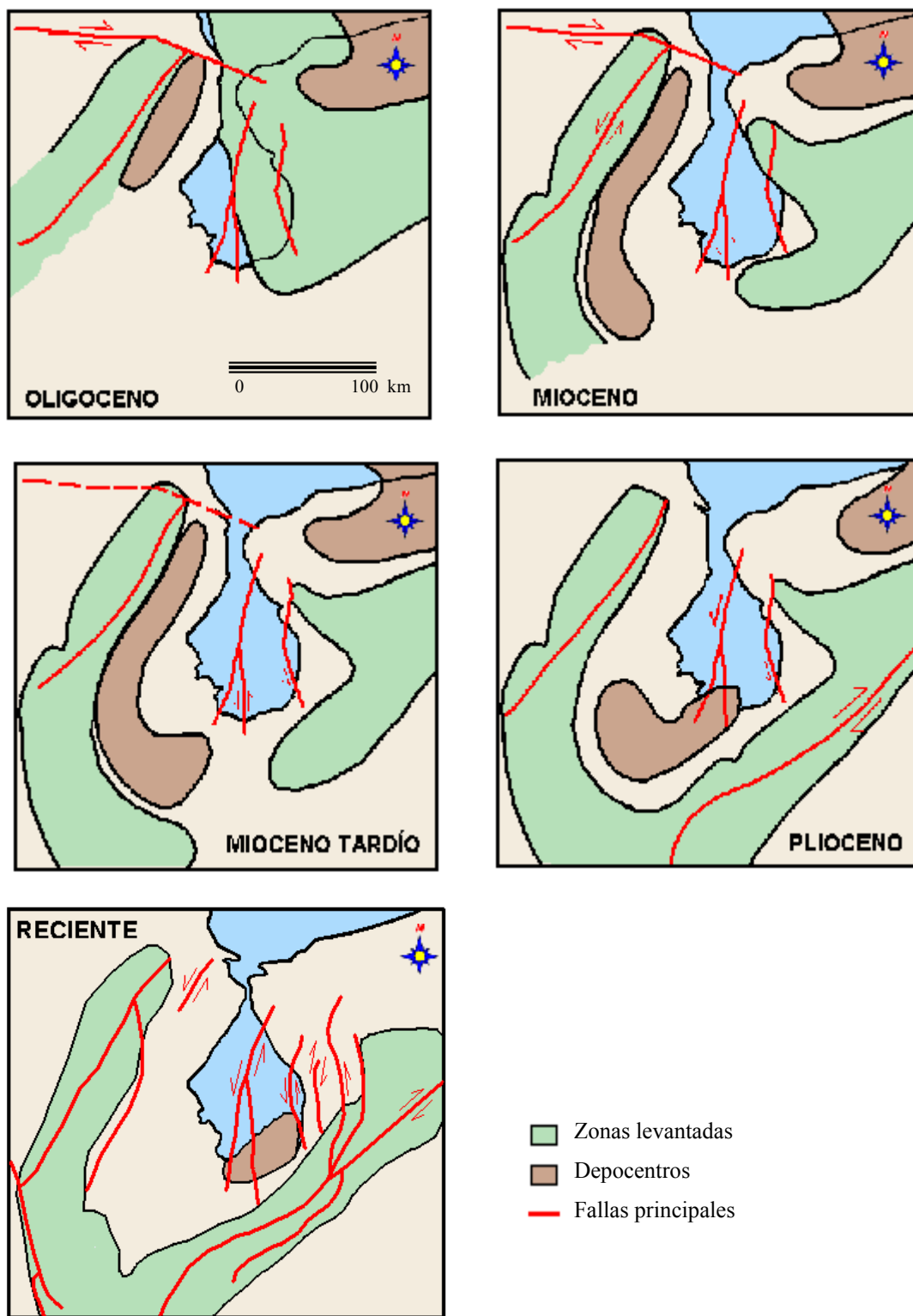


Fig. 2.7. (Continuación).

2.1.5. Estructura de la Cuenca de Maracaibo

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).

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 (subparalelo al campo La Concepción), la falla de Icotea y la falla de Pueblo Viejo, entre otras (Fig. 2.8). 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 esta, 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 esta, 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 la formación 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).



Fig. 2.8. Orientación del alineamiento La Paz – Mara – El Moján y de las fallas de Icotea y Pueblo Viejo entre otras. Tomado y modificado de LUGO (1991).

2.2. ASPECTOS GEOLÓGICOS LOCALES

2.2.1. Generalidades

En el campo petrolífero La Concepción se descubrió petróleo en el año de 1924 cuando la Venezuelan Oil Concessions (Shell) perforó el pozo C-1, localizado mediante geología de superficie, comenzando su producción en formaciones eocenas en el año de 1938. Las formaciones cretácicas iniciaron su producción en el año de 1948 (ÁVILA 1996).

La mayor parte del crudo eoceno oscila entre 27° y 38° API con un porcentaje de agua de 5,5% y 6,3%, mientras que el proveniente de yacimientos cretácicos tiene alta gravedad de petróleos livianos (CIEN 1998).

El Eoceno del campo La Concepción, tal como se interpreta en estudios integrados realizados por la industria petrolera, es compatible con áreas vecinas y cumple con el modelo geológico regional establecido para la Cuenca de Maracaibo.

Según EGEP CONSULTORES (1988) el patrón de fallas en el campo, elaborado a partir de interpretación registros eléctricos y de estructura, apoyados por cálculos de ingeniería de yacimientos, permite identificar 23 bloques independientes, que presentan la mayoría de los intervalos de interés principalmente económico. Cada uno de estos bloques ha sido enumerado, ubicado e identificado en la figura 1.2.

El desarrollo de perforación en el campo La Concepción ha dividido a este en tres reservorios. El primero, La Concepción Norte, ubicado dentro de los límites estructurales principales. Los otros dos, reservorio La Concepción Sur y C-155, se ubican respectivamente al suroeste y sur-suroeste de la estructura principal.

El área objeto del presente trabajo corresponde a La Concepción Norte, en donde se ubican físicamente los pozos en estudio.

2.2.2. Estratigrafía

2.2.2.1. Unidades formales

Aún cuando en el capítulo de estratigrafía regional ya han sido descritas las formaciones presentes en el subsuelo de la Cuenca de Maracaibo, a continuación se describe brevemente la estratigrafía local del subsuelo del campo La Concepción, específicamente para la zona donde se ubican los pozos en estudio:

Cretácico

El basamento del campo lo constituye el Granito El Palmar, de composición granodiorítica, el cual ha sido alcanzado por algunos pozos del Campo. Sobre él descansan las unidades correspondientes al Cretácico.

El inicio de la sedimentación en este período está representado por los clásticos basales de la Formación Río Negro, posteriormente comienza la sedimentación carbonática del Grupo Cogollo, constituido por las formaciones Apón, Lisure y Maraca, siendo este su orden de depositación.

Superpuestas al Grupo Cogollo se encuentran las calizas de la Formación la Luna y el final de la sedimentación cretácica está representado por las lutitas de la Formación Colón, con su miembro basal Socuy y parcialmente la Formación Mito Juan. Las formaciones Colón y Mito Juan constituyen un sello a los yacimientos de hidrocarburos infrayacentes.

Paleoceno

Continúa la sedimentación de grano fino (arenisca y lutita) de la Formación Mito Juan, seguidamente se encuentran las calizas fosilíferas intercaladas con areniscas localmente glauconíticas o carbonáceas de la Formación Guasare.

Eoceno

Sobre los estratos del Paleoceno se sedimentaron los clásticos del Eoceno, representados por la Formación Misoa, representada en el campo La Concepción por una secuencia

monótona interestratificada de lutitas grises con areniscas lenticulares. Esta formación presenta en el campo un espesor aproximado de casi 2.000 m (6.500 pies), pero los pozos en estudio sólo la penetraron parcialmente hasta una profundidad máxima de 1.410 m (apéndice IV).

La tabla 2.1 indica las profundidades promedio de los niveles antes mencionados en el campo La Concepción en general.

Tabla 2.1. Profundidad promedio de los niveles principales en el campo La Concepción.
Tomado de CONSORCIO PEREZ COMPANC S.A-WILLIAMS (1999).

Niveles principales	Profundidad			
	Mínima		Máxima	
	metros	pies	metros	pies
Tope Eoceno	150	500	460	1.500
Base Eoceno – Tope Paleoceno	1.860	6.100	3.050	10.000
Tope Cretácico	2.900	9.500	3.660	12.000
Base Cretácico – Tope Basamento	3.450	11.300	4.210	13.800

El tope de la Formación Misoa, específicamente en el área en que se ubican los pozos en estudio, aflora y está parcialmente erosionado por lo que no se incluyen las formaciones post-eocenas en esta breve descripción, aunque estas se presenten en otras zonas del campo.

Es importante mencionar que la Formación Misoa en la bibliografía es dividida en dos unidades informales (Misoa “B” y “C” o Arenas “B” y “C”), pero en este trabajo se consideran unidades informales a los diversos miembros definidos por la industria petrolera principalmente, con los respectivos nombres dados a estos en múltiples estudios.

Las unidades Misoa o Arenas “B” y “C”, a su vez están divididas en intervalos menores de acuerdo a su posición litoestratigráfica, según WALTON (1967 en GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980), estas unidades no son verdaderamente unidades cronoestratigráficas y muchas veces tampoco litoestratigráficas, pero representan cambios distintivos de la litología en sí, en el carácter del registro eléctrico y en horizontes guías del mismo registro.

ZAMBRANO *et al.* (1971) presentan un cuadro generalizado que resume las principales diferencias que presentan estos intervalos (Tabla 2.2)

Tabla 2.2. Características de la Formación Misoa en la Cuenca de Maracaibo.
Según ZAMBRANO *et al.* (1971). Tomado de GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980).

Misoa“B”	Unidad Superior (de B-1 a B-5) 2.900'	Lutitas predominantes
	Unidad Inferior (de B-6 a B-9) 1.200'	Arenas y lutitas. Más arenácea hacia el tope. (Arenisca masiva B-6: 200').
Misoa“C”	Unidad Superior (C-1) 700'	Lutitas predominantes
	Unidad Intermedia (C-2 y C-3) 1.500'	Lutitas con algunas intercalaciones delgadas de areniscas, más numerosas en la base.
	Unidad Inferior (de C-4 a C-7) 2.600'	Areniscas masivas en el tope (C-4) y la base (C-7). Lutitas intercaladas.

2.2.2.2. Unidades informales

A partir de la necesidad de generar mapas de ubicación de los distintos yacimientos del subsuelo del campo La Concepción y mediante el uso de información petrofísica, se identificaron las fallas presentes en la zona y se establecieron las distintas unidades u horizontes y su respectiva localización por parte de la industria petrolera. La ubicación de los horizontes fue obtenida de los mapas de estructura de MARAVEN de los años 1957 y 1974 (CORE LABORATORIES INC. 1980), construyéndose mapas que localizan los topes de las unidades y dándoles nombre a estos intervalos, en orden ascendente: Cretácico, Intervalo Misoa Inferior, Intervalo Punta Gorda, Intervalo Ramillete, Intervalo Arenas Superiores, Miembro Boscán y Post-Eoceno (Fig. 2.9).

Es importante resaltar que a través de la historia del campo La Concepción los nombres arriba mencionados, por ser unidades informales, suelen no ser únicos y cambian de un autor a otro para una misma unidad litoestratigráfica, para efectos de este trabajo esos serán los nombres a utilizar, nomenclatura establecida por LEÓN (1986).

EDAD	FORMAC.	MIEMBRO	ESPESOR PROMEDIO (pies)	LITOLOGÍA GRÁFICA	CARACTERÍSTICAS LITOLÓGICAS	AMBIENTE SEDIMENTARIO (Según estudio faunal y floral de BARBETTO, PITELLI, EVANS 1984)
EOCENO	MISOA	BOSCAN	1.950	Discordancia post-eoceno		
					Lutitas gris vedoso micáceas	Unidad informal 5 Ciclo regresivo, llanura de mareas, con mantos arenosos de barras y playas
					Areniscas de grano fino a medio	
		ARENISCAS SUPERIORES A B C D E1 E2 F	2.000		Niveles de carbón	Unidad informal 4 Ciclo transgresivo, sedimentos de llanura mareal en el campo la concepción y de cuenca profunda hacia el norte
					Areniscas de grano fino	
					Lutitas grises	
					Secuencia de areniscas de grano fino a medio dispuestas en siete paquetes de espesor variable, separadas por niveles de lutitas grises, micáceas y carbonosas	Unidad informal 3 Ciclo transgresivo, llanura mareal y sedimentos de playa
		RAMILL.	150		Arenisca blanca, grisácea, de grano fino a medio, generalmente con estratificación cruzada	Unidad informal 2 Ciclo transgresivo, llanura deltaica y llanura mareal de gran continuidad lateral afectados por depósitos lutíticos de laguna
EOCENO	MISOA	PUNTA GORDA	900		Lutitas negras	
		MISOA INFERIOR	2.500		Arenas grises de grano fino a medio, laminas	
EOCENO	MISOA	MISOA INFERIOR	2.500		Secuencia de areniscas grises de grano fino a grueso intercaladas con lutitas gris oscuro a veces carbonosas, calcárea en la base	Unidad informal 1 Ciclo regresivo, llanura aluvial con gran influencia de meandros y abanicos de rotura
					Estructuras sedimentarias: bioturbación, rizaduras, laminación paralela en la lutitas y a veces cruzada en las areniscas	

Fig. 2.9. Columna estratigráfica generalizada del campo La Concepción. Tomado de LEÓN (1986)

Las unidades informales perforadas por los pozos en estudio se presentan dentro de la sección estratigráfica eocena, específicamente dentro de la Formación Misoa, por ser esta la única Formación perforada de acuerdo a información petrofísica de dichos pozos, como lo son registros gamma-ray (apéndice IV), y alcanzan como profundidad máxima a la unidad informal Intervalo Misoa Inferior.

La secuencia completa de los sedimentos eocenos en el subsuelo del campo La Concepción presenta un espesor promedio aproximado de 2.000 m (6.500 pies) y están truncados en su parte superior por la discordancia post-eocena, sobre cuya superficie fue depositado el Grupo Fausto. La base de los sedimentos eocenos en el campo La Concepción descansa de manera discordante sobre el tope de la Formación Guasare paleocena (CORE LABORATORIES INC. 1980).

A continuación se describe de manera detallada las unidades informales eocenas en orden estratigráfico:

Intervalo Misoa Inferior

También conocida como arena C-107 (CORE LABORATORIES INC. 1980), representan los reservorios eocenos de mayor profundidad, tiene un espesor aproximado de 1.130 m (3.700 pies). Es un intervalo predominantemente arenoso y masivo hacia su tope, de capas delgadas de areniscas y de continuidad limitada (formando lentes), presentan una porosidad del 14% y baja resistividad en los perfiles eléctricos. Su producción solo se ha conseguido en las partes altas de la estructura, proveniente del tope de estas arenas. Hacia la base de la secuencia se encuentra un amplio intervalo lutítico, dentro del cual se consiguen algunas capas de areniscas, que pueden ser carbonáticas o no (ÁVILA 1996).

Intervalo Punta Gorda

Constituye la segunda arena de mayor producción del campo cuyo principal alineamiento deposicional está orientado SW-NE, presenta un espesor promedio aproximado de 330 m (1.000 pies) que se adelgaza hacia el este específicamente hacia los

bloques 9, 10 y 11- Punta Gorda sur, centro y norte respectivamente (EGEP CONSULTORES 1988).

Está constituido por tres lentes de arenas intercalados por tres intervalos lutíticos ligeramente continuos como se describe a continuación: Hacia la base se presenta un cuello lutítico de aproximadamente 30 m (100 pies) de espesor, la parte inferior presenta varias capas de areniscas, separadas por delgados intervalos lutíticos que a veces desaparecen, en esta zona se encuentra el principal cuerpo de areniscas que presenta un espesor de unos 26 m (85 pies) (ÁVILA 1996) que presenta un mayor tamaño de grano y menos arcilla. La parte superior es un denso cuerpo lutítico que presenta hacia el tope lentes de areniscas que hacia los bloques 12 y 1- Zamuro oeste y Guacharaca oeste respectivamente se desarrollan hacia una arenisca masiva. La porosidad promedio de las areniscas es de 21% (EGEP CONSULTORES 1988).

Este intervalo es petrolífero en todo el campo, con altas resistividades en los perfiles eléctricos, sin embargo, el comportamiento de producción de los pozos de este intervalo ha sido pobre, probablemente debido al alto contenido de arcilla y al delgado espesor de las arenas (ÁVILA 1996).

Intervalo Ramillete

Constituye la arena principal del yacimiento, por ser la de mayor continuidad y desarrollo a través de todo el campo. Tiene un espesor aproximado de 33-45 m (100-150 pies), caracterizado por tener las más altas resistividades en los registros eléctricos y una porosidad promedio de 25%. El mejor desarrollo de los cuerpos de areniscas se ubica hacia el oeste de la estructura y decrece drásticamente hacia el este, siendo los bloques Guacharaca y Ramillete (Bloques 7 al 9 y 15, al 18) los que presentan la mayor producción (ÁVILA 1996).

En general este intervalo se caracteriza por cuerpos de areniscas lenticulares separados por capas delgadas de lutitas.

Intervalo Misoa Superior

Se encuentra erráticamente distribuida a través del campo, ha sido subdividida en siete estratos de areniscas denominados A, B, C, D, E1, E2 y F. El espesor promedio de este conjunto se aproxima a los 610 m (2.000 pies).

De manera general este intervalo está caracterizado por areniscas lenticulares separadas por cuerpos lutíticos. Las resistividades que presenta en los registros eléctricos es variable y depende del tipo de fluido que contiene (EGEP CONSULTORES 1988).

Las arenas con mejor desarrollo son las C y D principalmente en el área noroeste del campo, alcanzando los 9m de espesor en los bloques 22 y 23 – Socorro este y centro-este, donde tienen buena producción, pero presenta poca continuidad lateral, resultando tener una extensión muy limitada. Su tope aflora y se encuentra erosionado hacia los bloques centrales del campo (ÁVILA 1996).

Miembro Boscán

Es un grueso paquete de lutitas con lentes de areniscas que no contienen hidrocarburos, está truncado por la discordancia post-eoceno y no se presenta en algunas zonas de los bloques centrales del campo por haber sido borrado por efectos de erosión (EGEP CONSULTORES 1988).

2.2.2.3. Ambientes sedimentarios

La sedimentación de la Formación Misoa está relacionada con el desarrollo y avance de un gran complejo fluvio-deltaico producto de la regresión del Terciario, por lo que representa una alternancia de ambientes de llanura deltaica baja y condiciones marinas de aguas llanas a marginal interna (Fig. 2.10). Esto resulta en la sedimentación de una litología extremadamente compleja y variable que progresa en tiempo y espacio. Esto se refleja en las variaciones laterales por efectos de avances y retrocesos recurrentes de las aguas que presentan principalmente los cuerpos arenosos de esta formación, así como cambios en la tendencia migratoria de ríos y canales dentro de la llanura alta, con cambios en las desembocaduras de los mismos y consiguientes desplazamientos de las líneas de playa (EGEP CONSULTORES 1988).

Basado en el trabajo de BARBEITO *et al.* (1985) se definen los ambientes de sedimentación de cada uno de los intervalos que conforman la Formación Misoa para el área del campo La Concepción, como se señala a continuación:

Intervalo Misoa Inferior

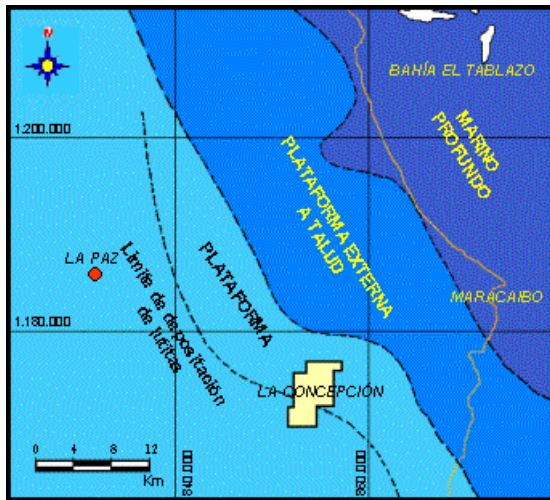
Los sedimentos de la sección inferior de esta secuencia están ubicados dentro de la parte superior de un ambiente nerítico medio, donde ocurre el desarrollo lutítico principal (Fig. 2.10, mapas 1 y 2). La sección superior de este intervalo fue depositada, bajo un régimen regresivo, en un ambiente marino costero, protegido, salobre con depósitos asociados de llanuras de mareas. Tomando como referencia la línea de playa del mapa 2 de la figura 2.10, la dirección preferencial de la depositación de los sedimentos en el área del campo La Concepción habría sido SW-NE.

Intervalos Punta Gorda, Ramillete y Arena F

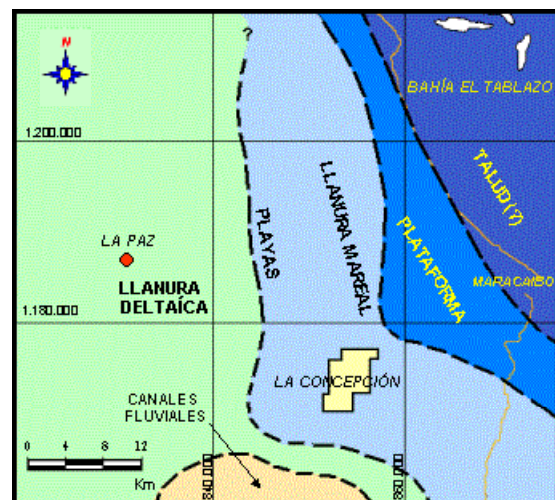
Este modelo sedimentario ubica a los intervalos Punta Gorda, Ramillete y la Arena F del Intervalo Misoa Superior en un ambiente de llanura mareal, costero, protegido, salobre (Fig. 2.10, mapa 3) depositados bajo un régimen regresivo, con desarrollo de cuerpos arenosos de gran extensión lateral, dando como resultado estos reservorios de dirección preferencial SW-NE y cuya continuidad lateral sería afectada por el desarrollo de depósitos lutíticos de marisma o laguna.

Intervalo Misoa Superior (Arenas A, B, C, D, E1 y E2)

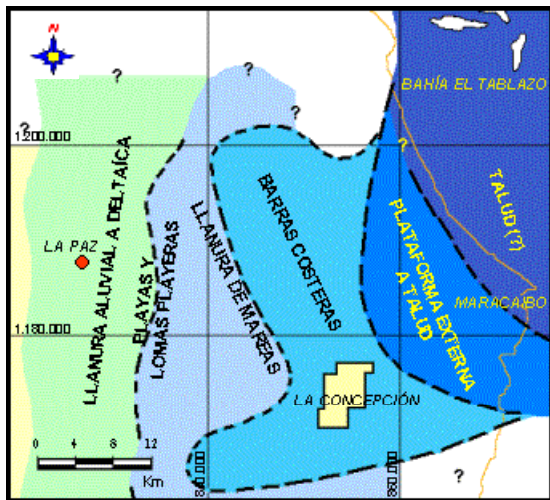
Este modelo sedimentario ubica a esta sección superior del intervalo en un ambiente de llanura mareal, en condiciones nerítico superior, depositada bajo un régimen transgresivo. La tendencia en el desarrollo de los cuerpos de arenas se postula como incierta por falta de control paleontológico y palinológico en los mismos. Sin embargo el control de espesores dados por los pozos del campo permiten la interpretación de las mismas tendencias observadas en los intervalos Punta Gorda y Ramillete (EGEP CONSULTORES, 1988), pudiendo haber existido un desplazamiento de la línea de playa con respecto al período de depositación de esas unidades informales (Fig. 2.10, mapa 4).



Mapa 1



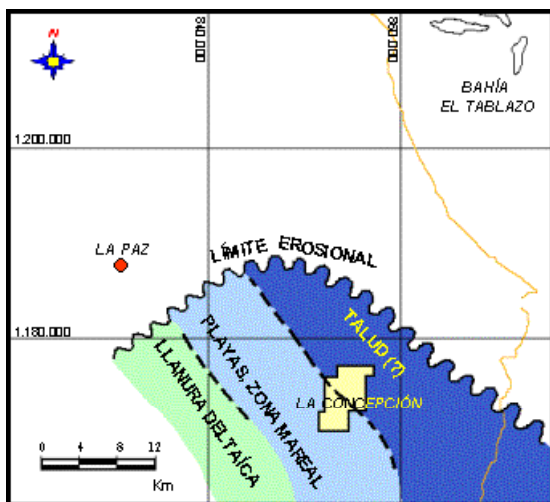
Mapa 2



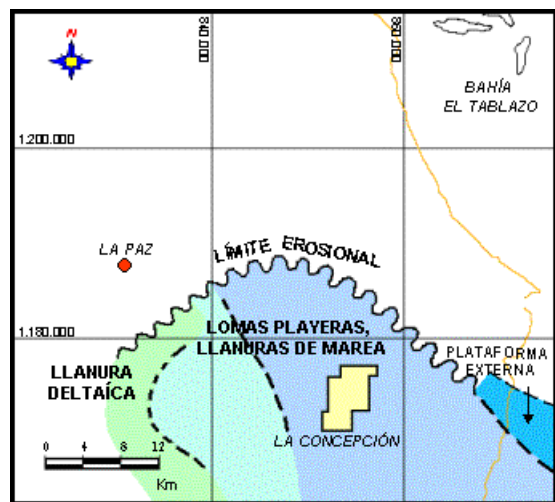
Mapa 3



Mapa 4

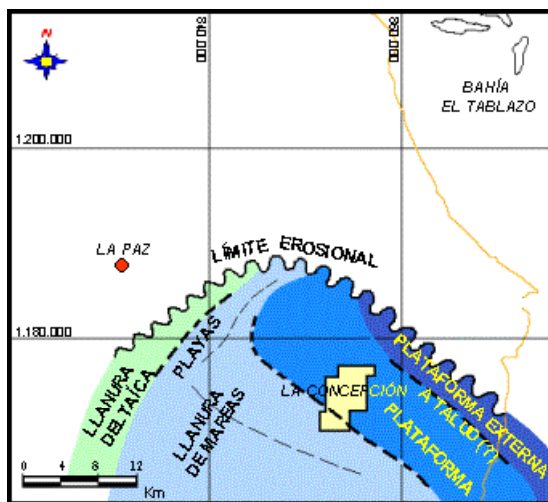


Mapa 5

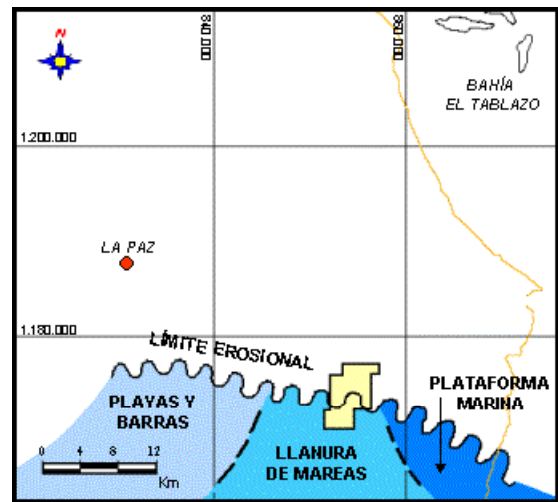


Mapa 6

Fig. 2.10. Secuencia de mapas paleogeográficos del Eoceno del área Mara-Maracaibo. Tomado de BARBEITO *et al.* (1985).



Mapa 7



Mapa 8

Fig. 2.10. (Continuación)

2.2.3. Estructura

El campo La Concepción, ubicado al este de los principales levantamientos de Mara, La Paz y El Moján, constituye un yacimiento importante en las areniscas del eoceno, donde la estructura es la principal causa de entrapamiento.

Siguiendo el patrón regional de la zona occidental de la Cuenca de Maracaibo, este campo está formado por un anticlinal asimétrico y alargado, de unos 8 km de largo y 3,5 km de ancho, cuyo eje posee un rumbo SW-NE, con un buzamiento promedio de 20° hacia el NW en su flanco occidental y de hasta 45° hacia el SE en su flanco oriental (Fig. 2.11) (CONSORCIO PEREZ COMPANC S.A.-WILLIAMS 1999).

Este anticlinal se encuentra seccionado por dos sistemas de fallas subparalelas, el primero de las cuales lo corta longitudinalmente y está constituido por fallas inversas de rumbo SW-NE y de alto buzamiento hacia el oeste, cortando a las secciones estratigráficas paleocenas-eocenas.

El segundo sistema de fallas, de tipo normal y componente dextral, corta al campo La Concepción transversalmente y poseen un rumbo aproximado E-W y en su mayoría altos

buzamientos hacia el norte, corta a las secuencias estratigráficas a partir de los intervalos cretácicos.

Estos grupos de fallas dividen al campo La Concepción en 8 bloques principales, los cuales a su vez se subdividen en 23 bloques secundarios que son denominados de acuerdo a su ubicación geográfica (Fig. 1.2).

Ambos sistemas de fallas, de saltos verticales variables de entre 30 y 300 m (100-1.000 pies), tiene un origen asociado a los esfuerzos compresionales E-W que originaron el anticlinal. La combinación de estas estructuras dan como resultado una estructura en flor para el subsuelo del campo La Concepción, como se observa en la figura 2.11 (EGEP CONSULTORES 1988).

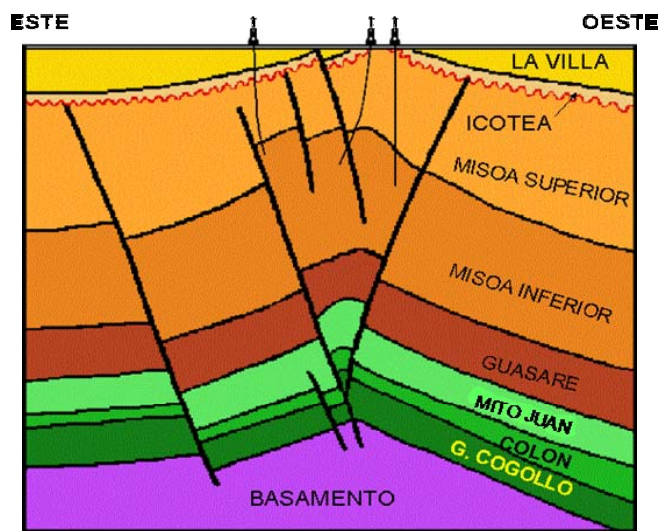


Fig. 2.11. Corte estructural esquemático del campo La Concepción. Tomado y modificado de CONSORCIO PEREZ COMPANC S.A.-WILLIAMS (1999).

2.2.4. Entrampamiento de hidrocarburos

Según GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) a lo largo del tiempo geológico la evolución de la Cuenca de Maracaibo ha sido compleja, debido a una serie de invasiones y regresiones marinas que fueron determinantes para la sedimentación, tanto de rocas madres de hidrocarburos como de las rocas reservorio.

A continuación se mencionan los distintos tipos de acumulaciones identificadas por EGEPC CONSULTORES (1988) para el campo La Concepción, debido a su connotación geológica:

Tipos de trampas

a- Trampa estructural: Es el más relevante en el área y está marcado por condiciones sellantes de casi todas las fallas presentes, dando como resultado que cada uno de los bloques del campo tenga un comportamiento de producción particular e independiente.

b- Trampa estratigráfica: Es el resultado de la lenticularidad de los cuerpos de arena, a excepción de el intervalo Ramillete que presenta una mayor continuidad, además de los gruesos cuellos lutíticos que actúan como sellos de los yacimientos, como las lutitas del Miembro Boscán, depositadas sobre la superficie de erosión local que afectó a las arenas superiores del campo La Concepción, especialmente en la parte central, constituyen un sello vertical para la acumulación de hidrocarburos.

c- Combinación de las dos anteriores.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. ESPECTROMETRÍA POR FLUORESCENCIA DE RAYOS X POR DISPERSIÓN DE ENERGÍA (FRX-DE)

Al irradiar un material con un rayo proveniente de un tubo emisor de rayos x o gamma, los átomos que lo constituyen son excitados y producen una emisión secundaria de rayos x denominada *fluorescencia*.

Cada elemento que compone al material emite una radiación fluorescente, compuesta por fotones discretos de rayos x, con niveles de energía característicos y una intensidad directamente proporcional a su concentración en la muestra, dicha radiación es identificada y separada de acuerdo a su longitud de onda a través de detectores de dispersión de energía (adaptado de CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000). Por lo tanto, esta técnica es utilizada para la determinación de los elementos mayoritarios y elementos traza de las rocas, identificando un amplio rango de elementos con número atómico mayor que el sodio ($Z = 11$) y detectando concentraciones desde 100% hasta partes por millón (ppm).

Los espectros obtenidos por este método son un ejemplo del *análisis cualitativo*, donde los elementos en una muestra han sido detectados mediante el reconocimiento de los rangos de energía (en keV) emitidos por cada uno de ellos. La intensidad de la irradiación emitida por los elementos convertida en unidades de concentración, es la base de los *análisis cuantitativos*, para realizar esta conversión es necesario realizar calibraciones o comparaciones entre dichas intensidades de las muestras a analizar y las correspondientes a muestras patrones o estándar internacionales de igual composición química (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).

Para la realización de este trabajo se utilizan dos equipos de espectrometría, los cuales poseen distintas fuentes de emisión de rayos, una de ellas genera rayos x y la otra genera rayos gamma, por lo tanto cada uno de estos equipos está enfocado a detectar un grupo diferente y determinado de elementos que se presentan en cada muestra a analizar.

3.1.1. FRX-DE con fuente de tubo de Rh

La determinación de los elementos mayoritarios (con número atómico menor al Fe, $Z = 23$) que componen una roca, se realizó mediante la utilización del equipo de espectrometría Phillips Minipal PW4025, cuya descripción detallada de funcionamiento, calibración y condiciones óptimas de medición, son ampliamente tratados en trabajos anteriores del Proyecto Agenda Petróleo (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000, RODRÍGUEZ *et al.* 2000, GONZÁLEZ & SÁNCHEZ 2001 y NOGUERA & YÉPEZ 2002), por lo que no se explicarán dichos aspectos en este trabajo. En el capítulo 4. Metodología serán descritos los pasos seguidos en la utilización de este equipo durante la realización de este trabajo.

3.1.2. FRX-DE con fuente radiactiva de ^{109}Cd

La determinación de los elementos traza (con pesos atómicos mayores al Fe) se realizó mediante la utilización del equipo Niton XL-722S (Fig. 3.1), un espectrómetro de fluorescencia de rayos x portátil, en el cual la radiación primaria de rayos gamma es emitida por dos fuentes radiactivas de ^{109}Cd y ^{241}Am , las cuales se utilizan de manera separada y permiten determinar un grupo dado de elementos para cada una de ellas.

Tabla 3.1. Elementos detectados por el Niton XL-722S de acuerdo a la fuente utilizada
Tomado de NITON CORPORATION (2002).

Fuente utilizada	Elementos detectados
^{109}Cd	Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, As, Se, Pb, Hg, Rb, Zr, Mo, Sr, Nb, Bi, W, Hf, Ta
^{241}Am	Cd, Ba, Ag, Sn, Sb, Pd y otros

Según CAMPOSANO (2002), las aplicaciones de este equipo tiene un rango amplio que permite realizar análisis de suelos, rocas y cualquier otro tipo de formas físicas, en laboratorio o en campo. Además de poseer un sistema de autocalibración para cada elemento que detecta, por lo que no es necesario la realización de curvas de calibración basadas en patrones estándar, adquiriendo los datos de concentraciones elementales

directamente y corrigiendo de manera automática los efectos producidos por las diferencias de matriz mediante procedimientos estadísticos.

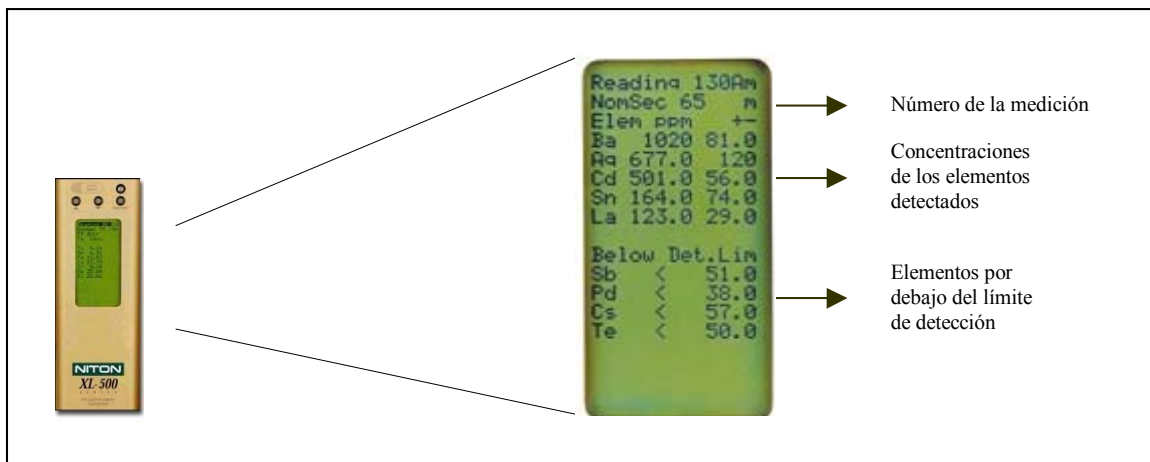


Figura 3.1. Instrumento Niton XL-500 desplegando información de concentraciones de elementos traza de una muestra. Tomado de NOGUERA & YÉPEZ (2002).

Efectos producidos por la matriz

Durante la fluorescencia de rayos x una parte del rayo incidente y del haz fluorescente atraviesan un espesor significativo de la muestra, en el cual puede tener lugar la absorción o dispersión. La atenuación de ambos haces depende del coeficiente de absorción másico del medio. Por lo que, aunque la intensidad neta de una línea que llega al detector en una medida de fluorescencia de rayos x depende de la concentración del elemento que produce la línea, también está afectada por la concentración y los coeficientes de absorción másicos de todos los elementos que conforman la matriz, provocando que los resultados obtenidos sean más bajos o más altos (SKOOG *et al.* 2001, en NOGUERA & YÉPEZ 2002).

Calidad de los resultados

CAMPOSANO (2002) considera una serie de aspectos a ser tomados en cuenta para incrementar la calidad de las mediciones en el equipo Niton XL-722S, se mencionan a continuación:

- Variaciones en las características físicas de las muestras, las cuales pueden incluir parámetros como tamaño de las partículas, uniformidad y homogeneidad de la muestra y

condiciones de la superficie. Esto puede resolverse al pulverizar las muestras uniformizando de esta manera el tamaño de las partículas y la homogeneidad de la muestra.

- El contenido de humedad en las muestras puede afectar la exactitud de las mediciones. La humedad puede ser una gran fuente de error cuando la muestra está saturada con agua, esto puede ser minimizado mediante el secado de las muestras usando una plancha tostadora o manteniéndolas en exposición al sol por un largo período. El contenido de agua no deberá ser más de 2 a 3% la masa de la muestra.

- Los cambios de la temperatura ambiental puede afectar la ganancia o la amplificación produciendo deriva en el instrumento. Estas son funciones electrónicas primarias del equipo (amplificación o preamplificación) y no del detector, además el detector del instrumento es constantemente enfriado a temperatura constante. De tal manera que los cambios de temperatura son constantemente compensados.

- La incorrecta ubicación o disposición de la muestra enfrente (o debajo) de la ventana del espectrómetro. Esto se corrige manteniendo la misma distancia entre la ventana del espectrómetro y cada una de las muestras.

- Efectos producidos por la matriz resultantes de las diferencias en las concentraciones por interferencia de los elementos. Puede ocurrir un solapamiento espectral de líneas de rayos x de distintos elementos por estar cercanas a niveles de energía (keV) que pueden causar interferencia.

Una manera de corregir estos efectos se realiza mediante el uso de calibraciones adicionales con muestras representativas del sitio de muestreo, analizando estas previamente por algún método de plasma de acoplamiento inducido (ICP) y posteriormente comparando los resultados obtenidos con ambos métodos en un diagrama de regresión (NOGUERA & YÉPEZ 2002).

3.2. RADIOMETRÍA

La radiometría es aquella parte de la geofísica que estudia la corteza terrestre por medio de la detección de las radiaciones que provienen del decaimiento de los elementos radiactivos naturales (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000). En este punto se hace necesario mencionar las bases fundamentales de la radiometría:

La radiactividad es la propiedad que poseen los núcleos de los elementos radiactivos de desintegrarse emitiendo o absorbiendo radiaciones radiactivas. Mientras que dichos elementos radiactivos son aquellos que se desintegran en el transcurso del tiempo convirtiéndose en otros elementos, independientemente de las condiciones externas. Los elementos radiactivos naturales son aquellos con número atómico Z entre 81 y 92, además de otros pocos que se encuentran en la parte central de la tabla periódica (Fig. 3.2) (RODRÍGUEZ *et al.* 2000).

Fig. 3.2. Tabla periódica, mostrando los elementos radiactivos naturales en los recuadros rojos.
Tomado de CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000)

La desintegración de los elementos radiactivos naturales va acompañada de la emisión de radiación que puede ser de tres tipos: α , β y γ (alfa, beta y gamma respectivamente), que CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000), definen a cada una de ellas como:

La radiación α es el flujo de partículas compuesta por dos protones y dos neutrones (partículas equivalentes a los núcleos de Helio) y ocurre principalmente de los elementos de $Z > 82$. Generalmente esta desintegración va acompañada de la emisión de radiación gamma de poca energía.

La radiación β consiste en un flujo de electrones. Puede ser de dos tipos: electrónica, que consiste en la transformación de un neutrón a protón, acompañado por la emisión de un electrón y una partícula neutra de masa pequeña y alto poder de concertación denominado antineutrino. Mientras que el otro tipo de radiación β es la positrónica, que se produce cuando un protón se convierte en un neutrón, acompañado por la emisión de un positrón y un neutrino. Ambos tipos de radiación β van acompañadas de emisiones de radiación γ . Tanto la radiación α como la β significan transformaciones en el número atómico del elemento, por lo tanto este se desplaza a distintas posiciones en la tabla periódica. Por último, la radiación γ está constituida por ondas electromagnéticas de mayor frecuencia y menor longitud de onda que los rayos x, y que no altera la carga nuclear.

Estas radiaciones radiactivas poseen la propiedad de atravesar la materia. En condiciones normales la radiación α es capaz de penetrar en el aire desde 2,5 hasta 8,5 cm, las partículas β de 10 a 13 m, y los cuantos γ en el orden de los cientos de metros. La absorción total de las partículas α puede lograrse con una hoja de papel, las partículas β con una lámina de aluminio de 0,5 cm de espesor, y los cuantos γ con una placa de aluminio de 50 a 60 cm de espesor. Es esta característica de la radiación, de alta capacidad de penetración, lo que permite su aplicación tanto en geología como en geofísica (RODRÍGUEZ *et al.* 2000).

Convencionalmente los perfiles de rayos γ total, han sido utilizados en pozos, para la interpretación de litologías y ambientes. En la actualidad este tipo de análisis pueden realizarse en afloramientos, utilizando en este caso técnicas de rayos γ espectral en las que las variaciones en las concentraciones de los diferentes isótopos radiactivos, proveen información acerca de eventos genéticos, discriminación de litofacies, etc. y permiten realizar correlaciones, al ser utilizados junto a otras herramientas (NORTH & BOERING 1999, en CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).

Las sucesivas transformaciones que sufren los átomos de estos elementos radiactivos forman series de desintegración, dentro de las cuales pueden existir hasta 19 elementos.

Series de desintegración

El primer elemento de las series de desintegración posee una existencia muy larga, cuyo período de semidesintegración (tiempo necesario para que una cierta cantidad de átomos se reduzca a la mitad) está entre 10^8 y 10^{10} años, mientras que el último de ellos es un isótopo estable de plomo (FRIEDLANDER *et al.* 1964, en CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).

En la naturaleza existen tres series radiactivas: la serie del uranio, la del torio y la del actinio-uranio, cuyos primeros elementos son el ${}_{92}^{238}\text{U}$, ${}_{90}^{232}\text{Th}$ y el ${}_{92}^{235}\text{U}$ respectivamente (Fig. 3.3).

Sin embargo para los efectos de este trabajo se toman en cuenta el ${}^{214}\text{Bi}$ que es emisor de radiaciones γ de la serie de desintegración del ${}^{238}\text{U}$; el ${}^{228}\text{Ac}$ y el ${}^{208}\text{Tl}$ que los son de la serie de desintegración del ${}^{232}\text{Th}$, esto debido a que presentan períodos de semidesintegración que pueden ser medidos en el presente. Además del ${}^{40}\text{K}$, que aunque no forma series radiactivas ya que al desintegrarse pasa a ser un isótopo estable, pero debido a que es de gran abundancia en la corteza terrestre (2,7 %), se considera de gran aporte geológico (FRIEDLANDER *et al.* 1964, en CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).

En general, en rocas con un contenido normal de elementos radiactivos, cerca del 42 % de la energía irradiada se debe al isótopo ^{40}K , 32 % al Th, 25 % a las series del U y AcU y solo el 1% al resto de los elementos radiactivos (FRIEDLANDER *et al.* 1964, en CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).

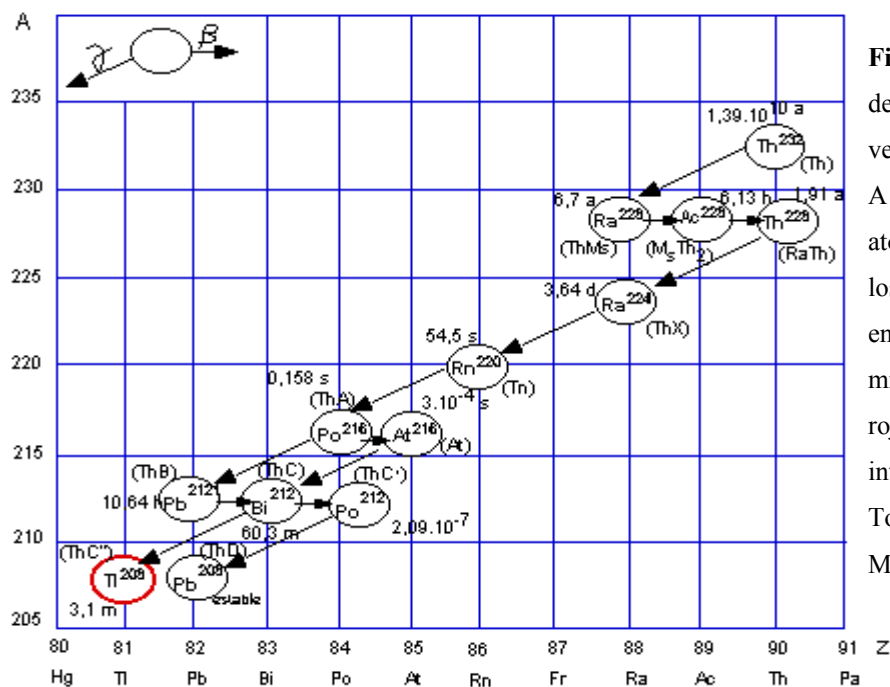
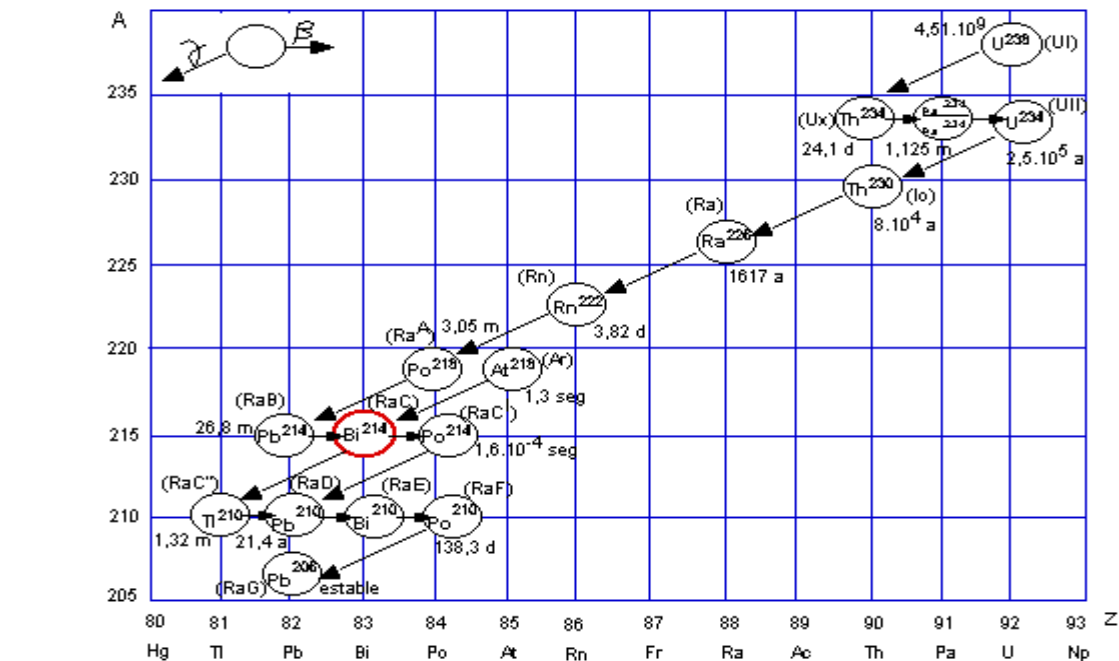


Fig. 3.3. Series de desintegración del U (arriba) y Th (abajo). El eje vertical representa el peso atómico A y el horizontal el número atómico Z. Se muestran también los períodos de semidesintegración en años (a), días (d), horas (h), minutos (m) y segundos (seg). En rojo se presentan los isótopos de interés para el presente trabajo. Tomado de CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000).

3.2.1. Espectrometría de rayos gamma

Los espectros energéticos son los rangos de energía que presentan los distintos tipos de radiaciones. Debido a que cada tipo de radiación posee espectros distintos y característicos es posible diferenciar un tipo de radiación de otra. Los espectros energéticos también permiten determinar los elementos emisores, ya que cada uno de estos emite radiaciones (α , β y γ) con energías específicas. Por ejemplo, el Th emite partículas α de aproximadamente 3,993 MeV y cuantos γ de aproximadamente 60 eV (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).

En este trabajo cada elemento posee una ventana de valores característicos de energía de los cuantos γ , lo que permite identificar la presencia de un elemento dado a partir de la emisión de cuantos γ con energías similares, utilizando para ello un espectrómetro de rayos γ multicanal, para detectar la presencia de los isótopos ^{40}K , ^{208}Tl , ^{214}Bi y ^{228}Ac , anteriormente mencionados, además de la radiación γ total en las muestras de roca.

En la figura 3.4, se muestra un ejemplo diagramático de visualización del espectro de rayos γ donde se aprecian las ventanas principales, correspondientes a dichos isótopos, y las ventanas intermedias medidas por el espectrómetro γ multicanal.

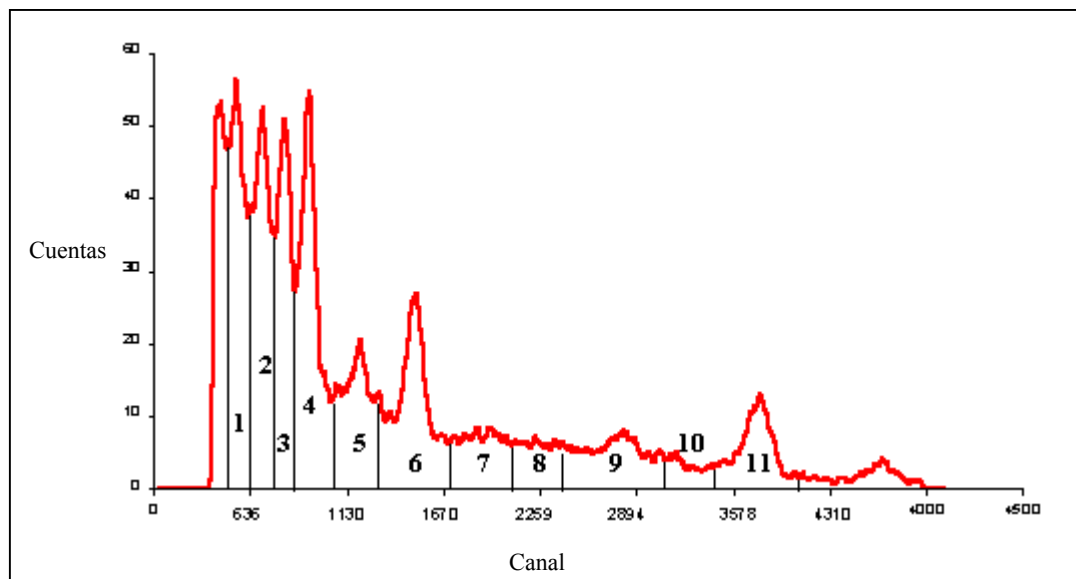


Fig. 3.4. Zonas de interés o ventanas de medición del espectrómetro γ multicanal.
Tomado de ARIAS & CAMPOSANO (2002)

Espectrómetro de rayos gamma multicanal

Los espectrómetros de rayos gamma están equipados generalmente con detectores que convierten la energía radiante en una señal eléctrica (SKOOG *et al.* 1992, en ARIAS & CAMPOSANO 2002). Cuando la radiación γ incidente atraviesa el cristal de centelleo, su energía se dispersa en el cristal. Esta energía se libera posteriormente en forma de fotones de radiación fluorescente. Los destellos de luz producidos por el cristal de centelleo se transmiten al fotocátodo del tubo fotomultiplicador y, a su vez, se convierten en impulsos eléctricos que se amplifican y son cuantificados por el analizador multicanal (ARIAS & CAMPOSANO 2002). Una característica importante de los cristales de centelleo es que el número de fotones producidos en cada destello es proporcional a la energía de la radiación incidente (SKOOG *et al.* 1992, en ARIAS & CAMPOSANO 2002).

Según ARIAS & CAMPOSANO (2002) el sistema de espectrometría de rayos gamma Amptek GAMMA X utilizado en este trabajo, es un equipo portátil controlado por un software ejecutable en una computadora bajo ambiente Windows® y/o DOS® que consta de las siguientes partes (Fig. 3.5):

- Cristal de centelleo de NaI de tamaño estándar (30 x 30 mm).
- Tubo fotomultiplicador.
- Fuente generadora y reguladora de alto voltaje (G & R V).
- Preamplificador y amplificador de señal.
- Analizador multicanal Amptek MCA8000A con capacidad para 16.000 canales.
- Software Pmca® 2.0.

A través de este sistema es posible generar el espectro de energía de rayos gamma emitidos por la desintegración de isótopos radiactivos presentes en una muestra dada.

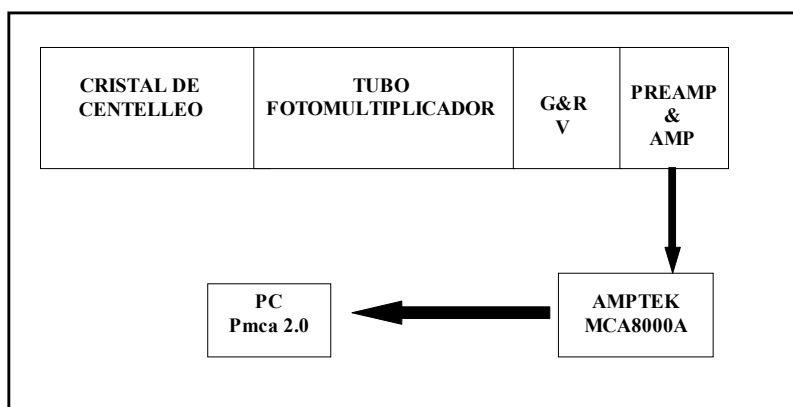


Fig. 3.5. Diagrama del sistema de radiometría de rayos gamma utilizado en este trabajo.
Tomado de ARIAS & CAMPOSANO (2002)

Es posible a través de la base de datos (librería natural) del software Pmca® 2.0 obtener la información acerca de la energía (keV) producida por algunos isótopos naturales que emiten rayos gamma, en la tabla 3.2 se muestran los isótopos estudiados en este trabajo y sus respectivos niveles de energía (adaptado de ARIAS & CAMPOSANO 2002).

Tabla 3.2. Isótopos y sus respectivos niveles de energía (keV) (Tomado de ARIAS & CAMPOSANO 2002)

Isótopos	Energía
²⁰⁸ Tl	583
²¹⁴ Bi	609
²²⁸ Ac	794
²¹⁴ Bi	1120
⁴⁰ K	1460
²¹⁴ Bi	1764
²⁰⁸ Tl	2614

Los detalles de optimización de tiempos de medición y peso de la muestra, identificación de los isótopos a medir y calibración del espectro generado, son ampliamente descritos en el trabajo de ARIAS & CAMPOSANO (2002).

A partir de los espectros generados se establecen siete ventanas principales correspondientes a los siete isótopos identificados y seis ventanas secundarias (F1, F2, F3 y F4) que corresponden a zonas intermedias entre las ventanas principales y zonas marginales (Fig. 3.4 y Tabla 3.3) (ARIAS & CAMPOSANO 2002).

Tabla 3.3. Ventanas y sus límites de energía en keV (Tomado de ARIAS & CAMPOSANO 2002)

Ventana	Límite inferior	Límite superior
²⁰⁸ Tl	507	594
²¹⁴ Bi	595	725
F1	726	827
²²⁸ Ac	828	1054
²¹⁴ Bi	1055	1280
⁴⁰ K	1281	1620
²¹⁴ Bi	1621	1990
F2	1991	2398
²⁰⁸ Tl	2399	3120
F3	3121	3324
F4	3326	3837

Los datos con los que se trabaja en este TEG representan el conteo total de cps (cuentas por segundo) en un área de energía determinada cuyo centroide corresponde al isótopo.

3.3. CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA

La geoquímica se refiere al análisis de los procesos químicos que suceden en los diferentes sistemas naturales de la Tierra, a partir de la distribución y migración de los elementos químicos en el interior y en la superficie de la corteza, en el espacio y tiempo. Cada tipo de roca, desde distintos puntos de vista, se puede considerar como un sistema químico en el cual distintos agentes pueden producir cambios químicos. Estos cambios implican una perturbación del equilibrio, con ulterior formación de un nuevo sistema, el cual, bajo nuevas condiciones, a su vez llega a ser estable.

La geoquímica de rocas sedimentarias, por su parte comprende el estudio de la distribución y abundancia de elementos químicos en estas rocas, y su relación con los diversos procesos que interviene en su formación (Fig. 3.6)

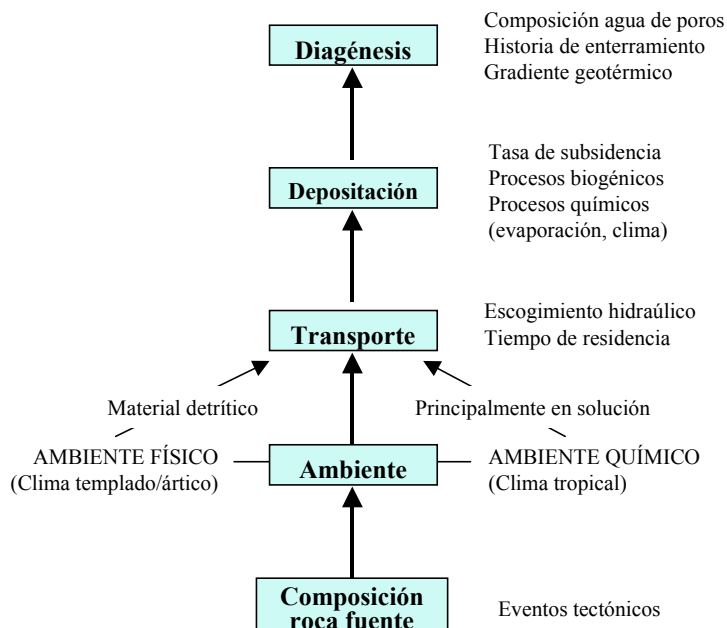


Fig.3.6. Procesos que intervienen en la formación de una roca sedimentaria
Según ROLLINSON, 1997.
Tomado de CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000).

Entre los principales parámetros o factores que controlan la distribución de los elementos químicos en éstas, se encuentran: composición de la roca fuente, procesos tectónicos y condiciones climáticas o ambiente de deposición así como procesos diagenéticos (ESTÉVEZ 2000).

Sin embargo la composición química original de una roca sedimentaria es modificada sustancialmente por varios procesos, como lo es la descomposición química de algunos minerales silicatados y la formación de otros, principalmente durante la meteorización, transporte y la diagénesis, como lo es la alteración de minerales inestables (feldespatos, arcillas detríticas y fragmentos líticos), así como también la disolución del cuarzo y formación de minerales autigénicos.

Debido a esto, además de considerarse a la composición mineralógica de mayor utilidad para la interpretación de proveniencia de sedimentos e historia depositacional, se ha tenido poco énfasis en el estudio de la composición química de rocas sedimentarias silisiclásticas (adaptado de MASON & MOORE 1958).

Convencionalmente los estudios estratigráficos y correlativos han estado basados principalmente en caracterizaciones litológicas, paleontológicas, paleomagnéticas y paleoambientales. El conocimiento de que las heterogeneidades geoquímicas pueden ser usadas para obtener información acerca de procesos geológicos no es nuevo, pero los altos costos y la lenta obtención de datos multielementales de alta calidad, habían tenido limitados este tipo de estudios (PEARCE & JARVIS 1995).

A partir de los años 80 avances significativos en la geoquímica analítica, permitieron por primera vez la adquisición rápida y a menor costo de un conjunto de datos de alta calidad, lo que ha resultado en un cambio de actitud respecto al significado de la composición química y desarrollándose un profundo interés en la geoquímica de rocas sedimentarias.

Algunas de estas herramientas desarrolladas para este tipo de análisis permiten la obtención de los siguientes datos geoquímicos:

- Componentes mayoritarios, elementos determinantes de la composición química de un sistema natural, donde su concentración está por encima de 0,1%.
- Elementos traza, con una concentración en el sistema natural menor a 0,01%.
- Isótopos radiactivos, que incluyen a aquellos elementos o isótopos cuyo decaimiento espontáneo se debe a su radiactividad natural, que en el caso particular de U y Th se produce una serie de cambios que generan otro grupo de elementos químicos.

Dado que muchos granos en rocas siliciclásticas están derivadas de varios tipos de rocas ígneas, metamórficas y sedimentarias, la mineralogía y la composición química de rocas siliciclásticas están claramente en función de la composición del tipo de roca fuente. Sin embargo, las rocas sedimentarias despliegan diferencias químicas distintas en cada tipo de roca fuente debido a cambios químicos que ocurren durante la meteorización y diagénesis.

Tabla 3.4. Composición química promedio de las rocas sedimentarias (en %).

Tomado de MASON & MOORE (1982)

ÓXIDO	ROCAS ÍGNEAS	LUTITAS	ARENISCAS	CALIZAS
SiO ₂	59,14	58,1	78,33	5,19
TiO ₂	1,05	0,65	0,25	0,06
Al ₂ O ₃	15,34	15,4	4,77	0,81
Fe ₂ O ₃	6,88	6,47	1,37	0,50
MgO	3,49	2,44	1,16	7,89
CaO	5,08	3,11	5,50	42,57
Na ₂ O	3,84	1,3	0,45	0,05
K ₂ O	3,13	3,42	1,31	0,33
H ₂ O	1,15	5,00	1,63	0,77
P ₂ O ₅	0,30	0,17	0,08	0,04
CO ₂	0,10	2,63	5,03	41,54
SO ₃	—	0,64	0,07	0,05
BaO	0,06	0,05	0,05	—
C	—	0,80	—	—

El porcentaje composicional promedio mostrado en la tabla 3.4 ha sido calculado a partir de un alto número de muestras, previamente analizadas, de cada tipo de roca. Debido a la amplia variación en composición muchos valores se solapan entre los tipos de rocas sedimentarias, inclusive dentro de las mismas, lo que ha hecho muy difícil hacer una clasificación de éstas en base a sus porcentajes en óxidos como se ha hecho para las rocas ígneas.

Las variaciones de los porcentajes en óxidos de las rocas sedimentarias son un reflejo de un conjunto de variables, endógenas y exógenas, que actúan antes y durante la formación de la roca, las principales variables que controlan la cantidad y distribución de los elementos químicos en las rocas sedimentarias se exponen a continuación (RODRÍGUEZ *et al.* 2000):

- Composición de la roca fuente
- Factores que actúan durante la meteorización y erosión de la roca fuente (relieve, drenaje, clima, temperatura, humedad)
- Ambiente tectónico
- Ambiente de depositación, condiciones hidrodinámicas, salinidad, características físico-químicas del medio, Eh y pH.
- Condiciones reinantes durante los procesos de soterramiento, diagénesis y litificación.

3.3.1. LA GEOQUÍMICA COMO HERRAMIENTA DE CORRELACIÓN DE SECUENCIAS SEDIMENTARIAS

Las rocas sedimentarias presentan una variedad de atributos químicos y características físico-químicas, las cuales son un reflejo directo de las condiciones que han prevalecido durante su formación.

El análisis de dichos atributos persigue encontrar un conjunto de relaciones o asociaciones elementales que permitan discriminar, en un espesor estratigráfico, intervalos donde las características químicas tengan un comportamiento similar y que al compararse con otro(s) atributo(s) sedimentológico(s) se puedan hacer inferencias acerca de los procesos sedimentarios. Los intervalos estratigráficos donde las propiedades químicas presentan poca variación se conocen como facies químicas y guardan mucha relación con los procesos que se llevaron a cabo durante la meteorización, erosión, depositación, soterramiento y diagénesis que dieron origen a una roca sedimentaria.

Algunos de los atributos químicos más utilizados se listan a continuación (MARTÍNEZ 2001):

- Relaciones isotópicas de C, O, S y Sr.
- Concentración de elementos mayoritarios expresados en sus correspondientes óxidos como: SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO y K_2O .
- Concentración de carbonato como CaCO_3 .
- Contenido de arcillas.
- Tenor de carbono orgánico (COT o Carbono Orgánico Total).
- Concentración de elementos minoritarios y traza tales como: Sr, Mn, V, Cr, U, Th, Tierras Raras, etc.
- Distribución vertical de los valores de algunas relaciones interelementales: Cr/Mo, V/Ni, Ti/Zr, Sr/Ca, etc.
- Valores de variables sintéticas obtenidas a partir de tratamientos matemáticos o estadísticos (RODRÍGUEZ *et al.* 2000).

A partir de esto, la geoquímica es utilizada en la caracterización de secuencias sedimentarias basada en la composición química de la fracción inorgánica de estas y resulta de gran utilidad al aplicarse en secuencias de pobre control bioestratigráfico.

La utilización de esta herramienta se enfoca en el estudio de la química inorgánica de secuencias sedimentarias, la subdivisión de estas secuencias en unidades distintas geoquímicamente y su subsecuente correlación con otras secciones. Las rocas sedimentarias son altamente variables geoquímicamente, aún cuando éstas aparecen litológicamente homogéneas, y en base a este hecho es que la geoquímica se fundamenta. En adición a la división geoquímica de secuencias y la solución de los problemas de correlación, esta información puede ser usada en estudios de proveniencia (fuente), caracterización de reservorios y estudios diagénéticos. Numerosos casos estudiados han mostrado que esta técnica puede ser aplicada a rocas sedimentarias de cualquier edad y de variados marcos depositacionales, sin ninguna restricción geográfica. La técnica está ganando crédito rápidamente como herramienta de correlación confiable en la industria petrolera (NOGUERA & YÉPEZ 2002).

Como herramienta de correlación, puede ser utilizada para reducir la ambigüedad e incertidumbre a menudo asociadas con muchos de los métodos de correlación, tales como, litoestratigrafía, bioestratigrafía y registros sísmicos. Esta también puede ser utilizada para crear un sistema de correlación para secuencias, en la cual otra información o datos estratigráficos esté faltante (PEARCE & JARVIS 1995).

Las aplicaciones de la geoquímica según PEARCE & JARVIS (1995), en base a la información de la composición química inorgánica son muchas y pueden ser empleadas en otras áreas de la geología petrolera:

- Proveniencia y evaluación de cuencas: Se puede inferir a través de los datos geoquímicos los cambios en la proveniencia de los sedimentos cuando la combinamos con la información sedimentológica.
- Caracterización de reservorios: La capacidad de determinar los marcadores geoquímicos y correlacionar capas y secuencias a menor escala.

- Geoquímica y registros en pozos: Los datos químicos sirven para ayudar a interpretar las respuestas en los perfiles de pozos (rayos gamma).
- Geoquímica y diagénesis: Los datos geoquímicos pueden ser usados para determinar los productos diagenéticos principales y su distribución dentro de la secuencia. Esta habilidad permite que esta técnica sea empleada para establecer profundidades, continuidad lateral y composición de horizontes de cementación principal.

Las variaciones de los componentes inorgánicos han sido usados para dividir la sección en intervalos geoquímicamente distintivos, los cuales despliegan comportamientos que permiten reconocer y diferenciar dichos intervalos de otras zonas dentro de la sección sedimentaria. A estos intervalos se les denomina unidades químicas (Fig. 3.7).

El significado de la variación estratigráfica puede ser observado en las composiciones de elementos e isótopos de sedimentos y sus constituyentes fósiles. Tales variaciones pueden ser atribuidas a varios factores ambientales, incluyendo cambios en los elementos, aporte siliciclástico y carbonático, productividad marina, composición biótica, temperatura y salinidad del agua, condiciones reductoras, profundidad del agua y tasa de sedimentación. La interpretación de la variación geoquímica es, por tanto, raramente directa (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).

Las diferencias, según estos autores, encontradas en las características geoquímicas de secuencias individuales son usadas para definir las unidades químicas en base a:

- Concentraciones químicas absolutas
- Caracterización de patrones de tendencias geoquímicas en los perfiles de concentración vs. muestras de los distintos elementos detectados al mismo nivel estratigráfico (deflexiones resaltantes de las curvas). Los eventos geoquímicos con significado estratigráfico son reflejados en máximos y mínimos, y estas deflexiones de las curvas son divididas en *marcadores de primer orden*; los cuales son eventos geoquímicos que se caracterizan por deflexiones significantes en las curvas de varios elementos, y *marcadores de segundo orden*; que son definidos solamente por fluctuaciones de un solo elemento o fluctuaciones menos significantes.

- Marcadores geoquímicos en paquetes sedimentológicos.
- Marcadores geoquímicos en capas individuales.

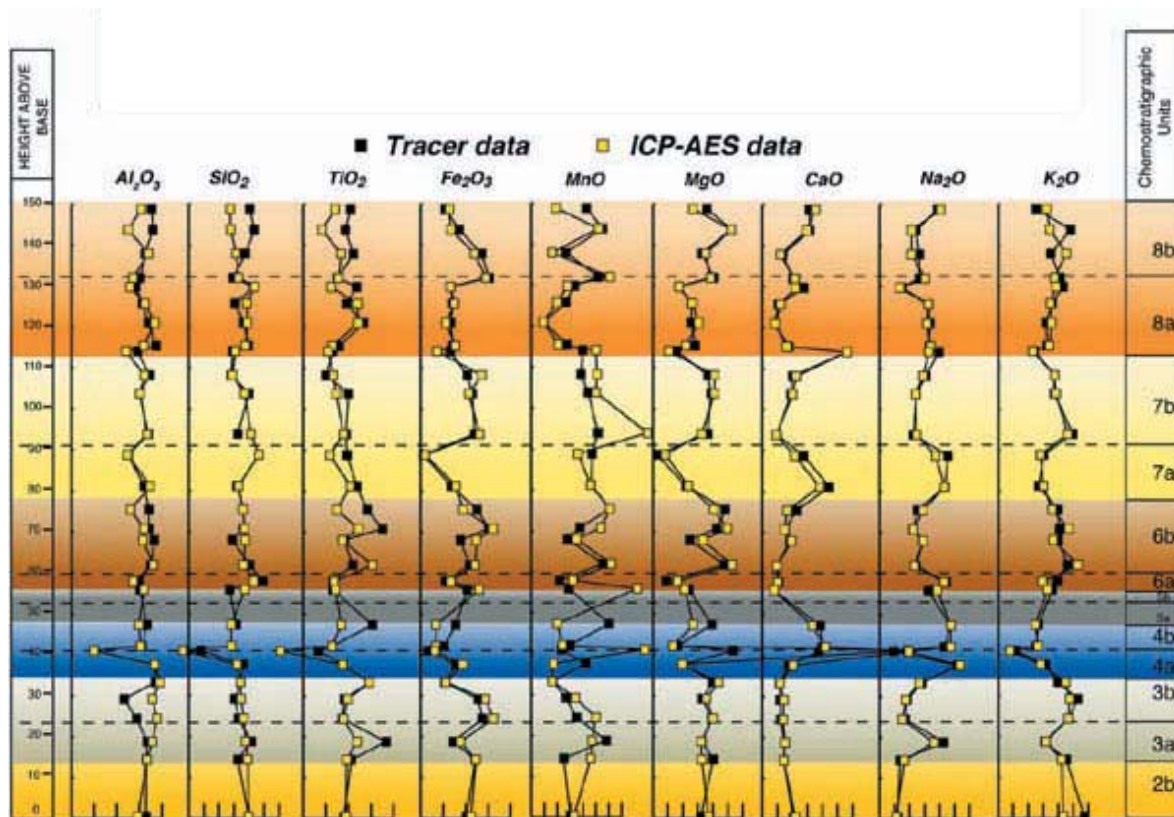


Figura 3.7. Perfiles generados a partir de la composición de nueve elementos, en donde se puede apreciar las respectivas unidades químicas en que se ha subdividido la secuencia perteneciente a la Formación Green River en Wyoming (USA). Tomado de ROSENWASSER *et al.* (2000).

Las correlaciones geoquímicas no se construyen solamente en base a la abundancia geoquímica en su totalidad, como la invariabilidad de los elementos mayoritarios que están envueltos en la actividad diagénética. Las huellas características químicas se concentran en la distribución de elementos traza, los cuales están asociados a minerales accesorios tales como minerales pesados y minerales de arcilla. Por ejemplo, los elementos de Zr y Hf están concentrados en granos refractarios, lo cual hace posible que permanezcan inalterados por los procesos diagénéticos y además preserve el marcador geoquímico detrítico inherente al área fuente (PEARCE & JARVIS 1995).

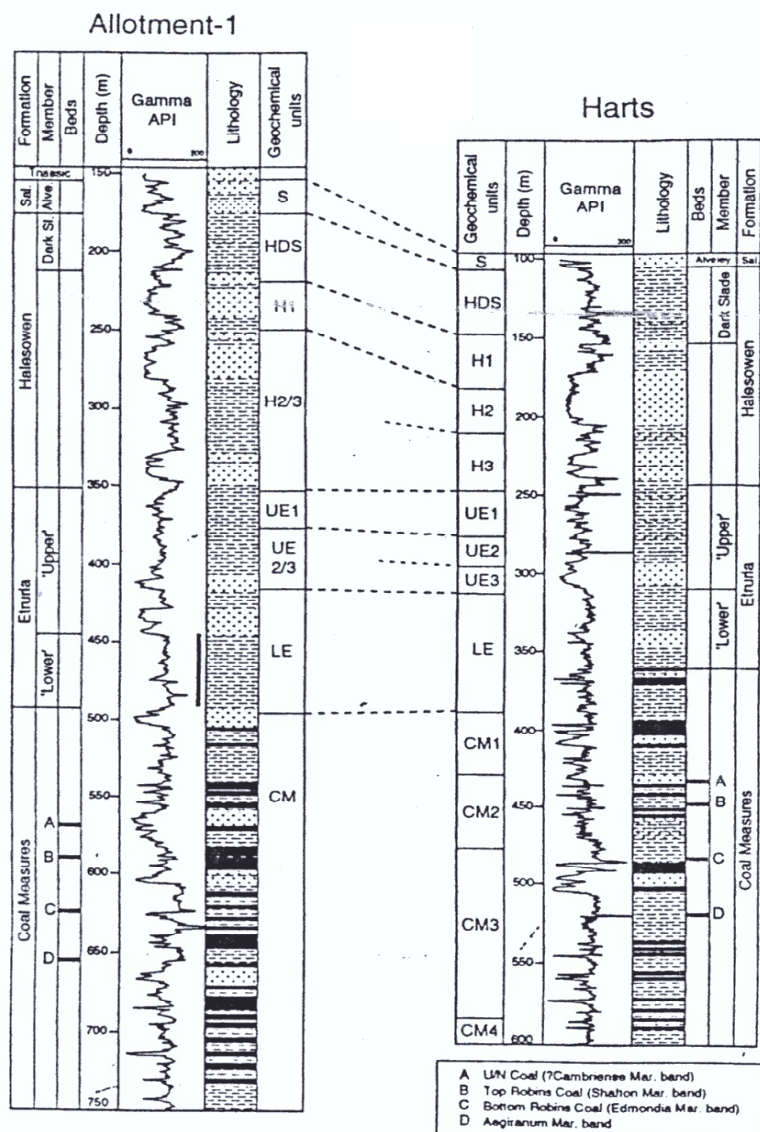


Fig. 3.8. Correlación realizada entre dos pozos, utilizando como herramienta la caracterización geoquímica y el establecimiento de quimiofacies. Tomado de PEARCE & JARVIS (1995).

3.3.2. CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTOS TERRÍGENOS SEGÚN HERRON (1988)

En años recientes se ha introducido una nueva herramienta en el campo de la caracterización de formaciones de sedimentos terrígenos, que permiten en base a la información geoquímica establecer un esquema de clasificación de areniscas y lutitas que difiere mucho de los anteriores esquemas elaborados en base a la clasificación petrográfica como las de DOTT (1964), FOLK (1968) y PETTJOHN *et al.* (1972, en HERRON 1988), donde a veces ocurren ambigüedades por la matriz, los fragmentos líticos o por no poder

establecer adecuadamente los límites composicionales exactos en estos esquemas (NOGUERA & YÉPEZ 2002).

Un esquema usando las concentraciones químicas para clasificar areniscas y lutitas es presentado por HERRON (1988) usando los logaritmos de las relaciones de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ y las concentraciones de Ca (%). Tal caracterización resulta beneficiosa en la correlación de pozos, interpretación de los ambientes de depositación, evaluación de la calidad de reservorio, análisis del marco tectónico y en general a la geología de subsuelo (NOGUERA & YÉPEZ 2002).

La relación de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ ha sido descrita como un indicador de madurez mineralógica (PETTIJOHN *et al.* 1972).

La relación de hierro total, expresada como Fe_2O_3 , y K_2O son efectivos en distinguir fragmentos líticos de feldespatos en una amplia variedad de areniscas. La relación de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ puede ser expresada como un indicador de estabilidad mineralógica (HERRON 1988).

A bajas temperaturas y presiones características de los ambientes de sedimentación, los minerales formadores de rocas más estables son los feldespatos-K, mica (muscovita), y cuarzo, de los cuales los dos primeros son ricos en K y los tres son bajos en contenido de Fe. En contraste, los minerales formadores de roca menos estables, comúnmente ocurren en fragmentos líticos, tienden a ser enriquecidos en Fe y Mg (HERRON 1988).

Por lo tanto, como una regla general: los compuestos de minerales estables tienen bajas relaciones de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, y los compuestos de minerales menos estables, localizados cerca de la fuente de sedimentos y conteniendo abundantes fragmentos líticos, tienen relaciones altas de $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$. Solamente en cuarzoarenitas muy maduras, conteniendo poco Fe y K, tendrán relaciones insignificantes (HERRON 1988).

Un tercer eje del total de Ca, (no mostrado en la figura 3.9) divide las muestras en el sistema de clasificación de areniscas en no calcáreas ($\text{Ca} < 4\%$), calcáreas ($4\% < \text{Ca} < 15\%$), y carbonáticas ($\text{Ca} > 15\%$). La calcita y dolomita son importantes componentes diagénéticos de areniscas y éstas no pueden corresponder apropiadamente en un sistema de clasificación de areniscas. Este eje es incluido porque la cementación carbonática tiene importancia para la formación de propiedades tales como porosidad, permeabilidad y dureza de la roca (HERRON 1988).

Este mismo autor indica que para muchas areniscas, las concentraciones de Ca están por arriba del 1%, indicando fuertemente algo de cementación carbonática; para otras areniscas, la fuente del Ca puede ser minerales no carbonáticos incluyendo la plagioclasa. La línea divisoria de 4% fue deliberadamente elegida para evitar describir areniscas libre de carbonato como calcáreas a riesgo de perder algunas ligeramente calcáreas. La división entre una arenisca calcárea y una arenisca carbonática es usualmente tomada a 50% de carbonato. La división en este esquema de $\text{Ca} = 15\%$ refleja cerca de 50% de un carbonato de partes iguales de calcita y dolomita (HERRON 1988).

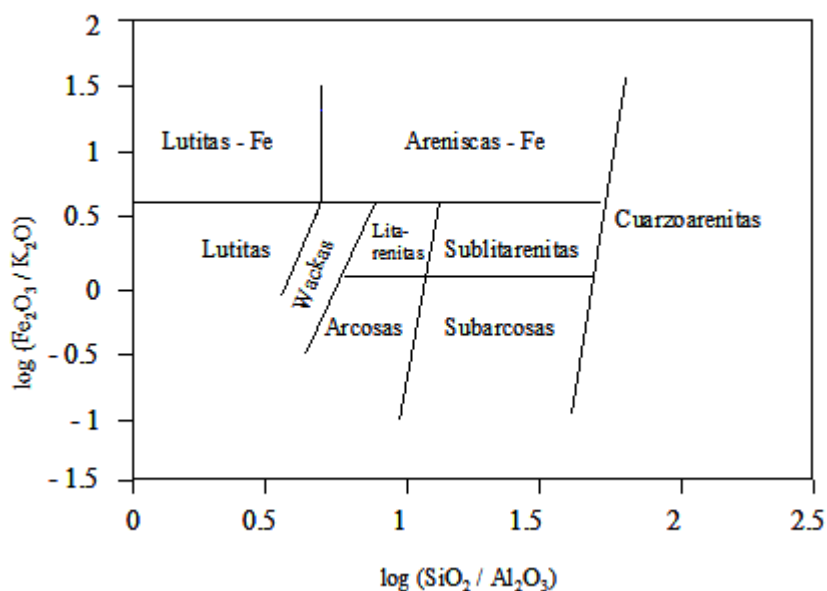


Figura 3.9. Sistema de clasificación de sedimentos terrígenos. Tomado de HERRON (1988).

Varias de las categorías mostradas en la figura 3.9 (cuarzoarenita, subarcosa, sublitenita, litenita y wacka) siguen el esquema de clasificación de areniscas de DOTT (1964), FOLK (1968) y PETTIJOHN *et al.* (1972). La lutita, no presentada en el esquema geoquímico de PETTIJOHN *et al.* (1972), es distinguida de la wacka principalmente por una relación baja de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, ya que son abundantes en minerales de arcilla. Las muestras con muy alta relación $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ (> 4) son clasificadas como ricas en hierro o ferruginosas, y más allá en pobres condiciones como arenitas ricas en Fe (ricas en glauconita) o lutitas ricas en Fe (conteniendo abundante pirita o siderita) en base a la relación de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (HERRON 1988).

3.4. TRABAJOS PREVIOS EN GEOQUÍMICA DE ROCAS SEDIMENTARIAS

Numerosos investigadores han realizado trabajos que demuestran la importancia de la geoquímica como una herramienta para la caracterización y correlación de secciones estratigráficas. A continuación se hace referencia a algunos de estos, que han sido utilizados para la realización de este trabajo:

Trabajos a nivel internacional

Autor: AI-GAILANI (1980)

Título: *Geochemical identification of unconformities using semi-quantitative x-ray fluorescence analysis.*

Un análisis semicuantitativo de fluorescencia de rayos x fue llevada a cabo en muestras de rocas, ubicadas a lo largo de discordancias en Inglaterra e Irak, con la finalidad de investigar variaciones composicionales producidas en estas superficies. Para este estudio muestras de núcleos de 7 pozos fueron analizadas por medio de un espectrómetro multicanal, determinando finalmente Si, Al, Fe, Ca, Mg, Na, K y P reportados como óxidos y en % en peso. Los resultados obtenidos reflejaron alteraciones diagenéticas y transformaciones minerales, que evidencian y ratifican las transformaciones producto de los períodos de exposición de los paleosuelos y las subsecuentes fase de desintegración,

meteorización y enterramiento, que resultan en cambios en la fábrica y la composición mineral de las mismas.

Autor: JORGENSEN (1986).

Título: *Chemostratigraphy of Upper Cretaceous Chalk in the Danish Subbasin.*

En este trabajo se realizó un estudio geoquímico en la parte central de la subcuenca danesa, a partir del análisis de ripios y núcleos tomados de seis pozos, que atraviesan secuencias de calizas del Cretácico Superior. Para éste, se determinaron las concentraciones de Mg, Sr, Ca, Mn, y Zn, mediante la utilización de un espectrómetro de absorción atómica. Los resultados analíticos se utilizaron para construir perfiles de contenido de carbonato y distribuciones elementales, los cuales mostraron patrones bien definidos que hicieron posible comparar las diversas secciones. Se evidenció la poca o nula influencia del lodo de perforación y de derrumbes, en los datos geoquímicos observados, así como la aplicabilidad de los datos geoquímicos tomados de ripios para secuencias de calizas en el análisis de cuencas. Además con estudios bioestratigráficos, litoestratigráficos, y otros, enfatizó el valioso aporte de la quimioestratigrafía a estas otras técnicas como método de exploración del subsuelo.

Autor: HILL (1990)

Título: *Vertical distribution of elements in deposit N° 1, Hat Creek, British Columbia: a preliminary study.*

Examinó 65 muestras provenientes de un pozo representativo de 4 zonas de carbón superpuestas, en el graben de Hat Creek. Se analizaron mediante un espectrómetros de absorción atómica y de fluorescencia de rayos x, obteniendo relaciones entre cambios en ambientes depositacionales, incrementos en aportes de sedimentos específicos (como cenizas volcánicas) y distintos elementos detectados. Distinguen ciclos en la depositación de la secuencia sedimentaria en la zona en estudio.

Autor: CORADOSSI *et al.* (1991)

Título: *Mineralogy and geochemistry at the Miocene / Pliocene boundary in the Maccarone stratigraphic sequence (Marche, Central Italy).*

Analizaron más de 100 muestras provenientes de la secuencia estratigráfica de Maccarone en Italia central, de aproximadamente 210 metros de espesor que incluye arcillas margosas, margas arcillosas y calizas evaporíticas. Determinaron la composición mineralógica de roca total para cada muestra, así como para la fracción de arcillas y obtuvieron la existencia de un grupo de elementos como Fe, Mn, Cu, Zn, Ni y Li mediante espectrometría de absorción atómica. Definen una secuencia de cambios causados por diferencias en la relación precipitación / evaporación, así como en la profundidad de la cuenca debido a variaciones en el aporte de sedimentos marinos y continentales durante el Mioceno Superior y el Plioceno Inferior.

Autor: MURRAY & LEINEN (1993)

Título: *Chemical transport to the seafloor of the Equatorial Pacific Ocean across a latitudinal transect at 135°W: Tracking sedimentary major, trace and rare earth element fluxes at the Equator and the Intertropical Convergence Zone.*

Compararon el comportamiento de un grupo de elementos con el flujo de CaCO_3 , ópalo y C_{org} (cuyo máximo se encuentra hacia el Ecuador), para evaluar las posibles vías a través de las cuales han sido transportados elementos traza hasta el fondo del Pacífico ecuatorial. Establecieron relaciones entre las fuentes de aporte y las especies químicas transportadas.

Autor: BELLANCA *et al.* (1995)

Título: *Lake Margin carbonate deposits of Las Minas Basin, Upper Miocene, southeastern Spain. A sedimentological and geochemical approach to the study of lacustrine and palustrine paleoenvironments.*

Estudiaron los depósitos carbonáticos marginales y palustrinos de la Cuenca Las Minas en España, analizando isótopos de Carbono en ambos. Interpretaron un descenso en la

ocurrencia de dichos isótopos como producto de la alteración pedogenética en estos carbonatos y señalan que los bajos índices en las relaciones Mg/Ca y Sr/Ca que se presentan sugieren un continuo flujo de agua dulce durante su depositación.

Autor: MURRAY *et al.* (1995)

Título: *Terrigenous Fe input and biogenic sedimentation in the glacial and interglacial Equatorial Pacific Ocean.*

Consideran al Océano Pacífico ecuatorial una zona donde se acumulan altas cantidades de materia orgánica baja en clorofila y alta en nutrientes convencionales, estudiando allí las concentraciones de partículas de Fe a partir de núcleos de sedimentos depositados entre los últimos seis ciclos glaciales (aproximadamente 600.000 años). Sus análisis incluyen Fe total, terrígeno y componentes biogénicos que trataron mediante técnicas químicas espectrales y estratigráficas. Concluyeron que el aporte terrígeno no muestra patrones consistentes durante estos períodos y que la acumulación de partículas de Fe es dependiente de la acumulación de material terrígeno, además de considerar que no existe una relación espectral coherente entre el aporte de Fe y la periodicidad glacial. Mencionan la relación Fe/Ti como un marcador de primer orden en cambios mineralógicos.

Autor: PEARCE & JARVIS (1995)

Título: *High-resolution chemostratigraphy of Quaternary distal turbidites: a case study of new methods for the analysis and correlation of barren sequences.*

En este trabajo se realizó un estudio geoquímico inorgánico de las turbiditas distales del Cuaternario, ubicadas al NE del plano abisal de Madeira. Determinaron 22 elementos mayoritarios, minoritarios y traza, por medio de análisis de ICP-AE y ICP-MS, de un total de 528 muestras de núcleos, espaciadas entre 1 y 80 cm. Establecieron correlaciones a distancias mayores de 500 km mediante la construcción de perfiles de elementos químicos y sus relaciones, así como el empleo de diversas técnicas estadísticas. De la misma manera los patrones geoquímicos verticales y laterales permitieron clasificar a las turbiditas en cuatro grupos composicionales y confirmar interpretaciones acerca de procesos

depositacionales, paleoflujos y patrones de paleotransporte. Los cuatro grupos composicionales fueron interpretados y a partir de estos se establecieron cuatro posibles fuentes de aporte para estas rocas.

Autor: MURRAY & LEINEN (1996)

Título: *Scavenged excess aluminum and its relationship to bulk titanium in biogenic sediments from the Central Equatorial Pacific Ocean.*

En este trabajo presentan la determinación de Al y Ti en sedimentos superficiales, ya que estos elementos han sido tradicionalmente asociados a fases terrígenas de sedimentos marinos. Sin embargo consideran que la relación Al/Ti no depende únicamente de la concentración de componentes biogénicos sino de la acumulación absoluta de estos elementos, ya que dicha relación tiende a variar en el tiempo si proviene de sedimentos biogénicos.

Autor: WINCHESTER & MAX (1996)

Título: *Chemostratigraphic correlation, structure and sedimentary environments in the Dalradian of the Co. Mayo inlier, NW Ireland.*

Caracterizan químicamente y correlacionan secciones estratigráficas aisladas (en Irlanda y Escocia) geográfica y estructuralmente. Este análisis revela comportamientos químicos similares a lo largo del tiempo, sugiriendo una evolución en ambientes depositacionales que se relacionan entre sí.

Autor: MURRAY *et al.* (1998)

Título: *Interstitial water chemistry of deeply buried sediments from the Southwest African Margin: A preliminary synthesis of results from LEG 175.*

Estudian mineralizaciones de materia orgánica y la relación disolución / precipitación de carbonatos a partir de especies disueltas en aguas intersticiales de sedimentos profundamente enterrados en el margen suroeste africano. Dichos procesos están regidos

por procesos diagenéticos y estos autores asocian la degradación de materia orgánica con altas concentraciones de fosfatos y amoníaco que generan precipitaciones de fases de carbonatos autigénicos.

Autor: PEARCE *et al.* (1999).

Título: *Chemostratigraphy: a method to improve interwell correlation in barren sequences: a case study using onshore Duckmantian/Stephanian sequences (West Midlands, U.K.)*

El estudio geoquímico realizado en este trabajo comprendió la determinación de un total de 19 variables, entre componentes mayoritarios y elementos traza, de dos pozos y algunos afloramientos, pertenecientes a las secciones Duckmantian/Stephanian, ubicadas al oeste de las Tierras medias (U.K), para lo cual se analizaron un total de 175 muestras de núcleos y ripios, mediante el empleo de análisis de ICP-AES. Fueron construidos perfiles químicos para ambos pozos y relaciones entre elementos, los cuales permitieron caracterizarlos geoquímicamente y realizar correlaciones entre los mismos. Las variaciones geoquímicas observadas fueron usadas igualmente para el análisis de cambios en la mineralogía de las arcillas y cambios en las asociaciones de minerales pesados, lo cual junto a datos y estudios previos, permitió deducir aspectos como proveniencia de los sedimentos, diagénesis y condiciones del ambiente de depositación. La correlación y otras interpretaciones fueron confirmadas mediante el uso de funciones discriminantes, y otras técnicas estadísticas se emplearon para la visualización y comprensión de los datos.

Autor: REYMENT & HIRANO (1999).

Título: *Exploratory multivariate statistical analysis of geochemical data from the Cenomanian-Turonian transition of the Yezo Supergroup, Hokkaido, Japan.*

A partir de un conjunto de 38 muestras pertenecientes al Grupo Yezo, en Japón, y correspondientes al límite Cenomaniense-Turonense, se determinaron 8 elementos mayoritarios (TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , Na_2O y K_2O), 2 elementos minoritarios (SrO y BaO) y 14 tierras raras (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er,

Tm, Yb y Lu). Para el procesamiento de los datos se utilizaron técnicas de estadística multivariante. Evidenciaron un alto nivel de segregación química entre el Turoniense y Cenomaniense, y significativas diferencias en las propiedades de la estadística multivariante, entre las muestras del Cenomaniense Tardío y el Turoniense Temprano. Estas relaciones sugirieron que posiblemente el límite Cenomaniense-Turoniense, marca una disparidad en algunos factores sedimentarios como reflejo de la composición química de los sedimentos. Una de las posibles razones de este hecho fue interpretada como un aumento brusco en el proceso de deflexión de la oxigenación que venía observándose, debido al establecimiento de condiciones sedimentarias más abiertas.

Autor: NORTH & BOERING (1999)

Título: *Spectral Gamma Ray logging for facies discrimination in mixed fluvial – eolian successions. A cautionary tale.*

Presentan datos de rayos gamma espectral y los relacionan con datos provenientes de estudios sedimentológicos y petrográficos convencionales de muestras tomadas en afloramientos del Grupo Cutler al sureste de Utah, Estados Unidos de América. Debido a que los datos de la espectrometría gamma se solapan en los depósitos eólicos y fluviales, bien definidos mediante las técnicas estratigráficas tradicionales, se concluye que esta técnica no ayuda a diferenciar estos tipos de ambientes depositacionales entre sí.

Autor: IRINO & PEDRESEN (2000)

Título: *Geochemical character of glacial to interglacial sediments at site 1017, Southern Californian Margin: Minor and trace elements.*

En este trabajo se analizan elementos minoritarios y traza contenidos en sedimentos para examinar la proveniencia y vías de transporte de estos durante los últimos 25.000 años. Clasifican los elementos según su origen en: diagenéticos, biogénicos y/o terrígenos. Asocian algunas especies químicas con la variabilidad en la oxigenación de las aguas de fondo, con la profundidad del límite de oxido-reducción en el sedimento, con el aporte de carbonatos biogénicos, entre otras conclusiones.

Autor: MURRAY *et al.* (2000)

Título: *Export production and terrigenous matter in the central Equatorial Pacific Ocean during interglacial oxygen isotope stage 11.*

En este trabajo se estudian cambios en la distribución espacial y temporal de Ba, Al y P, a partir de núcleos de sedimentos, para asociarla al flujo de partículas biogénicas durante ciclos glaciales e interglaciales del Cuaternario. Se observa una distribución más restringida durante los períodos interglaciales y más amplia durante la glaciación.

Autor: YARINCIK & MURRAY (2000)

Título: *Climatically and sensitive eolian and heipelagic deposition in the Cariaco Basin, Venezuela, over the past 578.000 years: results from Al/Ti and K/Al.*

Estos investigadores enfatizan el significado de las relaciones Al/Ti y K/Al en sedimentos y los utilizan para interpretar fuentes eólicas y hemipelágicas de estos. Dichas relaciones se muestran altas durante los períodos interglaciales y bajas durante las glaciaciones, dado que el bajo índice K/Al durante las glaciaciones sugiere el bajo nivel del mar, mientras que la relación Al/Ti indica altas proporciones de rutilo proveniente de zonas desérticas que es transportado por el viento.

Autor: EHRENBURG & SVANA (2001)

Título: *Use of spectral gamma-ray signature to interpret stratigraphic surfaces in carbonate strata: An example from the finnmark carbonate platform (Carboniferous – Permian), Barents Sea.*

Estos autores examinan perfiles de rayos gamma espectral en pozo a una sección estratigráfica de la plataforma de Finnmark entre Noruega y Rusia. Relacionan sus datos con observaciones petrográficas convencionales previas y determinan que los picos mostrados por el K y el Th están directamente relacionados con el contenido de aluminosilicatos, mientras que los picos del U, que no es correlacionable con los anterior

mente mencionados, corresponden a transgresiones relativamente menores dentro de intervalos carbonáticos cíclicos de aguas someras.

Trabajos a nivel nacional

Autor: ERLICH *et al.* (2000)

Título: *Geochemical characterization of oceanographic and climatic changes recorded in Upper Albian to Lower Maastrichtian strata, western Venezuela.*

En este trabajo se utilizan datos geoquímicos orgánicos e inorgánicos para caracterizar las condiciones paleoceanográficas y paleoclimáticas del occidente venezolano durante el Albiense Superior – Maastrichtiense Inferior. Se demuestran los principales eventos depositacionales ocurridos en la zona durante ese período, relacionándolos con los niveles de oxigenación de aguas de fondo, las tasa de evaporación y con eventos globales a su vez.

Autor: BRICEÑO & CALLEJÓN (2000)

Título: *Chemostratigraphic correlation of the source rock in the La Luna – K/T petroleum system in Southwestern Venezuela*

Describen secciones estratigráfica de las Formaciones La Luna y Navay a partir de muestras tomadas en distintas localidades de Los Andes venezolanos, que fueron analizadas para Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ag, Cd, La, Ce, Hf, Ta, Th y U mediante ICP; los óxidos mayoritarios Na₂O, MgO, Al₂O₃, SiO₂, P₂O₅, K₂O, CaO, TiO₂, Cr₂O₃, MnO y Fe₂O₃ mediante fluorescencia de rayos x, además de analizar COT (Carbono Orgánico Total) y kerógeno en muestras seleccionadas. Establecen condiciones ambientales y cambios durante la sedimentación mediante relaciones elementales y estadística multivariante.

Autor: CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000)

Título: *Caracterización química y radiométrica de secciones estratigráficas de las Formaciones Barco y Mirador, San Pedro del Río, estado Táchira.*

Estudian a través de tres métodos analíticos como fluorescencia de rayos x por energía dispersiva, difracción de rayos X y espectrometría gamma, las formaciones Barco y Mirador, en la localidad de San Pedro del Río, estado Táchira, a partir de 246 muestras representativas de dichas formaciones. Realizan a sus resultados procesamientos estadísticos y construyen perfiles de variaciones verticales para finalmente establecer unidades químico - radiométricas que representan posibles cambios en ambiente de depositación.

Autor: RODRÍGUEZ *et al.* (2000)

Título: *Caracterización química por fluorescencia de rayos x y radioisotópica por espectrometría gamma multicanal de dos secciones estratigráficas de la Formación Guárico, El Pao, estado Cojedes.*

Realizan un análisis químico, radiométrico, mineralógico y petrográfico de dos secciones distintas pertenecientes a la Formación Guárico, a partir de 406 muestras mediante el uso de técnicas como fluorescencia y difracción de rayos x, espectrometría gamma multicanal y petrografía microscópica. Con los resultados obtenidos mediante la fluorescencia de rayos x y de radiometría hacen un análisis estadístico, además de construir perfiles de distribución que les permitieron caracterizar estas secciones y definir unidades químico-radiométricas. Interpretan la ocurrencia de pulsos tectónicos y disminuciones en el nivel de energía del medio durante la depositación de una de las secciones. El análisis petrográfico explica y corrobora los resultados mineralógicos arrojados por la difracción de rayos x.

Autor: GONZÁLEZ & SÁNCHEZ (2001)

Título: *Caracterización química y radiométrica de dos secciones de la Formación La Luna, en el estado Táchira.*

Mediante los métodos de espectrometría multicanal de rayos gamma y fluorescencia de rayos x por dispersión de la energía se caracterizaron radiométrica y químicamente estas secciones, a partir de 273 muestras. Realizan análisis estadístico y construyen perfiles de distribución para definir unidades químico-radiométrico, los cuales son el reflejo de las variaciones litológicas de las columnas estratigráficas de este trabajo.

Autor: MARTÍNEZ (2001)

Título: *Identificación y caracterización de quimiofacies de la Formación Barco en la localidad de San Pedro del Río, estado Táchira.*

Determina la concentración de elementos mayoritarios y traza, mediante ICP-AES, además de Carbono Orgánico Total y azufre total, para la Formación Barco en el sur-occidente de Venezuela, a partir de 78 muestras. Distingue cuatro quimiofacies en la zona que responden a cambios paleoclimáticos y paleoambientales.

Autor: MATA (2001)

Título: *Estudio quimioestratigráfico de la Formación La Luna, estado Táchira.*

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. Sugiere marcada variabilidad de condiciones ambientales durante la sedimentación de la parte inferior de la formación, además de cambios en la fuente de sedimentos a la cuenca.

Autor: REÁTEGUI (2001)

Título: *Identificación e interpretación de quimiofacies de la Formación Mirador en la localidad de San Pedro del Río, estado Táchira.*

Define tres quimiofacies a partir de asociaciones elementales y perfiles quimioestratigráficos para en la Formación Mirador en la localidad de San Pedro del Río, estado Táchira, a partir de análisis químico por el método ICP-AES de 89 muestras de roca.

Autor: ROLO (2001)

Título: *Estudio quimioestratigráfico de la Formación Carbonera, estado Táchira.*

Estudia la paleosalinidad utilizando elementos como el B, Sr, K, Ca, y Mg entre otros y la fuente de sedimentos a través de elementos como Zr, La, Ce, Th, Cr, en la Formación Carbonera, estado Táchira, a partir de 137 muestras utilizando el método ICP. Determina que la paleosalinidad aumenta hacia el tope de la secuencia, además presenta cuatro quimiofacies que coinciden con los cambios en la paleosalinidad y la fuente de sedimentos.

Autor: NOGUERA & YÉPEZ (2002)

Título: *Caracterización química de secciones estratigráficas: Formaciones Naricual y Querecual, estados Anzoátegui y Monagas.*

Caracterizaron químicamente, mediante de fluorescencia de rayos x, ambas secciones las cuales fueron comparadas con otras en las localidades tipo. Concluyendo que la Formación Querecual en la sección Río de Oro es más carbonática y con condiciones menos reductoras que en la sección tipo y que los depósitos de llanura deltaica de la Formación Naricual marcan el inicio del levantamiento de la Serranía del Interior Oriental.

Este trabajo es semejante al de GONZÁLEZ & SÁNCHEZ (2001), de hecho ambos trabajos, juntos con los de CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000) y RODRÍGUEZ *et al.* (2000) forman parte del Proyecto CONICIT Agenda Petróleo, dentro del cual se realiza el presente el presente Trabajo Especial de Grado.

3.5. GEOESTADÍSTICA

La geoestadística es una rama de la matemática aplicada por los profesionales de las ciencias de la tierra para el modelado de distribuciones espaciales (2D y 3D) de variables regionalizadas. Estas variables tienen propiedades intermedias entre lo puramente aleatorio y lo absolutamente determinista y por lo consiguiente están caracterizadas por la presencia de incertidumbre (PEINADO 2001, en NOGUERA & YÉPEZ 2002).

3.5.1. MÉTODOS ESTADÍSTICOS UNIVARIANTES Y MULTIVARIANTES

En esta investigación solo se tratarán algunos tópicos de los métodos estadísticos univariantes y multivariantes que han sido utilizados durante su desarrollo, sin embargo si se desea obtener un conocimiento en profundo de este tema, se puede recurrir a los trabajos anteriores de este proyecto.

3.5.1.1. Análisis Univariante

Análisis básico

En la estadística descriptiva existen dos medidas principales de interés para cualquier conjunto de datos: la localización de su centro y su variabilidad. La *tendencia central* de un conjunto de datos es la disposición de éstos para agruparse ya sea alrededor del centro o de ciertos valores numéricos. La *variabilidad* de un conjunto de datos es la dispersión de las observaciones en el conjunto (DAVIS 1973) (Tabla 3.5)

Tabla 3.5. Medidas utilizadas en estadística descriptiva para conjuntos de datos.
(Tomado de NOGUERA & YÉPEZ 2002)

MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL	MEDIDAS DE VARIABILIDAD
Muestra la disposición de un conjunto de datos a agruparse ya sea alrededor de un centro o de ciertos valores numéricos.	Muestra la dispersión de los datos en un conjunto de observaciones.

Tabla 3.5. (Continuación).

Media $\bar{x} = \sum_{i=1}^n xi / n$	Varianza $S^2 = \sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2 / (n - 1)$
Mediana Es el valor de la variable tal que el número de observaciones menores que él es igual al número de observaciones mayores que él . Si el número de datos es par , se puede tomar la media aritmética de los dos valores centrales .	Desviación estándar $S = \sqrt{\sum_{i=1}^n (xi - \bar{x})^2 / (n - 1)}$ A menudo se prefiere la desviación estándar en relación con la varianza, porque se expresa en las unidades físicas de las observaciones.
Moda Es el valor de la variable que presenta mayor frecuencia absoluta. Puede haber más de una.	Covarianza Es la media aritmética de las desviaciones de cada una de las variables respecto a sus medias respectivas. $S_{xy} = \frac{\sum fi(xi - \bar{x})(yi - \bar{y})}{N} = \frac{\sum fixiyi}{N} - \bar{x} * \bar{y}$

Gráficos exploratorios

Estos gráficos se construyen luego de la obtención total de datos y tienen como finalidad visualizar de forma global el comportamiento de los mismos y/o las relaciones entre las distintas variables. Resultan ser de suma utilidad ya que permiten manipular o asimilar fácilmente un conjunto de datos brutos o sin ningún tipo de análisis, de los cuales resultaría complicada hacer algún tipo de interpretación.

Diagramas de cajas

Cuando un grupo de datos es analizado existe la necesidad de conocer el centro y dispersión de los valores con respecto al valor central, así como de la existencia de valores extremos (conocidos como anómalos), o de estudiar la distribución de los valores a lo largo del eje de medida. Los diagramas de cajas son utilizados para examinar la distribución de una variable, su centro, su dispersión y sus anómalos.

Estos diagramas representan un rectángulo, con líneas y puntos (Fig. 3.10), donde el tope y el fondo del mismo representan los percentiles 75 y 25 respectivamente y la mediana o percentil 50 corresponde a una línea dentro de la caja. El ancho de este es arbitrario mientras que el alto corresponde al rango intercuartil.

El valor adyacente superior es la mayor observación que es menor o igual que el percentil 75 más 1,5 veces el rango intercuartil. El valor adyacente inferior es la observación más pequeña que es mayor o igual al percentil 25 menos 1,5 veces el rango intercuartil. Los valores adyacentes son representados como líneas en forma de T que se extienden desde cada límite de la caja.

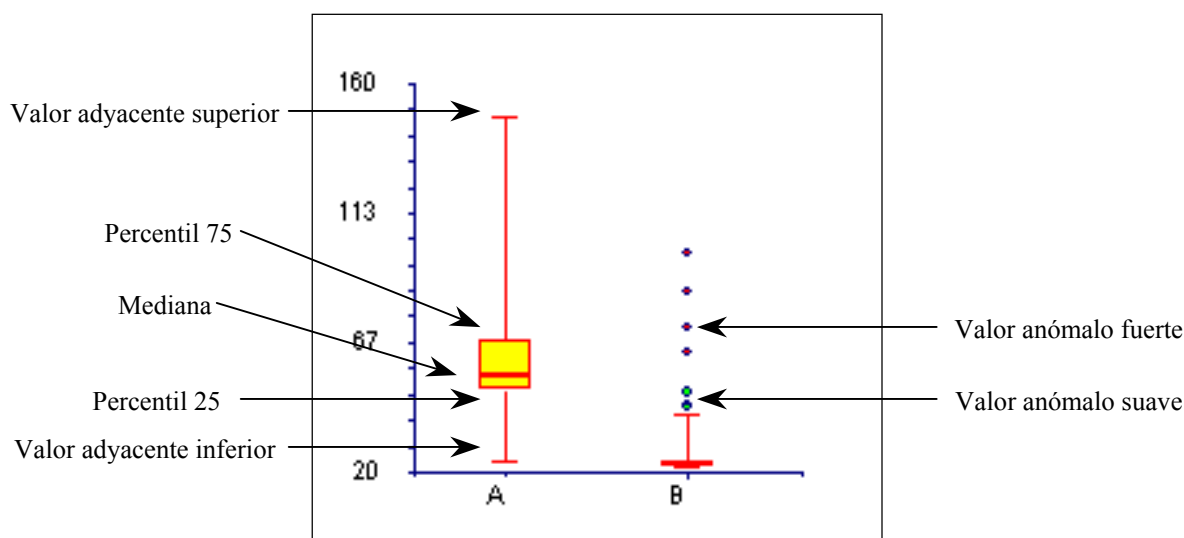


Fig. 3.10. Diagramas de cajas en los que se indican sus elementos más importantes

Los valores que se encuentran por encima del valor adyacente superior o por debajo del valor adyacente inferior se denominan valores anómalos y se consideran “anómalos suaves” si su valor está por debajo o por encima de tres veces el rango intercuartil a partir de los percentiles 25 y 75 respectivamente, o “anómalos severos o fuertes” si van más allá del rango intercuartil. Los anómalos suaves no son inusuales mientras que los fuertes sí lo son. Están representados como un punto y el color de este corresponde a si es suave (verde) o fuerte (rojo).

Histogramas de frecuencia

Es un gráfico en forma de barras de una variable continua que se ha discretizado en intervalos, de forma que la altura de las barras en cada intervalo indica la frecuencia relativa en éste (Fig. 3.11). Resultan de gran utilidad al momento de estudiar un conjunto amplio de observaciones que no pueden ser analizados a simple vista.

Otra descripción gráfica de la frecuencia con que ocurre cada medida viene dada por un Polígono de Frecuencia, el cual se construye dibujando segmentos de línea que unen los puntos medios de la parte superior de cada columna del histograma. Cuando los trazos rectos del polígono de frecuencia son suavizados (principalmente sus vértices) se denomina Curva de Frecuencia.

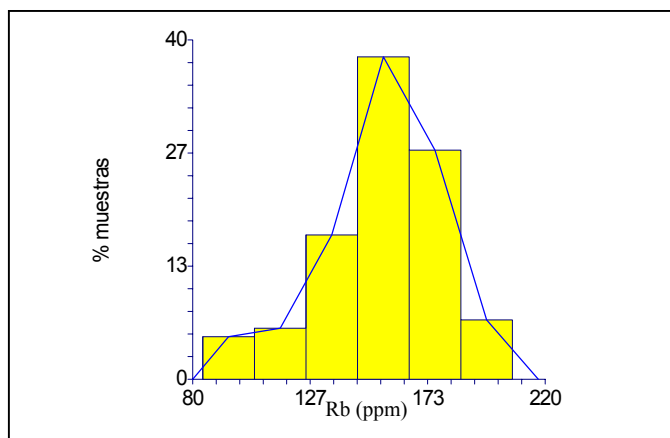


Fig. 3.11. Histograma y polígono de frecuencia del Rb en el pozo C

Dependiendo la forma que muestran los histogramas, los polígonos de frecuencia, o las curvas de frecuencia, obtenidos a partir de los mismos, puede decirse que las distribuciones de frecuencia se comportan de las maneras siguientes (Fig. 3.12):

a = distribución normal o simétrica, que se caracteriza porque las observaciones equidistantes del máximo centra tienen la misma frecuencia.

b = distribución sesgada o asimétrica, en la cual la cola de la curva a uno de los lados del máximo central es más larga que al otro lado. Si la cola está a la derecha se denomina asimetría positiva, en caso de encontrarse hacia la izquierda se llama asimetría negativa.

c = en forma de J o de J invertida, debido a que hay un máximo en un extremo.

d = bimodal, donde las clases con mayor frecuencia están separadas por una o más clases, suelen indicar la presencia de dos poblaciones.

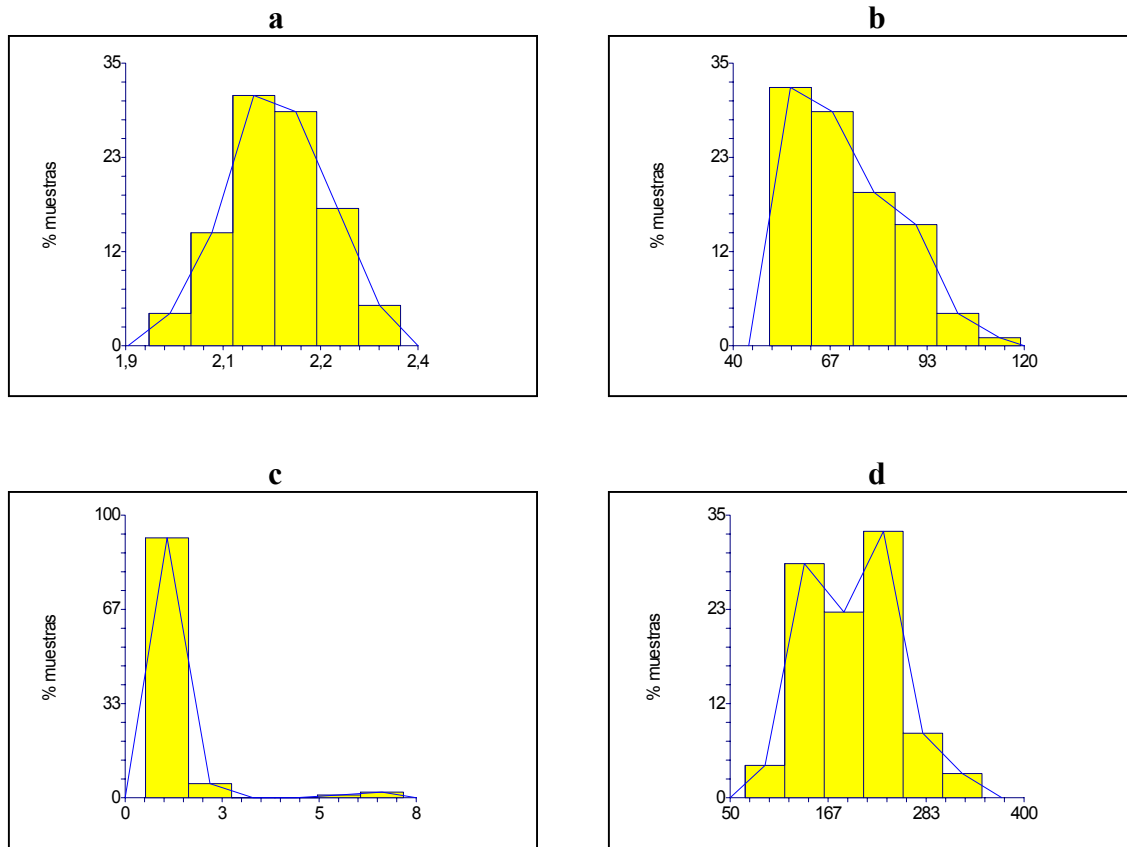


Fig. 3.12. Histogramas y polígonos de frecuencia de distintos tipos elaborados mediante el programa NCSS 2000.

También pueden existir distribuciones o curvas de frecuencia multimodales, que tienen más de dos máximos.

Diagramas de dispersión

Corresponden a gráficos de dos variables permitiendo relaciones lineales entre ellas. En estos diagramas cada dato es representado por un punto que indica una sola unidad de observación sobre la cual se han hecho dos mediciones distintas, una para cada variable, representadas en cada uno de los ejes X y Y (HOWARD & CHRISTENSEN 1983) (Fig 3.13).

A partir de un diagrama de dispersión es posible calcular curvas o líneas de regresión (recta a la cual se ajusta la distribución de los datos), además de calcular el coeficiente de correlación R , el cual es una medida estadística que describe la fuerza de la relación entre dos variables. El mismo varía entre uno (1) y menos uno (-1). El coeficiente de correlación se calcula mediante:

$$R = \frac{\text{Cov}(X,Y)}{\sigma_x * \sigma_y}$$

Cuando la línea de regresión es horizontal indica que no existe relación alguna entre las dos variables comparadas y se refleja con un coeficiente de correlación igual a cero. De manera distinta, cuando esta recta de regresión presenta pendiente, significa que las variables comparadas si se relacionan entre sí.

Si la pendiente de esta recta es positiva, indica que la relación existente entre las variables comparadas es directa o positiva y el coeficiente de correlación será positivo, por el contrario, si esta recta tiene pendiente negativa indica que la relación entre las dos variables es inversa o negativa.

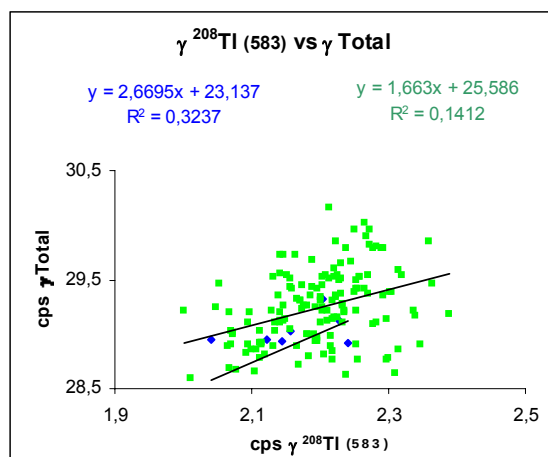


Fig. 3.13. Diagrama de dispersión de dos series de datos diferentes, mostrando la ecuación de la recta de regresión y coeficientes de correlación (R^2) de cada una.

Para saber cuando un coeficiente de correlación resulta estadísticamente representativo de una buena combinación lineal, se usa el *coeficiente de correlación crítico* (R_c), el cual indica a partir de que valor los coeficientes de correlación expresan correlaciones lineales con un 95% de confiabilidad. Para conseguir este valor es necesario primeramente calcular

los grados de libertad (F), a saber: $F = \text{número de muestras} - \text{el número de variables de la regresión}$. Para la regresión lineal hay dos variables así que se calcula como

$$F = n - 2$$

Y a partir de este se buscan los coeficientes de correlación críticos en las respectivas tablas estadísticas (Tables of the correlation Coefficient SNEDECOR 1946, apéndice VIII).

3.5.1.2. Estadística Multivariante

Cuando para cada muestra se dispone de valores correspondientes a dos o más variables que las caracterizan, el análisis estadístico se realiza utilizando todas las variables disponibles. Estos métodos resultan muy poderosos ya que permiten manipular más variables de las que pueden ser asimiladas, sin esta clase de tratamiento o mediante la simple observación de una tabla de resultados, sin embargo su estructura teórica y operacional resulta más complicada que aquellas empleadas para datos correspondientes a una sola variable (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).

Los análisis químicos y radiométricos constituyen un buen ejemplo geológico de datos multivariantes, donde las variables pueden ser concentraciones de un conjunto de elementos químicos, en unidades de porcentajes o partes por millón, en el primero de los casos, o el número de átomos de radioisótopos que se desintegran por unidad de tiempo, para el segundo caso (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).

Funciones discriminantes

Los análisis de discriminación permiten encontrar un conjunto de ecuaciones a partir de variables independientes. Es uno de los procedimientos multivariantes más ampliamente usado en los análisis geoquímicos y han sido aplicados fructíferamente en la investigación de relaciones entre elementos mayoritarios, elementos traza y en el estudio tectónico de rocas volcánicas y sedimentarias (ROLLINSON 1993), permitiendo clasificar muestras de origen desconocido en grupos previamente establecidos.

Este método radica en encontrar una combinación lineal de las variables, las cuales produzcan las máximas diferencias entre los diferentes grupos de muestras (DAVIS 1973).

El proceso de clasificación asociado al de discriminación, consiste en separar las muestras en grupos relativamente homogéneos y siendo distintos de otros grupos, sobre la base de las variables medidas. Existen pues, varias diferencias obvias entre el proceso de clasificación y el proceso de discriminación: la clasificación tiene una base interna, es decir, no depende de un conocimiento previo acerca de las relaciones entre los grupos como en las funciones discriminantes (DAVIS 1973).

Una función discriminante lineal simple transforma un conjunto original de medidas en un solo valor discriminante simple. Este valor o variable transformada, representa la posición de la muestra a lo largo de una línea definida por la función lineal discriminante (DAVIS 1973).

La función que se busca es aquella combinación lineal de un conjunto de variables, que produzca la máxima diferencia entre dos o más grupos previamente definidos por el usuario.

Cuando se calculan funciones lineales discriminantes, que representen la mejor discriminación posible entre grupos establecidos con anterioridad, se utilizan un conjunto de manipulaciones matemáticas, como lo son: suma de variables, suma de cuadrados de las variables, y suma de los productos cruzados de las variables. De esta manera se obtiene finalmente una ecuación del tipo:

$$F_m = a_1x_1 + b_1x_2 + c_1x_3 \dots\dots\dots p_1x_n$$

Donde F_m es una de las funciones; a_1 , b_1 , c_1 y p_1 representan los coeficientes de la función; x_1 , x_2 , x_3 y x_n son las mediciones correspondientes a cada variable utilizada, las cuales pueden ser SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO entre otras; m es el numero funciones o grupos, y n constituye el numero de variables.

La magnitud del coeficiente, asociado a su variable muestra la importancia relativa de dicha variable en la separación de los grupos a lo largo de la función, así la visualización de los factores permite observar el efecto que produce una o más variables en la separación de los grupos.

Cuando las funciones ya han sido determinadas y muestran que clasifican bien las muestras de los grupos definidos, entonces una muestra desconocida puede ser clasificada en uno u otro de los grupos, simplemente sustituyendo los valores correspondientes a las variables ($x_1, x_2, x_3 \dots x_n$) en cada una de las funciones. Una muestra se clasifica como perteneciente a un grupo si su función da un valor mayor que el obtenido en cualquiera de las otras funciones. Esta técnica se puede extender a cualquier numero de grupos definidos y a tantas variables como se tengan, y se calculara una nueva función para cada grupo adicional (URBANI 1976).

Esto puede ser representado gráficamente para casos en dos dimensiones como es mostrado en la figura XX. Una separación adecuada entre los grupos A y B usando ambas variables X_1 y X_2 , sin embargo, es posible encontrar una orientación a lo largo de la cual las dos agrupaciones estén más separadas y menos infladas. Las coordenadas de este eje de orientación es lo que constituye las funciones discriminantes (DAVIS 1973).

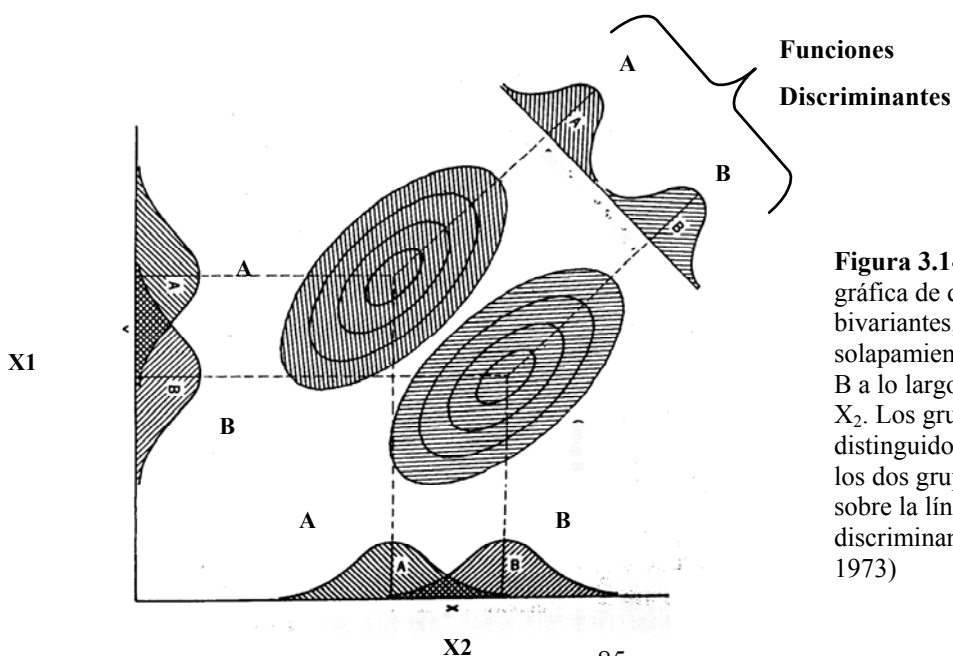


Figura 3.14.. Representación gráfica de dos distribuciones bivariantes, mostrando el solapamiento entre los grupos A y B a lo largo de las variables X_1 y X_2 . Los grupos pueden ser distinguidos por los miembros de los dos grupos proyectándose sobre la línea de la función discriminante (Tomado de DAVIS 1973)

Análisis de agrupaciones

Este constituye una de las técnicas de clasificación estadística que ordenan o clasifican un conjunto de objetos u observaciones, en diversos grupos en base a las similitudes internas de las mismas (KENDALL 1980). Este tipo de análisis, de fácil interpretación, busca convertir un conjunto heterogéneo de datos en grupos que reflejen adecuadamente las relaciones originales entre esos objetos, de esta manera, agrupa las distintas observaciones o variables que son objeto de estudio, de acuerdo a la similaridad entre ellas.

En éste trabajo se aplicará el método en el que la distancia entre dos agrupaciones se calcula como la distancia entre sus dos miembros más alejados. También recibe el nombre de método del vecino más alejado. Además se utilizará la distancia euclideana, la cual consiste en la medición del grado de similaridad entre dos muestras dada la distancia que las separa dentro de un sistema de coordenadas rectangular (HARBAUGH & MERRIAM 1968), cuyo fundamento es ampliamente descrito en los trabajos de CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000) y RODRÍGUEZ *et al.* (2000).

Existen muchas maneras de hacer un análisis de agrupaciones, dependiendo de lo que se requiera, lo más usual es calcular las agrupaciones a partir de todas las muestras, sin embargo en este trabajo se calculan mediante un método recientemente introducido que permite que el orden de las muestras se mantenga, como ocurre en una sección estratigráfica, este es el método constreñido, que es aplicado por el programa MVSP32.

La representación visual del análisis de agrupaciones es el dendrograma que es una solución de grupos jerárquica que muestra las ramificaciones combinadas y los valores de los coeficientes de distancia en cada paso (Fig. 3.15). Los casos agrupados se indican mediante líneas verticales conectadas entre sí. El dendrograma no muestra las distancias reales sino que les aplica un cambio de escala para que sus valores estén comprendidos entre 0 y 1. Así se conserva la proporción entre las distancias de un paso a otro. El eje horizontal de la figura 3.15 consiste en los objetos o individuos y el eje vertical consiste en el número de grupos formados en cada paso del procedimiento (KAUFMAN & ROUSSEEUW 1990 en NOGUERA & YÉPEZ 2002).

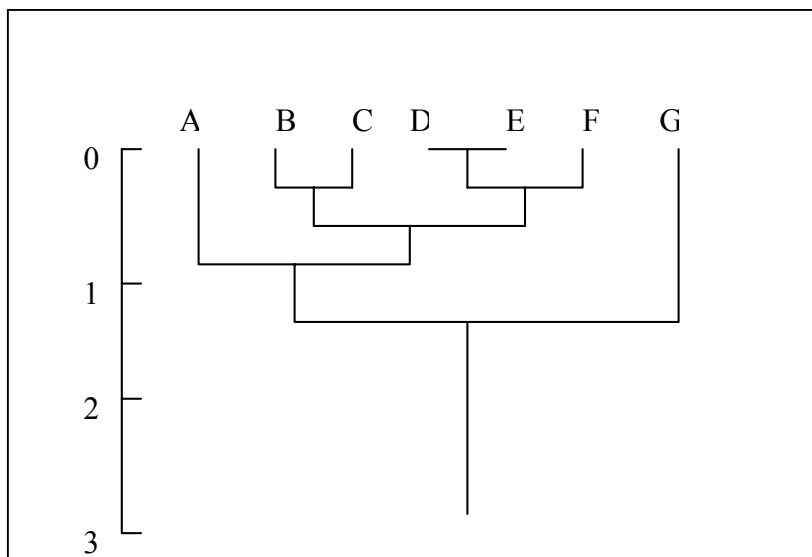


Fig. 3.15. Dendrograma. Tomado de DAVIS (1973).

3.5.2. SERIES SECUENCIALES O PERFILES DE DISTRIBUCIÓN

Son representaciones gráficas de los datos que ayudan a visualizar los valores atípicos. Normalmente, las variables se representan en el eje horizontal y los valores de escala en el eje vertical (Fig 3.16).

Técnicas de estimación de tendencias

Método del promedio móvil

Usando promedios móviles de ordenes apropiados, es posible eliminar curvas aserradas, estacionales e irregulares, dejando así tan sólo el movimiento de tendencia, es decir, para reducir el ruido o las fluctuaciones en las series (Fig. 3.16) (SPIEGEL 1991).

Una desventaja de este método es que los datos al comienzo y al final de una serie se pierden. Otra desventaja es que los promedios móviles pueden generar ciclos u movimientos que no estaban presentes en los datos originales. Una tercera desventaja es que los promedios móviles se ven muy afectados por los valores extremos (SPIEGEL 1991).

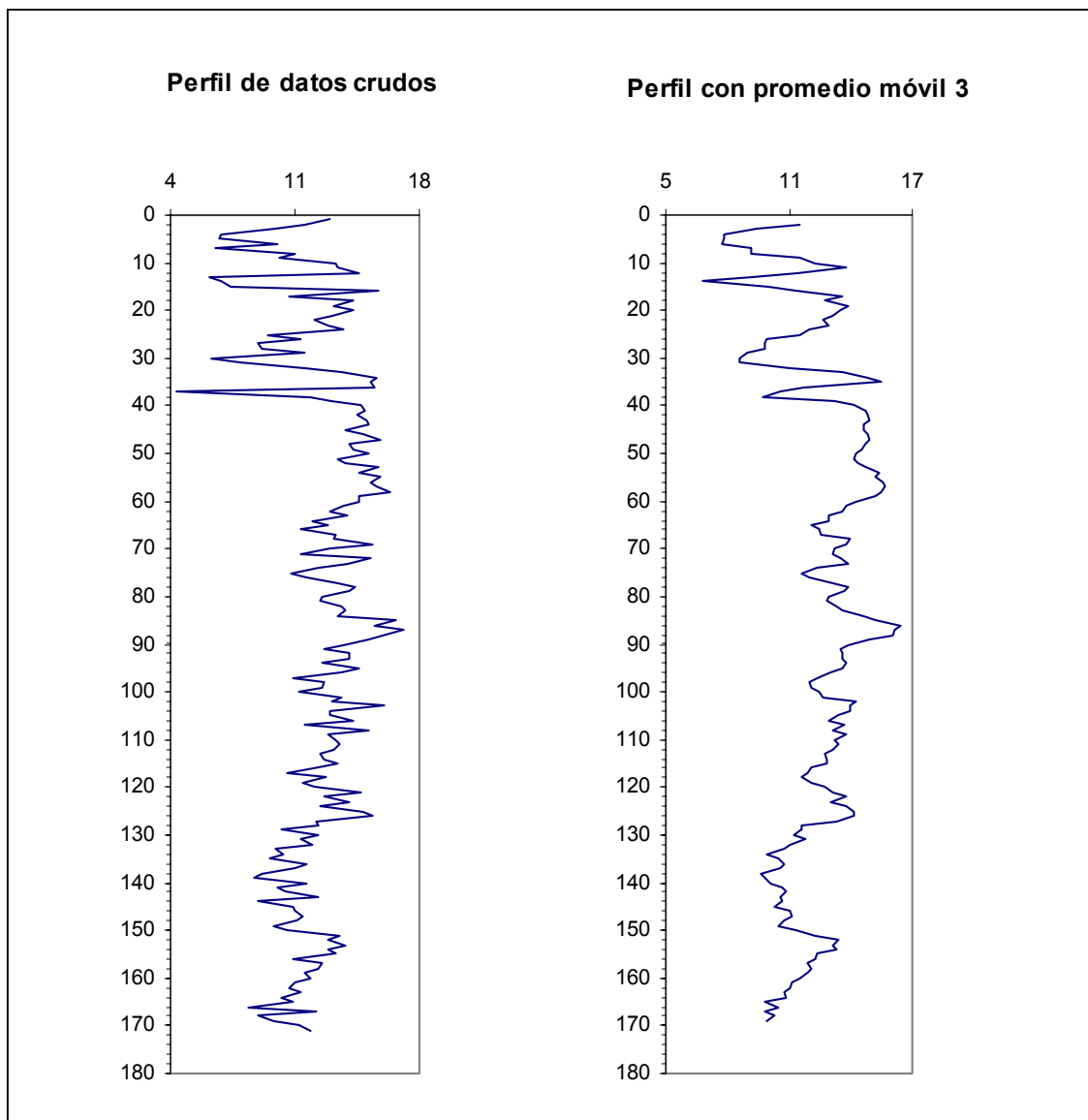
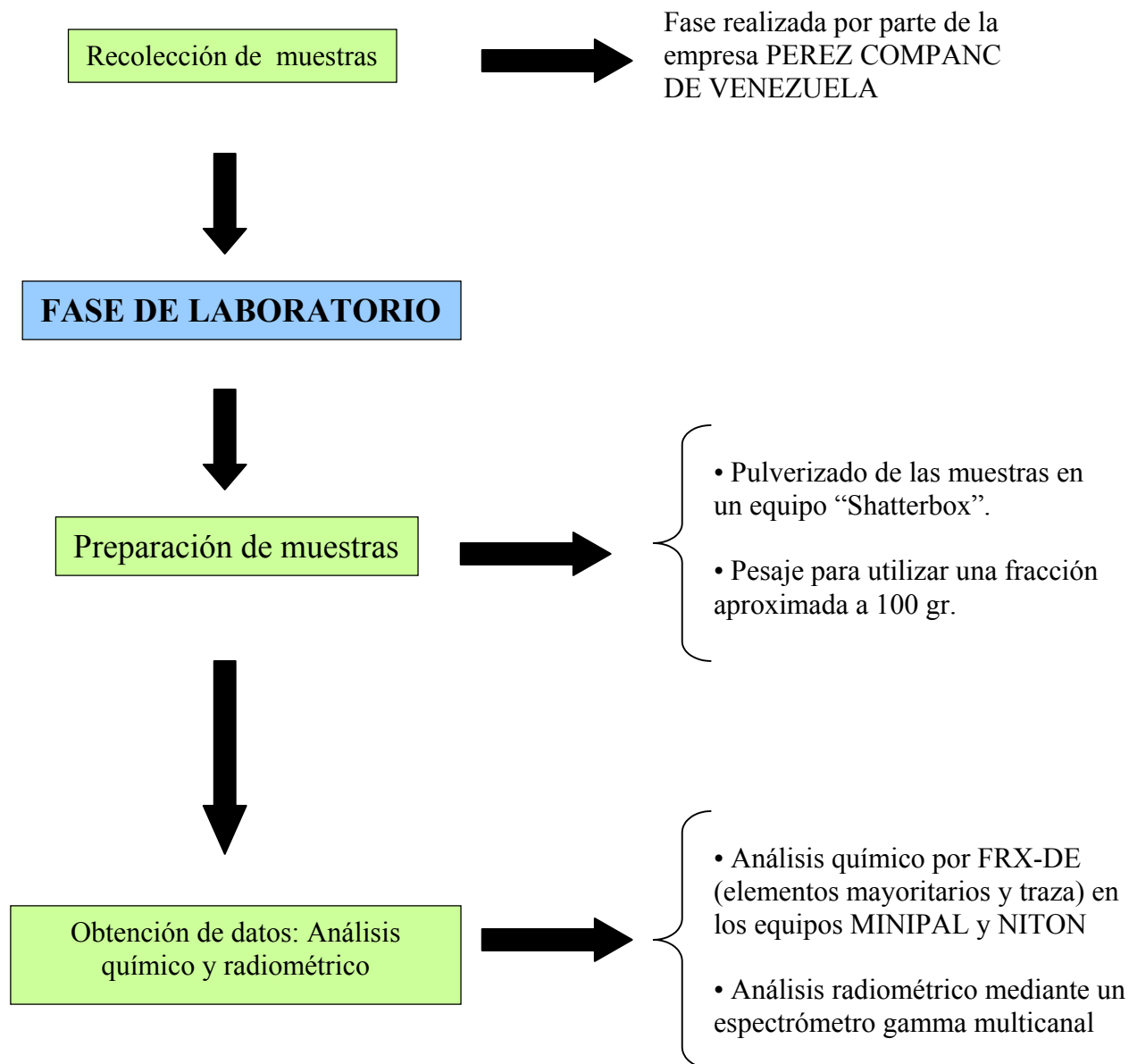


Fig. 3.16. Perfil de datos crudos y su respectivo promedio móvil 3

4. METODOLOGÍA

A continuación se presenta en forma esquemática la secuencia de pasos necesarios para la realización de este Trabajo Especial de Grado (diagrama modificado de GONZÁLEZ & SANCHEZ 2001):



4.1. RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

En esta etapa se contó con la colaboración de la empresa PEREZ COMPANC DE VENEZUELA, quienes tuvieron a disposición las muestras de canal en fracción fina, representativas de intervalos entre 3 y 21 m (10 y 70 pies), hasta llegar a la profundidad máxima de cada pozo, comprendidas entre los 963 y 1.318 m (3.160 y 4.325 pies).

4.2. FASE DE LABORATORIO

La fase de preparación de las muestras se llevó a cabo en el Laboratorio de Difracción de Rayos X y está constituida por los siguientes pasos:

Pulverizado.

Se sometieron todas las muestras al proceso de pulverizado utilizando un equipo de molienda Shatterbox (Fig. 4.1), el cual consiste de una cápsula de carburo de tungsteno. Dentro de esta cápsula se introducen unos 50 a 70 gr de roca sólida previamente triturada por un lapso de cinco minutos. La fracción necesaria para los análisis es de 100 gr, partiendo de un peso inicial de aproximadamente 120 gr para salvar las posibles pérdidas de material. El tiempo total óptimo para este proceso es de 10 minutos (según ensayos realizados por RODRÍGUEZ *et al.* 2000).



Fig. 4.1. Equipo de molienda Shatterbox.

Por el uso continuo del envase, fue necesario seguir el siguiente procedimiento de limpieza como medida para minimizar el riesgo de contaminación de las muestras (RODRÍGUEZ *et al.* 2000):

- Se limpia el recipiente con papel absorbente impregnado con alcohol isopropílico.
- Se introduce una pequeña porción de cuarzo cristalino y se pulveriza este material por unos diez segundos, con el fin de aprovechar las propiedades abrasivas del cuarzo y raspar eficientemente las paredes internas del recipiente.
- Se extrae el cuarzo pulverizado y se repite el primer paso.
- Se repite el paso 2, utilizando ahora una porción no mayor de 10 gr de la muestra, con la intención de minimizar cualquier efecto contaminante y “curar” el envase.
- Se extrae esta porción de muestra y se repite el primer paso.
- Se introducen (en dos tandas de aproximadamente la mitad) los 120 gr de muestra y se repiten los pasos anteriores.

Pesado de muestras.

Después de pulverizada la muestra, finalmente se pesan 100 gr. De la misma y se introduce en una bolsa plástica con cierre hermético debidamente rotulada (Figuras 4.2 y 4.3)



Fig. 4.2. Pesado de la muestra pulverizada



Fig. 4.3. Almacenamiento de muestras pulverizadas en bolsas herméticas identificadas

4.2.1. Análisis Químicos

4.2.1.1. Fluorescencia de rayos x por dispersión de energía (FRX-DE) con fuente de tubo de Rh

Características del equipo

Para la determinación de los componentes mayoritarios en las muestras preparadas se utilizó un equipo de espectrometría de FRX-DE. El espectrómetro, marca Phillips (Minipal PW4025), es capaz de detectar y cuantificar elementos químicos, desde Na hasta U, en muestras que pueden presentarse en cualquier forma física: sólida, líquida o pulverizada (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000). Este instrumento cuenta además con un software en ambiente Windows (Minipal Software 1.0 A, 1999), por medio del cual es posible realizar las aplicaciones necesarias para cada análisis (Fig. 4.4) (GONZÁLEZ & SÁNCHEZ 2001).

La estructura del Minipal, así como el establecimiento de condiciones óptimas para la medición (creación de aplicaciones), aparecen en el trabajo de CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000).



Fig. 4.4. Equipo Philips Minipal de fluorescencia de rayos x



Fig. 4.5. Detalle del contenedor del Minipal, con una muestra adentro

Preparación de muestras

Posteriormente a la molienda, se separa una pequeña fracción de cada una de las muestras (unos 15 gr) para ser sometidas al análisis por FRX-DE. Cada una de estas porciones son colocadas en portamuestras de plástico que constan de dos cilindros de diferente diámetro, el cilindro de diámetro menor es introducido dentro del cilindro de diámetro mayor colocando entre ambos una película de Maylar de 0.02 μ de espesor, la cual impide el contacto de la sustancia con el detector del equipo a la vez que protege la muestra de una posible contaminación (Fig. 4.6). Se preparó un portamuestra por cada muestra analizada, desechando el Maylar utilizado después de cada análisis y limpiando con alcohol isopropílico y papel absorbente los cilindros usados (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).

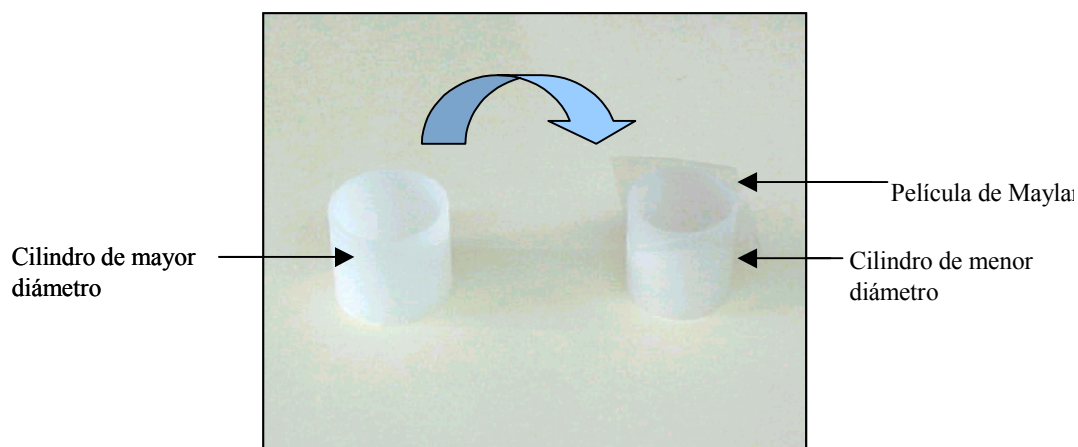


Fig. 4.6. Detalle de las partes del portamuestras plástico

Después de colocado el polvo en el portamuestras, el mismo se compactó propinándole pequeños golpes al depósito sobre una mesa, evitando contaminar la base del depósito. De esta forma, se logró distribuir uniformemente el polvo sobre el Maylar sin necesidad de elaborar pastillas prensadas, finalmente el portamuestras se cierra con una tapa del mismo material de este (Fig. 4.7) (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).



Fig. 4.7. Detalle de una muestra preparada para ser analizada en los equipos de fluorescencia de rayos x

Estimación de CO₂

Al igual que en anteriores trabajos (GONZÁLEZ & SÁNCHEZ 2001, NOGUERA & YÉPEZ 2002), en este trabajo se determinaron los siguientes elementos mayoritarios, expresados en sus óxidos: SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, MgO, CaO y K₂O, y V como elemento traza, mediante la utilización del equipo Philips Minipal y posteriormente se agregó el CO₂, cuya concentración fue estimada a partir de los valores obtenidos de CaO. La premisa es que en calizas o rocas muy carbonáticas la mayor parte del calcio se encuentra asociado al CaCO₃, de manera que el %CO₂ asociado al %CaO en la calcita se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$\%CO_2 = \frac{\%CaO * PM_{CO_2}}{100}$$

donde:

%CaO: Concentración de CaO obtenida directamente a partir de los análisis por FRX

Esta estimación se realizó sólo para efectos de controlar el % total de la muestra.

Condiciones óptimas de medición y calibración del equipo

En el análisis con el Minipal, la aplicación creada trabajó bajo las mismas condiciones utilizadas en el trabajo de GONZÁLEZ & SANCHEZ (2001) (TACH2), cuyas características se exponen a continuación:

- Tipo de muestra: polvo
- Voltaje aplicado al tubo de rayos X: 13 KeV (rango 4 -30 KV)
- Intensidad de la corriente aplicada al tubo de rayos X: 30µA (rango 1µA – 1mA)
- Tiempo establecido de medición por muestra: 240 seg.
- Tiempo real promedio de medición por muestra: 332 seg.
- Líneas espectrales medidas: Kα

La aplicación creada para este trabajo fue calibrada con 17 patrones internacionales, presentados por NOGUERA & YÉPEZ (2002). Los valores de estos patrones se introducen en las tablas de la aplicación, y seguidamente el equipo analiza cada una de las muestras. El programa utiliza estos datos para crear las curvas de calibración (porcentaje vs. cuentas por

segundo), con las cuales calcula la concentración de cada uno de los componentes. Estas curvas se presentan en el trabajo de GONZÁLEZ & SÁNCHEZ (2001).

Análisis de las muestras

Después de establecer las condiciones de la aplicación, y de calibrar el equipo, se analizaron las muestras de los cuatro pozos en estudio (Pozo A, B C y D) según los pasos establecidos por GONZÁLEZ & SANCHEZ (2001) y que se mencionan a continuación:

- Se abre la ventana de medición para la aplicación.
- Se introducen 12 envases con 15 gr de muestra en polvo en los portamuestras de plástico del contenedor, como se muestra en la figura 4.5.
- La identificación de la muestra se introduce en la computadora.
- Se realiza la medición.
- Se extraen los resultados, los que pueden ser copiados en diskette y guardados en un formato Excel.

Como paso final, la suma de los 10 componentes (incluyendo el CO₂ estimado) de cada muestra fue sumada y promediada, para obtener un valor promedio de cada pozo. De esta forma se obtuvo un valor de 85,26% en peso para el pozo A, 86,16% para el pozo B, 86,03% para el pozo C y 86,01% para el pozo D.

El porcentaje restante (entre 13, 84% y 14,74%) puede encontrarse en H₂O, Na₂O, P₂O₅ y SO₃, los cuales están presentes en rocas sedimentarias, y que no pudieron ser analizados con el instrumental disponible.

4.2.1.2. FRX-DE con fuente radioactiva de ¹⁰⁹Cd

Características del equipo

Para la determinación de los elementos traza en cada una de las muestras de los cuatro pozos, se utilizó un espectrómetro portátil de fluorescencia de rayos x, marca Niton XL-722 S. Como se ha referido anteriormente en el capítulo 3, este equipo permite, según el

tipo de muestras, analizar la concentración de elementos con pesos atómicos superiores al Fe.

El instrumento puede utilizar dos fuentes de rayos gamma (isótopos de ^{109}Cd y ^{241}Am), pero en este trabajo se utilizó la fuente de ^{109}Cd .

La operación de este equipo se realiza de manera manual mediante la apertura de la ventana de radiación directamente sobre la muestra en una plataforma diseñada específicamente para este fin. Al igual que con el equipo Minipal, el Niton serie 700 dispone de una interfase para el paso de información a un computador (Fig. 4.8) por un Software que lleva por nombre Xtras 5.7 y que trabaja bajo el sistema operativo Microsoft Windows (Windows 95, 98 o NT) (CAMPOSANO 2002).



Fig. 4.8. Equipo Niton XL-722S conectado a una computadora mediante una interfase

Preparación de muestras

La metodología de preparación de muestras es exactamente igual a la descrita anteriormente, es decir, las muestras preparadas para ser analizadas para componentes mayoritarios, posteriormente son analizadas para elementos traza en el equipo Niton XL-722S, sin cambiarlas de portamuestras (Fig. 4.7), sin embargo es necesario que la superficie de la película de Maylar forme una comba, para ello se utilizan cuñas de papel absorbente dentro del portamuestras para que el polvo ejerza mayor presión sobre el Maylar. Esto es

porque el equipo analiza el material que se encuentre más próximo a la ventana de radiación.

Condiciones óptimas de medición y calibración del equipo

Las condiciones óptimas de medición con este espectrómetro se basa fundamentalmente en dos parámetros: tiempo de medición y filtro.

CAMPOSANO (2002), por medio de pruebas realizadas en distintas muestras de rocas sedimentarias, establece el tiempo óptimo de medición para muestras pulverizadas de este tipo de rocas entre 250 y 300 segundos, de preferencia 300 segundos, ya que a este tiempo el Niton XL-722S registra las concentraciones de la mayoría de elementos contenidos en las muestras. El mismo autor resalta además que el tiempo de medición propuesto no es exclusivo de todas las rocas sedimentarias a analizar, debido a que la detección de algunos elementos depende exclusivamente de la concentración en que éstos se presenten.

El Niton XL-722S dispone de dos plataformas para mediciones: en campo y en laboratorio; la primera incluye un filtro de kapton. Ensayos comparativos realizados por CAMPOSANO (2002) con ambas plataformas demuestran que existe una leve diferencia entre los datos obtenidos independientemente del tiempo de medición. Estas diferencias se le atribuyen al filtro de kapton presente en la plataforma de mediciones de campo.

Debido a estas observaciones, para este trabajo se decidió no utilizar ningún filtro para el análisis de las muestras, y establecer un tiempo de medición de 300 segundos.

El Niton XL-722S tiene la particularidad de que al encender el instrumento, se calibra por sí mismo, sin tener que introducir ninguna clase de información, por lo que no es necesario establecer curvas de calibración previas.

Análisis de las muestras

Para esto se sigue la siguiente secuencia de pasos:

- Introducir la muestra ya preparada en el envase de plástico en el receptáculo de la plataforma, con la ventana de Maylar apuntando hacia arriba. La plataforma debe estar situada sobre una superficie plana y sólida (Fig. 4.9).
- Colocar el equipo sobre la muestra, de manera que la ventana de radiación coincida con la posición de la muestra (Fig. 4.10).
- El instrumento inmediatamente se activa y comienza con el análisis. En la pantalla del mismo aparece el cronómetro y un listado de los elementos detectados acompañados de sus concentraciones, errores y valores de los límites de detección (Fig. 3.1). Estos valores varían a medida que avanza el tiempo de medición.
- Cumplidos 300 segundos según el cronómetro de la pantalla, se retira el equipo de la plataforma. Seguidamente se anota el número de la medición (el equipo acepta hasta 600 mediciones antes de vaciar la información en una computadora) y la identificación de la muestra, ya que esta última información no puede ser introducida en el instrumento.
- Se extraen los resultados por medio del programa anteriormente mencionado para trabajarlos en Excel.



Fig. 4.9. Posición de la muestra preparada en la plataforma del Niton



Fig. 4.10. Posición del equipo sobre la muestra a analizar

4.2.2. Espectrometría gamma multicanal

Características del equipo

Para el análisis de espectrometría gamma de este trabajo se utilizó el equipo Amptek modelo GAMMA X, que incluye un analizador multicanal MCA8000A 'POCKET MCA' y un detector de NaI(Tl) de 7x7x7 cm, mencionado y descrito en el capítulo 3, el cual es un equipo portátil que está diseñado para trabajo en campo, por lo que ha sido adaptado para el trabajo en laboratorio a través de la protección del detector mediante un cilindro de plomo, con la finalidad de que las mediciones no fueran afectadas por radiaciones externas o ambientales (Fig. 4.11). Dicho detector incluye el cristal de centelleo, el tubo fotomultiplicador, la fuente generadora y reguladora de alto voltaje (ARIAS & CAMPOSANO 2002).



Fig. 4.11. Detalle de una parte del equipo de radiometría.



Fig. 4.12. Detalle de una muestra dentro del cilindro de plomo del espectrómetro gamma.

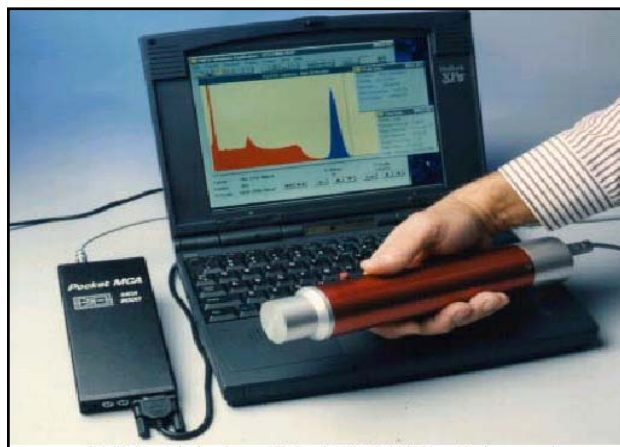


Fig.4.13. Detalle del equipo completo de radiometría en el que se observan sus partes interconectadas. Tomado de www.amptek.com

Preparación de muestras

En este equipo pueden ser analizadas las muestras dentro de las bolsas herméticas en las cuales se almacenan (Fig. 4.3), previamente limpias en su parte exterior para evitar que la medición sea afectada por contaminación.

Las condiciones óptimas de medición y calibración del equipo son ampliamente estudiados por ARIAS & CAMPOSANO (2002).

Análisis de las muestras

La secuencia de pasos seguida es la siguiente:

- Se programó el espectrómetro para que realizara las mediciones en un intervalo de 400 segundos para aumentar así el número de cuentas en cada medición y de igual manera para que mejorara la apreciación en la diferenciación de una muestra a otra.
- Se limpió cada bolsa de muestra antes de introducirla en el receptáculo de plomo macizo para evitar contaminación por polvo y / o muestras ajenas (Fig. 4.12).
- Se realizó la medición de rayos γ por un intervalo de tiempo de 400 segundos. Para almacenar las mediciones realizadas se usaron básicamente tablas con datos de medición para cada una de las ventanas tanto principales (Potasio-40 (^{40}K), Bismuto-214 (^{214}Bi), Actino-228 (^{228}Ac) y Talio-208 (^{208}Tl)), como secundarias F1, F2, F3 y F4.

- Se extraen los resultados por medio del programa anteriormente mencionado para trabajarlos en Excel.
- Las mediciones realizadas se les aplicó un factor de corrección el cual consistió en dividir el valor dado entre 400 para obtener las cuentas por segundo (cps) correspondientes a cada ventana de medición.

4.3. PROCESAMIENTO DE DATOS

Esta etapa se basa en el análisis estadístico de los pozos en estudio, así como también en la construcción de perfiles de concentración vs. altura estratigráfica (perfiles de distribución).

4.3.1. GEOESTADÍSTICA

Este análisis se lleva a cabo a través de herramientas de estadística univariante (histogramas de frecuencia, diagramas de caja), bivalente (diagramas de dispersión) y multivariante (análisis de agrupaciones y funciones discriminantes). NCSS 2000, STATGRAPHICS 4.1, MVSP32, y Microsoft EXCEL 2000 fueron los programas utilizados en la realización de estos análisis.

4.3.2. PERFILES DE DISTRIBUCIÓN

Adicionalmente al análisis estadístico, se construyeron perfiles de distribución que muestran de forma gráfica la variación en las concentraciones de los componentes químicos a lo largo de cada una de las secuencias estratigráficas. A partir del estudio de estas curvas (crudas y suavizadas) es posible hacer interpretaciones sobre la variación de los componentes, así como también la definición de las unidades químicas que caracterizan cada sección. El programa utilizado en la construcción de estos perfiles fue EXCEL 2000 y POWERPOINT 2000.

5. RESULTADOS

5.1. RESULTADOS ANALÍTICOS

Mediante las técnicas de fluorescencia de rayos x y de espectrometría gamma fueron analizadas 674 muestras, de las cuales 171 pertenecen al pozo A, 176 al pozo B, 157 al pozo C y 170 al pozo D, los resultados se presentan en los apéndices I (A, B, C y D).

Antes de discutir los resultados obtenidos, es importante mencionar el efecto de los lodos de perforación en los análisis realizados en estas muestras por tratarse de ripios o muestras de canal. Según información suministrada por la empresa PEREZ COMPANC DE VENEZUELA el lodo de perforación utilizado en todos los pozos en estudio es lodo en base de agua (bentonita) manteniéndose constante a lo largo de cada uno de ellos. Por lo tanto, la posible contaminación por lodo sería una constante en todos los pozos, por lo que las variaciones observadas en los componentes químicos y variables radiométricas analizadas son determinadas por la litología y los análisis serán enfocados justamente en dichas variaciones, no así en valores absolutos. Según JORGENSEN (1986), la contaminación por lodo de perforación en este tipo de material es despreciable y demuestra en su trabajo la aplicabilidad de muestras de canal para análisis geoquímico.

5.2. CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA

Debido al reducido tamaño de las fracciones que forman cada una de las muestras utilizadas en este trabajo, surge la necesidad de conocer el tipo de roca sedimentaria al cual corresponden. Como se ha mencionado en el capítulo 3 (sección 3.3.2), a partir de los datos de la composición química de las rocas sedimentarias HERRON (1988) establece una clasificación de areniscas y lutitas, usando los logaritmos de las relaciones de $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ y las concentraciones de Ca. Los resultados de esta clasificación se muestran en los apéndices I, para cada una de las muestras, a continuación se presentan los resultados de esta clasificación de forma gráfica:

La figura 5.1 (a y b) presentan la ubicación de las muestras de cada pozo dentro del esquema de clasificación de rocas sedimentarias terrígenas de HERRON (1988) (Fig. 3.9).

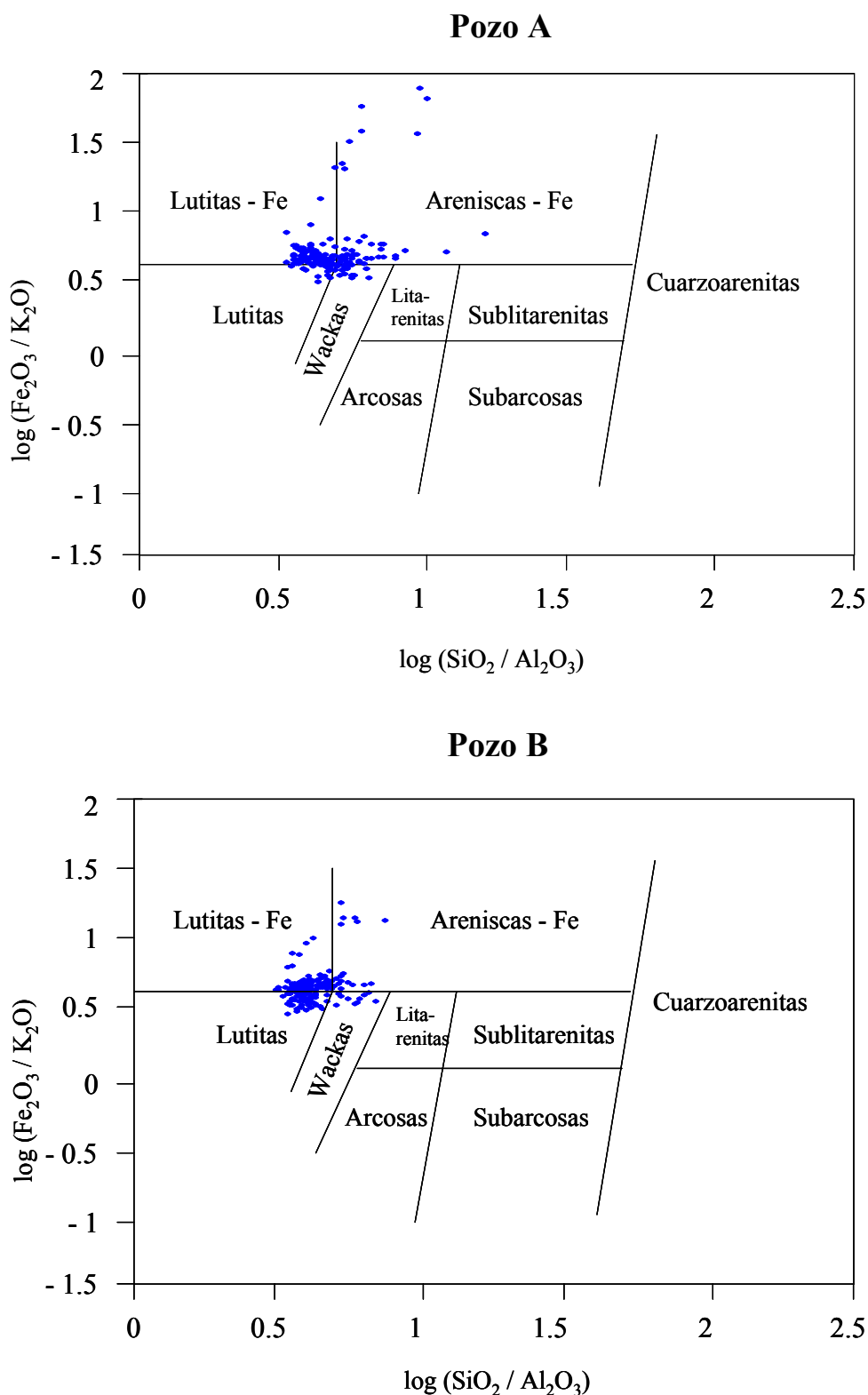


Fig. 5.1-a. Ubicación de las muestras de los pozos A y B en el esquema de clasificación de HERRON (1988).

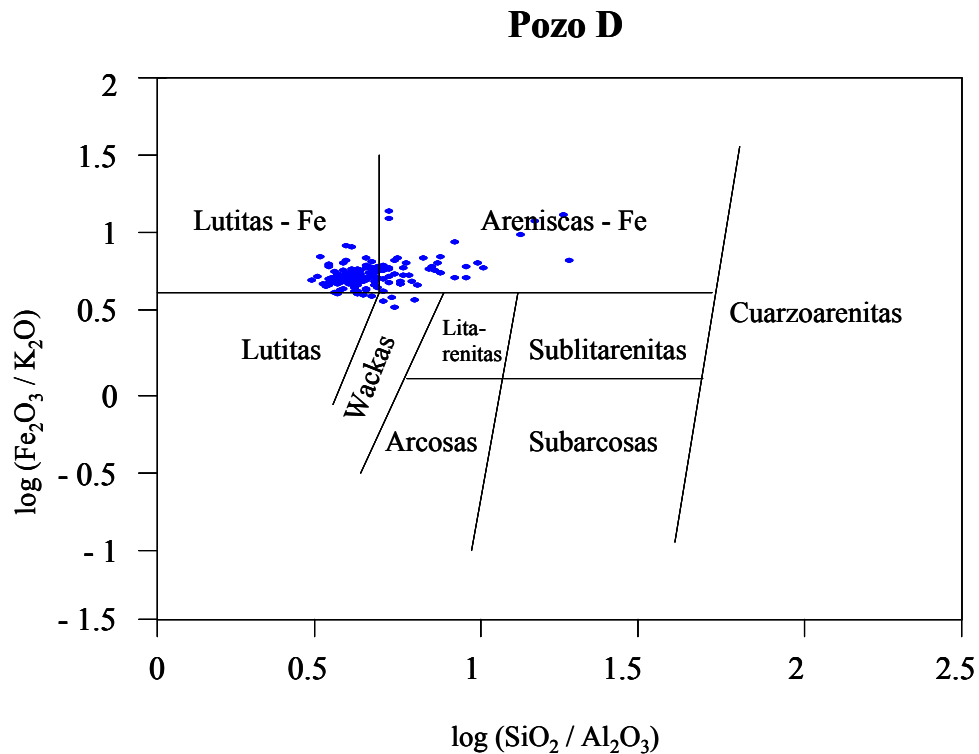
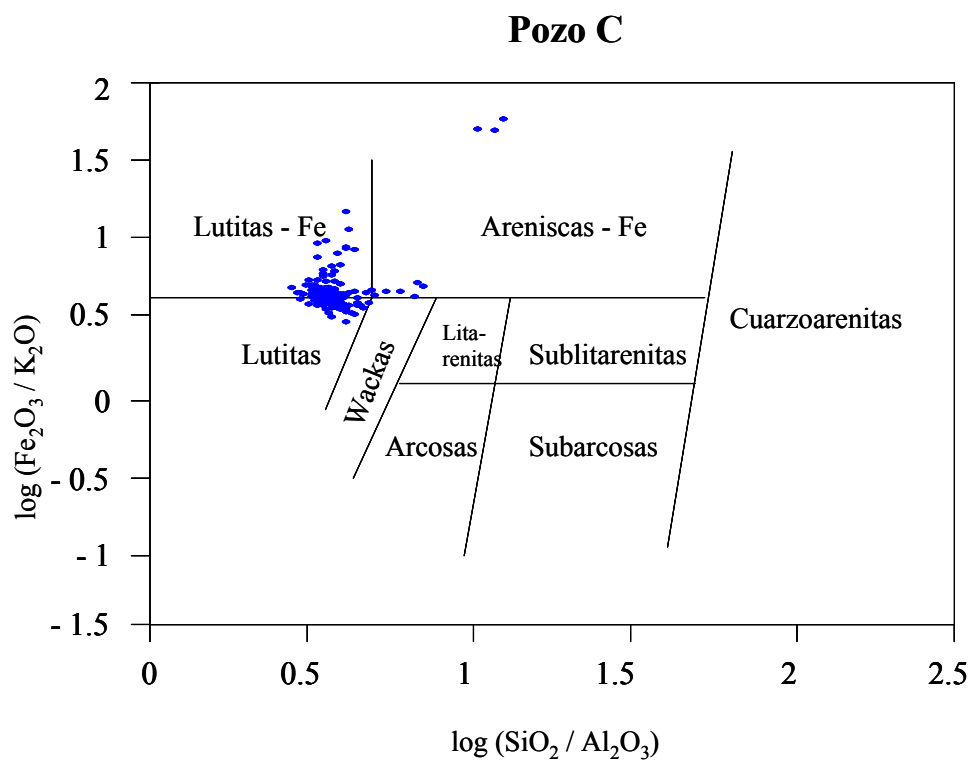


Fig. 5.1-b. Ubicación de las muestras de los pozos C y D en el esquema de clasificación de HERRON (1988).

En las figuras 5.10, 5.12, 5.13 y 5.14, se presentan otro tipo de gráficos representativos de esta clasificación, de acuerdo a su ubicación en la secuencia estratigráfica.

5.3. ESTADÍSTICA UNIVARIANTE

5.3.1. Histogramas de frecuencia químicos

Para visualizar los resultados de los análisis químicos en cada uno de los pozos, se presentan los histogramas y polígonos de frecuencia de cada variable (elementos mayoritarios y traza detectados) en la figura 5.2.

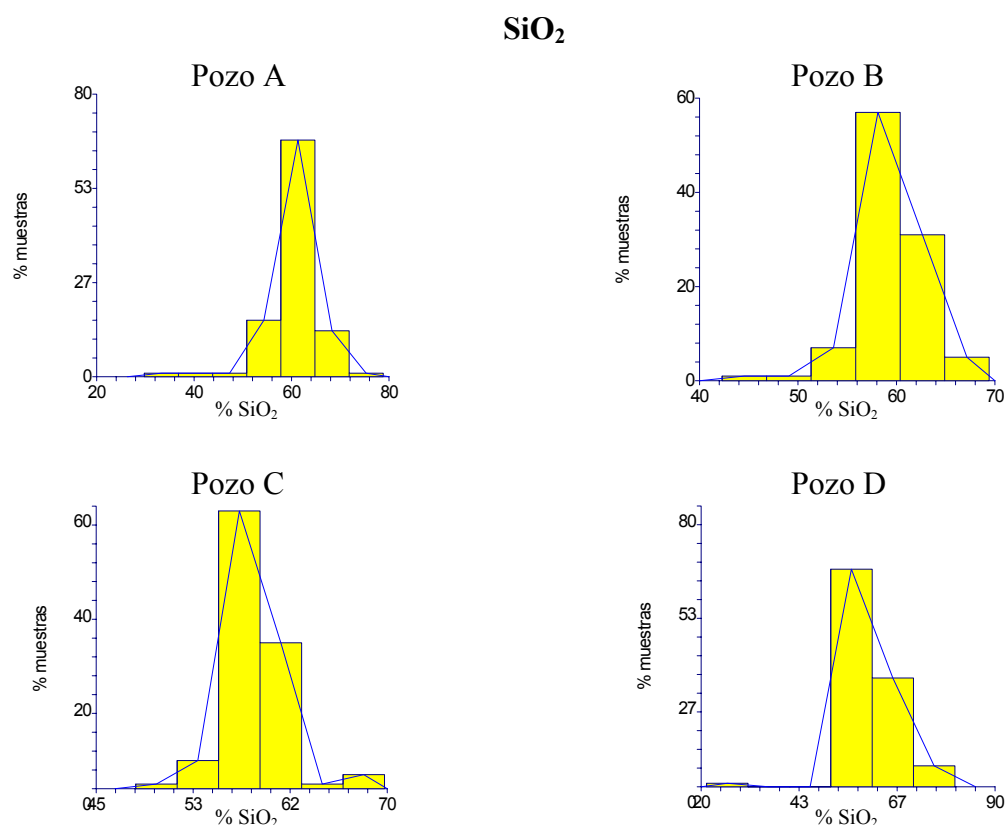
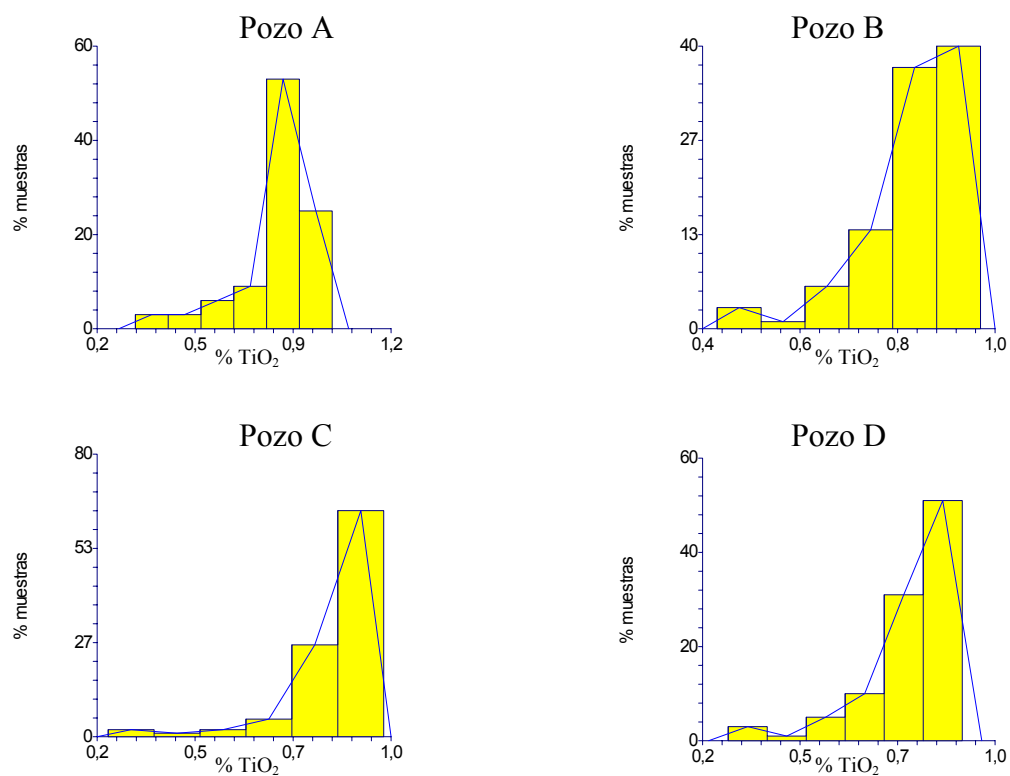
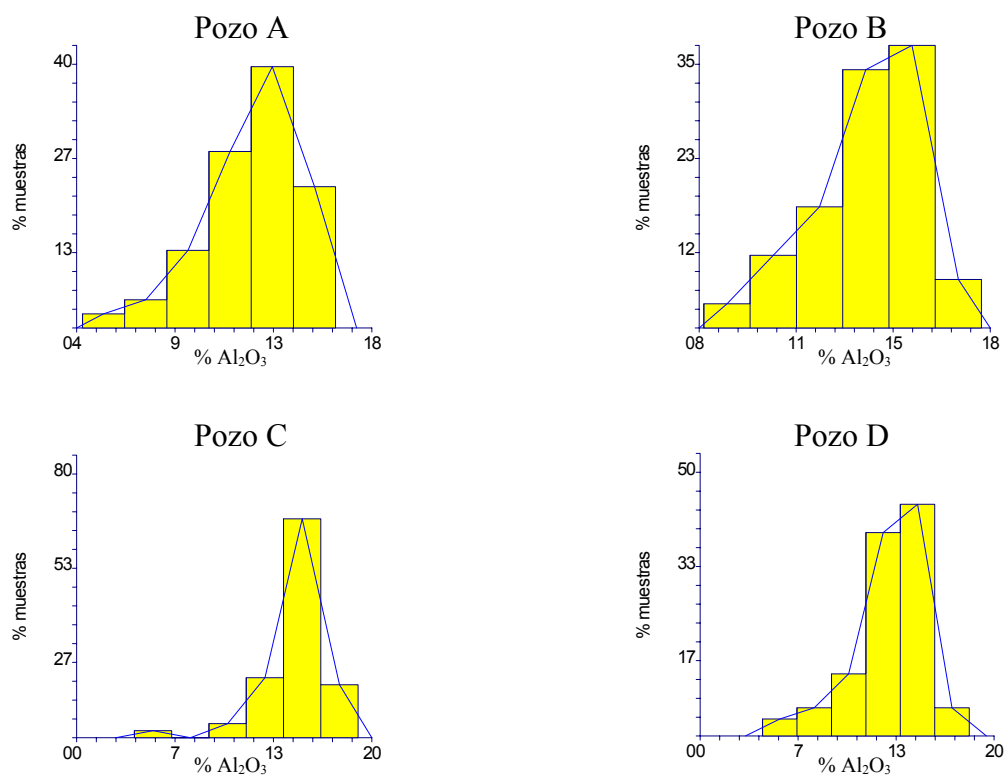
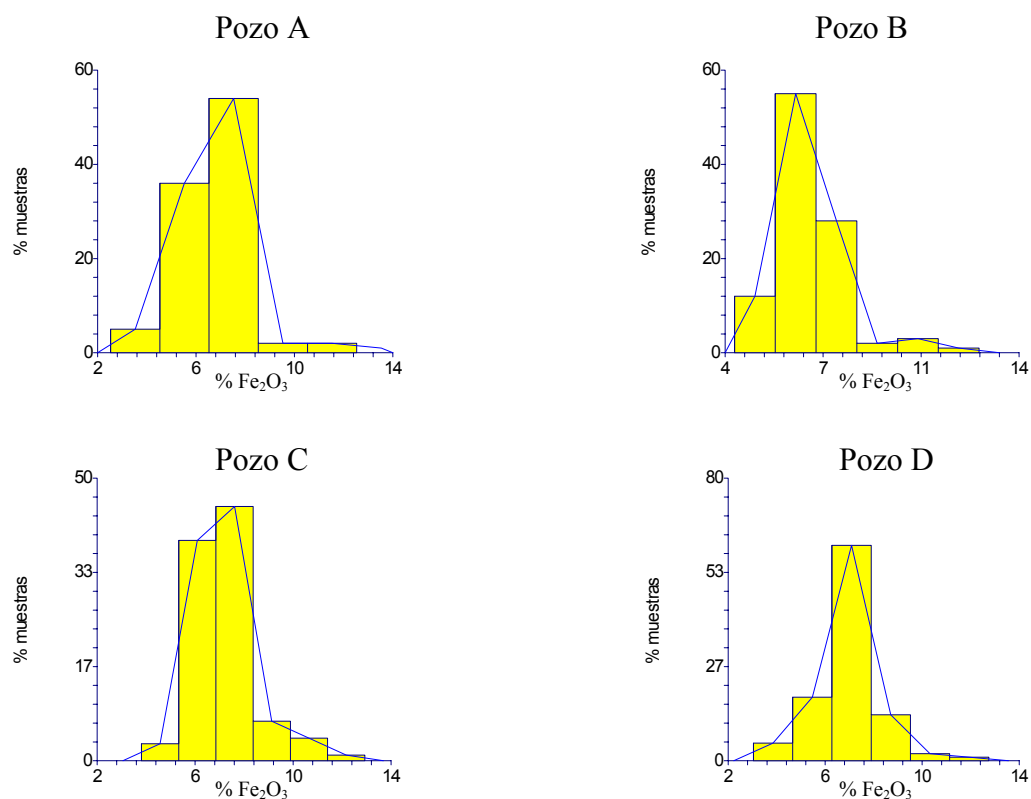
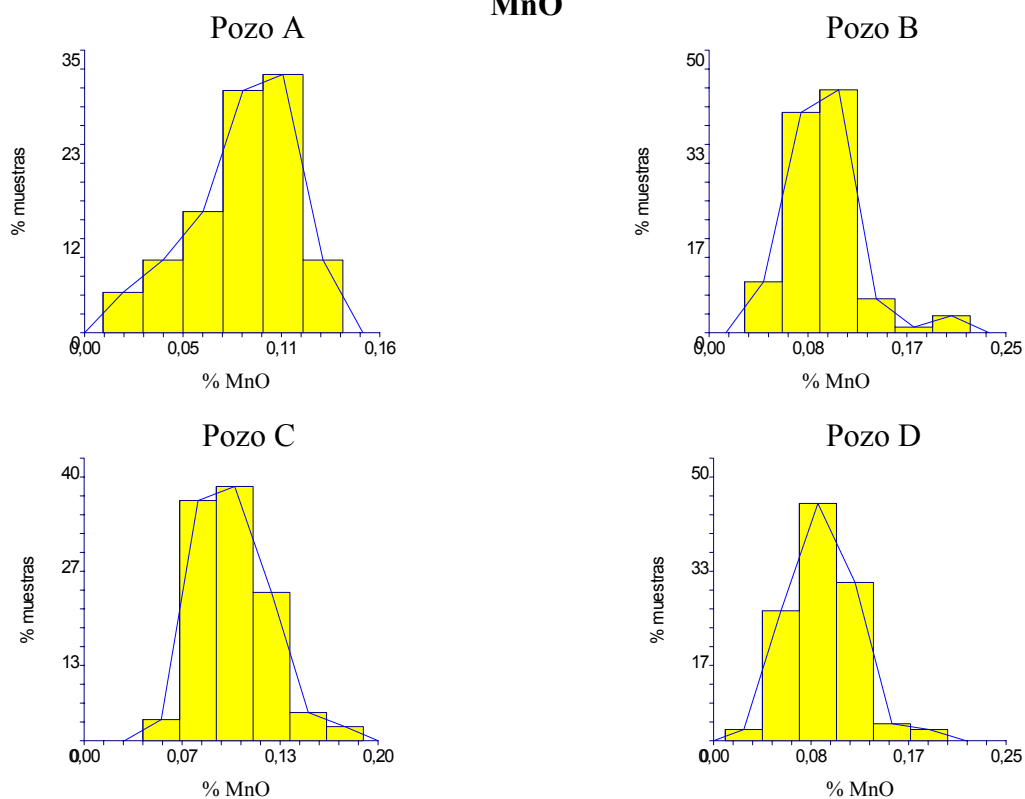
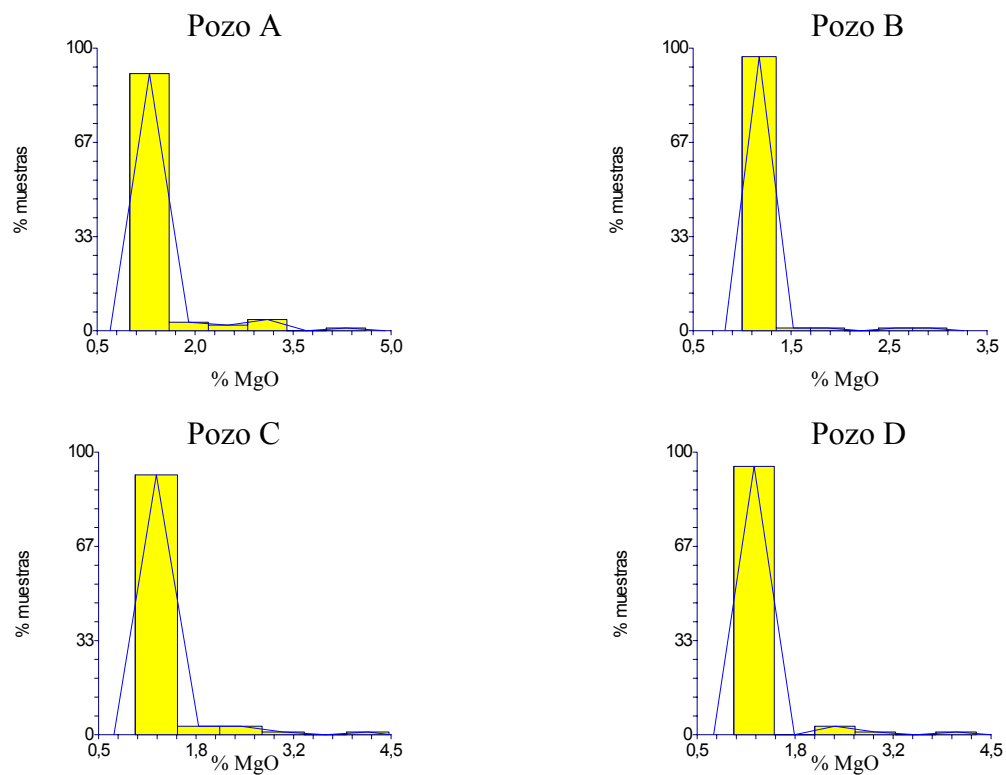
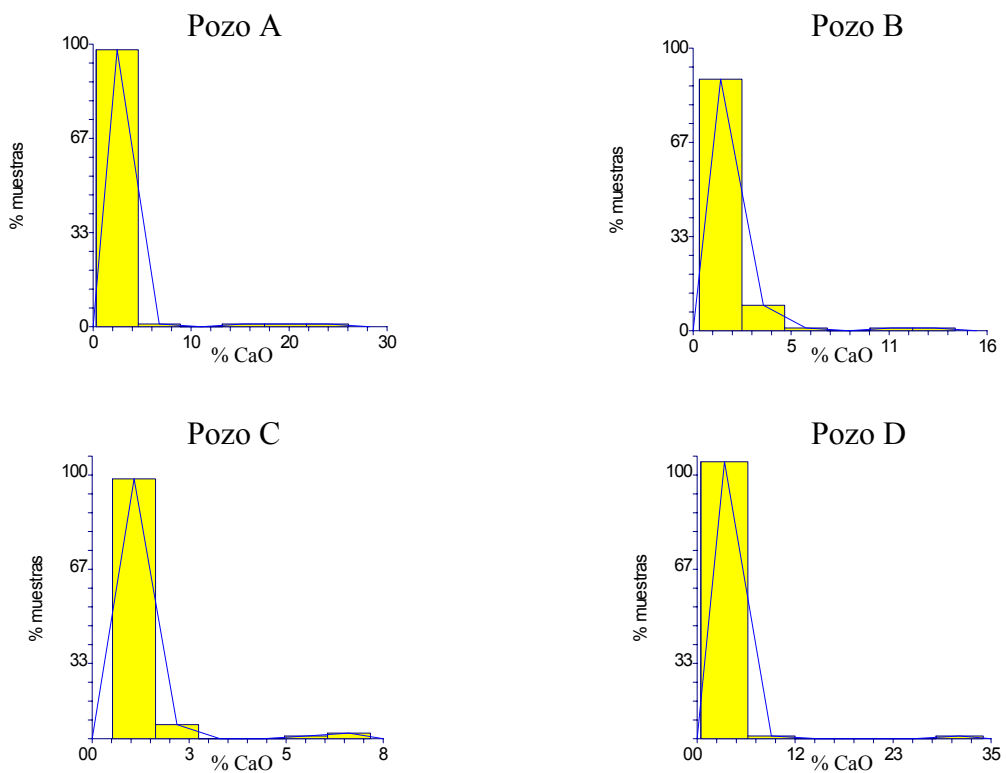
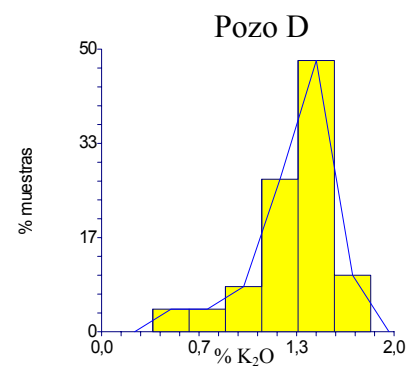
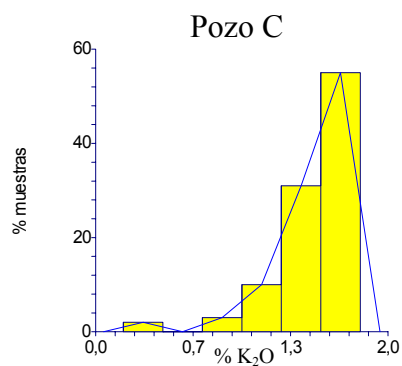
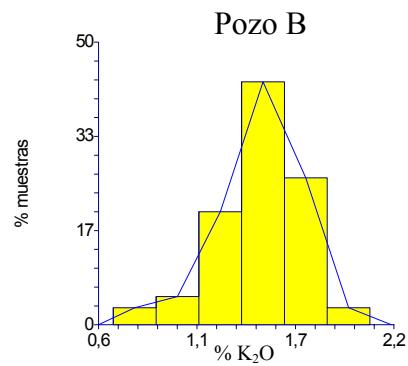
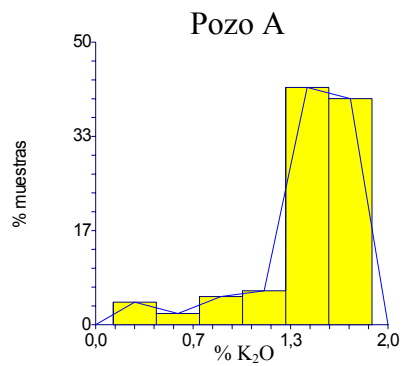
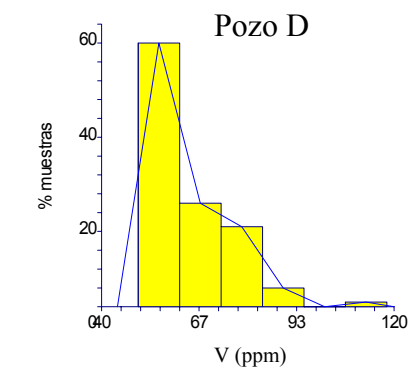
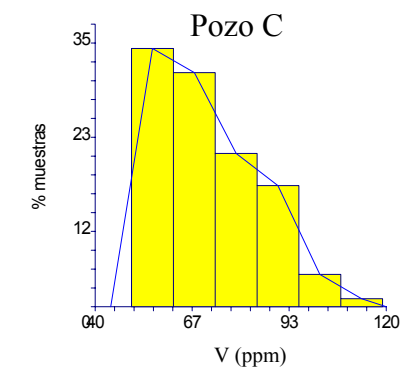
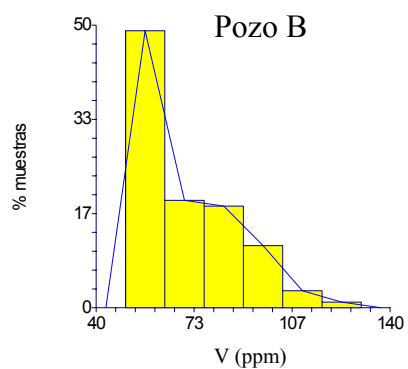
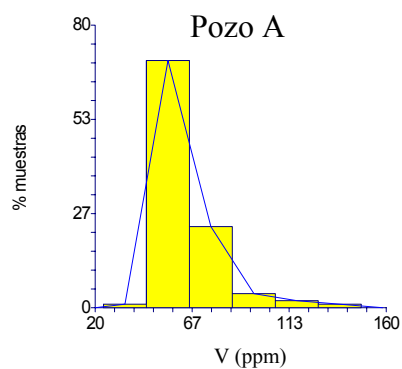


Fig. 5.2. Histogramas y polígonos de frecuencia químicos de los pozos estudiados.

TiO₂**Al₂O₃****Fig. 5.2.** (Continuación).

Fe₂O₃**MnO****Fig. 5.2.** (Continuación).

MgO**CaO****Fig. 5.2.** (Continuación).

K₂O**V****Fig. 5.2.** (Continuación).

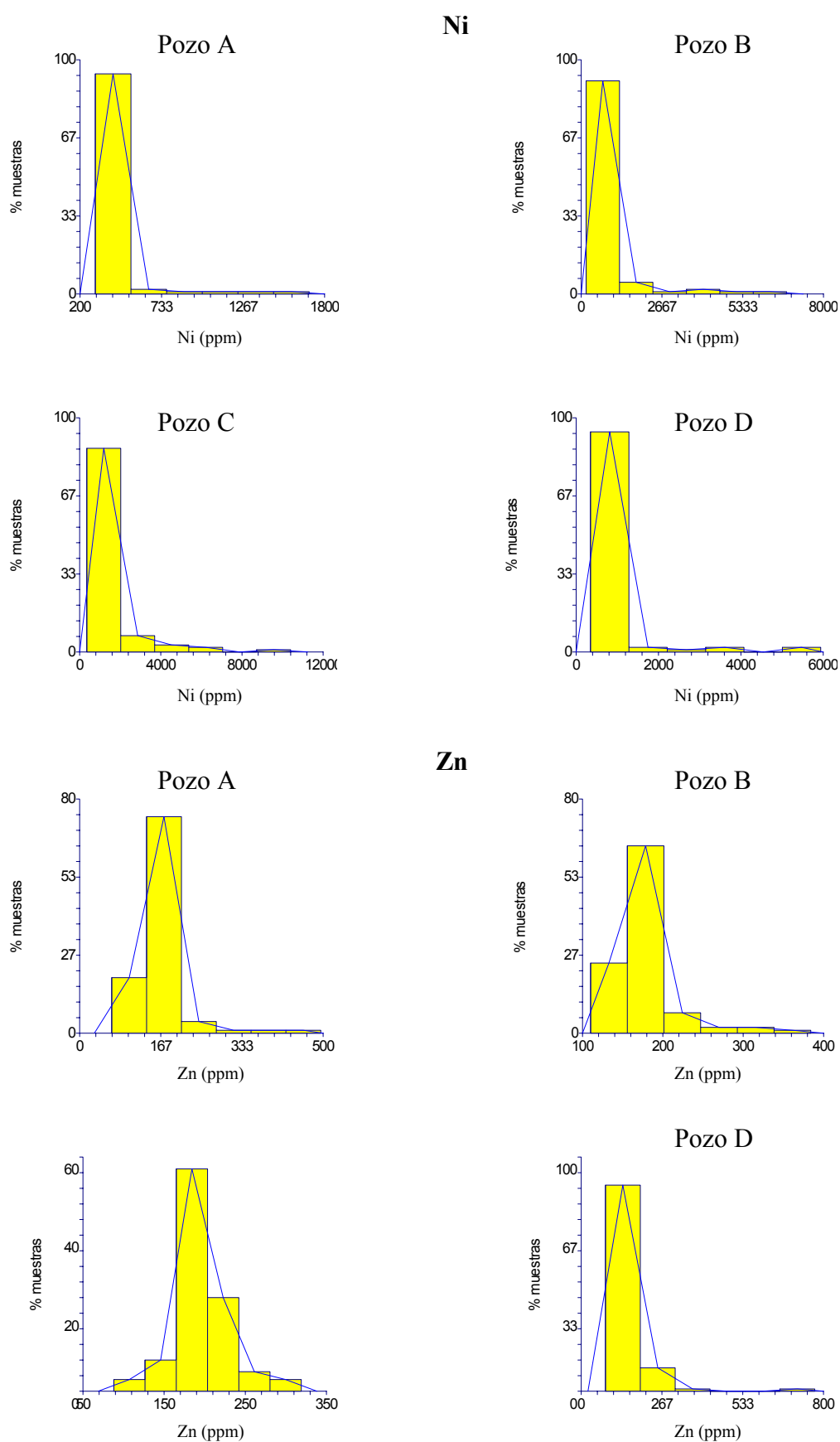
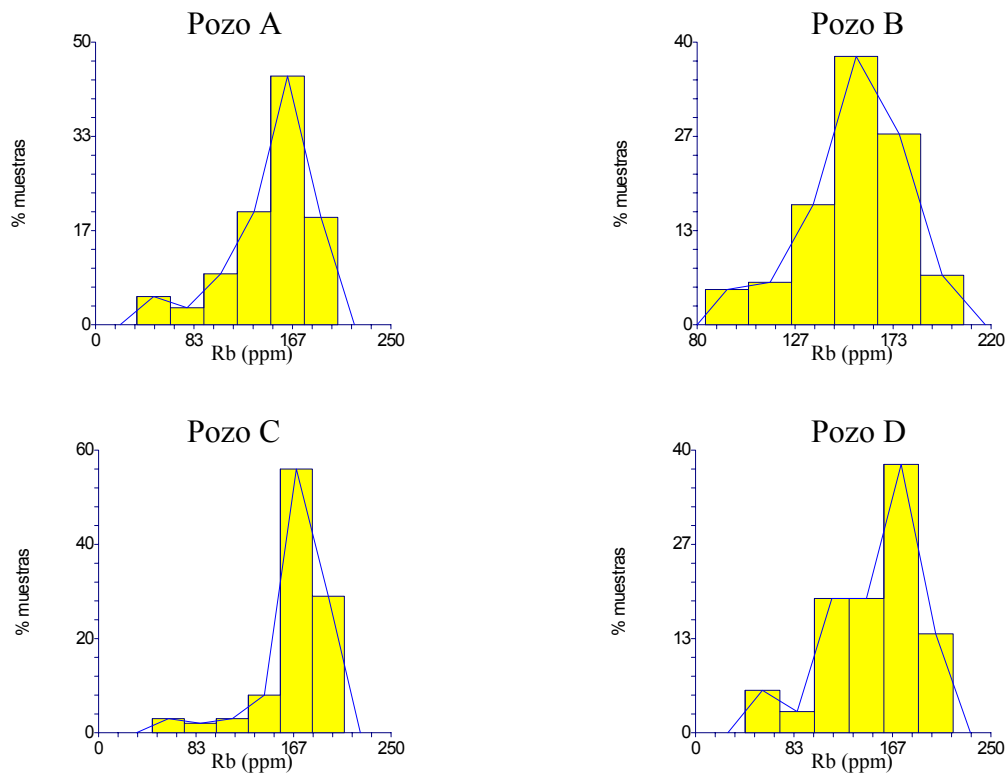
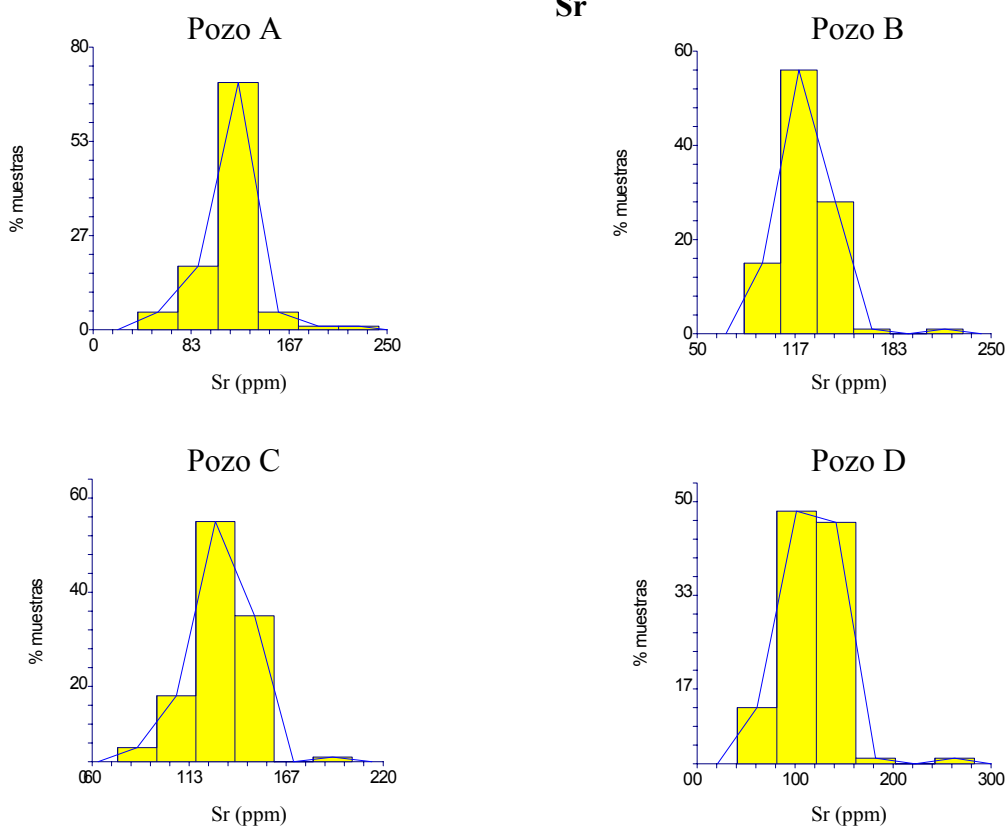
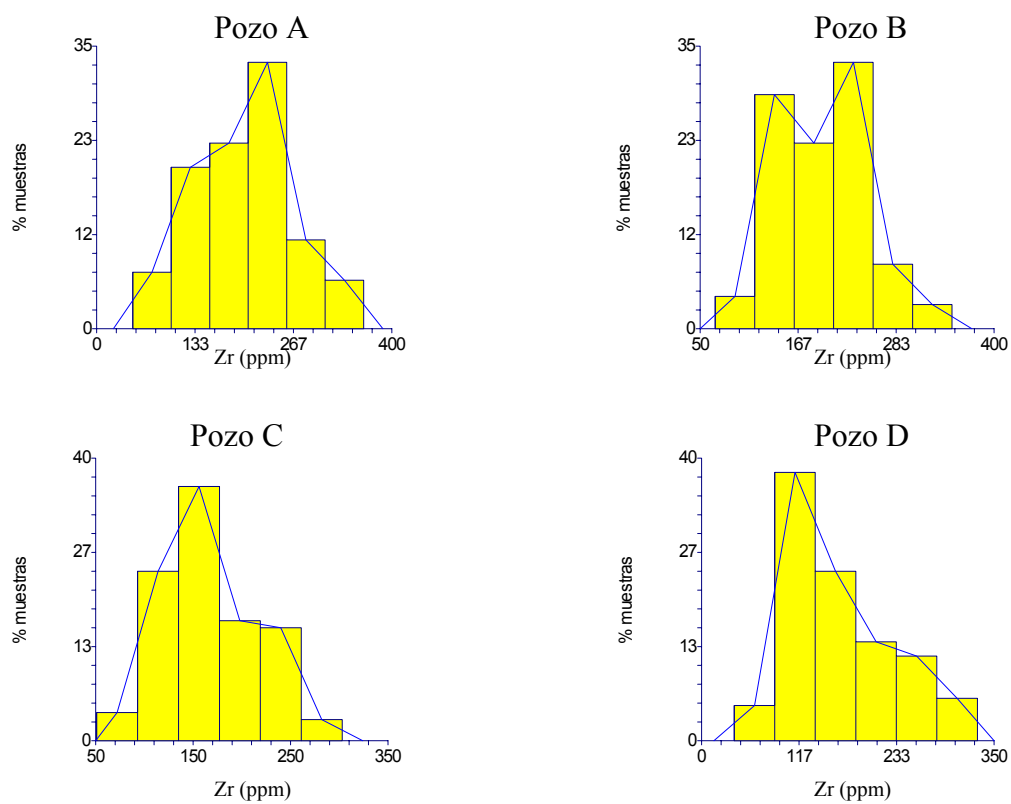
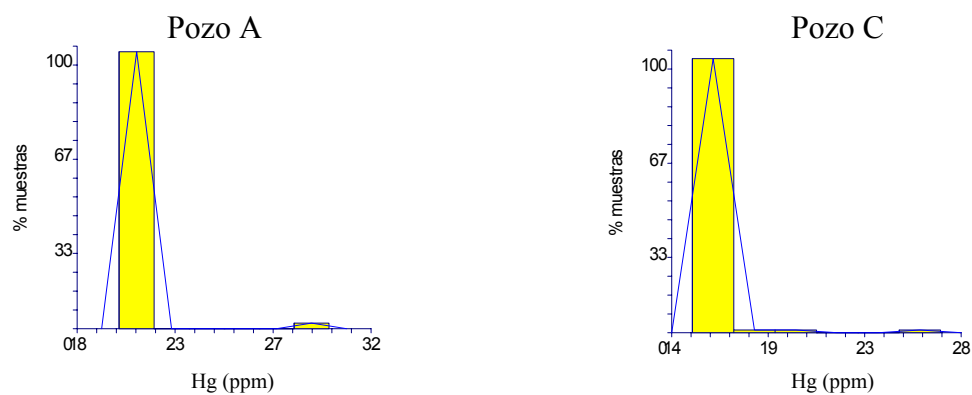
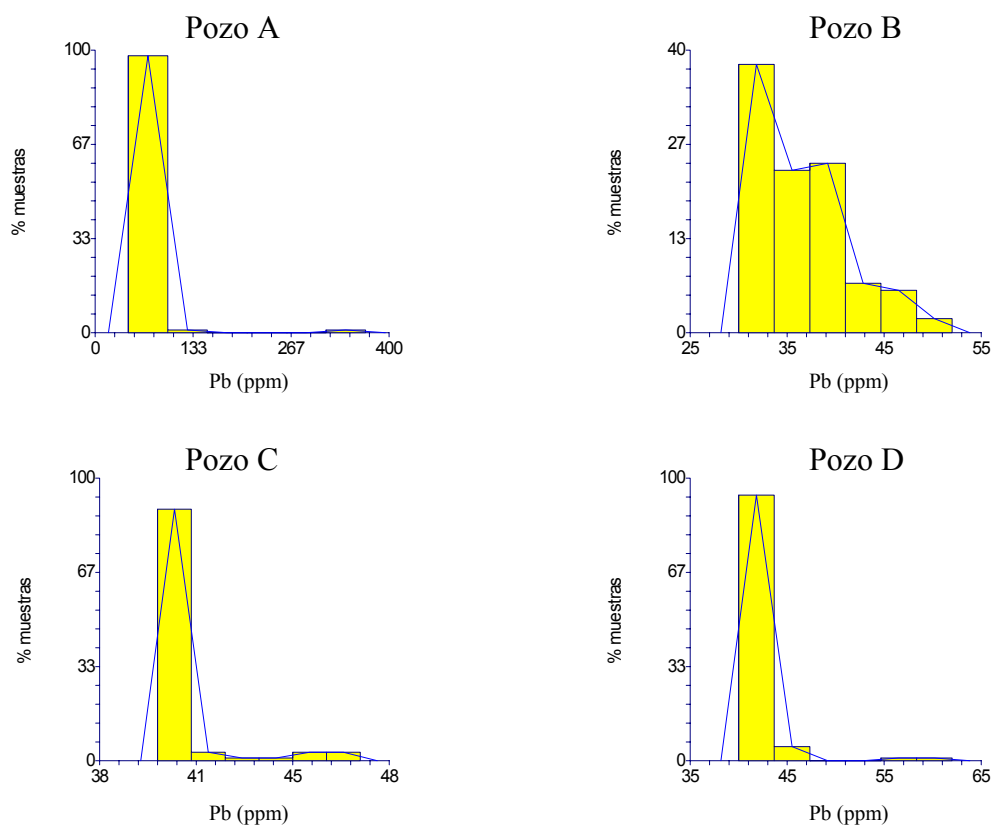


Fig. 5.2. (Continuación).

Rb**Sr****Fig. 5.2.** (Continuación).

Zr**Hg****Fig. 5.2.** (Continuación).

Pb**Fig. 5.2.** (Continuación).

El SiO_2 presenta un comportamiento unimodal en todos los pozos, cuya moda en el pozo A es de 60% de concentración (en un 65% de las muestras), 58% (en un 56% y 58% de las muestras de los pozos B y C respectivamente) y 55% en el 59% de las muestras del pozo D. Estos resultados podrían basarse en el hecho de que las areniscas en el pozo A son más frecuentes que en los otros pozos, lo que también es observado en la figura 5.1-a.

En el caso del TiO_2 , que presenta un comportamiento similar en todos los pozos, tiene una mayor moda en el pozo C (también mayor frecuencia, en 63% de las muestras) y en el pozo D, en los cuales es de 0,91% de concentración, sin embargo en los pozos A y B la moda de este elemento es menor que en los primeros solo por 0,1%.

El polígono de frecuencia del Al_2O_3 mantiene la unimodalidad y modas similares en todos los pozos (entre 13 y 15,6% de concentración), sin embargo para el pozo C este elemento es mucho más frecuente (su moda está representada por un 62% de las muestras), ya que para los demás pozos la moda está dada por un 37, 35 y 42% de las muestras de los pozos A, B y D respectivamente. La razón de esta diferencia radica en que una gran cantidad de muestras del pozo C corresponden a litología ricas en minerales de arcilla, lo cual se puede observar también en la figura 5.1-b.

Tanto para el Fe_2O_3 como para el MnO se mantiene el carácter unimodal, además de proporciones similares en las modas para cada uno de estos elementos en todos los pozos.

Para el MgO se presenta constancia en su unimodalidad y marcado sesgo positivo en todos los pozos, además de una alta frecuencia de muestras bajo el límite de detección (límite de detección = 1,00%). La menor frecuencia de estas modas por debajo del límite de detección se presenta en el pozo A, siendo un 80% de sus muestras, mientras que en los pozos B, C y D es 96, 91 y 95% respectivamente. Esto puede deberse a que las litologías ricas en minerales de arcillas (lutáceas) en el pozo A presentan mayor proporción de arcillas tipo esmectita (SANDOVAL 2000), ricas en este elemento, lo que pueden observarse en los perfiles de distribución de este pozo (apéndice II-A) donde los picos de MgO coinciden con los del Al_2O_3 , indicando que su presencia se debe a este tipo de arcillas.

En el caso del CaO se mantiene el carácter unimodal con marcado sesgo positivo y modas muy bajas, lo que manifiesta el carácter principalmente clástico de las muestras de estos pozos, sin embargo la frecuencia de la moda del pozo B (89% de las muestras) es un poco menor a la de los otros pozos (92% de las muestras del pozo C y 98% de las de los pozos A y D). Esto refleja que la proporción de litologías calcáreas y carbonáticas en el pozo B es mayor que en los demás, lo que también se observa en el apéndice I-B.

El K_2O presenta unimodalidad constante en todos los pozos y frecuencias de modas similares, sin embargo en los pozos A y C se observa una distribución sesgada negativa, lo que indica que los valores máximos de concentración son las modas en estos dos pozos. Sin

embargo, se observa que el rango de valores de concentración de este elemento en el pozo B es notablemente mayor que en los demás, presentando también una distribución más amplia (polígono de frecuencia unimodal simétrico), lo que significa que para el pozo B este elemento está más concentrado, lo que pudiera significar que las litologías lutáceas de este son ricas en minerales de arcilla tipo illita o caolinita, dado que se observa en la clasificación geoquímica de estos pozos según HERRON (1988) (Fig. 5.1-a) que no se debe a la existencia de arcosas o subarcosas.

Para el V se mantiene la unimodalidad con sesgo positivo y modas similares, aunque la frecuencia de la moda de los pozos A y D son notablemente mayores (62 y 55% de las muestras respectivamente), lo que se interpreta como un alto contenido de materia orgánica en las litologías lutáceas de ambos, esto se puede observar en los perfiles de distribución de estos pozos (apéndices II-A y II-D) en los cuales los picos máximos de V coinciden con los de Al_2O_3 .

El histograma y polígono de frecuencia del Ni muestra un comportamiento muy parecido en todos los pozos, aunque la moda en los pozos C y D (800 ppm) es mucho mayor que en los otros pozos. Según BRICEÑO & CALLEJÓN (2000) el Ni, al igual que el V, está asociado a materia orgánica que comúnmente abundan en sedimentos bituminosos. De acuerdo a esto y al carácter productor de hidrocarburos que presentan todos los pozos, se podría decir que en los pozos C y D se presenta mayor proporción de Ni asociado a materia orgánica presente en los sedimentos, además de reflejar en una relación directa el potencial de óxido-reducción durante la sedimentación y diagénesis temprana.

En el caso del Zn se presentan frecuencias de modas similares y carácter unimodal en todos los pozos, aunque el pozo D muestra un sesgo positivo dado que la frecuencia de su moda (87% de sus muestras) presentan una concentración menor que en el resto de los pozos, lo que se traduce como que la mayoría de sus muestras presentan bajas concentraciones de Zn. Según BRICEÑO & CALLEJÓN (2000) este elemento es otro metal que usualmente es fijado por la fracción orgánica de los sedimentos, y cuya alta frecuencia en el pozo D coincide con la del V y Ni como asociadas a la materia orgánica en este.

El Rb mantiene su unimodalidad y las modas son un tanto similares, presentándose con una concentración entre 155 y 175 ppm para un rango de frecuencia de muestras entre 38 y 55%, que son valores que no muestran diferencias marcadas tomando en cuenta el significado de la unidad ppm.

Para el Sr se presenta un caso parecido al del Rb entre tres de los pozos (B, C y D), no así para el pozo A cuya frecuencia de moda está representada por el 69% de sus muestras (mientras que es de 55, 50 y 45% en los pozos B, C y D respectivamente). Según AIGAILANI (1980) este elemento representa un marcador diagenético importante por sugerir procesos de dolomitización y dedolomitización en el material carbonático, de acuerdo a esto y al observar los perfiles de distribución de este elemento y del CaO (apéndice II-A), se puede inferir que este elemento está asociado a procesos diagenéticos como los antes mencionados tanto en litologías calcáreas y carbonáticas (apéndice I-A) como en algunas areniscas donde existe cemento carbonático (zoom de CaO enapéndice II-A).

El caso del Zr presenta varias diferencias en sus valores en los pozos, la primera de ellas es el hecho de que la moda en el pozo A es mayor que en el resto de los pozos (225 ppm), esto puede deberse a la alta proporción de areniscas en este pozo y por estar este elemento asociado a tipos litológicos clásticos como las areniscas, muy frecuentes en el pozo A. La segunda diferencia radica en el carácter bimodal del elemento en el pozo B: 33% de las muestras con 190 ppm de Zr y 30% con 213 ppm, lo cual sugiere en este pozo la coexistencia de dos tipos principales de areniscas con contenidos de Zr diferentes.

El caso de Hg se presenta muy particular, ya que este elemento es detectado únicamente en dos de los pozos (A y C) y en ambos presenta la frecuencia de sus modas por debajo del límite de detección, sin embargo para el pozo A se observa que en las muestras que se detecta este elemento (2% del total de muestras) su concentración está entre 20 y 30 ppm, mientras que para el pozo C representa un 3% de las muestras con una concentración que oscila entre 15 y 27 ppm.

Para el Pb se presenta un caso particular en el cual a pesar de que se mantiene la unimodalidad con sesgo positivo, dado que la moda corresponde a las menores concentraciones, en el pozo A un 98% de las muestras presentan 67 ppm de este elemento, mientras que para el pozo B solo un 38% de las muestras presentan una concentración de 31 ppm, siendo este el pozo con una distribución más amplia dentro del rango de concentraciones de este elemento.

La tabla 5.1 resume el comportamiento de estos histogramas de frecuencia.

Tabla 5.1. Cuadro comparativo de los histogramas y polígonos de frecuencia químicos correspondientes a los pozos en estudio.

	Pozo A	Pozo B	Pozo C	Pozo D
SiO₂	Unimodal Máximo = 60%	Unimodal Máximo = 58%	Unimodal Máximo = 58%	Unimodal Máximo = 55%
TiO₂	Unimodal Máximo = 0,82%	Unimodal con sesgo (-) Máximo = 0,91%	Unimodal con sesgo (-) Máximo = 0,91%	Unimodal con sesgo (-) Máximo = 0,82%
Al₂O₃	Unimodal Máximo = 13%	Unimodal Máximo = 15,6%	Unimodal Máximo = 15,1%	Unimodal Máximo = 14,4%
Fe₂O₃	Unimodal Máximo = 7,6%	Unimodal Máximo = 6,1%	Unimodal Máximo = 7,6%	Unimodal Máximo = 7,2%
MnO	Unimodal Máximo = 0,11%	Unimodal Máximo = 0,1%	Unimodal Máximo = 0,1%	Unimodal Máximo = 0,08%
MgO	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 1%	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 1%	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 1%	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 1%
CaO	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 2,5 %	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 1,5%	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 1,2%	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 3,6%
K₂O	Unimodal con sesgo (-) Máximo = 1,4%	Unimodal Máximo = 1,46%	Unimodal con sesgo (-) Máximo = 1,5%	Unimodal Máximo = 1,4%
V	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 56 ppm	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 57 ppm	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 56 ppm	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 56 ppm
Ni	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 413 ppm	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 533 ppm	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 800 ppm	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 800 ppm
Zn	Unimodal Máximo = 167 ppm	Unimodal Máximo = 180 ppm	Unimodal Máximo = 190 ppm	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 134 ppm
Rb	Unimodal Máximo = 167 ppm	Unimodal Máximo = 155 ppm	Unimodal Máximo 167 ppm	Unimodal Máximo = 175 ppm

Tabla 5.1. (Continuación).

	Pozo A	Pozo B	Pozo C	Pozo D
Sr	Unimodal Máximo = 125 ppm	Unimodal Máximo = 117 ppm	Unimodal Máximo = 129 ppm	Unimodal Máximo = 100 ppm
Zr	Unimodal Máximo = 225 ppm	Bimodal Máximo (1) = 90 ppm Máximo (2) = 213 ppm	Unimodal Máximo = 120 ppm	Unimodal Máximo = 90 ppm
Hg	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 21 ppm	No detectado	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 16 ppm	No detectado
Pb	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 67 ppm	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 31 ppm	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 40 ppm	Unimodal con sesgo (+) Máximo = 41 ppm

5.3.2. Diagramas de caja químicos

De acuerdo a lo mencionado en el capítulo 3, en los diagramas de caja la mediana está representada por una línea dentro de ella, mientras que la dispersión está determinada por la altura de esta (comprendida entre el tope y fondo, los percentiles 75 y 25 respectivamente).

Los resultados obtenidos mediante la manipulación de los datos en diagramas de caja químicos para cada uno de los pozos en estudio que se presentan en las figuras 5.3 y 5.4.

En la figura 5.3 (a y b) se presentan los diagramas de caja de los componentes químicos agrupados por pozo, para visualizar cuales de estos elementos son los principales en cada uno de ellos. Debido al alto rango de concentraciones de las concentraciones de Ni, los diagramas de caja correspondientes al resto de los elementos traza no se observan bien, por lo que en la figura 5.3-b no se incluye dicho elemento y se puede observar claramente el comportamiento de los elementos traza restantes.

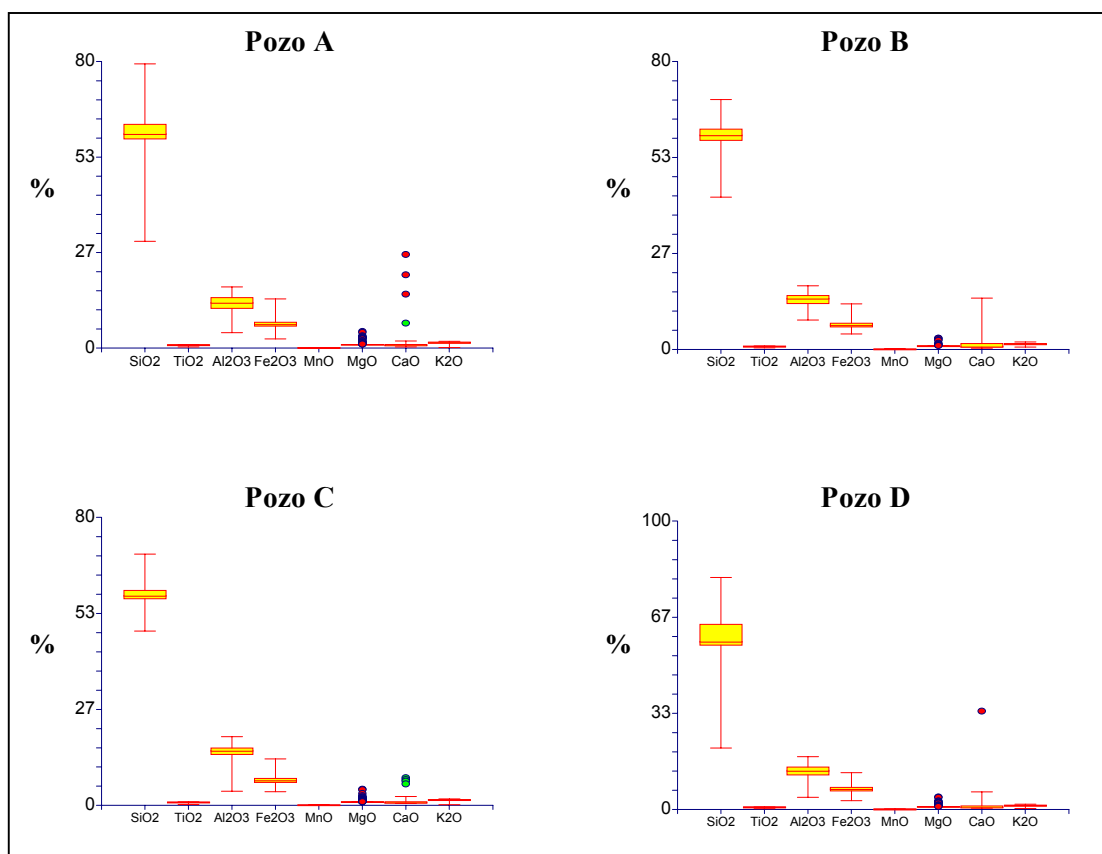


Fig. 5.3-a. Diagramas de caja de los elementos mayoritarios de los pozos en estudio.

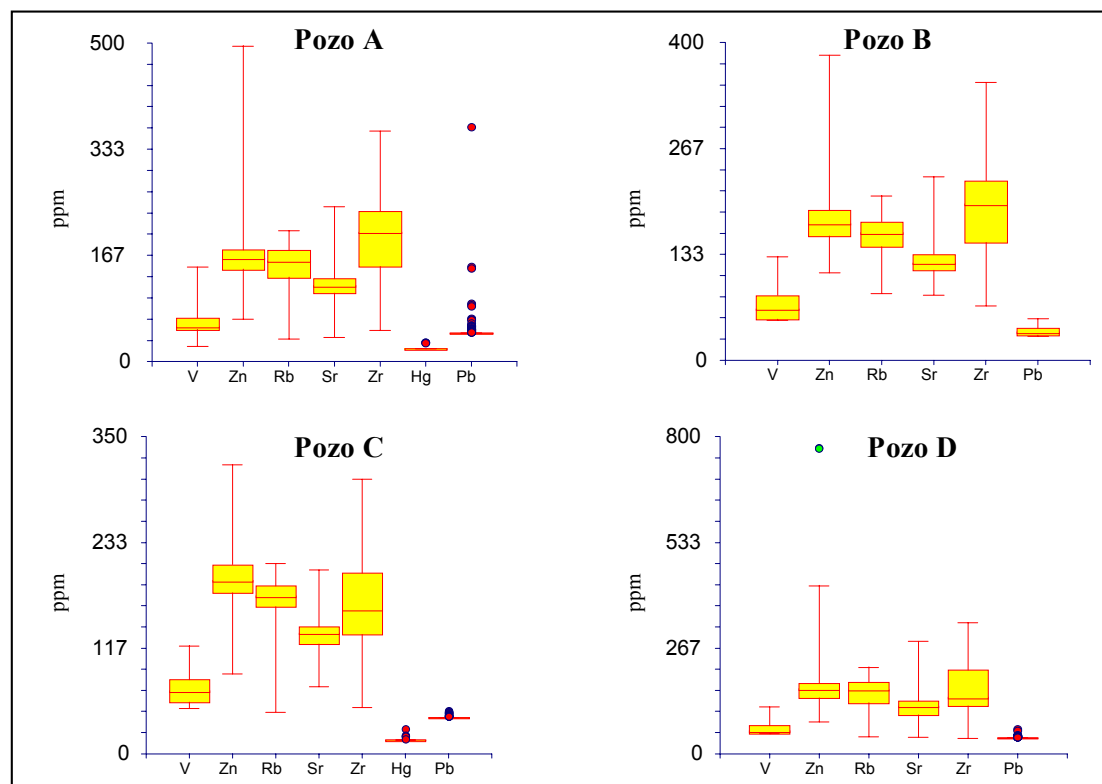


Fig. 5.3-b. Diagramas de caja de elementos traza de los pozos estudiados, exceptuando en Ni.

En la figura 5.3-a se observa que los componentes mayoritarios más abundantes y comunes en todos los pozos son (en orden de abundancia) el SiO_2 , Al_2O_3 y Fe_2O_3 , mientras que el CaO se hace considerable principalmente en el pozo B. Entre los elementos traza (Fig. 5.3-b) de mayor proporción en todos los pozos se encuentra el Zr y Rb principalmente, siendo el V abundante en los pozos B y C. Por último el Sr se presenta en abundancia menor que los demás elementos que forman cajas como tal. El comportamiento de el Ni se aprecia en la figura 5.4, donde se observa que este elemento solo destaca en el pozo C.

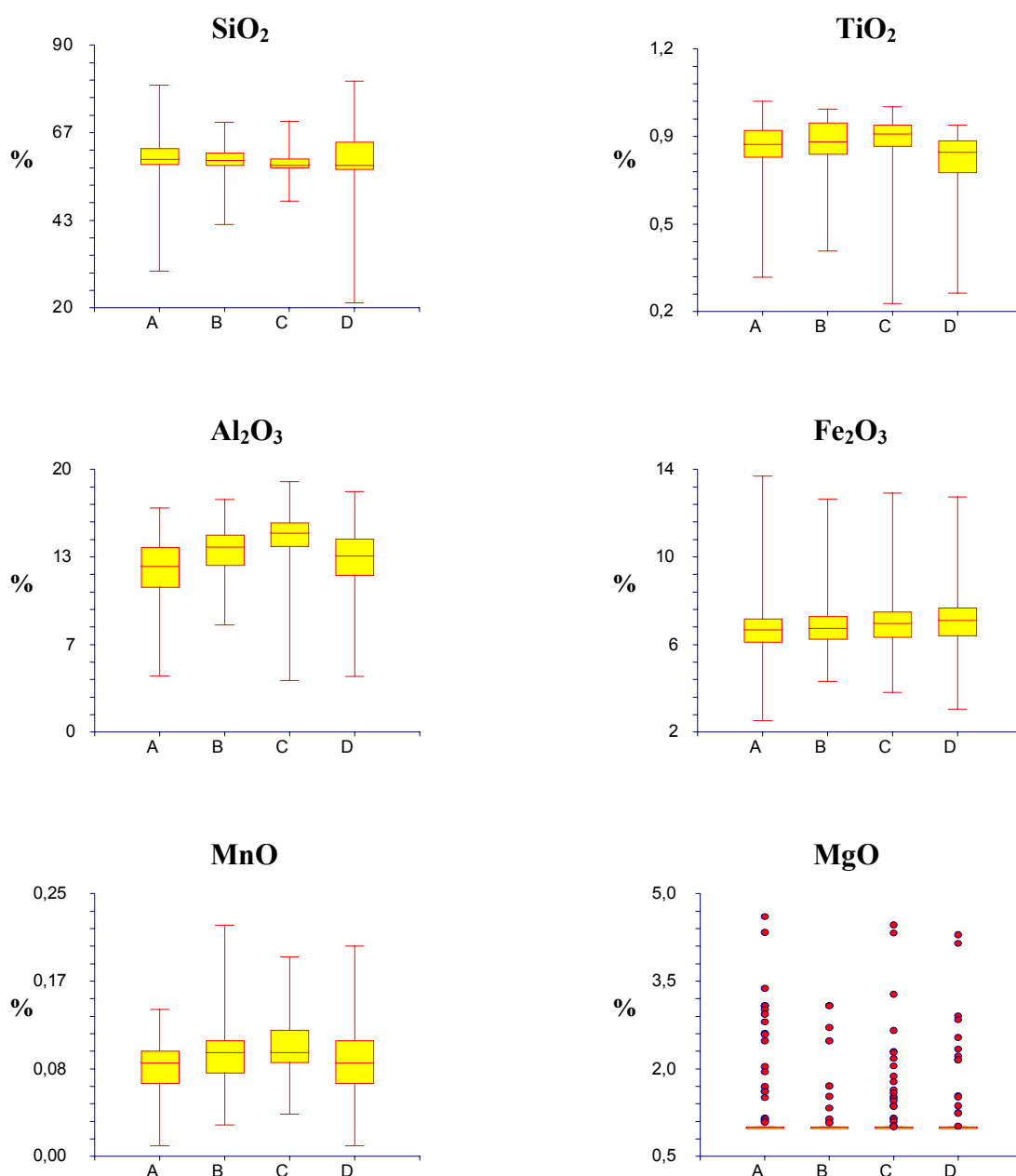


Fig. 5.4. Diagramas de caja de cada elemento químico en los pozos estudiados.

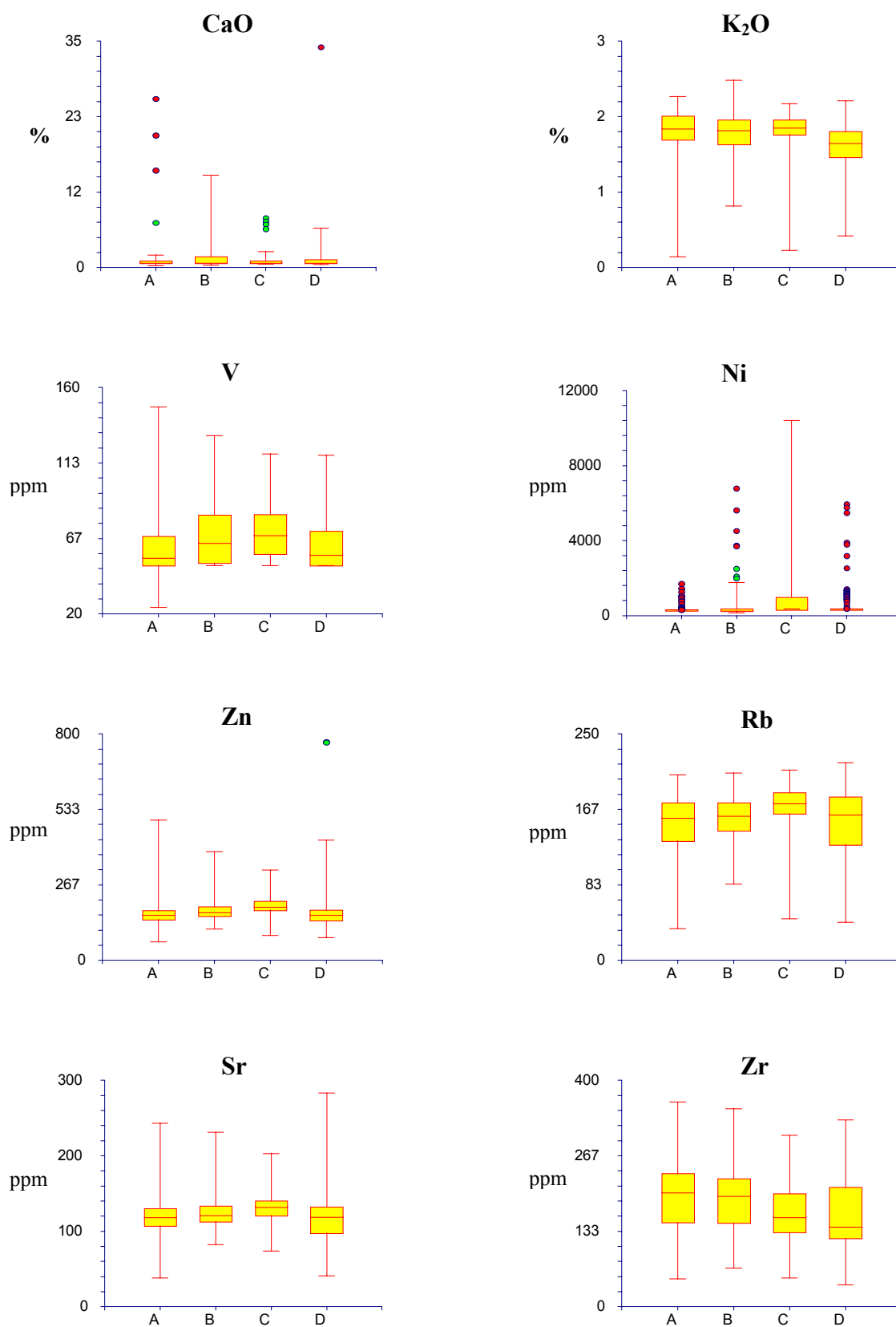


Fig. 5.4. (Continuación).

Al comparar cada componente químico en cada pozo (Fig. 5.4), se observa que el TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , Zn y Zr presentan cajas de tamaños similares, reflejando dispersiones parecidas, aunque no necesariamente medianas iguales. En el caso del Al_2O_3 , CaO , K_2O y Sr se presentan similitudes en la dispersión de 2 ó 3 de los pozos (pudiendo tener medianas diferentes). Mientras que el caso de V y Rb presentan diferentes dispersiones en cada pozo.

El SiO_2 aunque tiene medianas muy similares, no presenta dispersiones en común entre los pozos, sin embargo este caso es bastante particular dadas tanto la dispersión como el rango abarcado por los valores adyacentes de las cajas (en orden decreciente: D, A, B y C) y la ubicación de los pozos (Fig. 1.2) que es de norte a sur: D, A, B y C. De acuerdo a esto se podría decir que la sección estratigráfica es más clástica o que posee mayor proporción de areniscas de norte a sur.

Para el MgO , Ni y el Pb se presenta el caso en que los valores registrados no forman cajas como tal (solo unas muy pequeñas en el Ni de los pozos B y C) por ser estos anómalos fuertes, lo que quiere decir que la mayoría de las muestras presentan valores en el límite de detección o por debajo de este, esto se observa también en los apéndices I, al igual que el caso del Hg , que además de ser sus valores anómalos fuertes no se registra en todos los pozos.

La tabla 5.2, expuesta a continuación, resume la información obtenida con estos diagramas.

Tabla 5.2. Cuadro comparativo entre los diagramas de caja químicos de los pozos en estudio.

	Pozo A	Pozo B	Pozo C	Pozo D
SiO_2	Mediana = 57%	Mediana = 57%	Mediana = 56%	Mediana = 56%
	Dispersión: Menor que la del pozo D y mayor que la de los pozos B y C.	Dispersión: Menor que la del pozo A y ligeramente mayor que la del pozo C.	Dispersión: Más baja.	Dispersión: Más alta.
TiO_2	Mediana = 0,86%	Mediana = 0,87%	Mediana = 0,9%	Mediana = 0,82%
	Dispersión similar.			

Tabla 5.2. (Continuación).

	Pozo A	Pozo B	Pozo C	Pozo D
Al₂O₃	Mediana = 12,2%	Mediana = 13,6%	Mediana = 14,8%	Mediana = 13%
	Dispersión: Más alta, igual a la del pozo D.	Dispersión: Menor que la de los pozos A y D y mayor que la del pozo C.	Dispersión: Más baja.	Dispersión: Más alta, igual a la del pozo A.
Fe₂O₃	Mediana = 6,6 %	Mediana = 6,7%	Mediana = 6,9%	Mediana = 7%
	Dispersión similar.			
MnO	Mediana = 0,084%	Mediana = 0,092%	Mediana = 0,092%	Mediana = 0,082%
	Dispersión similar, ligeramente menor que la del pozo D.			Dispersión: Más alta.
MgO	Todos los valores registrados son anómalos fuertes.			
CaO	No presentan mediana.			
	Dispersión: Más baja, similar a la del pozo C.	Dispersión: Más alta.	Dispersión: Más baja, similar a la del pozo A.	Dispersión: Menor que la del pozo B y mayor que la de los pozos A y C.
K₂O	Mediana = 1,82%	Mediana = 1,79%	Mediana = 1,82%	Mediana = 1,64%
	Dispersión: Más alta, similar a la del pozo D.		Dispersión: Más baja.	Dispersión: más alta, similar a la de los pozos A y B.
V	Mediana = 53 ppm.	Mediana = 62 ppm.	Mediana = 70 ppm.	Mediana = 58 ppm.
	Dispersión: Más baja.	Dispersión: Más alta.	Dispersión: Menor que la del pozo B y mayor que la de los pozos A y D.	Dispersión: Menor que la del pozo C y mayor que la del pozo A.
Ni	No presentan medianas. La mayoría de los valores son anómalos fuertes (algunos suaves en el pozo B), solo forma cajas de reducido tamaño en los pozos B y C			
Zn	Mediana = 160 ppm.	Mediana = 171 ppm.	Mediana = 87 ppm.	Mediana = 160 ppm.
	Dispersión similar.			
Rb	Mediana = 154 ppm.	Mediana = 154 ppm.	Mediana = 172 ppm.	Mediana = 158 ppm.
	Dispersión: Menor que la del pozo D y mayor que la de los pozos B y C.	Dispersión: Menor que la de los pozos A y D, mayor que la del pozo C.	Dispersión: Más baja.	Dispersión: Más alta.
Sr	Mediana = 120 ppm.	Mediana = 122 ppm.	Mediana = 130 ppm.	Mediana = 120 ppm.
	Dispersión: menor a la del pozo D.			Dispersión: Más alta.
Zr	Mediana = 200 ppm.	Mediana = 190 ppm.	Mediana = 150 ppm.	Mediana = 142 ppm.
	Dispersión similar.			
Hg	Valores registrados son anómalos fuertes.	No detectado.	No detectado	Valores registrados son anómalos fuertes.
Pb	Valores registrados son anómalos fuertes.	Mediana = 35 ppm.	Valores registrados son anómalos fuertes.	

5.3.3. Histogramas de frecuencia radiométricos

Para visualizar los resultados de los análisis radiométricos en cada uno de los pozos, se presentan los histogramas y polígonos de frecuencia de cada variable de este tipo en la figura 5.5. Los isótopos que presentan varios niveles de energía (^{208}Tl y ^{214}Bi) son identificados con el nivel de energía correspondiente en kiloelectrón-Volts (keV) entre paréntesis.

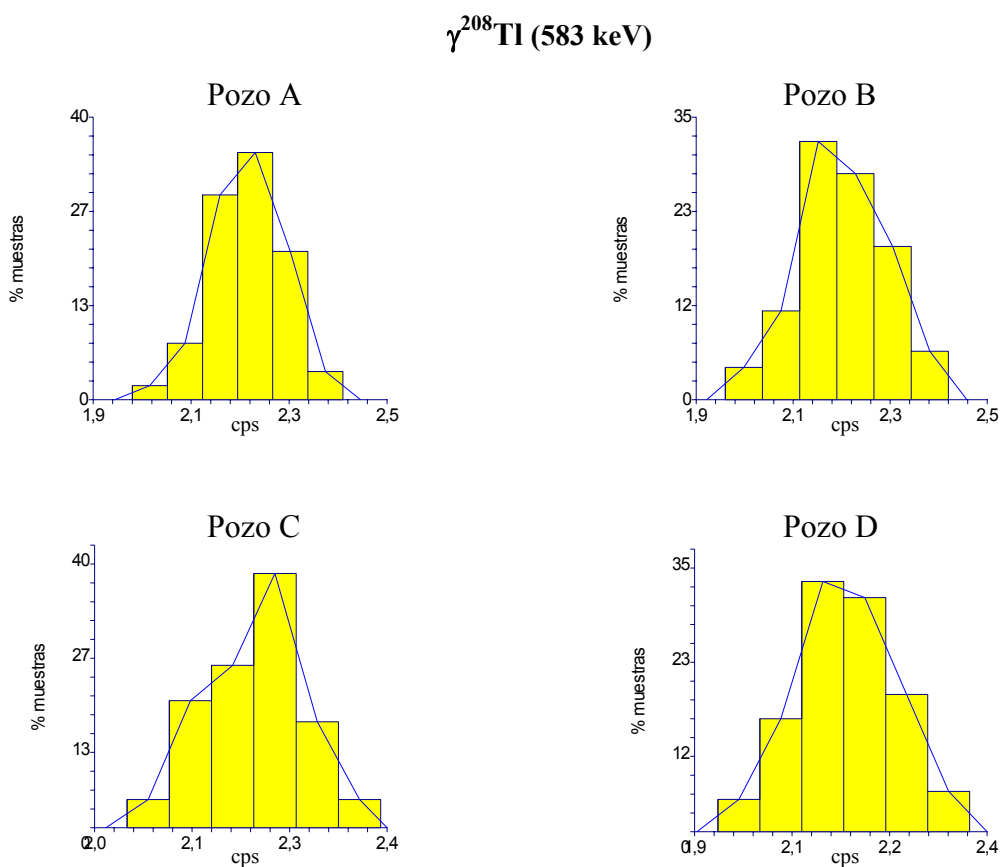


Fig. 5.5. Histogramas y polígonos de frecuencia radiométricos de los pozos en estudio.

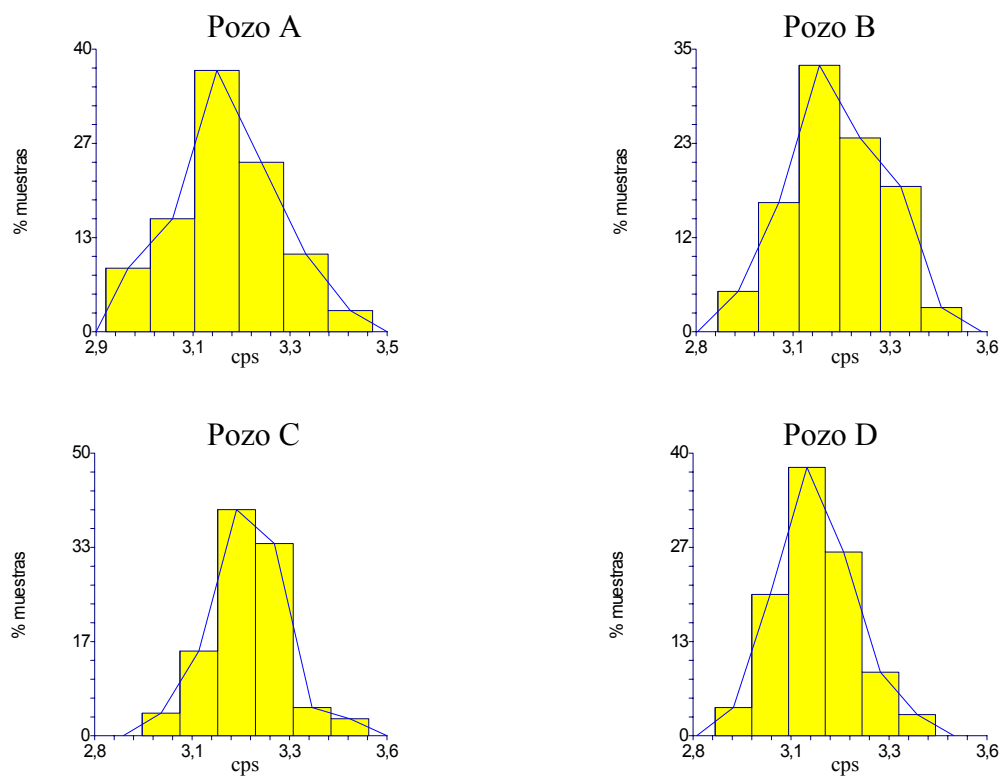
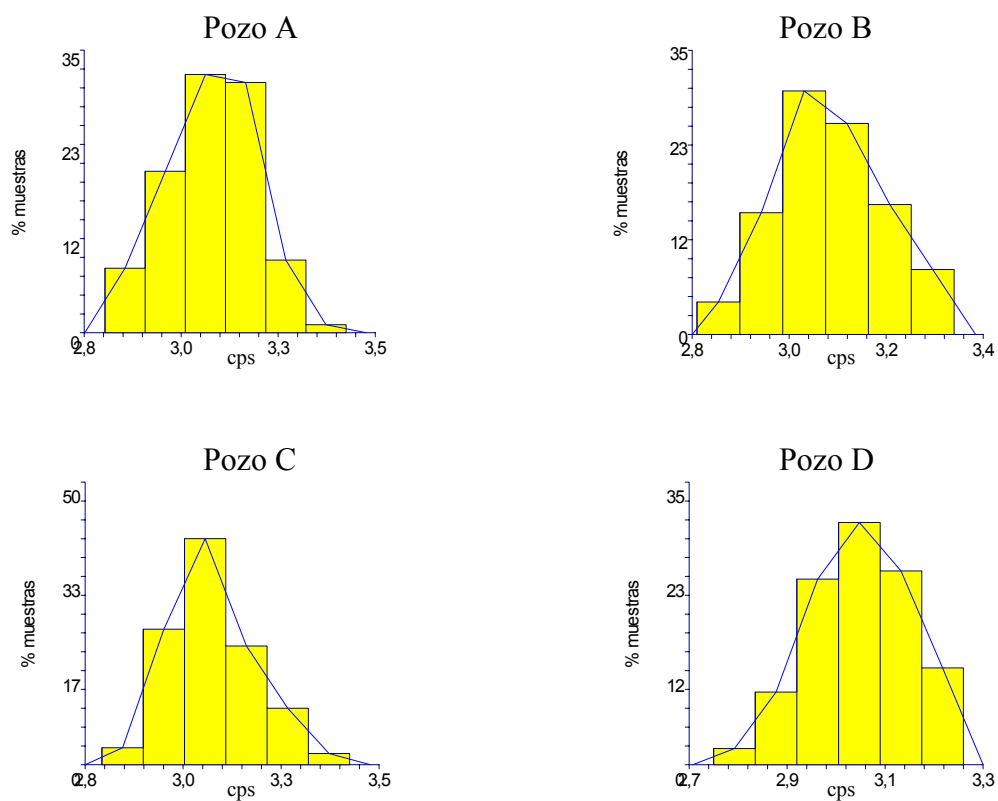
$\gamma^{214}\text{Bi}$ (609 keV) γF1 

Fig. 5.5. (Continuación).

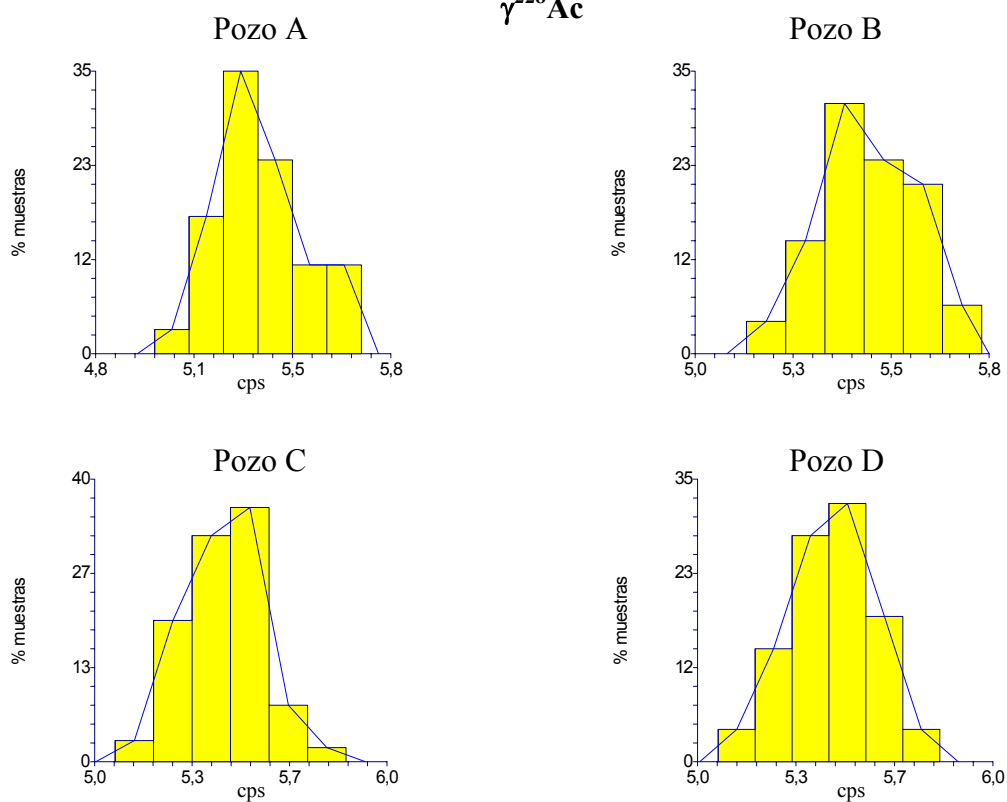
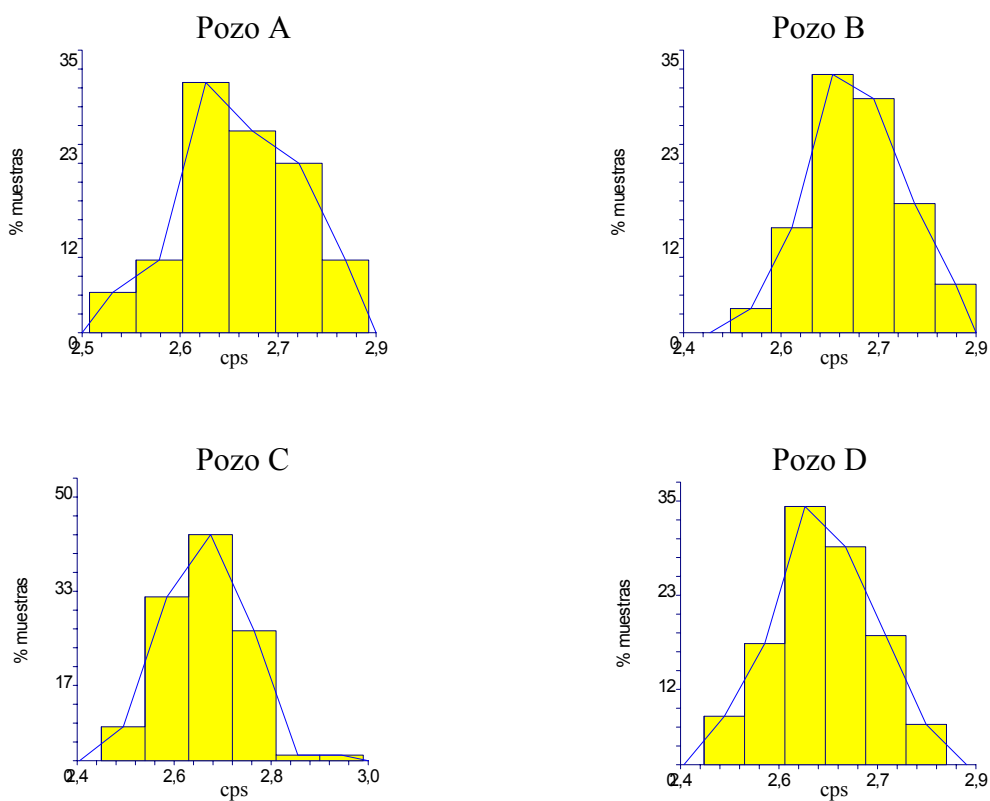
$\gamma^{228}\text{Ac}$  $\gamma^{214}\text{Bi}$ (1120 keV)

Fig. 5.5. (Continuación).

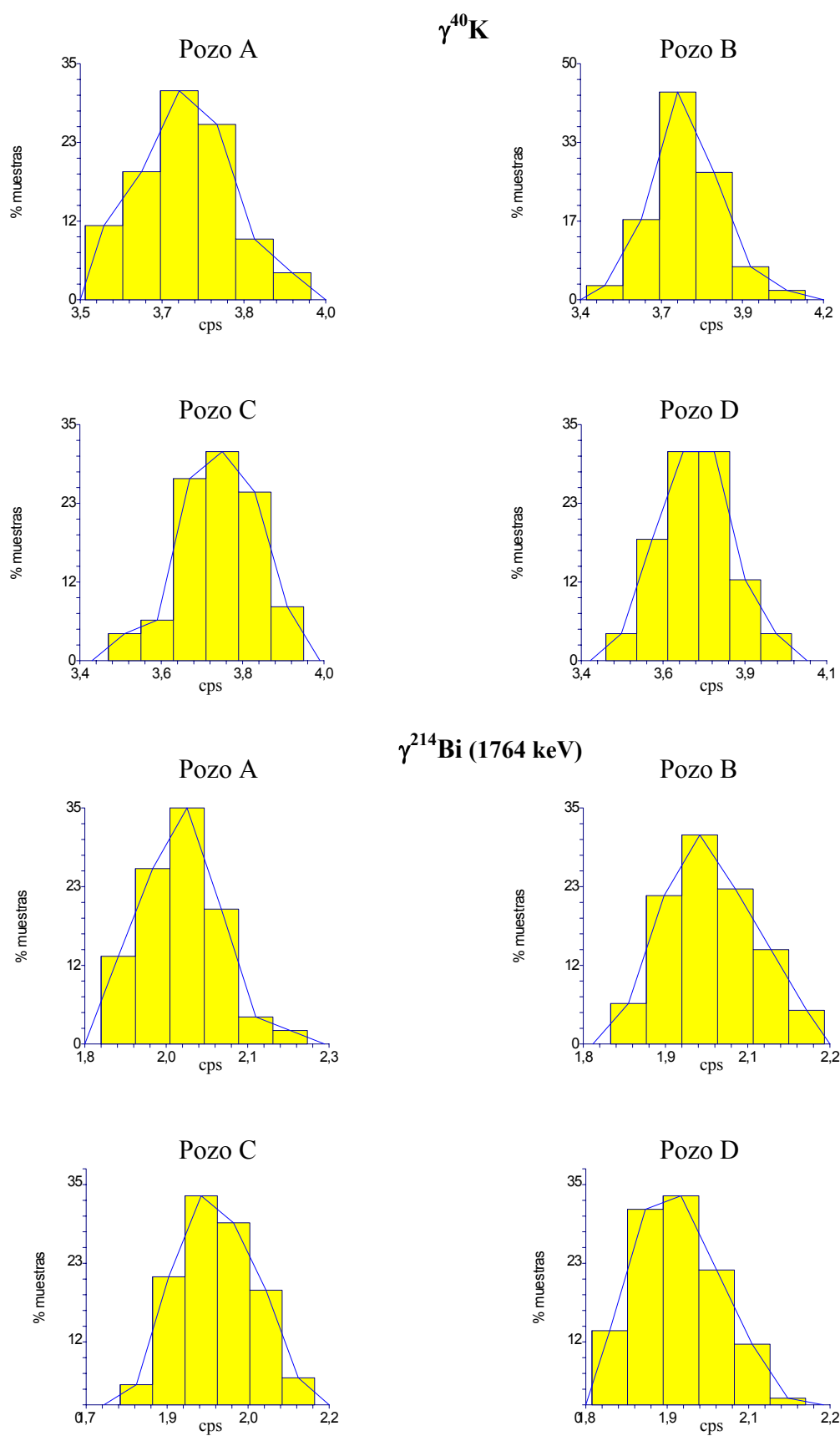


Fig. 5.5. (Continuación).

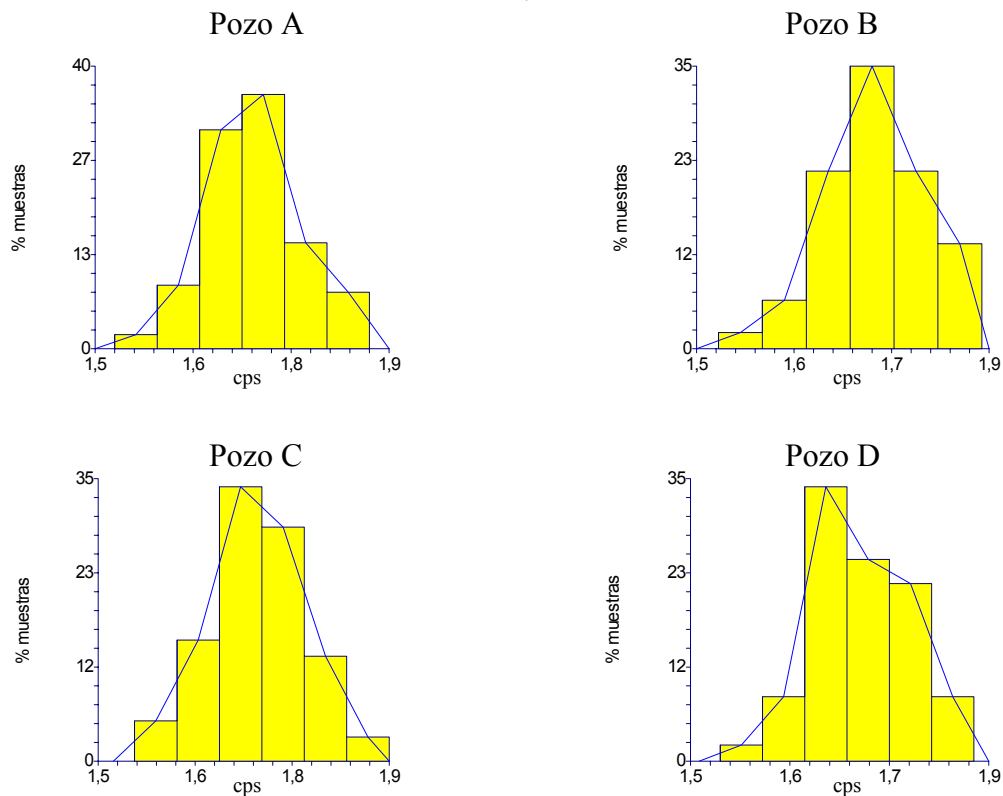
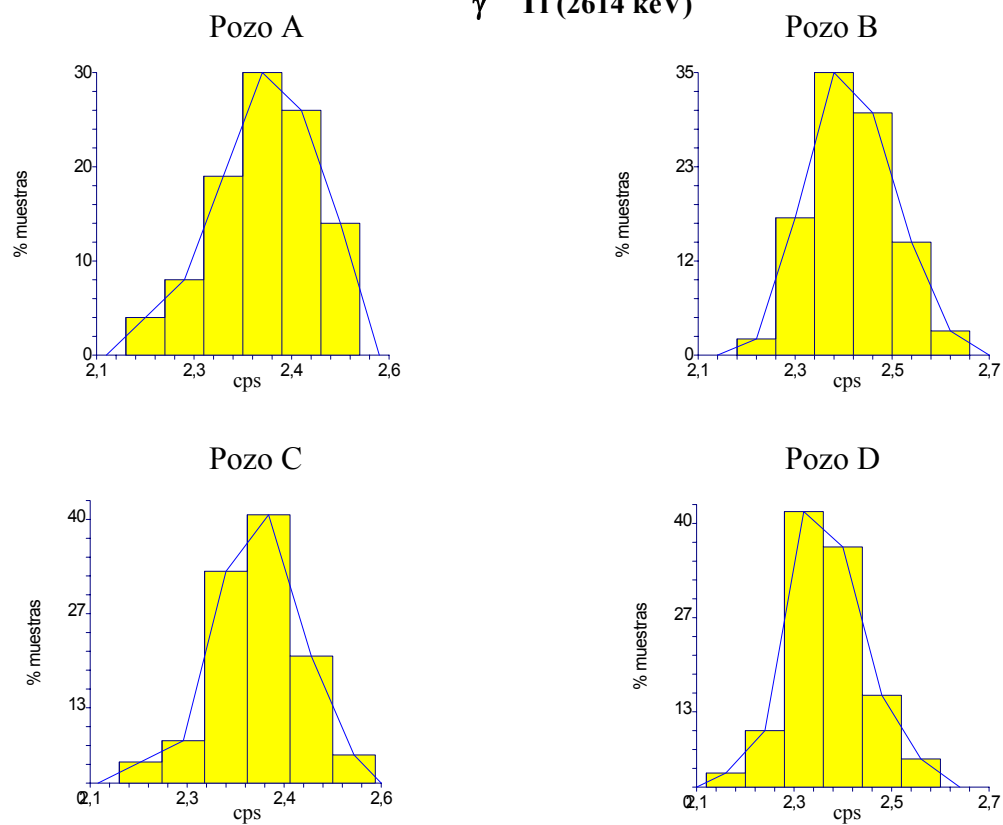
$\gamma F2$  $\gamma^{208}\text{Tl}$ (2614 keV)

Fig. 5.5. (Continuación).

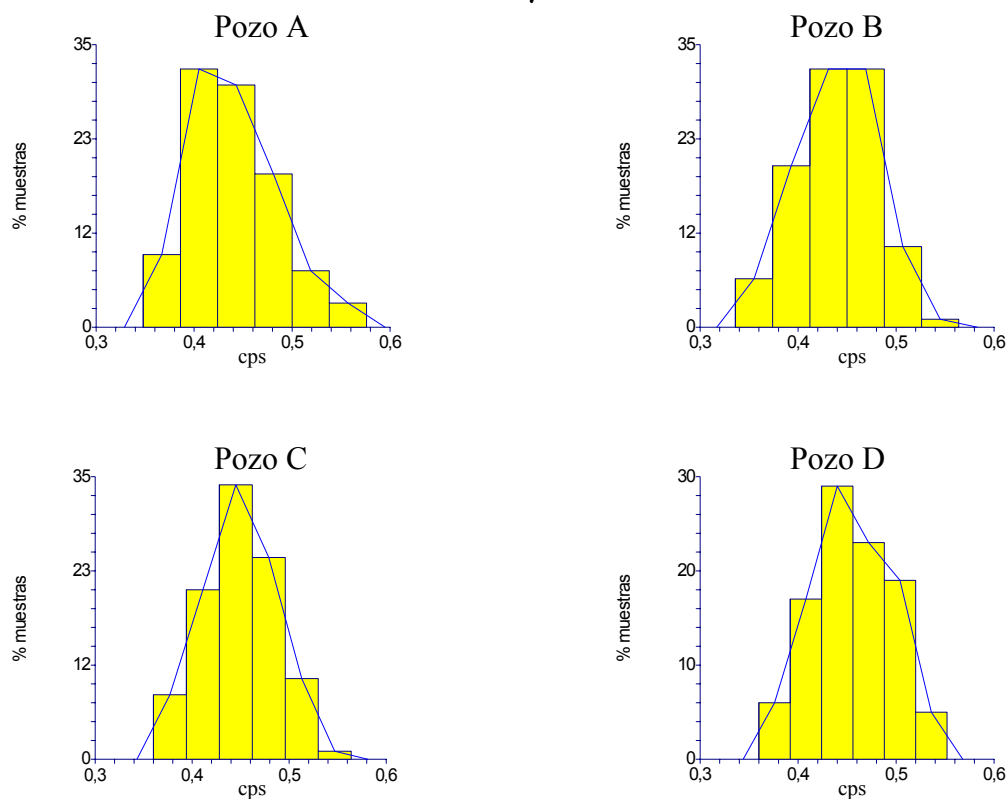
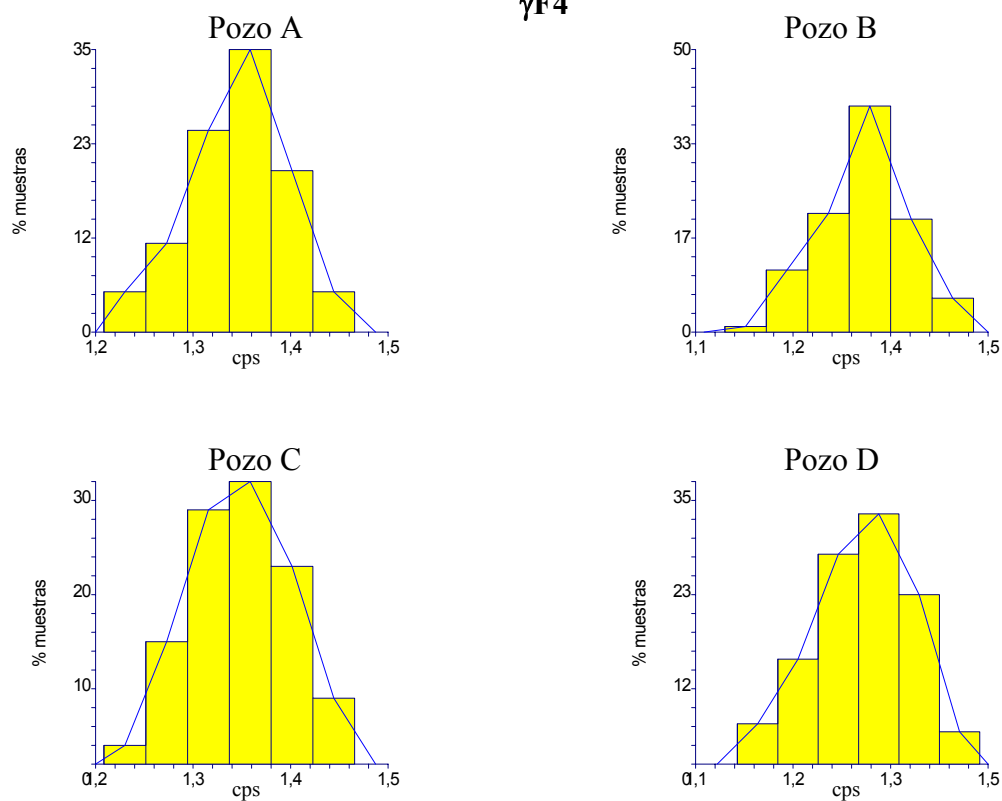
$\gamma F3$  $\gamma F4$ 

Fig. 5.5. (Continuación).

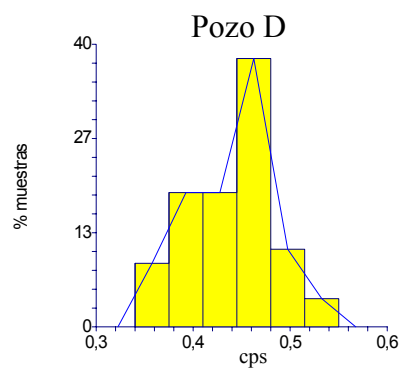
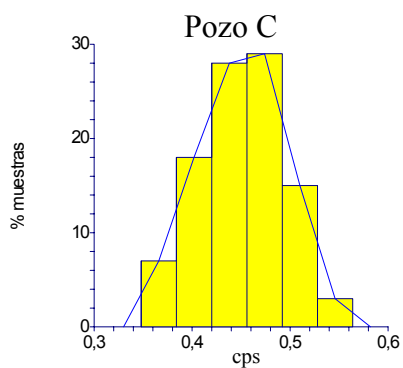
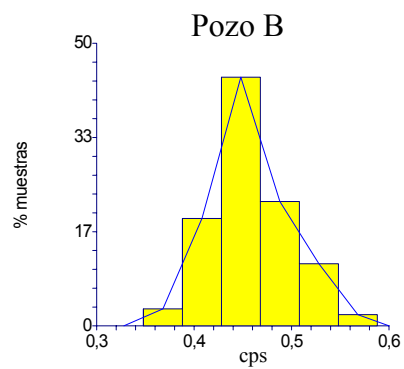
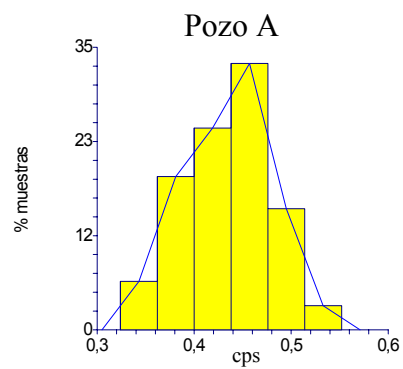
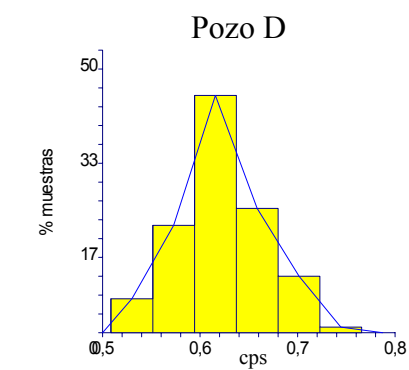
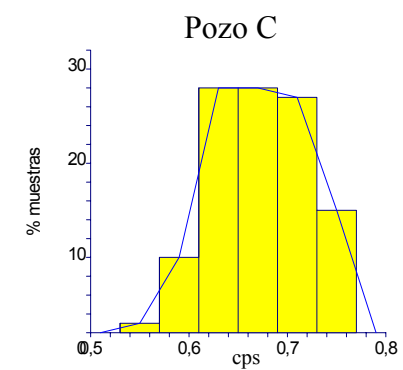
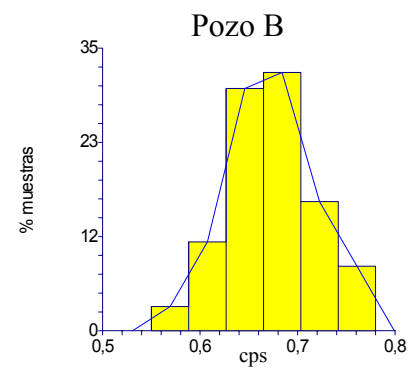
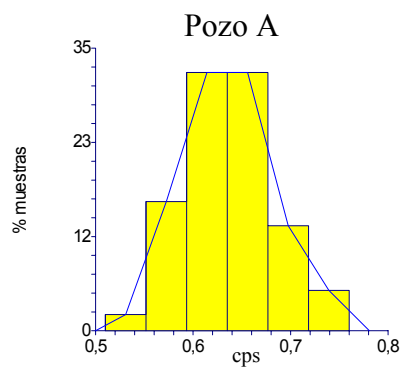
$\gamma F5$  $\gamma F6$ 

Fig. 5.5. (Continuación).

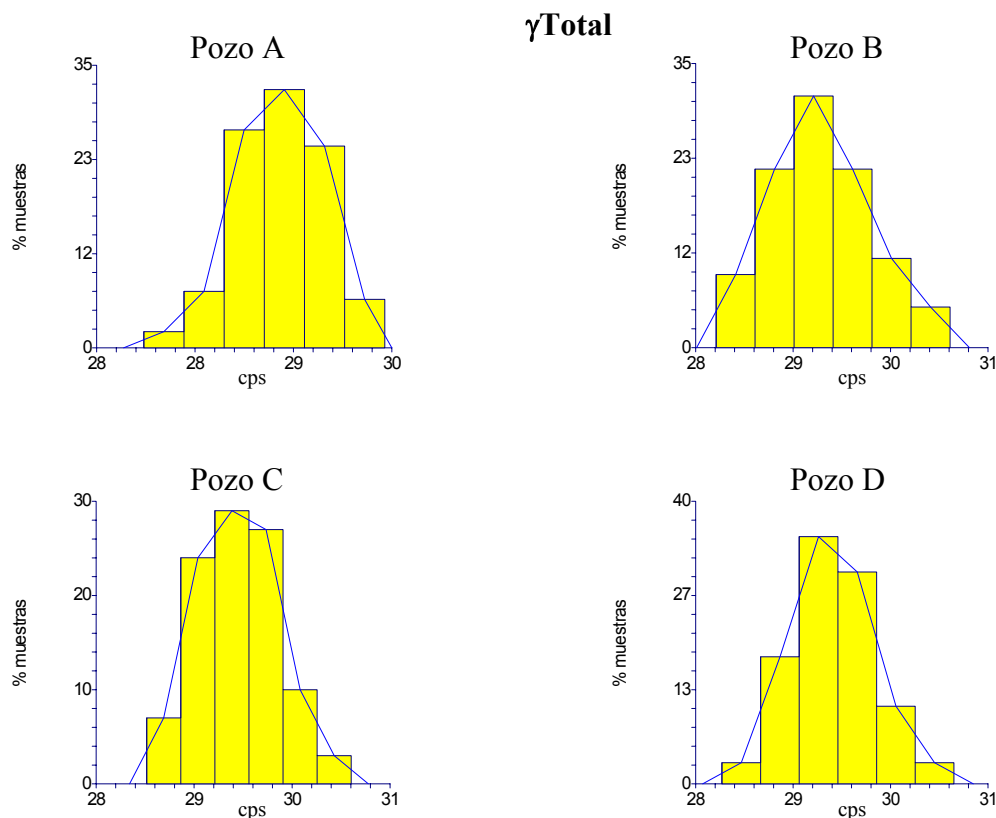


Fig. 5.5. (Continuación).

En este punto se hace importante recordar lo que se ha mencionado en el capítulo 3: los isótopos ^{208}Tl y ^{228}Ac corresponden a la serie de desintegración del Th, mientras que el ^{214}Bi lo es de la serie de desintegración del U, por lo tanto se puede aseverar la presencia de estos elementos radioactivos a partir de la medición de cuantos γ proveniente los isótopos que pertenecen a sus respectivas cadenas de desintegración.

En la figura 5.5, se observa que para cada una de las variables radiométricas estudiadas (ventanas principales y secundarias) se mantiene el carácter unimodal de sus polígonos de frecuencia. En general, no se observan marcadas diferencias entre las modas (en cps) de cada una de estas variables, sin embargo, a continuación se mencionan y analizan las pequeñas variaciones existentes principalmente entre las ventanas de medición correspondientes a los isótopos.

El ^{208}Tl (583 keV) presenta en el pozo C la moda de más alto valor (2,22 cps en un 36% de las muestras), esto se observa también en el ^{208}Tl (2.614 keV) cuya moda (2,36 cps) corresponde a un 38% de las muestras del pozo C. Finalmente el otro isótopo que determina la presencia de Th, el ^{228}Ac , también presenta su moda más elevada en el mismo pozo (5,46 cps en un 36% de las muestras).

Según EHRENBURG & SVANA (2000) esto podría explicarse por la presencia de Th concentrado en las litologías de grano fino, lo cual también se observa en los perfiles generados por las relaciones elementales de este pozo (Fig. 5.13), donde los picos generados por la relación Al/K corresponden a picos de Th.

Los polígonos de frecuencia del isótopo ^{214}Bi en dos de sus niveles de energía (609 y 1.120 keV), presentan sus modas (3,14 y 2,63 cps respectivamente) en 40% de las muestras del pozo C. Mientras que para los 1.764 keV la moda de mayor frecuencia está representada por 2 cps en un 35% de las muestras del pozo A.

El ^{40}K presenta su moda de 3,7 cps en un 43% de las muestras del pozo B, aunque este valor en cps no es sustancialmente mayor que en los otros pozos, sí lo es su frecuencia que no excede el 30% de las muestras de los demás pozos. Este isótopo está asociado directamente al contenido de aluminosilicatos, principalmente en arcillas, micas y feldespato potásico (EHRENBURG & SVANA 2000). Esto corrobora lo inferido anteriormente acerca de la mayor concentración del K_2O en este pozo.

En general, el comportamiento de las cuentas de γTotal depende del comportamiento de las ventanas principales y secundarias, dado que este es calculado al sumar las cuentas de estas en cada muestra. De acuerdo a esto, se observa en el polígono de frecuencia de γTotal que la moda de mayor frecuencia está representada por un 35% de las muestras del pozo D que presentan 29,1 cps.

De acuerdo a los resultados antes mencionados, se puede decir que la mayor proporción de Th se presenta entre los sedimentos del pozo C, al igual que la de U (seguido por el pozo A).

La tabla 5.3 resume el comportamiento de los histogramas de frecuencia radiométricos.

Tabla 5.3. Cuadro comparativo de los histogramas y polígonos de frecuencia radiométricos correspondientes a los pozos en estudio.

	Pozo A	Pozo B	Pozo C	Pozo D
$\gamma^{208}\text{Tl}$ (583 keV)	Unimodal Máximo = 2,2 cps	Unimodal Máximo = 2,1 cps	Unimodal Máximo = 2,22 cps	Unimodal Máximo = 2,12 cps
$\gamma^{214}\text{Bi}$ (609 keV)	Unimodal Máximo = 3,1 cps	Unimodal Máximo = 3,1 cps	Unimodal Máximo = 3,14 cps	Unimodal Máximo = 3,1 cps
γF1	Unimodal Máximo = 3 cps	Unimodal Máximo = 3 cps	Unimodal Máximo = 3 cps	Unimodal Máximo = 3 cps
$\gamma^{228}\text{Ac}$	Unimodal Máximo = 5,22 cps	Unimodal Máximo = 5,36 cps	Unimodal Máximo = 5,46 cps	Unimodal Máximo = 5,44 cps
$\gamma^{214}\text{Bi}$ (1120 keV)	Unimodal Máximo = 2,6 cps	Unimodal Máximo = 2,63 cps	Unimodal Máximo = 2,63 cps	Unimodal Máximo = 2,6 cps
$\gamma^{40}\text{K}$	Unimodal Máximo = 3,7 cps	Unimodal Máximo = 3,7 cps	Unimodal Máximo = 3,7 cps	Unimodal Máximo = 3,6 cps
$\gamma^{214}\text{Bi}$ (1764 keV)	Unimodal Máximo = 2 cps	Unimodal Máximo = 1,94 cps	Unimodal Máximo = 1,92 cps	Unimodal Máximo = 1,9 cps
γF2	Unimodal Máximo = 1,7 cps	Unimodal Máximo = 1,66 cps	Unimodal Máximo = 1,64 cps	Unimodal Máximo = 1,62 cps
$\gamma^{208}\text{Tl}$ (2614 keV)	Unimodal Máximo = 2,35 cps	Unimodal Máximo = 2,34 cps	Unimodal Máximo = 2,36 cps	Unimodal Máximo = 2,28 cps
γF3	Unimodal Máximo = 0,38 cps	Unimodal Máximo = 0,41 cps	Unimodal Máximo = 0,43 cps	Unimodal Máximo = 0,42 cps
γF4	Unimodal Máximo = 1,34 cps	Unimodal Máximo = 1,32 cps	Unimodal Máximo = 1,34 cps	Unimodal Máximo = 1,27 cps
γF5	Unimodal Máximo = 0,44 cps	Unimodal Máximo = 0,45 cps	Unimodal Máximo = 0,46 cps	Unimodal Máximo = 0,44 cps
γF6	Unimodal Máximo = 0,6 cps	Unimodal Máximo = 0,66 cps	Unimodal Máximo = 0,61 cps	Unimodal Máximo = 0,6 cps
γTotal	Unimodal Máximo = 28,7 cps	Unimodal Máximo = 29 cps	Unimodal Máximo = 29,2 cps	Unimodal Máximo = 29,1 cps

5.3.4. Diagramas de caja radiométricos

Los resultados obtenidos mediante la manipulación de los datos en diagramas de caja radiométricos para cada uno de los pozos en estudio que se presentan en las figuras 5.6 y 5.7.

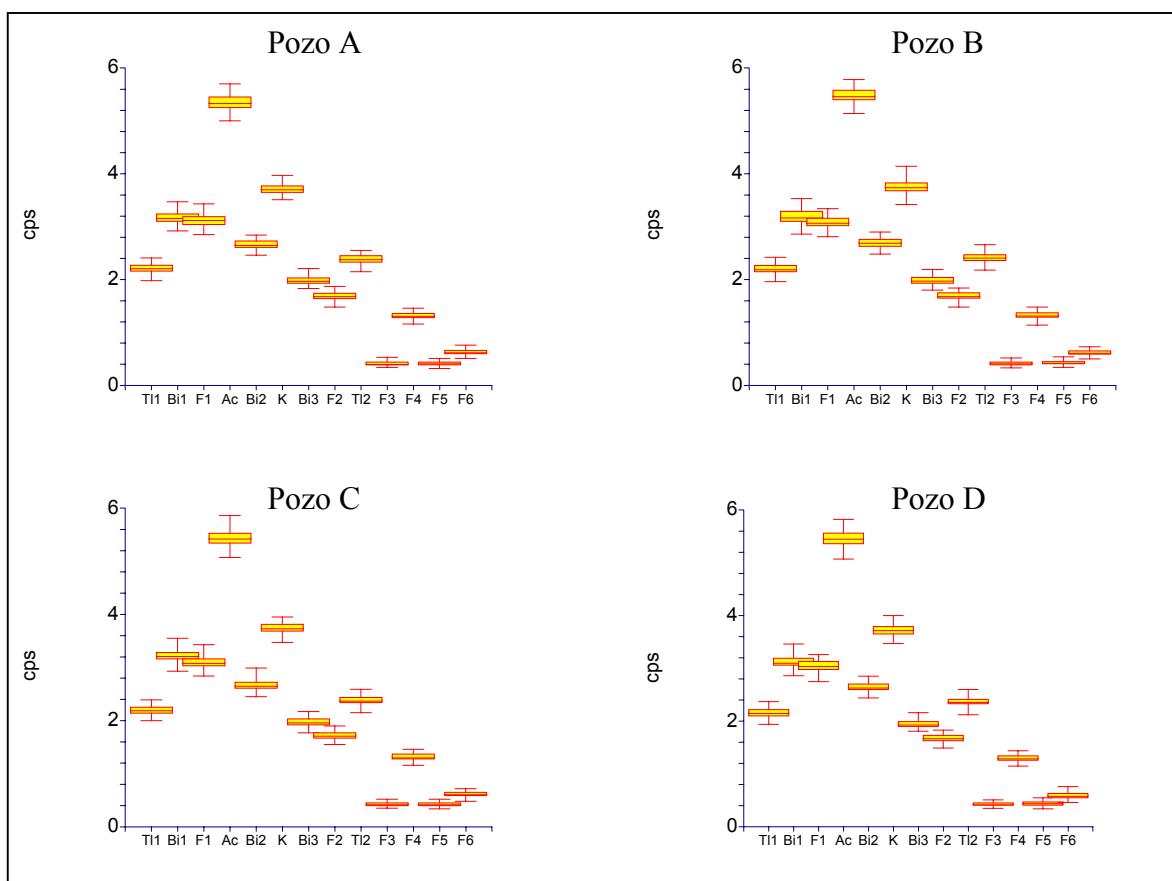


Fig. 5.6. Diagramas de caja de las variables radiométricas de los pozos en estudio.

La figura 5.6 muestra los diagramas de caja de todas las ventanas de medición excepto γ Total, para facilitar la visualización.

Se observa que las principales variables radiométricas según la dispersión que presentan sus diagramas de caja, en orden de importancia; son ^{228}Ac , ^{214}Bi (609 keV), ^{208}Tl (583 keV), ^{214}Bi (1120 keV), ^{40}K , ^{214}Bi (1764 keV), ^{208}Tl (2614 keV), F1 y F2, mientras que el resto de las variables (siendo todas ventanas secundarias) presentan cajas de tamaño muy reducido. No se observan variaciones notorias entre las cajas de estas variables entre los pozos (cajas similares, con rangos de valores parecidos en cada variable), sin embargo se observa para los diagramas de caja de los isótopos que los valores adyacentes que abarcan mayor rango corresponden a los pozos en los que se mencionó que (según los histogramas de frecuencia) presentaban en mayor proporción el elemento radioactivo al cual corresponden dichos isótopos.

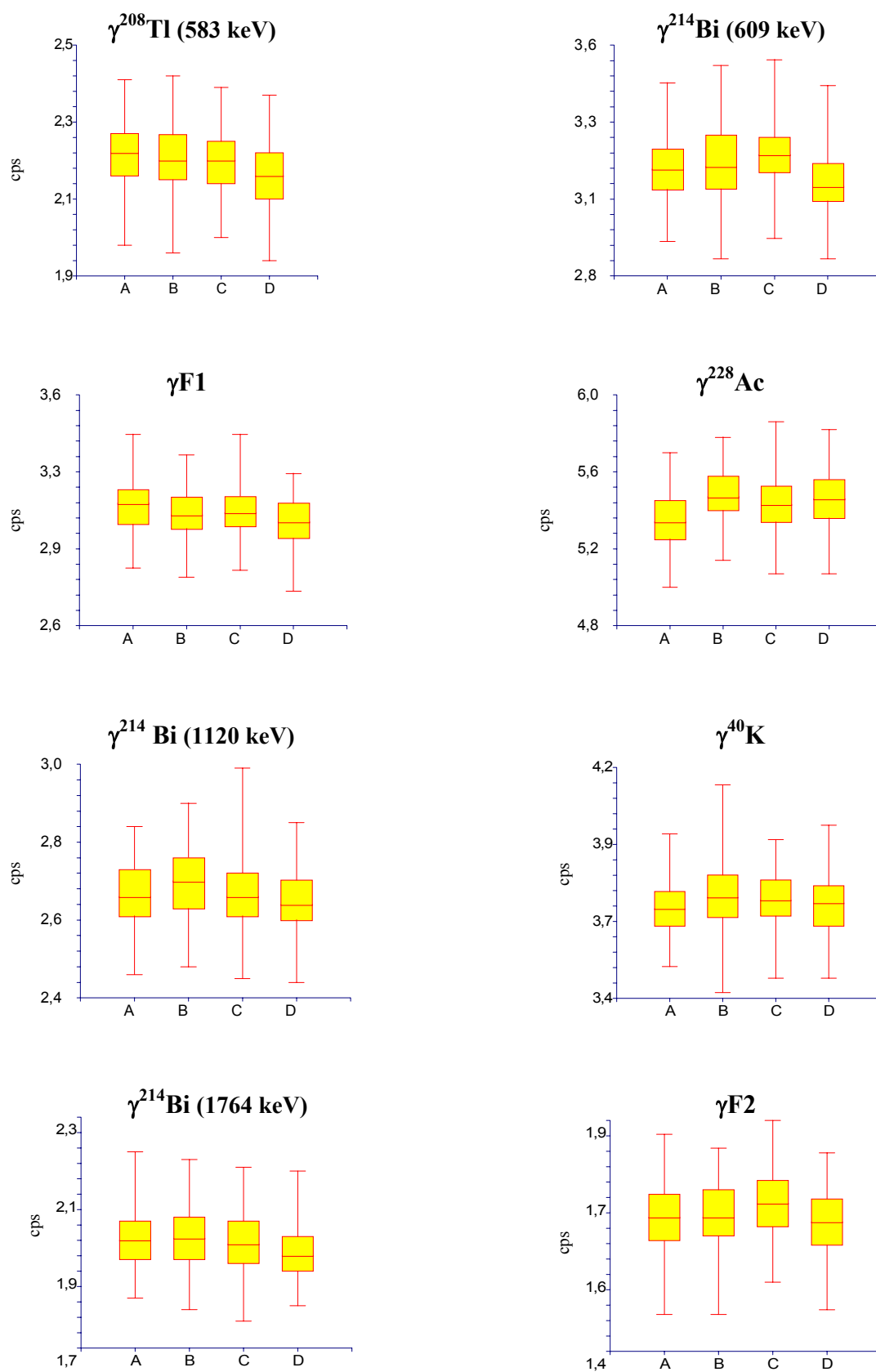


Fig. 5.7. Diagramas de caja de cada variable radiométrica en los pozos estudiados.

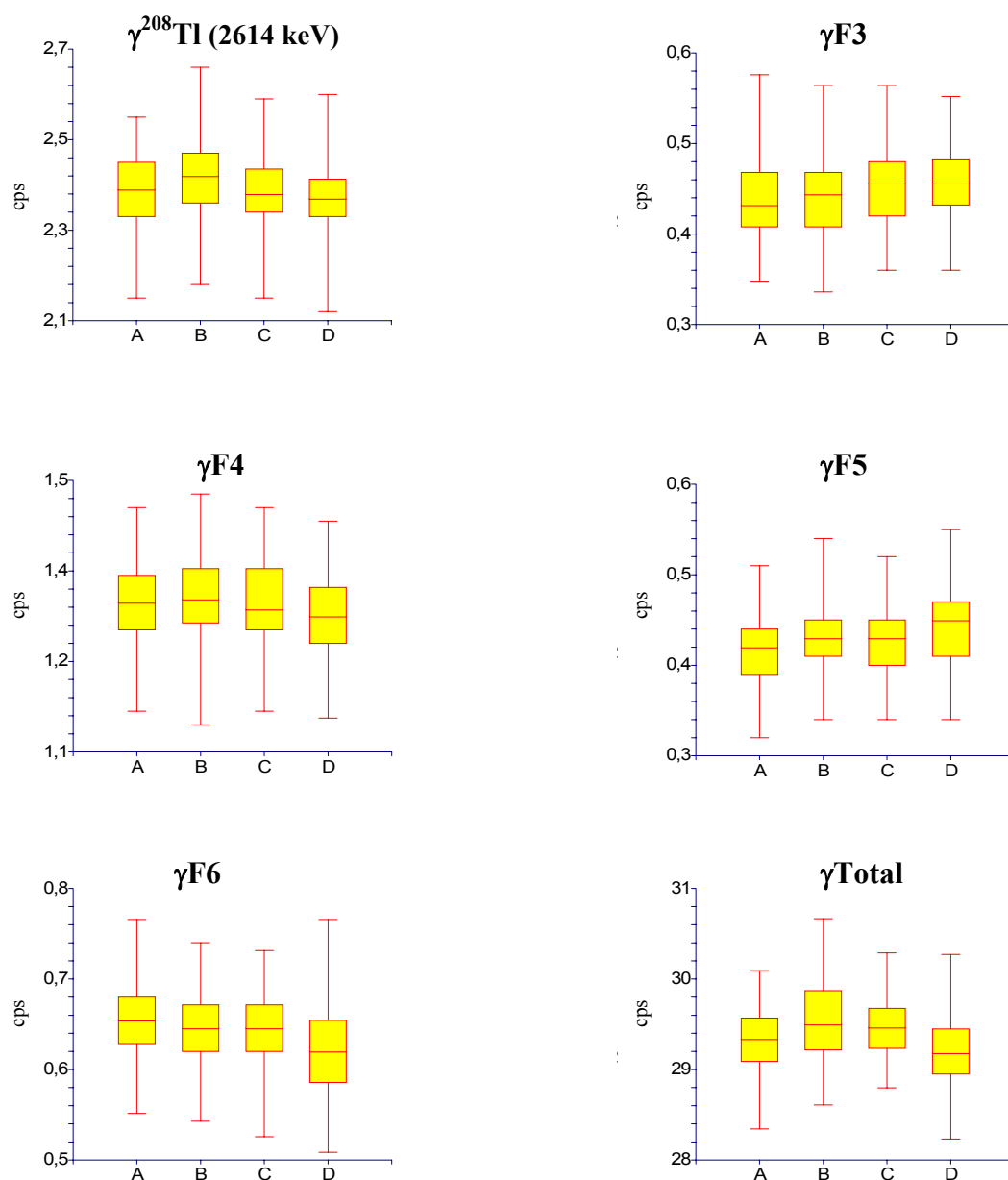


Fig. 5.7. (Continuación).

En general se observa en las figuras 5.6 y 5.7, que las cajas de cada variable radiométrica, así como sus dispersiones y valores de las medianas son bastante similares en los pozos. Esto también se puede apreciar en la tabla 5.4 que resume el comportamiento de estos diagramas.

Tabla 5.4. Cuadro comparativo entre los diagramas de caja radiométricos de los pozos en estudio.

	Pozo A	Pozo B	Pozo C	Pozo D
$\gamma^{208}\text{Tl}$ (583 keV)	Mediana = 2,16 cps	Mediana = 2,2 cps	Mediana = 2,2 cps	Mediana = 2,22 cps
	Dispersión similar.			
$\gamma^{214}\text{Bi}$ (609 keV)	Mediana = 3,18 cps	Mediana = 3,19 cps	Mediana = 3,22 cps	Mediana = 3,14 cps
	Dispersión: igual a la de los pozos C y D	Dispersión: ligeramente mayor que la del resto de los pozos	Dispersión: igual a la del pozo A	
γF1	Mediana = 3,15 cps	Mediana = 3,06 cps	Mediana = 3,08 cps	Mediana = 3,04 cps
	Dispersión similar.			
$\gamma^{228}\text{Ac}$	Mediana = 5,3 cps	Mediana = 5,48 cps	Mediana = 5,44 cps	Mediana = 5,46 cps
	Dispersión similar.			
$\gamma^{214}\text{Bi}$ (1120 keV)	Mediana = 2,66 cps	Mediana = 2,7 cps	Mediana = 2,66 cps	Mediana = 2,46 cps
	Dispersión similar.			
$\gamma^{40}\text{K}$	Mediana = 3,73 cps	Mediana = 3,76 cps	Mediana = 3,76 cps	Mediana = 3,75 cps
	Dispersión similar.			
$\gamma^{214}\text{Bi}$ (1764 keV)	Mediana = 1,97 cps	Mediana = 1,97 cps	Mediana = 1,96 cps	Mediana = 1,94 cps
	Dispersión similar.			
γF2	Mediana = 1,67 cps	Mediana = 1,67 cps	Mediana = 1,68 cps	Mediana = 1,67 cps
	Dispersión similar.			
$\gamma^{208}\text{Tl}$ (2614 keV)	Mediana = 2,39 cps	Mediana = 2,41 cps	Mediana = 2,38 cps	Mediana = 2,37 cps
	Dispersión similar.			Dispersión: Ligeramente menor a la del resto de los pozos
γF3	Mediana = 0,43 cps	Mediana = 0,44 cps	Mediana = 0,45 cps	Mediana = 0,45 cps
	Dispersión similar.			
γF4	Mediana = 1,32 cps	Mediana = 1,33 cps	Mediana = 1,31 cps	Mediana = 1,3 cps
	Dispersión similar.			
γF5	Mediana = 0,42 cps	Mediana = 0,43 cps	Mediana = 0,43 cps	Mediana = 0,45 cps
	Dispersión similar.			Dispersión: Ligeramente mayor a la del resto de los pozos.
γF6	Mediana = 0,65 cps	Mediana = 0,65 cps	Mediana = 0,64 cps	Mediana = 0,62 cps
	Dispersión similar.			Dispersión: Ligeramente mayor a la del resto de los pozos.
γTotal	Mediana = 29,3 cps	Mediana = 29,5 cps	Mediana = 29,5 cps	Mediana = 29,2 cps
	Dispersión: igual a la de los pozos C y D	Dispersión: Ligeramente mayor a la del resto de los pozos.	Dispersión similar.	

5.3.5. Diagramas de dispersión químicos y radiométricos

Mediante la elaboración de los diagramas de dispersión se comprueba la existencia de relaciones lineales significativas entre las variables químicas y radiométricas estudiadas. Las tablas 5.5 y 5.6 muestran los valores de los coeficientes de correlación determinados a partir de estos diagramas de dispersión, y de los valores con un 95 y 99% de confiabilidad. El valor de los coeficientes de estos porcentajes fue calculado a partir de la tabla de valores críticos para coeficientes de correlación de SNEDECOR (1946, en CROW *et al.* 1960) (apéndice VII), según el número de muestras de cada pozo.

A partir de las combinaciones lineales que muestran confiabilidad mayor a 95% en las tablas 5.5 y 5.6, se construyeron los diagramas de dispersión que serán referidos en el texto y que se presentan en el apéndice V. Estos diagramas de dispersión han sido construidos en función de los tipos litológicos determinados mediante la clasificación geoquímica de HERRON (1988), permitiendo así la visualización de la relación de los pares químicos y/o radiométricos con la litología a la que están asociados y obtener el coeficiente de correlación (R) correspondiente a cada litología. Es importante destacar que estas combinaciones entre elementos se realizaron de manera sistemática, sin embargo se descartó el CO₂ por ser calculado a partir del CaO por lo que serían sus diagramas de dispersión iguales.

A continuación se analizarán los resultados obtenidos en los diagramas de dispersión, en los cuales se diferencian las litologías presentes en cada pozo (apéndice V) y su interpretación se hará posteriormente. En este punto es importante mencionar que en el grupo de las areniscas se incluyen las wackas, mientras que en el grupo de las lutitas se incluyen las que son ricas en Fe (lutitas - Fe).

Pozo A

De manera general se observa en la tabla 5.5 que las relaciones lineales con mejores ajustes en este pozo se presentan entre los componente químicos, siendo los coeficientes de correlación notoriamente inferiores al relacionar variables químicas versus radiométricas o entre dos variables radiométricas.

Tabla 5.5. Coeficientes de correlación (R) de los pozos A y B.

B A	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	K2O	V	Ni	Zn	Rb	Sr	Zr	Hg	Pb	$\gamma^{208}\text{Tl}$	$\gamma^{214}\text{Bi}$	γF1	$\gamma^{228}\text{Ac}$	$\gamma^{214}\text{Bi}$	$\gamma^{40}\text{K}$	$\gamma^{214}\text{Bi}$	γF2	$\gamma^{208}\text{Tl}$	γF3	γF4	γF5	γF6	γTotal	
																	583	609			1120		1764		2614						
SiO2		0,146	-0,416	-0,434	-0,269	0,123	-0,654	-0,047	-0,127	0,090	-0,354	-0,369	-0,567	0,789	N.D.	-0,087	0,035	-0,039	0,100	0,017	0,080	0,202	0,083	0,083	0,108	0,095	0,022	0,122	-0,040	0,136	
TiO2	-0,178		0,614	-0,407	-0,330	0,055	-0,614	0,836	0,509	0,046	-0,242	0,687	-0,202	0,170	N.D.	0,459	0,174	0,328	0,272	0,103	0,129	0,138	0,198	0,140	0,153	-0,008	0,186	-0,037	0,089	0,355	
Al2O3	-0,364	0,743		-0,008	-0,050	0,051	-0,156	0,728	0,445	-0,043	0,108	0,787	0,286	-0,409	N.D.	0,379	0,163	0,267	0,201	-0,033	0,073	-0,043	0,227	0,102	0,013	-0,125	0,214	-0,095	0,117	0,209	
Fe2O3	-0,245	0,191	0,289		0,877	-0,141	0,098	-0,345	0,073	-0,051	0,700	-0,022	0,532	-0,466	N.D.	0,013	-0,109	-0,194	-0,208	-0,064	-0,195	-0,187	-0,097	-0,246	-0,170	-0,124	-0,104	-0,053	0,004	-0,305	
MnO	-0,374	0,485	0,705	0,320		-0,061	0,007	-0,336	0,007	0,011	0,563	-0,115	0,328	-0,273	N.D.	0,030	-0,032	-0,079	-0,183	-0,062	-0,173	-0,127	-0,007	-0,189	-0,149	-0,129	-0,080	0,014	0,022	-0,205	
MgO	0,220	-0,052	-0,052	-0,181	-0,168		-0,083	0,023	-0,106	0,037	-0,064	-0,037	-0,161	0,202	N.D.	-0,031	-0,048	-0,003	-0,073	0,003	0,004	-0,053	0,035	-0,105	-0,083	0,029	-0,075	-0,074	0,075	-0,061	
CaO	-0,657	-0,432	-0,293	-0,261	-0,216	-0,046		-0,444	-0,337	-0,060	0,104	-0,275	0,281	-0,403	N.D.	-0,297	-0,096	-0,113	-0,190	-0,088	-0,079	-0,167	-0,174	-0,046	-0,098	0,006	-0,107	-0,027	-0,008	-0,225	
K2O	-0,245	0,730	0,643	-0,061	0,589	-0,019	-0,265		0,411	0,024	-0,177	0,829	0,047	-0,023	N.D.	0,404	0,153	0,276	0,252	0,055	0,147	0,051	0,203	0,193	0,118	-0,064	0,189	-0,063	0,055	0,300	
V	-0,127	0,073	0,146	0,637	0,060	-0,105	-0,131	-0,270		-0,002	0,097	0,584	0,221	-0,353	N.D.	0,570	0,192	0,146	0,159	0,209	0,003	0,162	0,119	-0,007	0,068	-0,018	0,093	0,043	-0,015	0,237	
Ni	-0,129	-0,052	-0,099	-0,147	-0,155	0,122	0,218	0,017	-0,028		0,017	-0,005	0,057	0,208	N.D.	0,033	0,040	-0,054	0,077	-0,060	0,070	0,045	-0,036	0,030	-0,055	-0,033	0,024	-0,122	0,037	0,003	
Zn	-0,701	-0,065	0,099	0,415	0,182	-0,132	0,513	0,001	0,269	0,123		0,126	0,605	-0,291	N.D.	0,149	-0,042	-0,039	-0,030	-0,110	-0,179	-0,073	-0,041	-0,231	-0,094	-0,203	-0,079	-0,119	0,133	-0,169	
Rb	-0,429	0,695	0,790	0,159	0,751	-0,139	-0,240	0,875	-0,027	-0,040	0,163		0,370	-0,403	N.D.	0,523	0,148	0,212	0,225	0,054	0,036	-0,001	0,127	0,045	0,015	-0,107	0,123	-0,124	0,071	0,185	
Sr	-0,889	0,274	0,412	0,161	0,373	-0,181	0,592	0,337	0,112	0,136	0,624	0,481		-0,541	N.D.	0,167	0,056	-0,063	0,042	-0,055	-0,079	-0,153	-0,003	-0,149	-0,108	-0,132	-0,017	-0,098	0,057	-0,108	
Zr	0,367	0,415	-0,056	-0,173	-0,164	0,178	-0,286	0,303	-0,293	0,058	-0,264	-0,043	-0,191		N.D.	-0,190	0,010	0,038	0,071	-0,023	0,066	0,152	0,011	0,111	0,150	0,078	0,061	0,045	0,025	0,126	
Hg	0,166	-0,057	-0,130	-0,128	-0,097	0,117	-0,003	-0,057	-0,095	-0,021	0,026	-0,152	-0,118	0,267		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Pb	-0,020	0,004	0,002	-0,026	-0,215	-0,052	0,144	-0,381	0,137	0,018	0,091	-0,293	0,104	-0,062	-0,026		0,115	0,166	0,183	0,055	0,051	0,119	0,121	-0,005	0,068	-0,108	0,123	-0,136	0,043	0,182	
$\gamma^{208}\text{Tl}(583)$	-0,052	0,181	0,172	0,191	0,102	-0,035	-0,133	0,080	0,011	-0,138	0,007	0,115	-0,003	0,057	0,034	0,040		0,288	0,302	0,124	0,224	0,195	0,118	0,163	0,162	0,142	0,061	0,055	0,189	0,531	
$\gamma^{214}\text{Bi}(609)$	-0,012	0,154	0,213	0,118	0,083	-0,007	-0,141	0,084	-0,055	-0,205	0,037	0,112	-0,067	-0,010	-0,013	-0,007	0,161		0,269	0,211	0,209	0,273	0,176	0,232	0,260	0,042	0,285	0,045	0,210	0,676	
γF1	0,007	-0,048	0,083	0,091	-0,007	-0,036	-0,061	-0,074	0,105	-0,064	-0,048	0,006	-0,050	-0,194	-0,085	0,007	0,127	0,182		0,032	0,143	0,098	0,267	0,096	0,061	-0,075	0,151	-0,098	0,304	0,495	
$\gamma^{228}\text{Ac}$	0,153	0,171	0,003	-0,140	0,036	0,088	-0,137	0,170	-0,181	0,001	-0,116	0,078	-0,072	0,259	0,109	-0,113	0,122	0,125	-0,244		0,122	0,174	-0,010	0,117	0,248	0,134	0,154	0,212	-0,112	0,487	
$\gamma^{214}\text{Bi}(1120)$	-0,081	0,026	0,134	0,051	0,086	-0,110	-0,021	0,010	0,217	-0,006	0,044	0,159	0,093	-0,163	-0,132	-0,005	-0,081	0,024	0,068	-0,052		0,157	0,146	0,104	0,249	0,119	0,111	0,097	0,136	0,471	
$\gamma^{40}\text{K}$	0,042	0,053	0,039	-0,101	0,003	0,059	-0,010	0,026	-0,143	-0,068	-0,093	0,031	0,019	0,007	-0,029	0,067	-0,011	0,207	-0,033	0,272	0,116		0,087	0,188	0,258	0,217	0,182	0,161	0,051	0,549	
$\gamma^{214}\text{Bi}(1764)$	0,063	-0,012	-0,020	-0,016	-0,047	0,048	-0,070	-0,032	0,024	-0,046	-0,054	0,020	-0,056	-0,060	0,040	0,061	0,132	0,111	0,029	0,152	0,087	0,202		0,021	0,050	0,013	0,191	0,038	0,108	0,368	
γF2	0,073	-0,091	-0,054	0,037	-0,108	0,044	0,008	-0,101	0,027	-0,014	-0,014	-0,125	-0,076	0,106	0,053	-0,049	0,039	0,217	0,088	0,166	0,036	0,040	0,149		0,125	-0,006	0,192	0,081	0,027	0,389	
$\gamma^{208}\text{Tl}(2614)$	-0,065	0,135	0,139	0,069	0,200	-0,089	-0,105	0,167	0,005	-0,041	-0,008	0,242	0,075	-0,131	-0,085	-0,007	0,138	0,011	-0,048	0,194	0,087	0,052	-0,028	0,004		0,163	0,266	0,193	0,031	0,514	
γF3	0,111	0,023	-0,028	0,049	-0,011	-0,049	-0,118	-0,017	-0,014	-0,023	0,002	-0,035	-0,071	0,052	-0,003	0,133	0,044	0,121	-0,025	0,217	-0,041	0,053	0,044	-0,062	0,046		0,082	0,118	-0,087	0,220	
γF4	0,029	-0,007	0,054	0,011	-0,040	0,098	-0,040	-0,007	-0,037	0,064	0,105	0,031	0,008	-0,003	-0,021	0,116	0,080	0,188	0,020	0,211	0,034	0,143	0,141	0,089	0,015	0,104		-0,030	0,015	0,439	
γF5	-0,126	0,032	0,053	-0,018	0,122	0,073	0,122	0,153	-0,077	0,081	0,108	0,112	0,240	0,095	0,081	-0,139	0,037	-0,016	-0,176	0,275	0,081	0,142	0,116	0,092	-0,046	0,118	-0,083		-0,088	0,219	
γF6	-0,042	0,000	0,063	0,099	-0,033	0,007	-0,034	-0,120	0,048	0,096	0,036	-0,044	-0,066	-0,096	0,002	0,106	0,051	0,085	0,285	-0,256	-0,039	-0,077	0,025	0,063	-0,150	-0,155	-0,013	-0,233		0,267	
γTotal	0,044	0,159	0,186	0,065	0,086	0,020	-0,178	0,098	-0,036	-0,109	-0,037	0,163	-0,030	0,002	-0,014	0,016	0,387	0,553	0,281	0,557	0,269	0,494	0,437	0,403	0,312	0,221	0,390	0,200	0,050		

Porcentajes de confiabilidad: 95 - 99% azul;
>99% amarillo

Elementos no detectados: rojo

Se puede observar que las mejores relaciones lineales (mayores valores de R^2) se dan entre los componentes químicos que presentan concentraciones similares en determinadas litologías (apéndice V), como se señala a continuación:

Entre el SiO_2 y Zr que presentan altas concentraciones en las areniscas, el TiO_2 y K_2O que muestran altas concentraciones en las lutitas, el Al_2O_3 y el Sr de baja concentración en areniscas y la relación entre Fe_2O_3 tanto con el V como con el Zn, en las areniscas y en las lutitas. Se muestra el caso particular del CaO vs. Sr (único caso en el que se incluye el valor de R^2 para las litologías carbonáticas), altamente concentrados en los carbonatos. Las relaciones MnO vs. Rb, K_2O vs. Rb y Sr vs. Rb presentan valores de R^2 significativamente lineales al 99% de confiabilidad (cerca de 1) en las areniscas debido a su baja concentración en este tipo de litología. Además la relación entre V vs. Zn en las lutitas debido a su relación con la materia orgánica.

También se observa en las relaciones de los componentes químicos y las variables radiométricas, que presentan coeficientes de correlación lineal significativos al 99% de confiabilidad, están dadas entre los componentes químicos y los isótopos que se asocian a un mismo tipo litológico (apéndice V), como en los siguientes casos:

El mayor valor de R^2 en estas relaciones está dado entre el Rb y ^{214}Bi (1120 keV) en las lutitas con $R^2 = 0,1464$.

En general, los mejores ajustes (valores de R^2 cercanos a 1) se presentan para las litologías en que ambas variables son de baja concentración, como lo indica para las areniscas las relaciones TiO_2 vs. ^{228}Ac , TiO_2 vs. ^{208}Tl (583 keV), ^{208}Tl (583 keV) vs. Fe_2O_3 , ^{208}Tl (583 keV) vs. Al_2O_3 , ^{208}Tl (583 keV) vs. MnO, así como ^{228}Ac vs. K_2O (apéndice V).

Existe también un valor de R^2 de confiabilidad del 99% para las litologías en las que suelen concentrarse las dos variables involucradas, como lo indica para las lutitas la relación ^{228}Ac vs. ^{40}K . Además se puede mencionar que entre la variable radiométrica γTotal y las demás variables radiométricas con las que se relaciona, existe un buen ajuste

debido al hecho de ser calculada a partir de la suma de todas las ventanas, además se puede observar un buen ajuste en las relaciones entre los isótopos y las ventanas secundarias próximas a ellos (Fig. 3.4).

Se observa en los diagramas de dispersión que involucran dos variables radiométricas (apéndice V) que, a diferencia de entre dos variables químicas, no hay rangos de cuentas por segundo (cps) en los cuales se ubiquen de manera diferencial los tipos litológicos, presentándose una mezcla de estos a lo largo del rango total de cps de cada variable radiométrica.

Pozo B

Se presenta para este pozo la misma situación del pozo A, donde los valores de R^2 dados por las relaciones entre dos variables químicas son significativamente lineales con un porcentaje mayor de confiabilidad y presentan valores más cercanos a 1 que los provenientes a relaciones en las que se involucran dos variables radiométricas.

Se observa en este pozo también que los mejores ajustes de las líneas de tendencia son dadas por las relaciones de elementos con similares concentraciones para determinados tipos litológicos, entre las que se pueden mencionar:

Para las areniscas SiO_2 vs. Zr, TiO_2 vs. K_2O , TiO_2 vs. Rb, Al_2O_3 vs. K_2O , Fe_2O_3 vs. Zn, MnO vs. Zn, K_2O vs. Rb, V vs. Rb y Sr vs. Zn. Mientras que para las lutitas se presentan valores de R^2 con mayor porcentaje de confiabilidad, en las relaciones TiO_2 vs. Al_2O_3 , TiO_2 vs. V, CaO vs. Sr y Sr vs. Rb principalmente. En todos estos pares de elementos se presentan ambos con altas o bajas concentraciones en dichas litologías, estando los mayores de estos valores representados por las relaciones Fe_2O_3 vs. MnO y TiO_2 vs. K_2O para las areniscas ($R^2 = 0,9251$ y $R^2 = 0,8737$ respectivamente), litología en la cual estos elementos no se concentran.

Las relaciones entre las variables químicas con radiométricas que resaltan por su valor de R^2 significativamente lineal a 99% de confiabilidad, para las areniscas son SiO_2 vs. ^{40}K ,

TiO₂ vs. ²¹⁴Bi (609 keV), TiO₂ vs. ²⁰⁸Tl (2614 keV) y Rb vs. ²¹⁴Bi (609 keV), además destaca la relación K₂O vs. γ Total cuyo elevado valor de R² puede deberse al alto porcentaje de lutitas que presenta este pozo.

Entre las relaciones de dos variables radiométricas se pueden mencionar que nuevamente los mayores valores de R² (todos significativamente lineales a 99% de confiabilidad) están representados por las relaciones entre los isótopos y γ Total, además se puede observar un buen ajuste en las relaciones entre los isótopos y las ventanas secundarias adyacentes a ellos (Fig. 3.4). Para las areniscas se presenta buen ajuste entre las variables radiométricas ²⁰⁸Tl (583 keV) vs. ⁴⁰K, ²¹⁴Bi (609 keV) vs. ⁴⁰K, ²¹⁴Bi (609 keV) vs. ²¹⁴Bi (1764 keV) y ²²⁸Ac vs. ⁴⁰K, donde todas estas variables no se concentran.

Pozo C

En general la situación que presentan los diagramas de dispersión de este pozo es bastante similar a la de los anteriores, sin embargo en este se presentan algunos casos de relaciones inversas (con líneas de tendencia con pendientes negativas) para las areniscas como en las relaciones Al₂O₃ vs. Sr, Al₂O₃ vs. Zn, Sr vs. Rb y Rb vs. Zn, donde altas proporciones del primer elemento corresponden a pocas cantidades del segundo.

Se presenta un caso particular en los diagramas de dispersión que involucran al V, mostrando que las areniscas de este pozos poseen valores mínimos de V, lo cual confirma la poca o nula existencia de materia orgánica dentro de ellas. La situación presentada por las relaciones que involucran variables radiométricas es bastante similar a la de los demás pozos.

Es importante mencionar que los excelentes ajustes presentados por las areniscas están directamente influenciados por la baja proporción que existe de este tipo litológico en el pozo C, debido a que no se presentan nubes de datos que provoquen dispersión, ajustándose con mayor facilidad a una línea recta.

Tabla 5.6. Coeficientes de correlación (R) de los pozos C y D.

C \ D	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	K2O	V	Ni	Zn	Rb	Sr	Zr	Hg	Pb	γ ²⁰⁸ Tl 583	γ ²¹⁴ Bi 609	γF1	γ ²²⁸ Ac	γ ²¹⁴ Bi 1120	γ ⁴⁰ K 1764	γ ²¹⁴ Bi 1764	γF2	γ ²⁰⁸ Tl 2614	γF3	γF4	γF5	γF6	γTotal	
SiO2		-0,550	-0,468	-0,561	-0,442	0,283	-0,531	-0,542	-0,346	-0,114	-0,359	-0,636	-0,812	0,501	N.D.	-0,146	-0,093	-0,280	-0,115	0,085	-0,064	-0,121	-0,168	-0,147	-0,106	0,136	-0,044	0,054	-0,128	-0,212	
TiO2	0,067		0,844	0,602	0,507	-0,321	-0,256	0,837	0,490	0,094	0,267	0,855	0,510	-0,062	N.D.	0,189	0,051	0,207	0,009	0,137	0,180	0,230	-0,010	0,150	-0,066	0,001	0,094	0,097	-0,040	0,231	
Al2O3	-0,121	0,751		0,590	0,572	-0,226	-0,270	0,790	0,300	0,000	0,198	0,862	0,490	-0,124	N.D.	0,142	0,054	0,213	0,069	0,102	0,088	0,237	-0,012	0,187	-0,066	-0,038	0,160	0,044	-0,002	0,232	
Fe2O3	-0,826	-0,417	-0,075		0,726	-0,194	-0,208	0,552	0,400	0,033	0,696	0,689	0,398	-0,284	N.D.	0,075	-0,075	0,139	-0,039	0,015	-0,036	0,116	0,008	0,065	-0,088	-0,024	0,017	0,113	-0,060	0,037	
MnO	-0,764	-0,135	0,096	0,809		-0,126	-0,194	0,479	0,182	-0,033	0,324	0,640	0,380	-0,334	N.D.	0,044	0,019	0,230	0,114	-0,003	-0,048	0,117	0,048	0,180	-0,044	0,033	-0,011	0,107	0,056	0,158	
MgO	-0,144	0,120	0,266	0,013	0,085		-0,038	-0,321	-0,170	-0,074	-0,118	-0,290	-0,237	0,089	N.D.	-0,062	-0,011	-0,060	0,005	-0,155	-0,183	-0,106	-0,062	-0,072	0,076	-0,002	0,042	-0,026	0,026	-0,133	
CaO	-0,402	-0,824	-0,719	0,552	0,362	-0,083		-0,194	-0,128	-0,042	-0,086	-0,178	0,515	-0,173	N.D.	-0,024	0,085	0,037	0,093	-0,152	0,010	-0,027	0,160	-0,029	0,204	-0,126	-0,026	-0,118	0,133	0,047	
K2O	0,054	0,890	0,783	-0,392	-0,195	0,076	-0,830		0,298	0,040	0,102	0,879	0,556	-0,135	N.D.	0,127	0,095	0,171	0,009	0,068	0,119	0,222	0,050	0,203	-0,018	-0,009	0,091	0,080	-0,004	0,223	
V	-0,219	0,421	0,423	-0,079	0,018	0,097	-0,354	0,537		0,126	0,481	0,400	0,240	-0,323	N.D.	0,230	-0,062	0,148	-0,110	0,151	0,040	0,169	0,091	-0,055	-0,073	-0,031	-0,026	0,165	-0,077	0,093	
Ni	0,001	0,116	-0,094	-0,091	-0,010	-0,072	-0,075	0,025	0,093		0,004	0,086	0,027	-0,199	N.D.	0,105	-0,074	0,040	0,072	-0,088	-0,035	-0,158	0,033	0,078	0,001	-0,053	0,009	-0,108	0,020	-0,056	
Zn	-0,644	-0,006	0,245	0,685	0,596	0,072	0,132	0,003	0,168	-0,051		0,279	0,146	-0,217	N.D.	0,016	-0,080	0,086	-0,047	0,031	0,025	0,083	-0,065	-0,043	0,038	-0,063	0,000	0,098	-0,042	0,021	
Rb	-0,234	0,790	0,853	-0,076	0,058	0,102	-0,708	0,882	0,568	0,055	0,247		0,653	-0,349	N.D.	0,197	0,091	0,301	0,101	0,045	0,091	0,256	0,099	0,253	-0,003	-0,036	0,127	0,069	0,025	0,298	
Sr	-0,822	0,004	0,306	0,680	0,598	0,028	0,240	0,126	0,381	-0,051	0,575	0,415		-0,301	N.D.	0,151	0,119	0,266	0,150	-0,017	0,107	0,213	0,127	0,139	0,087	-0,104	0,055	0,054	0,067	0,270	
Zr	0,355	0,561	0,147	-0,453	-0,290	0,021	-0,380	0,379	-0,152	0,119	-0,226	0,098	-0,412		N.D.	-0,139	0,010	-0,257	-0,062	0,046	0,126	-0,050	-0,193	-0,120	-0,147	0,107	-0,015	-0,012	-0,079	-0,136	
Hg	0,201	-0,043	-0,142	-0,149	-0,146	0,028	-0,006	-0,067	-0,166	-0,006	-0,095	-0,167	-0,275	0,256		N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.	N.D.
Pb	-0,057	0,120	0,213	0,006	0,042	0,039	-0,100	0,103	0,158	0,082	-0,043	0,168	0,167	-0,074	-0,053		0,086	0,290	0,224	0,033	0,047	0,026	0,121	0,132	0,000	-0,053	0,137	-0,082	0,181	0,243	
γ ²⁰⁸ Tl(583)	-0,154	0,140	0,164	0,063	0,121	0,120	-0,013	0,110	0,049	0,033	0,121	0,116	0,110	0,103	-0,032	0,064		0,261	0,278	-0,097	0,037	0,207	0,073	0,177	0,075	-0,220	0,063	-0,193	0,255	0,416	
γ ²¹⁴ Bi(609)	-0,235	0,209	0,217	0,142	0,194	0,187	-0,040	0,108	0,067	0,066	0,271	0,188	0,171	0,137	-0,199	-0,058	0,222		0,370	-0,003	0,092	0,180	0,248	0,289	0,155	0,017	0,199	-0,104	0,287	0,636	
γF1	-0,089	0,165	0,078	0,055	0,125	0,042	-0,060	0,071	-0,010	0,078	0,108	0,093	0,045	0,203	-0,101	-0,059	0,132	0,250		-0,164	0,069	-0,028	0,176	0,211	0,017	-0,034	0,082	-0,216	0,359	0,446	
γ ²²⁸ Ac	0,102	0,034	0,102	-0,054	0,028	0,030	-0,067	-0,009	0,108	0,005	-0,002	-0,042	-0,064	-0,025	-0,018	0,115	-0,059	-0,054	-0,105		-0,002	0,238	-0,002	0,043	0,093	0,365	0,034	0,345	-0,270	0,396	
γ ²¹⁴ Bi(1120)	-0,029	0,006	-0,041	0,011	0,099	0,091	-0,011	-0,079	0,124	0,201	0,076	-0,050	-0,068	-0,064	0,056	0,078	0,091	0,041	0,071	0,082		0,098	-0,008	0,079	0,104	0,048	0,147	0,014	0,041	0,334	
γ ⁴⁰ K	-0,099	0,016	0,108	0,150	0,179	-0,002	0,028	-0,031	0,086	0,007	0,217	0,057	0,148	-0,093	-0,107	-0,103	0,096	0,109	0,044	0,306	-0,012		-0,035	0,153	0,087	0,010	0,110	0,052	0,010	0,486	
γ ²¹⁴ Bi(1764)	-0,052	0,022	0,045	0,124	0,121	-0,029	-0,049	0,043	-0,020	0,080	0,112	0,063	0,063	0,020	0,064	-0,001	0,098	-0,016	0,088	-0,096	0,021	-0,031		0,113	0,078	0,094	0,160	0,005	0,146	0,356	
γF2	-0,061	0,181	0,172	0,003	0,015	0,034	-0,147	0,131	0,196	-0,020	0,080	0,173	0,084	-0,043	-0,060	0,150	0,055	0,067	0,015	0,118	0,095	0,012	0,008		0,098	0,048	0,214	-0,077	0,060	0,458	
γ ²⁰⁸ Tl(2614)	-0,102	0,163	0,147	0,021	0,055	-0,059	-0,078	0,153	0,024	-0,025	0,038	0,174	0,171	0,019	-0,177	-0,012	0,038	0,089	0,052	-0,051	0,005	0,120	-0,084	0,028		0,008	0,204	-0,046	0,085	0,390	
γF3	0,060	-0,077	0,000	0,010	-0,029	-0,087	0,017	-0,057	-0,010	0,019	0,009	-0,062	-0,005	-0,064	0,128	0,084	-0,078	-0,120	-0,074	0,234	0,004	0,110	0,047	-0,061	-0,040		0,055	0,337	-0,343	0,194	
γF4	-0,083	0,093	0,072	0,055	0,077	0,040	-0,054	0,024	0,057	0,040	0,099	0,051	0,016	0,051	0,072	-0,034	0,049	0,133	0,226	-0,082	0,046	0,133	0,042	0,020	-0,013	-0,116		-0,082	0,230	0,419	
γF5	0,067	0,091	0,162	-0,061	0,033	-0,027	-0,167	0,108	0,066	0,118	-0,011	0,057	-0,007	-0,032	0,008	-0,006	-0,077	-0,104	-0,145	0,334	0,016	0,066	-0,031	0,118	0,004	0,037	-0,033		-0,414	0,059	
γF6	-0,234	0,132	0,102	0,135	0,112	0,197	0,001	0,053	0,007	0,001	0,146	0,129	0,151	0,110	-0,036	0,015	0,191	0,220	0,300	-0,314	-0,010	-0,146	0,023	-0,054	0,022	-0,159	0,167	-0,258		0,274	
γTotal	-0,201	0,267	0,294	0,147	0,271	0,134	-0,130	0,126	0,173	0,129	0,294	0,201	0,173	0,087	-0,133	0,046	0,404	0,491	0,469	0,409	0,350	0,489	0,210	0,311	0,272	0,090	0,321	0,141	0,157		

Porcentajes de confiabilidad: 95 - 99% azul;
>99% amarillo

Elementos no detectados: rojo

Pozo D

El comportamiento general observado en los diagramas de dispersión del pozo D es bastante similar al de los demás pozos, destaca principalmente el observado en los elementos que presentan afinidad con facies orgánicas como V y Zn, que para la mayoría de las areniscas presentan valores muy bajos, excepto por una o dos muestras que presentan las máximas concentraciones de dichos elementos, revelando así un alto contenido de materia orgánica solamente en ellas.

Interpretación de los diagramas de dispersión

Las relaciones entre las especies químicas mencionadas y sus ajustes a una línea de tendencia están directamente influenciados por la afinidad que estas tengan a sedimentos terrígenos, facies orgánicas, fases arcillosas o carbonáticas, así como también a la movilidad propia de cada especie que a su vez depende de una propiedad química llamada potencial iónico. Los diagramas de dispersión que involucren elementos con la misma afinidad o de potencial iónico similar suelen tener líneas de tendencia con pendiente positiva.

Según BRICEÑO & CALLEJÓN (2000) los elementos que presentan afinidad a los sedimentos terrígenos son SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y K_2O . A los que se les suma el Rb que por reemplazo sustituye al K en las litologías arcillosas (HILL 1990) por poseer características similares a nivel atómico, lo que es evidenciado por su la proximidad de ambos en la tabla periódica (Fig. 3.2). Y por último, en esta asociación se puede mencionar al Zr, que por sus características de potencial iónico intermedio (5,1), es precipitado por hidrólisis (MASON & MOORE 1958), y puede considerarse como un elemento relativamente inmóvil dentro del sistema (Fig. 5.8).

La proporción Si/Al depende del nivel de energía del medio de depositación y determina cambios en la fracción siliciclástica separándola en fases arenosas o arcillosas (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000), y a su vez estar enriquecidas en los otros elementos asociados a esta fracción siliciclástica, como K, Ti y Fe. Este enriquecimiento también está evidenciado por una relación lineal de buen ajuste para la litología a la cual corresponda.

Los sedimentos carbonáticos se asocian a CaO principalmente y a Sr, por el efecto diagenético de dolomitización mencionado anteriormente. Mientras que las fases orgánicas están representadas por V, Ni y Zn (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

Algunos de los diagramas demuestran que el ajuste de las líneas de tendencia depende del tipo litológico y de los pares químicos involucrados. De acuerdo a ello, los elementos correspondientes a las asociaciones mencionadas pueden o no relacionarse, de manera que en una lutita o en una arenisca en la cual dominan las asociaciones terrígenas puede existir cementación calcárea (con o sin dolomitización) y contenido de materia orgánica, y esta coexistencia de las fases está evidenciada por relaciones con líneas de tendencia de pendiente positiva, como en los pares químicos mencionados en los pozos en estudio (SiO_2 vs. Zr, TiO_2 vs. K_2O , Al_2O_3 vs. Sr, Fe_2O_3 vs. V, Fe_2O_3 vs. Zn, CaO vs. Sr, Rb vs. MnO, Rb vs. K_2O , Rb vs. Sr, TiO_2 vs. Rb, Al_2O_3 vs. K_2O , entre otros).

Las relaciones inversas, evidenciadas por líneas de tendencia de pendientes negativas, que se presentan en el pozo C, involucran un elemento asociado a fases terrígenas (Al_2O_3 y Rb) versus otro asociado a fases orgánicas o carbonáticas (Zn y Sr respectivamente) lo que indica la poca o nula cementación carbonática dolomitizada y materia orgánica en las areniscas.

El Al y Ti están entre los elementos más inmóviles dentro del sistema químico sedimentario (MASON & MOORE 1958, MARTÍNEZ 2001 y REÁTEGUI 2001). En los diagramas de dispersión del Al_2O_3 se observan mejores ajustes cuando este óxido es relacionado con K_2O . Según REÁTEGUI (2001), esto puede indicar que estos dos componentes se comportan de manera relativamente inmóvil, sin haber sufrido alteración en el proceso de meteorización y diagénesis. Además, las ligeras desviaciones de la linealidad observadas en estos gráficos pueden ser el reflejo de pequeñas diferencias en el material parental, o un ligero fraccionamiento hidráulico diferencial de las fases minerales principales (FRALICK & KRONBERG 1997).

MARTÍNEZ (2001) opina que buenos ajustes de estas relaciones pueden indicar una alta afinidad del K_2O y Rb con la fase arcillosa. De esta manera el K_2O queda asociado con los minerales de arcilla contenidos en lutitas. Así, en los diagramas, se observan buenos ajustes lineales cuando se le asocia con Al_2O_3 , K_2O y Rb, recalcando el carácter inmóvil de estos componentes en lutitas.

Así como se observa la presencia de combinaciones con buenos ajustes lineales, existe una gran cantidad de pares con gran dispersión dentro de la nube de datos. En los casos específicos donde Fe_2O_3 , CaO, Sr y Pb están presentes puede justificarse esta alta dispersión en el hecho de que estos elementos presentan potenciales iónicos bajos, por lo cual permanecen en solución durante los procesos de meteorización y transporte, reflejándose en una alta movilidad (Fig. 5.8).

Como se mencionó anteriormente, según HURST & MILODOWSKI (1996, en EHRENBURG & SVANA 2000) el Th (cuyos isótopos representativos son ^{228}Ac y ^{208}Tl) tienen tendencia a concentrarse en litologías de grano fino y algunos casos por minerales accesorios tipo circón y monacita (lo cual también es confirmado por el buen ajuste en la relación ^{228}Ac vs. Zr en el pozo A) en esas mismas litologías lutáceas. Por lo tanto existe buena relación lineal al relacionar estos isótopos con los elementos químicos asociados a fases arcillosas.

Mientras que los isótopos de ^{214}Bi representan la presencia de U y este a su vez puede estar asociado a material carbonático, es indicador de procesos diagenéticos que envuelven cambios en el estado de oxidación. Sin embargo se presentan varias relaciones lineales de buen ajuste entre los isótopos de ^{214}Bi con especies químicas inmóviles como TiO_2 y Rb, esto puede asociarse al carácter inmóvil que también puede presentar el U (Fig. 5.8).

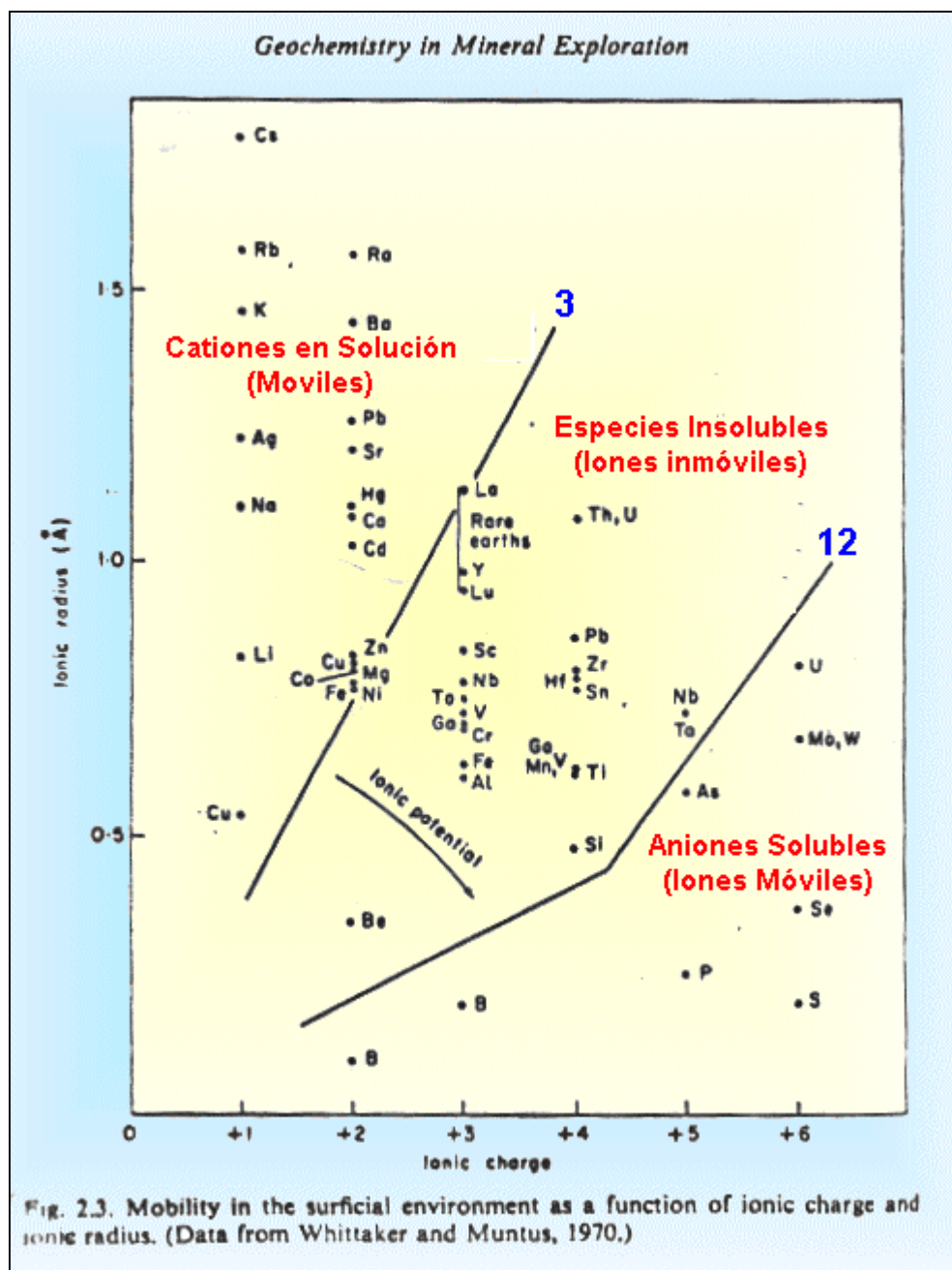


Fig. 5.8. Separación geoquímica de algunos elementos importantes de acuerdo a su potencial iónico (Tomado de LO MÓNACO, 2000).

5.4. DEFINICIÓN DE UNIDADES QUÍMICO – RADIOMÉTRICAS

Para definir una unidad química es necesario establecer ciertos criterios que permitan en una sección estratigráfica diferenciar y reconocer intervalos con características químicas distintas. Estas diferencias son determinadas en base a las variaciones químicas que pueden ser observadas en perfiles contruidos a partir de la información química. En el caso específico de esta investigación únicamente se hizo enfoque en las variaciones basadas en la información de algunos componentes mayoritarios y elementos traza. El criterio consiste en ubicar las deflexiones de las curvas más significativas, a las cuales se les denominará *marcadores de primer orden*, los cuales son eventos químicos que se caracterizan por deflexiones importantes en las curvas, de varios elementos (en general cinco o más), y *marcadores de segundo orden*; que son definidos solamente por fluctuaciones de un solo elemento (NOGUERA & YÉPEZ 2002).

Cuando estas inflexiones de las curvas son observadas en numerosos perfiles de manera simultánea al mismo nivel estratigráfico, este comportamiento puede corresponder a procesos geológicos como condiciones de sedimentación, cambios climáticos, cambios de salinidad, variación en el aporte de sedimentos, etc (PEARCE & JARVIS 1995).

En la definición de estas unidades se adoptó el esquema de NOGUERA & YÉPEZ (2002), para describir las unidades químicas se referirá una tendencia (+) a las curvas que se comportan similarmente con tendencia a máximos (Fig. 5.9) y a los elementos que se comportan de manera especular, es decir con preferencia a mínimos, se describirán con una tendencia (-).

En los apéndices II y III se muestra el comportamiento de los perfiles de distribución de las variables estudiadas y los límites entre las unidades definidas según estos.

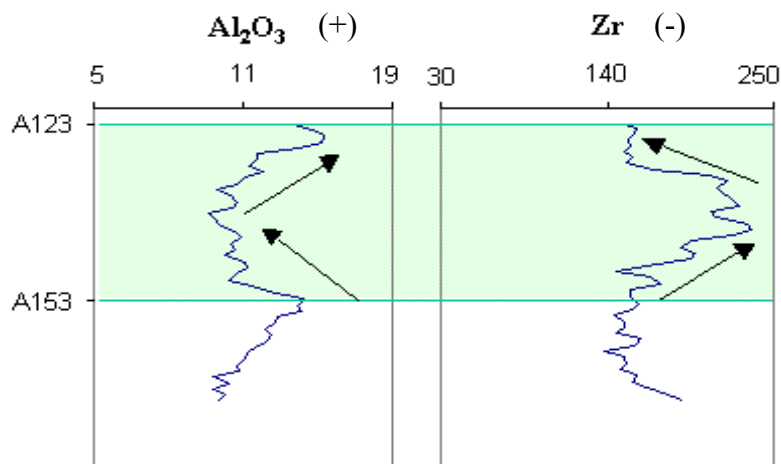


Fig. 5.9. Perfiles de concentración química vs. muestras de un intervalo del Pozo A, mostrando la tendencia de sus curvas.

En este punto es importante destacar que las unidades definidas están determinadas principalmente por el comportamiento de los perfiles correspondientes a las variables químicas, debido que en la mayoría de estas los perfiles de las variables radiométricas no muestran tendencias marcadas, por presentar principalmente una curva muy aserrada. Sin embargo hay algunas unidades (o sub-unidades) en las cuales sí se observan tendencias en los perfiles radiométricos que ayudan a su definición.

En los perfiles de distribución de las variables químicas principalmente se presentan, para todos los pozos en estudio (excepto el pozo C que presenta las dos más superficiales únicamente), tres zonas de comportamiento bien diferenciado y que definen tres unidades mayores, en la zona superior se muestran inflexiones o picos muy marcados, la zona intermedia de curvas suaves y en la zona inferior se presentan inflexiones de magnitud media. Estas unidades mayores serán denominadas, según su orden de depositación, como unidades mayores 3, 2 y 1 respectivamente y diferenciadas entre sí con las letras correspondientes a los pozos. Dichas unidades mayores a su vez se dividen generando sub-unidades y todas estas se describirán de manera detallada y separada por pozo a continuación.

5.4.1. Unidades del Pozo A

Es importante mencionar que la muestra A79 corresponde a un intervalo de profundidad 1.800' – 1.820' (549 – 555 m) y la siguiente muestra (A80) del intervalo 2.800' – 2.820' (853 – 860 m), por lo tanto existe una falta de información de aproximadamente 980' (299 m) entre las muestras mencionadas (apéndices II-A y III-A).

Unidad mayor 1-A

Ubicada en la zona extrema inferior de este pozo, posee un espesor aproximado de 705' (215 m) comprendido entre la máxima profundidad de 4.325' (1.318 m) y los 3.620' (1.097 m), correspondientes a las muestras A171 y A121 respectivamente.

En los perfiles de distribución de los componentes químicos que definen esta unidad, se observa que está caracterizada por inflexiones de magnitud media, según el comportamiento general de estas curvas (apéndices II).

En la tabla 5.7 se presentan los valores máximos, mínimos y promedio de los componentes que definen a esta y las demás unidades de este pozo.

Tabla 5.7. Cuadro comparativo de los componentes químicos que ayudan a definir las distintas unidades químicas en el pozo A. Los óxidos mayoritarios están en %, mientras los elementos traza en ppm.

		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	V	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
3-A	Máximo	79,31	1,00	15,73	13,69	0,11		26,07	1,67	148	495	205	243	260	368
	Mínimo	29,80	0,34	6,16	2,53	0,01		0,31	0,12	<50	<90	35	38	49	45
	Promedio	59,78	0,69	11,21	7,04	0,07		2,57	0,97	68	181	121	113	117	67
2-A	Máximo	74,30	0,96	17,07	8,61	0,14			1,85	98		198	156	315	
	Mínimo	56,25	0,33	4,28	2,85	0,03			0,44	<50		52	45	66	
	Promedio	59,04	0,86	13,58	6,95	0,10			1,57	64		165	125	189	
1-A	Máximo	72,18	0,94	15,34	7,35	0,10	4,61		1,89	78		188	135	362	
	Mínimo	58,70	0,62	8,33	4,29	0,04	<1		0,95	<50		71	77	159	
	Promedio	63,02	0,82	11,47	6,12	0,07	1,38		1,56	53		142	109	260	

Para diferenciar esta unidad de su adyacente superior (unidad 2-A) se establece la comparación entre las concentraciones de los componentes químicos que definen ambas unidades:

La unidad 1-A presenta concentraciones de SiO_2 ligeramente superiores que la unidad 2-A, menor concentración de TiO_2 , posee concentraciones mínimas de V y Pb, mientras que el MgO y el Zr presentan sus valores máximos generales, el Al_2O_3 , MnO, K_2O , Zn, Rb y Sr muestran zonas de concentraciones mucho menores que en la unidad 2-A, que aumentan hacia el límite superior y hacia la zona media de esta unidad, generando allí un pico que produce la división de esta unidad en dos sub-unidades, la más inferior denominada 1.1-A y la superior 1.2-A que está en contacto con la unidad 2-A. El límite entre ambas sub-unidades se ubica aproximadamente a una profundidad entre los 4.010' y 4.020' (1.222 – 1.225 m), correspondiente a la muestra A153.

Distintos autores (YARINCIK & MURRAY 2000, BRICEÑO & CALLEJÓN 2000, entre otros), señalan a las concentraciones de Al_2O_3 como indicadoras de material detrítico de grano fino y se presenta de manera contraria o especular al SiO_2 . Se puede observar que en esta unidad los picos que indican la máxima concentración de Al_2O_3 coinciden con los de TiO_2 , K_2O y Rb, quedando entendido la asociación de estos con el material arcilloso. De acuerdo a esto se puede decir que el pico que separa a las sub-unidades 1.1-A y 1.2-A es una lutita.

Es importante destacar que para esta unidad se observa la coincidencia de algunos de los picos de dichos componentes indicadores de arcillas con los de MgO, lo que hace pensar que estas arcillas sean del grupo de la esmectita (SANDOVAL 2000).

En la sub-unidad 1.2-A, el SiO_2 presenta un ligero pico, que coincide con altas concentraciones de Zr, revelando así su carácter de arenisca, además de ser evidenciado por el comportamiento contrario de los componentes asociados a material arcilloso.

Las concentraciones muy bajas de V, Ni y Zn, que según BRICEÑO & CALLEJÓN (2000) representan las asociaciones orgánicas, muestran el escaso contenido de este tipo de

material en esta unidad, sin embargo hacia su zona media (cerca del límite entre las sub-unidades) se presentan dos pequeños picos de V que coinciden con otros de Ni.

Se observa en los perfiles radiométricos (apéndice III-A) que para esta unidad el ^{208}Tl (2614 keV), y en menor grado el ^{40}K , presentan tendencias similares a las del TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O y Rb , sugiriendo su asociación con los sedimentos de grano fino. Se observa en la sub-unidad 1.2-A coincidencia entre el comportamiento del ^{214}Bi , en todos sus niveles de energía, con el de MgO .

En este trabajo se presentan algunas relaciones elementales que expresan diversos factores que condicionan la sedimentación, así como tipos litológicos y minerales que los caracterizan (Fig. 5.10). Según BRICEÑO *et al.* (1996) las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$ representan respectivamente variaciones de energía del medio y la relación entre sedimentación siliciclástica y carbonática, YARINCIK *et al.* (2000) consideran a las relaciones $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ y $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ como indicativas de condiciones de óxido reducción, tipos de arcillas y de relaciones de granulometría respectivamente; además de la relación TiO_2/V que expresa oxigenación del medio (YARINCIK *et al.* 2000, BRICEÑO & CALLEJÓN 2000). Además de la relación Th/V que, según BRICEÑO & CALLEJÓN (2000) es indicativa de ambiente de depositación. Por último se estudia la relación Th/U , cuyos valores elevados, según NORTH & BOERING (1999), indican condiciones de oxidación en sedimentos continentales.

Para las relaciones que involucran a los elementos radioactivos Th y U se hizo necesario calcular el porcentaje de estos, a partir de la suma de las cuentas por segundo (cps) de sus isótopos representativos, obteniéndose las cps del elemento y posteriormente aplicándoseles un factor de conversión.

Los valores mínimos y máximos de dichas relaciones, así como sus valores promedio en las unidades de este pozo, se presentan en la tabla 5.8.

La mayoría de las relaciones elementales estudiadas presentan variaciones que marcan el límite entre las sub-unidades definidas para la unidad 1-A, excepto las relaciones $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$ y $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$.

Tabla 5.8. Cuadro comparativo de las relaciones estudiadas en las unidades del pozo A.

		$\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$	$(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) / \text{CaO}$	$\text{MnO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$	TiO_2 / V	Th/V	Th/U
3-A	Máximo	12,7	248	0,0172	62,73	0,0876	0,0171	1,39	1,36
	Mínimo	3,4	1	0,0017	7,51	0,0512	0,0043	0,00	1,18
	Promedio	5,8	100	0,0107	17,03	0,0625	0,0111	0,37	1,26
2-A	Máximo	17,3	126	0,0220	10,53	0,0808	0,0184	1,30	1,38
	Mínimo	3,4	37	0,0108	7,03	0,0497	0,0065	0,00	1,20
	Promedio	4,5	86	0,0148	8,69	0,0638	0,0138	0,38	1,28
1-A	Máximo	8,4	144	0,0149	9,74	0,0848	0,0186	1,53	1,36
	Mínimo	3,9	41	0,0078	6,49	0,0587	0,0116	0,09	1,22
	Promedio	5,6	99	0,0112	7,39	0,0720	0,0154	0,63	1,29

Para la unidad 1-A se presentan comportamientos similares en las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ que muestran dos ciclos, el primero de ellos es decreciente desde la base de la unidad 1.1-A hasta su límite con la unidad 1.2-A suprayacente y el segundo ciclo presenta dos mínimos, en la base y tope de la sub-unidad 1.2-A, mostrando en su zona media valores máximos. Los bajos valores en ambas relaciones indican un aporte de material detrítico de baja granulometría.

Lo contrario ocurre con la relación $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ que muestra en la sub-unidad 1.1-A un comportamiento creciente de base a tope y para la sub-unidad 1.2-A muestra algunas fluctuaciones que no definen máximos ni mínimos bien marcados. YARINCIK *et al.* (2000) indican que altos valores de esta relación dan indicios de alta profundidad, donde disminuye la cantidad de iones de Fe_2O_3 por su solubilidad en condiciones reductoras.

Las relaciones $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$ y $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ indicativas de sedimentación siliciclástica / carbonática y de tipo granulométrico dominante respectivamente, muestran marcadas fluctuaciones y no definen claramente un patrón de comportamiento, sin embargo los altos valores presentados por la primera de estas relaciones sugiere la presencia de material carbonático, posiblemente como cemento calcáreo en algunas litologías clásticas.

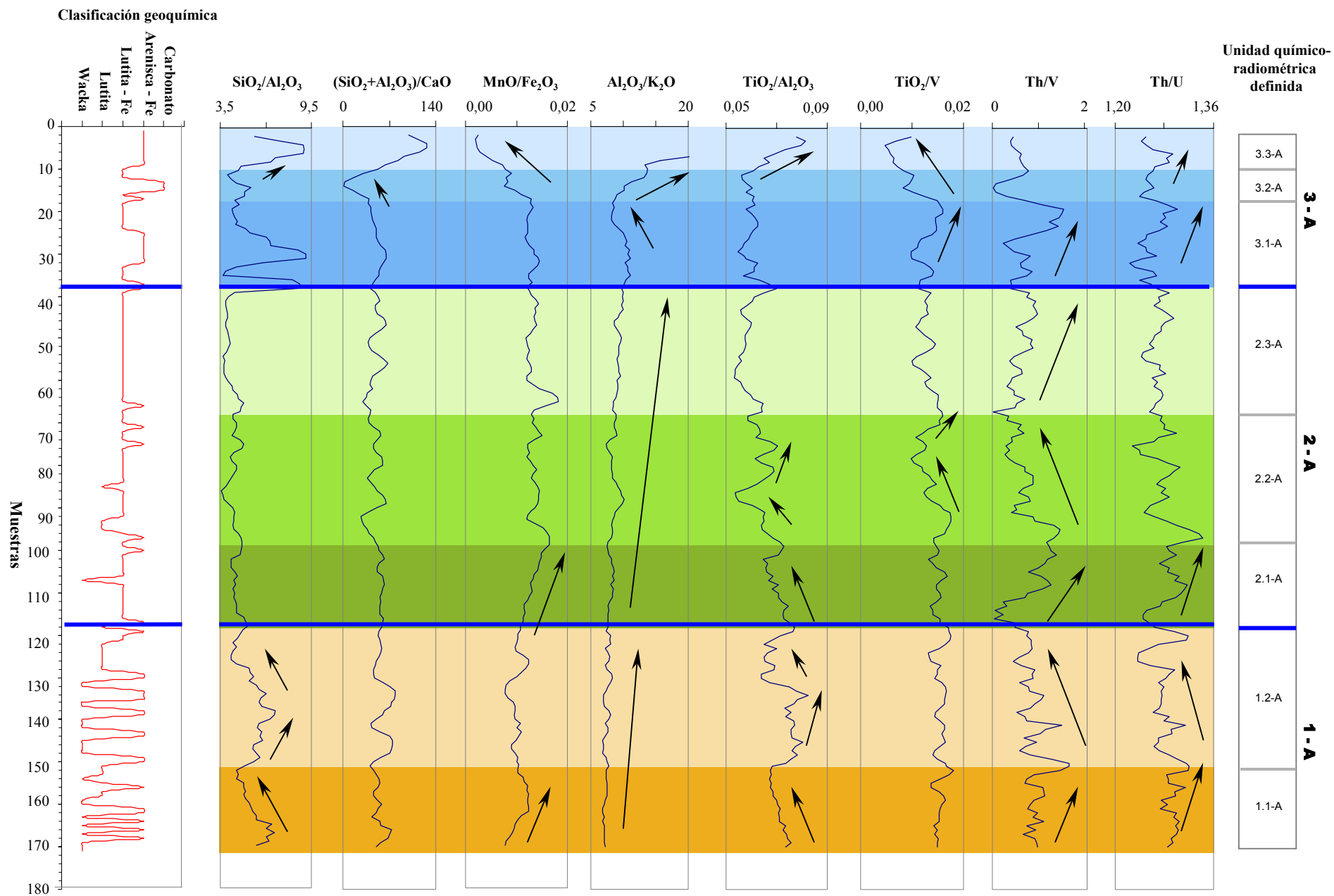


Fig. 5.10. Perfiles suavizados de las relaciones elementales del pozo A (promedio móvil 3).

Por otro lado, los bajos valores de la relación TiO_2/V indican que hay menor aporte clástico relativamente grueso (YARINCIK *et al.* 2000, BRICEÑO & CALLEJÓN 2000). Mientras que la relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ mantiene una tendencia suavemente creciente hacia el tope a lo largo de toda esta unidad e incluso de las suprayacentes.

BRICEÑO & CALLEJÓN (2000) consideran a la relación Th/V como indicadora de fuentes de aporte, así como de ambiente de deposición, ya que el Th está asociado a material detrítico de origen continental y depositado en facies proximales, mientras que el V lo está a material de origen marino y depositado en facies más distales.

Esta relación muestra para la unidad 1.1-A una curva muy aserrada, que se podría interpretar como alternancia de ambos tipos de material, sin embargo hacia la base de esta sub-unidad los picos son más agudos y de baja magnitud que progresivamente se hacen de mayores dimensiones hacia el tope, lo cual indica condiciones favorecedoras para la sedimentación de material detrítico, como podría serlo la disponibilidad de espacio para su deposición, ya que los valores altos de esta relación coinciden con los de $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ que sugieren profundización de la cuenca.

Mientras que para la unidad 1.2-A la relación Th/V presenta una curva bastante aserrada pero con una tendencia general a decrecer hacia el tope, lo que indica mayor preservación de materia orgánica.

La relación Th/U presenta una curva aserrada, un tanto parecida a la del TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O y Rb en la sub-unidad 1.2-A, pudiendo sugerir la asociación de las litologías de grano fino de esta y las condiciones oxidantes del ambiente de deposición.

Unidad mayor 2-A

Ubicada en la zona media del pozo, con un espesor aproximado de 2.560' (780 m), comprendido entre las profundidades de 3.620' (1.103 m) y 1.060' (323 m), correspondientes a las muestras A120 y A38 respectivamente.

En algunos perfiles de distribución de los componentes químicos que la definen (apéndice II-A), esta unidad está caracterizada por una curva suave sin marcadas inflexiones (para el SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 y K_2O , por ejemplo), que la diferencian de las otras dos unidades mayores y presenta rangos de valores casi constantes en la mayoría de estos perfiles.

Para diferenciar esta unidad de sus adyacentes inferior y superior (unidad 1-A y 3-A respectivamente) se establece la comparación entre las concentraciones de los componentes químicos que definen estas unidades:

La unidad 2-A presenta concentraciones de SiO_2 más bajas que la unidad 1-A, manteniéndose para este componente un rango constante, lo que la diferencia de la unidad 3-A que presenta picos marcados; los perfiles de TiO_2 , Al_2O_3 , MnO , K_2O , Zn , Rb y Sr tienen comportamientos similares en esta unidad mayor, siendo sus concentraciones más altas que en la unidad infrayacente, además de presentar un rango bastante constante y muy distinto al de la unidad suprayacente. Sin embargo, el Al_2O_3 , Fe_2O_3 , V , Zn , Rb y Sr , presentan fluctuaciones que involucran zonas con tendencia a máximos y/o a mínimos, que definen la división de esta unidad mayor en tres sub-unidades denominadas de más a menos profunda 2.1-A, 2.2-A y 2.3-A. Los límites entre estas sub-unidades corresponden, de base a tope, a la muestra A97, ubicada entre los 3.140' y 3.160' (957 – 963 metros) como límite para la sub-unidades 2.1-A y 2.2-A y a la muestra A68 con una profundidad entre los 1.600' y 1.610' (488 – 491 metros) para las unidades 2.2-A y 2.3-A.

De acuerdo a lo establecido con anterioridad, las altas concentraciones de Al_2O_3 , TiO_2 , K_2O y Rb , está asociado a litología de granulometría fina, por lo que se puede decir que esta unidad mayor, en general, es más lutítica que su infrayacente, mientras que algunos picos de V y Zn determinan la existencia de materia orgánica en las arcillas que los presentan, así como un marcado pico de MgO en la parte media de la sub-unidad 2.1-A indica una arcilla tipo esmectita (SANDOVAL 2000).

Los límites entre las sub-unidades muestran concentraciones mínimas de V, así como relativamente bajas de Al_2O_3 , Zn y Rb, que no se corresponden con las de K_2O , se podría decir que esto refleja que dichos límites están determinados por litologías más arenosas, sin contenido de materia orgánica cuya concentración, un tanto constante, de K_2O podría atribuírsele a la existencia de feldespato potásico y micas.

La delimitación de dichas sub-unidades también está determinada por el comportamiento observado en algunos perfiles radiométricos (apéndice III-A), que muestran tendencias crecientes o decrecientes, según el caso, como lo muestra el ^{228}Ac , ^{40}K , ^{208}Tl (2164 keV), el γF4 principalmente.

En los perfiles radiométricos, se observa para el ^{228}Ac , ^{40}K y γF4 el mismo comportamiento en cada sub-unidad: una marcada tendencia creciente hacia el tope en la sub-unidad 2.1-A, decreciente en la 2.2-A y ligeramente creciente en la sub-unidad superior 2.3-A.

Mientras que el ^{208}Tl (2614 keV), que también presenta este comportamiento descrito, las tendencias son más ligeras que en las ventanas antes mencionadas y para cada sub-unidad se observa más fluctuaciones, es decir, la curva presenta mayor cantidad de picos de pequeñas magnitudes. Además se observa la similitud de esta curva y la del Al_2O_3 y Rb en la sub-unidad 2.2-A y 2.3-A donde también se asemeja a la curva del K_2O . De esta manera sugiere nuevamente su asociación con las litologías de grano fino.

Como ya se ha mencionado, según EHRENBURG & SVANA (2000) el Th, cuyos isótopos representativos son el ^{228}Ac y el ^{208}Tl , está asociado a la presencia de material detrítico de grano fino, mientras que el ^{40}K es correspondiente al contenido de aluminosilicatos, principalmente en arcillas y micas, lo cual coincide con lo antes establecido acerca del carácter lutáceo de esta unidad y a que los límites entre sus sub-unidades corresponden a cambios litológicos.

Para esta unidad la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ muestra picos poco marcados, coincidiendo los límites de las sub-unidades con picos de relativa relevancia, lo que confirma lo inferido al

respecto de los límites más arenosos (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000). La relación $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ presenta una marcada tendencia decreciente hacia el tope en la sub-unidad 2.1-A, mientras que para la sub-unidad 2.2-A se observa un mínimo bien marcado hacia la muestra A87, donde el Al_2O_3 se presenta en muy alta proporción y se observa también en el perfil de este elemento (apéndice II-A).

La relación $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$ no muestra tendencias determinantes en toda esta unidad y $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ mantiene su tendencia suavemente creciente hacia el tope. Mientras que la relación $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ muestra un comportamiento muy particular, observándose para la sub-unidad 2.1-A una tendencia creciente hacia el tope, fluctuaciones para 2.2-A y un máximo en la base de 2.3-A, seguido por valores constantes, lo que hace pensar una progresiva profundización de la cuenca durante la depositación de la sub-unidad inferior seguido de variaciones de distinta índole (YARINCIK *et al.* 2000).

La relación TiO_2/V no muestra rasgos significativos para las sub-unidades inferior y superior, pero la sub-unidad intermedia 2.2-A si presenta una tendencia a máximos, esto también coincide con lo establecido acerca del carácter de las litologías limítrofes, además de preservación de materia orgánica en las litologías que reflejan los valores bajos en esta relación (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

El cociente Th/V presenta una marcada tendencia creciente a lo largo de la sub-unidad 2.1-A, que coincide con el comportamiento de la curva de $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$, indicando profundización progresiva y alta sedimentación detrítica en la cuenca (YARINCIK *et al.* 2000), hasta el límite con la unidad 2.2-A donde ambas relaciones alcanzan un máximo. Para la unidad 2.2-A la relación Th/V presenta tendencia general decreciente hacia el tope y para la 2.3-A nuevamente se hace creciente de manera muy ligera.

La relación Th/U muestra en la sub-unidad 2.1-A una tendencia creciente hacia el tope, observándose su pico de máximo valor en el límite superior de esta unidad, pudiendo esto significar las condiciones oxidantes bajo las cuales se depositaron esas litologías limítrofes.

Unidad mayor 3-A

Ubicada en la zona extrema superior del pozo, posee un espesor aproximado de 1.060' (323 m), entre las muestras A1 y A37. Su comportamiento general está descrito por picos de gran magnitud presentados en los perfiles de distribución de los componentes químicos que la definen (apéndice II-A).

También se presentan en la tabla 5.6 los valores máximos, mínimos y promedios de los componentes que definen esta unidad.

En los perfiles químicos, se observa que en esta unidad gran parte de los componentes analizados presentan sus valores extremos de máxima o mínima concentración de todo el pozo, entre los que se pueden mencionar al SiO_2 , Fe_2O_3 , Zn y Sr que presentan tanto sus valores máximos como los mínimos absolutos en ella, mientras que el TiO_2 , Al_2O_3 , MnO, K_2O , Rb y Zr solo presentan sus valores mínimos absolutos y el CaO, V y Pb sus máximos valores. Estos llamativos picos (“positivos y negativos”) son coincidentes entre sí y dividen a la unidad 3-A en tres sub-unidades, que se denominarán, de base a tope, desde 3.1-A hasta 3.3-A.

En las zonas media-inferior y basal de la sub-unidad 3.1-A, se observan dos picos de SiO_2 que coinciden con mínimos relativos de TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO, K_2O , Zn, Rb, Sr y Zr, y sobre los cuales se podría decir que determinan la presencia de areniscas relativamente limpias o cuarzosas. Además se presentan hacia la zona superior de esta sub-unidad valores de dichos componentes químicos muy parecidos a los predominantes en la unidad 2-A, pudiéndose determinar que allí también se encuentra lutitas parecidas a las descritas para aquella unidad.

El límite superior de la unidad 3.1-A está determinado por la muestra A16, entre los 620' y 640' (189 – 192 m) de profundidad, por encima de la cual se presenta un pico máximo de CaO, Zn, Ni y Sr, que coincide con valores mínimos del resto de los componentes en estudio y que se extiende hacia el tope hasta la muestra A11, de profundidad comprendida entre los 390' y 401' (119 – 122 metros), definiendo a la sub-

unidad 3.2-A, que se interpreta como un carbonato con evidencias de dolomitización, según su contenido de Sr (Al-GAILANI 1980) y con material orgánico distinto al presentado en otras ocasiones en este pozo, dado que es evidenciado por Zn y Ni y no así por V. La identificación de esta unidad como un carbonato confirma la clasificación geoquímica hecha para las muestras que la conforman según HERRON (1988) en el apéndice I-A.

Por último se presenta la sub-unidad 3.3-A, que muestra hacia su base picos que describen litologías lutáceas con materia orgánica similares a las descritas en anteriores oportunidades, seguido hacia el tope por una arenisca con materia orgánica, y finalmente limitando con la superficie, muestra un nivel enriquecido en TiO_2 , Al_2O_3 , Zr y Pb, cuyas características particulares se interpretan como producto de la meteorización dada su ubicación, asociándose a procesos pedogenéticos.

Nuevamente para la unidad 3-A el perfil del ^{208}Tl (2614 keV) coincide perfectamente con el de TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O y Rb (apéndices II-A y III-A).

Los altos valores dados por las relaciones $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ y $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$ confirman lo antes expuesto para las litologías descritas como areniscas de esta unidad, sin embargo para la muestra A38 la segunda de estas relaciones revela contenido de CaO en ella, por lo tanto se podría decir que corresponde a una arenisca con cemento carbonático en baja proporción, dado que según la clasificación geoquímica de HERRON (1988) dicha muestra no es calcárea. También se observa el bajísimo valor de la relación $(\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3)/\text{CaO}$ para la sub-unidad 3.2-A que representa a la sedimentación carbonática predominante, además de un valor ligeramente representativo de la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en esta sub-unidad, el cual es justificado por PÉREZ INFANTE & PACHECO (1997) como posible producto de un incremento de productividad de sílice biogénica dentro del ambiente sedimentario, mientras que la preservación de la materia orgánica en esta sub-unidad está representada por los bajos valores en las relaciones TiO_2/V y Th/V .

Para el caso específico de los carbonatos, GASSE *et al.* (1987, en BELLANCA *et al.* 1995) propone a las relaciones MgO/CaO como indicadora de salinidad, así como a la relación

Sr/CaO lo sería de la abundancia biogénica. En la figura 5.11 se muestran los perfiles de estas relaciones, para la zona en que se presentan estos carbonatos, presentando en ambos casos valores más elevados que los descritos por este autor como valores bajos (0,019 y 0,02 para las relaciones MgO/CaO y Sr/CaO respectivamente) lo cual pudiese significar cierta salinidad del ambiente de sedimentación, así como cierta abundancia biogénica para estos carbonatos.

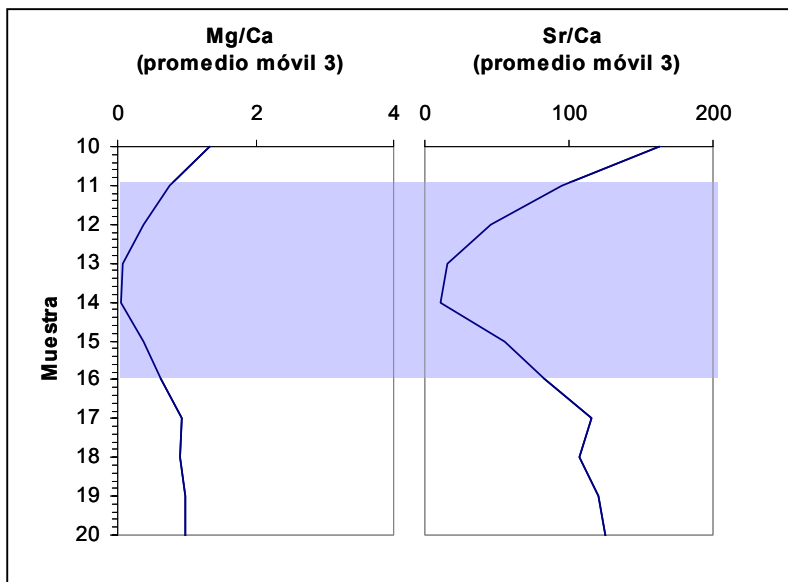


Fig. 5.11. Perfiles del pozo A con relaciones propuestas por GASSE *et al.* (1987, en BELLANCA *et al.* 1995) como indicadores de salinidad y abundancia biogénica para carbonatos. La zona en color morado representa la sub-unidad 3.2-A descrita.

La relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ presenta hacia la sub-unidad 3.2-A un descenso que posteriormente, para la sub-unidad más superficial, retoma su tendencia creciente hacia el tope de manera mucho más abrupta que en las demás unidades, BONATTI & GARTNER (1973, en YARINCIK *et al.* 2000) asocian altos valores de esta relación al predominio de arcillas tipo caolinita que es más acentuado en suelos de climas tropicales, debido a la pérdida de iones solubles. De acuerdo a esto se podría inferir que el constante comportamiento creciente hacia el tope que presenta esta relación a lo largo de todo el pozo se debe a un aumento progresivo hacia el tope en la proporción de arcillas tipo caolinita.

También en la zona más superficial se hace marcado el incremento en los valores de la relación $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ infiriéndose un alto contenido de material detrítico en ella.

La relación $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ presenta tendencia decreciente hacia el tope a lo largo de toda la unidad, que se hace más acentuado en la sub-unidad 3.3-A. Mientras que la relación TiO_2/V muestra una tendencia creciente en la base de la unidad y que a partir de la sub-unidad 3.2-A cambia su tendencia a una decreciente, presentando sus valores más bajos hacia el tope de esta unidad (en la sub-unidad 3.3-A) y reflejando hacia este un mayor grado de preservación de materia orgánica y menor aporte silisiclástico (YARINCIK *et al.* 2000, BRICEÑO & CALLEJÓN 2000). Lo cual es reflejado también por el comportamiento similar de la relación Th/V para esta sub-unidad.

Para la sub-unidad 3.1-A se observa en la relación Th/U una tendencia creciente hacia el tope y en la superior un pico central que coincide con el presentado en el perfil de Fe_2O_3 , confirmando la asociación de esta relación con ambientes oxidantes.

5.4.2. Unidades del Pozo B

Se considera importante señalar lo mencionado con anterioridad acerca del comportamiento general observado en los perfiles de distribución de las variables químicas (apéndice II-B y III-B) que para este pozo, al igual que para el pozo A, se presentan tres zonas de comportamiento bien diferenciado y que definen tres unidades mayores, una zona superior que muestra picos muy marcados, una zona intermedia de curvas suaves y una zona inferior que presenta inflexiones de magnitud media y de concentraciones notablemente diferentes.

Unidad mayor 1-B

Ubicada en la zona extrema inferior de este pozo, posee un espesor aproximado de 240' (73 m) comprendido entre la máxima profundidad de 3.800' (1.158 m) y los 3.560' (1.085 m), correspondientes a las muestras B176 y B156 respectivamente.

En los perfiles de distribución de los componentes químicos (apéndice II-B) que definen esta unidad se presentan valores de concentración notablemente mayores (o menores, según el caso) que su unidad suprayacente.

En la tabla 5.9 se presentan los valores máximos, mínimos y promedio de los componentes químicos que sirven para delimitar las unidades definidas en este pozo.

Tabla 5.9. Cuadro comparativo de los componentes químicos que ayudan a definir las distintas unidades químicas en el pozo B. Los óxidos mayoritarios están en %, mientras los elementos traza en ppm.

		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	V	Ni	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
3-B	Máximo	63,73	0,90	16,66	12,64	0,22		14,27	1,70	109		384	207	231		52
	Mínimo	42,29	0,43	8,16	5,04	0,03		0,77	0,68	<50		133	84	115		<30
	Promedio	56,12	0,72	13,64	7,73	0,11		3,46	1,30	62		205	151	140		34
2-B	Máximo	63,03	0,97	17,70	8,35	0,15			1,94	130		210	200	151	296	51
	Mínimo	56,27	0,71	11,12	5,31	0,03			1,15	<50		110	116	82	107	<30
	Promedio	59,70	0,88	14,11	6,82	0,10			1,53	72		170	161	120	195	37
1-B	Máximo	69,42	0,96	16,37	6,62	0,10	3,08	3,31	2,07	67	6784	201	196	134	350	
	Mínimo	56,62	0,61	9,08	4,32	0,04	<1	0,57	1,00	<50	<250	135	91	86	152	
	Promedio	63,95	0,81	11,92	5,57	0,07	1,11	1,06	1,44	54	727	158	137	112	272	

Para diferenciar esta unidad de su adyacente superior (unidad 2-B) se establece la comparación entre las concentraciones de los componentes químicos que definen ambas unidades:

La unidad 1-B presenta las máximas concentraciones de SiO₂ y Zr, que son notablemente mayores que en la unidad 2-B, mientras que el resto de los componentes químicos son menores, en algunos casos de manera bastante notoria (tabla 5.9).

En este pozo no se presenta la división de la unidad mayor basal, aunque se observa en el extremo inferior de los perfiles de distribución de cada elemento analizado, un cambio en la tendencia que se muestra como picos y/o valores mínimos, por lo que no se descarta que ese sea un límite con una sub-unidad infrayacente. Dichas tendencias serán descritas a continuación.

El SiO_2 y el Zr presentan los valores de máxima concentración de todo el pozo en esta unidad, específicamente hacia la zona media, decreciendo hacia los límites inferior y superior.

El TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Rb y Sr muestran hacia la zona media, valores mínimos (como un pico negativo) bastante marcados y distinguibles de la unidad suprayacente, observándose una tendencia a máximos en sus límites. Mientras que el Fe_2O_3 , MnO, V, Zn y Pb también presentan esta tendencia de una manera más ligera, siendo picos más suavizados.

Todos los picos descritos, tanto los correspondientes a valores máximos como a mínimos de esta unidad, son coincidentes entre sí y de acuerdo a lo establecido anteriormente se pueden interpretar como una litología arenosa en la zona media de esta unidad y de grano más fino hacia los extremos. Los picos que se presentan en los perfiles del CaO y Sr indican presencia de material calcáreo con dolomitización en ambos tipos litológicos, según AL-GAILANI (1980), sin embargo la baja proporción de CaO no es suficiente para clasificarlas como calcáreas, lo que también se observa en el apéndice I-B según la clasificación geoquímica realizada. Mientras que los altos valores de V y Zn en las lutitas del extremo inferior indican su contenido de materia orgánica (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

De manera general para todas las unidades de este pozo, se puede observar que la el perfil del Pb muestra tendencias parecidas a las de Al_2O_3 y TiO_2 , pudiendo este elemento traza asociarse a las facies arcillosas.

En el apéndice III-B se observa que el perfil del ^{208}Tl (583 keV) muestra una tendencia bastante parecida a la del SiO_2 y Zr, pudiendo representar el contenido de Th en minerales pesados tipo circón y monacita (HURST & MILODOWSKI 1996, en EHRENBURG & SVANA 2000), al igual que el otro isótopo equivalente del Th, el ^{228}Ac muestra valores elevados para las areniscas y wackas identificadas en esta unidad. Por último el ^{214}Bi (1764 keV), equivalente del U, en las mismas areniscas muestra valores elevados, que según ADAMS & WEAVER (1958, en NORTH & BOERING 1999) indican condiciones reductoras, al igual que los bajos valores de Fe_2O_3 que se observan.

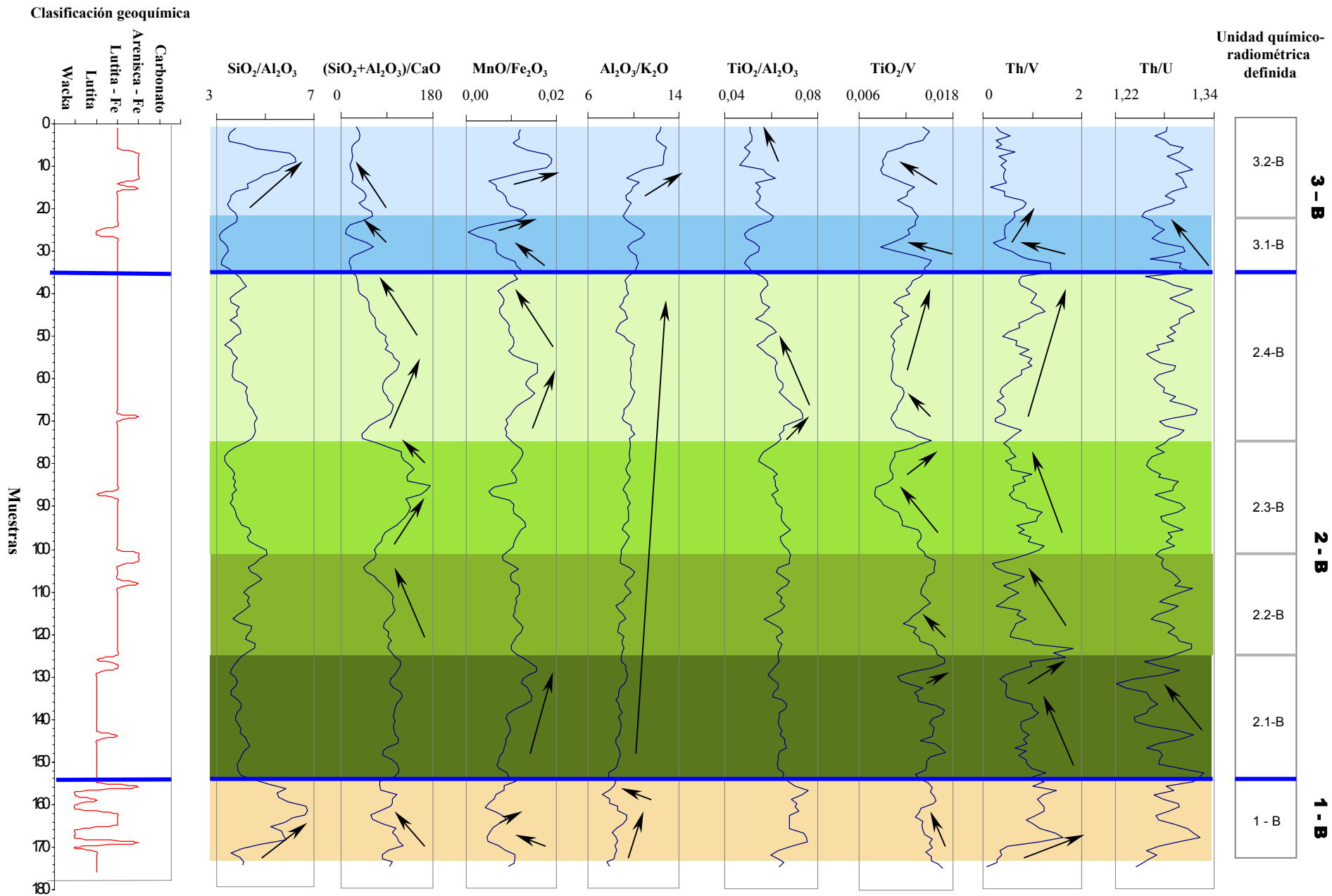


Fig. 5.12. Perfiles suavizados de las relaciones elementales del pozo B (promedio móvil 3).

En este pozo también se analizaron las relaciones elementales mencionadas para el pozo A (Fig. 5.12), y los valores máximos, mínimos y promedios para las unidades de éste se presentan en la tabla 5.10.

Se observa que la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en esta unidad presenta en su zona media un pico máximo con sus lados aserrados (comportamiento contrario o especular del perfil del SiO_2), lo que se interpreta como una arenisca en los valores máximos y litologías de grano más fino hacia los lados (posibles intercalaciones de estos tipos litológicos), pudiendo ser estas las wackas mencionadas para esa zona en el apéndice I-B, además de valores muy bajos correspondientes a las lutitas basales. Mientras que la relación $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$ muestra valores bajos correspondientes al pico de las areniscas, a las lutitas basales y más altos para las mencionadas wackas de la unidad, confirmando su contenido de material carbonático.

Tabla 5.10. Cuadro comparativo de las relaciones químicas en las unidades del pozo B.

		$\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$	$(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) / \text{CaO}$	$\text{MnO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$	TiO_2 / V	Th / V	Th / U
3-B	Máximo	7,8	95	0,0211	13,17	0,0736	0,0158	1,3709	1,39
	Mínimo	3,2	4	0,0059	7,89	0,0436	0,0075	0,1606	1,22
	Promedio	4,3	31	0,0140	10,75	0,0529	0,0120	0,5392	1,29
2-B	Máximo	5,6	225	0,0195	11,23	0,0809	0,0183	1,8215	1,37
	Mínimo	3,3	24	0,0060	7,20	0,0500	0,0073	0,1985	1,19
	Promedio	4,3	93	0,0145	9,23	0,0627	0,0127	0,7599	1,28
1-B	Máximo	7,4	134	0,0158	10,06	0,0831	0,0173	1,6252	1,35
	Mínimo	3,6	22	0,0095	6,70	0,0574	0,0123	0,0811	1,21
	Promedio	5,6	91	0,0123	8,39	0,0688	0,0150	0,9350	1,28

En la relación $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ para esta unidad se observan dos ciclos de descenso y aumento de base a tope. Considerando lo anteriormente mencionado acerca de esta relación elemental y la profundización y/o somerización de las cuencas (YARINCIK *et al.* 2000), se interpreta que las areniscas centrales y las lutitas basales fueron depositadas a mayor profundidad que las wackas que las rodean.

La relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ muestra una tendencia similar a la observada en el cociente $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ pero mucho más suavizada revelando así que las areniscas correspondientes al

pico podrían tener bajo contenido de minerales como feldespato potásico, micas y arcillas (en los que se concentra el K_2O). Mientras que la relación TiO_2/Al_2O_3 que presenta bajos valores tanto en las lutitas basales como en las areniscas centrales, presenta para las wackas valores elevados. Este mismo comportamiento es observado en el perfil del cociente Th/V de manera más marcada.

El cociente TiO_2/V presenta una tendencia decreciente de base a tope que cambia a creciente hacia el límite superior de esta unidad, reflejando sus valores bajos como mayor preservación de materia orgánica, lo cual debe corresponder con la existencia de areniscas con contenido de materia orgánica.

Por último la relación Th/U muestra picos coincidentes con los observados en el perfil del SiO_2 , sugiriendo un estado de oxidación mayor para las areniscas.

Unidad mayor 2-B

Ubicada en la zona media de este pozo, con un espesor aproximado de 2.470' (753 m), comprendido entre las profundidades de 3.560' (1.085 m) y 1.090' (332 m), correspondientes a las muestras B155 y B36 respectivamente.

En algunos perfiles de distribución de los elementos químicos que la definen, esta unidad está caracterizada por una curva más suave que en las demás unidades, como se observa para el SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO y K_2O , donde las concentraciones de cada componente se restringen a un rango más reducido (apéndice II-B).

Para diferenciar esta unidad de sus adyacentes inferior y superior (unidad 1-B y 3-B respectivamente) se establece la comparación entre las concentraciones de los elementos químicos que definen estas unidades:

En esta unidad se observan concentraciones casi constantes de SiO_2 , menores a las que presenta la unidad infrayacente y con inflexiones mucho menos marcadas que en la unidad suprayacente. Para el TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO , V , Zn , Rb y Sr las concentraciones

en esta unidad son similares a las descritas para las lutitas basales de la unidad 1-B y superiores a las de sus areniscas y wackas, además de presentar un rango más restringido de concentraciones que en la unidad 3-B, principalmente en los perfiles de los componentes mayoritarios mencionados.

Algunos de los perfiles químicos presentan para esta unidad ciclos o inflexiones notorias dentro del rango de concentraciones que le corresponde, a modo de picos positivos o negativos que coinciden entre sí, definiendo límites entre sub-unidades, como se describe a continuación.

El TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , V, Zn, Rb, y Sr muestran una marcada tendencia a mínimos entre el límite inferior de la unidad y la muestra B125, presentando entre ambos valores de elevada concentración. De esta manera se define la sub-unidad 2.1-B, entre las muestras B155 (3.540' - 3.560' ó 1.079 – 1.085 m) como límite inferior y B125 (2.930' – 2.950' ó 893 – 899 m) como límite superior. De acuerdo al comportamiento de los componentes que definen esta sub-unidad, se puede decir que según BRICEÑO & CALLEJÓN (2000) son representativos a asociaciones detríticas de grano fino y orgánicas, por lo tanto la mayor parte de las litologías que aquí se presentan tiene un contenido arcilloso y de materia orgánica considerable, el cual será mayor mientras mayor sea la magnitud de los picos positivos, mientras que hacia los límites superior e inferior disminuye dado los picos negativos, lo cual confirma la clasificación geoquímica según HERRON (1988) de las muestras que conforman esta sub-unidad como lutitas, como se observa en el apéndice I-B.

Para esta sub-unidad se observan algunos picos positivos de MgO coincidentes con altos valores de Al_2O_3 , entre otros componentes, definiendo a las arcillas que los presentan como del grupo de la esmectita (SANDOVAL 2000).

Se observa entre el límite superior de la sub-unidad 2.1-B y la muestra B102 (2.460' – 2.480' ó 750 – 756 m) para los mismos componentes anteriores nuevamente la tendencia a mínimos, con valores mayores entre ellos, definiendo así la sub-unidad 2.2-B. En esta sub-unidad los componentes que la definen (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , V y Zn) muestran valores

menores que en la sub-unidad infrayacente, lo que hace pensar que su contenido arcilloso y orgánico es menor. Los límites de esta sub-unidad son menos arcillosos, principalmente el superior clasificado como arenisca en el apéndice I-B.

Por encima del límite superior de la sub-unidad 2.2-B el comportamiento de los perfiles de los mismos componentes químicos es bastante similar al presentado en la sub-unidad 2.1-B, resaltando un gran pico de V (máximo valor de este elemento en todo el pozo) en la muestra B87, que manifiesta alto contenido de materia orgánica en la única lutita no enriquecida en hierro según se observa en la tabla 5.2. Esta sub-unidad se extiende hasta la muestra B75 (1.940' – 1.960' ó 591 – 597 m) en la cual los valores de los elementos que la definen decrecen notablemente.

Nuevamente se repiten las tendencias en los mismos elementos por encima del límite superior de 2.3-B hasta la muestra B36 (1.090' – 1.120' ó 332 – 341 m), definiendo la sub-unidad 2.4-B, acerca de la cual se podría mencionar como rasgo resaltante la tendencia decreciente hacia el tope que presenta la curva de V, manifestando su empobrecimiento progresivo de material orgánico, así como la tendencia creciente de las curvas de CaO y Sr que indican enriquecimiento en material calcáreo hacia el tope. Tanto el CaO como el Sr muestran un pico en los dos límites existentes entre las tres sub-unidades superiores 2.2-B, 2.3-B y 2.4-B.

De manera general se puede decir que la unidad mayor 2-B, está constituida por una secuencia principalmente lutítica, por lo cual los elementos químicos que la definen son los componentes asociados a litologías de grano fino y sus respectivas sub-unidades son limitadas por algunas de las pocas litologías más arenosas que se presentan.

Se observa en algunos perfiles de las variables radiométricas (apéndice III-B), tendencias con límites que coinciden por los definidos en los perfiles de algunos componentes químicos, como por ejemplo ^{208}Tl (583 keV), ^{214}Bi (609 keV), ^{228}Ac , ^{214}Bi (1120 keV) y en menor grado el ^{40}K , ^{214}Bi (1764 keV) y ^{208}Tl (2614 keV), en las sub-unidades 2.2-B, 2.3-B y 2.4-B. Esta similitud entre los perfiles de todos los isótopos

estudiados y el perfil del Al_2O_3 podría deberse a que es este el componente de mayor influencia en toda esta unidad. También se observa en la sub-unidad 2.1-B coincidencia entre el comportamiento del ^{214}Bi (1764 keV) con el de MgO .

En la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ se presenta un comportamiento especular del perfil del Al_2O_3 para toda la unidad, mostrando valores bajos para la mayor parte de esta unidad y algunos picos correspondientes a las litologías más arenosas que en ella se presentan. Mientras que la relación $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$ muestra pocas variaciones en la sub-unidad 2.1-B, una tendencia decreciente en 2.2-B y tendencias a mínimos con un máximo central en las dos sub-unidades superiores.

En la relación $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ se observa una tendencia creciente hacia el tope en la sub-unidad 2.1-B, indicando profundización de la cuenca, que coincide con el incremento hacia el tope de contenido de materia orgánica, según se presenta en los perfiles de V y Ni, infiriéndose condiciones reductoras en aumento. Para la sub-unidad 2.3-B coincide un máximo de esta relación y otro dado por el cociente $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$, interpretándose una sedimentación detrítica durante un período de profundización de la cuenca (YARINCIK *et al.* 2000).

La relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ a lo largo de toda esta unidad, al igual que en la unidad intermedia del pozo A, presenta una suave tendencia creciente hacia el tope, con una curva que no muestra inflexiones marcadas. Mientras que el perfil de $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ no presenta tendencias notorias en las tres sub-unidades inferiores, sin embargo en la base de la sub-unidad superior (2.4-B) muestra un pico en la muestra B69, siendo la única arenisca que existe en esta sub-unidad, a partir de la cual presenta una tendencia decreciente hacia el tope.

En el perfil del cociente TiO_2/V se observan muchas inflexiones para la sub-unidad 2.1-B, destacándose hacia el tope de esta, donde hay un marcado descenso seguido de un aumento, donde los valores bajos corresponden a condiciones óptimas de preservación de materia orgánica y siendo estos coincidentes con los picos de Ni que allí se observan

(BRICEÑO & CALLEJÓN 2000), en la sub-unidad 2.2-B se repiten las inflexiones dadas en esta relación. Para las sub-unidades 2.3-B y 2.4-B se presenta una tendencia a máximos en esta relación, aunque los valores de sta sean menores que los de las sub-unidades 2.1-B y 2.2.-B.

La relación Th/V muestra una tendencia a máximos en la sub-unidad inferior; decreciente para 2.2-B y 2.3-B, siendo más marcada en la primera de ellas y finalmente un tendencia creciente hacia el tope en la sub-unidad superior, señalando con sus valores elevados una sedimentación detrítica en condiciones oxidantes (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

La última relación estudiada, Th/U, presenta en toda la unidad una curva muy aserrada que hace difícil la visualización de tendencias, sin embargo se observa para la sub-unidad inferior una tendencia a decrecer hacia el tope, pudiendo esto significar aumento en las condiciones reductoras, lo cual es confirmado por el perfil de V, Ni y MnO/Fe₂O₃ (NORTH & BOERING 1999).

Unidad mayor 3-B

Ubicada en la zona superior extrema de este pozo, con un espesor aproximado de 1.010' (308 m), comprendido entre las profundidades de 1.090' (332 m) y 80' (24 m), correspondientes a las muestras B35 y B1 respectivamente. Su comportamiento general está descrito por picos de gran magnitud presentados en los perfiles de distribución de los componentes químicos que la definen (apéndice II-B).

Se observa en los perfiles químicos que en esta unidad gran parte de los componentes analizados presentan sus valores extremos de máxima o mínima concentración de todo el pozo, como se observa para el SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, MnO, K₂O, V, Rb, Zr y Pb, que muestran sus valores mínimos generales, así como el Fe₂O₃, CaO, Zn y Sr que muestran los mayores valores de todo el pozo. Algunos de estos notorios picos (positivos y negativos) son

coincidentes entre sí y dividen a la unidad 3-B en dos sub-unidades, que se denominarán, de base a tope, como 3.1-B y 3.2-B.

La sub-unidad 3.1-B está determinada principalmente por la tendencia a mínimos de CaO (dos picos muy prominentes) entre el límite inferior de esta unidad mayor y la muestra B23 a unos 800' - 820' (243 – 250 m) de profundidad, ubicándose suprayacente a esta la sub-unidad 3.2-B.

Se presentan para la sub-unidad 3.1-B picos prominentes principalmente de Al_2O_3 , V y Rb, y en menor grado de TiO_2 , K_2O y Sr, que revelan el carácter lutáceo de esta sección, además de algunos niveles calcáreos determinados por picos de gran magnitud de CaO, lo que puede observarse también en la tabla 5.2.

Para la sub-unidad 3.2-B se presenta una tendencia a máximos en los componentes antes mencionados, que según su concentración similar a la de la sub-unidad inferior, revelan el carácter lutáceo del tope y la base de esta sub-unidad, mientras que hacia su zona central se aprecian los valores mínimos de estos elementos químicos, y a su vez un incremento en la concentración de SiO_2 , Fe_2O_3 y MnO que reflejan el carácter más arenáceo de esa zona. A su vez, el V revela cierta proporción de contenido de materia orgánica principalmente en las lutitas de esta sub-unidad, mientras que el CaO y Sr revelan el contenido de material carbonático principalmente en las litologías arenosas de ella (AI-GAILANI 1980) (apéndice I-B).

Se observa cierta coincidencia en las tendencias mostradas por los elementos químicos que definen la unidad y el ^{208}Tl (583 keV), principalmente para la sub-unidad 3.1-B y menos marcada para la sub-unidad superior (apéndice III-B).

La relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ muestra valores elevados hacia la zona media de la sub-unidad 3.2-B que corresponde a las litologías arenosas de dicha zona, que a su vez presenta valores muy bajos en la relación $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$ debido al contenido calcáreo que presentan

estas areniscas. También presenta esta segunda relación sus valores mínimos en esta unidad, específicamente correspondientes a los picos de CaO de la sub-unidad 3.1-B.

La relación $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ presenta una tendencia a máximos en la sub-unidad 3.1-B, cuyo mínimo coincide con la muestra de mayor concentración de CaO, manifestando así su sedimentación durante un período de somerización de la cuenca (YARINCIK *et al.* 2000). Mientras que para la sub-unidad 3.2-B en esta relación se presenta un máximo coincidente con otro dado por la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, pudiendo indicar la sedimentación de las areniscas de esta sub-unidad durante un período de profundización de la cuenca.

En la relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ se mantiene la tendencia suavemente creciente, que se hace mucho más pronunciada hacia el tope (en la sub-unidad 3.2-B) indicando según BONATTI & GARTNER (1973, en YARINCIK *et al.* 2000) el predominio de arcillas tipo caolinita.

Los valores mínimos de la relación $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ se presentan para las lutitas calcáreas de la sub-unidad 3.1-B, confirmando para estas según YARINCIK *et al.* (2000), el predominio de granulometrías finas. Mientras los valores mínimos de la relación TiO_2/V que se presentan para las areniscas de la sub-unidad superior revelan las condiciones reductoras bajo las cuales estas se depositaron y que coinciden con la profundización de la cuenca determinada por altos valores en la relación $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$.

La relación Th/V presenta una tendencia a máximos en la sub-unidad 3.1-B y mantiene valores bajos en la sub-unidad superior, indicando mejores condiciones de preservación de materia orgánica (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

La aserrada curva de Th/U presenta una tendencia decreciente hacia el tope de la sub-unidad 3.1-B indicando aumento progresivo en las condiciones reductoras del ambiente de depositación (NORTH & BOERING 1999).

5.4.3. Unidades del Pozo C

Debido a que en este pozo se repite el comportamiento observado en los perfiles de distribución de las variables químicas, aunque únicamente de las dos unidades mayores más superficiales de los demás pozos: una zona superior que muestra picos muy marcados y una infrayacente a esa, de curvas suaves y de concentraciones notablemente diferentes; no se descartará la existencia de la unidad mayor más profunda, por lo tanto la denominación de la unidad mayor 1-C no será utilizada, además de ser menor la profundidad de este pozo.

Unidad mayor 2-C

Ubicada en la zona extrema inferior de este pozo, posee un espesor aproximado de 2.020' (616 m) comprendido entre la máxima profundidad de 3.160' (963 m) y los 1.140' (346 m), correspondientes a las muestras C158 y C57 respectivamente.

En los perfiles de distribución de los componentes químicos que definen esta unidad se presentan valores de concentración notablemente mayores (o menores, según el caso) que su unidad suprayacente.

En la tabla 5.11 se presentan los valores máximos, mínimos y promedio de los componentes que definen las unidades en este pozo.

Tabla 5.11. Cuadro comparativo de los componentes químicos que ayudan a definir las distintas unidades químicas en el pozo C. Los óxidos mayoritarios están en %, mientras los elementos traza en ppm.

		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	V	Ni	Zn	Rb	Sr	Zr	Hg	Pb
3-C	Máximo	69,77	0,91	18,66	12,93	0,19		1,80	103	6810	319	210	203	239		47
	Mínimo	48,39	0,23	3,92	3,81	0,04		0,19	50	350	88	46	74	51		40
	Promedio	57,91	0,76	14,51	7,89	0,11		1,37	66	656	200	163	135	134		41
2-C	Máximo	63,97	0,98	19,07	8,78	0,13	1,72	1,81	119	10400	300	207	155	303	27	46
	Mínimo	56,15	0,77	10,95	5,34	0,07	0,56	1,22	50	350	146	111	95	111	15	40
	Promedio	58,94	0,89	15,01	6,73	0,10	0,82	1,55	72	1186	192	172	128	186	15	40

Para diferenciar esta unidad de su adyacente superior (unidad 3-C) se establece la comparación entre las concentraciones de los elementos que definen ambas unidades:

En los perfiles de distribución de los componentes mayoritarios principalmente se observa que esta unidad está caracterizada por una curva más suave que en la otra unidad, como se observa para el SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O , Rb y Sr , donde las concentraciones de cada elemento se restringen a un rango más reducido.

En los perfiles de distribución de los elementos traza principalmente se observa para la muestra C142 con una profundidad aproximada de 2.840' – 2.860' (866 – 872 m) un cambio en la tendencia de las curvas, definiéndose en esta un límite entre dos sub-unidades, que se denominarán 2.1-C y 2.2-C de más a menos profunda, siendo el límite superior de la segunda de ellas la muestra C125 (2.500' - 2.520' ó 762 - 768 m). Para estas dos sub-unidades se presenta una curva más zigzagueante que en la zona superior de la unidad, además de concentraciones ligeramente menores en los componentes Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , Zn y Sr , y ligeramente mayores de SiO_2 , TiO_2 , K_2O , Zr y Hg (apéndice II-C).

Por encima de la muestra C125, se observan concentraciones casi constantes de SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , V , Zn , Rb y Sr , sin embargo, en los perfiles de Fe_2O_3 , MnO y Zn se presenta un incremento marcado hacia la muestra C97 (1.940' – 1.960' ó 591 – 598 m) que coincide con picos negativos de K_2O , V , Rb y Sr , definiendo para dicha muestra un límite entre otras dos sub-unidades, 2.3-C y 2.4-C.

En la sub-unidad 2.1-C se observan concentraciones relativamente constantes de SiO_2 , que se incrementan hacia el tope en la sub-unidad 2.2-C, mientras que el TiO_2 presenta una tendencia ligeramente decreciente en 2.1-C y que cambia a una curva muy zigzagueante en 2.2-C. Las curvas de Al_2O_3 y MnO no muestran el límite entre las dos sub-unidades inferiores, presentándose bastante aserrada en ambas, al igual que el Fe_2O_3 aunque de manera más suavizada.

El V , Ni y Sr presentan en la sub-unidad inferior una tendencia mínimos que se repite para la sub-unidad 2.2-C. El Zn no marca el límite entre las sub-unidades manteniendo una muy ligera tendencia creciente hacia el tope en toda la unidad. Mientras que el Rb y Sr presentan curvas similares a la del Al_2O_3 y K_2O , quedando nuevamente asociados sus altos

valores a predominio de material arcilloso. El Zr muestra para la sub-unidad inferior una tendencia decreciente, que cambia a una tendencia a mínimos en 2.2-C.

Mientras que en la sub-unidad 2.3-C se identifican dos zonas de comportamiento distintivo, la zona inferior de valores menores de SiO₂ y Zr y mayores de MnO, V y Ni, pudiendo esto significar que para esta zona se presenta un predominio de materia orgánica, que disminuye hacia la zona superior de la sub-unidad. Sin embargo a lo largo de toda la sub-unidad se mantienen casi constantes los valores del resto de los componentes químicos. Mientras que para la sub-unidad 2.4-C en general, se mantienen las concentraciones casi constantes en la mayoría de los componentes químicos estudiados, teniendo como un rasgo resaltante concentraciones considerables de MgO hacia la zona inferior (posiblemente arcillas tipo esmectita, según SANDOVAL 2000), además de valores visiblemente menores de SiO₂ y Zr que en la sub-unidad 2.3-C.

En las sub-unidades 2.1-C y 2.2-C se presenta un comportamiento parecido entre el ²⁰⁸Tl (583 keV) y el SiO₂ y Zr, pudiendo representar el contenido de Th en minerales pesados tipo circón y monacita (HURST & MILODOWSKI 1996, en EHRENBURG & SVANA 2000), así como curvas ligeramente parecidas de ²¹⁴Bi (1764 keV) y el Al₂O₃ y Rb, pudiendo indicar según ADAMS & WEAVER (1958, en NORTH & BOERING 1999) condiciones reductoras durante la sedimentación de las lutitas.

También se observan para la unidades 2.3-C y 2.4-C comportamientos un tanto similares en los perfiles de V y ²¹⁴Bi (1120 keV y 1764 keV), esto podría considerarse como evidencia de las condiciones reductoras del ambiente deposición que favorecen a la preservación de materia orgánica. Según SWANSON (1961, en EHRENBURG & SVANA 2000) las lutitas enriquecidas en U reflejan una lenta acumulación de materia orgánica en sedimentos marinos profundos bajo condiciones reductoras.

En este pozo también se analizaron las relaciones elementales mencionadas para los pozos anteriormente analizados (Fig. 5.13), y los valores máximos, mínimos y promedios para las unidades de éste se presentan en la tabla 5.12.

Tabla 5.12. Cuadro comparativo de las relaciones químicas en las unidades del pozo C.

		SiO ₂ / Al ₂ O ₃	(Al ₂ O ₃ + SiO ₂) / CaO	MnO / Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃ / K ₂ O	TiO ₂ / Al ₂ O ₃	TiO ₂ / V	Th/V	Th/U
3-C	Máximo	13,2	131	0,0187	21,58	0,0571	0,0157	1,1035	1,3369
	Mínimo	2,9	7	0,0093	8,66	0,0469	0,0046	0,0819	1,2225
	Promedio	4,4	73	0,0137	11,22	0,0524	0,0120	0,5397	1,2793
2-C	Máximo	5,7	135	0,0179	12,51	0,0712	0,0182	1,1562	1,3509
	Mínimo	3,0	40	0,0117	7,42	0,0000	0,0000	0,0000	1,2017
	Promedio	4,0	96	0,0150	9,67	0,0589	0,0125	0,5236	1,2751

Para las sub-unidades 2.1-C y 2.2-C, el cociente SiO₂/Al₂O₃ muestra una curva zigzagueante similar a la de los elementos involucrados, de esta manera se interpreta la alternancia de sedimentación detrítica de grano fino y más grueso, que cambia a valores constantes para el resto de la unidad.

La relación (Al₂O₃ + SiO₂)/CaO muestra un pico negativo en la sub-unidad 2.2-C cercano a su límite inferior, que coincide con bajos valores de la mayoría de los componentes mayoritarios y un prominente pico de V, así como otros de menor magnitud de CaO y Sr, revelando contenido de material calcáreo y en mayor proporción de materia orgánica en ese nivel (muestras C139 y C140). Además de presentar valores bajos cercanos al límite entre las dos sub-unidades más superficiales y hacia la zona media de la sub-unidad 2.4-C.

La relación MnO/Fe₂O₃ en la sub-unidad 2.2-C presenta un pico que coincide con los máximos valores de SiO₂, lo que podría interpretarse como la sedimentación de estas areniscas en una cuenca ligeramente más profunda que para las litologías adyacentes (YARINCIK *et al.* 2000). Mientras que para las sub-unidades 2.3-C y 2.4-C, esta relación presenta el mismo comportamiento en cada una de ellas: valores mayores hacia la zona inferior que decrecen hacia el tope de dichas sub-unidades, lo cual puede significar dos ciclos de cuenca profunda que progresivamente se hace más somera. En la zona superior de esta unidad, el perfil de esta relación coincide con el de V y ²¹⁴Bi (1120 keV y 1764 keV), confirmando lo anteriormente mencionado acerca de las condiciones reductoras bajo las cuales se sedimentó la materia orgánica en esas sub-unidades.

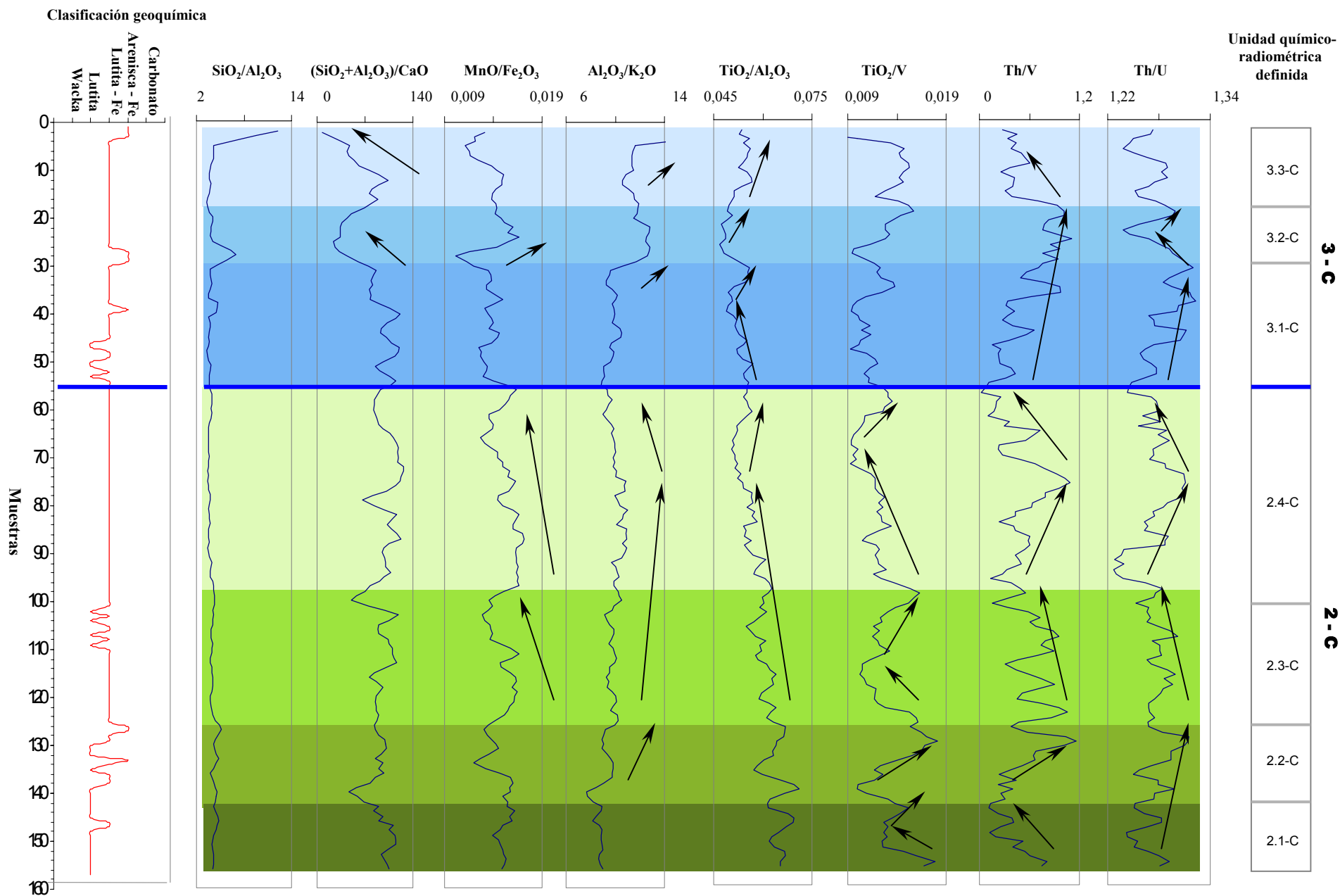


Fig. 5.13. Perfiles suavizados de las relaciones elementales del pozo C (promedio móvil 3).

Mientras que la relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, muestra valores bajos para dichas areniscas de la sub-unidad 2.2-C, pudiendo representar el contenido de feldespato potásico y/o micas predominante sobre el material arcilloso, además de una tendencia general suavemente creciente hacia el tope, que se mantiene hasta la mitad superior de la sub-unidad 2.4-C, donde cambia a decreciente de manera muy suave.

Para la relación $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ se presenta de manera general una tendencia decreciente hacia el tope que cambia a creciente en la mitad superior de la sub-unidad 2.4-C. La relación TiO_2/V presenta tendencia a máximos en cada sub-unidad, representando con sus valores bajos mayores condiciones reductoras en el ambiente de sedimentación.

La relación Th/V presenta para la sub-unidad 2.1-C una tendencia decreciente, que para la sub-unidad 2.2-C cambia a creciente, nuevamente tendencia decreciente hacia el tope en 2.3-C y tendencia a mínimos para 2.4-C, indicando con sus valores elevados mayor aporte de material detrítico de posible origen continental.

Finalmente la relación Th/U muestra en su curva aserrada un comportamiento creciente hacia el tope en las sub-unidades 2.1- C y 2.2- C, reflejando aumento en las condiciones oxidantes del medio. Mientras que para las sub-unidades 2.3-C y 2.4-C, esta relación presenta una tendencia decreciente y tendencia a mínimos respectivamente.

Unidad mayor 3-C

Ubicada en la zona extrema superior de este pozo abarca un espesor de 1.140' (348 m), comprendido entre las muestras C56 y C1 y sus respectivas profundidades de 1.140' y 0. Al igual que en los pozos anteriormente estudiados esta unidad mayor superficial presenta un comportamiento general definido por picos de gran magnitud en los perfiles de distribución de los elementos que la definen (apéndice II-C).

Para esta unidad se presentan en los perfiles de los componentes mayoritarios, exceptuando el MgO , los valores máximos y mínimos de todo el pozo, así como las mínimas concentraciones de la mayoría de los elementos traza (V, Zn, Rb, Sr, Zr y Pb). Se

observa que los picos (positivos y negativos) coinciden en la muestra C29 (580' – 595' ó 177 – 181 m), definiendo en dicha un límite entre las sub-unidades 3.1-C y 3.2-C, de base a tope.

Para la sub-unidad 3.1-C el perfil del SiO_2 presenta picos de magnitud media que se incrementan hacia la muestra C29 que muestra el valor máximo de este elemento. Mientras que el Al_2O_3 se comporta de manera contraria o especular, manifestándose de esta manera empobrecimiento de arcillas hacia el tope de esta sub-unidad, en cuyo límite superior se presenta la arenisca más importante. Para todos los componentes químicos que se asocian con sedimentación arcillosa se presenta el mismo comportamiento del Al_2O_3 . Sin embargo el Zr, que se asocia a las areniscas se presenta empobrecido en las que se ubican hacia el tope de esta sub-unidad.

Desde la muestra C29 hasta muestra C18 (360' – 380' ó 110 – 119 m) se presenta una tendencia a máximos de SiO_2 , además de valores bajos con tendencia creciente de TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Rb, Zr y Pb, que coincide con la tendencia decreciente (y otras a mínimos) de Fe_2O_3 , MnO, CaO, Zn y Sr, definiéndose para muestra C18 otro límite de sub-unidades, quedando por encima de este la sub-unidad 3.3-C. Este comportamiento descrito para 3.2-C manifiesta hacia su zona inferior una litología arenosa seguida por otra lutácea calcárea, y desde allí hasta su límite superior litologías ricas en arcillas, algunas de estas con contenido de materia orgánica según se observa en los perfiles de V y Zn.

En la sub-unidad 3.3-C se observa una suave tendencia decreciente hacia el tope de SiO_2 y Zr, que es mucho más marcada para el TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , V, Rb y Pb, que coincide con la tendencia creciente hacia el tope de Fe_2O_3 , MnO, CaO, Zn y Sr. EL tope de esta unidad se puede interpretar como predominantemente calcáreo y oxidado, que por poseer menor proporción de arcillas es clasificado en el apéndice I-C como areniscas – Fe calcáreas.

Para toda la sub-unidad 3-C se presenta coincidencia entre el perfil del Zr y ^{208}Tl (583), pudiendo esto significar la concentración de Th en minerales pesados como circón (HURST & MILODOWSKI 1996, en EHRENBURG & SVANA 2000) (apéndices II-C y III-C).

En el perfil de la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ se observan valores elevados en el tope de la unidad (hacia la superficie), además de picos de magnitud media correspondientes a las areniscas del límite inferior de 3.2-C y hacia la muestra C39 en 3.1-C. Como se ha mencionado anteriormente los valores elevados de este cociente representan litologías predominantemente arenosas (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000). Mientras que la relación $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$ presenta valores muy bajos en los intervalos definidos anteriormente como calcáreos, como lo son la sub-unidad 3.2-C y hacia en el tope de esta sub-unidad (hacia la superficie).

La relación $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ presenta valores elevados en el límite inferior de esta unidad, así como en las litologías lutáceas de la sub-unidad 3.2-C, pudiendo esto significar la sedimentación de estas en una cuenca más profunda, mientras que los bajos valores de este cociente que se observan en las areniscas que marcan el límite de las sub-unidades 3.1-C y 3.2-C (muestras C27 a C29) habrían sido depositadas en una cuenca más somera (YARINCIK *et al.* 2000).

En la sub-unidad 3.2-C se observa un leve incremento en los valores del cociente elemental $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, así como valores máximos de este hacia la superficie, manifestando el posible empobrecimiento de feldespato potásico, micas y arcillas ricas en potasio en estos intervalos.

En el perfil de la relación $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ se presenta un comportamiento ligeramente decreciente a lo largo de la sub-unidad 3.1-C, hacia cuyo tope (entre las muestras C30 y C35) muestras valores más elevados, pudiendo esto interpretarse como le predominio de granulometrías finas que se hacen ligeramente más gruesas hacia el tope de esta sub-unidad. En las dos sub-unidades superiores, esta relación elemental presenta una tendencia suavemente creciente.

La relación TiO_2/V muestra tendencia creciente a lo largo de toda esta unidad mayor, lo cual es resultado del empobrecimiento de materia orgánica hacia el tope, que revelaría condiciones oxidantes en el medio de sedimentación. El perfil del cociente Th/V presenta una clara tendencia creciente hacia el tope, a lo largo de las dos sub-unidades inferiores, mientras que para la sub-unidad 3.3-C muestra valores mucho más bajos. Esto podría significar el incremento progresivo del aporte de material de origen continental durante la sedimentación de las sub-unidades inferiores, el cual disminuye considerablemente en la sub-unidad superior (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

Por último, la relación Th/U muestra una tendencia creciente hacia el tope en la sub-unidad 3.1-C, que puede reflejar aumento de las condiciones oxidantes del medio de sedimentación (NORTH & BOERING 1999). Mientras que para la sub-unidad 3.2-C esta curva presenta una tendencia a máximos, interpretándose para su zona media (de la muestra C22 a la C25) predominio de condiciones reductoras durante la sedimentación, lo cual coincide con los picos que muestran los elementos asociados a materia orgánica como V y Zn.

5.4.4. Unidades del Pozo D

Al observar los perfiles de distribución vertical de las variables químicas de este pozo se definen nuevamente tres unidades principales, sin embargo se observa cierta diferencia entre las de este y las presentadas por los demás pozos estudiados.

Dicha diferencia puede observarse principalmente en la zona o unidad superior cuyos perfiles muestran valores más o menos constantes a lo largo de esta (a excepción de dos niveles particulares), lo cual es bastante diferente a lo que se ha descrito con anterioridad para las zonas superiores de cada uno de los demás pozos, en las cuales se presentan picos muy marcados en toda su extensión. En la zona intermedia de este se puede observar que también esta definida por curvas suaves y en la zona inferior se presentan inflexiones de magnitud considerable y de concentraciones notablemente diferentes.

Unidad mayor 1-D

Ubicada en la zona extrema inferior de este pozo, posee un espesor aproximado de 86' (26 m) comprendido entre la máxima profundidad de 3.946' (1.203 m) y los 3.860' (1.177 m), correspondientes a las muestras D170 y D162 respectivamente.

En los perfiles de distribución de los componentes químicos que definen esta unidad presenta tendencias que la diferencian de la unidad suprayacente (apéndice II-D).

En la tabla 5.13 se presentan los valores máximos, mínimos y promedio de los componentes que definen las unidades en este pozo.

Tabla 5.13. Cuadro comparativo de los componentes químicos que ayudan a definir las distintas unidades químicas en el pozo D. Los óxidos mayoritarios están en %, mientras los elementos traza en ppm.

		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	V	Ni	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb
3-D	Máximo	65,69	0,91	18,31	12,75	0,20	34,06	1,84	118	5939	771	218	283	160	46
	Mínimo	21,31	0,42	4,35	3,10	0,01	0,57	0,51	<50	350	80	52	79	40	40
	Promedio	56,03	0,79	13,88	7,72	0,11	1,99	1,41	61	750	198	173	128	118	40
2-D	Máximo	80,43	0,90	17,52	10,02	0,13	6,11	1,73	94	5770	230	204	193	330	62
	Mínimo	53,63	0,27	4,25	3,04	0,04	0,45	0,45	50	350	80	50	41	39	40
	Promedio	61,66	0,78	13,01	6,88	0,09	0,91	1,33	63	563	158	147	112	188	41
1-D	Máximo	78,28	0,64	11,98	5,88	0,06	2,68	1,07	50		147	101	94		40
	Mínimo	66,50	0,34	4,29	3,43	0,04	0,57	0,35	50		80	42	45		40
	Promedio	72,72	0,48	7,55	4,40	0,05	1,32	0,65	50		94	64	68		40

En los perfiles de distribución de los componentes mayoritarios se observa que esta unidad presenta valores notablemente menores que su unidad suprayacente, excepto para el SiO₂ que presenta valores mucho más elevados.

De acuerdo a la alta concentración presentada por el SiO₂, así como los bajos valores en los componentes correspondientes a asociaciones detríticas de grano fino (TiO₂, Al₂O₃, K₂O y Rb), asociaciones orgánicas (V, Ni y Zn) y representativos de material calcáreo (CaO y Sr) se podría interpretar a la litología de esta unidad como predominantemente arenosa y ausente de materia orgánica. Además al observar el comportamiento de las curvas se podría considerar su límite superior como la arena más limpia.

Las relaciones elementales han sido estudiadas en este pozo también (Fig. 5.14), y sus valores máximos, mínimos y promedio se presentan en la tabla 5.14.

La relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ muestra los valores más altos de todo el pozo en esta unidad, indicando un mayor contenido de material detrítico arenoso en ella, además de una tendencia creciente hacia el tope que confirma lo anteriormente mencionado acerca de las areniscas más limpias en el límite superior de esta unidad.

Tabla 5.14. Cuadro comparativo de las relaciones químicas en las unidades del pozo D.

		$\text{SiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$	$(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) / \text{CaO}$	$\text{MnO} / \text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3 / \text{K}_2\text{O}$	$\text{TiO}_2 / \text{Al}_2\text{O}_3$	TiO_2 / V	Th/V	Th/U
3-D	Máximo	7,0	126,8	0,025	12,2	0,0714	0,0161	1,3260	1,3203
	Mínimo	3,1	0,8	0,004	7,1	0,0500	0,0075	0,0372	1,2355
	Promedio	4,1	67,8	0,015	9,9	0,0580	0,0135	0,5861	1,2857
2-D	Máximo	18,9	188,3	0,018	15,4	0,0770	0,0152	1,0628	1,3507
	Mínimo	3,3	10,7	0,008	0,0	0,0487	0,0077	0,0188	1,2516
	Promedio	5,0	96,6	0,013	10,0	0,0604	0,0127	0,4693	1,2978
1-D	Máximo	18,3	145,5	0,016	15,0	0,0701	0,0106	1,0259	1,3195
	Mínimo	5,6	28,8	0,009	10,0	0,0590	0,0079	0,1645	1,2827
	Promedio	10,7	79,2	0,012	12,1	0,0650	0,0094	0,6768	1,3042

Mientras que el cociente $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) / \text{CaO}$ presenta picos de magnitud media hacia la base y tope de la unidad, además de un pico negativo que coincide con otro en el perfil de SiO_2 y con dos pequeños picos positivos de Al_2O_3 y CaO , pudiendo interpretarse como que en esa zona el material arenoso presenta cierta cantidad de arcillas y material calcáreo (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

El cociente $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ no muestra rasgos relevantes en esta unidad, manteniendo valores bajos de manera casi constante. Mientras que la relación TiO_2/V muestra la misma tendencia que el perfil del TiO_2 debido a que el V se presenta por debajo del límite de detección (<50 ppm) en esta unidad.

Mientras que la relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ muestra valores elevados, debido a la baja concentración de ambas especies químicas, además de presentar perfiles individuales muy

parecidos, pudiendo esta relación no necesariamente indicar la predominancia de algún tipo de arcillas, para este caso.

La relación $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ presenta una tendencia creciente hacia el tope de la unidad que indica con sus bajos valores predominancia de tipo granulométrico arcilloso (YARINCIK *et al.* 2000), por lo tanto confirma la tendencia más arenosa hacia el tope de esta sub-unidad.

Para esta unidad inferior, el perfil de la relación Th/V muestra un pico único y bien marcado, sin embargo es importante tomar en cuenta que el V en esta unidad está prácticamente ausente. De acuerdo a dicha ausencia de V, Ni y Zn se podría pensar en que no hay materia orgánica, pudiendo haber sido causado por el dominio de un ambiente oxidante o de una sedimentación pobre en este tipo de material (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

Mientras que la relación Th/U presenta una curva aserrada ligeramente creciente hacia el tope de la unidad, que podría indicar el predominio progresivo de las condiciones oxidantes en el medio de sedimentación (NORTH & BOERING 1999).

Unidad mayor 2-D

Ubicada en la zona media de este pozo, con un espesor aproximado de 2.580' (787 m), comprendido entre las profundidades de 3.860' (1.177 m) y 1.280' (390 m), correspondientes a las muestras D161 y D57 respectivamente.

Se observa en algunos perfiles de distribución de los componentes químicos que la definen, que esta unidad está caracterizada por una curva suave, donde las concentraciones de cada elemento se restringen a un rango reducido (excepto en sus límites inferior y superior).

También se observan en los perfiles de algunos elementos químicos tendencias marcadas a lo largo de toda esta unidad, como lo es el comportamiento ligeramente creciente de base a tope del TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 y MnO principalmente.

La coincidencia de picos positivos y negativos, según el caso, en algunos de los componentes analizados, que se ubican en la muestra D134 (3.120' – 3.150' ó 951 – 960) definen un límite entre dos sub-unidades: la inferior denominada 2.1-D y la sub-unidad 2.2-D que se prolonga hasta otros picos coincidentes en la muestra desde la muestra D94 (2.060' – 2.080' ó 628 – 634 m), por encima de la cual que encuentra la sub-unidad 2.3-D hasta el límite superior de esta unidad mayor (muestra D57).

Según el rango de valores mostrados por los elementos SiO₂ y los elementos asociados a material detrítico de grano fino, se puede decir que las zonas arenosas predominantes de esta unidad se ubican principalmente en sus extremos inferior y superior, así como en el límite entre las sub-unidades 2.1-D y 2.2-D.

En la sub-unidad 2.1-D, el CaO presenta valores ligeramente más altos hacia su zona inferior, que coinciden con picos de Al₂O₃, V, Rb, Sr y un incremento muy ligero en el Zn que, además de ser la zona de menos concentración de SiO₂ en la sub-unidad, se podría considerar como una zona de material más fino o arcilloso con un poco de material calcáreo y orgánico.

Mientras que para el resto de la unidad se observa una marcada tendencia creciente hacia el tope de TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, MnO, K₂O, V, Rb y Sr, así como otra decreciente para el SiO₂ y Zr, sugiriendo así un incremento progresivo de material detrítico de grano fino y de origen orgánico hacia el tope. Sin embargo de acuerdo a los valores mostrados por estos se podría decir que estas sub-unidades están constituidas principalmente por material arcilloso con presencia de materia orgánica en la zona superior (evidenciada también por los valores dados por el V y Ni en la sub-unidad 2.3-D principalmente).

Se observan similitudes entre los perfiles del V tanto con el ²²⁸Ac, como con el ⁴⁰K principalmente. Esto podría deberse a que tanto la materia orgánica como el Th (representado por el ²²⁸Ac) y el ⁴⁰K están asociados al material detrítico fino que abunda en esta unidad (apéndices II-D y III-D).

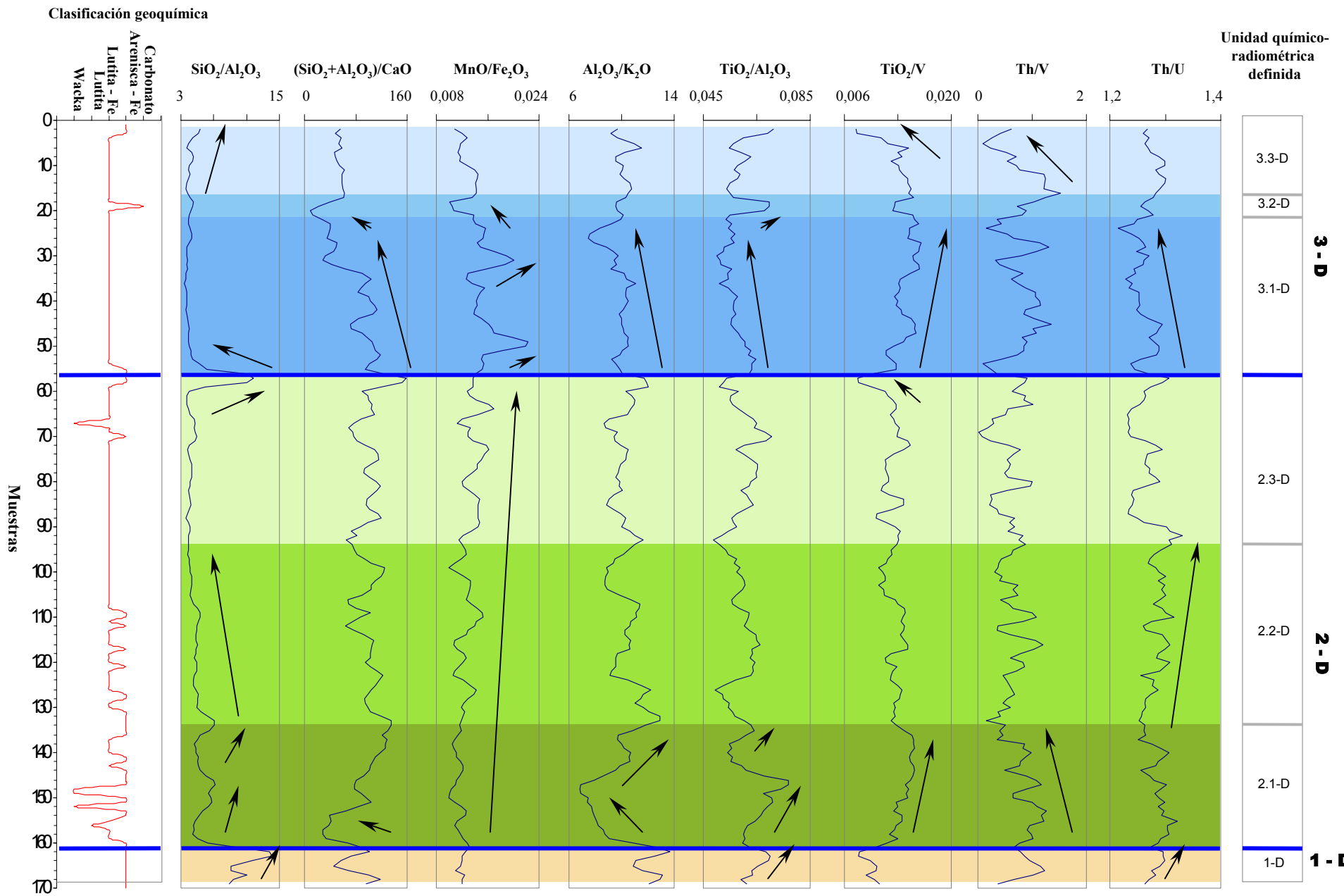


Fig. 5.14. Perfiles suavizados de las relaciones elementales del pozo D (promedio móvil 3).

La relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ muestra una leve tendencia creciente en 2.1-D, que en 2.2-D cambia a decreciente y mantiene valores bajos en 2.3-D, excepto en el límite superior donde muestra un gran pico. Mientras que el perfil de la relación $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$ presenta valores bajos en la base de 2.1-D, que cambia a una tendencia creciente hacia el tope de esta sub-unidad, los bajos valores hacia la base pueden interpretarse como generados por la existencia de cierta cantidad de arcillas y material calcáreo. Esta relación muestra valores elevados en el resto de la unidad, debido a la ausencia de material calcáreo en las sub-unidades superiores (BRICEÑO Y CALLEJÓN 2000).

El cociente $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ presenta una tendencia levemente creciente a lo largo de toda la unidad, pudiendo significar la somerización progresiva de la cuenca (YARINCIK *et al.* 2000).

Mientras que la relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$ muestra para la sub-unidad 2.1-D una marcada tendencia a máximos, pudiendo sugerir que hay una alternancia de predominancia de los tipos de arcillas que esta relación compara (illita vs. caolinita). Posteriormente mantiene para el resto de la unidad un rango de valores mas o menos constante.

Se observan en la relación $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ picos que coinciden con los de la relación $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$, en la sub-unidad 2.1-D, debido a que en ambas relaciones los elevados valores manifiestan el predominio de material grueso. Manteniéndose para el resto de la unidad valores más o menos constantes.

La relación TiO_2/V presenta una tendencia creciente debido a la presencia de materia orgánica en la zona inferior de la sub-unidad 2.1-D, mientras que el resto de la unidad muestra valores más o menos constantes, que se hacen notablemente menores en el límite superior de la unidad, debido a que los elementos involucrados se empobrecen significativamente.

La relación Th/V para la sub-unidad 2.1-D presenta una tendencia decreciente hacia el tope, pudiendo significar denotar el predominio progresivo de sedimentos de origen orgánico (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

Por último, la aserrada curva dada por la relación Th/U presenta una tendencia ligeramente decreciente para a sub-unidad 2.1-D, que sugiere condiciones reductoras, que cambia a una tendencia creciente hacia el tope en la sub-unidad 2.2-D, para presentar finalmente en la unidad 2.3-D una alternancia de máximos y mínimos. Esto podría interpretarse como alternancias entre las condiciones oxidantes y reductoras del medio de sedimentación (NORTH & BOERING 1999).

Unidad mayor 3-D

Ubicada en la zona superior extrema de este pozo, con un espesor aproximado de 1.280' (309 m), comprendidos entre las muestras D56 y D1.

En los perfiles de distribución vertical de algunos elementos químicos analizados (apéndice II-D), como el SiO₂, TiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃, K₂O, Rb y Sr principalmente, se observa que este intervalo presenta valores más o menos constantes, que se hacen notablemente distintos hacia su límite inferior y en una zona comprendida entre las muestras D18 y D22, en las cuales se establecen límites de sub-unidades. De esta manera quedan definidas las sub-unidades 3.1-D, desde el límite inferior de la unidad (muestra D56) y la muestra D23 (600' – 620' ó 183 – 189 m), por encima de la cual se encuentra la sub-unidad 3.2-D, que se extiende hasta la muestra D18 (510' – 535' ó 155 – 163 m), y por último la sub-unidad 3.3-D, siendo la más superficial.

En el límite inferior de esta unidad, que se ha mencionado anteriormente como el límite superior de la unidad 2-D, está conformado por un intervalo de areniscas bastante notable, de acuerdo al elevado porcentaje de SiO₂ que presenta, que naturalmente coincide con bajos valores de la mayoría de los demás componentes químicos estudiados. Por encima del pico dado por dichas areniscas, la sub-unidad 3.1-D muestra para el SiO₂, TiO₂, Zn, Rb, Sr y Zr, valores bastante parecidos, mientras que para el Al₂O₃ se presenta una tendencia a

mínimos, además de tendencias suavemente crecientes hacia el tope en los perfiles de Fe_2O_3 , CaO , K_2O y Sr . De acuerdo a esto, esta sub-unidad podría considerarse como principalmente arcillosa (excepto su límite inferior), cuyo contenido de feldespato potásico, micas o arcillas tipo caolinita aumenta hacia el tope, así como su contenido de material calcáreo, aunque la materia orgánica se presenta principalmente en su mitad inferior según lo muestra el perfil de V y Ni (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

Suprayacente a la sub-unidad 3.1-D se presenta la coincidencia de picos negativos de casi todos los elementos químicos estudiados, excepto para el CaO y Sr , en cuyos perfiles se observan los valores máximos absolutos, que definen a la sub-unidad 3.2-D, acerca de la cual se podría mencionar que posee un alto contenido de material calcáreo con posible dolomitización (AI-GAILANI 1980), pudiendo llegar a ser un carbonato según la clasificación geoquímica de HERRON (1988) realizada (apéndice I-D).

En la sub-unidad 3.3-D se observan tendencias decrecientes hacia el tope en los perfiles de SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , K_2O , Rb , Sr y Zr , mientras que para el Fe_2O_3 , V y Zn se presentan tendencias crecientes (siendo los valores de estos elementos máximos absolutos en el tope). Se podría considerar a esta última sub-unidad como conformada por sedimentos altamente oxidados, posiblemente producto de la meteorización dado su carácter superficial, además de presentar abundancia de materia orgánica.

En los perfiles de las variables radiométricas (apéndice III-D) se observa que para la sub-unidad 3.1-D que, el ^{214}Bi (609 keV), el ^{228}Ac y el ^{40}K presentan valores elevados que coinciden con los de Al_2O_3 , según SWANSON (1961, en EHRENBURG & SVANA 2000) podría significar que estas lutitas enriquecidas en U (representado por el ^{214}Bi) reflejan una lenta acumulación de materia orgánica en sedimentos marinos profundos bajo condiciones reductoras, lo cual coincide con los valores mostrados en esa zona por el V . Mientras que tanto la materia orgánica como el Th (representado por el ^{228}Ac) y el ^{40}K están asociados al material detrítico fino que se presenta en esta zona.

También se observa que el perfil de γ_{total} presenta un comportamiento bastante similar al de los elementos mayoritarios asociados a material detrítico fino, como el del Al_2O_3 .

En los perfiles de las relaciones elementales se observa que el cociente $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ presenta altos valores en el límite inferior de esta unidad debido a la presencia de las areniscas en este y por encima del cual se mantienen valores bajos que aumentan ligeramente hacia el tope de la sub-unidad 3.3-D, sugiriendo para esta un predominio de arena sobre arcillas (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

Mientras que el perfil del cociente $(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)/\text{CaO}$ presenta una tendencia decreciente hacia el tope en la sub-unidad 3.1-D y valores mínimos en 3.2-D, que indican el empobrecimiento progresivo en material detrítico mientras que la sedimentación se enriquecía en material calcáreo, que en 3.2-D se hace predominante, para finalmente ser nuevamente detrítica en 3.3-D (BRICEÑO & CALLEJÓN 2000).

En el perfil de la relación $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ se presentan dos picos positivos que denotan condiciones reductoras en el medio de sedimentación en la sub-unidad 3.1-D, mientras que sus bajos valores en 3.2-D se pueden interpretar como la cuenca más somera al momento de la sedimentación de esta (YARINCIK *et al.* 2000).

La leve tendencia decreciente hacia el tope de la sub-unidad 3.1-D para la relación $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}$, sugiriendo para ella el predominio progresivo de arcillas tipo caolinita o del enriquecimiento en feldespato potásico y micas. Este mismo comportamiento es presentado por el cociente $\text{TiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ en esta sub-unidad que podría interpretarse como el incremento de sedimentación fina hacia el tope de la misma, mientras que para la sub-unidad 3.2-D esta relación muestra valores más elevados, dado que el empobrecimiento en Al_2O_3 es más abrupto que el de TiO_2 .

La relación TiO_2/V presenta en la sub-unidad 3.1-D una tendencia creciente, debido a que la materia orgánica se preserva únicamente hacia la base de esta. Mientras que para la sub-unidad 3.2-D se hace un poco menor la sedimentación detrítica y ligeramente más

importante la sedimentación de origen orgánico, la cual presenta su mayor proporción hacia el tope de la sub-unidad 3.3-D, representado por los bajísimos valores mostrados por esta relación, al igual que la relación Th/V en esta sub-unidad superficial (BRICEÑO Y CALLEJÓN 2000).

La aserrada curva de la relación Th/U presenta una ligera tendencia decreciente en la sub-unidad 3.1-D, que sugiere el aumento de las condiciones reductoras durante la sedimentación de esta, lo cual coincide con los altos valores mostrados por el cociente $\text{MnO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ (NORTH & BOERING 1999).

De acuerdo a la clasificación geoquímica según HERRON (1988) (apéndice I-D), en este pozo existe un carbonato, por lo tanto se estudian las relaciones propuestas por GASSE *et al.* (1987, en BELLANCA *et al.* 1995) (Fig. 5.15). Al igual que los del pozo A, este carbonato (muestra D19 específicamente) presenta para ambas relaciones valores más elevados que los descritos por este autor como valores bajos (0,019 y 0,02 para las relaciones MgO/CaO y Sr/CaO respectivamente). Esto podría interpretarse como cierta salinidad del ambiente de sedimentación y una relativa abundancia biogénica en este carbonato, dado que los valores de la relación Sr/CaO son mucho más elevados.

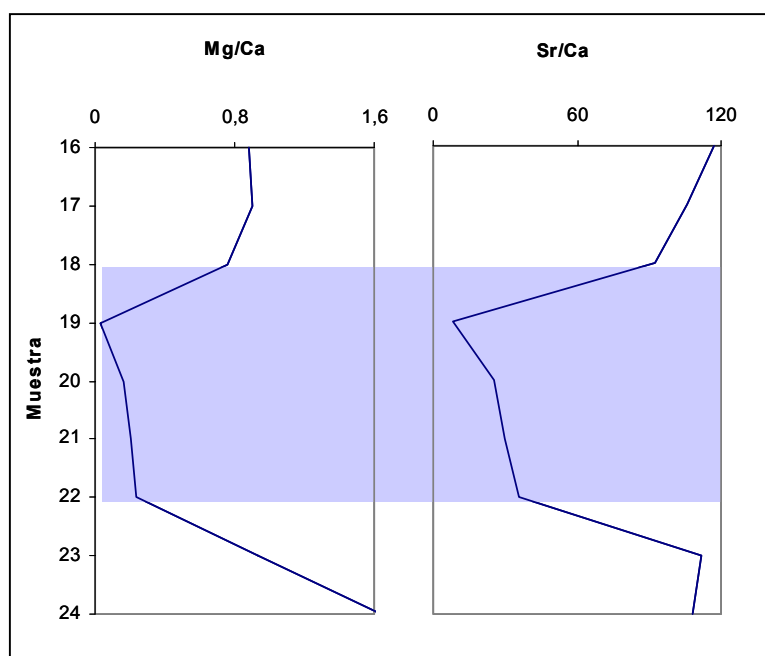


Fig. 5.15. Perfiles del pozo D con relaciones propuestas por GASSE *et al.* (1987, en BELLANCA *et al.* 1995) como indicadores de salinidad y abundancia biogénica para carbonatos. La zona en color morado representa la sub-unidad 3.2-D descrita.

5.5. ESTADÍSTICA MULTIVARIANTE

5.5.1. Análisis de agrupaciones

Los dendrogramas fueron contruidos utilizando el software MVSP 3.2 ® y mediante el método constreñido se mantuvo el orden estratigráfico de las muestras a través del método “el vecino más lejano” usando distancias euclideanas. Estos gráficos se generaron a partir de la combinación de 31 variables, siendo 10 de ellas correspondientes a los elementos mayoritarios, 7 elementos traza (excepto en los pozos B y D, donde se analizaron sólo 6, debido a que en estos no fue detectado Hg) y 14 variables radiométricas.

Debido a la coexistencia de los tres grupos de variables, cuyas unidades de medición son distintas entre sí (% para los componentes mayoritarios, ppm para los elementos traza y cps para las variables radiométricas) se hizo necesaria la estandarización de los datos.

Al realizar el análisis de agrupaciones aplicado a las variables estudiadas en las muestras del pozo A, se observan en el dendrograma (Fig. 5.16) tres grupos mayores que se denominaron GA-1, GA-2 y GA-3, cuyos límites se han marcado en color azul. Estos grupos mayores están determinados por la concentración de CaO en las muestras de la denominada sub-unidad 3.2-A, que la hace considerablemente diferente tanto de la litología infrayacente a ella, como de la suprayacente.

El dendrograma presenta ocho grupos de menor nivel que dividen al grupo mayor GA-1, siendo coincidentes los límites de algunos de estos con los límites establecidos para la unidades químico - radiométricas definidas anteriormente. Sin embargo existen algunos límites de los estos grupos dados por el dendrograma que no presentan correspondencia con los de las unidades y / o sub-unidades definidas, como lo son los límites entre los grupos GA-1.1 y GA-1.2 (ubicado en la muestra A142), GA-1.2 y GA-1.3 (muestra A130), GA-1.4 y GA-1.5 (muestra A108) y el límite entre los grupos GA-1.7 y GA-1.8 (muestra A30), que responden al incremento en las concentraciones de alguno de los elementos como SiO₂, MgO y CaO, según el caso.

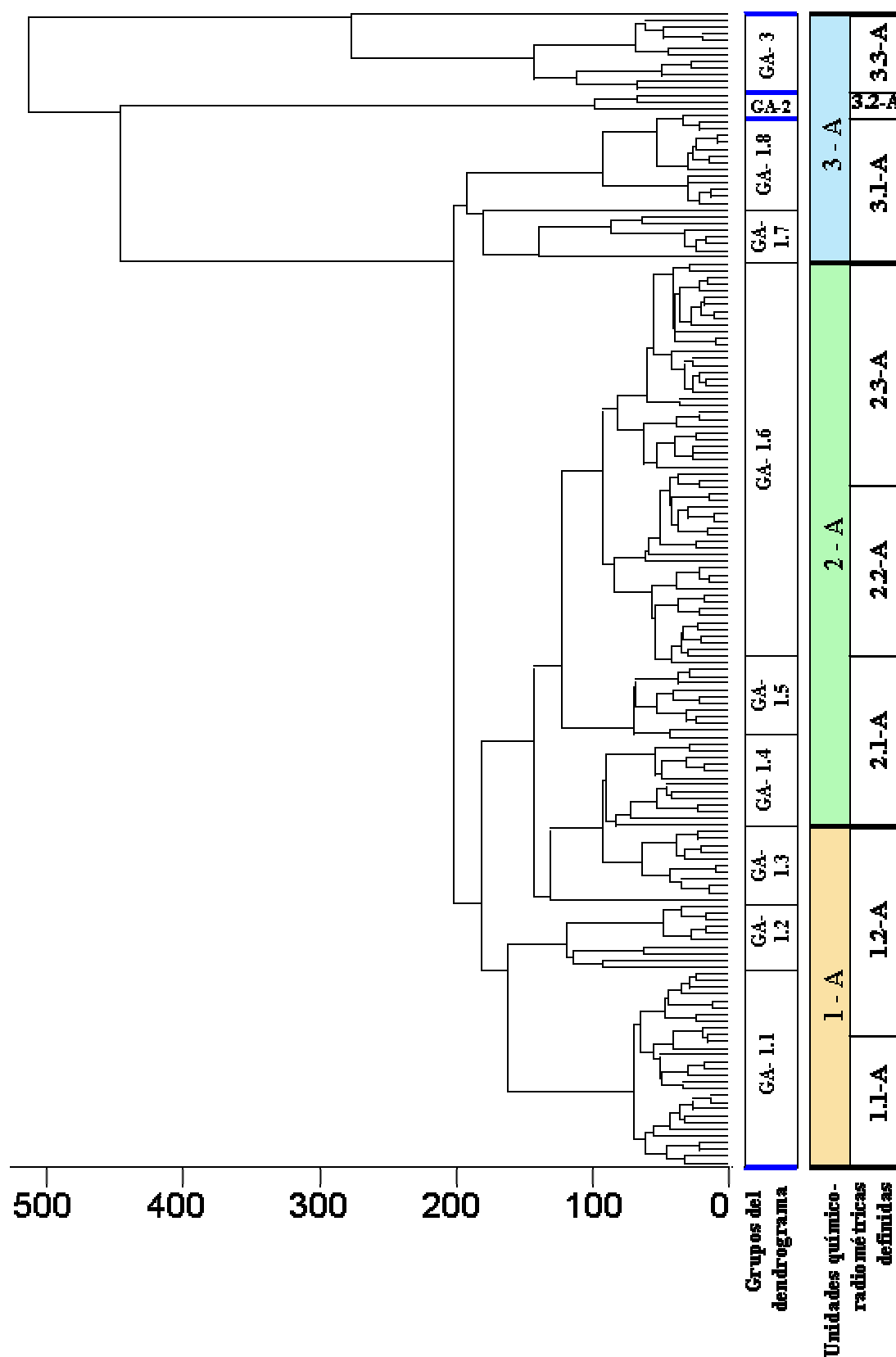


Fig. 5.16. Dendrograma estandarizado del pozo A, mostrando los grupos dados por este y las unidades químico - radiométricas definidas.

Al observar los valores dados por las muestras para cada una de las variables analizadas (apéndice I-A) y los límites de los grupos dados por el dendrograma, se podría decir que dichos grupos están definidos principalmente por cambios en las concentraciones de los componentes químicos mayoritarios, ya que no se observan en ellos cambios drásticos de las demás variables estudiadas y siendo en su mayoría coincidentes con picos mostrados por los perfiles de estos componentes. Debido a esto y a que algunas de las unidades químico-radiométricas han sido definidas de acuerdo a tendencias mostradas en los perfiles a partir de marcadores de segundo orden) y no únicamente a cambios en los valores absolutos de concentraciones de alguna (o algunas) de las variables analizadas, pudiendo o no ser marcadores de primer orden; se puede decir que los límites algunas de estas unidades pueden no presentar correspondencia con los límites de los grupos dados por el dendrograma, como lo son los límites entre las sub-unidades 1.1-A y 1.2-A, así como para 2.2-A y 2.3-A. Sin embargo los límites de dichas unidades químico-radiométricas coinciden con los de otros grupos de un nivel aún menor al de los grupos mencionados.

En el dendrograma del pozo B (Fig. 5.17) se observan nuevamente tres grupos mayores que se denominaron GB-1, GB-2 y GB-3 (límites en color azul), los cuales nuevamente están determinados por la concentración de CaO en la sub-unidad químico-radiométrica 3.1-B que incluye en el grupo GB-2 y lo extiende hacia el tope, por encima del límite superior de esta sub-unidad, debido a la presencia de mayores concentraciones de dicho componente. Para los efectos del análisis de agrupaciones, es la concentración de CaO en este grupo intermedio lo que lo hace considerablemente distinto a sus adyacentes.

Se presenta también para el dendrograma de este pozo una subdivisión del grupo mayor inferior, identificándose siete grupos de menor nivel. Se observan que los límites de algunos de estos grupos se encuentran ligeramente desfasados con respecto a los límites establecidos para las unidades y sub-unidades químico-radiométricas definidas, como lo es el límite entre los grupos GB-1.2 y GB 1.3 y el de las sub-unidades 2.1-B y 2.2-B, y entre los grupos GB-1.6 y GB-1.7 con el de las unidades 2-B y 3-B.

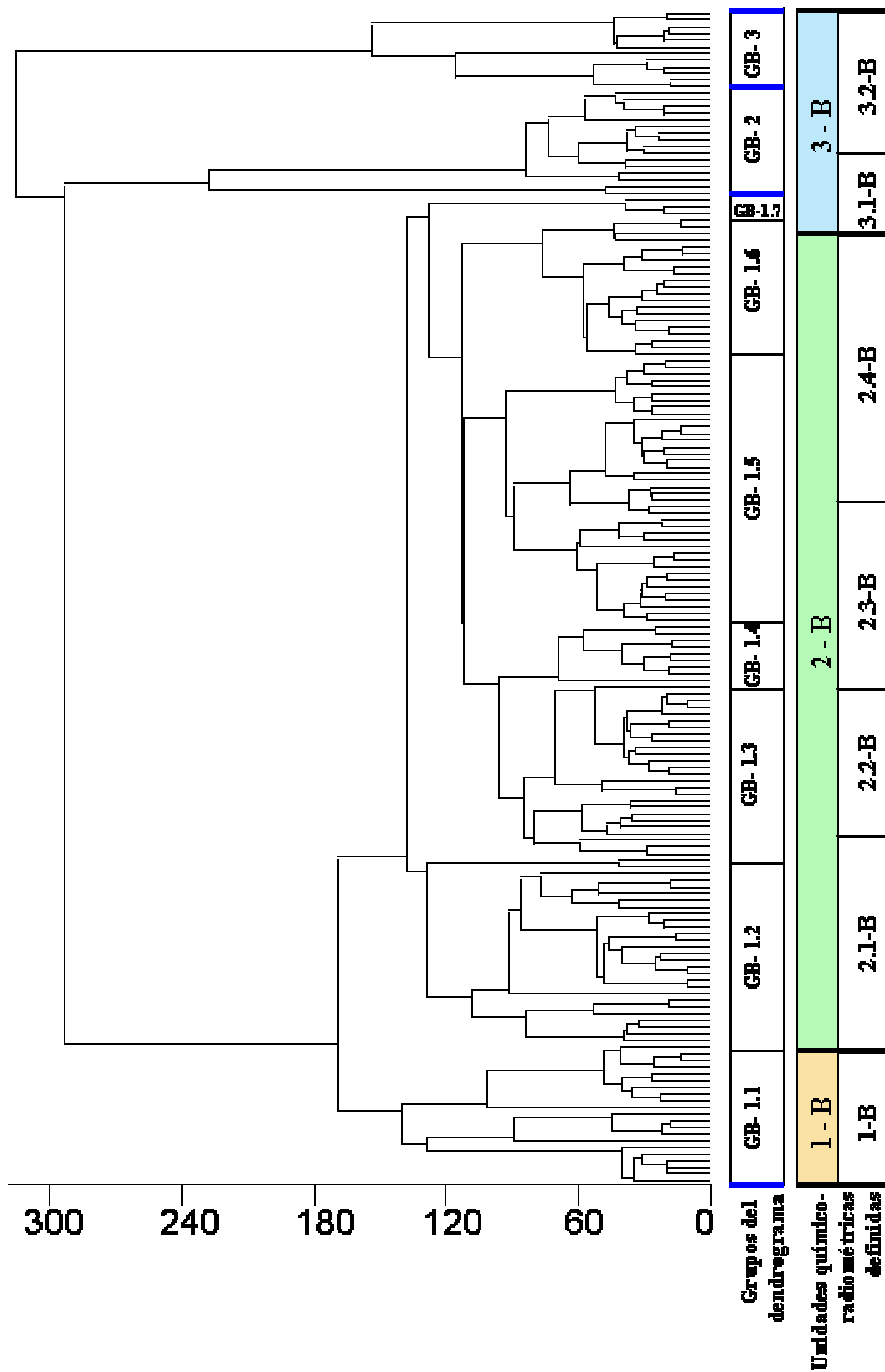


Fig. 5.17. Dendrograma estandarizado del pozo B, mostrando los grupos dados por este y las unidades químico - radiométricas definidas.

Al igual que en el pozo A, al observar los valores dados por las variables analizadas en las muestras de este pozo (apéndice I-B), los límites de los grupos dados por el dendrograma corresponden a cambios marcados en las concentraciones de algunos elementos mayoritarios principalmente y coincidiendo con picos en los perfiles de estos, por lo tanto, también para este pozo existen límites establecidos para las sub-unidades químico-radiométricas que no son coincidentes con los límites de los grupos de su dendrograma, por ser algunos de ellos determinados mediante tendencias mostradas en los perfiles o marcadores de segundo orden y no únicamente por cambios en las concentraciones de algún elemento. Sin embargo los límites de dichas unidades químico-radiométricas coinciden con los de otros grupos de un nivel aún menor.

Para el pozo C, el dendrograma (Fig. 5.18) define tres grupos mayores, donde el grupo intermedio denominado GC-2, está determinado en su límite superior (muestra D26) por una mayor concentración CaO y menor de SiO₂ y en su límite inferior (muestra D39) por mayor concentración de SiO₂ y menores del resto de los elementos mayoritarios analizados. Este grupo coincide con la zona que muestra los picos más marcados en los perfiles de los componentes mayoritarios, por lo que hace a este grupo diferente de sus adyacentes.

Debido a que los límites de las unidades químico-radiométricas no necesariamente están ubicados alrededor de los picos mostrados por los perfiles (pudiendo pasar por encima de ellos), existe un desfase entre algunos de estos y los de los grupos dados por el dendrograma, los cuales responden principalmente a las variaciones en las concentraciones y no a tendencias.

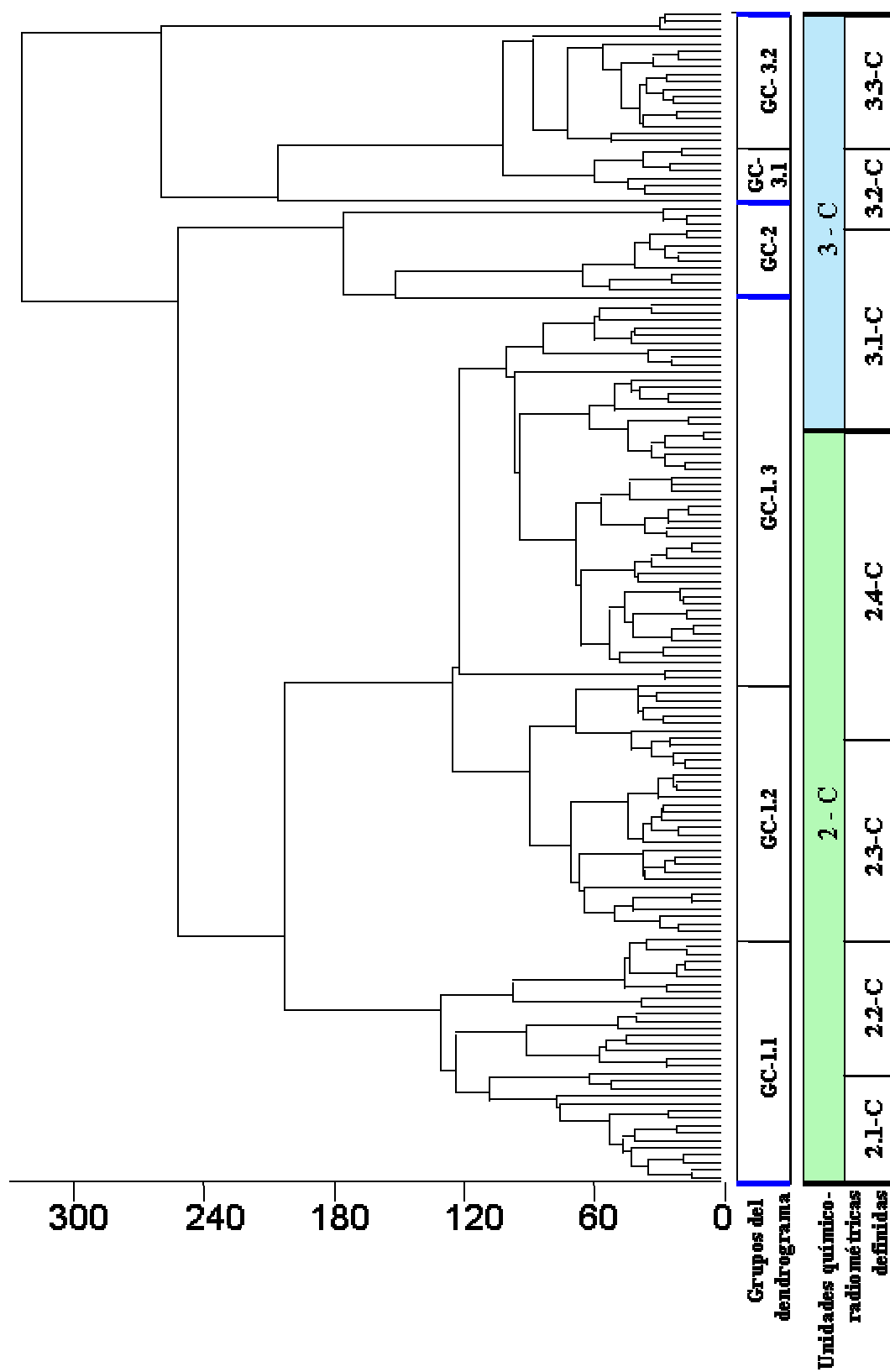


Fig. 5.18. Dendrograma estandarizado del pozo C, mostrando los grupos dados por este y las unidades químico - radiométricas definidas.

Al comparar los dendrogramas de los pozos anteriormente mencionados con el del pozo D (Fig. 5.19), se reconoce una diferencia notable entre ellos, dado que para este último el dendrograma define sólo dos grupos mayores, además de observarse una correspondencia mayor entre los límites de sus unidades químico-radiométricas definidas y los grupos del dendrograma, aunque algunos de estos muestran un desfase por las causas explicadas con anterioridad. Siendo únicamente el límite inferior de la sub-unidad químico-radiométrica 3.2-D no coincidente con los marcados por los grupos principales del dendrograma, aunque lo muestra desfasado (hacia la muestra D24) un grupo de nivel menor.

El grupo denominado GD-2 es coincidente con la sub-unidad 3.3-D y es separado de la litología infrayacente dadas las características distintivas descritas para esta sub-unidad.

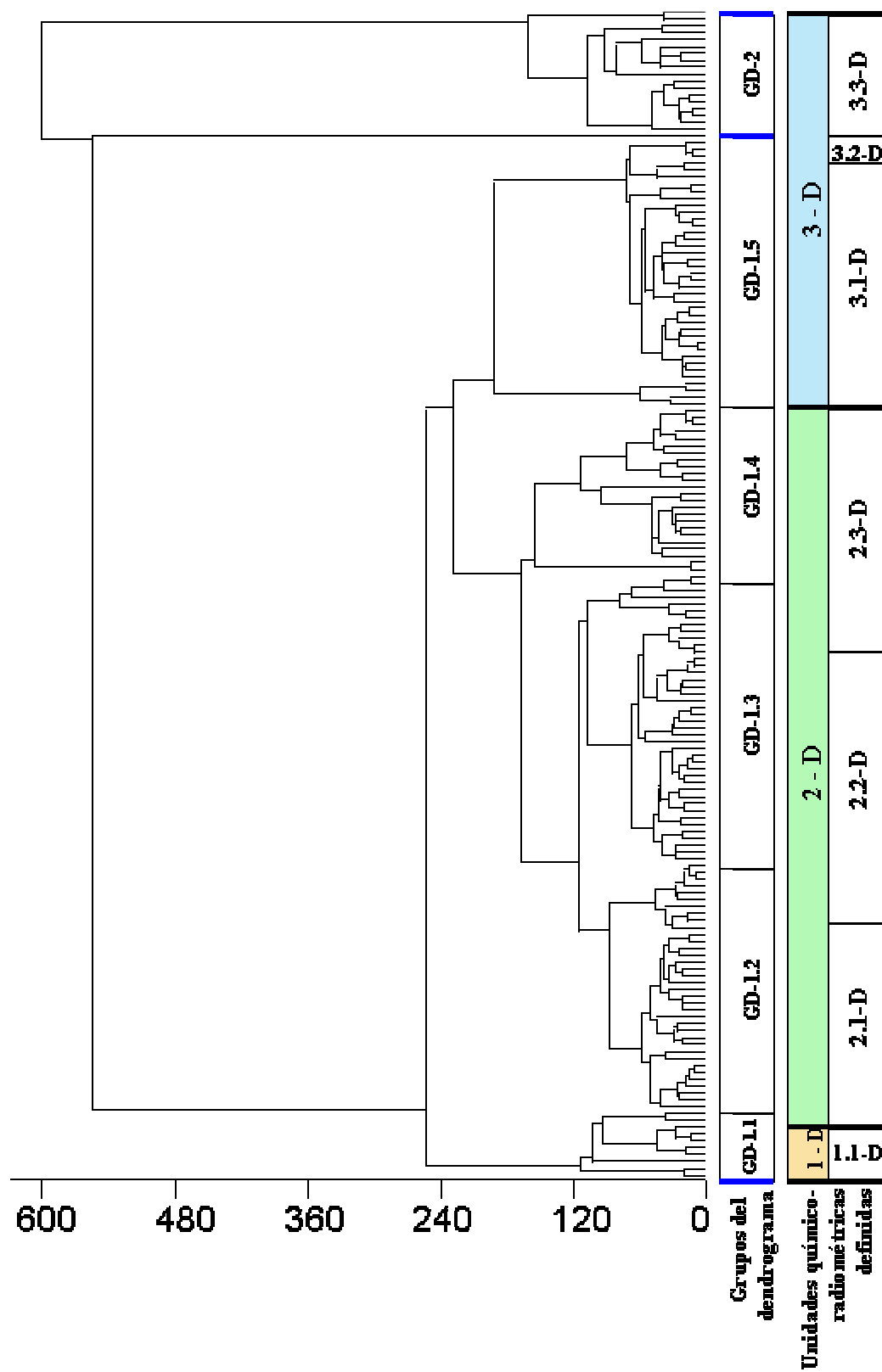


Fig. 5.19. Dendrograma estandarizado del pozo D, mostrando los grupos dados por este y las unidades químico - radiométricas definidas.

5.5.2. Funciones Discriminantes

Las funciones discriminantes son utilizadas para predecir a cuál grupo de una serie previamente definida, por ejemplo, tipos litológicos según la clasificación geoquímica de HERRON (1988), unidades informales, unidades químico - radiométricas, pertenece una nueva observación. Por medio de este trabajo se pretende determinar las ecuaciones de las funciones que permitirán discriminar una muestra desconocida dentro de las distintas categorías estudiadas.

5.5.2.1. Separación de tipos litológicos según la clasificación geoquímica de HERRON (1988)

En cada pozo se calculan las funciones que permitirán diferenciar los tipos litológicos dentro de la sección estratigráfica (lutitas, lutitas ricas en Fe, areniscas ricas en Fe y wackas). Las funciones discriminantes se generaron a partir de los datos obtenidos en cada variable estudiada (componentes químicos mayoritarios y traza y variables radiométricas) en cada una de las muestras analizadas.

Pozo A

Tanto para el pozo A, como para el D, se estudia un tipo litológico adicional dada la concentración de CaO en algunas de sus muestras (apéndices I-A y I-D), ya que según HERRON (1988) una muestra que presenta una concentración mayor o igual al 15% de CaO es considerada un carbonato.

Los gráficos que representan a las funciones discriminantes estudiadas son generados a partir de las dos primeras funciones discriminantes (FD1 y FD2). Los coeficientes de dichas funciones correspondientes a los sucesivos gráficos se presentan en el apéndice VI (tabla VI.1 para los correspondientes a las funciones discriminante de los tipos litológicos del pozo A).

La figura 5.20 es la representación gráfica de los tipos litológicos del pozo A, en cuyo lado izquierdo (Fig. 5.20-a) se observan los carbonatos muy bien diferenciados de los

demás tipos litológicos y que debido a la escala del gráfico no se aprecia con claridad la separación que presentan los demás tipos litológicos entre sí. Sin embargo en el lado derecho de esta figura (Fig. 5.20-b) se han excluido los carbonatos para poder observar dicha separación.

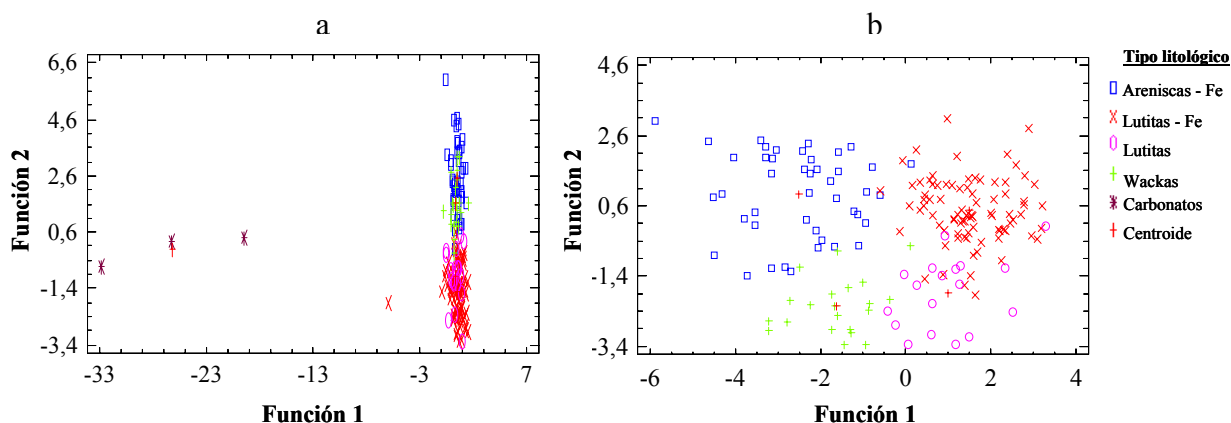


Fig. 5.20. Representación gráfica de las funciones discriminantes para los tipos litológicos clasificados según HERRON (1988) en el pozo A.

Tabla 5.15. Tabla de clasificación de los tipos litológicos según HERRON (1988) en el pozo A.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción				
		Areniscas - Fe	Lutitas - Fe	Lutitas	Wackas	Carbonato
Areniscas -Fe	44	39 (88,64%)	1 (2,27%)	0	4 (9,09%)	0
Lutitas - Fe	85	1 (1,18%)	76 (89,41%)	8 (9,41%)	0	0
Lutitas	18	0	1 (5,56%)	16 (88,89%)	1 (5,56%)	0
Wackas	21	1 (4,76%)	1 (4,76%)	1 (4,76%)	18 (85,71%)	0
Carbonatos	3	0	0	0	0	3 (100%)

Casos correctamente clasificados: 88,89%

Tanto en la tabla 5.15 como en la figura 5.20 se observa que los carbonatos están muy bien diferenciados de los demás tipos litológicos existentes en el pozo a según la clasificación geoquímica de HERRON (1988). Sin embargo se observa un solapamiento entre los demás tipos litológicos, los cuales pueden deberse a que algunas de las muestras se ubican justo en el límite entre ellos, como se observa en la figura 5.1-a, siendo las

areniscas y las lutitas ricas en Fe, las que presentan mayor solapamientos con las wackas y las lutitas respectivamente. Siendo las lutitas ricas en Fe las que presentan mayor porcentaje de casos correctamente clasificados o mayor separación. En general, se puede decir que la clasificación geoquímica de HERRON (1988) realizada a las muestras de este pozo es bastante confiable, lo cual es evidenciado por un 88,89% de casos correctamente clasificados.

Pozo B

Según la clasificación geoquímica de HERRON (1988) realizada a las muestras de este pozo, se consiguen en él los mismos tipos litológicos que en el pozo A, excepto las rocas carbonáticas debido a que la mayor concentración de CaO es menor al 15% (apéndice I-B).

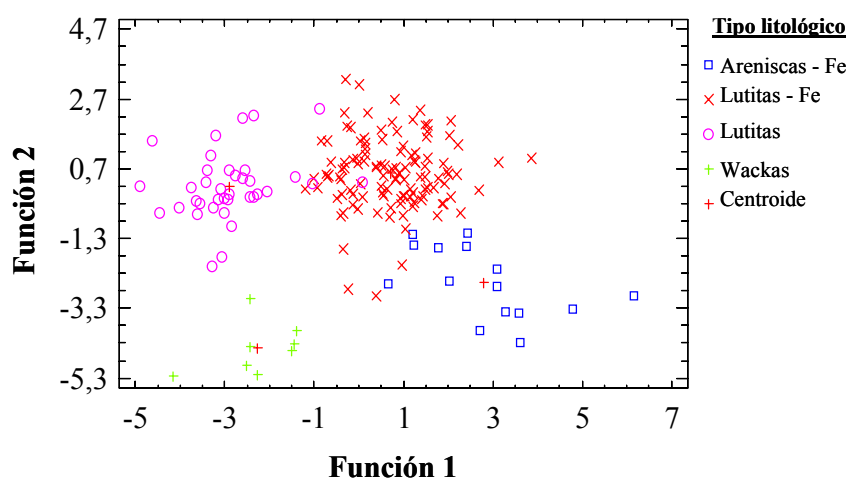


Fig. 5.21. Representación gráfica de las funciones discriminantes para los tipos litológicos clasificados según HERRON (1988) en el pozo B.

Tanto en la figura 5.21 como en la tabla 5.16 se observa al grupo de las wackas muy bien separado de los demás, evidenciado por su alto porcentaje de muestras correctamente clasificadas. Sin embargo existe un solapamiento muy ligero entre los otros grupos, debido a lo explicado en el pozo A, acerca de las muestras que se ubican en el límite entre ellos como se observa en la figura 5.1-a. A pesar de este solapamiento el porcentaje de muestras correctamente clasificadas (95,45%) en este pozo es bastante notable, lo cual hace altamente confiable a esta clasificación.

Tabla 5.16. Tabla de clasificación de los tipos litológicos según HERRON (1988) en el pozo B.

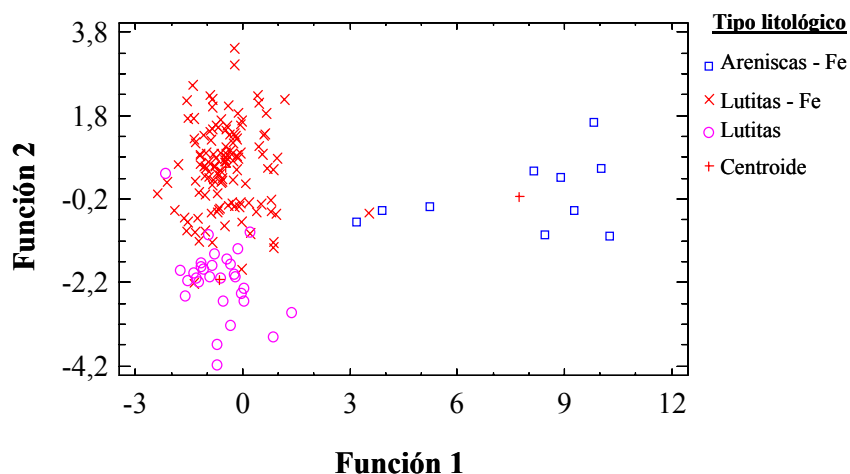
Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción			
		Areniscas - Fe	Lutitas - Fe	Lutitas	Wackas
Areniscas -Fe	15	13 (86,67%)	2 (13,33%)	0	0
Lutitas - Fe	116	2 (1,72%)	112 (96,55%)	1 (0,86%)	1 (0,86%)
Lutitas	37	0	2 (5,41%)	35 (94,59%)	0
Wackas	8	0	0	0	8 (100%)

Casos correctamente clasificados: 95,45%

Los coeficientes no estandarizados de las funciones discriminantes de los tipos litológicos del pozo B se presentan en la tabla VI.2 (apéndice VI).

Pozo C

Al igual que en el pozo B, en este pozo no existen muestras clasificadas según HERRON (1988) como carbonatos, debido a su bajo contenido de CaO (apéndice I-C). Además como se observa en la figura 5.1-b tampoco hay muestras clasificadas como wackas, por lo tanto este análisis en este pozo se reduce a tres grupos litológicos.

**Fig. 5.22.** Representación gráfica de las funciones discriminantes para los tipos litológicos clasificados según HERRON (1988) en el pozo C.

En la figura 5.1-b se observan un gran número de muestras ubicadas sobre el límite entre las lutitas y lutitas ricas en Fe y es precisamente entre estos dos grupos que existe un mayor

solapamiento, el cual se observa tanto en la tabla 5.17 como en la figura 5.22, dado a que el grupo de las areniscas ricas en Fe presenta una separación considerable y un solapamiento bastante ligero con el grupo de las lutitas ricas en Fe.

Tabla 5.17. Tabla de clasificación de los tipos litológicos según HERRON (1988) en el pozo C.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción		
		Areniscas - Fe	Lutitas - Fe	Lutitas
Areniscas -Fe	10	9 (90%)	1 (10%)	0
Lutitas - Fe	117	0	105 (89,74%)	12 (10,26%)
Lutitas	30	0	1 (3,33%)	29 (96,67%)

Casos correctamente clasificados: 91,08%

Aunque en la figura 5.22 pareciera que las areniscas – Fe fuese el grupo que presenta mayor separación, debido al escaso numero de muestras que se solapan, el mayor porcentaje de casos clasificados correctamente lo presentan las lutitas, como se observa en la tabla 5.15, además se puede considerar esta clasificación bastante confiable debido al 91,08% de casos correctamente clasificados.

Los coeficientes no estandarizados de las funciones discriminantes de los tipos litológicos del pozo C se presentan en la tabla VI.3 (apéndice VI).

Pozo D

Al igual que en el pozo A, la concentración de CaO en una muestra de este pozo se ha clasificado como un carbonato según HERRON (1988). Mientras que el grupo de lutitas es bastante reducido como se observa en el apéndice I-D, a pesar de que en la figura 5.1-b pareciera no existir una muestra de este grupo, aunque sí en el límite entre este y las lutitas ricas en Fe.

Se han construido dos gráficos de las funciones discriminantes de los tipos litológicos según HERRON (1988) en este pozo (Fig. 5.23), ya que debido a la separación del carbonato de los demás grupos no se observa la separación entre los demás.

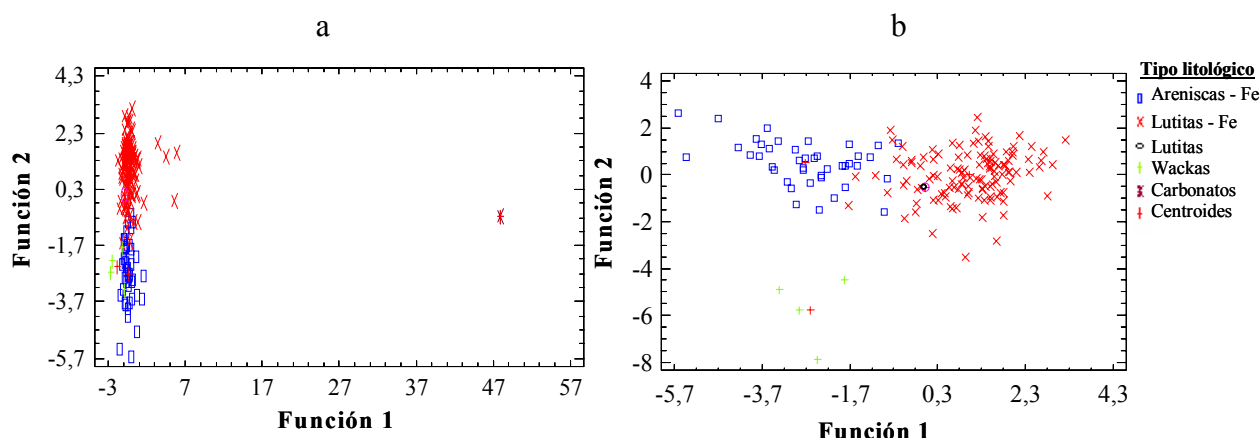


Fig. 5.23. Representación gráfica de las funciones discriminantes para los tipos litológicos clasificados según HERRON (1988) en el pozo D.

En la figura 5.23-a se observa a la única muestra clasificada como un carbonato muy separada de los demás grupos litológicos, mientras que del lado derecho (Fig. 5.23-b) se observa al grupo de las wackas muy separado de los demás y un solapamiento considerable entre los grupos de las areniscas y lutitas ricas en Fe, además de la única muestra clasificada como lutita que se encuentra en el interior de la nube de lutitas ricas en Fe, lo que hace pensar acerca de su posible pertenencia a ese grupo, aunque en la tabla de clasificación aparezca como un grupo completamente separado (tabla 5.18).

Tabla 5.18. Tabla de clasificación de los tipos litológicos según HERRON (1988) en el pozo D.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción				
		Areniscas - Fe	Lutitas - Fe	Lutitas	Wackas	Carbonato
Areniscas -Fe	42	38 (90,48%)	3 (7,14%)	1 (2,38%)	0	0
Lutitas - Fe	122	5 (4,10%)	117 (95,90%)	0	0	0
Lutitas	1	0	0	1 (100%)	0	0
Wackas	4	0	0	0	4 (100%)	0
Carbonatos	1	0	0	0	0	1 (100%)

Casos correctamente clasificados: 94,71%

En la tabla 5.18 se presentan algunas muestras clasificadas previamente como areniscas - Fe que han sido ubicadas dentro de los grupo de las lutitas – Fe y lutitas, esto debido a la existencia de muestras justo sobre los límites que separan estos grupos entre sí.

Los coeficientes no estandarizados de las funciones discriminantes de los tipos litológicos del pozo D se presentan en la tabla VI.4 (apéndice VI).

Todos los pozos

Al tomar el conjunto de todas las muestras existentes en este estudio para analizar los tipos litológicos según HERRON (1988) que hay en todos los pozos, a fin de establecer la función discriminantes para realizar dicha clasificación, se obtuvo la figura 5.24 y la tabla 5.19. Es importante destacar que para los efectos de este análisis fueron excluidos los carbonatos registrados en los pozos A y D, ya que se ha preferido estudiar la separación de los tipos litológicos que resultan comunes para todos los pozos.

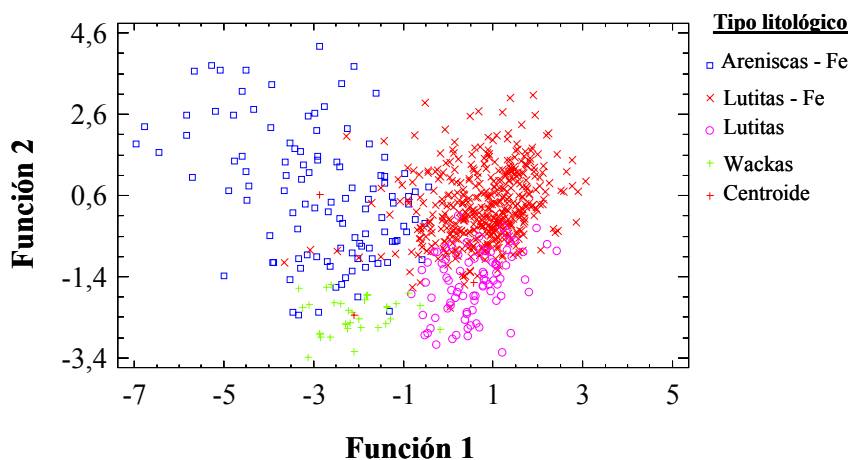


Fig. 5.24. Representación gráfica de los tipos litológicos según HERRON (1988) existentes en todos los pozos en estudio.

Se observa que existe un gran solapamiento entre los cuatro grupo litológicos analizados, siendo las lutitas y las wackas los que presentan mejor separación.

Este porcentaje de casos correctamente clasificados (84,03%) es considerablemente menor que si se estudian los tipos litológicos por pozo, por lo tanto si se requiere clasificar

una muestra de un pozo determinado se recomienda que esta se realice de acuerdo a las funciones que corresponden a dicho pozo.

Tabla 5.19. Tabla de clasificación de los tipos litológicos según HERRON (1988) existentes en todos los pozos en estudio.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción			
		Areniscas - Fe	Lutitas - Fe	Lutitas	Wackas
Areniscas -Fe	111	78 (70,27%)	9 (8,11%)	2 (1,80%)	22 (19,82%)
Lutitas - Fe	440	10 (2,27%)	378 (85,91%)	47 (10,68%)	5 (1,14%)
Lutitas	86	0	9 (10,47%)	76 (88,37%)	1 (1,16%)
Wackas	33	0	0	2 (6,06%)	31 (93,94%)

Casos correctamente clasificados: 84,03%

5.5.2.2. Separación de las unidades químico – radiométricas mayores definidas

En cada pozo han sido definidas y descritas anteriormente unidades mayores y la separación entre estas ha sido analizadas mediante el uso de las funciones discriminantes.

Pozo A

Se observa en la figura 5.25 que existe un solapamiento entre la unidad 2-A tanto con su unidad suprayacente como con la infrayacente, lo cual también es presentado por la tabla 5.20, además de no existir solapamiento entre las unidades del tope y la base entre sí.

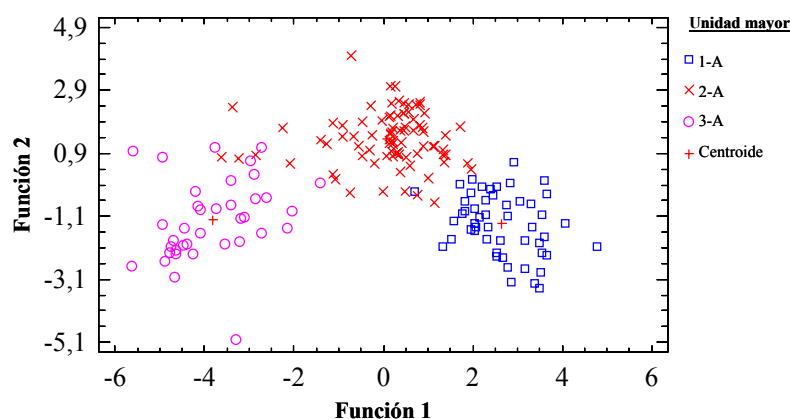


Fig. 5.25. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades químico – radiométricas mayores del pozo A.

Como se observa en la tabla 5.20, la unidad mayor 1-A es la que se presenta mejor separada en este pozo, mientras que el solapamiento existente entre las unidades 2-A y 3-A puede ser consecuencia de haberse establecido el límite entre ellas en el vértice de un pico (apéndice II-A), por lo que las muestras que conforman la parte inferior de ese pico podrían pertenecer a la unidad superior.

El alto porcentaje de casos correctamente clasificados (95,91%) indican la confiabilidad de la definición de estas unidades mayores.

Tabla 5.20. Tabla de clasificación de las unidades químico – radiométricas mayores del pozo A.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción		
		Unidad 1-A	Unidad 2-A	Unidad 3-A
Unidad 3-A	37	0	1 (2,70%)	36 (97,30%)
Unidad 2-A	83	2 (2,41%)	78 (93,98%)	3 (3,61%)
Unidad 1-A	51	50 (98,04%)	1 (1,96%)	0

Casos correctamente clasificados: 95,91%

Los coeficientes no estandarizados de las funciones discriminantes de las unidades mayores del pozo A se presentan en la tabla VI.5 (apéndice VI).

Pozo B

Al igual que en el pozo A, se observa en la figura 5.26 que en el pozo B existe un solapamiento de la unidad mayor intermedia 2-B con las otras dos sub-unidades. Lo cual también se observa en la tabla 5.21.

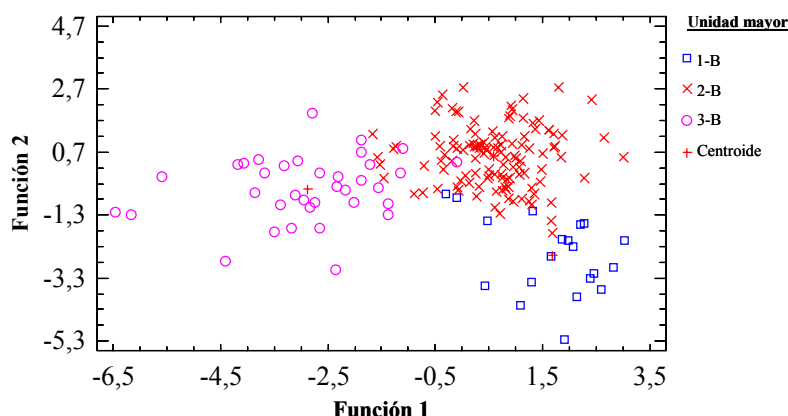


Fig. 5.26. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades químico – radiométricas mayores del pozo B.

En el apéndice II-B, se observa que la tendencia de las curvas de la mayoría de las variables estudiadas no cambia justamente en el límite que se ha establecido entre las unidades 2-B y 3-B, sino un poco más arriba, esto se debe a que se ha considerado importante definir bien el límite inferior de la sub-unidad 3.1-B de acuerdo al punto donde se incrementa el contenido de CaO en la secuencia, dada la importancia que tiene este nivel calcáreo no reportado hasta los momentos. Esta es la posible causa del porcentaje de muestras que parecieran no estar bien clasificadas mediante las funciones discriminantes.

Tabla 5.21. Tabla de clasificación de las unidades químico – radiométricas mayores del pozo B.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción		
		Unidad 1-B	Unidad 2-B	Unidad 3-B
Unidad 3-B	36	0	2 (5,56%)	34 (94,44%)
Unidad 2-B	120	5 (4,17%)	111 (92,50%)	4 (3,33%)
Unidad 1-B	20	18 (90%)	2 (10%)	0

Casos correctamente clasificados: 92,61%

Sin embargo un 92,61% de casos correctamente clasificados es una muestra de la confiabilidad de la definición de las unidades mayores de este pozo.

Los coeficientes no estandarizados de las funciones discriminantes de las unidades mayores del pozo B se presentan en la tabla VI.6 (apéndice VI).

Pozo C

En este pozo se han definido únicamente 2 unidades mayores, a las cuales no se les pueden construir funciones discriminantes debido a que, como lo mencionan NOGUERA & YÉPEZ (2002) en su trabajo, el n° máximo de funciones discriminantes que pueden derivarse es igual al número de grupos menos 1, o al número de variables discriminantes, el que sea menor de ambos. Por lo que la unidad mayor inferior (2-C) se ha dividido en dos zonas, una inferior y otra superior, compuestas por sus dos sub-unidades inferiores y superiores respectivamente, para obtener tres grupos y dos funciones discriminantes.

En la figura 5.27 se observa que en este pozo existe un solapamiento bastante marcado entre las dos unidades, solapándose incluso la zona inferior de la unidad 2-C con la unidad 3-C, lo cual es reflejado en la tabla de clasificación (tabla 5.22).

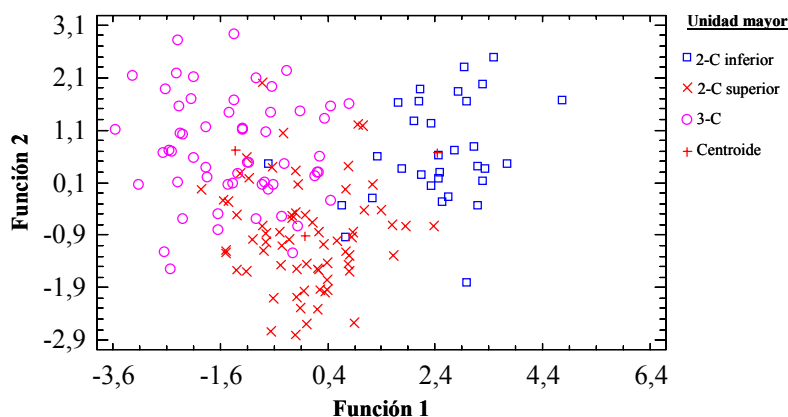


Fig. 5.27. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades químico - radiométricas mayores del pozo C.

Se puede observar en el apéndice II-C, que la zona superior unidad 2-C (2.3-C y 2.4-C) es bastante parecida a las sub-unidades 2.1-C y 3.3-C, tanto en los valores que presentan las distintas variables estudiadas como en la tendencia de las curvas. Lo cual también sucede en menor grado entre la sub-unidad 2.2-C y la mitad inferior de 3.1-C. Esta es la posible razón del considerable solapamiento de los grupos dados por las funciones discriminantes en este pozo y sus respectivos relativamente bajos porcentajes de casos correctamente clasificados (85,99%).

Tabla 5.22. Tabla de clasificación de las unidades químico – radiométricas mayores del pozo C.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción	
		Unidad 2-C	Unidad 3-C
Unidad 3-C	57	10 (17,54%)	47 (82,46%)
Unidad 2-C	100	88 (88%)	12 (12%)

Casos correctamente clasificados: 85,99%

Los coeficientes no estandarizados de las funciones discriminantes de las unidades mayores del pozo C se presentan en la tabla VI.7 (apéndice VI).

Pozo D

Al igual que en el pozo C, en la representación gráfica de las funciones discriminantes de las unidades químico – radiométricas mayores del pozo D (Fig. 5.28) se presenta solapamiento de los grupos involucrados en estas. Dichos solapamientos son reflejados en la tabla de clasificación de las funciones discriminantes realizadas para las unidades mayores de este pozo (tabla 5.23), sin embargo un 87,65% de los casos correctamente clasificados hace confiable a la definición de las unidades químico – radiométricas mayores de este pozo.

En el apéndice II-D se observa que los valores que se presentan en la sub-unidad 1.1-D son bastante parecidos a los correspondientes a las muestras adyacentes al límite entre las unidades 2-D y 3-D (que forman un pico muy marcado), lo cual es la posible causa del solapamiento de estas dos unidades con la unidad 1-D.

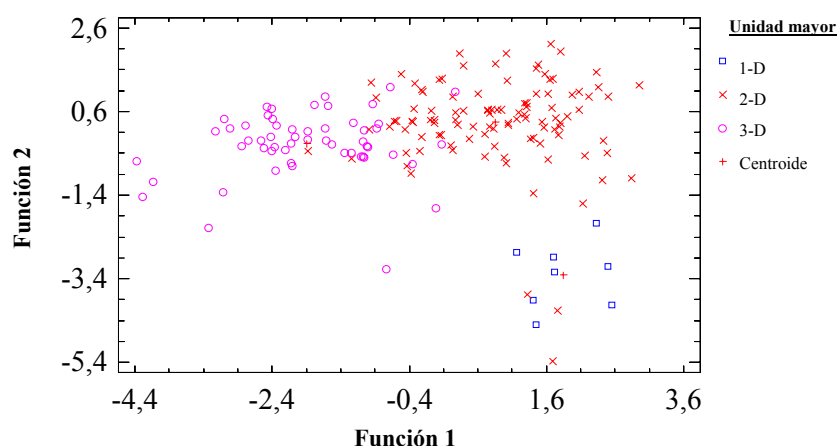


Fig. 5.28. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades químico - radiométricas mayores del pozo D.

Mientras que también se aprecia que la sub-unidad 2.3-D presenta similitud con la sub-unidad 3.1-D y 3.3-D en el rango de valores mostrado por la mayoría de las variables estudiadas y en la tendencia de las curvas, lo cual podría causar el solapamiento entre las unidades 2-D y 3-D.

Tabla 5.23. Tabla de clasificación de las unidades químico – radiométricas mayores del pozo D.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción		
		Unidad 1-D	Unidad 2-D	Unidad 3-D
Unidad 3-D	56	1 (1,79%)	5 (8,93%)	50 (89,29%)
Unidad 2-D	106	4 (3,77%)	91 (85,85%)	11 (10,38%)
Unidad 1-D	8	8 (100%)	0	0

Casos correctamente clasificados: 87,65%

Los coeficientes no estandarizados de las funciones discriminantes de las unidades mayores del pozo D se presentan en la tabla VI.8 (apéndice VI).

5.5.2.3. Separación de las sub-unidades químico – radiométricas definidas

En cada uno de los pozos estudiados se han observado divisiones de las unidades químico – radiométricas mayores, que se han denominado sub-unidades, las cuales se presentan en cantidades diferentes de pozo a pozo y que han sido definidas principalmente en base a las tendencias presentadas por las curvas de los perfiles de las variables analizadas. Se estudia la separación entre ellas mediante funciones discriminantes.

Pozo A

En el pozo A se han definido un total de ocho sub-unidades químico – radiométricas (Fig. 5.10), dos que conforman a la unidad mayor 1-A, tres en 2-A y tres en 3-A.

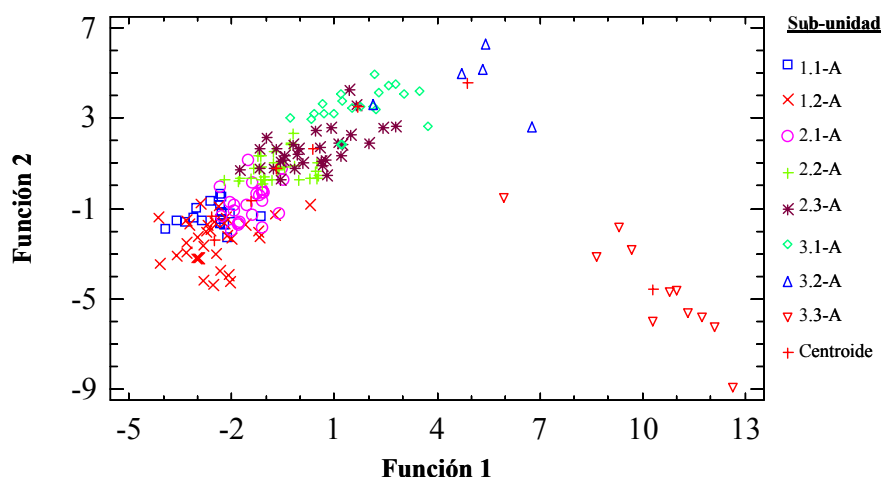


Fig. 5.29. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo A.

En la figura 5.29 se observa que la sub-unidad 3.3-A está bastante separada del resto de las sub-unidades, también un solapamiento ligero entre las otras sub-unidades de la unidad 3-A, además de solapamientos más pronunciados entre el resto de los grupos, principalmente entre los que son adyacentes, lo cual también se observa en la tabla 5.24.

Tabla 5.24. Tabla de clasificación de las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo A.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción							
		1.1-A	1.2-A	2.1-A	2.2-A	2.3-A	3.1-A	3.2-A	3.3-A
3.3-A	11	0	0	0	0	0	0	0	11 (100%)
3.2-A	5	0	0	0	0	0	1 (20%)	4 (80%)	0
3.1-A	21	0	0	0	0	1 (4,76%)	20 (95,24%)	0	0
2.3-A	31	0	0	0	5 (16,13%)	22 (70,97%)	4 (12,90%)	0	0
2.2-A	29	1 (3,45%)	0	3 (10,34%)	22 (75,86%)	3 (10,34%)	0	0	0
2.1-A	23	0	1 (4,35%)	19 (82,61%)	3 (13,04%)	0	0	0	0
1.2-A	33	5 (15,15%)	27 (81,82%)	0	1 (3,03%)	0	0	0	0
1.1-A	18	16 (88,89%)	2 (11,11%)	0	0	0	0	0	0

Casos correctamente clasificados: 82,46%

En la tabla 5.24 se observa que realmente los solapamientos principales se dan entre las sub-unidades que son adyacentes entre sí, los cuales posiblemente aparecen porque muchos de los límites entre estas sub-unidades están ubicados sobre los vértices de picos (apéndice II-A), siendo precisamente las muestras que conforman estos picos las que parecieran estar mal clasificadas. Mientras que entre las sub-unidades 1.1-A, 1.2-A y 2.2-A existe una gran similitud entre algunos de los perfiles, específicamente en el rango de valores que presentan sus muestras, por lo tanto esta tabla presenta algunos casos con discrepancias en la clasificación.

Las sub-unidades mejor separadas son las que conforman a la unidad 3-A, sin embargo, existe un 20% (representado por una muestra) de los casos de la sub-unidad 3.2-A que según las tablas de clasificación debería pertenecer a la sub-unidad 3.1-A, lo cual se debe a que el límite entre estas sub-unidades ha sido establecido a partir de la primera muestra que presenta incremento de CaO y no tomando en cuenta la tendencia de las curvas de las demás variables, debido a la importancia de definir y delimitar bien este nivel carbonático. A partir del 82,46% de los casos correctamente se podría considerar confiable a la definición de las sub-unidades de este pozo.

Los coeficientes no estandarizados de las funciones discriminantes de las sub-unidades del pozo A se presentan en la tabla VI.9 (apéndice VI).

Pozo B

En el pozo B se han definido siete sub-unidades químico – radiométricas (Fig. 5.12), pero debido a que no se ha dividido a la unidad mayor 1-B en sub-unidades, esta se considerará una sub-unidad para efectos de este análisis. El resto de las sub-unidades corresponden a cuatro que conforman a la unidad 2-B y dos de la unidad 3-B.

En la figura 5.30 se observa que gran parte de los grupos están mezclados entre sí, solapándose no únicamente con las sub-unidades adyacentes a ellos. En esta figura resalta el solapamiento entre las sub-unidades 1-B y 2.1-B pero bien separados del resto de los grupos, lo cual posiblemente es causado por el elevado contenido de MgO y Ni que ambas sub-unidades presentan (apéndice II-B) y que no se observa en ninguna otra sub-unidad.

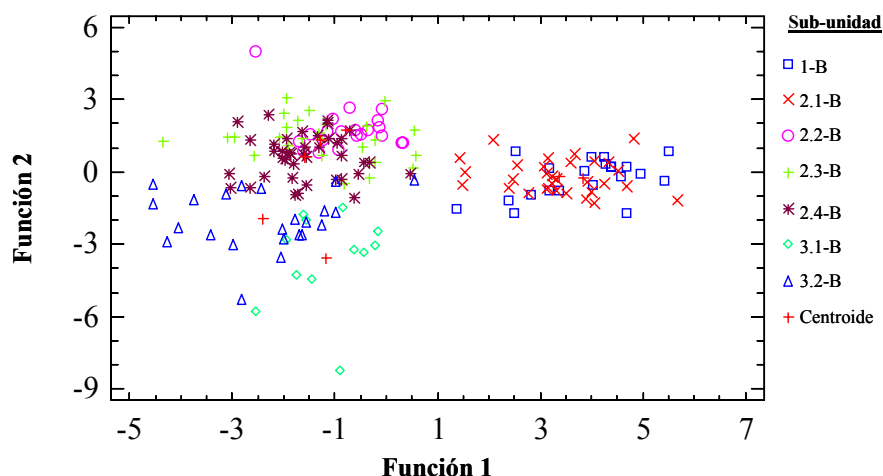


Fig. 5.30. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo B.

Este solapamiento es reflejado por un relativamente bajo porcentaje de casos correctamente clasificados en la tabla de clasificación (tabla 5.25).

Tabla 5.25. Tabla de clasificación de las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo B.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción						
		1-B	2.1-B	2.2-B	2.3-B	2.4-B	3.1-B	3.2-B
3.2-B	23	0	0	0	1 (4,35%)	2 (8,70%)	0	20 (86,96%)
3.1-B	12	0	0	0	0	2 (16,67%)	9 (75%)	1 (8,33%)
2.4-B	40	0	0	4 (10%)	10 (25%)	24 (60%)	0	2 (5%)
2.3-B	28	0	0	2 (7,14%)	23 (82,14%)	3 (10,71%)	0	0
2.2-B	21	0	0	18 (85,71%)	2 (9,52%)	1 (4,76%)	0	0
2.1-B	31	1 (3,23%)	30 (96,77%)	0	0	0	0	0
1-B	21	17 (80,95%)	4 (19,05%)	0	0	0	0	0

Casos correctamente clasificados: 80,11%

Se observa en la tabla 5.25 que los solapamientos se presentan principalmente entre grupos que son adyacentes entre sí, excepto a los existentes entre la sub-unidad 3.2-B y las sub-unidades 2.3-B y 2.4-B, los cuales posiblemente resultan de la similitud existente en los perfiles de las variables químicas principalmente (apéndice II-B), específicamente entre la zona inferior de la primera de estas sub-unidades (3.2-B) y las otras dos, las cuales son muy parecidas en cuanto al rango de concentraciones presentadas en la mayoría de los componentes analizados.

Un 80,11% de los casos correctamente clasificados, representa una separación no muy notable, la cual podría deberse a la existencia de algunas sub-unidades que presentan similitudes y que son separadas entre sí de acuerdo a su posición estratigráfica, como lo es el caso de las sub-unidades 3.2-B, 2.3-B y 2.4-B. La posible razón de esto es el amplio espesor de litologías lutáceas que componen este pozo (apéndice I-B).

Los coeficientes no estandarizados de las funciones discriminantes de las sub-unidades del pozo B se presentan en la tabla VI.10 (apéndice VI).

Pozo C

En este pozo se han definido siete sub-unidades, cuatro que conforman a la unidad 2-C y tres en 3-C.

En la figura 5.31 se observa que las sub-unidades 3.2-C y 3.3-C se encuentran muy bien separadas mientras que el resto de ellas presentan un solapamiento bastante notable, el cual no se da solo entre sub-unidades adyacentes.

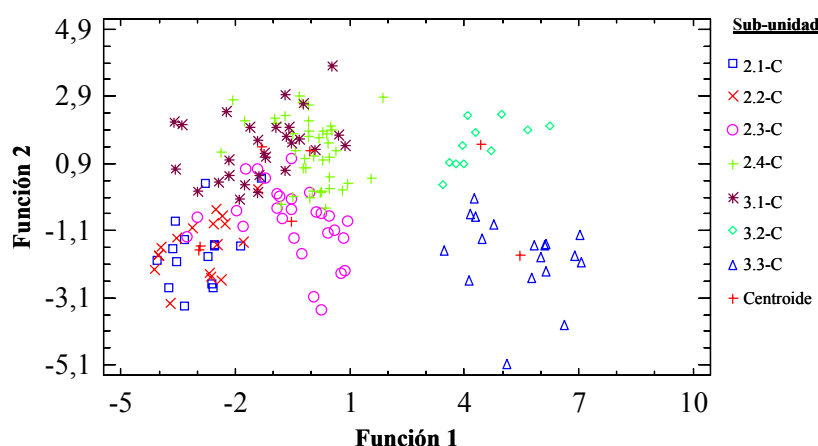


Fig. 5.31. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo C.

La tabla 5.26 refleja lo anteriormente mencionado acerca de la separación de las dos sub-unidades más superficiales (3.2-C y 3.3-C) del resto de ellas, pudiendo observarse también el gran solapamiento existente entre las demás sub-unidades. Lo cual es reflejado por un 83,44% de los casos correctamente clasificados únicamente.

Al observar el apéndice II-C, se aprecia que las sub-unidades 2.1-C, 2.2-C, 2.3-C y la mitad inferior de 3.1-C, se parecen mucho en los perfiles de los componentes mayoritarios principalmente. Lo mismo sucede entre las sub-unidades 2.2-C y la mitad superior de 3.1-C, que muestran un rango de concentraciones y curvas bastante parecidas, siendo este el posible motivo del solapamiento existente entre ellas.

Tabla 5.26. Tabla de clasificación de las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo C.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción						
		2.1-C	2.2-C	2.3-C	2.4-C	3.1-C	3.2-C	3.3-C
3.3-C	18	0	0	0	0	0	0	18 (100%)
3.2-C	11	0	0	0	0	0	11 (100%)	0
3.1-C	28	0	1 (3,57%)	0	2 (7,14%)	25 (89,29%)	0	0
2.4-C	40	0	0	3 (7,50%)	30 (82,14%)	7 (10,71%)	0	0
2.3-C	28	2 (7,14%)	1 (3,57%)	22 (78,57%)	1 (4,76%)	2 (9,52%)	0	0
2.2-C	17	4 (23,53%)	12 (70,59%)	0	0	1 (5,88%)	0	0
2.1-C	15	13 (86,67%)	1 (6,67%)	1 (6,67%)	0	0	0	0

Casos correctamente clasificados: 83,44%

El nivel calcáreo de este pozo, representado por la sub-unidad 3.2-C, se considera que está completamente diferenciado y separado del resto, debido a que el 100% de sus muestras están correctamente clasificadas.

Los coeficientes no estandarizados de las funciones discriminantes de las sub-unidades del pozo C se presentan en la tabla VI.11 (apéndice VI).

Pozo D

En el pozo D se han definido siete sub-unidades químico – radiométricas (Fig. 5.12), pero debido a que no se ha dividido a la unidad mayor 1-D en sub-unidades, esta se considerará una sub-unidad para efectos de este análisis. El resto de las sub-unidades corresponden a tres que conforman a la unidad 2-D y tres de la unidad 3-B.

En la figura 5.32-a se observa a la sub-unidad 3.2-D muy bien diferenciada del resto, sin embargo debido a la escala del gráfico no se aprecia bien el grado de solapamiento existente entre las demás sub-unidades, pero del lado derecho de esta figura (Fig. 5.32-b) se observa también a la sub-unidad 1-D bien separada de las demás.

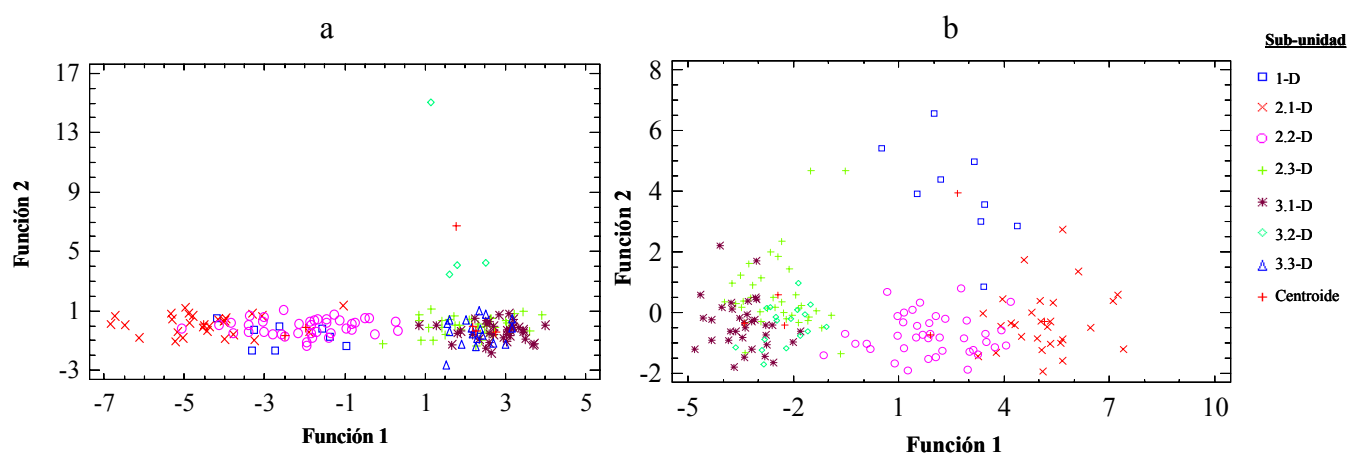


Fig. 5.32. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo D.

La buena separación de estas dos sub-unidades (1-D y 3.2-D) se puede comprobar con un 100% de casos correctamente clasificados de cada una de ellas en la tabla 5.27. A pesar de los solapamientos existentes entre las demás sub-unidades, el 86,47% de las muestras han sido correctamente clasificadas, lo que hace confiable a la definición de las sub-unidades en este pozo.

Tanto en la tabla 5.27 como en la figura 5.32-b se observa el solapamiento entre las sub-unidades 1-D, 2.3-D y 3.1-D lo cual se debe posiblemente a los valores dados por las muestras que actúan como límite entre 2.3-D y 3.1-D, que conforman un pico en los perfiles de la mayoría de los elementos químicos analizados (apéndice II-D), son bastante parecidos a los que se presentan en la sub-unidad 1-D. Mientras que el solapamiento que existe entre las sub-unidades 2.3-D, 3.1-D y 3.3-D se debe al rango de concentraciones que se presenta en la mayor parte de las dos primeras es similar al presentado a lo largo de 3.3-D.

El nivel calcáreo de este pozo, representado por la sub-unidad 3.2-D, se considera que está completamente diferenciado y separado del resto, debido a que el 100% de sus muestras están correctamente clasificadas.

Tabla 5.27. Tabla de clasificación de las sub-unidades químico – radiométricas definidas en el pozo D.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción						
		1-D	2.1-D	2.2-D	2.3-D	3.1-D	3.2-D	3.3-D
3.3-D	18	0	0	0	4 (22,22%)	3 (16,67%)	0	11 (61,11%)
3.2-D	4	0	0	0	0	0	4 (100%)	0
3.1-D	35	1 (2,86%)	0	0	4 (11,43%)	30 (85,71%)	0	0
2.3-D	37	1 (2,70%)	0	0	29 (78,38%)	2 (5,41%)	0	5 (13,51%)
2.2-D	40	0	1 (2,50%)	39 (97,50%)	0	0	0	0
2.1-D	28	1 (3,57%)	26 (92,86%)	1 (3,57%)	0	0	0	0
1-D	8	8 (100%)	0	0	0	0	0	0

Casos correctamente clasificados: 86,47%

Los coeficientes no estandarizados de las funciones discriminantes de las sub-unidades del pozo D se presentan en la tabla VI.12 (apéndice VI).

5.5.2.4. Correlación de las unidades químico – radiométricas mayores en los pozos estudiados

Debido a que para cada pozo estudiado se han definido unidades químico – radiométricas mayores, las cuales presentan tendencias generales muy parecidas en la mayor parte de los perfiles realizados (descritas en el punto 5.4. definición de unidades), se considera importante establecer si existe una correlación entre ellas, para lo cual se realizaron distintas pruebas que serán descritas a continuación.

Separación de los pozos estudiados en las unidades químico – radiométricas mayores

En un intento por correlacionar las unidades químico – radiométricas mayores definidas se consideró la posibilidad de que las unidades de una misma posición estratigráfica (inferior, intermedia y superior) de cada pozo podrían tener continuidad entre ellos, es decir, que las unidades 1-A, 1-B y 1-D podrían representar una sola unidad químico –

radiométrica (la inferior) presente en la zona de estudio, tomando en cuenta que no se descarta la existencia de otra unidad químico - radiométrica mayor por debajo de la muestra C157, que sería 1-C; mientras que las unidades 2-A, 2-B, 2-C y 2-D representarían a la unidad químico - radiométrica intermedia y por último las unidades 3-A, 3-B, 3-C y 3-D serían la unidad químico-radiométrica superior.

Es importante destacar que al estudiar la separación de los pozos dentro de lo que pudiese ser una sola unidad, mientras más bajo sea el porcentaje de casos correctamente clasificados más se parecerían los pozos en ella por presentar una escasa separación y evidenciaría que una correlación entre ellos es más factible.

Como se mencionó en el punto 3.5.1.2 estadística multivariante, según DAVIS (1973) el proceso de clasificación asociado al de discriminación, consiste en separar las muestras en grupos relativamente homogéneos y siendo distintos de otros grupos, resaltándose las máximas diferencias entre los diferentes grupos de muestras, por lo que se esperan en las siguientes pruebas que los pozos, que han sido establecidos como grupos diferentes, sean separados en vez de unidos.

Unidad inferior

Para el conjunto de las unidades mayores 1-A, 1-B y 1-D se construyeron funciones discriminantes generadas a partir de todas las variables estudiadas para analizar la separación de los pozos en ella. Así como las funciones discriminantes generadas por las variables químicas únicamente, debido a que al comparar los perfiles de los pozos en estudio, se observa que las similitudes más notables se presentan en los correspondientes a las variables químicas.

Tanto en la figura 5.33-a como en el lado izquierdo de la tabla 5.28 se observa que existe una separación muy buena de los pozos entre de la misma unidad inferior, evidenciado por el alto porcentaje de casos correctamente clasificados (100%). Lo que significa que con las funciones discriminantes correspondientes a todas las variables estudiadas en dicha unidad inferior los pozos son bastante diferentes o no parecen pertenecer a una sola unidad

químico – radiométrica. Sin embargo se aprecia que entre los pozos A y B existe una separación menor que la existente entre cada uno de ellos y el pozo D, la cual se hace menor al generar funciones discriminantes a partir de las variables químicas únicamente (Fig. 5.33-b), lo que significa que existen menos diferencias entre ellos al estudiarlos en base a estas.

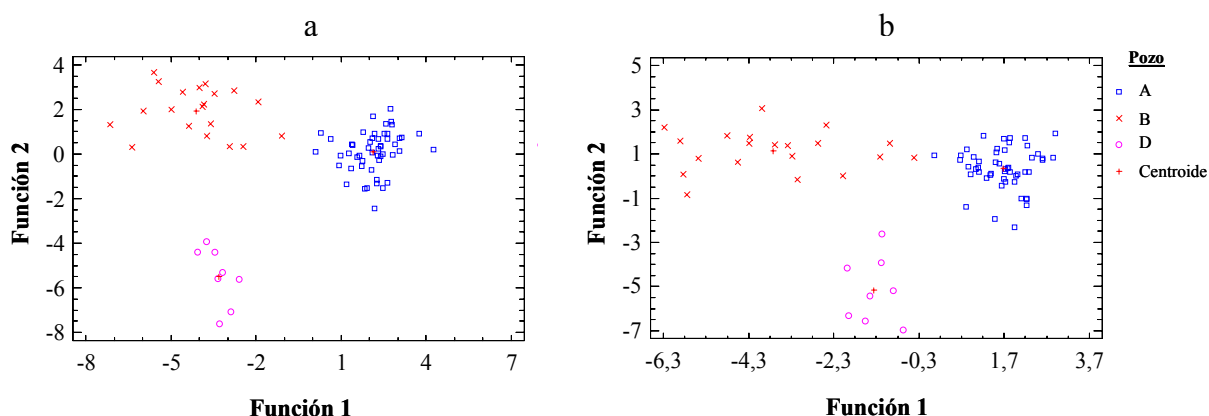


Fig. 5.33. Representación gráfica de las funciones discriminantes para los pozos en estudio en la unidad inferior (1-A + 1-B + 1-D) generadas por todas las variables analizadas (a) y por las variables químicas únicamente (b).

Mientras que la tabla de clasificación correspondiente a las variables químicas únicamente (lado derecho de la tabla 5.28), expresa que existe una menor separación de los pozos para la unidad inferior al analizarlos en base a ellas, evidenciados por un porcentaje ligeramente menor de casos correctamente clasificados (98,73%) que los correspondientes a todas las variables (100%), además de una separación menor entre los pozos, que se interpreta como mayor similitud entre ellos en esta unidad.

De acuerdo a estos resultados, en los cuales los pozos involucrados parecieran no presentar similitudes, no se puede considerar a la unidad inferior como continua entre estos pozos, lo cual posiblemente se deba a que el número de muestras de esta unidad es muy variable de pozo a pozo, siendo relativamente abundantes en el pozo A únicamente. Sin embargo, no se descarta la existencia de un espesor mayor de esta unidad por debajo de las muestras más profundas de cada pozo.

Tabla 5.28. Tabla de clasificación de los pozos en la unidad inferior (1-A + 1-B + 1-D) utilizando todas las variables analizadas (lado izquierdo) y las variables químicas únicamente (lado derecho).

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción (todas las variables)			Grupo de predicción (variables químicas)		
		Pozo A	Pozo B	Pozo D	Pozo A	Pozo B	Pozo D
Pozo A	51	51 (100%)	0	0	51 (100%)	0	0
Pozo B	20	0	20 (100%)	0	1 (5%)	19 (95%)	0
Pozo D	8	0	0	8 (100%)	0	0	8 (100%)

Casos correctamente
clasificados:

100%

98,73%

Unidad intermedia

Para el conjunto de las unidades mayores 2-A, 2-B, 2-C y 2-D se construyeron funciones discriminantes generadas a partir de todas las variables estudiadas y generadas a partir de las variables químicas únicamente, para analizar la separación de los pozos en ella, obteniéndose como resultado la figura 5.34 y la tabla 5.29.

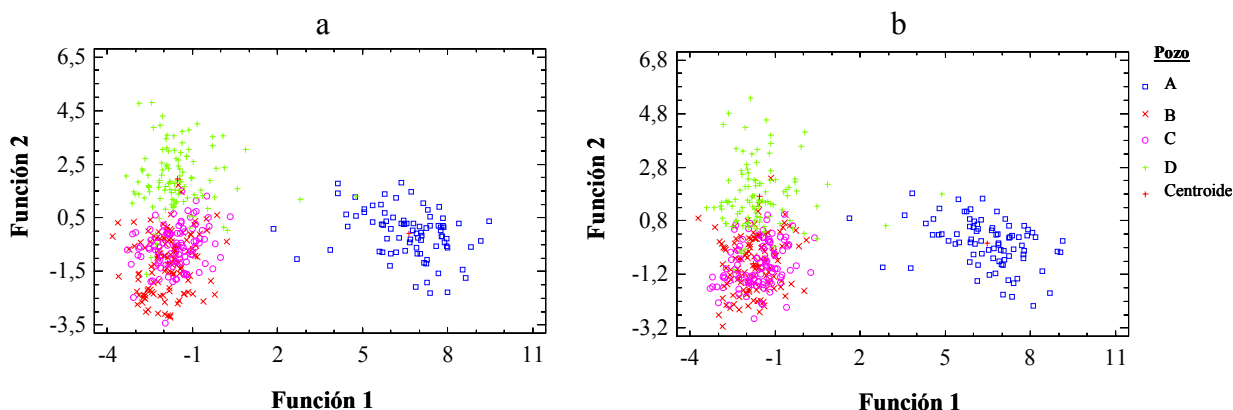


Fig. 5.34. Representación gráfica de las funciones discriminantes para los pozos en estudio en la unidad intermedia (2-A + 2-B + 2-C + 2-D) generadas por todas las variables analizadas (a) y por las variables químicas únicamente (b).

En la figura 5.34 se aprecia que el pozo A se encuentra separado de los demás pozos, mientras que entre ellos existe un solapamiento bien marcado, principalmente entre los pozos B y C.

A pesar de que en la figura 5.34 no se observa diferencias notables entre sus lados derecho e izquierdo, en la tabla 5.29 se puede apreciar que al utilizar las variables químicas únicamente se presenta un mayor solapamiento entre los pozos B y C y cercano a estos el pozo D.

Tabla 5.29. Tabla de clasificación de los pozos en la unidad intermedia (2-A + 2-B + 2-C + 2-D) utilizando todas las variables analizadas (lado izquierdo) y las variables químicas únicamente (lado derecho).

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción (todas las variables)				Grupo de predicción (variables químicas)			
		Pozo A	Pozo B	Pozo C	Pozo D	Pozo A	Pozo B	Pozo C	Pozo D
Pozo A	83	82 (98,80%)	0	0	1 (1,20%)	82 (98,80%)	0	0	1 (1,20%)
Pozo B	119	0	100 (84,03%)	14 (11,76%)	5 (4,20%)	0	94 (78,99%)	17 (14,29%)	8 (6,72%)
Pozo C	101	0	9 (8,91%)	87 (86,14%)	5 (4,95%)	0	11 (10,89%)	84 (83,17%)	6 (5,94%)
Pozo D	106	2 (1,89%)	6 (5,66%)	3 (2,83%)	95 (89,62%)	2 (1,89%)	4 (3,77%)	7 (6,60%)	93 (87,74%)

**Casos correctamente
clasificados:**

89%

86,31%

Esto indica que al utilizar las variables químicas únicamente, los pozos B, C y D están menos separados en esta unidad, lo que es igual a decir que son más parecidos entre sí, mientras que el pozo A está igual de separado que al utilizar todas las variables. Por lo tanto, se puede considerar que en la unidad intermedia existe una continuidad química entre los pozos B y C principalmente y en menor grado el pozo D.

Unidad superior

Para el conjunto de las unidades mayores 3-A, 3-B, 3-C y 3-D se construyeron funciones discriminantes generadas a partir de todas las variables estudiadas y generadas a partir de las variables químicas únicamente, para analizar la separación de los pozos en ella, obteniéndose como resultado la figura 5.35 y la tabla 5.30.

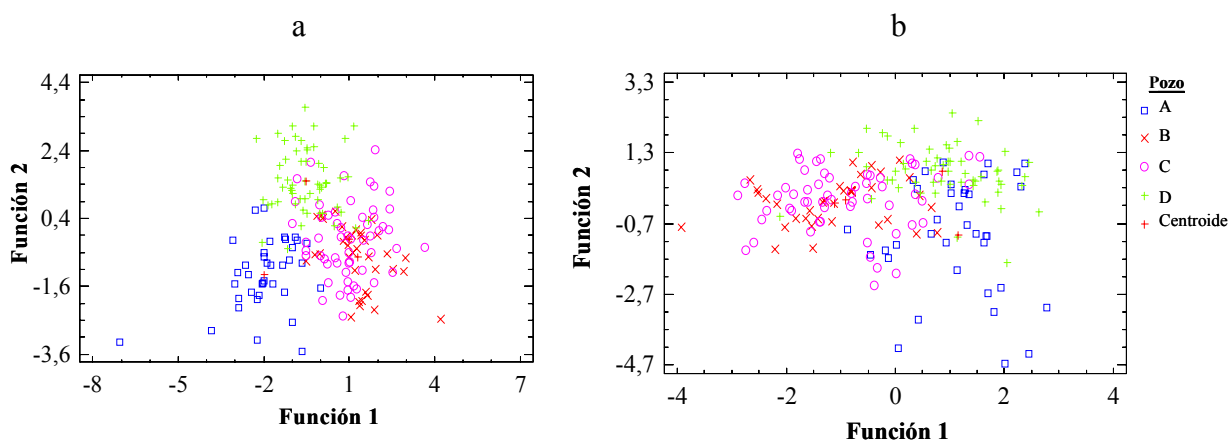


Fig. 5.35. Representación gráfica de las funciones discriminantes para los pozos en estudio en la unidad superior (3-A + 3-B + 3-C + 3-D) generadas por todas las variables analizadas (a) y por las variables químicas únicamente (b).

En la figura 5.35-a se observa que el solapamiento entre los pozos es bastante marcado, por lo tanto no hay una buena separación entre los pozos, lo que quiere decir que en esta unidad los pozos son bastante parecidos aún al tomar en cuenta todas las variables analizadas en este trabajo. Lo cual también es evidenciado por un porcentaje relativamente bajo (79,68%) de muestras correctamente clasificadas, como se observa del lado izquierdo de la tabla 5.30.

Sin embargo, al estudiar las funciones discriminantes generadas a partir de las variables químicas únicamente, se obtiene un mayor solapamiento de los pozos, que se evidencia en la figura 5.35-b, donde el rango al cual se reduce el eje X (función 1) es mucho menor que el de la figura 5.35-a, lo que se interpreta como una nube de muestras más compacta.

Tabla 5.30. Tabla de clasificación de los pozos en la unidad superior (3-A + 3-B + 3-C + 3-D) utilizando todas las variables analizadas (lado izquierdo) y las variables químicas únicamente (lado derecho).

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción (todas las variables)				Grupo de predicción (variables químicas)			
		Pozo A	Pozo B	Pozo C	Pozo D	Pozo A	Pozo B	Pozo C	Pozo D
Pozo A	37	34 (91,89%)	2 (5,41%)	0	1 (2,70%)	20 (54,05%)	2 (5,41%)	1 (2,70%)	14 (37,84%)
Pozo B	36	0	26 (72,22%)	8 (22,22%)	2 (5,56%)	3 (8,33%)	16 (44,44%)	15 (41,67%)	2 (5,52%)
Pozo C	57	0	11 (19,30%)	39 (68,42%)	7 (12,28%)	6 (10,53%)	14 (24,56%)	28 (49,12%)	9 (15,79%)
Pozo D	57	2 (3,51%)	1 (1,75%)	4 (7,02%)	50 (87,72%)	5 (8,77%)	2 (3,51%)	5 (5,77%)	45 (78,95%)

**Casos correctamente
clasificados:**

79,68%

58,29%

Ese mayor solapamiento también es reflejado en el lado derecho de la tabla 5.30, donde el porcentaje de casos correctamente clasificados desciende a un 58,29% al utilizar solamente las variables químicas. Lo que quiere decir que para esta unidad la separación entre los pozos es casi nula, siendo estos sumamente parecidos entre sí y presentando una continuidad química entre los pozos bastante notable.

En general, luego de haber estudiado la separación de los pozos para cada una de las unidades se podría decir que si se ha considerado que una separación pobre significa que los pozos presentan similitudes o que la correlación entre ellos es factible, se concluye que dicha correlación por unidad se encuentra favorecida al involucrar a las variables químicas únicamente, ya que al utilizar todas las variables analizadas se incrementa la separación entre los pozos y haciéndolos diferentes entre sí, lo cual es bastante lógico ya que al existir más variables hay mayores posibilidades de que se presenten más diferencias entre los grupos.

A partir de los resultados obtenidos se podría considerar la continuidad (principalmente química) entre los pozos en estudio de las dos unidades químico-radiométricas mayores más superficiales (intermedia y superior), haciéndose más marcada dicha continuidad en la unidad superior, mientras que hacia la base de la secuencia no se pueden considerar que exista una continuidad a partir el número de muestras analizado.

Separación de las unidades químico – radiométricas mayores comunes en todos los pozos

Luego de estudiar la separación de los pozos para una misma unidad químico-radiométrica mayor y de considerarse que existe la continuidad de cada una de esas unidades mayores definidas entre los pozos estudiados, surge la necesidad de estudiar la separación que existe entre las unidades mayores en todos los pozos.

Se obtiene como resultado la figura 5.36, que muestra a su lado izquierdo la separación de los grupos al utilizar todas las variables, mientras que su lado derecho (Fig. 5.36-b) presenta la separación de los mismos al utilizar las variables químicas únicamente.

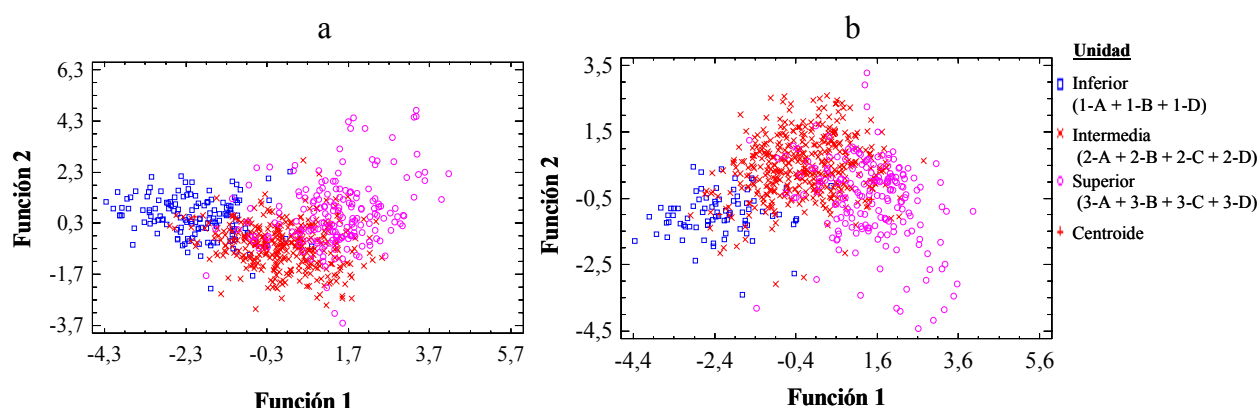


Fig. 5.36. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades mayores en todos los pozos en estudio generadas por todas las variables (a) y por las variables químicas únicamente (b).

Se observa en ambos lados de la figura 5.36 que la separación presentada a pesar de no ser muy buena, los solapamientos suceden principalmente entre las unidades que son adyacentes entre sí. Como se observa también en la tabla 5.31, donde un porcentaje muy bajo de las muestras de la unidad superior se solapan con la unidad inferior y viceversa.

Se puede notar que el porcentaje de casos correctamente clasificados no es muy alto al utilizar las variables químicas únicamente (76,08%) y este se incrementa muy ligeramente al utilizar el grupo completo de las variables analizadas (78,16%). Lo cual es bastante lógico, ya que al tener más variables se deben tener mayores diferencias entre las unidades definidas.

Tabla 5.31. Tabla de clasificación de las unidades mayores en todos los pozos utilizando todas las variables (lado izquierdo) y las variables químicas únicamente (lado derecho).

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción (todas las variables)			Grupo de predicción (variables químicas)		
		Unidad Inferior	Unidad Intermedia	Unidad Superior	Unidad Inferior	Unidad Intermedia	Unidad Superior
Unidad Superior	184	1 (0,54%)	36 (19,57%)	147 (79,89%)	1 (0,54%)	34 (18,48%)	149 (80,98%)
Unidad Intermedia	409	46 (11,25%)	307 (75,06%)	56 (13,69%)	52 (12,71%)	290 (70,90%)	67 (16,38%)
Unidad Inferior	80	72 (90%)	7 (8,75%)	1 (1,25%)	73 (91,25%)	7 (8,75%)	0

Casos correctamente
clasificados:

78,16 %

76,08%

En base a este porcentaje de casos correctamente clasificados no puede considerarse muy confiable la separación o diferenciación de estas unidades mayores.

A partir de estos resultados y de los arrojados por el estudio de la continuidad de cada unidad mayor en todos los pozos, se puede concluir que existen variaciones laterales dentro de una misma unidad mayor por lo que el estudio de su continuidad, así como el de su separación de las demás o “diferenciación vertical”, difícilmente estará sustentado mediante las funciones discriminantes generadas por los datos crudos.

Sin embargo, debido a que las tendencias de los perfiles químicos principalmente, presentan comportamientos que se repiten en cada pozo (principalmente en A, B y C), es bastante lógico pensar que existe una continuidad. Por lo tanto, para sustentar esta continuidad y diferenciar las unidades mayores entre sí, sería necesario construir funciones discriminantes a partir de datos “normalizados” que reflejen dichas tendencias.

Separación de las unidades informales en cada pozo

En el apéndice IV se presentan los registros gamma-ray de los pozos en estudio, a partir de los cuales se ubican los topes de las unidades informales que maneja la industria petrolera. Esta información ha sido suministrada por parte de la empresa Perez Companc de Venezuela para los fines de este trabajo de investigación.

Se construyeron funciones discriminantes para estudiar la separación de estas unidades informales de acuerdo a la composición química – radiométrica de cada pozo, a pesar que estas hayan sido definidas originalmente de acuerdo a su perfil gamma-ray.

Pozo A

En este se presentan siete unidades informales, las cuales son de base a tope: Misoa Inferior, Intervalo Punta Gorda, Intervalo Ramillete, Arenas F, E, D y C, que al ser analizadas de acuerdo a su composición química y radiométrica, se obtuvo la figura 5.37 y la tabla 5.32.

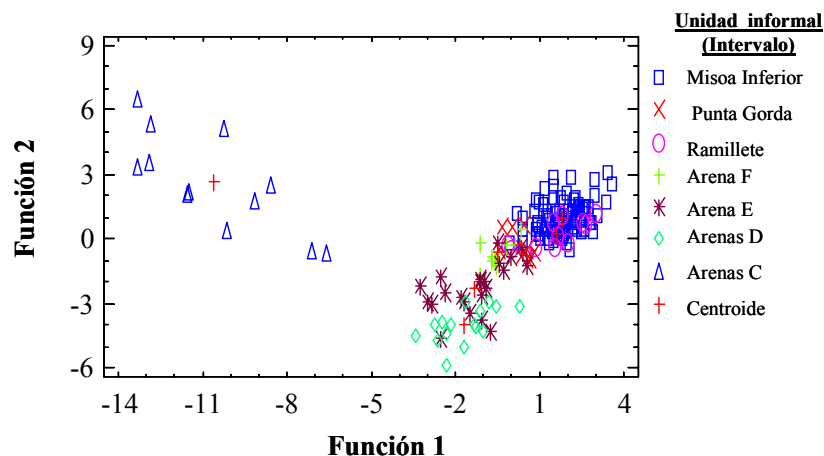


Fig. 5.37. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades informales del pozo A.

Se observa en la figura 5.37 que la Arena C presentan una separación muy buena del resto de las unidades informales, entre las cuales se presenta cierto solapamiento.

Es importante destacar que la sub-unidad 3.3-A que muestra una separación bastante buena en la figura 5.29, es coincidente con esta unidad informal superficial (Arena C), como se observa en el apéndice IV.

La tabla 5.32 refleja la buena separación de la Arena C, así como también para la Arena F, que está comprendida por secciones de las sub-unidades 3.1-A y 2.3-A, sugiriendo de esta manera que estas conformen una sola sub-unidad que estaría muy bien definida.

El 86,55% de los casos correctamente clasificados, sugiere que las unidades informales en este pozo están relativamente bien definidas.

Tabla 5.32. Tabla de clasificación de las unidades informales del pozo A.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción						
		Misoa Inferior	Punta Gorda	Ramillete	Arena F	Arena E	Arena D	Arena C
Arena C	12	0	0	0	0	0	0	12 (100%)
Arena D	16	0	0	0	0	2 (12,50%)	14 (87,50%)	0
Arena E	22	0	1 (4,55%)	0	3 (13,64%)	17 (77,27%)	1 (4,55%)	0
Arena F	9	0	0	0	9 (100%)	0	0	0
Ramillete	11	0	0	10 (90,91%)	1 (9,09%)	0	0	0
Punta Gorda	9	0	8 (88,89%)	0	1 (11,11%)	0	0	0
Misoa Inferior	92	78 (84,78%)	2 (2,17%)	8 (8,70%)	3 (3,26%)	1 (1,09%)	0	0

Casos correctamente clasificados: 86,55%

Pozo B

En el apéndice IV se observan ocho unidades informales presentes en este pozo: Misoa Inferior, Intervalo Punta Gorda, Intervalo Ramillete, Arenas F, E, D, C y B, cuyas funciones discriminantes están representadas por la figura 5.38 y la tabla 5.33.

En la figura 5.38 se observa la buena separación de la Arena B principalmente, aunque en la tabla 5.33 se presenta también al Intervalo Ramillete muy bien definido.

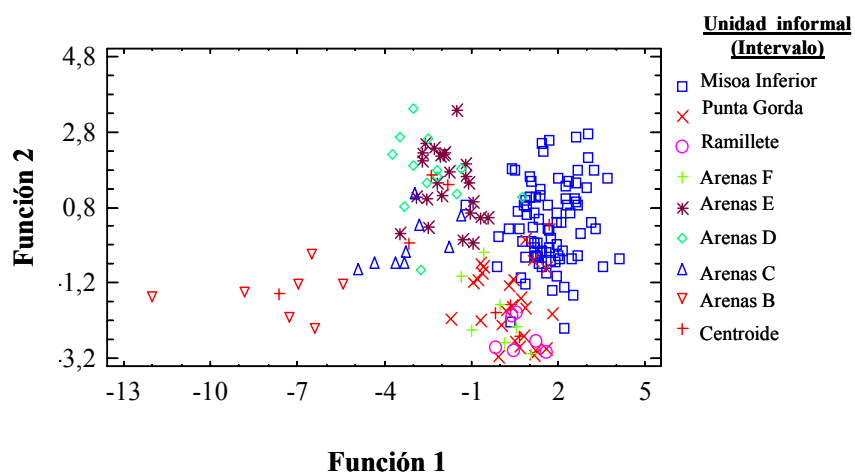


Fig. 5.38. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades informales del pozo B.

Tabla 5.33. Tabla de clasificación de las unidades informales del pozo B.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción							
		Misoa Inferior	Punta Gorda	Ramillete	Arena F	Arena E	Arena D	Arena C	Arena B
Arena B	7	0	0	0	0	0	0	0	7 (100%)
Arena C	9	0	1 (11,11%)	0	0	1 (11,11%)	0	7 (77,78%)	0
Arena D	13	1 (7,69%)	0	0	0	2 (15,38%)	10 (76,92%)	0	0
Arena E	24	0	0	0	0	23 (95,83%)	1 (4,17%)	0	0
Arena F	7	0	0	0	6 (85,71%)	1 (14,29%)	0	0	0
Ramillete	6	0	0	6 (100%)	0	0	0	0	0
Punta Gorda	25	1 (4%)	16 (64%)	4 (16%)	4 (16%)	0	0	0	0
Misoa Inferior	85	77 (90,59%)	3 (3,53%)	1 (1,18%)	2 (2,35%)	2 (2,35%)	0	0	0

Casos correctamente clasificados: 86,36%

Un 86,36% de los casos correctamente clasificados se podría interpretar como una buena definición de las unidades informales presentes en este pozo.

Pozo C

Como se puede observar en el apéndice IV, en este pozo han sido definidos por la industria petrolera ocho unidades informales, las cuales son las mismas que se presentan en el pozo B.

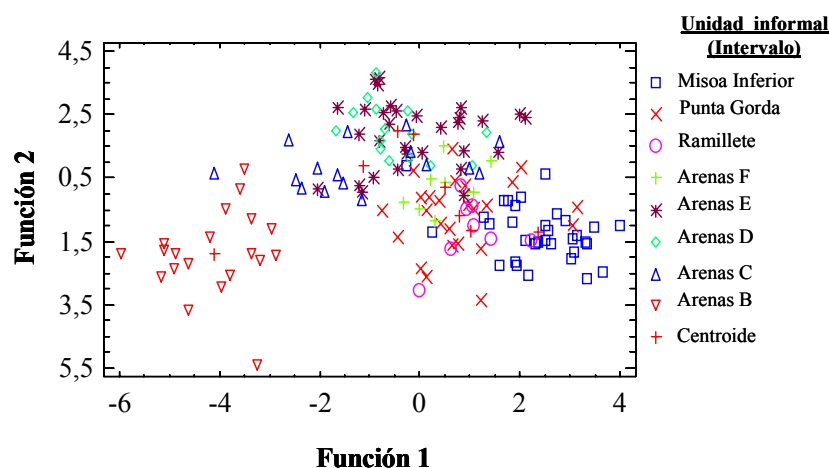


Fig. 5.39. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades informales del pozo C.

En la figura 5.39 se observa la buena separación que presenta la Arena B. Como se puede observar en la tabla 5.34, también se encuentra muy bien definido el Intervalo Ramillete, con un 100% de sus muestras bien clasificadas, lo cual es coincidente con lo observado de la tabla de clasificación del pozo B (tabla 5.33).

Se considera confiable la definición de las unidades informales de este pozo, a partir del 86,62% de las muestras correctamente clasificadas.

Tabla 5.34. Tabla de clasificación de las unidades informales del pozo C.

Grupo actual	Tamaño del grupo	Grupo de predicción							
		Misoa Inferior	Punta Gorda	Ramillete	Arena F	Arena E	Arena D	Arena C	Arena B
Arena B	20	0	0	0	0	0	0	0	20 (100%)
Arena C	16	0	1 (6,25%)	0	0	0	2 (12,50%)	13 (81,25%)	0
Arena D	15	0	0	0	0	3 (20%)	12 (80%)	0	0
Arena E	31	0	1 (3,23%)	0	1 (3,23%)	26 (83,87%)	3 (9,68%)	0	0
Arena F	9	0	1 (11,11%)	0	8 (88,89%)	0	0	0	0
Ramillete	8	0	0	8 (100%)	0	0	0	0	0
Punta Gorda	25	2 (8%)	20 (80%)	1 (4%)	0	0	1 (4%)	1 (4%)	0
Misoa Inferior	33	29 (87,88%)	3 (9,09%)	0	0	0	1 (3,03%)	0	0

Casos correctamente clasificados: 86,62%

Pozo D

Se observa en el apéndice IV que en este pozo se han definido más unidades informales que en el resto (nueve unidades), dada la existencia de la Arena A en el tope de la secuencia.

Como se observa en la figura 5.40 se presenta un gran solapamiento de los grupos, que incluso sucede entre unidades que no son adyacentes entre sí.

En la tabla 5.35 se puede observar el solapamiento entre las unidades de este pozo, ninguna de las cuales consigue el 100% de acierto, lo cual es reflejado por el bajo porcentaje general de muestras correctamente clasificadas (77,65%).

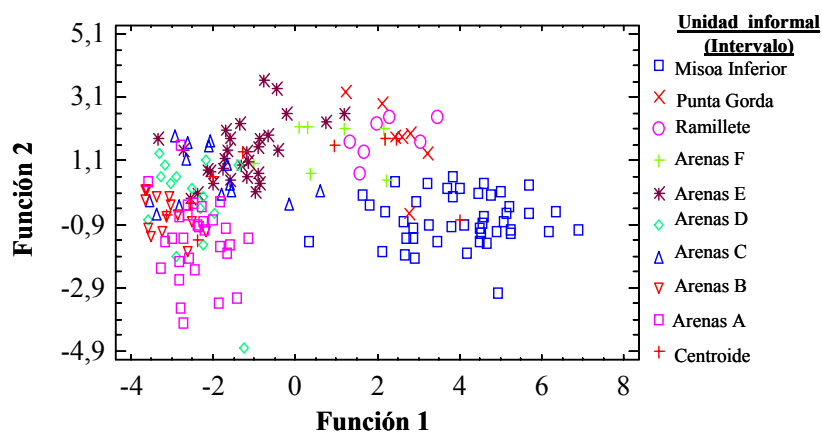


Fig. 5.40. Representación gráfica de las funciones discriminantes para las unidades informales del pozo D.

Tabla 5.35. Tabla de clasificación de las unidades informales del pozo D.

Grupo actual	Tamaño de grupo	Grupo de predicción								
		Misoea Inferior	Punta Gorda	Ramillete	Arena F	Arena E	Arena D	Arena C	Arena B	Arena A
Arena A	30	0	0	0	0	1 (3,33%)	3 (10%)	1 (3,33%)	5 (16,67%)	20 (66,67%)
Arena B	14	0	0	0	0	0	2 (14,29%)	2 (14,29%)	10 (71,43%)	0
Arena C	14	0	0	0	0	1 (7,14%)	0	12 (85,71%)	1 (7,14%)	0
Arena D	15	0	0	0	0	1 (6,67%)	12 (80%)	0	2 (13,33%)	0
Arena E	30	0	0	0	1 (3,33%)	24 (80%)	4 (13,33%)	0	1 (3,33%)	0
Arena F	8	0	0	3 (37,50%)	4 (50%)	1 (12,50%)	0	0	0	0
Ramillete	7	0	1 (14,29%)	4 (57,14%)	2 (28,57)	0	0	0	0	0
Punta Gorda	7	1 (14,29%)	5 (71,43%)	1 (14,29%)	0	0	0	0	0	0
Misoea Inferior	45	41 (91,11%)	2 (4,44%)	1 (2,22%)	0	0	0	0	0	1 (2,22%)

Casos correctamente clasificados: 77,65%

A partir de estos resultados se puede considerar que la definición de las unidades informales de este pozo no es confiable.

Las tablas 5.36 y 5.37 resumen las funciones discriminantes estudiadas, sus respectivos porcentajes de aciertos y las tablas detalladas.

Tabla 5.36. Tabla resumen de las funciones discriminantes estudiadas en cada pozo y sus respectivos porcentajes de casos correctamente clasificados.

Funciones discriminantes estudiadas	Casos correctamente clasificados				Tablas detalladas
	Pozo A	Pozo B	Pozo C	Pozo D	
Separación de tipos litológicos clasificados según HERRON (1988)	88,89%	95,45%	91,08%	94,71%	5.15 – 5.18
	Todos los pozos : 84,03%				5.19
Separación de unidades químico – radiométricas mayores definidas	95,91%	92,61%	85,99%	87,65%	5.20 – 5.23
Separación de sub-unidades químico – radiométricas definidas	82,46%	80,11%	83,44%	86,47%	5.24 – 5.27
Separación de las unidades informales	86,55%	86,36%	86,62%	77,65%	5.32 – 5.35

Tabla 5.37. Tabla resumen de las funciones discriminantes generadas para estudiar la correlación de los pozos y sus respectivos porcentajes de casos correctamente clasificados.

Funciones discriminantes estudiadas		Casos correctamente clasificados		Tablas detalladas
		Todas las variables	Variables químicas	
Separación de los pozos en las unidades químico – radiométricas mayores	Superior	79,68%	58,29%	5.30
	Intermedia	89%	86,31%	5.29
	Inferior	100%	98,73%	5.28
Separación de las unidades químico – radiométricas mayores comunes en todos los pozos		78,16 %	76,08%	5.31

6. SUMARIO Y CONCLUSIONES

- En la sección correspondiente a cada uno de los pozos estudiados, se han definido tres unidades químico – radiométricas mayores, excepto en el pozo C en el que se definieron sólo dos, las cuales están divididas en varias sub-unidades.

- Para la zona estudiada del campo La Concepción, correspondiente a la Formación Misoa, las unidades químico – radiométricas definidas están diferenciadas a partir de cambios en las tendencias de los perfiles químicos principalmente, es decir, que cada una se caracteriza por picos de distintas magnitudes y amplitudes a lo largo de la sección estratigráfica.

- El límite superior de la unidad inferior (1-A + 1-B + 1-D) se encuentra entre los 3.560' (1.085 m) y los 3.860' (1.177 m) de profundidad, mientras que el de la unidad intermedia (2-A + 2-B + 2-C + 2-D) se ubica entre los 1.060' (323 m) y los 1.280' (390 m), por encima del cual se halla la unidad superior (3-A + 3-B + 3-C + 3-D) que se extiende hasta superficie.

- Al estudiar la continuidad lateral de las unidades mayores, mediante funciones discriminantes generadas por los datos crudos, se obtiene que únicamente la unidad superior es continua entre todos los pozos estudiados, mientras que la unidad intermedia es continua entre los pozos B y C principalmente. La unidad inferior no puede considerarse continua a partir del número de muestras estudiado en ella.

- Existe un nivel calcáreo no reportado hasta los momentos para los miembros superiores de la Formación Misoa (Intervalo Misoa Superior), ubicado en los siguientes intervalos de profundidad:

Pozo A: 540' – 640'

Pozo C: 360' – 580'

Pozo B: 800' – 1.120'

Pozo D: 10' – 600'

- El nivel calcáreo antes mencionado es considerado una roca carbonática para los pozos A y D, de acuerdo a la clasificación geoquímica de HERRON (1988) y está bastante diferenciado de las demás sub-unidades definidas, de acuerdo a su porcentajes de muestras correctamente clasificadas (entre 75 y 100%).

- La continuidad lateral de una unidad químico – radiométrica está controlada por los procesos geológicos, el aporte y distribución de los elementos químicos dentro de la cuenca, los cuales cambian a lo largo del tiempo geológico, controlando que cierta unidad presente o no continuidad lateral en un intervalo de tiempo establecido.

- Al incluir las variables radiométricas la diferenciación vertical de las unidades mayores definidas en los pozos aumenta en un rango de 2% (tabla 5.31), aunque al mismo tiempo la continuidad lateral de dichas unidades entre los pozos se hace menos probable, por lo cual se considera que la continuidad es principalmente química (tablas 5.28, 5.29 y 5.30).

- Al inicio de este Trabajo Especial de Grado, no se tenía información de ningún estudio previo realizado en las muestras analizadas, ni en sus respectivos pozos (exceptuando los registros gamma-ray), habiéndose llegado a los resultados obtenidos únicamente a partir de los análisis realizados. De esta manera queda demostrada la utilidad y aplicabilidad de las técnicas empleadas, en el estudio de secciones estratigráficas en las que no existen otros tipos de estudio que sirvan como base geológica.

- El principal aporte de este Trabajo Especial de Grado radica en que se ha realizado un estudio bastante específico en una zona petrolífera de gran importancia en Venezuela, como lo es el campo La Concepción, en el cual no existían ningún tipo de datos de geoquímica inorgánica, permitiendo así establecer posibles relaciones entre los pozos estudiados y vincular las variaciones químicas a cambios en los procesos geológicos, y en general, conocer un poco más la geología de la zona.

CONCLUSIONES

- El comportamiento de algunas relaciones estudiadas, los análisis estadísticos y las tendencias de los perfiles, indican que a nivel general los pozos A, B y C son similares, mientras que el pozo D es notablemente diferente.
- Las unidades informales de los pozos A, B y C definidas previamente por las empresas operadoras del campo, se consideran bien diferenciadas a partir del 86% de casos correctamente clasificados en las funciones discriminantes. Mientras que en el pozo D, no se consideran bien definidas ya que los casos correctamente clasificados representan sólo un 78%. Esta discrepancia presentada por el pozo D se puede observar en el apéndice IV, donde el límite superior de la unidad intermedia se encuentra en una unidad informal diferente (Arena C) a la de los pozos A, B y C (Arena E).
- La unidad informal denominada Ramillete, se encuentra excelentemente definida y diferenciada de las demás unidades informales en los pozos B y C, presentando un 100% de sus muestras correctamente clasificadas. Este intervalo es uno de los más importantes en cuanto a la producción de hidrocarburos en el campo La Concepción.
- La secuencia estudiada es más arenosa hacia el norte y más lutítica hacia el sur, lo cual podría ser ocasionado por la migración de la cuenca *foreland* en el área durante el Eoceno o por la existencia de una fuente de aporte ubicada hacia el norte. Sin embargo, algunos autores sugieren para el Eoceno inferior a medio, la existencia de una fuente de sedimentos hacia el suroeste de la región, por lo que es necesario el estudio de pozos adyacentes que permitan establecer una ubicación más concreta de la fuente de aporte. Otra posible explicación es la existencia de una fuente de menor jerarquía que la planteada por dichos autores, ubicada hacia el norte.

7. RECOMENDACIONES

- Determinar la mineralogía de las muestras estudiadas mediante difracción de rayos x, que permitiría establecer mejor los límites entre las unidades químico – radiométricas definidas en este trabajo.
- Analizar las muestras correspondientes al nivel carbonático de los pozos A y D mediante petrografía microscópica, para clasificar sedimentológicamente estas rocas.
- Realizar un estudio sedimentológico o estratigráfico detallado en el pozo D que permita redefinir sus unidades informales.
- Realizar estudios similares en los pozos adyacentes a los analizados, para establecer de manera concreta la ubicación de la fuente de aporte del área.

8. BIBLIOGRAFÍA

- AI-GAILANI M. B. 1980 Geochemical identification of unconformities using semi-quantitative x-ray fluorescence analysis. *Journal of sedimentary petrology*, 50 (4): 1261-1270.
- ARIAS I. & L. CAMPOSANO 2002 *Pruebas para la calibración y optimización del sistema de espectrometría de rayos gamma Amptek MCA8000A "Pocket MCA"*. Informe, Inédito. Laboratorio de Difracción y Fluorescencia de Rayos X, UCV. Caracas, 26 p.
- AUDEMARD F. 1991 *Tectonics of western Venezuela* Ph.D. Tesis, Inédito. Rice University, Houston, Texas. 250 p.
- ÁVILA J. 1996 *Estudio del Eoceno – Cretáceo, campo La Concepción (Resumen Estudio Oxy)*. Informe técnico, Inédito. Maraven. 47 p.
- BARBEITO P., R. PILTELLI & A. EVANS 1985 Estudios estratigráficos del Eoceno del área de Mara – Maracaibo. Venezuela occidental, basado en interpretaciones paleontológicas y palinológicas. *Memoria del VI Congreso Geológico Venezolano*. Caracas. (1): 110 – 139.
- BELLANCA A., J. P. CALVO, R. NERI & E. MIRTO 1995 Lake Margin carbonate deposits of Las Minas Basin, Upper Miocene, southeastern Spain. A sedimentological and geochemical approach to the study of lacustrine and palustrine paleoenvironments. *Miner. Petrogr. Acta*, (38): 113-128.
- BOESI T., F. GALEA, G. ROJAS, M. LORENTE, I. DURÁN & M. VELÁSQUEZ 1988 Estudio estratigráfico del flanco norandino en el sector La Lobatera – El Vigía. *Memorias III Simposio Bolivariano de Exploración Petrolera de las cuencas Surandinas*. Sociedad Venezolana de Geólogos. Caracas. Memoria I: 1 – 41.

- BRICEÑO H. & A. CALLEJÓN 2000 Chemostratigraphic correlation of the source rock in the La Luna – K/T petroleum system in Southwestern Venezuela En: *Research conference. Paleogeography and hidrocarbon potential of the La Luna Formation and related cretaceous anoxic system*.SEPM, Caracas, Edición en CD.
- 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, Escuela de Geología, Minas y Geofísica, Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela. 47 p.
- CAMPOSANO L. & N. MARTÍNEZ 2000 *Caracterización química y radiométrica de secciones estratigráficas de las Formaciones Barco y Mirador, San Pedro del Río, estado Táchira*. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 245 p.
- CARDOZO, L. 1996 *Procedencia de las rocas clásticas de la Formación Misoa en la Costa Oriental del Lago de Maracaibo y su relación con la tectónica Caribe*. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV. 256 p.
- CIEN 1998 *Comité Interfilial de Estratigrafía y Nomenclatura. Léxico Estratigráfico Electrónico de Venezuela*. Pdvsa – Intevep. <http://www.pdv.com/lexico/>
- CONSORCIO PEREZ COMPANC S.A - WILLIAMS 1999 *Programa de exploración sísmica tridimensional La Concepción. Edo. Zulia*. Memoria descriptiva, Inédito. 47 p.
- CORADOSSI N., A. ROMAGNOLI, O. VASELLI & A. BERTINI 1991 Mineralogy and geochemistry at the Miocene/Pliocene boundary in the Maccarone stratigraphic sequence (Marche, central Italy). *Miner. Petrogr. Acta*, (34): 13-25.
- CORE LABORATORIES INC. 1980 *A geological and engineering review. La Concepcion field. West Maracaibo Lake. Zulia, Venezuela*. Informe interno, Inédito. 132 p.

- CROW E., F. DAVIS & T. MAXFIELD 1960 *Statistics Manual*. Dover Publications, Inc. New York. USA. 288p.
- DAVIS J. 1973 *Statistics and Data Análisis in Geology*. New York, Wiley and Sons, 550 p.
- DIXON W. 1957 *Introducción al análisis estadístico*. McGraw – Hill, ediciones Castillo, Madrid, 489p.
- EGEP CONSULTORES 1988 *Estudio integrado del Eoceno campo La Concepción*. Informe técnico, Inédito. Maraven. 4 tomos, 1132 p.
- EHRENBERG S. & T. SVANA 2001 Use of spectral gamma-ray signature to interpret stratigraphic surfaces in carbonate strata: An example from the finnmark carbonate platform (Carboniferous – Permian), Barents Sea. *AAPG Bulletin*, 85(2): 295-308.
- ERLICH R., S. PALMER & M. LORENTE. 2000 Geochemical characterization of oceanographic and climate changes recordered in upper Albian to lower Maastrichtian strata, western Venezuela. En: *Research conference. Paleogeography and hidrocarbon potential of the La Luna Formation and related cretaceous anoxic system*. SEPM, Caracas, Edición en CD.
- ESTÉVEZ I. 2000 *Estudio quimioestratigráfico del Terciario temprano – medio y límite Cretácico – Terciario del occidente venezolano*. Trabajo especial de Grado, Inédito. Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UCV.
- FRALICK P. & KRONBERG 1997 Geochemical discrimination of clastic sedimentary rock sources. *Sedimentary Geology*, 113: 111-124.
- GONZÁLEZ DE JUANA C., J. ITURRALDE DE & X. PICARD 1980 *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Caracas, Ed. Foninves, 2 tomos. 1021p.

- GONZÁLEZ L. & G. SÁNCHEZ 2001 *Caracterización geoquímica y radiométricas de dos secciones estratigráficas de la Formación La Luna, Edo. Táchira*. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 230 p.
- HAAS M. & R. HUBMAN 1937 Notes on the stratigraphy of the Bolivar coastal field, Maracaibo basin, Venezuela. *Boletín de Geología y Minas (Venezuela)*. 1: (2 – 4): 113 – 156.
- HARBAUGH J. & MERRIAM 1968 *Computer applications in stratigraphic analysis*. John Wiley and Sons Inc. New York/ London/Sydney, 282 p.
- HERRON M. 1988 Geochemical Classification of Terrigenous Sands and Shales from core or Log Data. *Journal of Sedimentary Petrology*, 58(5): 820-829.
- HILL P. 1990 Vertical distribution of elements in Deposit No. 1, Hat Creek, British Columbia: a preliminary study. *International Journal of Coal Geology*, (15): 77-111.
- HOWARD B. & CHRISTENSEN J. 1983. *Estadística paso a paso*. 1ra. Edición. Ed. Trillas, México, 678 p.
- IRINO T. & T. F. PEDERSEN 2000 Geochemical character of glacial to interglacial sediments at site 1017, Southern Californian Margin: Minor and Trace elements. En: *LYLE M., KOIZUMI L. & MOORE T. C. JR., Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, (167) : 263-271.
- JORGENSEN N. 1986 Chemostratigraphy of Upper Cretaceous chalk in the Danish subbasin. *AAPG Bulletin*. 70 (3): 309-317.
- KENDALL 1980 *Multivariate analysis*. Second edition, Ed. Charles Griffin & Company LTD, 210 p.

- LEÓN A. 1986 *Campo La Concepción. Revisión geológica del Eoceno (La Concepción Norte)*. Informe técnico, Inédito. Maraven. 48 p.
- LO MÓNACO, S. 2000. *Guías de Principios de Geoquímica*. Inédito. Instituto de Ciencias de la Tierra, Internet. <http://www.gea.ciens.ucv.ve/~slomonac>
- LUGO J. 1991 *Cretaceous to Neogene tectonic control on sedimentation: Maracaibo basin, Venezuela*. Ph. D. Tesis, Inédito. University of Austin, Texas. 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*. AAPG Memoir 62, 725 p.
- MARTÍNEZ A. 2001 *Identificación y Caracterización de Quimiofacies de la Formación Barco en la localidad de San Pedro del Río, estado Táchira*. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UCV, 139 p.
- MASON B. & C. MOORE 1958. *Principles of Geochemistry*. New York, John Wiley and Sons, 310 p.
- MATA L. 2001 *Estudio Quimioestratigráfico de la Formación La Luna, estado Táchira*. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Instituto de Ciencias de la Tierra, Facultad de Ciencias, UCV. 145 p.
- MURRAY R. W. & M. LEINEN 1993 Chemical Transport to the Seafloor of the Equatorial Pacific Ocean across a latitudinal transect at 135°W: Tracking Sedimentary major, trace, and rare earth element fluxes at the Equator and the Intertropical Convergence Zone. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, (57): 4141-4163.

- MURRAY R. W., M. LEINEN, D. W. MURRAY, A. C. MIX & C. KNOWLTON 1995 Terrigenous Fe input and biogenic sedimentation in the glacial and interglacial equatorial Pacific Ocean. *Global Biogeochemical Cycles*, 9(4): 667-684.
- MURRAY R. W. & M. LEINEN 1996 Scavenged excess aluminum and its relationship to bulk titanium in biogenic sediment from the central equatorial Pacific Ocean. *Geochimica and Cosmochimica Acta*, 60(20): 3869-3878.
- MURRAY R. W., R. WIGLEY & SHIPBOARD SCIENTIFIC PARTY 1998 Interstitial Water Chemistry of Deeply Buried Sediments from the Southwest African Margin: a preliminary synthesis of results from Leg 175. En: WEFER G., W.H. RICHTER C. et al.: *Proceedings of the Ocean Drilling Program*, (175) : 547-553.
- MURRAY R. W., C. KNOWLTON, M. LEINEN, A. C. MIX & C. H. POLSKY 2000 Export production and terrigenous matter in the Central Equatorial Pacific Ocean during interglacial oxygen isotope Stage 11. *Global and Planetary Change*, (24): 59-78.
- NITON CORPORATION 2002 *300series & 700series User's Guide, Version 5.2*. Billerica, Massachusets.
- NOGUERA M. & S. YÉPEZ 2002 *Caracterización química de secciones estratigráficas: Formaciones Naricual y Querecual, estados Anzoátegui y Monagas*. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 282 p.
- NORTH C. & M. BOERING 1999 Spectral Gamma Ray logging for facies discrimination in mixed fluvial – eolian sucesions. A cautionary tale. *AAPG Bulletin*, 83(1): 155 – 169.
- OSTOS M. 1990 Evolución tectónica Sur – central del Caribe basado en datos geoquímicos. *Geos N° 30*. Escuela de Geología, Minas y Geofísica, UCV. Caracas.

- PARNAUD F., Y. GOU, J. C. PASCUAL, M. CAPELLO, I. TRUSKOWSKI & H. PASSALACQUA 1995 Stratigraphic synthesis of western Venezuela. In: *A. J. TANKARD, R. SUÁREZ & H. J. WELSINK. Petroleum basin of South America. AAPG Memoir 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 dating and correlation. Geological Society special publication*. (89): 107-143.
- PEARCE T. J., B. M. BESLY, D. S. WRAY & D. K. WRIGHT 1999 Chemostratigraphy : a method to improve interwell correlation in barren sequences – a case study using onshore Duckmantian/Stephanian sequences (West Midlands, U.K). *Sedimentary Geology*, (124): 197-220.
- PETTIJOHN F., P. POTTER & R. SIEVER 1972 *Sand & Sandstones*. Springer-Verlag, USA, 553p.
- REÁTEGUI K. 2001 *Identificación e Interpretación de quimiofacies de la Formación Mirador en la localidad de San Pedro del Río, estado Táchira*. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Departamento de Química, Facultad de Ciencias, UCV. 116 p.
- REYMENT R. & H. HIRANO 1999. Exploratory multivariate statistical analysis of geochemical data from the Cenomanian-Turonian transition of the Yezo Supergroup, Hokkaido, Japan. *Cretaceous Research*, (20): 539-546.
- RODRÍGUEZ N., A. RUIZ & E. TUNDIDOR. 2000 *Caracterización química por Fluorescencia de rayos X y radioisotópica por espectrometría gamma multicanal de dos secciones estratigráficas de la Formación Guárico, El Pao, estado Cojedes*. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 265 p.

- ROJAS A. 2000 *Caracterización de trampas para la Costa Oriental del Lago de Maracaibo*. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV. 234 p.
- ROLLINSON H. 1993 *Using Geochemical Data: Evaluation, presentation, interpretation*. Longman Scientific & Technical, New York, 325 p.
- ROLO R. 2001 *Estudio quimioestratigráfico de la Formación Carbonera, estado Táchira, (proveniencia y paleosalinidad)*. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geoquímica, Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, 90 p.
- ROSENWASSER S. *et al.* 2000 *Chemostratigraphy – the elemental solution using laser induced breakdown spectrometry*. Italia, 1st Internacional Conference on Laser Induced Plasma Spectroscopy and Applications. 11 p.
- SANDOVAL M 2000 *Diagénesis de Areniscas*. Universidad Central de Venezuela. Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico. Caracas. 414 p.
- SPIEGEL M. 1991 *Estadística (Serie Schaum)*. Madrid, Mc Graw- Hill, 532 p.
- SUTTON F. 1946 Geology of Maracaibo basin, Venezuela. *AAPG Bulletin*, 30 (10): 1621 – 1741.
- URBANI F. 1976. *Ensayo de prospección geoquímica en el Parque Nacional El Ávila norte de Caracas*. Inédito. Dept. de Geología. UCV. Caracas. 126 p.
- VAN VEEN F. 1972 Ambientes sedimentarios de las formaciones Mirador y Misoa del Eoceno inferior y medio en la cuenca del Lago de Maracaibo. *Memoria del VI Congreso Geológico Venezolano*. Publicación Especial N° 5. Caracas. Tomo II. 1074 – 1104.

WINCHESTER J. & M. MAX. 1996 Chemostratigraphic correlation, structure and sedimentary environments in the Daldarian of the NW Co. Mayo inlier, NW Ireland. *Journal of the Geological Society*. (153): 779-801.

YARINCIK K. M. & R. W. MURRAY 2000 Climatically sensitive eolian and hemipelagic deposition in the Cariaco Basin, Venezuela, over the past 578.000 years: Results from Al/Ti and K/Al. *Paleoceanography*, 15(2): 210-228.

APÉNDICES

TABLA DE DATOS QUÍMICOS Y RADIMÉTRICOS CORRESPONDIENTES AL POZO A

ELEMENTOS MAYORITARIOS (%)										ELEMENTOS TRAZA (ppm)										VARIABLES RADIMÉTRICAS (cps)																RELACIONES										CLASIFICACIÓN GEOQUÍMICA DE HERRON (1988)			
UNIDAD	Sub-unidad	MUESTRA	Intervalo (pies)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	CO ₂	V	Ni	Zn	Rb	Sr	Zr	Hf	Pb	Y	La	Sr ⁸⁷ /Sr ⁸⁶	Th ²³² /Th ²³⁰	Th ²³² /U ²³⁸	Th ²³² /U ²³⁵	Th ²³² /U ²³⁸	Th ²³² /U ²³⁵	log(SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	log(Fe ₂ O ₃ /K ₂ O)	% CaO	Tipo Litológico																
3-A	3.3-A	A1	0 - 79	69.37	1.00	13.02	1.18	0.02	<1.00	0.52	0.21	0.41	74	---	---	40	112	260	---	---	368	2.283	1.313	3.080	2.583	2.618	3.798	2.013	1.620	2.383	4.483	1.395	0.360	0.658	29.055	5.33	158.84	0.0041	62.73	0.0771	0.0135	0.3407	1.2848	0.73	1.30	0.52	Arenisca - Fe		
3-A	3.3-A	A2	79 - 117	65.57	0.90	11.55	6.15	0.01	<1.00	0.44	0.22	0.35	85	---	---	43	99	208	---	---	68	2.188	1.370	3.195	5.433	2.688	3.783	2.000	1.655	2.223	4.435	1.280	0.398	0.705	28.150	5.68	174.66	0.0017	53.69	0.0782	0.0106	0.1069	1.2516	0.75	1.40	0.44	Arenisca - Fe		
3-A	3.3-A	A3	117 - 153	61.97	0.77	9.87	12.24	0.03	<1.00	0.41	0.24	0.32	148	---	---	134	58	107	183	---	---	65	2.155	3.233	3.178	5.248	2.645	3.653	2.045	1.905	2.495	4.003	1.233	0.420	0.625	28.460	6.28	176.92	0.0022	40.63	0.0783	0.0062	0.1939	1.2114	0.80	1.70	0.41	Arenisca - Fe	
3-A	3.3-A	A4	153 - 184	68.44	0.80	6.82	9.15	0.02	<1.00	0.33	0.14	0.26	124	---	---	42	72	138	---	---	57	2.250	3.068	3.235	5.118	2.688	3.695	1.968	1.788	2.530	3.383	1.233	0.390	0.585	29.058	10.04	226.51	0.0024	50.13	0.0876	0.0048	0.1425	1.2620	1.00	1.83	0.33	Arenisca - Fe		
3-A	3.3-A	A5	184 - 214	71.41	0.69	11.42	6.15	0.02	<1.00	0.30	0.12	0.25	115	---	---	134	58	107	183	---	---	57	2.188	3.195	3.178	5.248	2.645	3.653	2.045	1.905	2.495	4.003	1.233	0.420	0.625	28.460	6.28	176.92	0.0022	40.63	0.0783	0.0062	0.1939	1.2114	0.80	1.70	0.41	Arenisca - Fe	
3-A	3.3-A	A6	214 - 245	63.12	0.58	9.98	11.89	0.03	<1.00	0.42	0.35	0.33	124	---	---	102	52	74	157	---	---	2.220	3.288	3.093	5.435	2.698	3.748	1.953	1.818	2.323	4.438	1.330	0.408	0.708	29.405	6.32	176.13	0.0026	28.95	0.0585	0.0071	0.1961	1.2325	1.00	1.75	0.41	Arenisca - Fe		
3-A	3.3-A	A7	245 - 276	65.02	0.56	6.52	11.89	0.05	<1.00	0.42	0.37	0.33	80	---	---	191	59	114	119	---	---	2.228	3.023	3.158	5.348	2.463	3.720	1.913	1.625	2.483	3.388	1.280	0.418	0.648	28.690	9.98	171.62	0.0040	17.84	0.0762	0.0062	0.0524	1.3596	1.00	1.51	0.42	Arenisca - Fe		
3-A	3.3-A	A8	276 - 300	55.86	0.66	10.97	13.69	0.09	<1.00	0.52	0.72	0.41	110	---	---	434	117	118	109	---	---	91	2.323	3.183	3.208	5.155	2.675	3.760	1.990	1.780	2.533	4.153	1.325	0.373	0.653	29.107	5.09	129.44	0.0068	15.18	0.0602	0.0060	0.0371	1.2501	0.71	1.28	0.52	Arenisca - Fe	
3-A	3.3-A	A9	300 - 330	55.40	0.66	10.12	13.52	0.09	<1.00	0.53	0.72	0.42	100	---	---	495	111	122	111	---	---	66	2.253	3.310	3.273	5.298	2.680	3.758	1.945	1.613	2.420	4.468	1.438	0.418	0.665	29.115	5.47	123.75	0.0069	13.96	0.0647	0.0066	0.2888	1.2565	0.74	1.27	0.53	Arenisca - Fe	
3-A	3.3-A	A10	330 - 360	54.96	0.84	13.34	9.38	0.10	<1.00	0.87	1.23	0.68	75	---	---	288	168	149	148	---	---	47	2.298	3.195	3.035	5.530	2.740	3.686	2.075	1.730	2.438	4.425	1.423	0.420	0.683	29.570	5.42	16.74	0.0105	10.43	0.0632	0.0069	0.7861	1.2637	0.58	0.87	0.58	Lutita - Fe	
3-A	3.2-A	A11	390 - 401	59.93	0.72	13.42	9.33	0.08	<1.00	1.04	0.81	0.82	75	---	---	216	117	108	146	---	---	149	2.323	3.310	3.273	5.298	2.680	3.758	1.945	1.613	2.420	4.468	1.438	0.418	0.665	29.115	5.47	123.75	0.0069	13.96	0.0647	0.0066	0.2888	1.2565	0.74	1.27	0.53	Arenisca - Fe	
3-A	3.2-A	A12	540 - 560	49.43	0.75	14.63	7.33	0.08	<1.00	0.91	1.10	0.54	60	---	---	253	147	180	109	---	---	146	2.138	3.150	3.103	5.233	2.708	3.738	1.728	1.763	2.378	3.343	1.390	0.398	0.605	29.010	3.38	9.27	0.0109	13.31	0.0512	0.0126	0.0935	1.2284	0.53	0.82	6.91	Lutita - Fe calcárea	
3-A	3.2-A	A13	560 - 580	29.60	0.40	6.16	7.78	0.03	<1.00	0.67	0.62	0.48	<50	---	---	405	77	243	58	---	---	54	2.148	2.983	3.148	5.240	2.663	3.720	1.953	1.685	2.330	3.388	1.310	0.450	0.593	28.608	4.84	1.38	0.0075	9.87	0.0645	0.0079	0.2042	1.2790	0.68	0.78	26.07	Carbonato	
3-A	3.2-A	A14	580 - 600	38.31	0.40	6.87	3.96	0.04	<1.00	0.42	0.65	0.64	<50	1440	---	---	409	75	213	50	---	---	89	2.200	3.005	2.850	5.190	2.648	3.615	1.873	1.625	2.270	3.380	1.390	0.440	0.635	27.900	5.57	2.21	0.0090	10.53	0.0588	0.0081	0.7845	1.2664	0.75	0.78	20.42	Carbonato
3-A	3.2-A	A15	600 - 620	46.01	0.43	7.43	4.30	0.04	<1.00	15.00	0.74	1.19	<50	---	---	245	76	184	49	---	---	87	2.215	3.243	3.203	5.495	2.768	3.780	1.988	1.680	2.528	4.400	1.313	0.430	0.663	28.905	4.08	74.67	0.0144	8.56	0.0576	0.0160	1.6392	1.2933	0.61	0.61	0.97	Lutita - Fe	
3-A	3.2																																																

Tabla de Datos Químicos y Radiométricos Correspondientes al Pozo B

			TABLA DE DATOS QUÍMICOS Y RADIOMÉTRICOS CORRESPONDIENTES AL POZO O																																				RELACIONES												CLASIFICACION GEOQUÍMICA DE HERRON (1988)			
			ELEMENTOS MAYORITARIOS (%)												ELEMENTOS TRAZA (ppm)												VARIABLES RADIOMÉTRICAS (cps)																											
UNIDAD	Sub-unidad	MUESTRA	Intervalo (pies)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	CO ₂	V	NI	Zn	Rb	Sr	Zr	Pb	Th	U	Y	La	Pr	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Sr/Al ₂ O ₃	(Al ₂ O ₃ /SiO ₂)	Mn/FeO	Al ₂ O ₃ /K ₂ O	TiO ₂ /Al ₂ O ₃	TiO ₂ /V	Th/U	Th/U	log(SiO ₂ /Al ₂ O ₃)	log(FeO/K ₂ O)	% CaO	Tipo litológico								
3-B	3-2	B1	80-100	55.03	16.27	12.73	10.42	0.17	<1.00	2.32	1.05	1.82	<50	—	308	143	123	140	—	2.183	3.145	3.075	4.20	2.598	3.530	1.855	1.643	2.338	1.338	1.228	0.434	0.443	28.375	4.36	29.07	0.063	12.15	0.0525	0.0134	0.4224	1.3057	0.64	1.00	2.32	Lutita - Fe									
3-B	3-2	B2	100-140	55.64	0.69	13.39	9.88	0.15	<1.00	2.43	1.07	1.91	<50	—	459	284	148	146	150	—	2.178	3.245	3.010	5.365	2.660	3.695	1.990	1.578	2.298	1.388	1.213	0.418	0.733	28.468	4.16	28.43	0.0154	12.57	0.0514	0.0138	0.1749	1.2956	0.62	0.97	2.43	Lutita - Fe								
3-B	3-2	B3	140-170	56.25	0.77	15.71	9.98	0.12	<1.00	1.13	1.25	1.67	<50	—	236	168	133	134	33	—	2.134	3.268	3.068	5.233	2.663	3.628	1.933	1.643	2.318	1.335	1.328	0.400	0.593	28.463	3.58	33.82	0.0146	12.55	0.0491	0.0154	0.2290	1.2490	0.55	0.80	2.13	Lutita - Fe								
3-B	3-2	B4	170-200	56.18	0.79	15.12	8.38	0.13	<1.00	1.69	1.28	1.33	<50	—	299	162	130	133	43	—	2.190	3.185	3.020	5.373	2.558	3.668	1.903	1.568	2.430	1.400	1.328	0.435	0.620	28.713	3.72	42.22	0.0154	11.80	0.0521	0.0158	0.0668	1.3007	0.57	0.92	2.60	Lutita - Fe								
3-B	3-2	B5	200-230	56.01	0.74	15.02	8.38	0.13	<1.00	1.69	1.28	1.33	<50	—	299	162	130	133	43	—	2.190	3.185	3.020	5.373	2.558	3.668	1.903	1.568	2.430	1.328	1.328	0.435	0.620	28.713	3.72	42.22	0.0154	11.80	0.0521	0.0158	0.0668	1.3007	0.57	0.92	2.60	Lutita - Fe								
3-B	3-2	B6	300-320	56.46	0.72	14.78	9.38	0.11	<1.00	2.46	1.18	1.93	<50	—	436	293	166	158	136	41	—	2.000	3.035	3.048	5.212	2.526	3.778	1.885	1.713	2.355	1.368	1.310	0.623	0.258	29.70	28.27	0.0119	12.48	0.0489	0.0444	0.6529	1.2803	0.57	0.90	2.46	Lutita - Fe								
3-B	3-2	B7	320-340	56.26	0.45	9.53	12.64	0.21	<1.00	4.98	0.72	3.92	<50	—	2499	384	95	231	160	—	2.158	3.003	2.910	5.503	2.688	3.690	1.985	1.530	2.448	1.403	1.303	0.405	0.658	28.680	5.48	12.40	0.0167	13.17	0.0474	0.0090	1.0027	1.3169	0.74	1.24	4.98	Arenisca - Fe calcárea								
3-B	3-2	B8	340-400	58.04	0.53	10.65	10.07	0.21	<1.00	3.11	0.81	2.44	<50	—	478	219	99	115	220	30	—	2.168	3.095	2.868	5.448	2.670	3.755	1.860	1.788	2.310	1.385	1.263	0.423	0.600	28.620	5.45	22.09	0.0209	13.09	0.0497	0.0100	0.4379	1.3033	0.74	1.09	3.11	Arenisca - Fe							
3-B	3-2	B9	400-430	57.73	0.45	8.16	8.91	0.19	<1.00	2.59	0.68	2.03	<50	—	237	87	128	171	—	—	2.173	3.138	3.140	5.335	2.713	3.686	1.953	1.895	2.433	1.378	1.178	0.493	0.610	28.923	7.81	27.77	0.0211	12.03	0.0556	0.0091	0.4843	1.2740	0.89	1.12	2.59	Arenisca - Fe								
3-B	3-2	B10	430-480	58.87	0.49	10.24	9.59	0.07	<1.00	4.43	1.21	1.67	<50	—	178	168	120	180	30	—	2.108	3.205	2.938	5.878	2.589	3.845	1.930	1.698	2.389	1.430	1.326	0.450	0.625	29.335	6.16	20.36	0.0190	12.84	0.0436	0.0086	0.0662	1.2570	0.79	1.44	3.98	Arenisca - Fe calcárea								
3-B	3-2	B11	450-480	57.47	0.47	10.31	10.88	0.22	<1.00	4.03	0.79	3.17	<50	—	253	190	89	138	182	—	—	2.295	3.933	3.053	5.474	2.595	3.728	1.985	1.753	2.303	1.400	1.408	0.633	0.615	28.970	5.65	16.74	0.0204	12.96	0.0453	0.0093	0.8866	1.3404	0.74	1.14	4.03	Arenisca - Fe calcárea							
3-B	3-2	B12	480-500	58.22	0.47	9.31	10.28	0.20	<1.00	3.94	0.79	3.00	<50	—	315	254	90	136	189	—	—	2.083	2.943	2.980	5.313	2.638	3.693	1.978	1.610	2.418	1.465	1.383	0.430	0.610	28.550	6.25	17.15	0.0192	11.80	0.0506	0.0094	0.1207	1.2997	0.80	1.11	3.94	Arenisca - Fe							
3-B	3-2	B13	532-550	58.41	0.78	10.63	6.17	0.05	<1.00	2.91	1.35	2.29	104	—	153	157	151	137	39	—	2.193	3.060	2.980	5.508	2.815	3.730	1.798	1.608	2.355	1.425	1.260	0.435	0.580	28.730	4.59	23.74	0.0081	7.89	0.0736	0.0075	0.3456	1.3002	0.74	1.06	2.91	Arenisca - Fe								
3-B	3-2	B14	550-580	58.16	0.78	15.52	8.67	0.08	<1.00	1.0795	2.56	1.44	201	78	—	133	147	140	134	33	—	2.228	3.203	3.078	5.508	2.655	3.603	2.093	1.810	2.433	1.418	1.395	0.433	0.640	29.293	3.75	28.50	0.0120	10.78	0.0503	0.0101	0.7663	1.2789	0.57	0.88	2.56	Lutita - Fe							
3-B	3-2	B15	580-590	58.87	0.80	10.24	6.59	0.07	<1.00	4.43	1.21	1.67	<50	—	178	168	120	180	30	—	2.108	3.205	2.938	5.878	2.589	3.845	1.930	1.698	2.389	1.430	1.326	0.450	0.625	29.335	6.16	20.36	0.0190	12.84	0.0436	0.0086	0.0662	1.2570	0.79											

APÉNDICES II Y III:

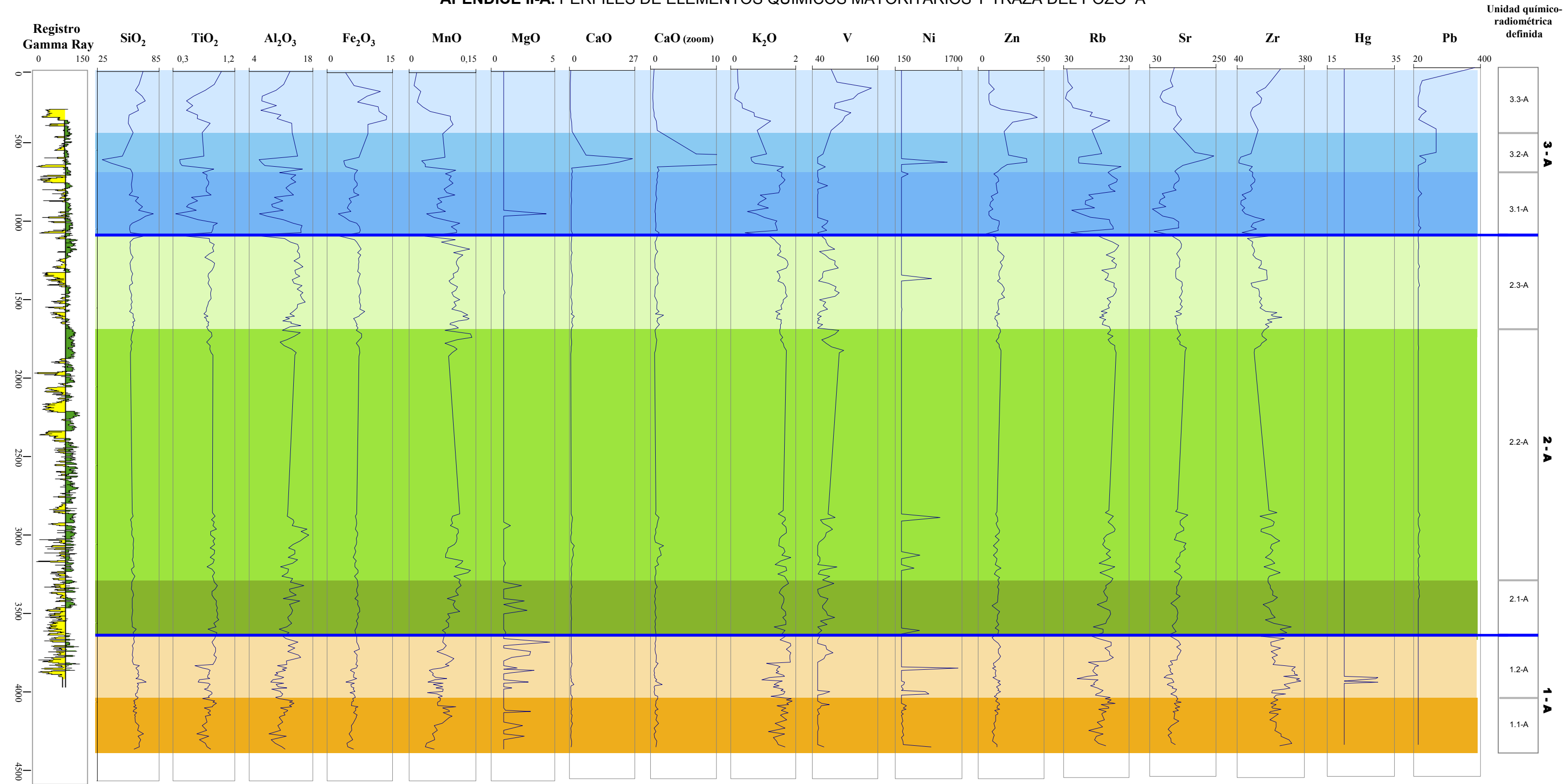
**Perfiles crudos de variables químicas detectadas
y perfiles suavizados de las variables radiométricas**

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE MUESTRAS DE CANAL CORRESPONDIENTES A CUATRO POZOS
DEL CAMPO PETROLÍFERO LA CONCEPCIÓN, ESTADO ZULIA

Realizado por: Claudia Chacín
Mayo, 2003

APÉNDICE II-A. PERFILES DE ELEMENTOS QUÍMICOS MAYORITARIOS Y TRAZA DEL POZO A



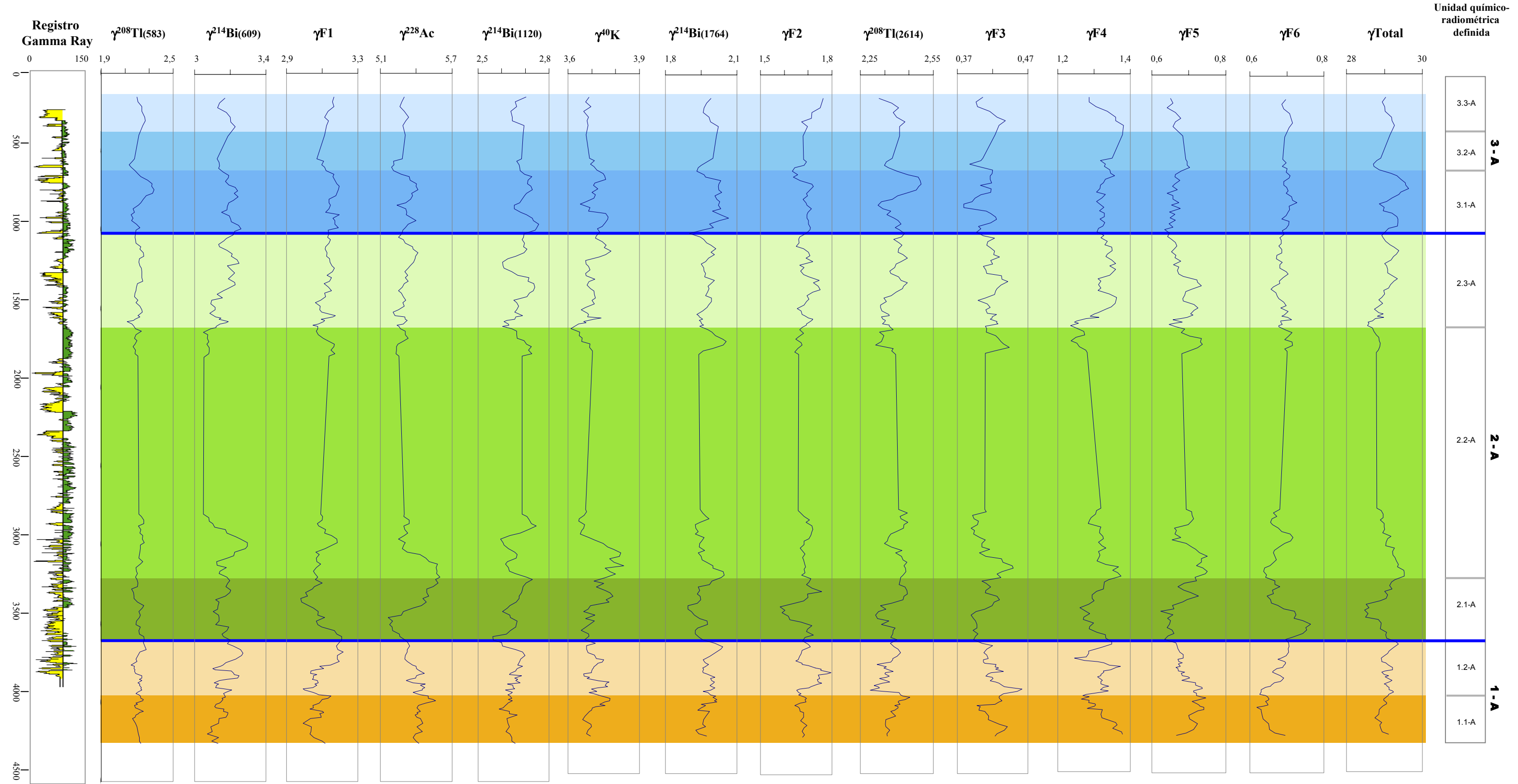
Las concentraciones de los elementos mayoritarios son expresados en % y los traza en ppm. Escala vertical en pies (profundidad).

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE MUESTRAS DE CANAL CORRESPONDIENTES A CUATRO POZOS
DEL CAMPO PETROLÍFERO LA CONCEPCIÓN, ESTADO ZULIA

Realizado por: Claudia Chacín
Mayo, 2003

APÉNDICE III-A. PERFILES RADIOMÉTRICOS SUAVIZADOS DEL POZO A (PROMEDIO MÓVIL 5)



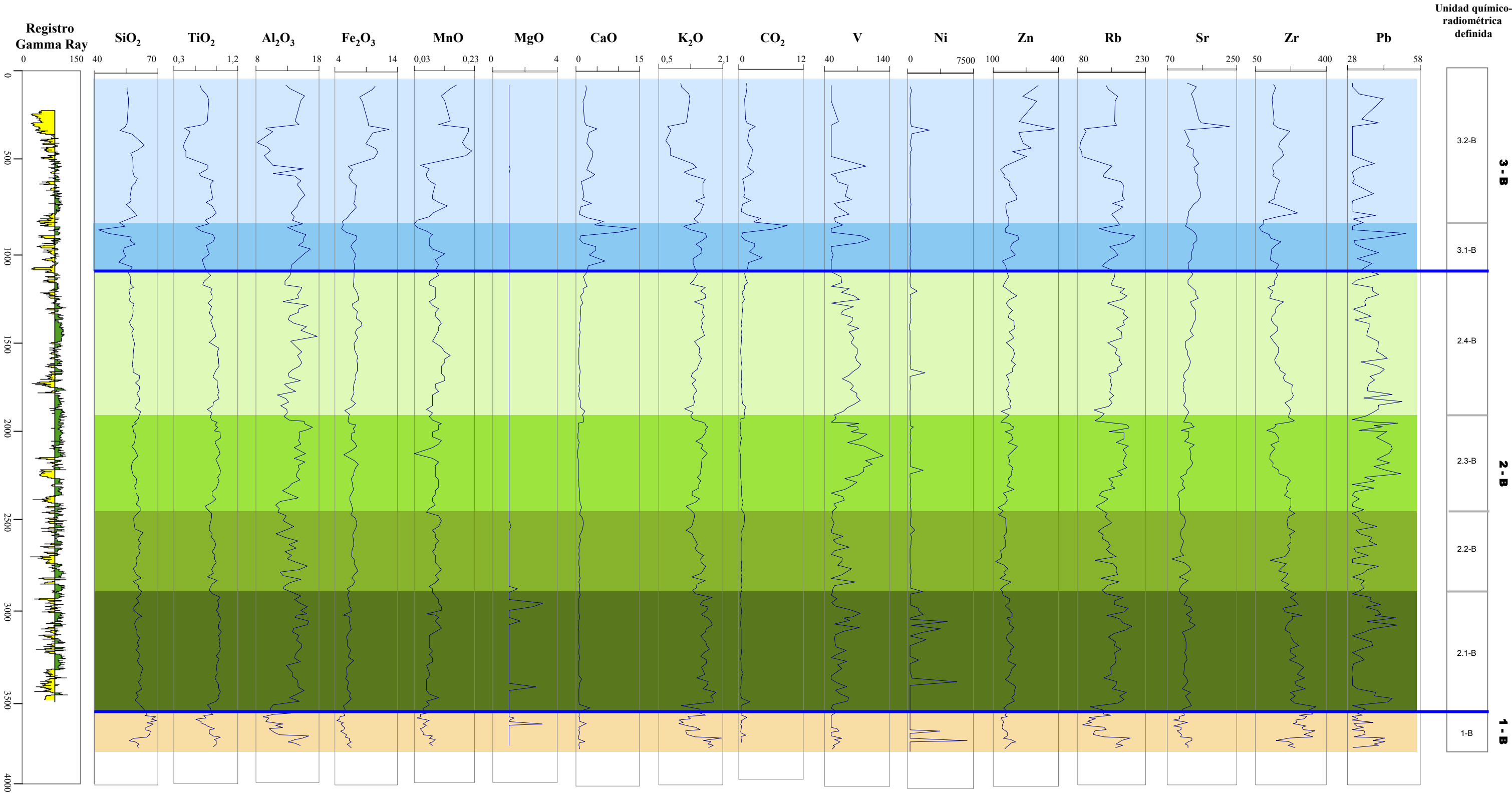
Las variables radiométricas son expresadas en cuentas por segundo (cps). Escala vertical en pies (profundidad).

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE MUESTRAS DE CANAL CORRESPONDIENTES A CUATRO POZOS
DEL CAMPO PETROLÍFERO LA CONCEPCIÓN, ESTADO ZULIA

Realizado por: Claudia Chacín
Mayo, 2003

APÉNDICE II-B. PERFILES DE ELEMENTOS QUÍMICOS MAYORITARIOS Y TRAZA DEL POZO B



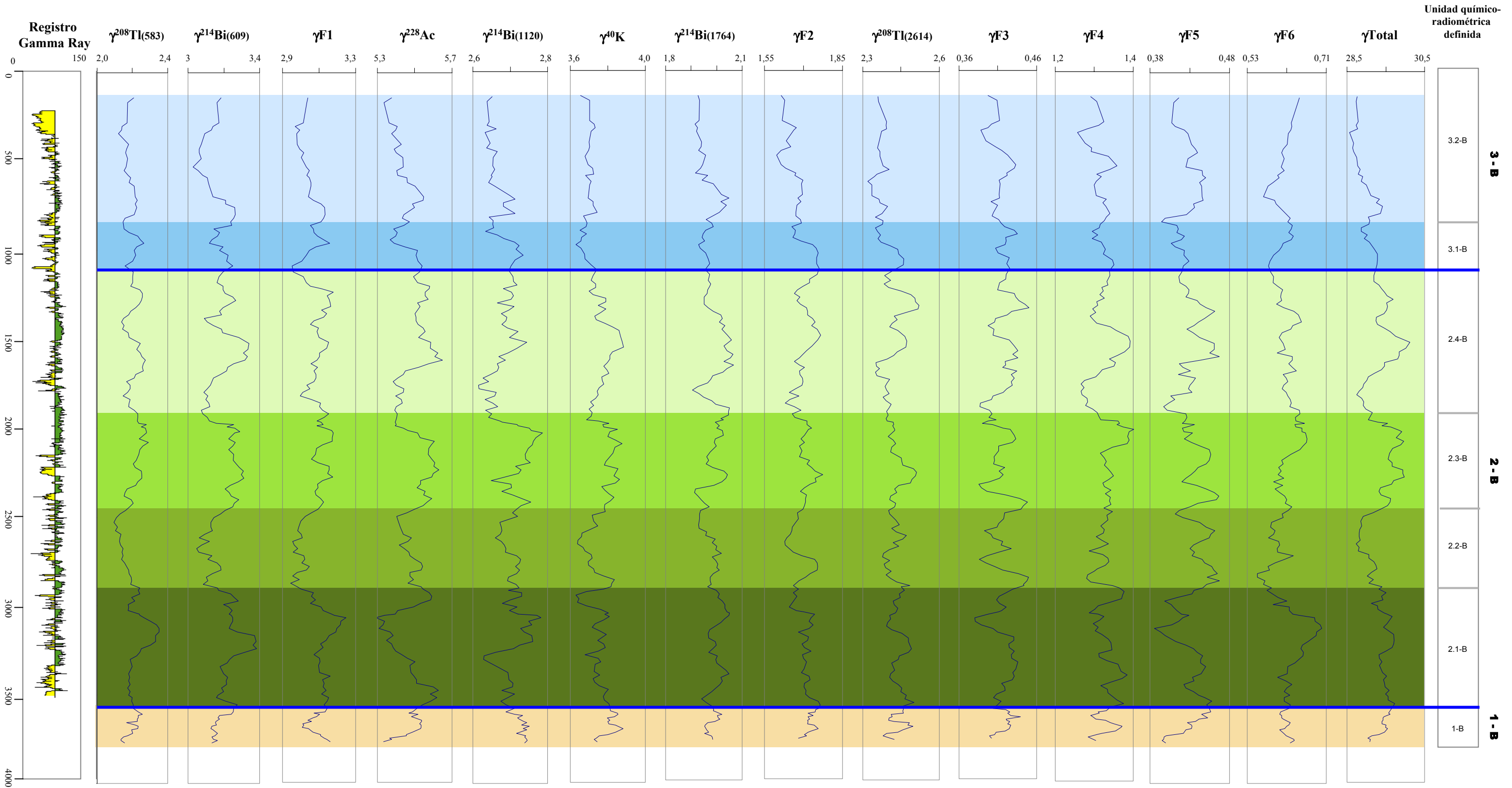
Las concentraciones de los elementos mayoritarios son expresados en % y los traza en ppm. Escala vertical en pies (profundidad).

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE MUESTRAS DE CANAL CORRESPONDIENTES A CUATRO POZOS
DEL CAMPO PETROLÍFERO LA CONCEPCIÓN, ESTADO ZULIA

Realizado por: Claudia Chacín
Mayo, 2003

APÉNDICE III-B. PERFILES RADIOMÉTRICOS SUAVIZADOS DEL POZO B (PROMEDIO MÓVIL 5)



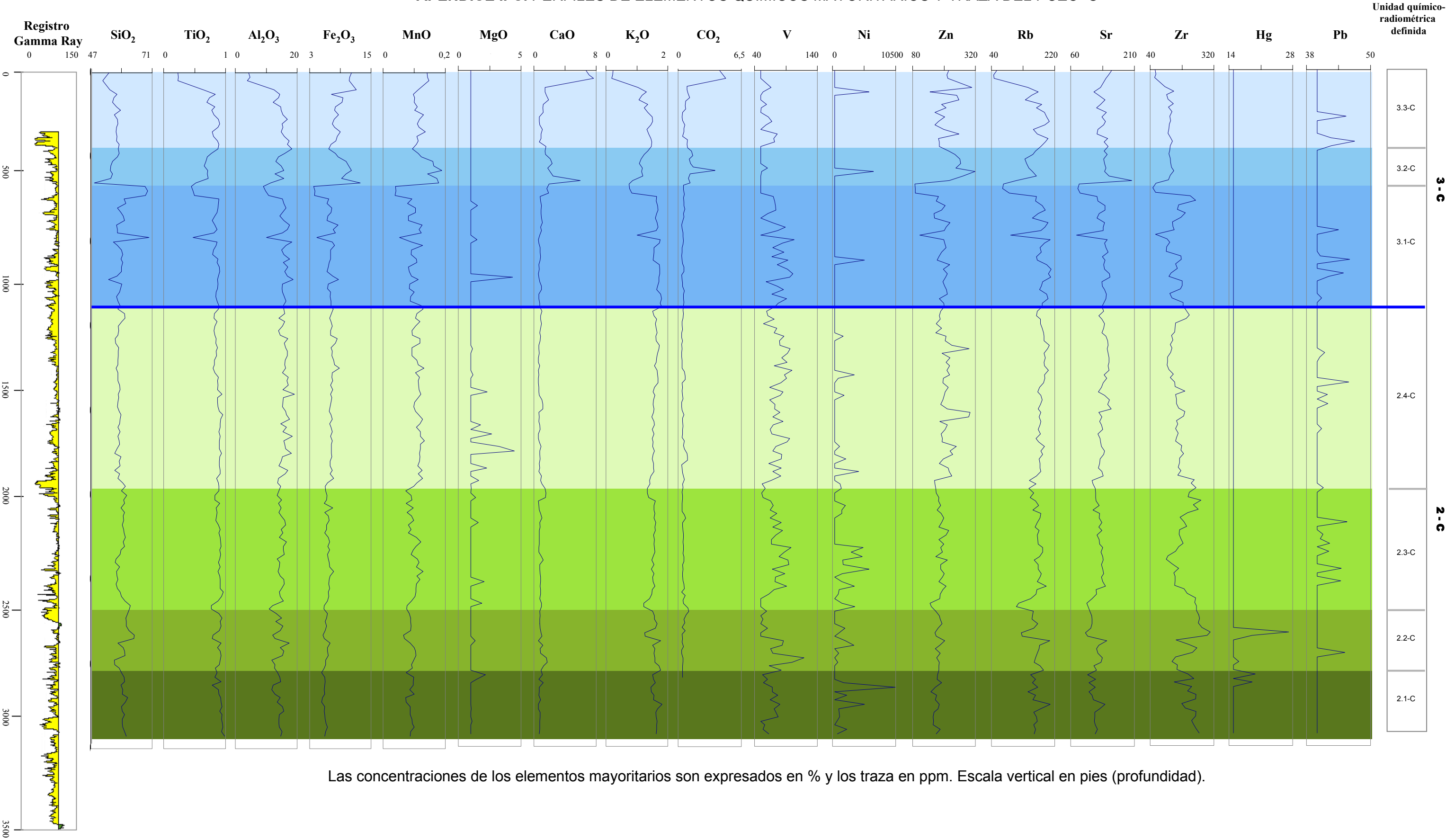
Las variables radiométricas son expresadas en cuentas por segundo (cps). Escala vertical en pies (profundidad).

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE MUESTRAS DE CANAL CORRESPONDIENTES A CUATRO POZOS
DEL CAMPO PETROLÍFERO LA CONCEPCIÓN, ESTADO ZULIA

Realizado por: Claudia Chacín
Mayo, 2003

APÉNDICE II-C. PERFILES DE ELEMENTOS QUÍMICOS MAYORITARIOS Y TRAZA DEL POZO C

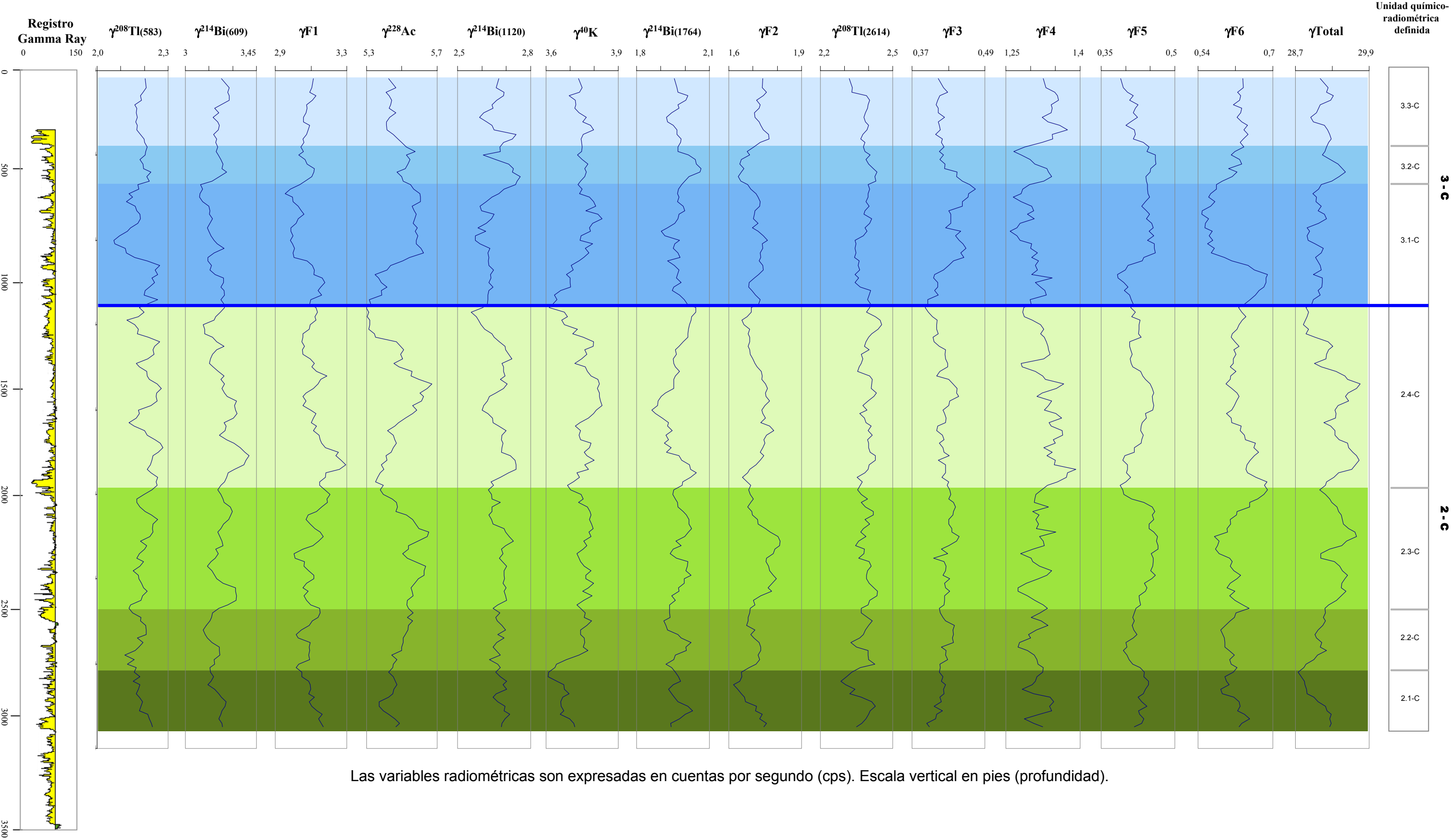


TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE MUESTRAS DE CANAL CORRESPONDIENTES A CUATRO POZOS
DEL CAMPO PETROLÍFERO LA CONCEPCIÓN, ESTADO ZULIA

Realizado por: Claudia Chacín
Mayo, 2003

APÉNDICE III-C. PERFILES RADIOMÉTRICOS SUAVIZADOS DEL POZO C (PROMEDIO MÓVIL 5)

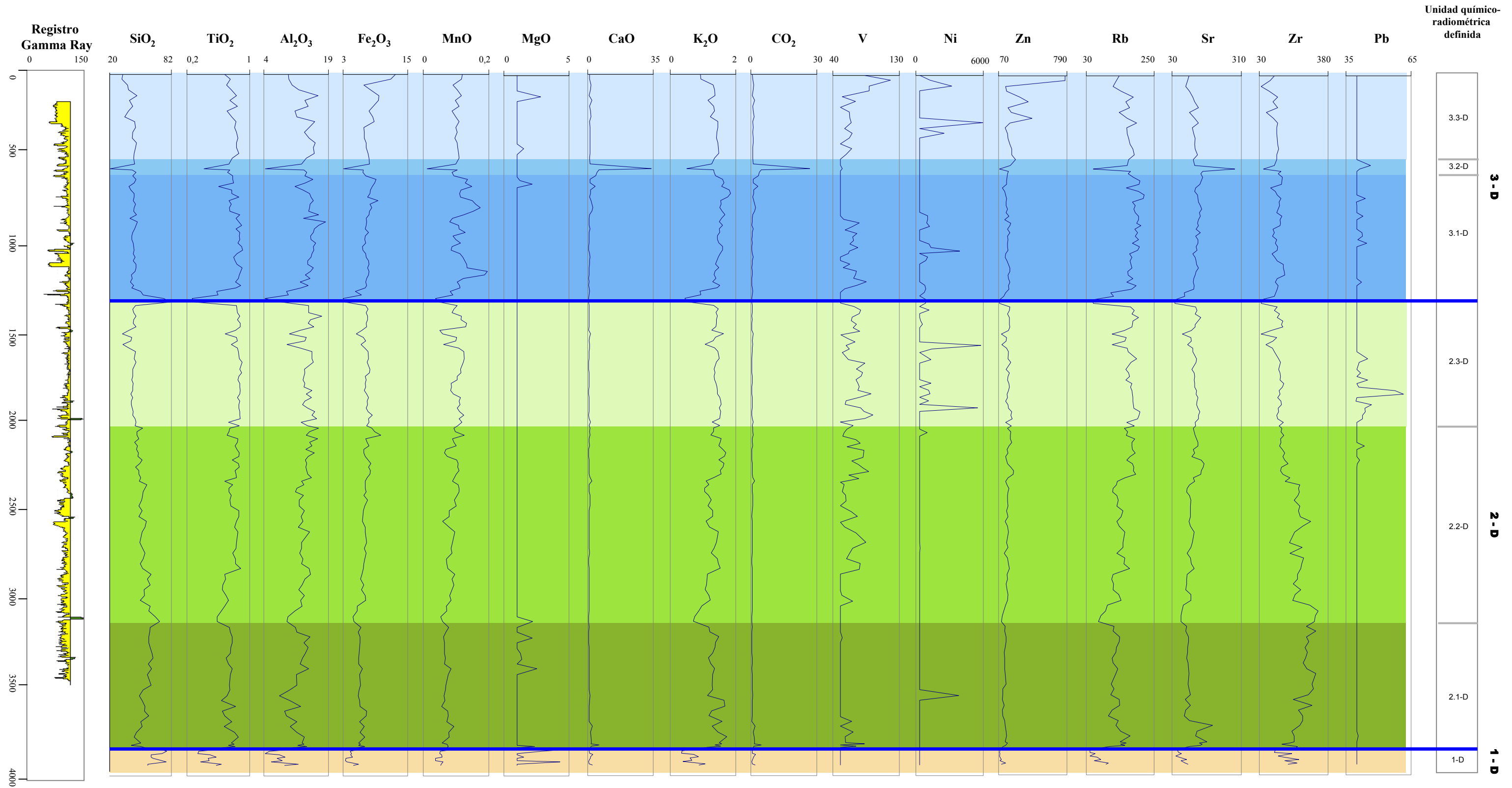


TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE MUESTRAS DE CANAL CORRESPONDIENTES A CUATRO POZOS
DEL CAMPO PETROLÍFERO LA CONCEPCIÓN, ESTADO ZULIA

Realizado por: Claudia Chacín
Mayo, 2003

APÉNDICE II-D. PERFILES DE ELEMENTOS QUÍMICOS MAYORITARIOS Y TRAZA DEL POZO D



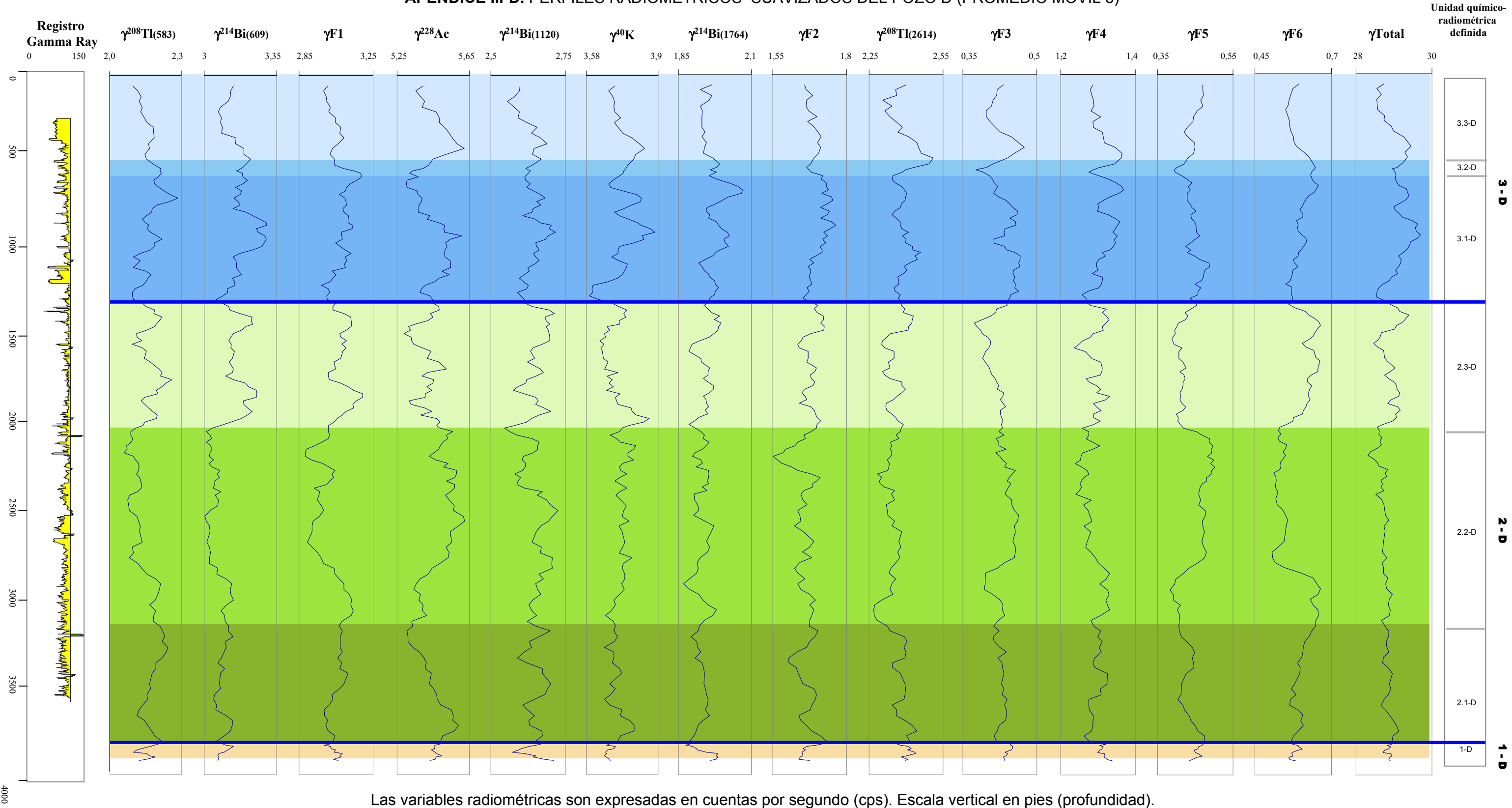
Las concentraciones de los elementos mayoritarios son expresados en % y los traza en ppm. Escala vertical en pies (profundidad).

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

CARACTERIZACIÓN QUÍMICA DE MUESTRAS DE CANAL CORRESPONDIENTES A CUATRO POZOS
DEL CAMPO PETROLÍFERO LA CONCEPCIÓN, ESTADO ZULIA

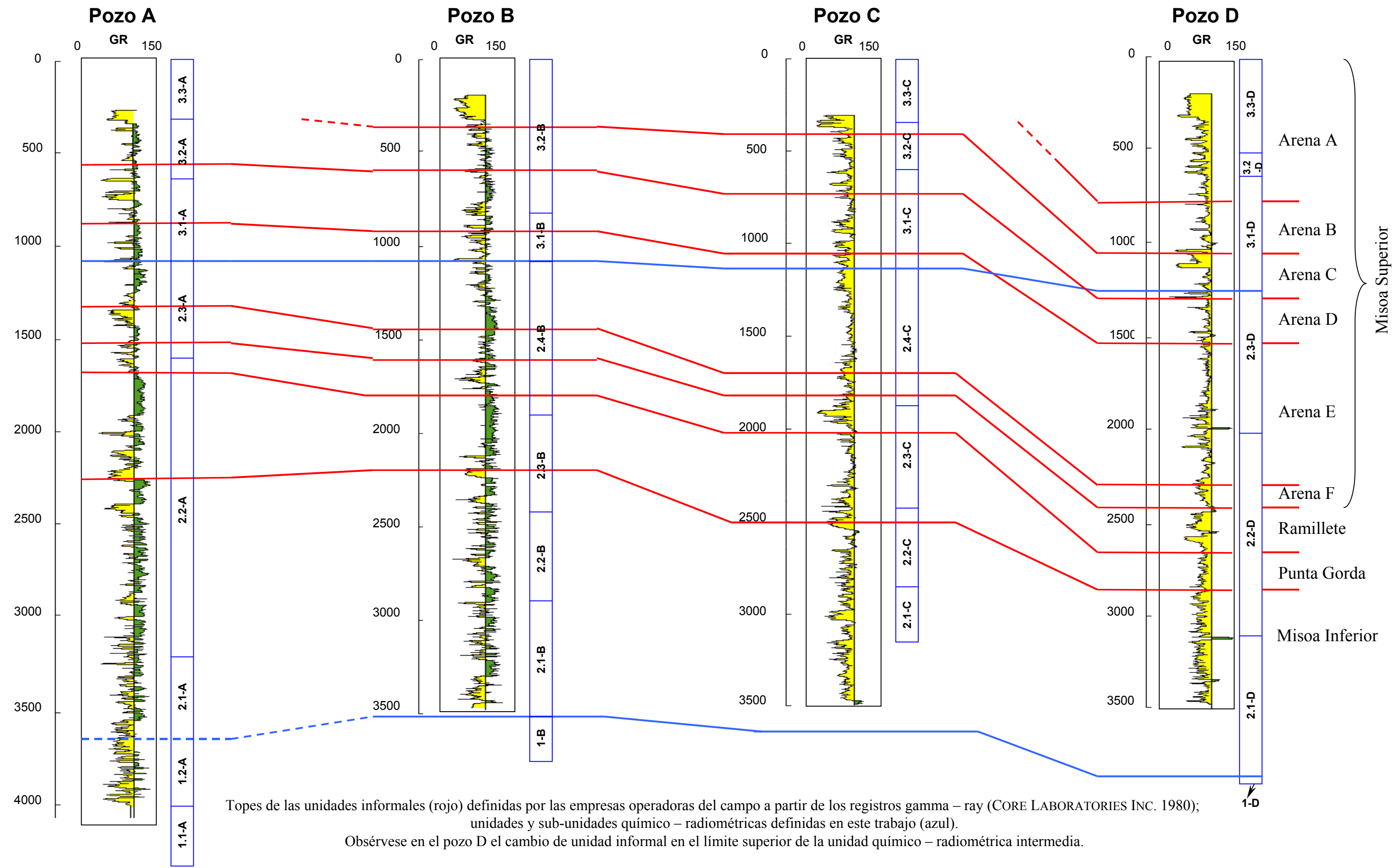
Realizado por: Claudia Chacín
Mayo, 2003

APÉNDICE III-D. PERFILES RADIOMÉTRICOS SUAVIZADOS DEL POZO D (PROMEDIO MÓVIL 5)



APÉNDICE IV:

**Registros gamma – ray indicando los topes
de las unidades informales y de las unidades
y sub-unidades químico – radiométricas definidas**



APÉNDICE V:

Diagramas de dispersión en función de los tipos litológicos

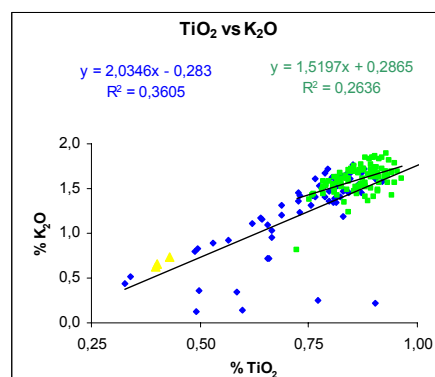
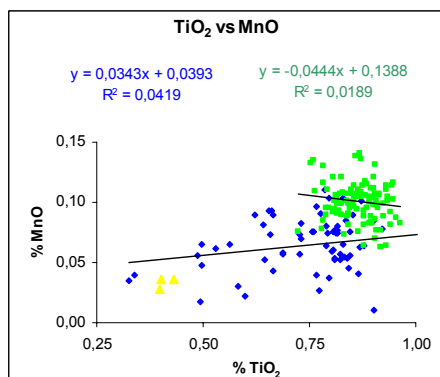
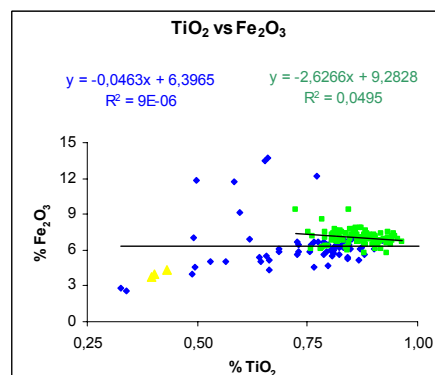
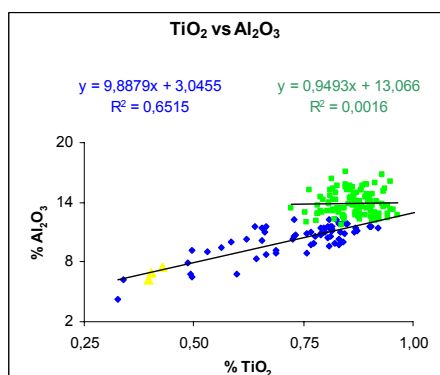
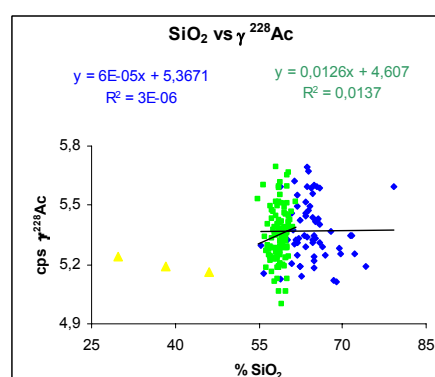
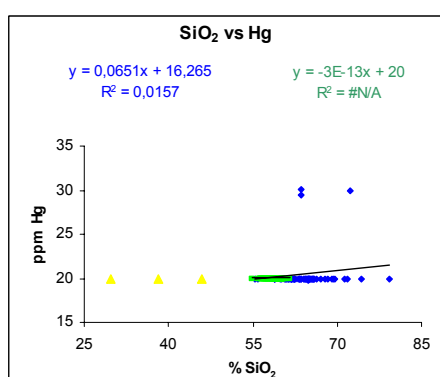
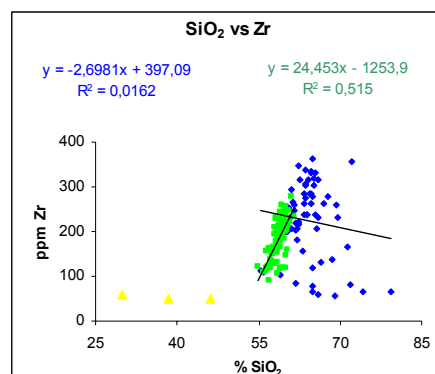
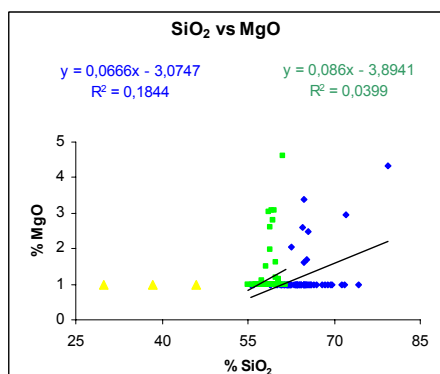
Los tipos litológicos se presentan de la siguiente manera:

Areniscas en azul

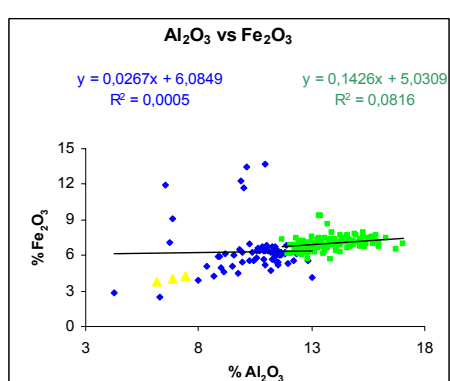
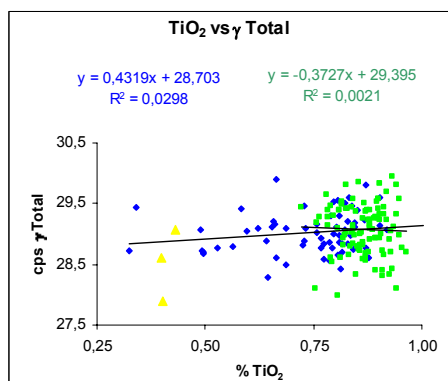
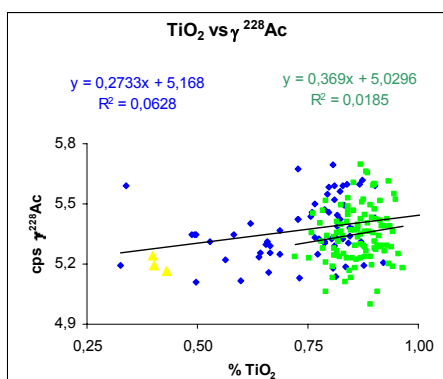
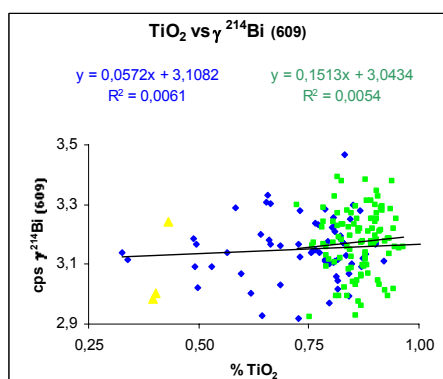
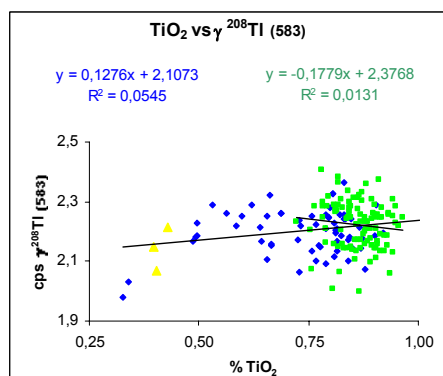
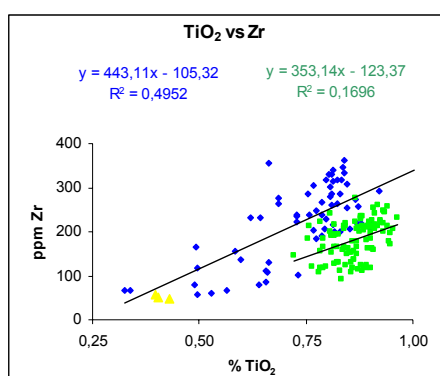
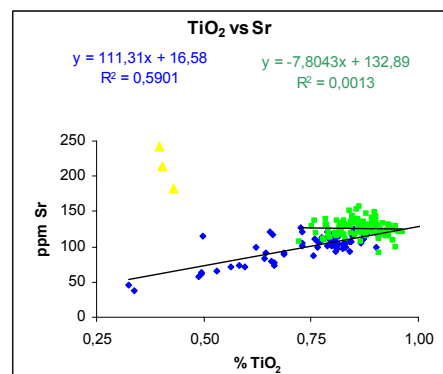
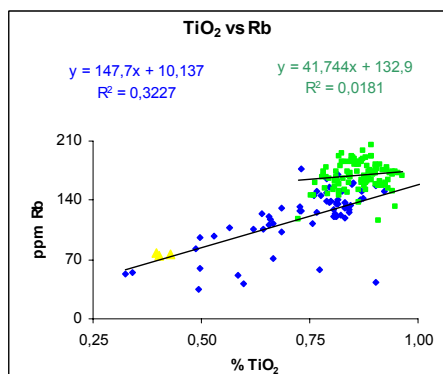
Lutitas en verde

Carbonatos en amarillo

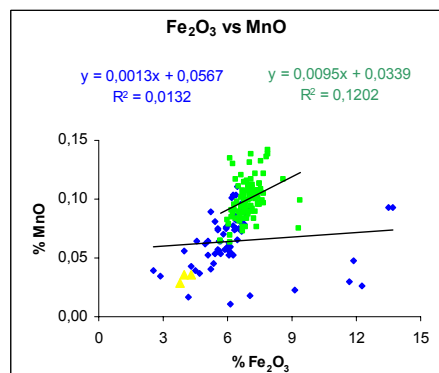
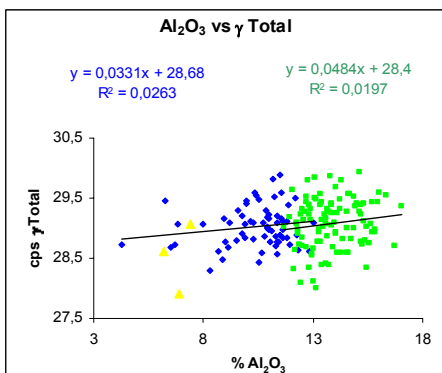
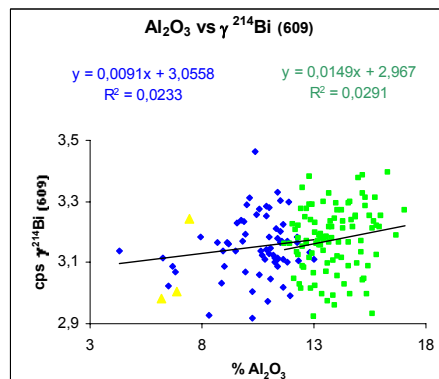
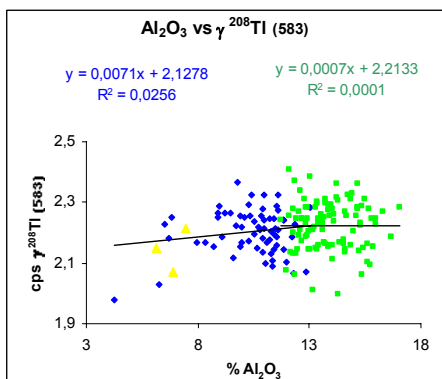
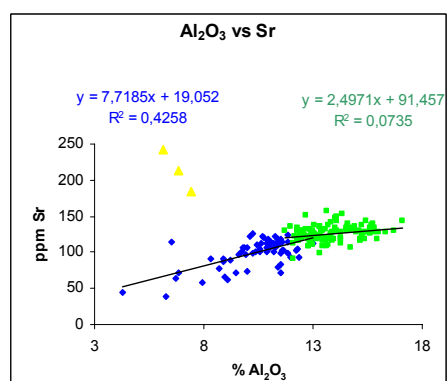
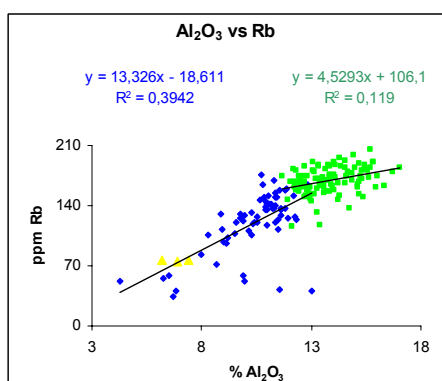
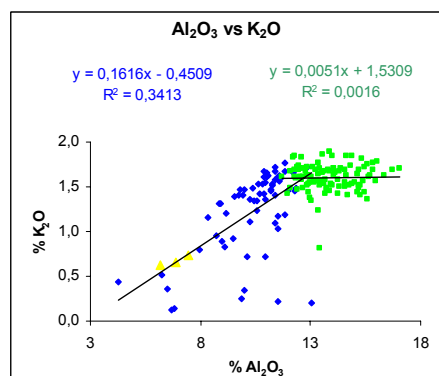
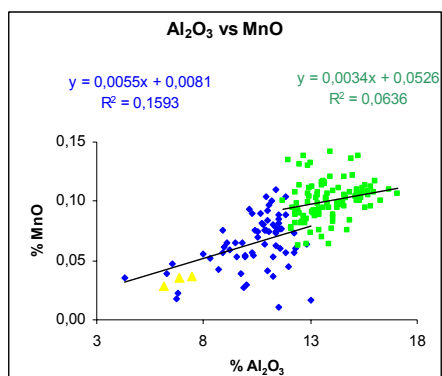
POZO A



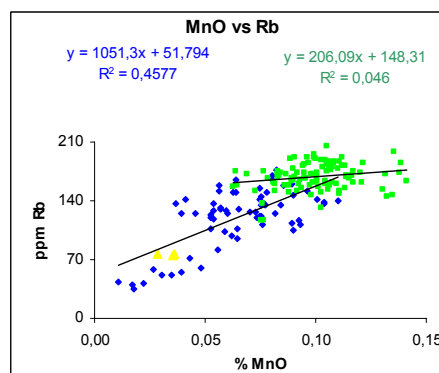
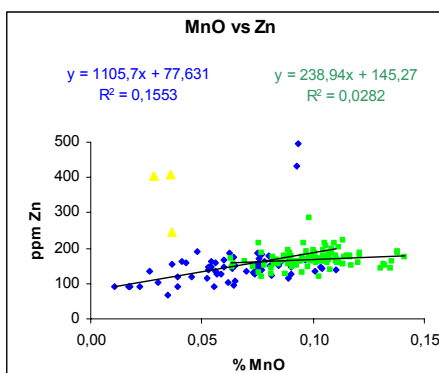
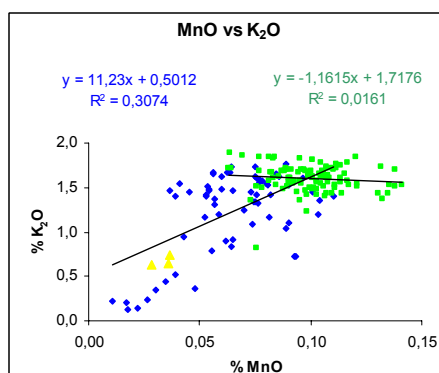
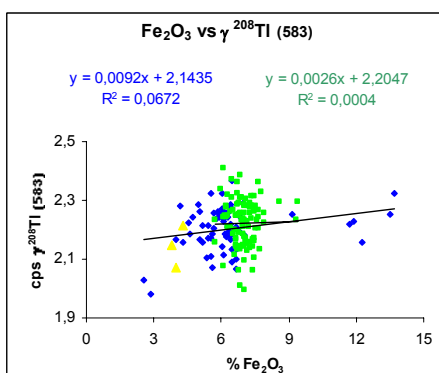
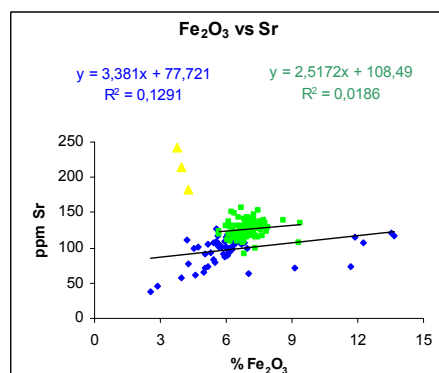
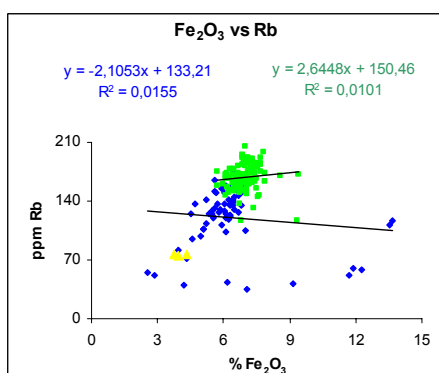
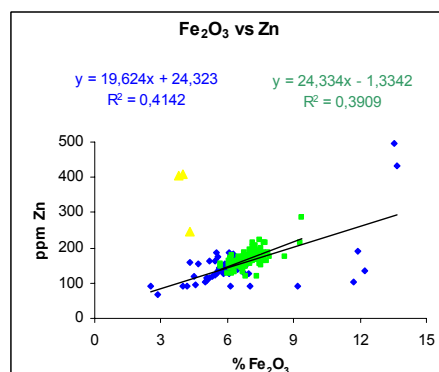
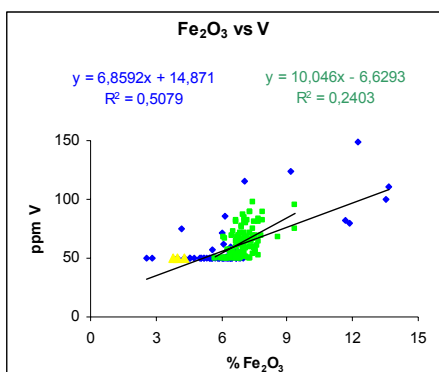
POZO A



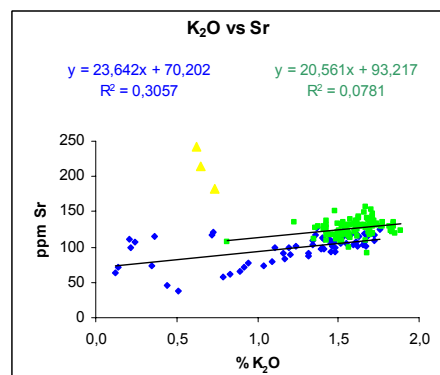
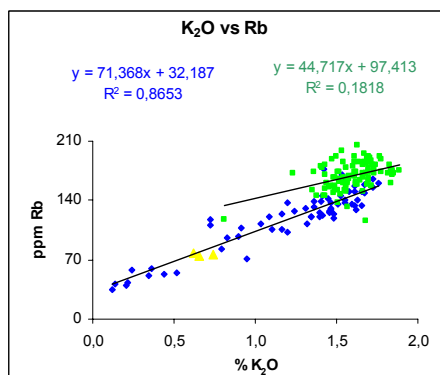
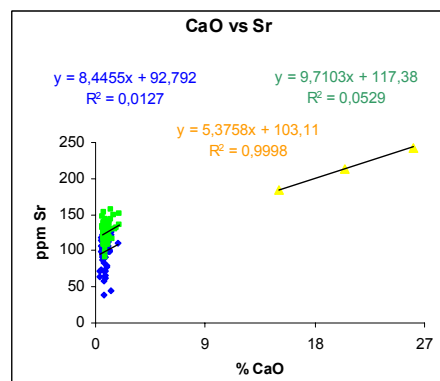
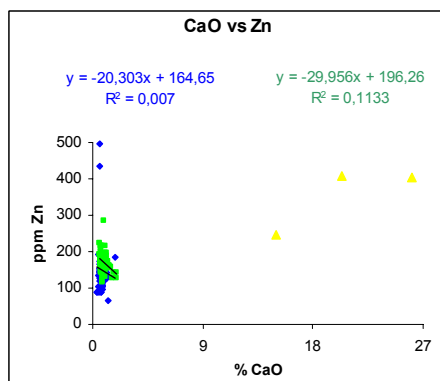
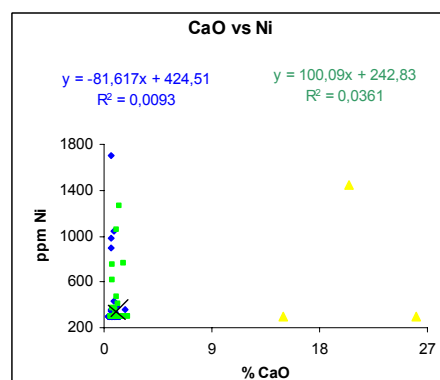
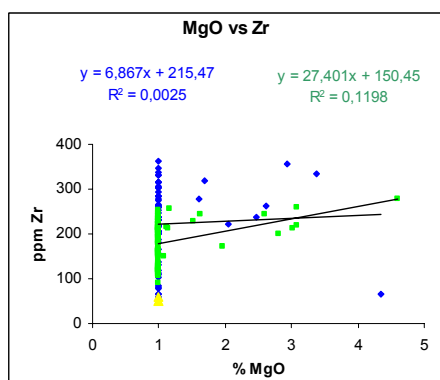
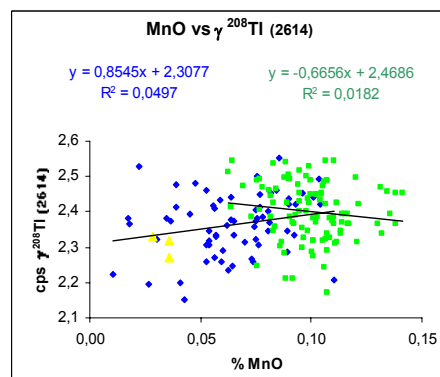
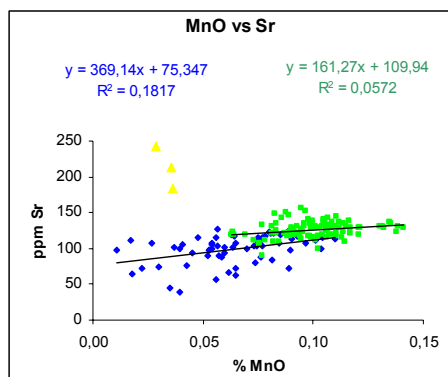
POZO A



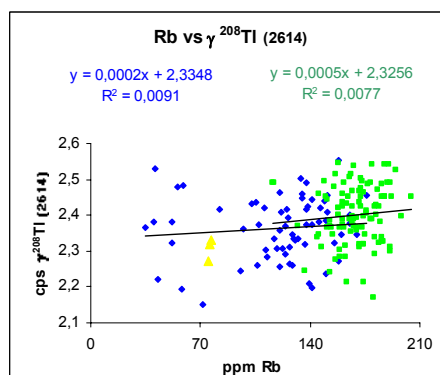
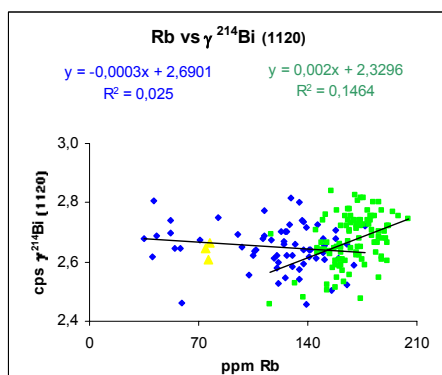
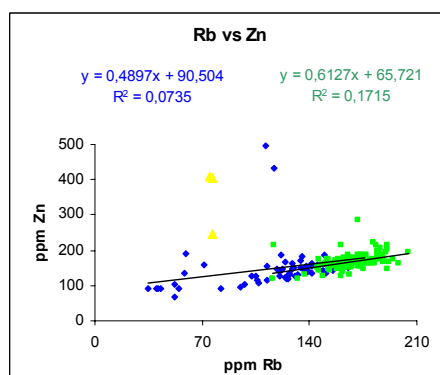
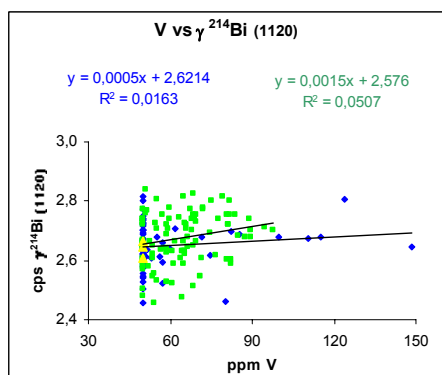
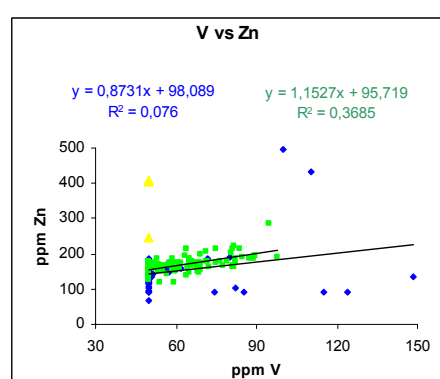
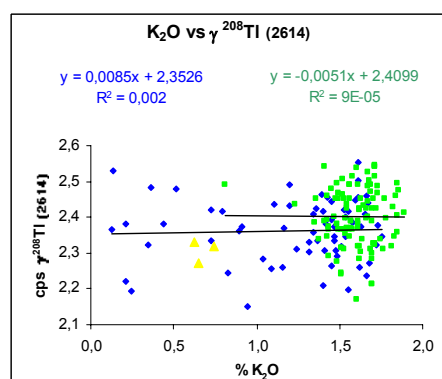
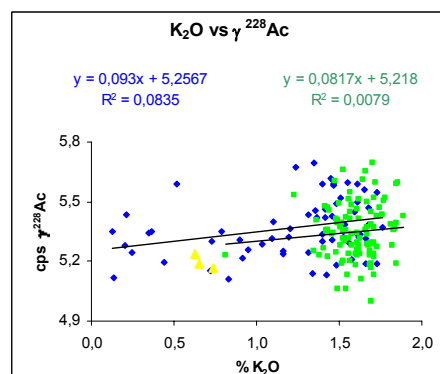
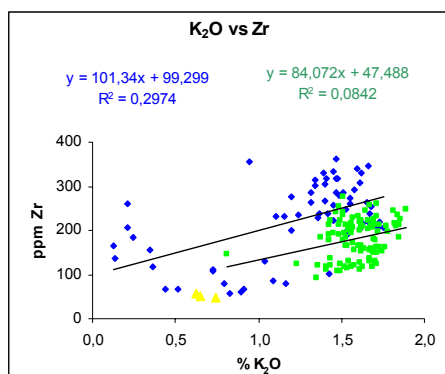
POZO A



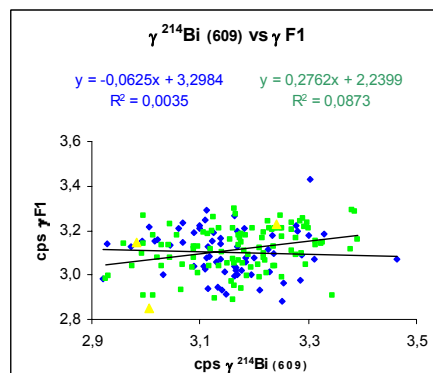
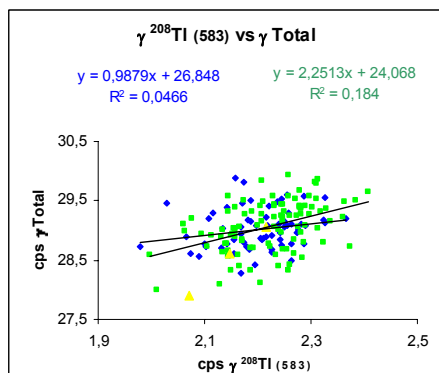
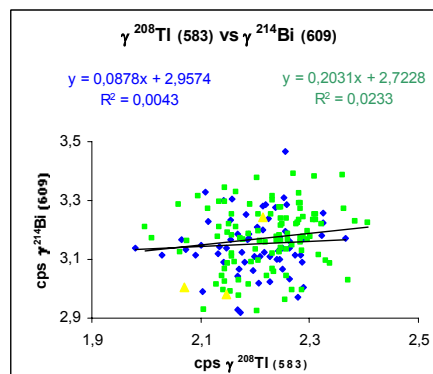
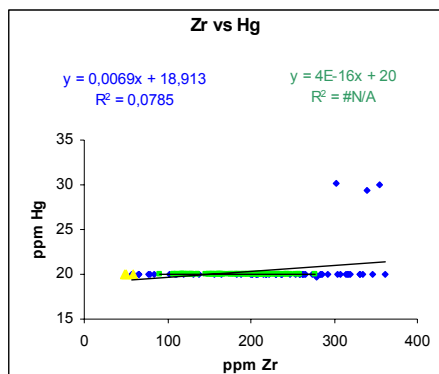
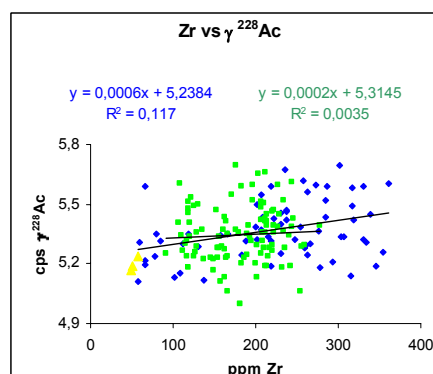
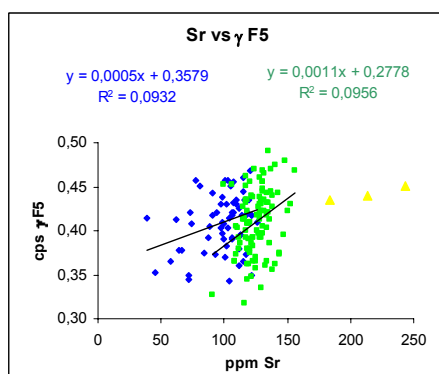
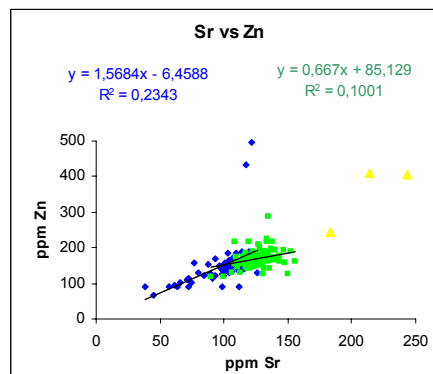
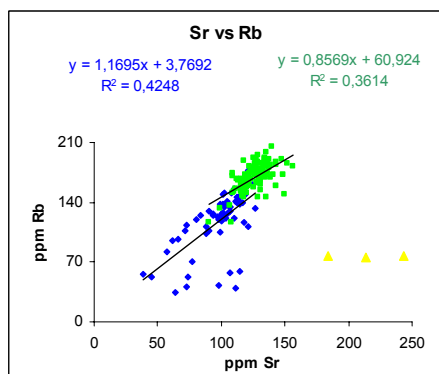
POZO A



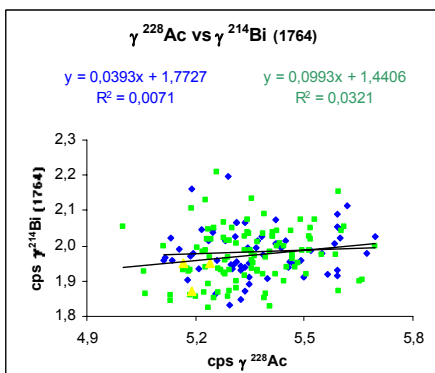
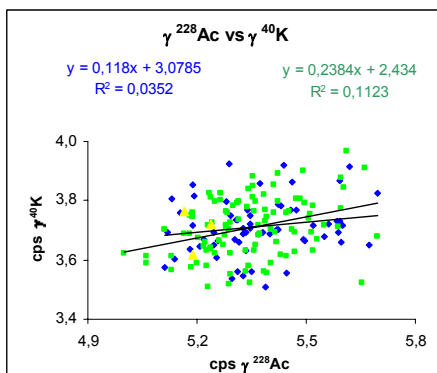
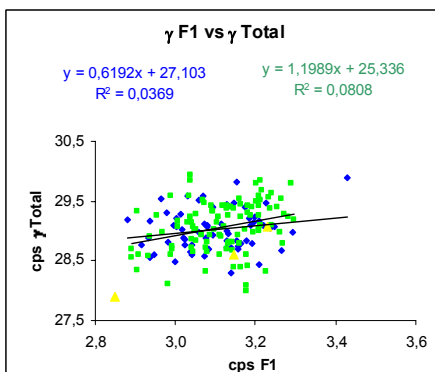
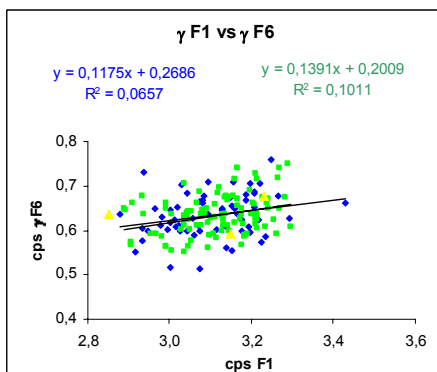
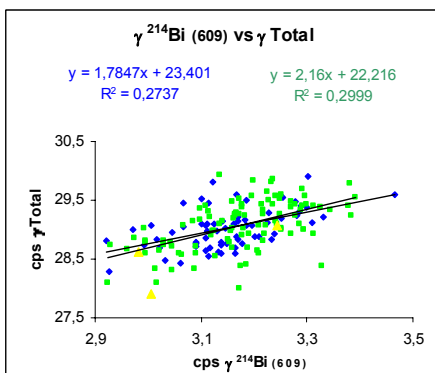
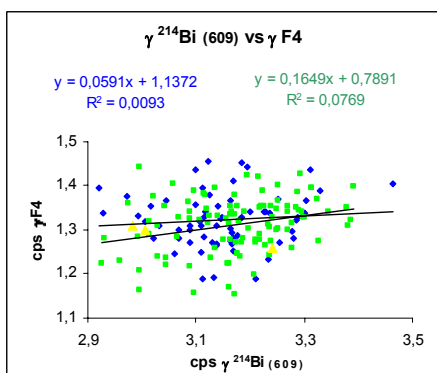
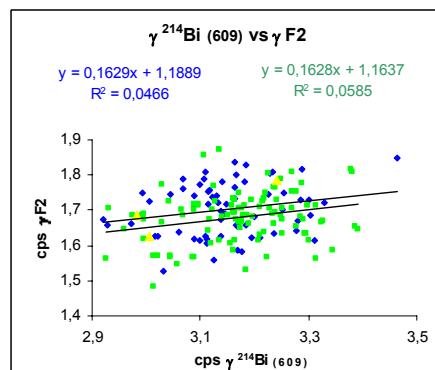
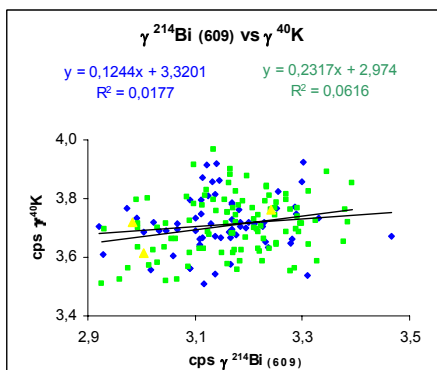
POZO A



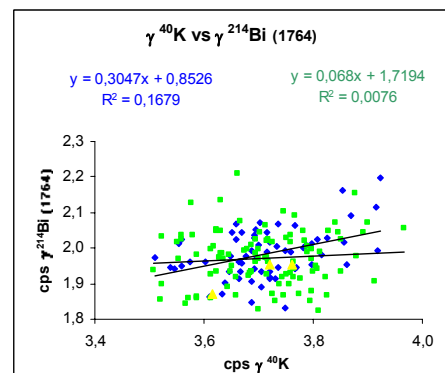
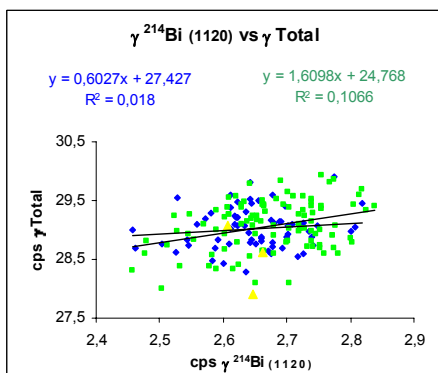
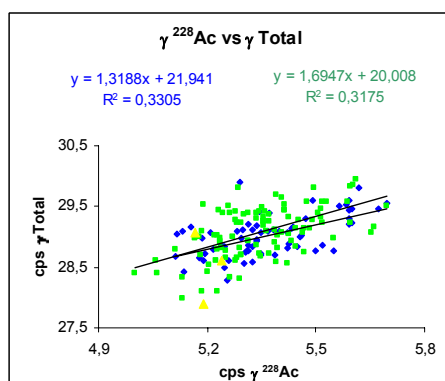
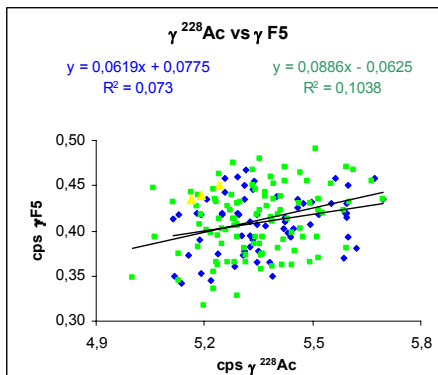
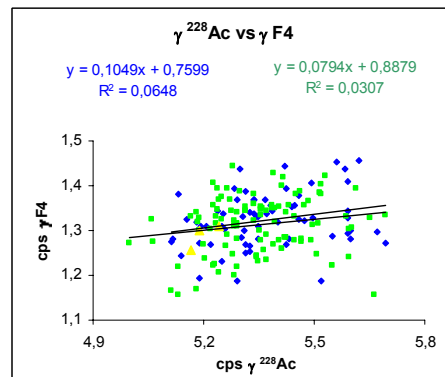
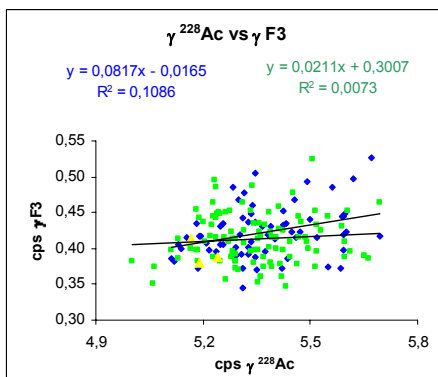
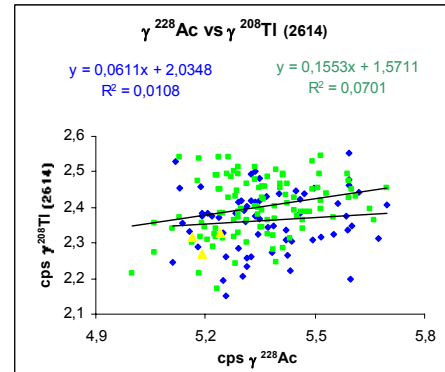
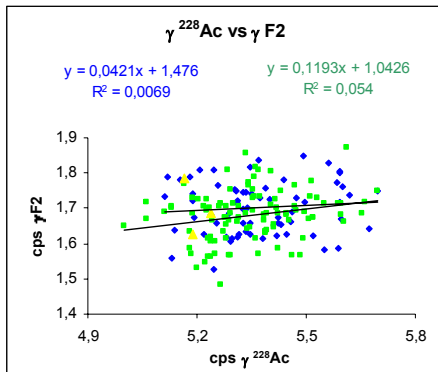
POZO A



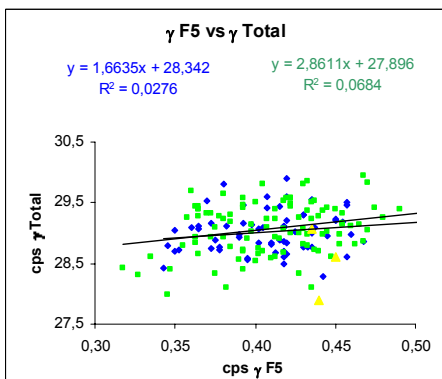
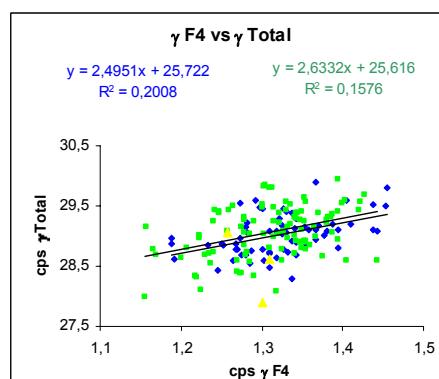
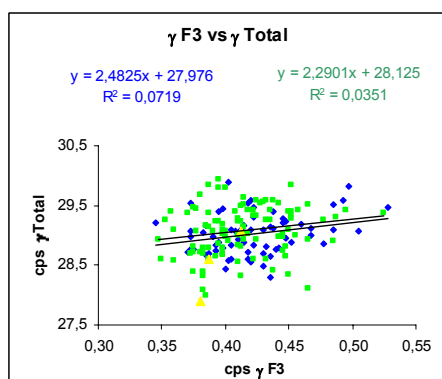
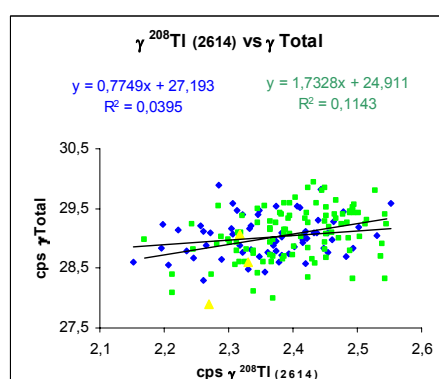
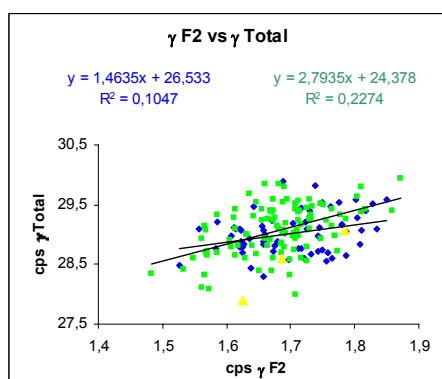
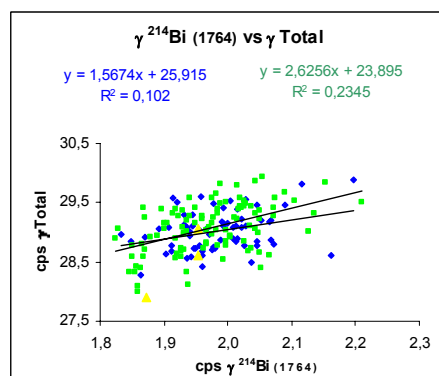
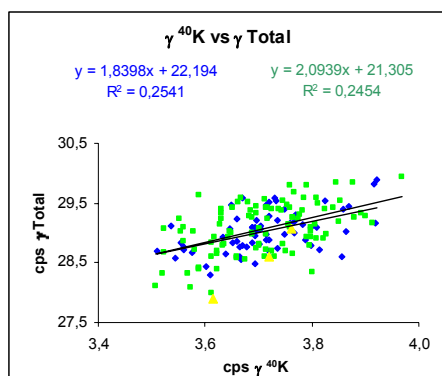
POZO A



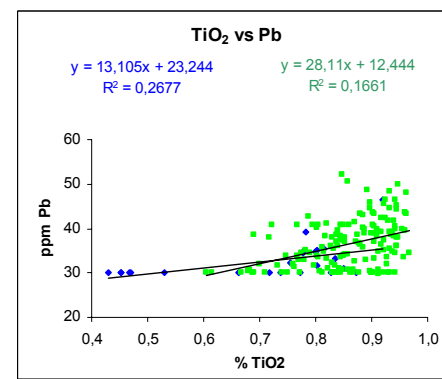
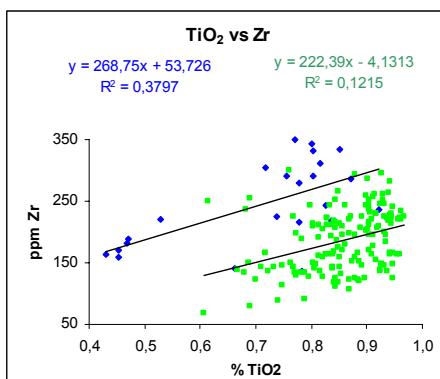
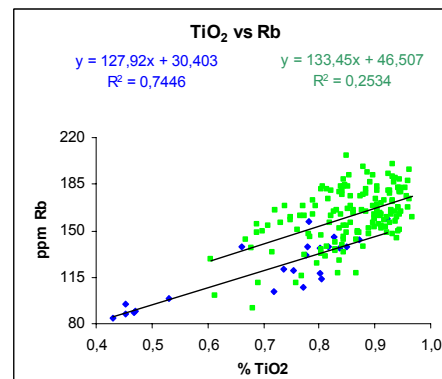
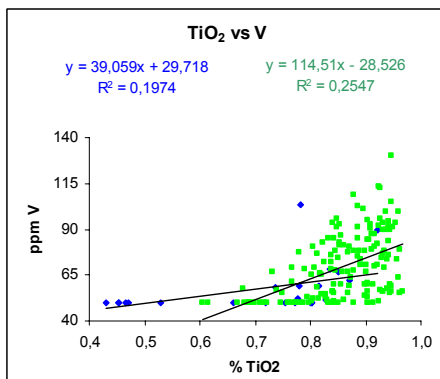
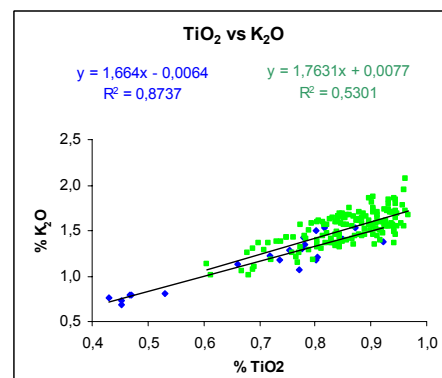
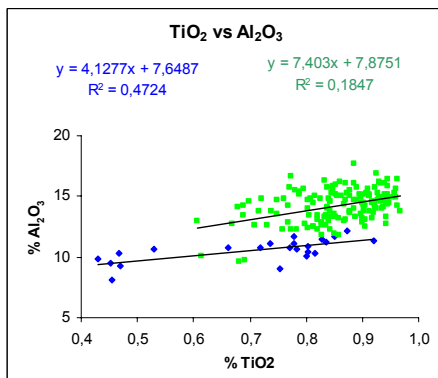
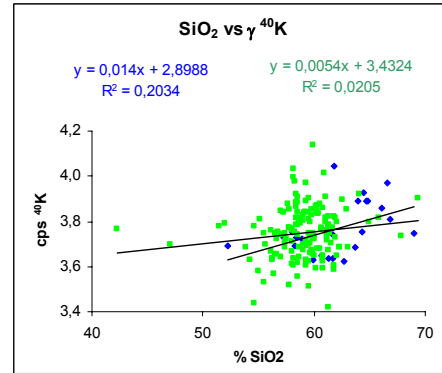
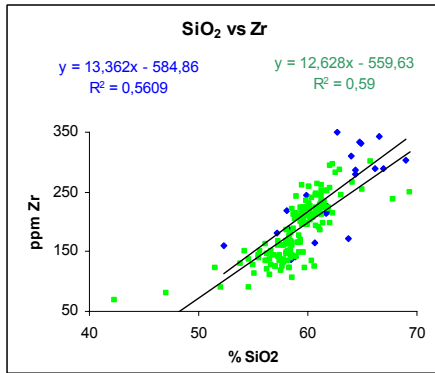
POZO A



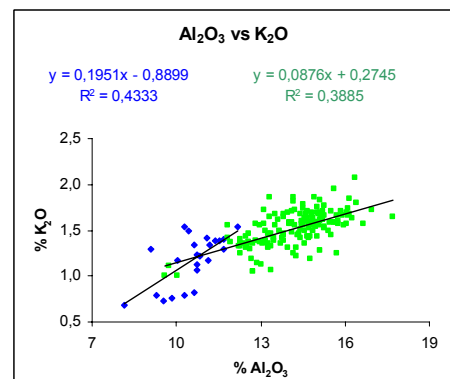
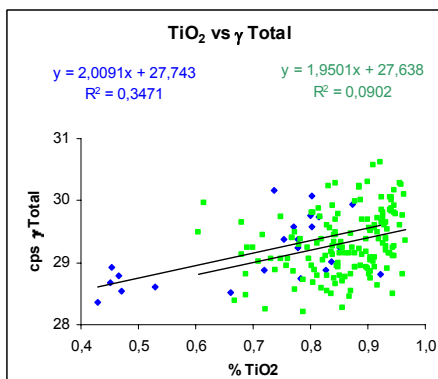
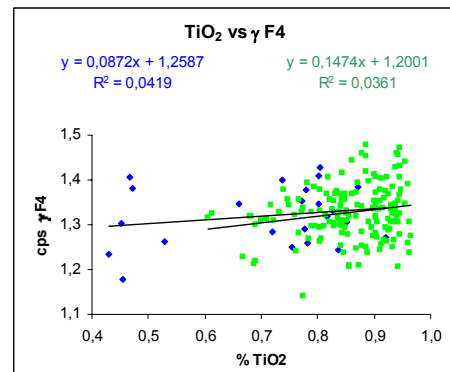
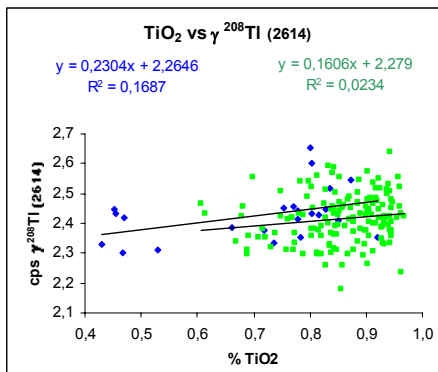
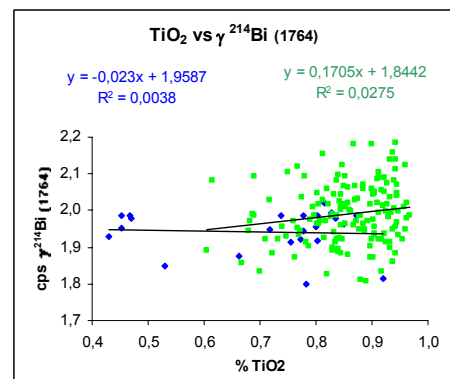
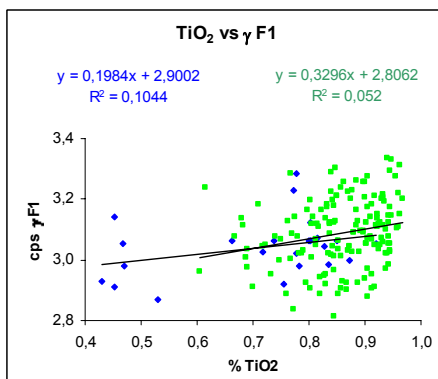
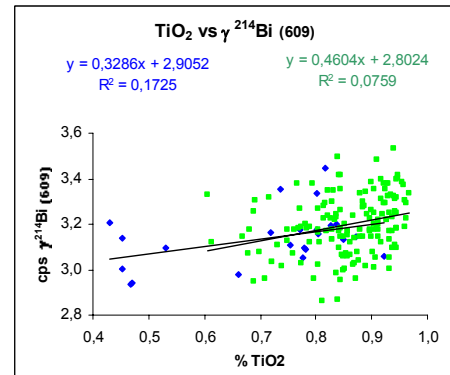
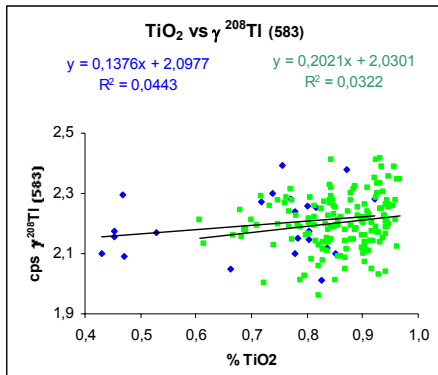
POZO A



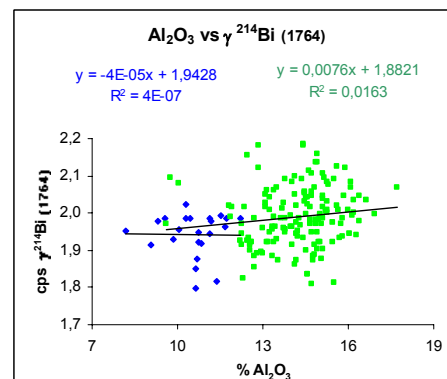
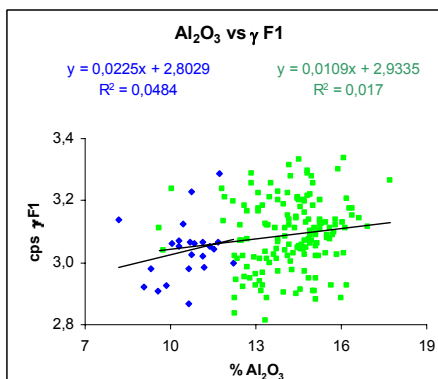
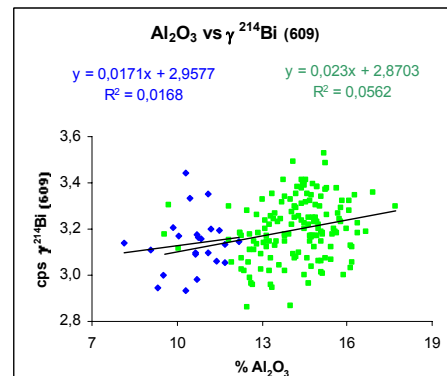
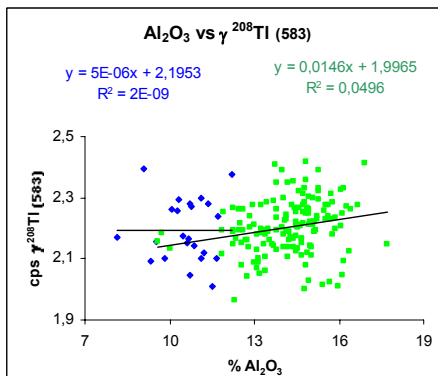
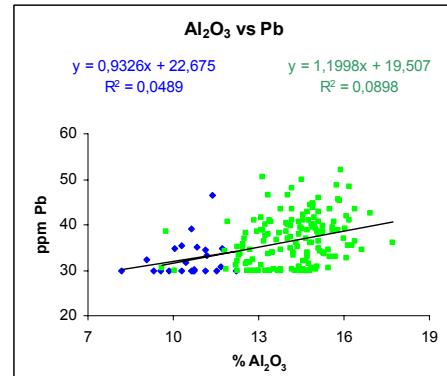
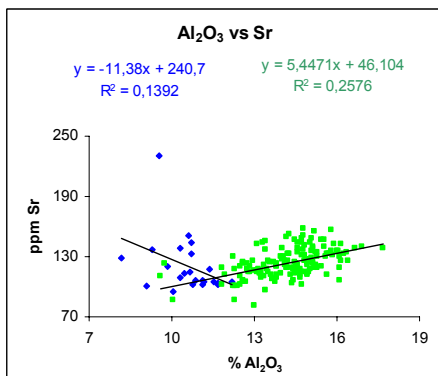
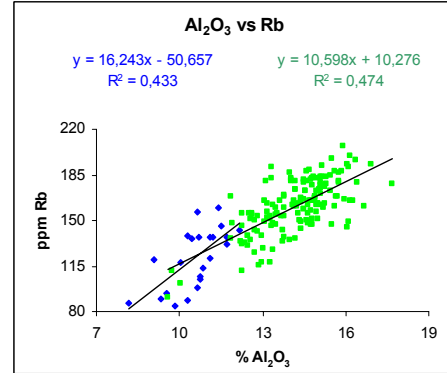
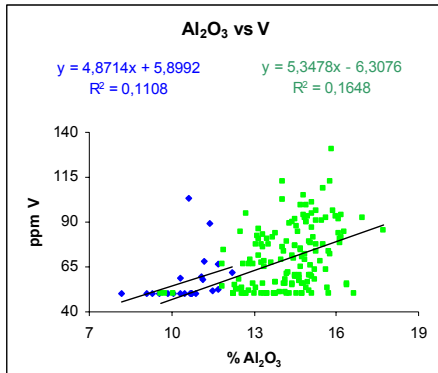
POZO B



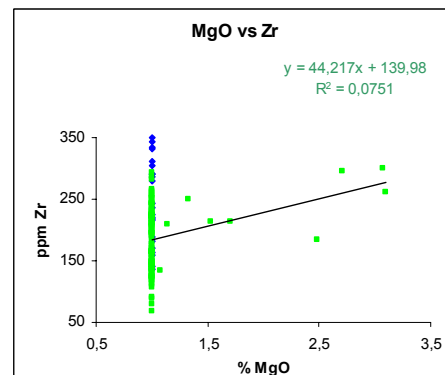
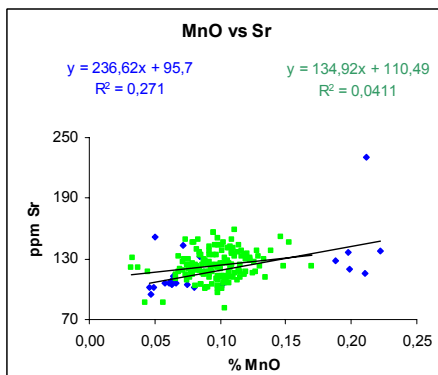
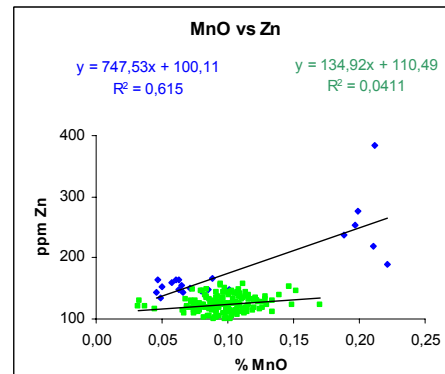
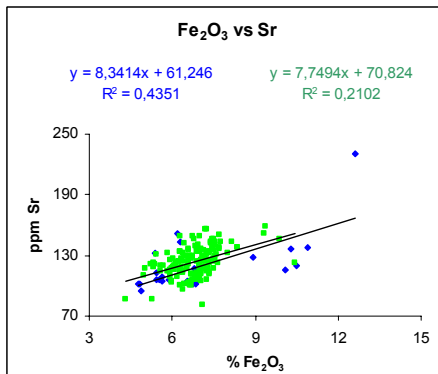
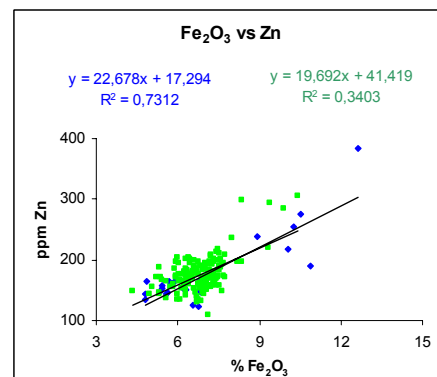
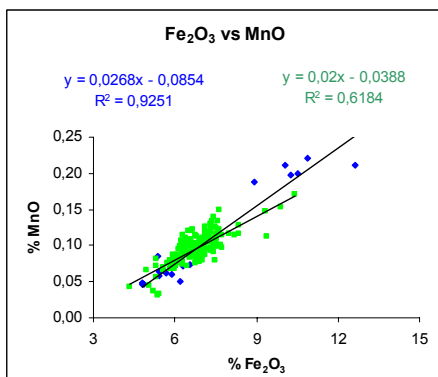
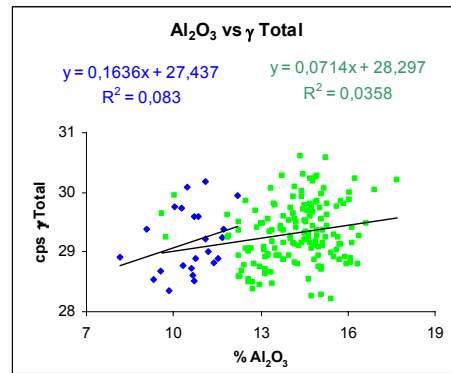
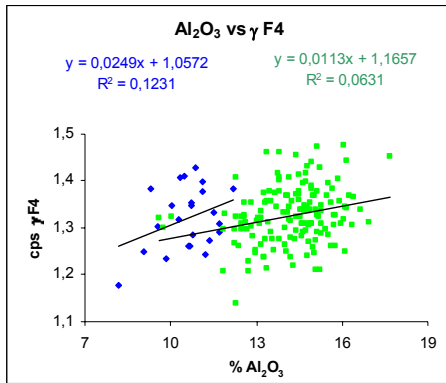
POZO B



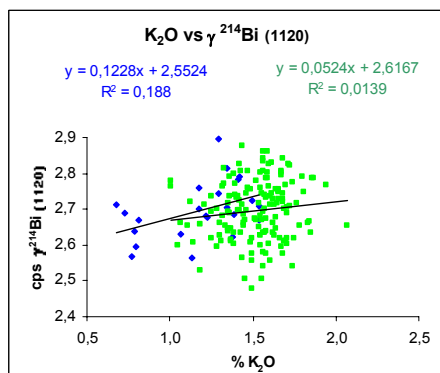
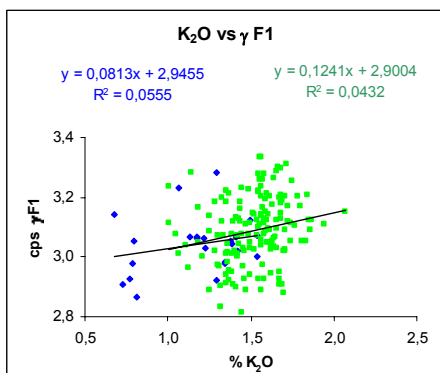
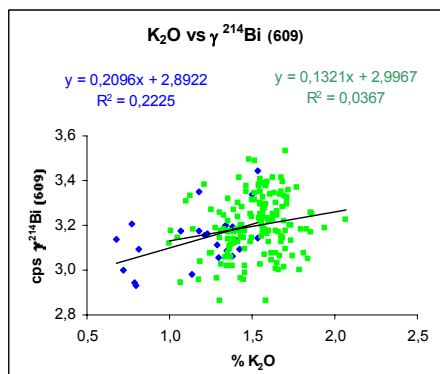
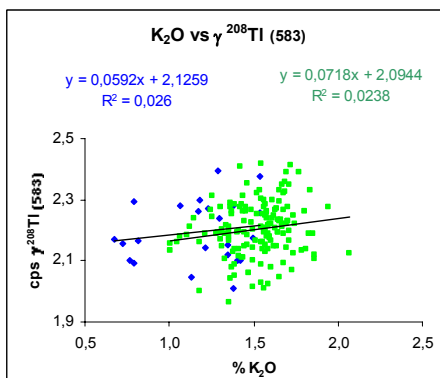
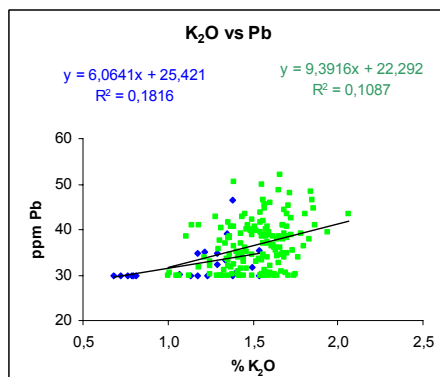
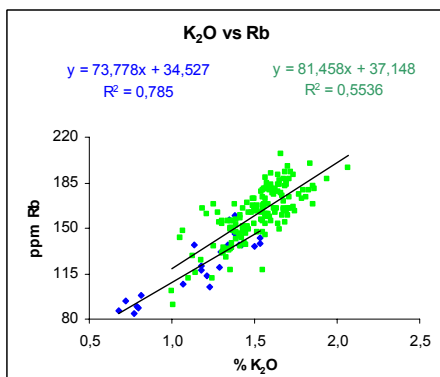
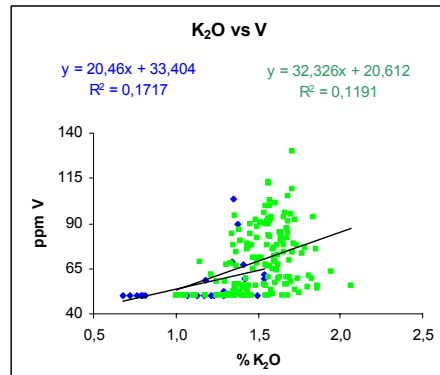
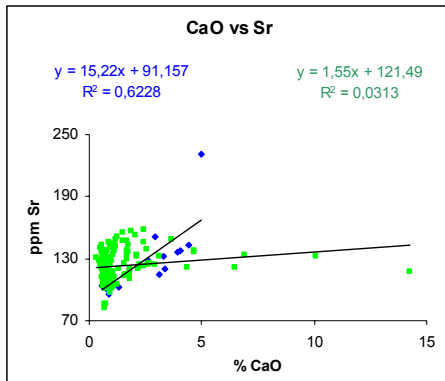
POZO B



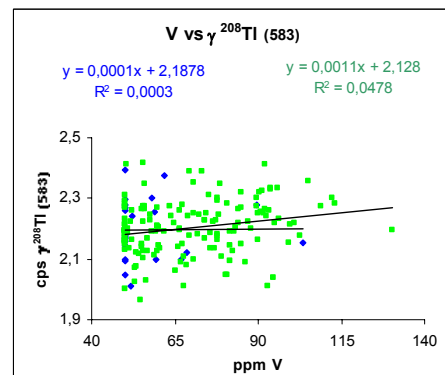
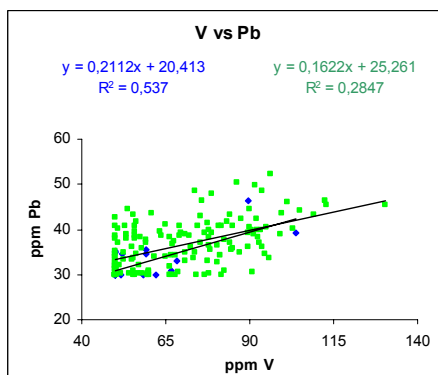
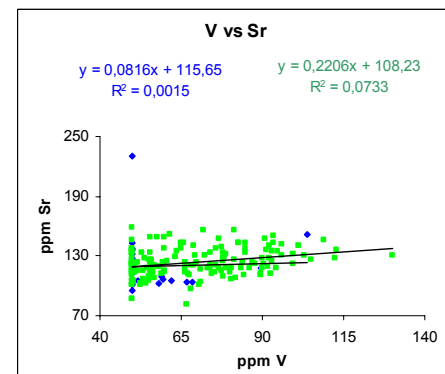
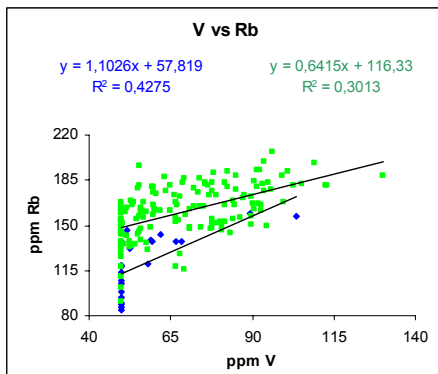
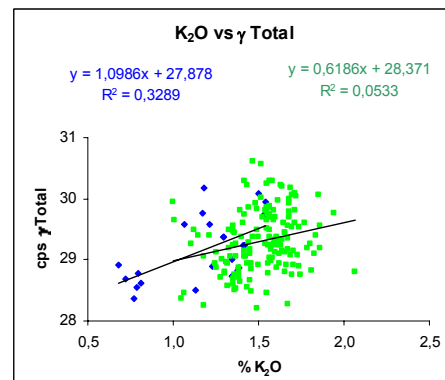
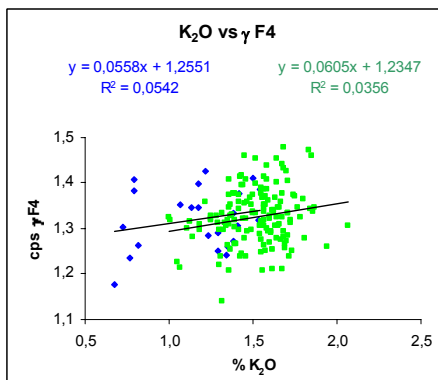
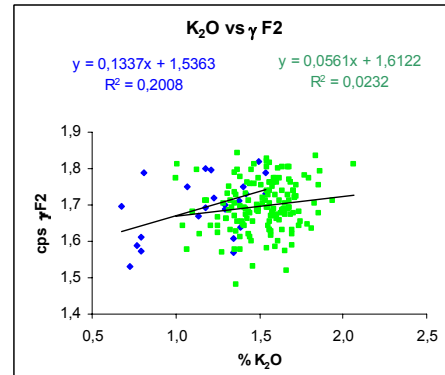
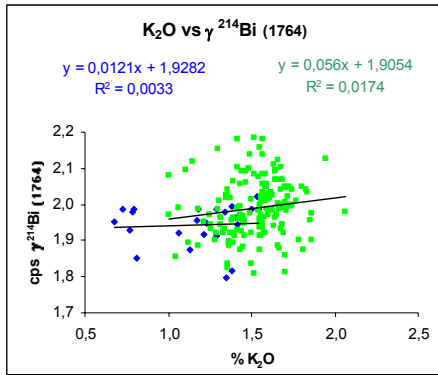
POZO B



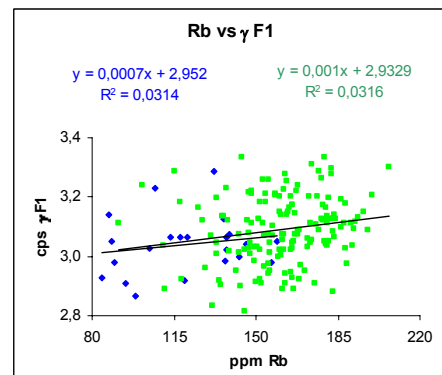
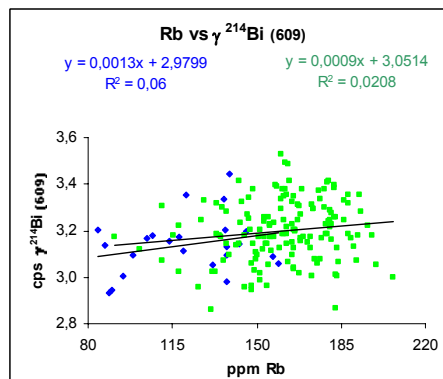
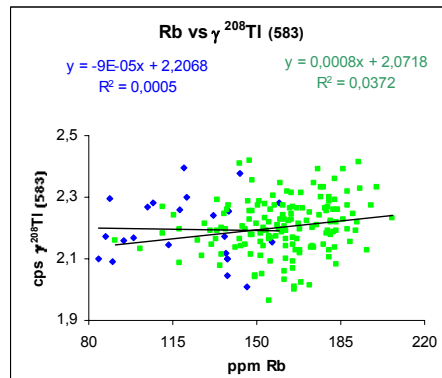
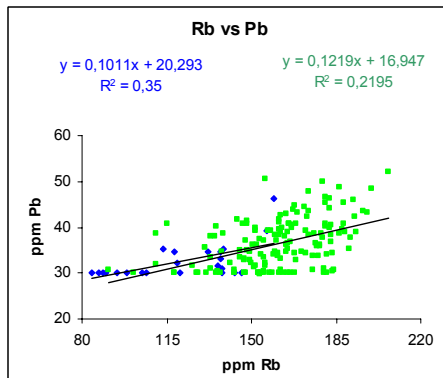
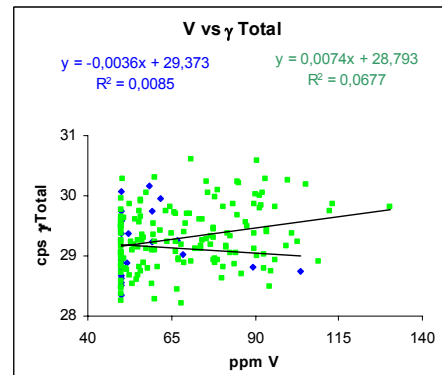
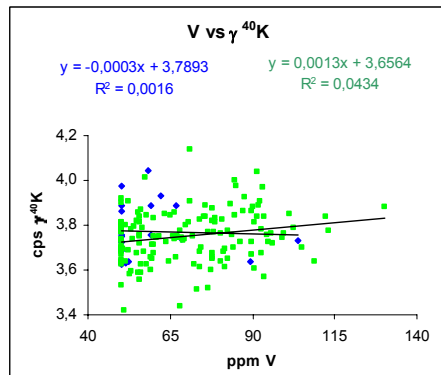
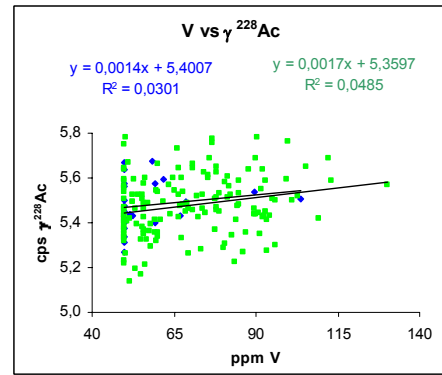
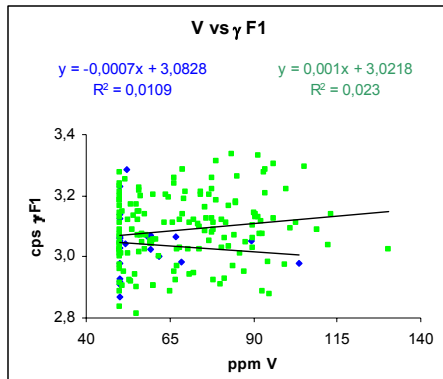
POZO B



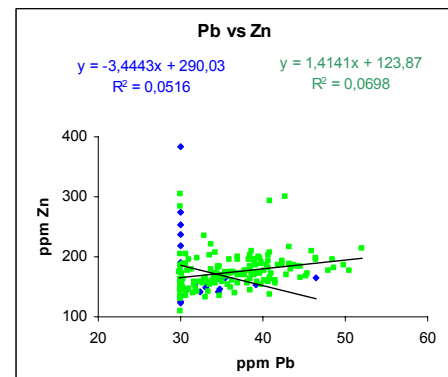
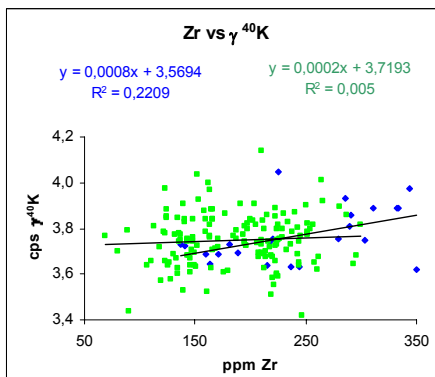
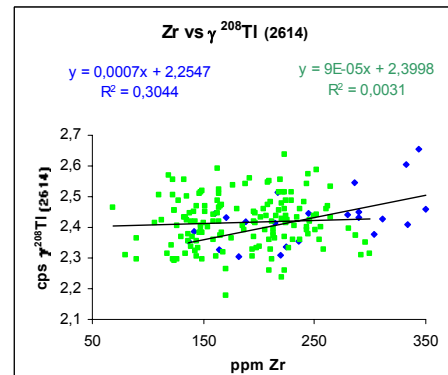
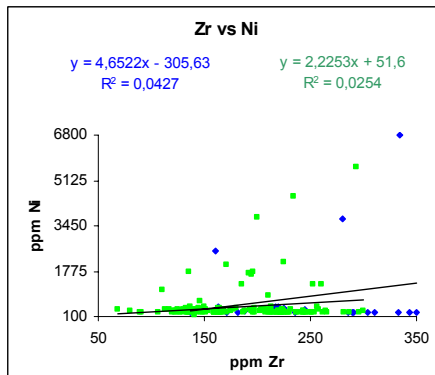
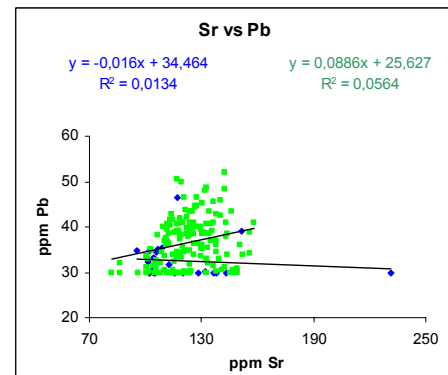
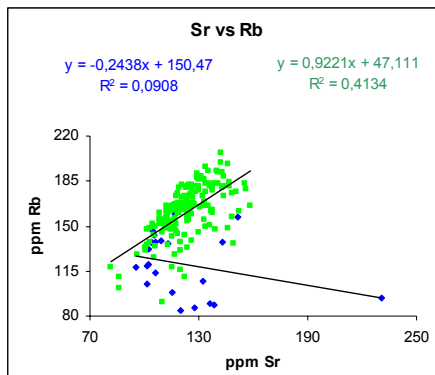
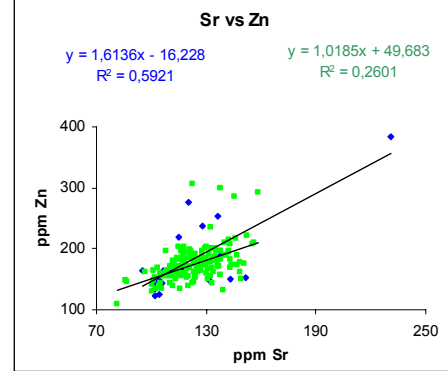
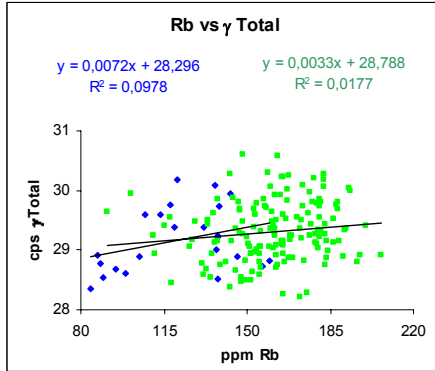
POZO B



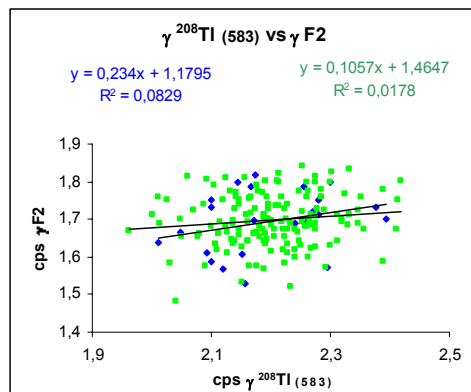
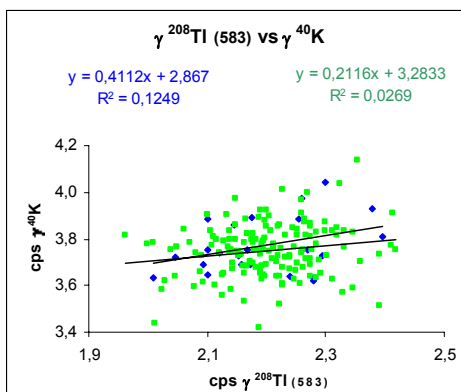
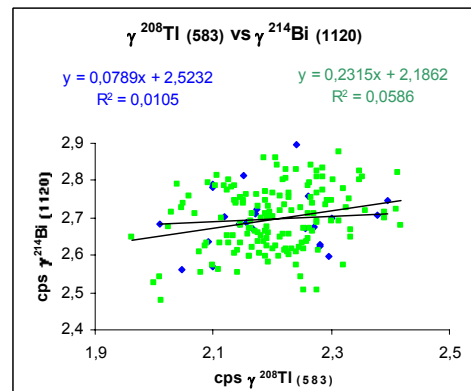
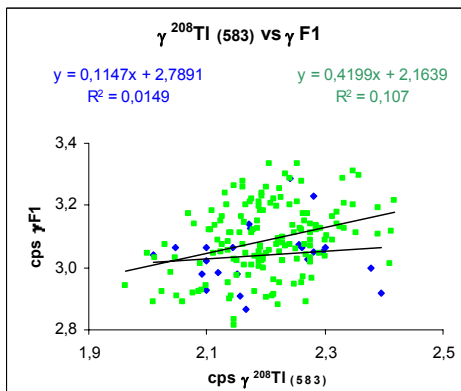
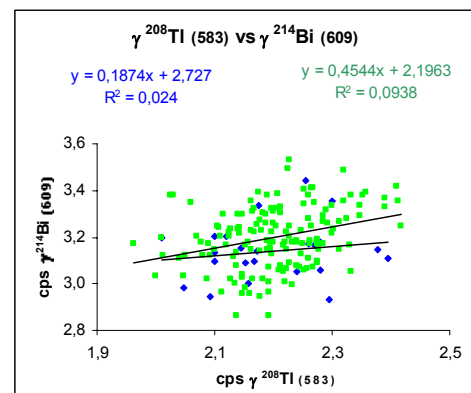
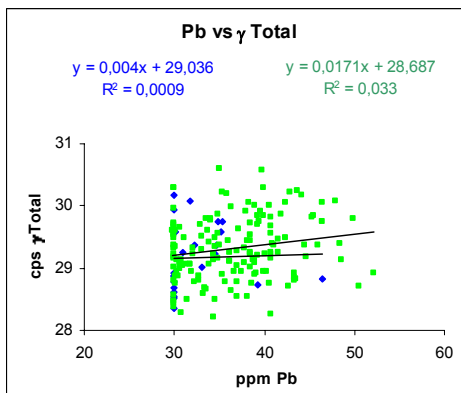
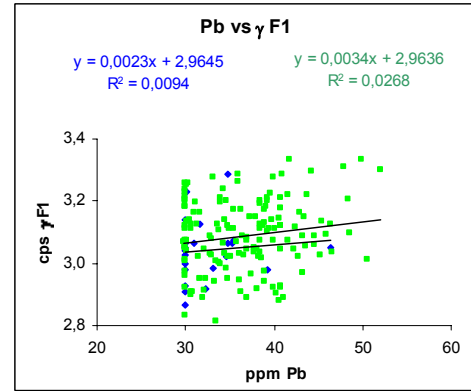
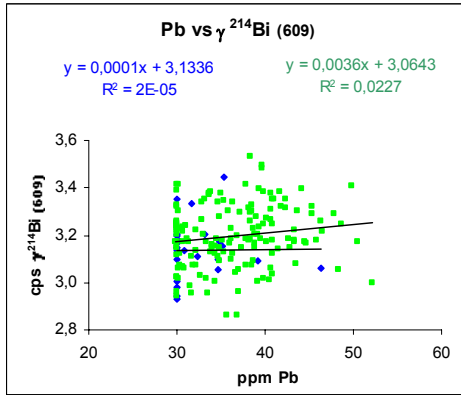
POZO B



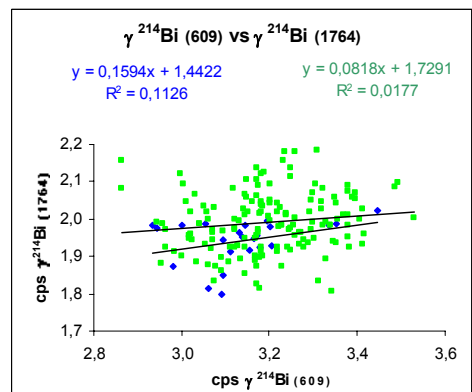
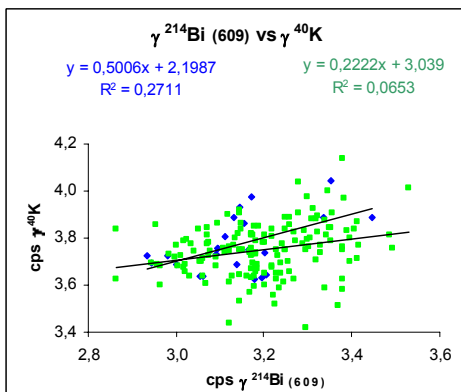
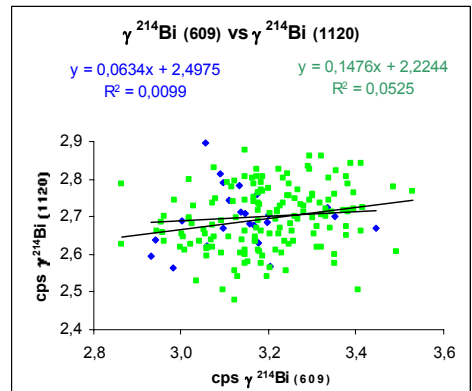
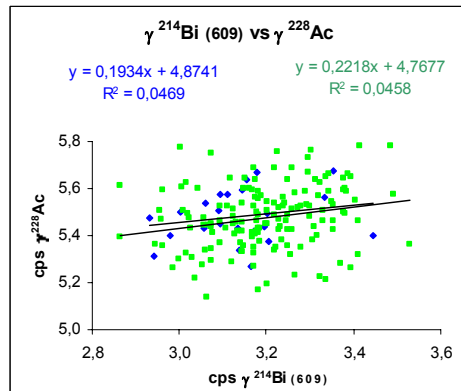
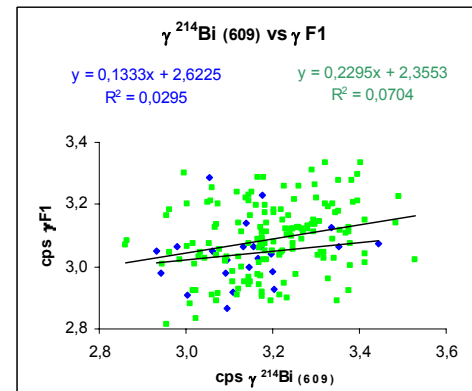
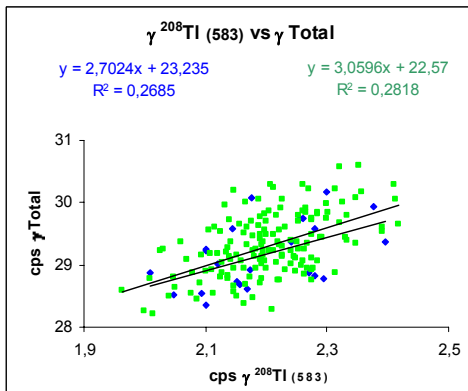
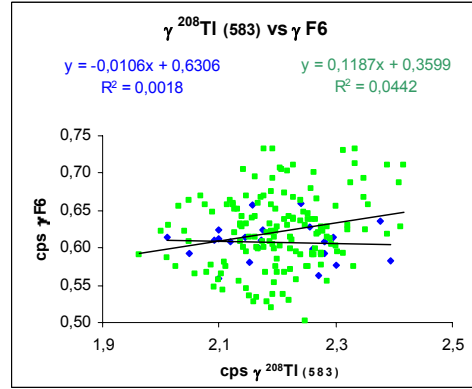
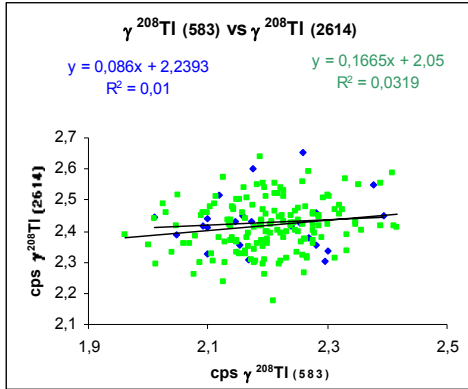
POZO B



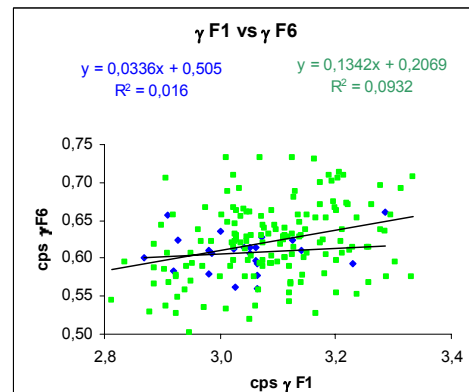
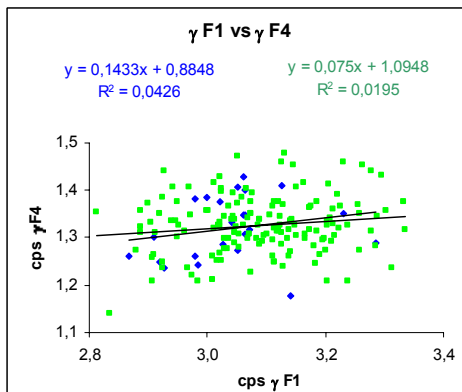
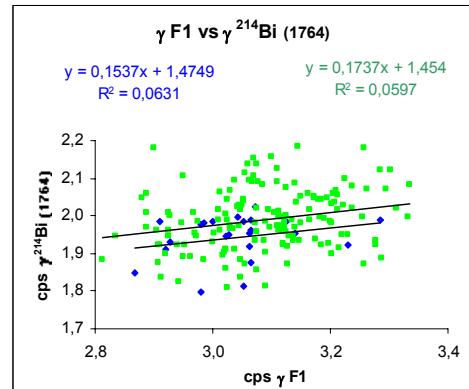
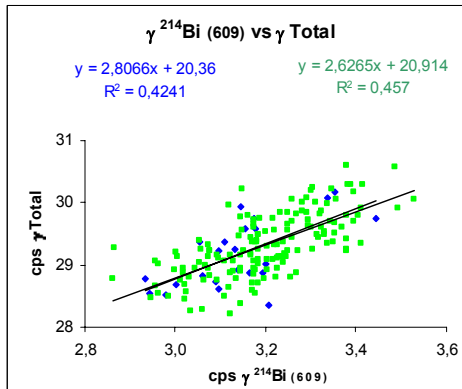
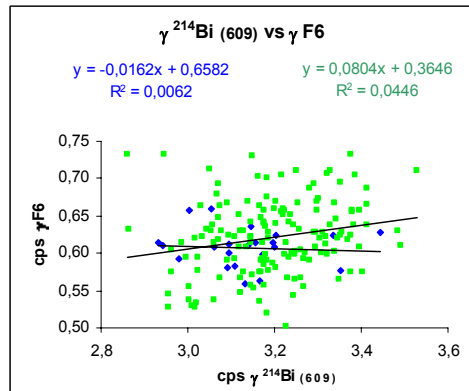
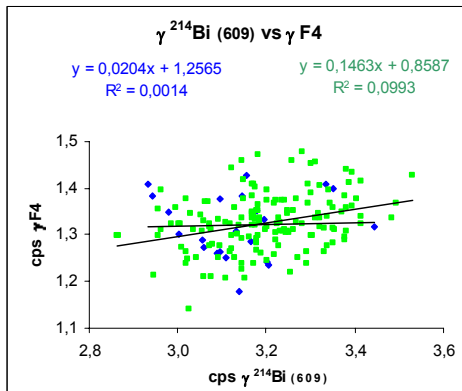
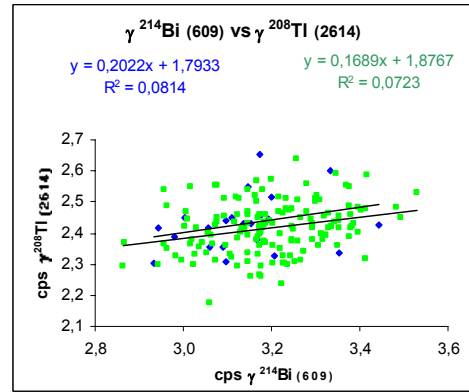
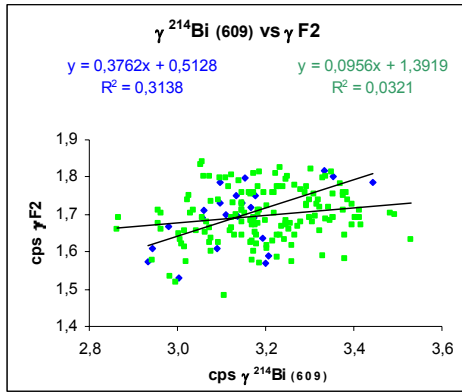
POZO B



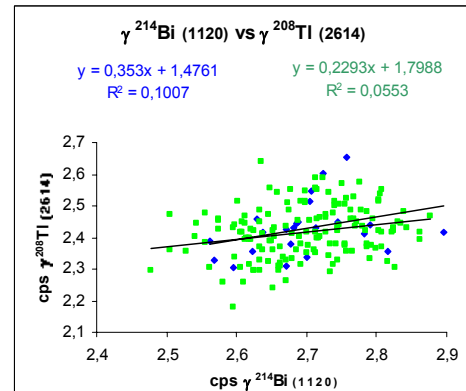
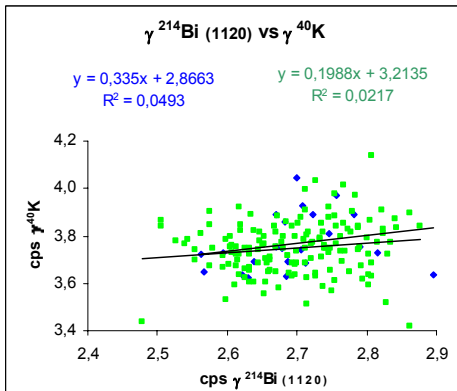
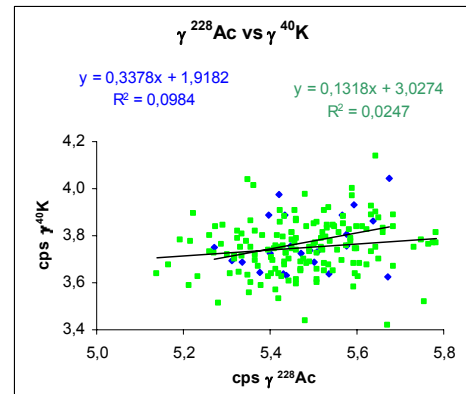
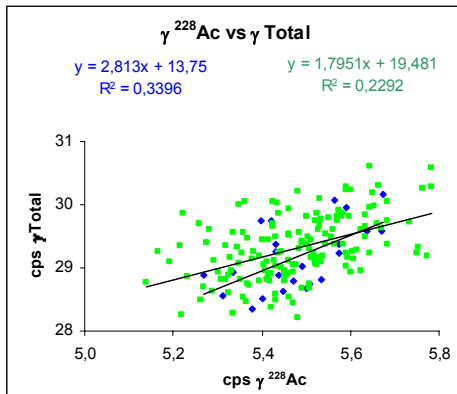
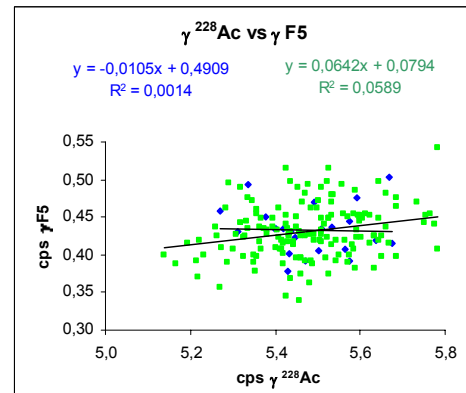
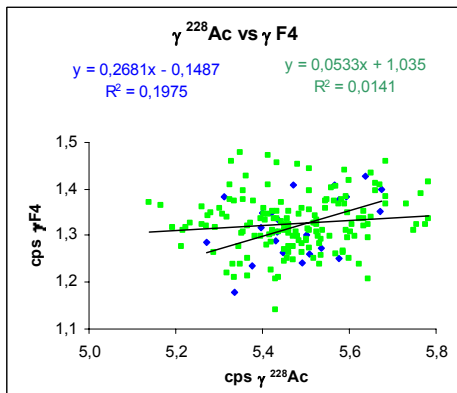
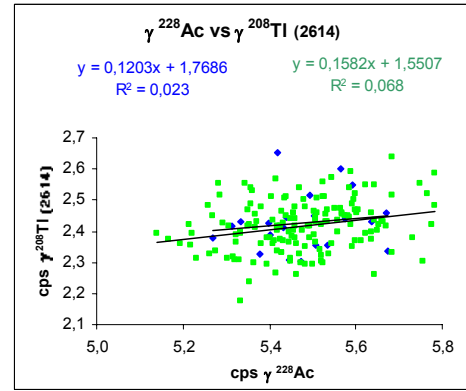
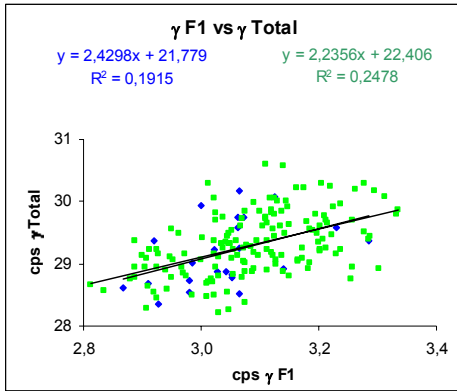
POZO B



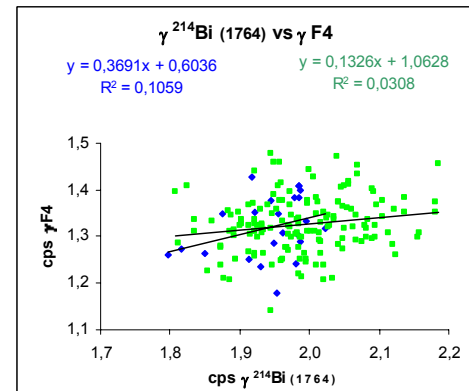
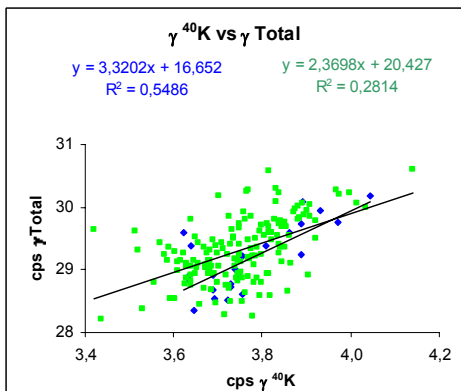
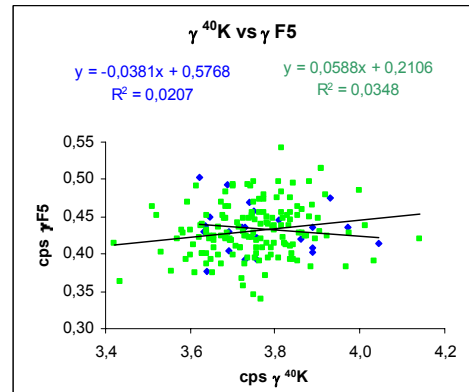
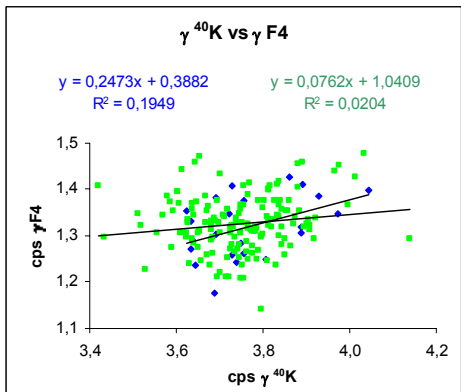
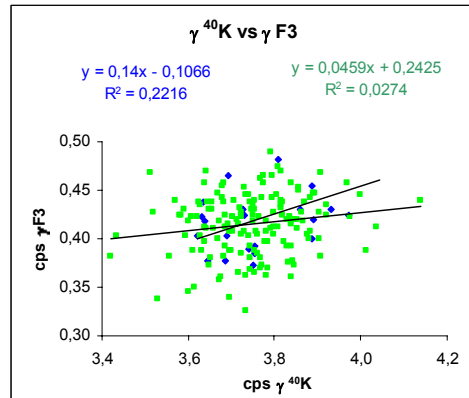
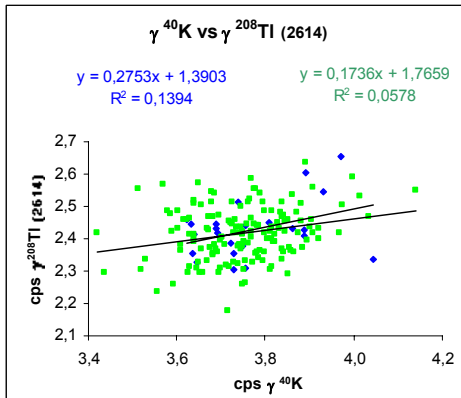
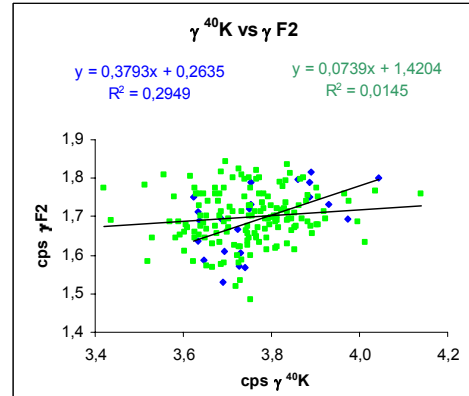
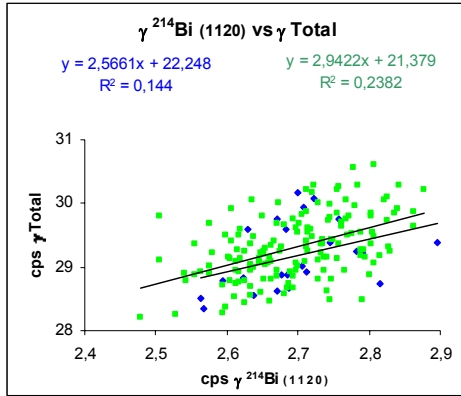
POZO B



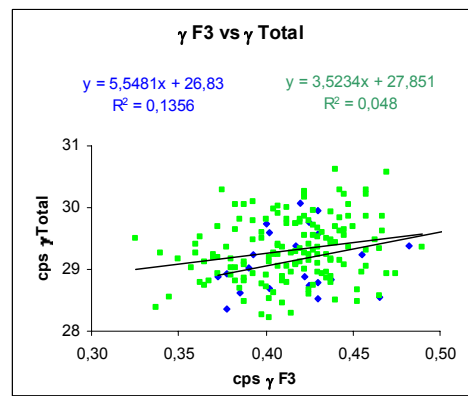
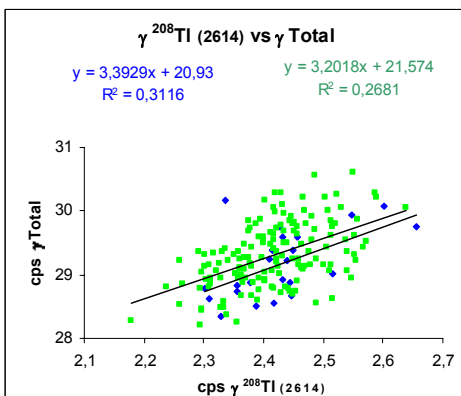
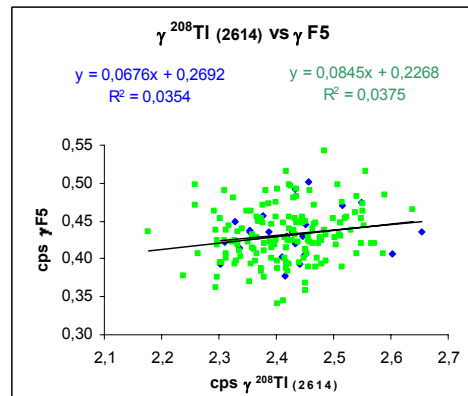
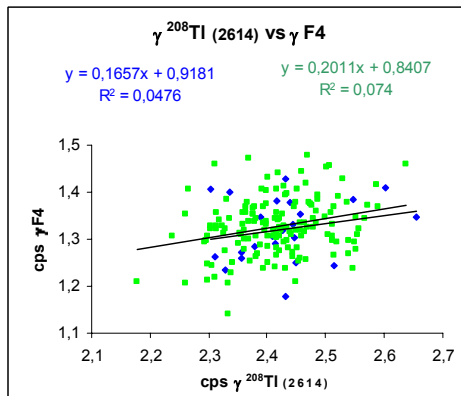
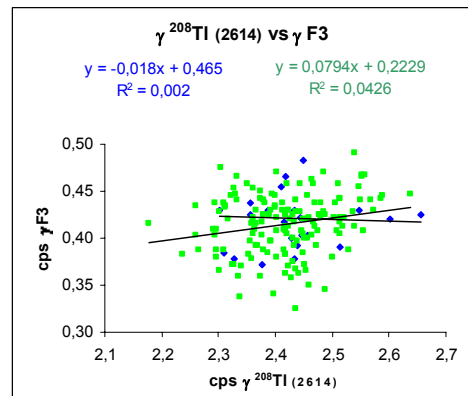
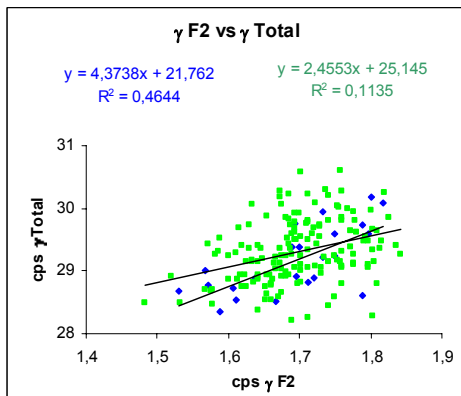
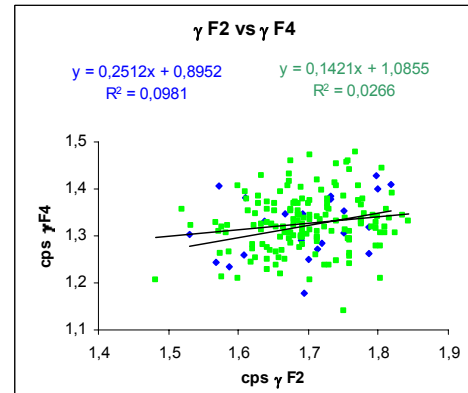
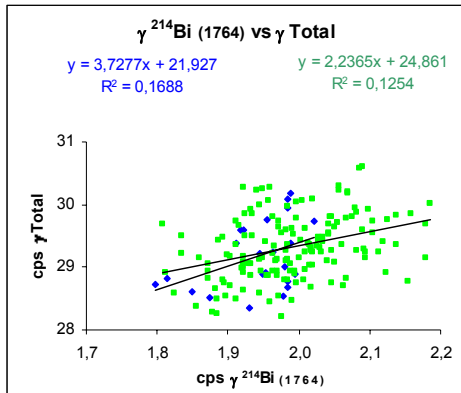
POZO B



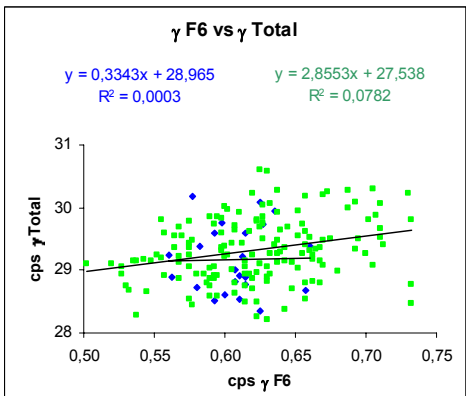
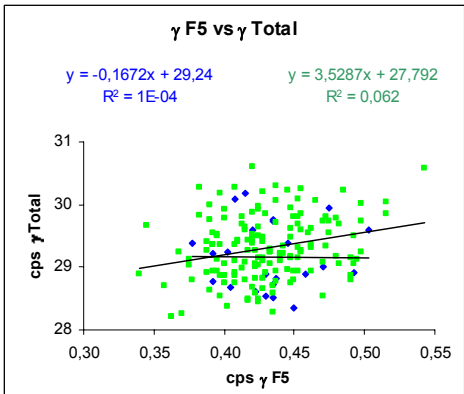
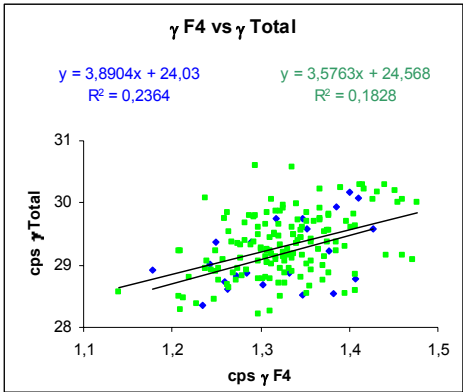
POZO B



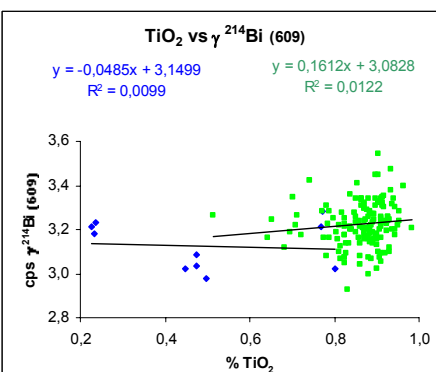
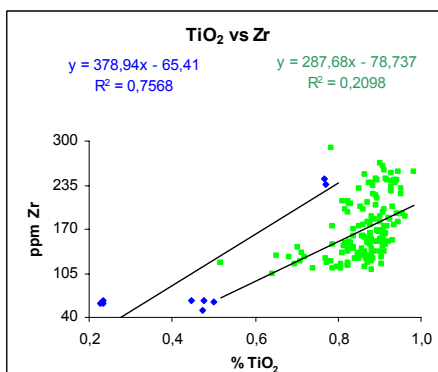
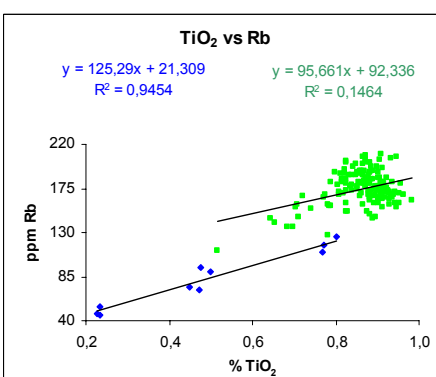
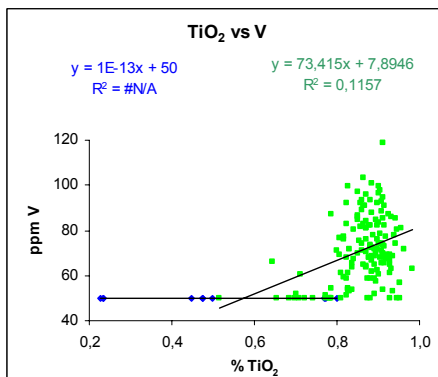
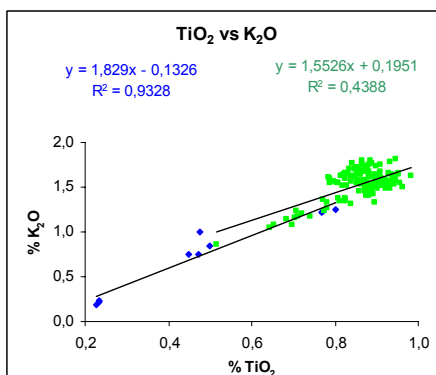
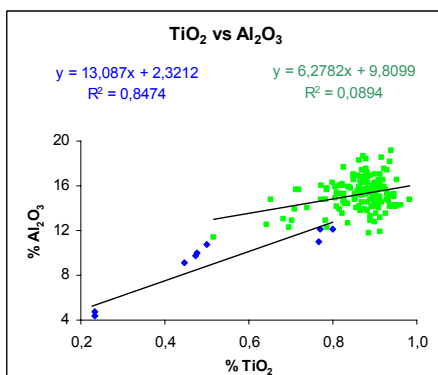
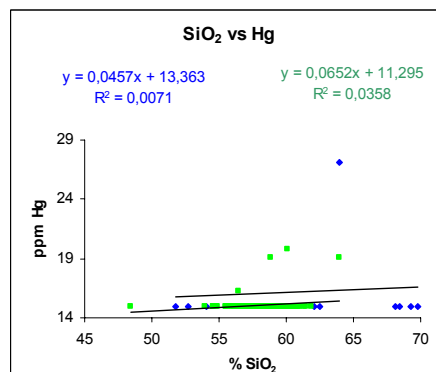
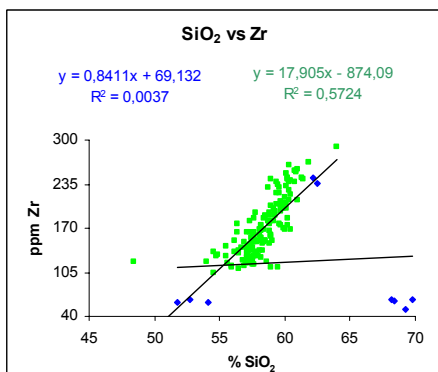
POZO B



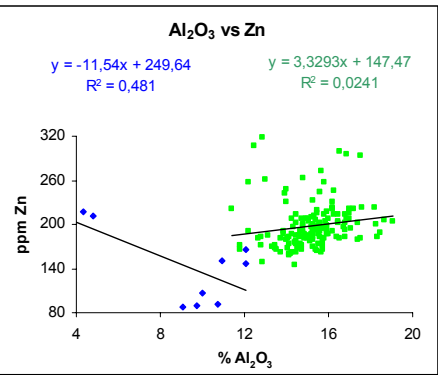
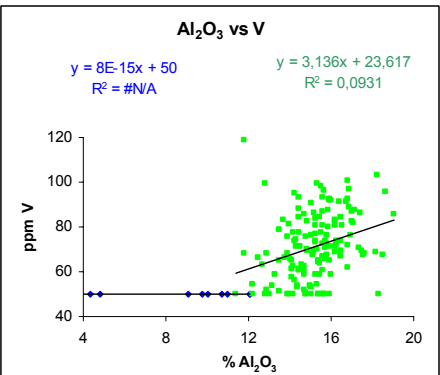
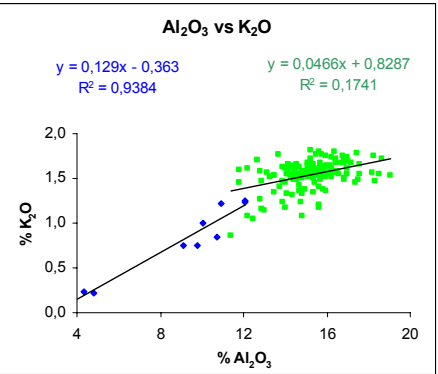
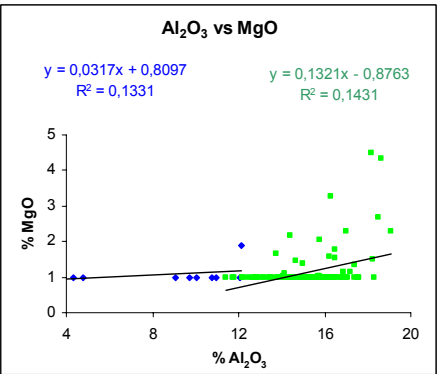
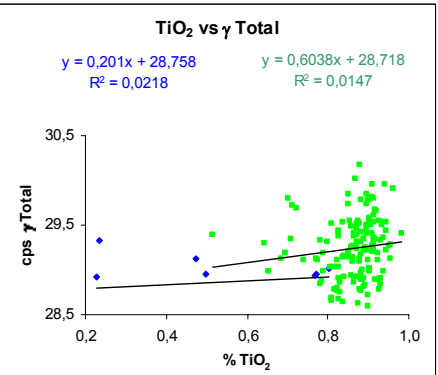
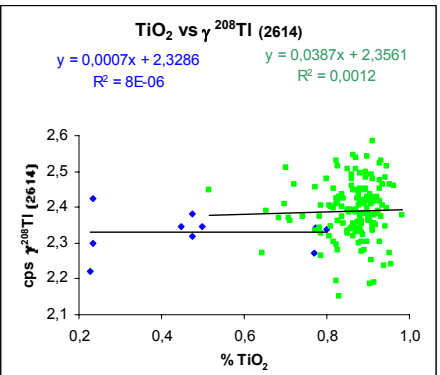
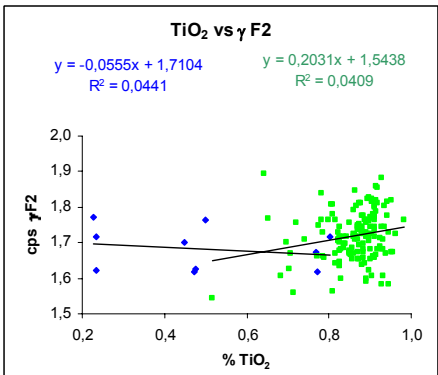
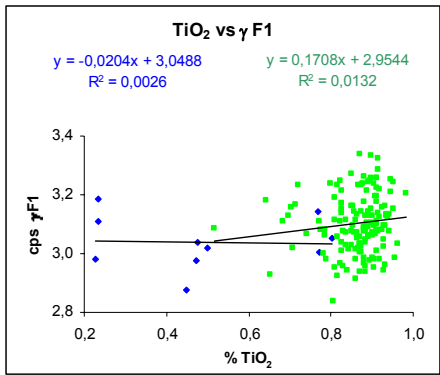
POZO B



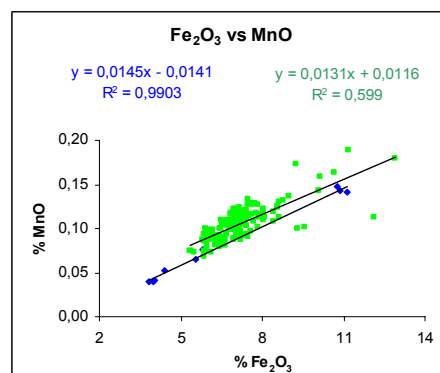
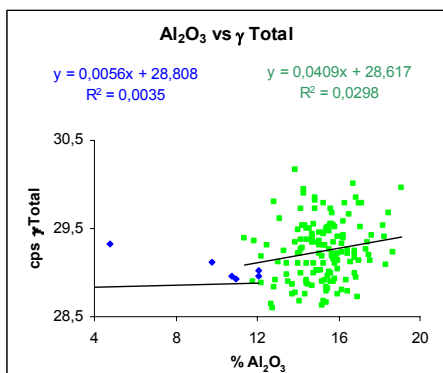
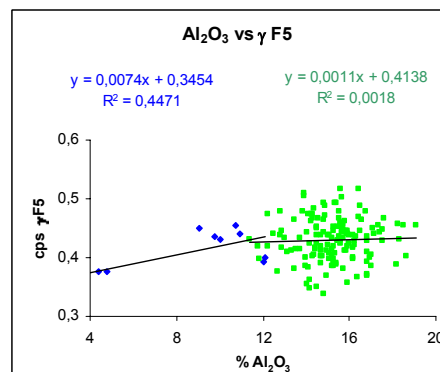
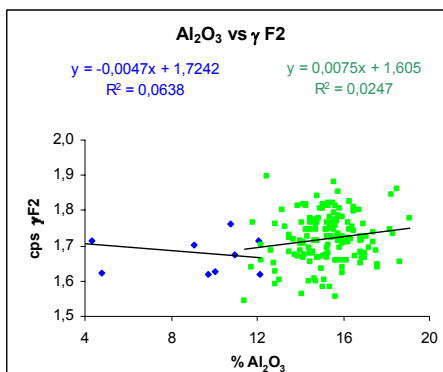
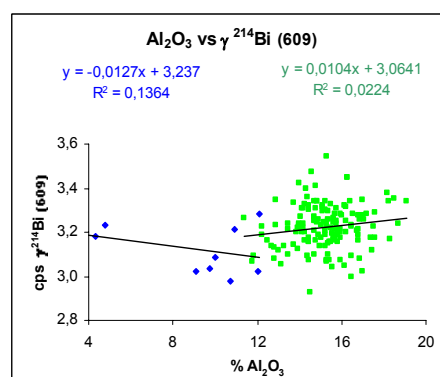
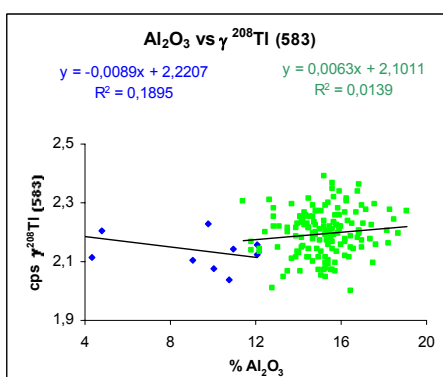
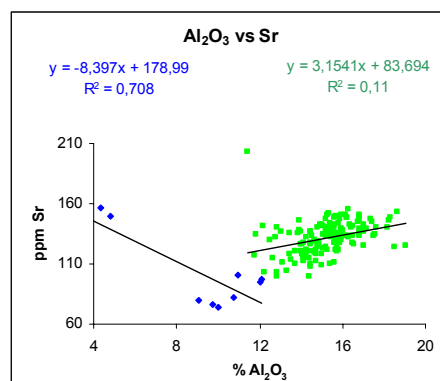
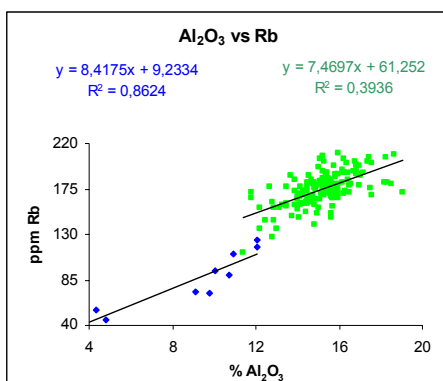
POZO C



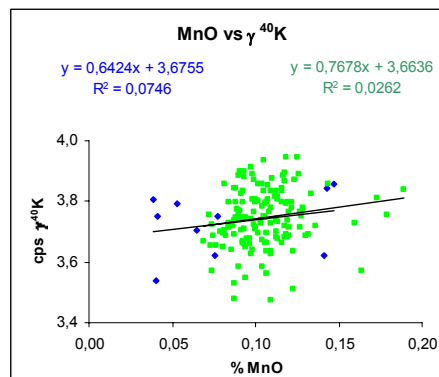
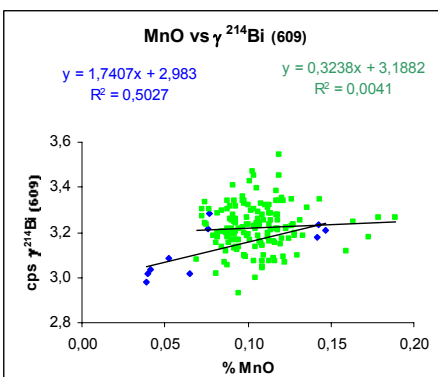
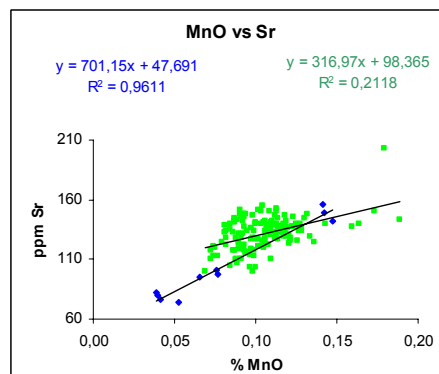
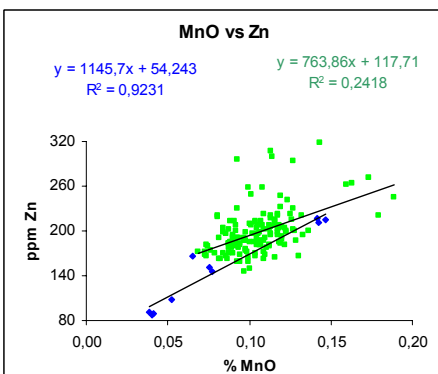
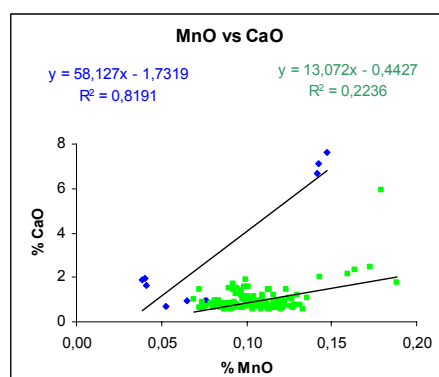
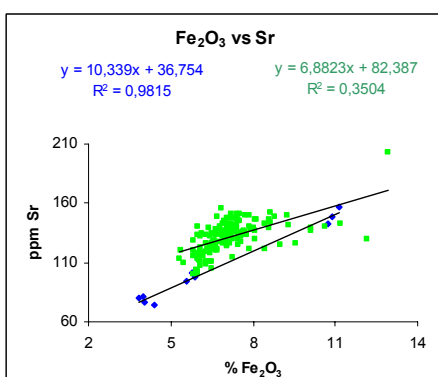
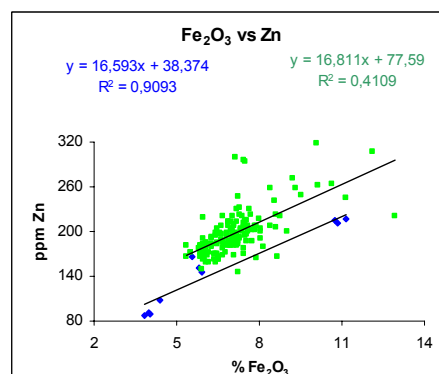
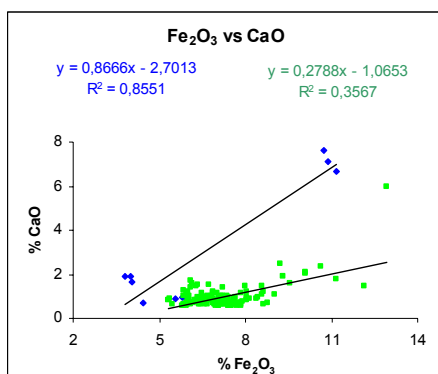
POZO C



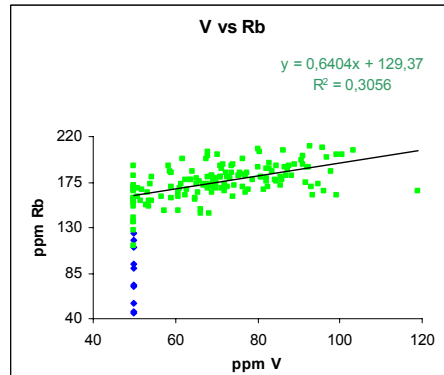
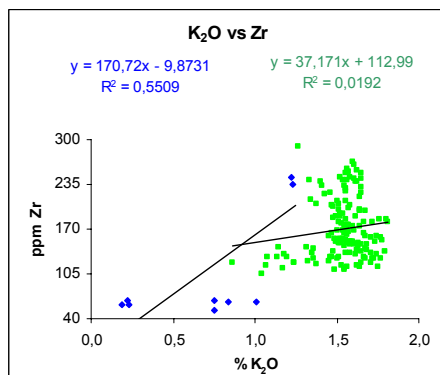
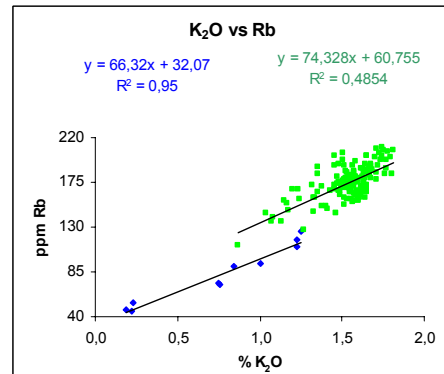
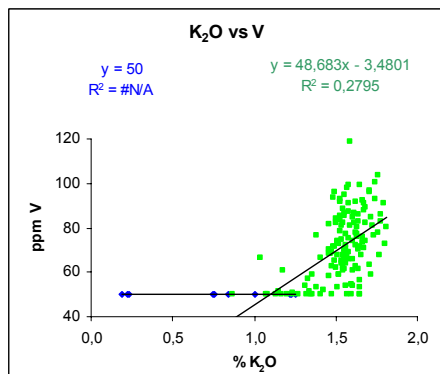
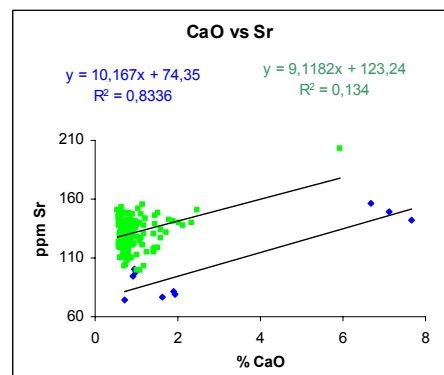
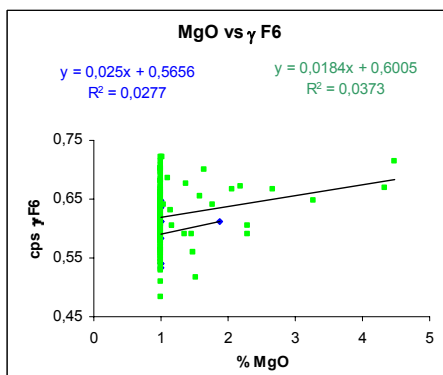
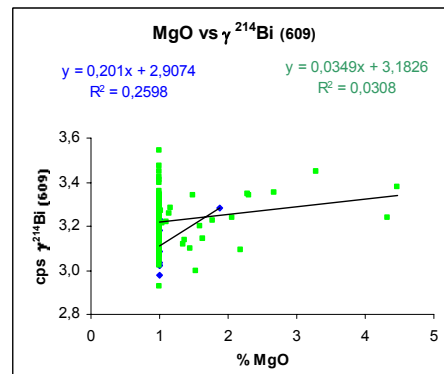
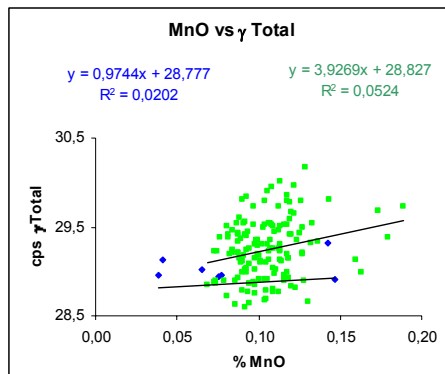
POZO C



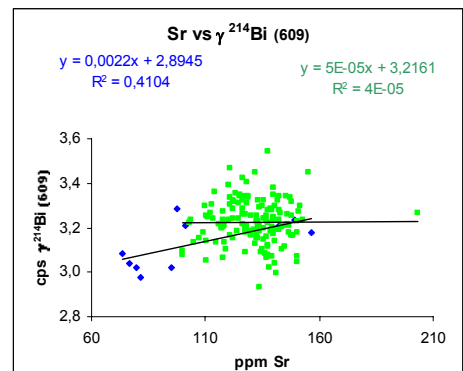
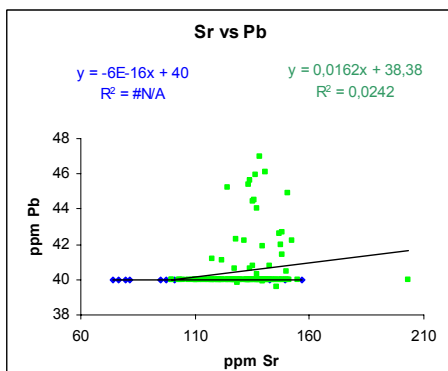
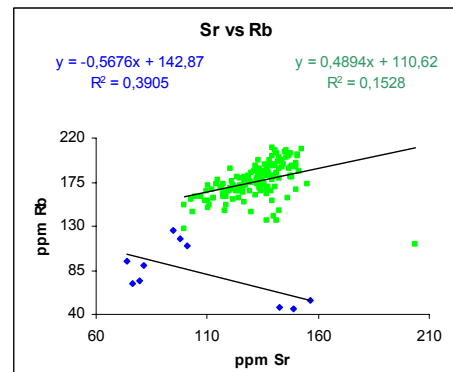
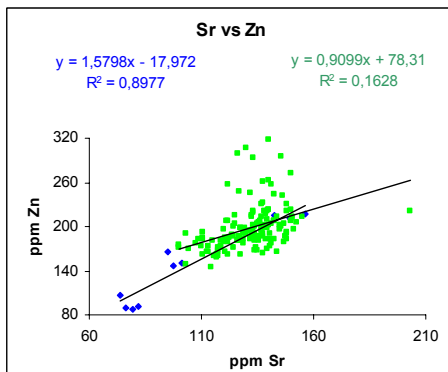
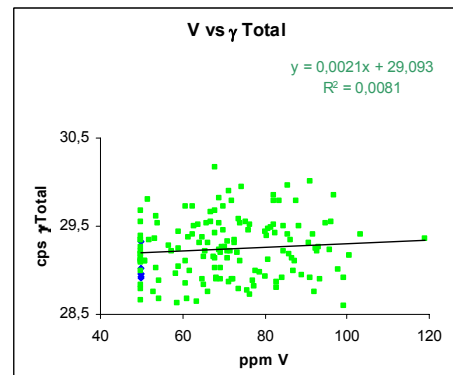
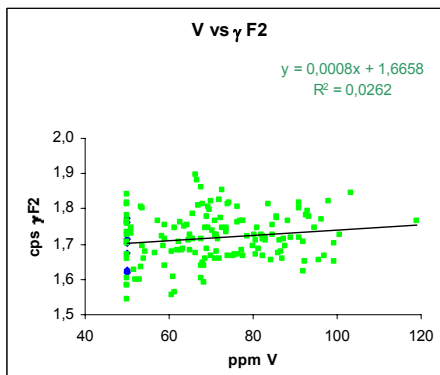
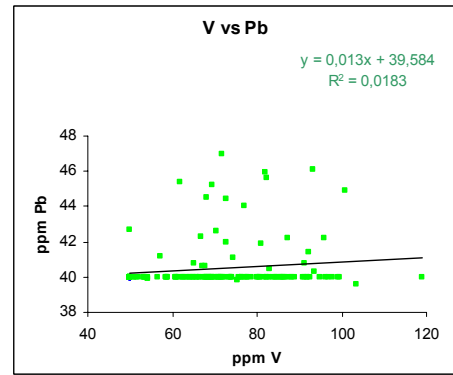
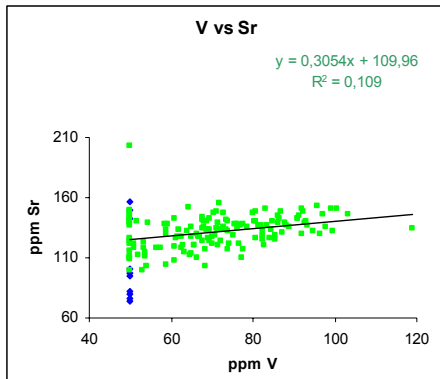
POZO C



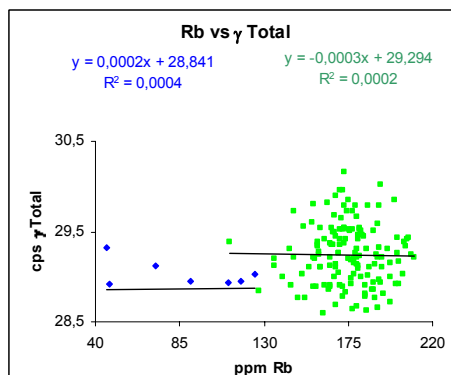
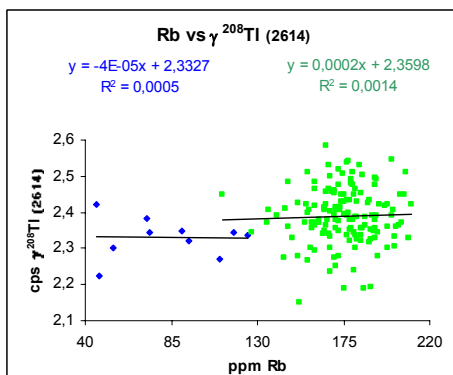
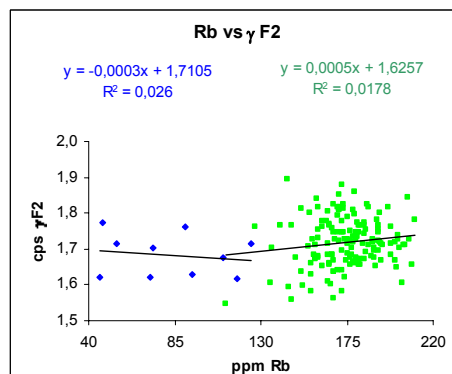
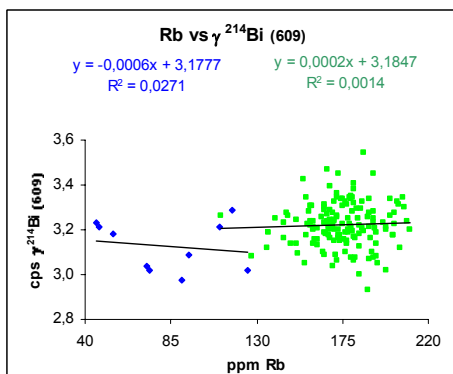
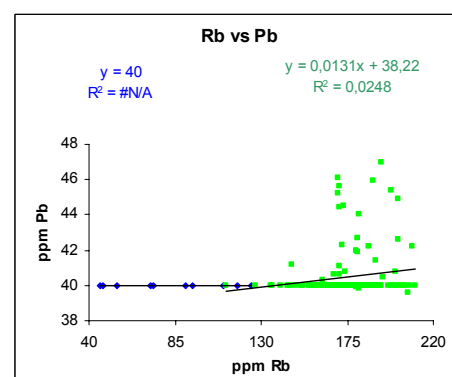
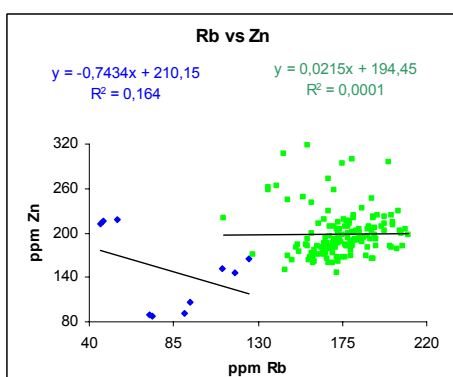
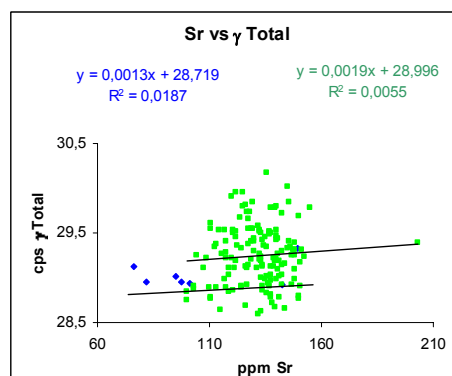
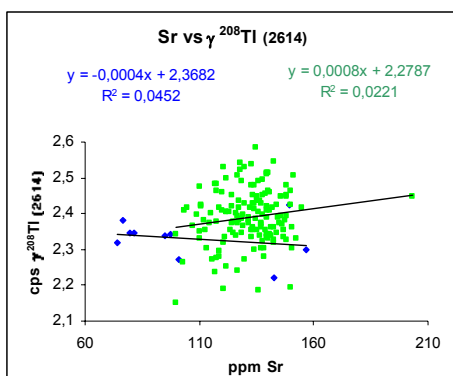
POZO C



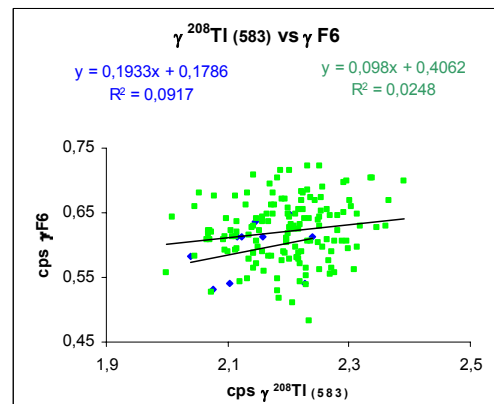
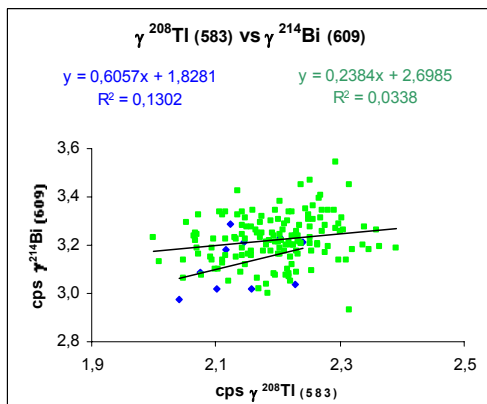
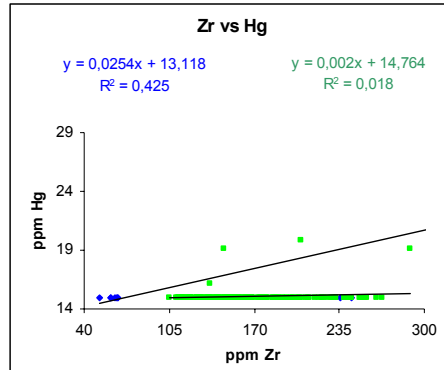
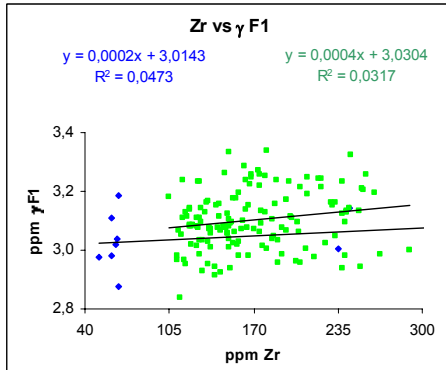
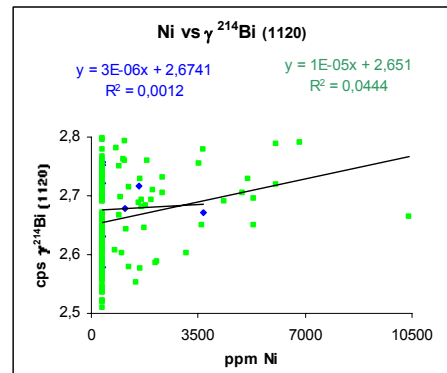
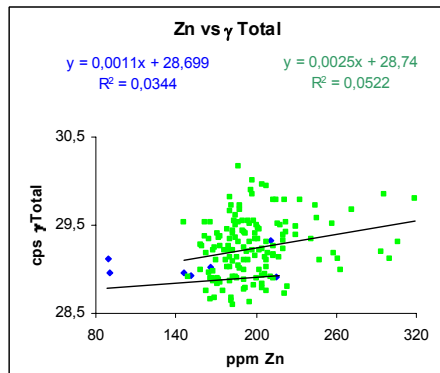
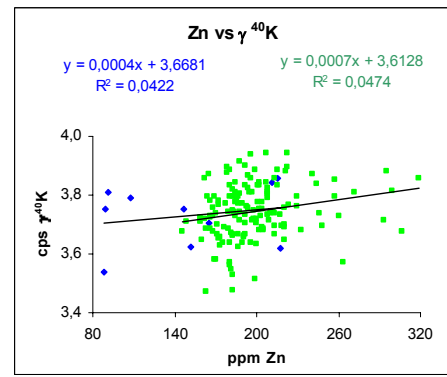
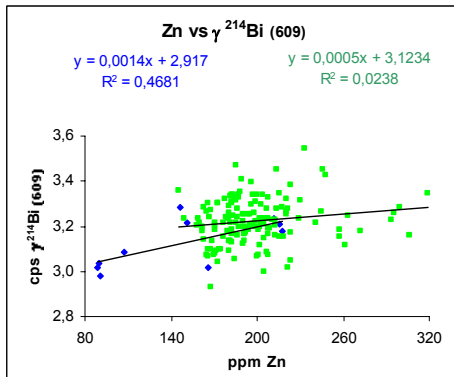
POZO C



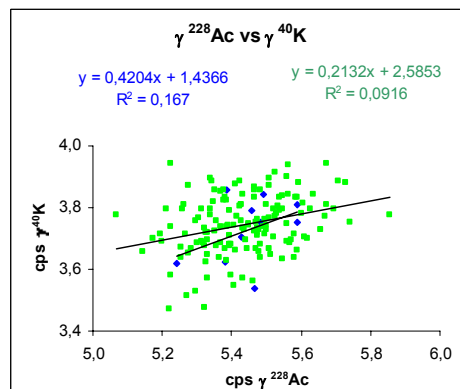
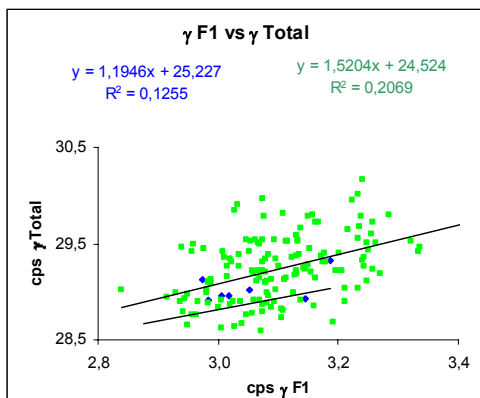
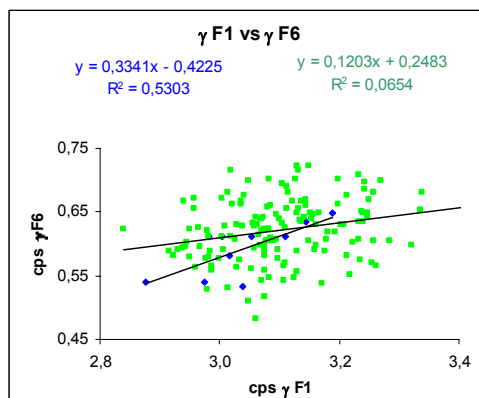
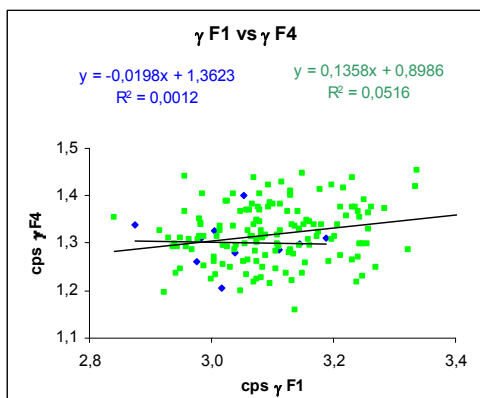
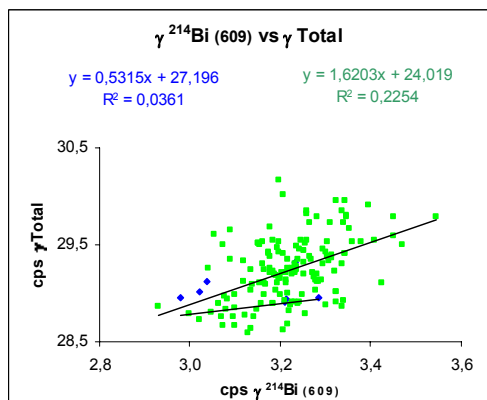
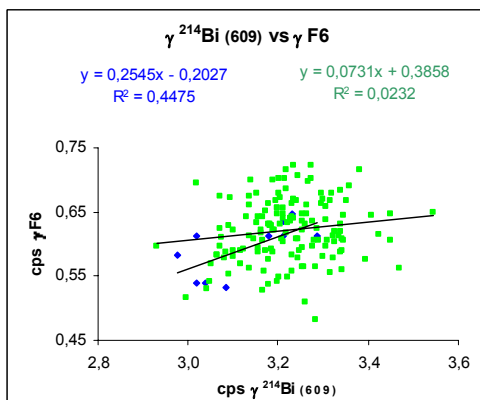
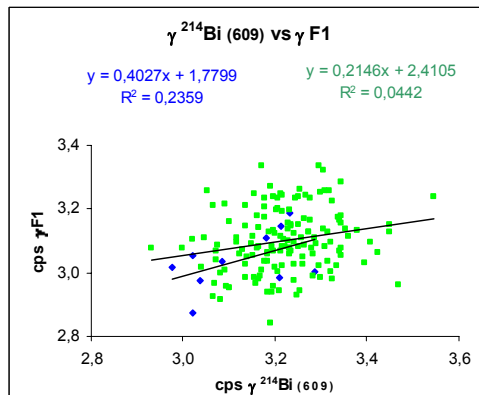
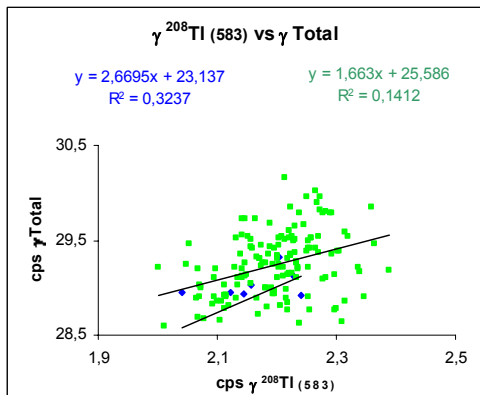
POZO C



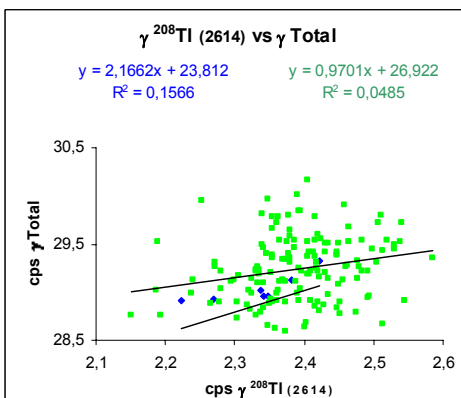
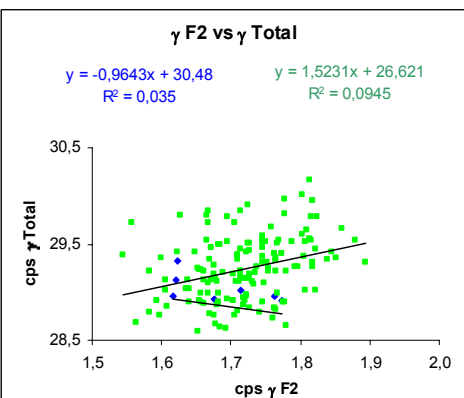
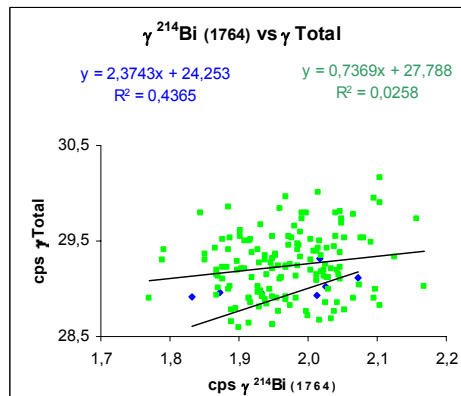
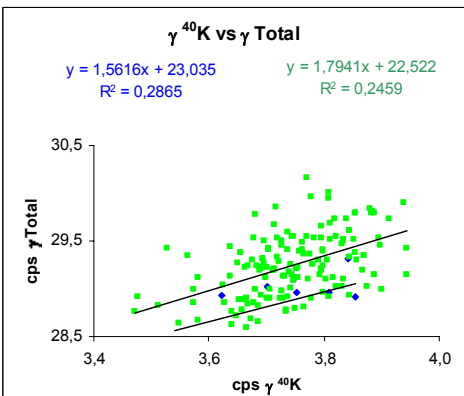
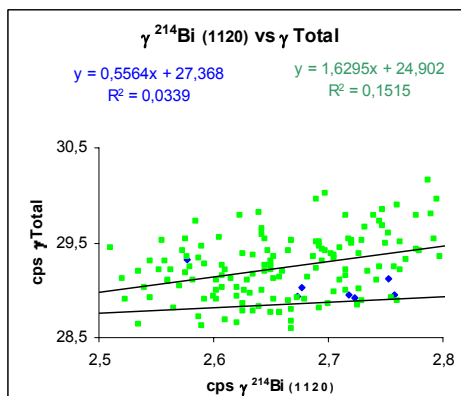
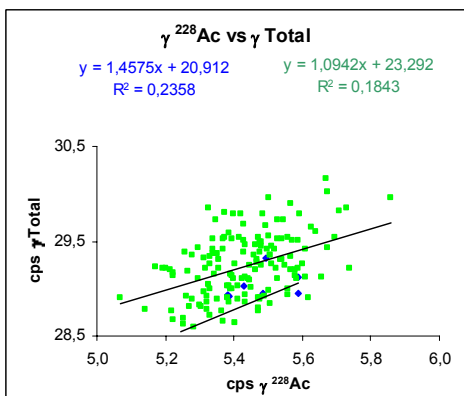
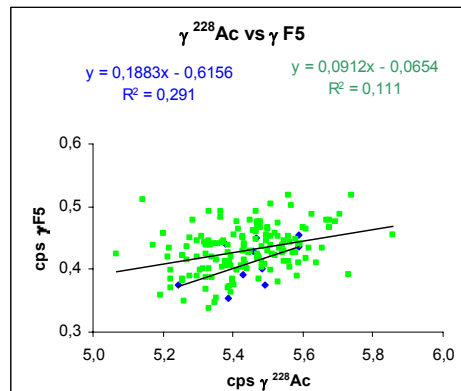
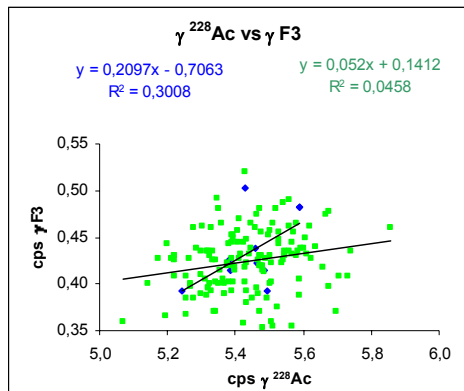
POZO C



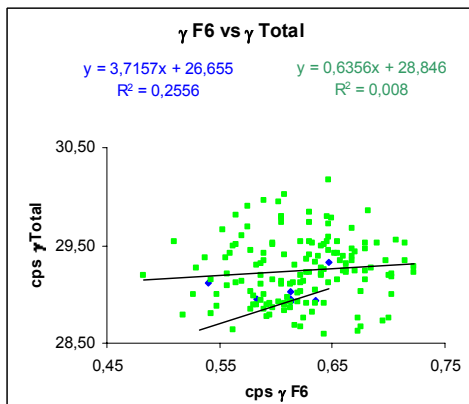
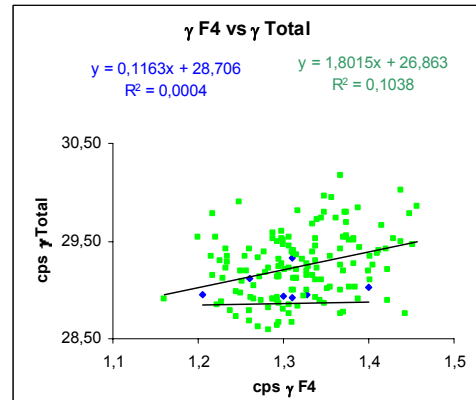
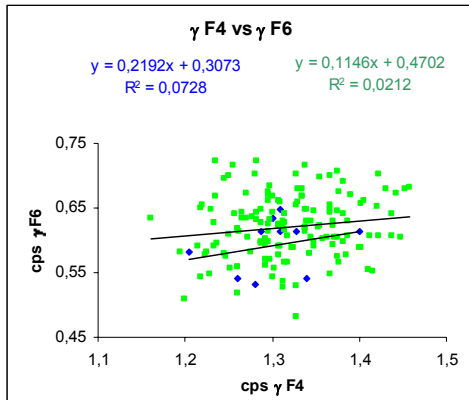
POZO C



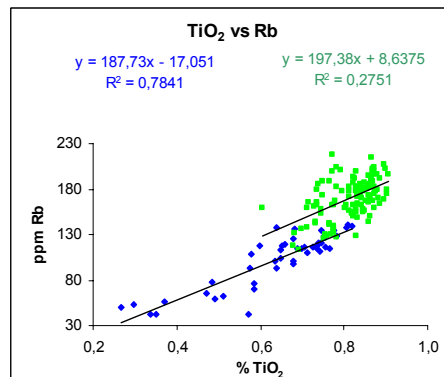
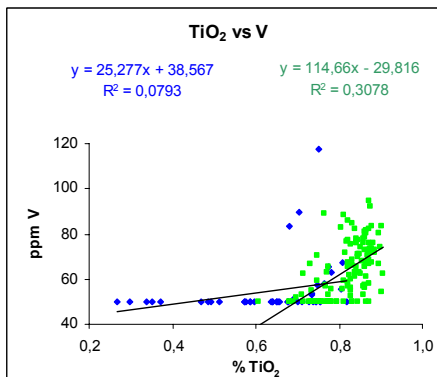
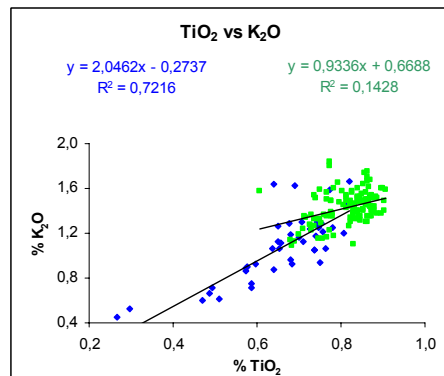
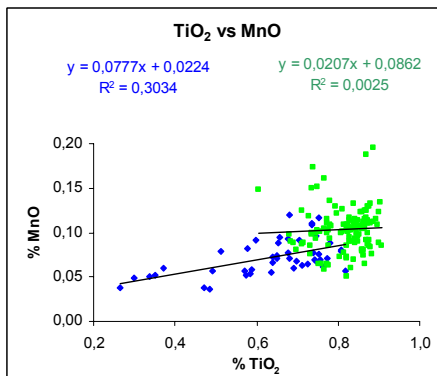
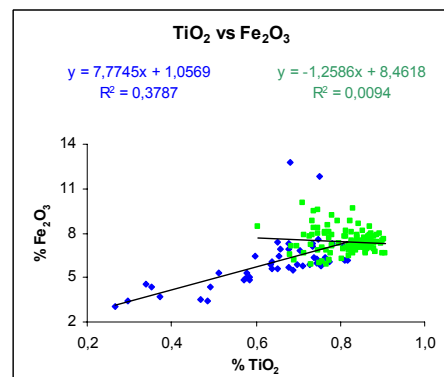
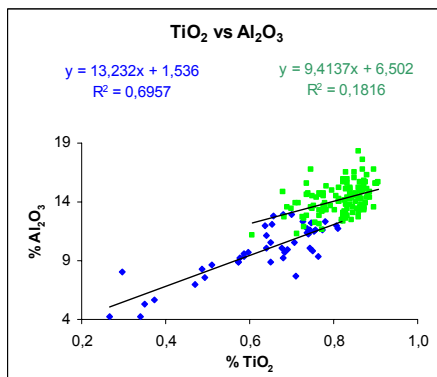
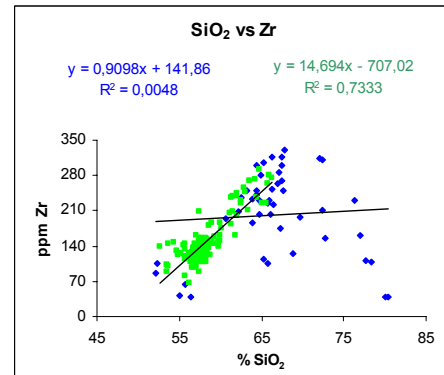
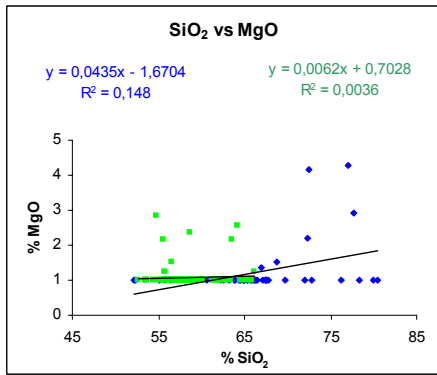
POZO C



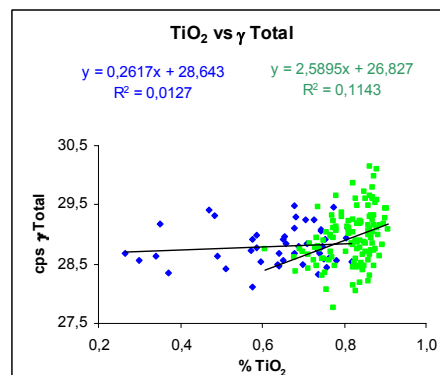
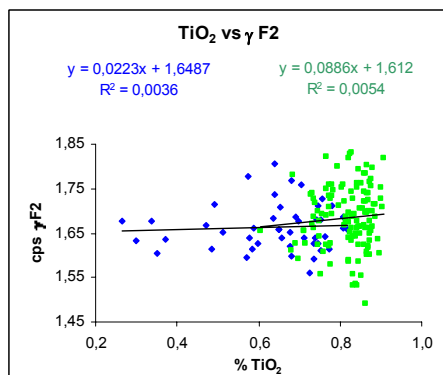
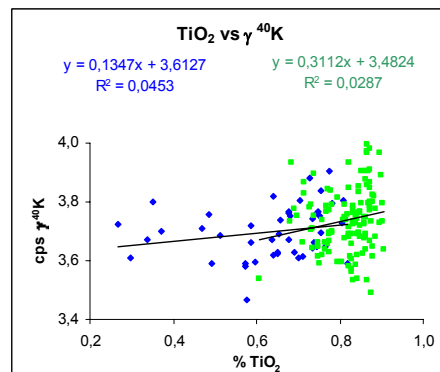
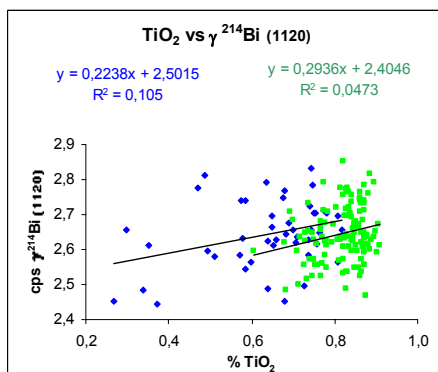
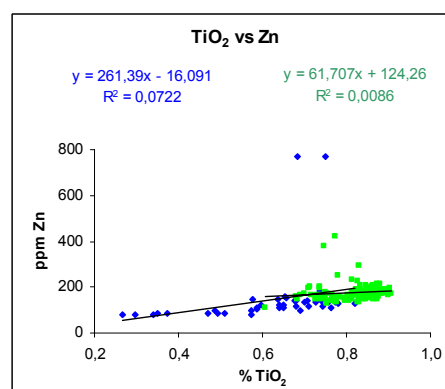
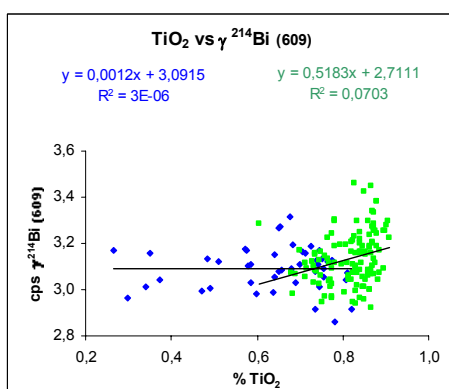
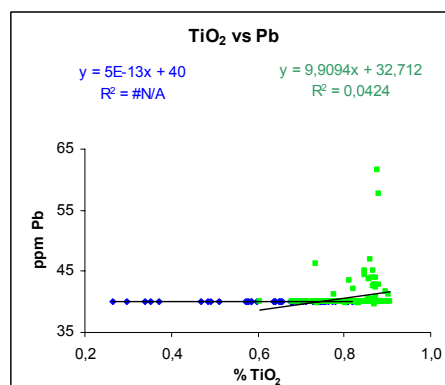
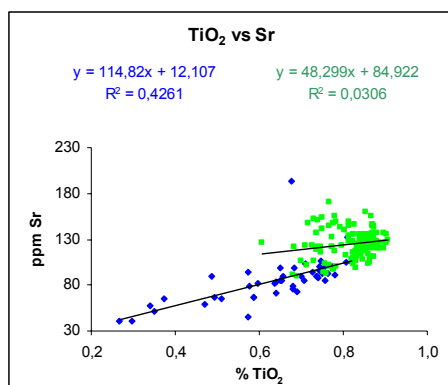
POZO C



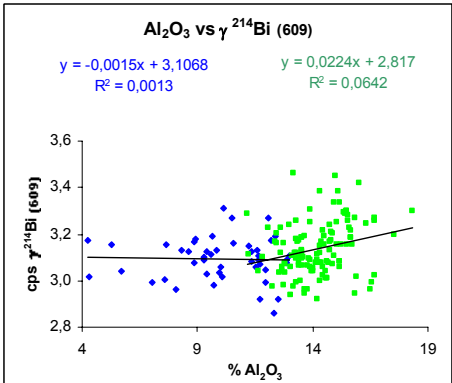
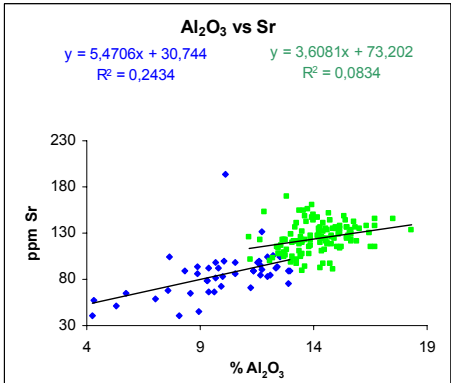
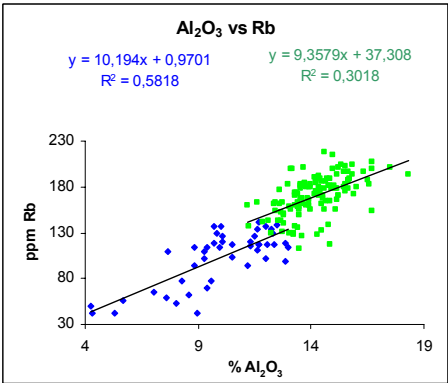
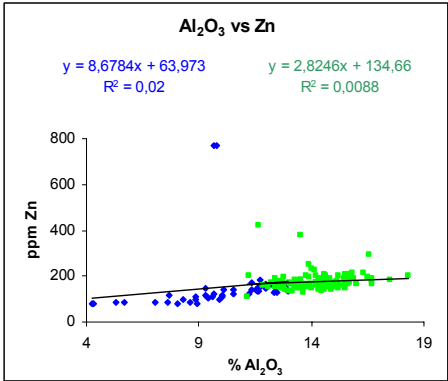
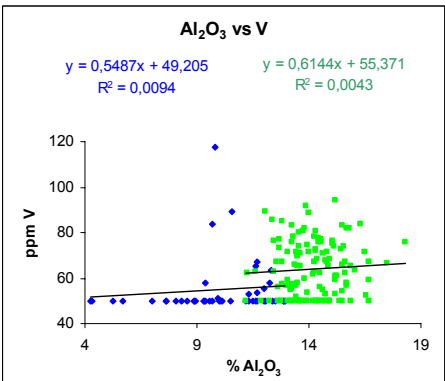
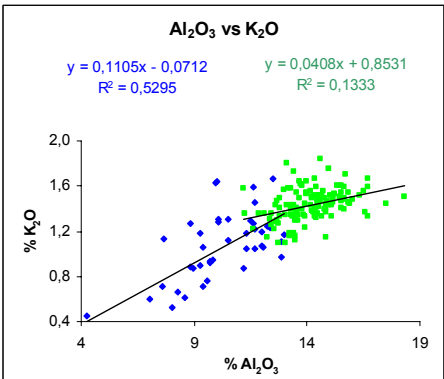
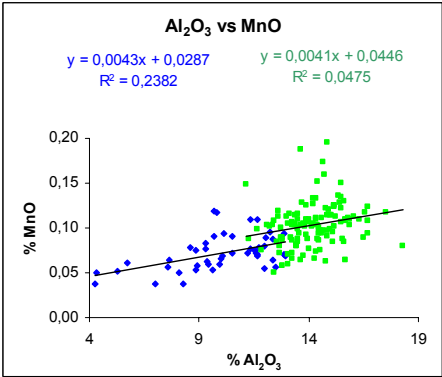
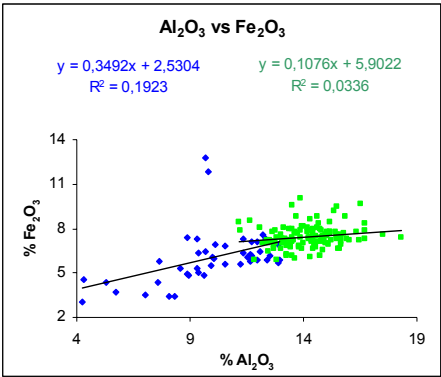
POZO D



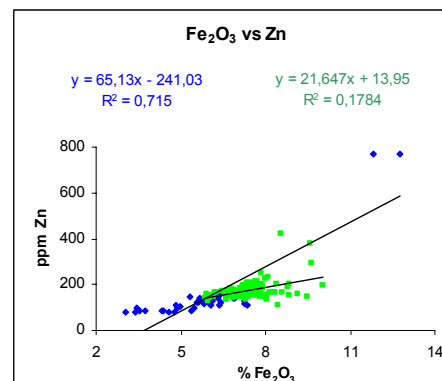
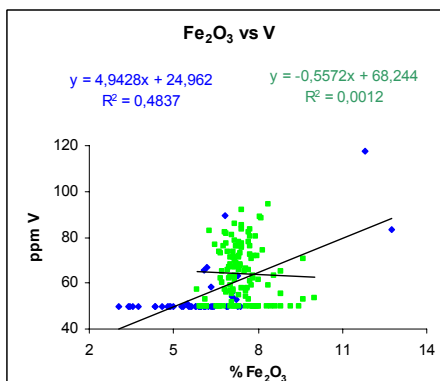
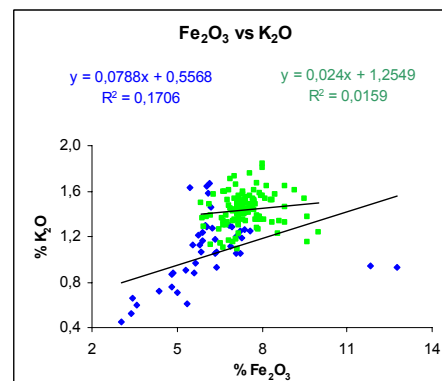
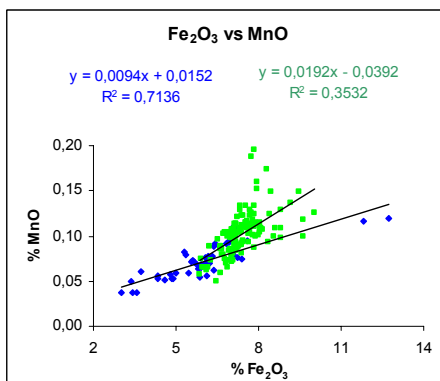
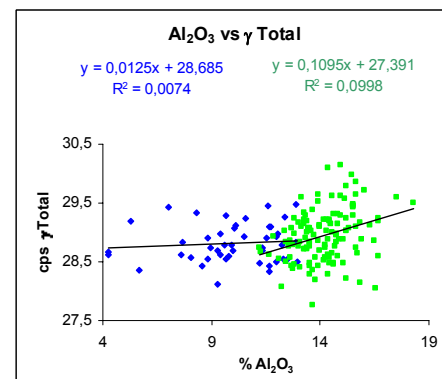
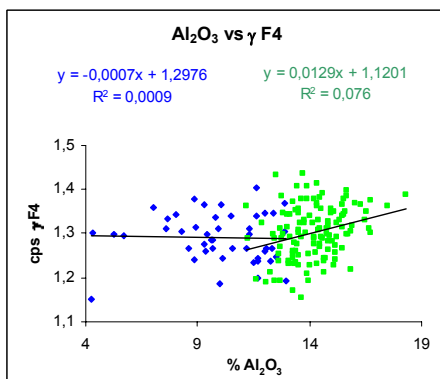
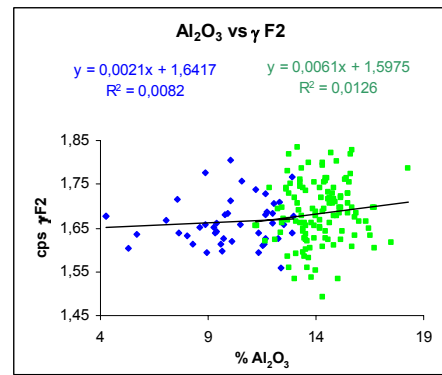
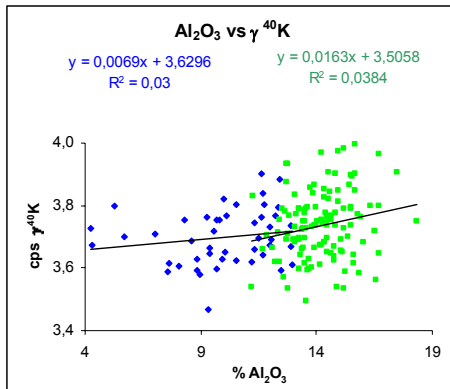
POZO D



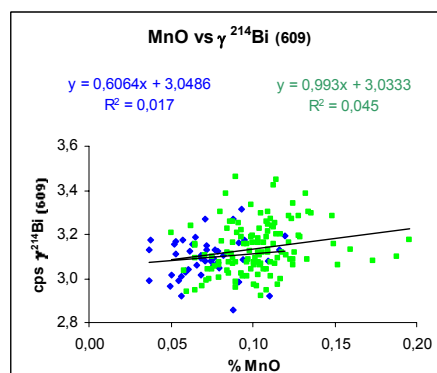
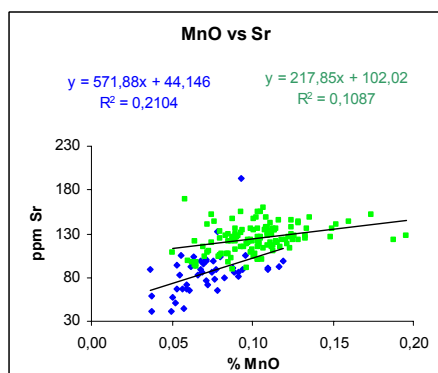
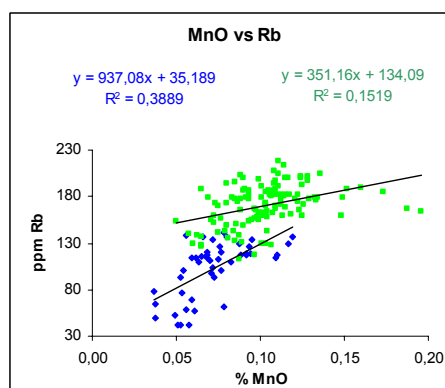
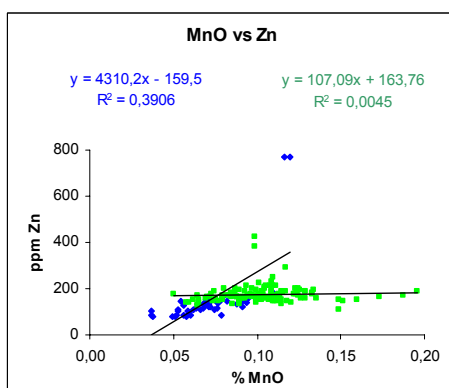
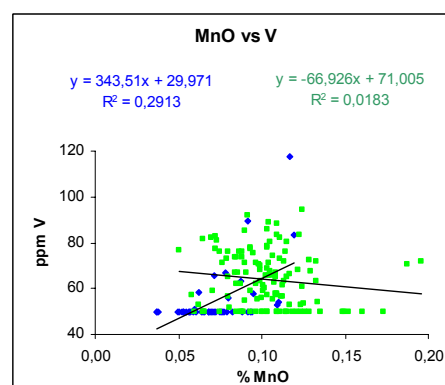
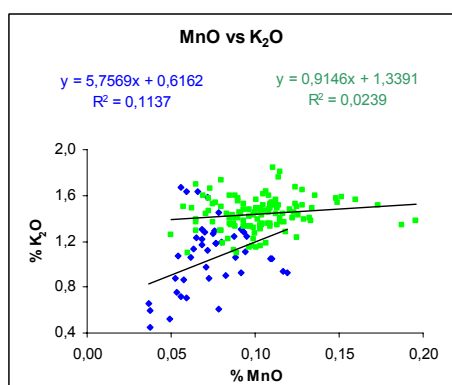
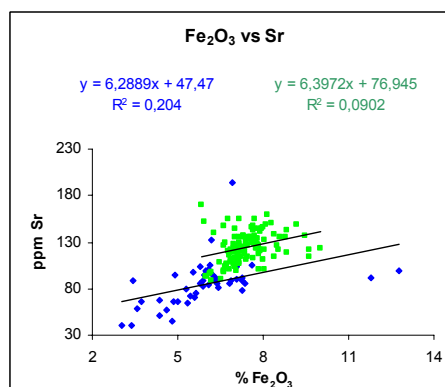
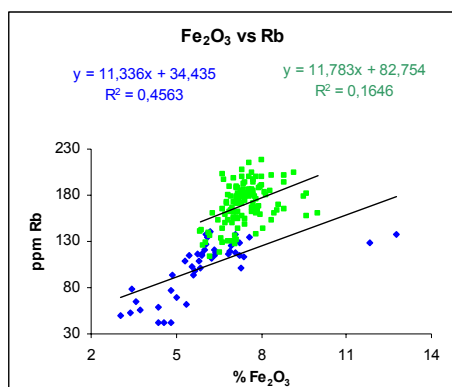
POZO D



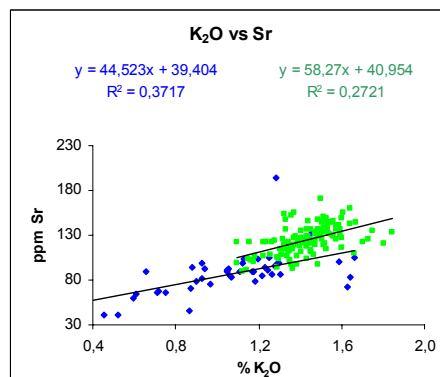
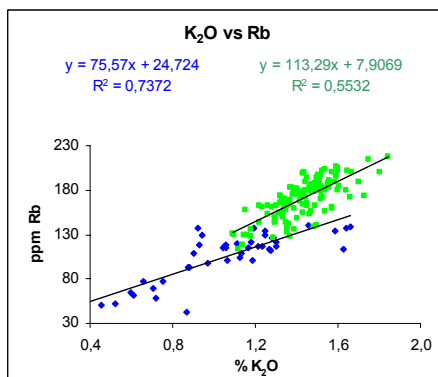
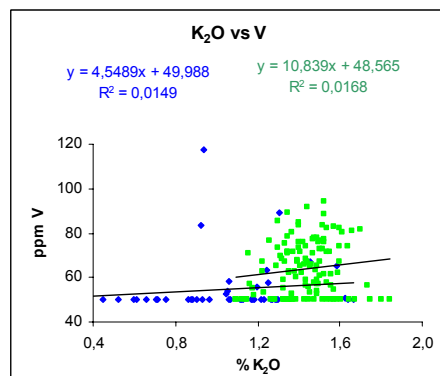
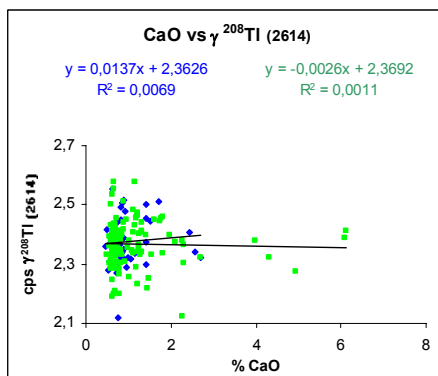
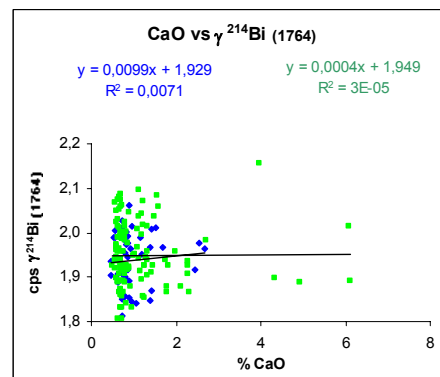
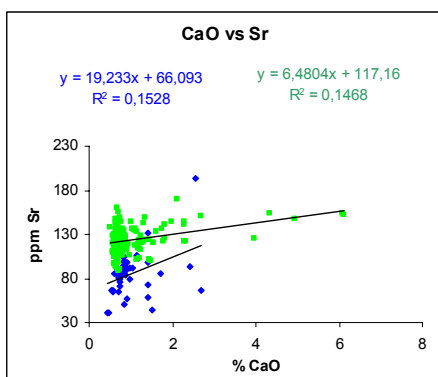
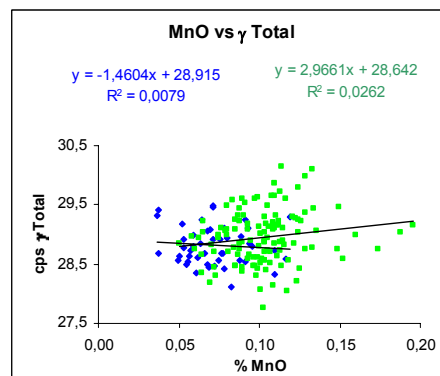
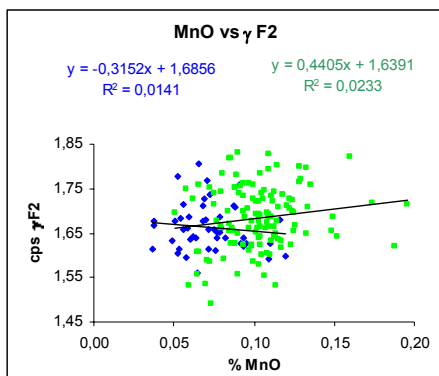
POZO D



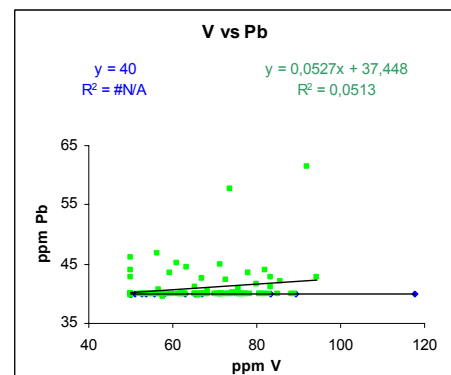
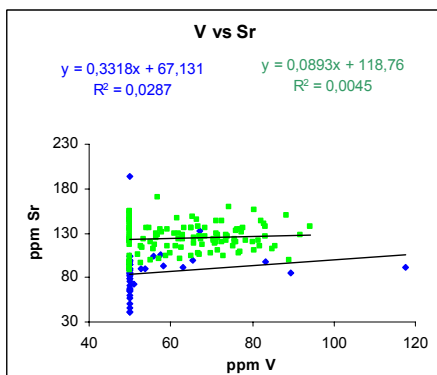
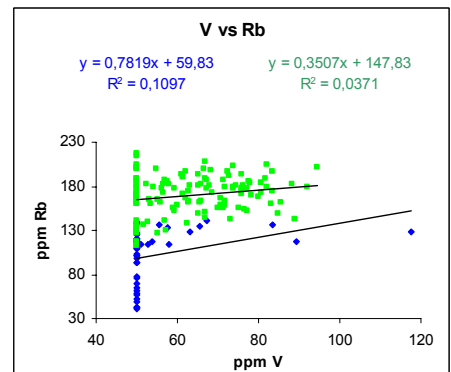
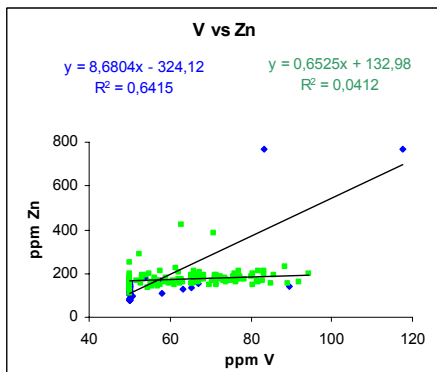
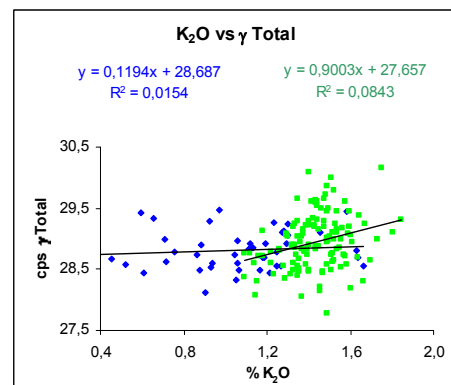
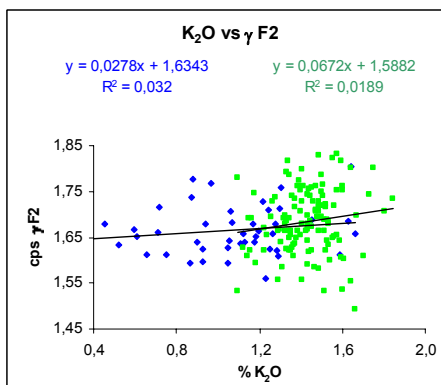
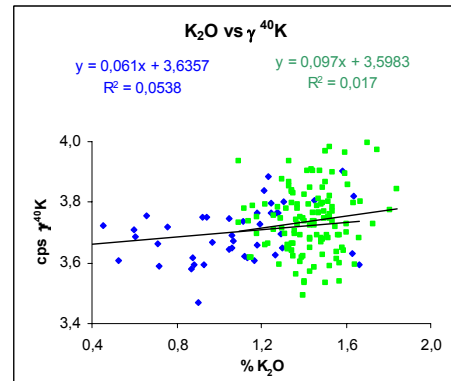
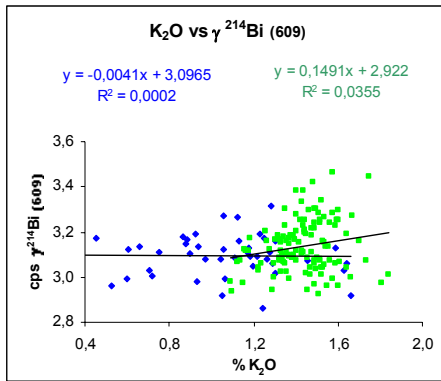
POZO D



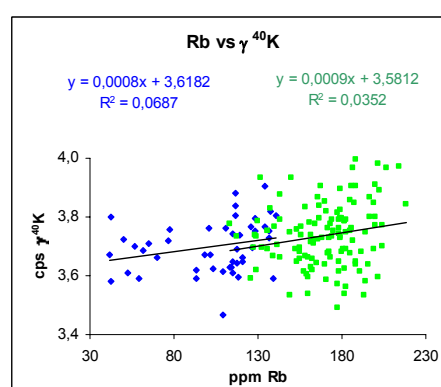
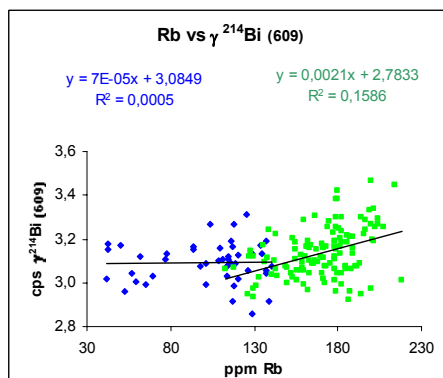
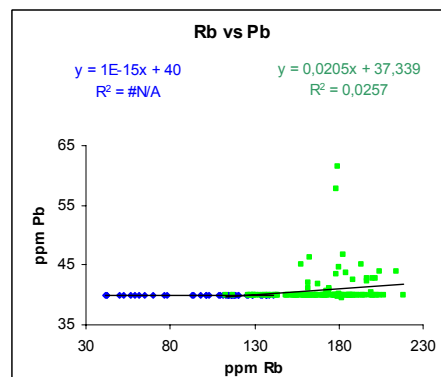
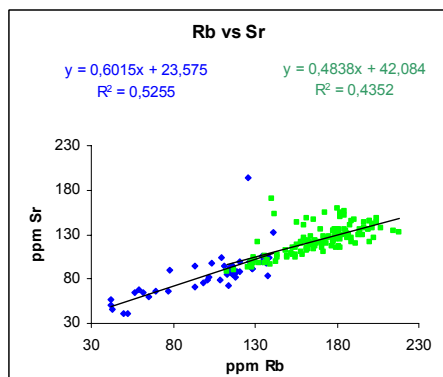
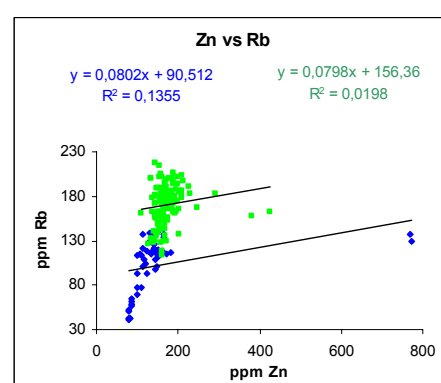
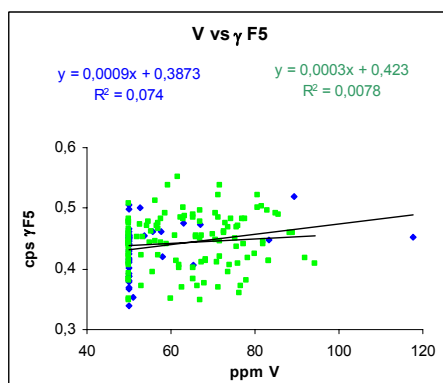
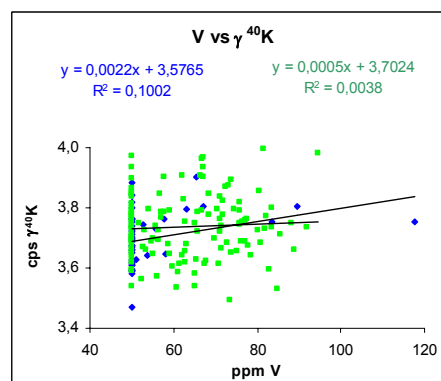
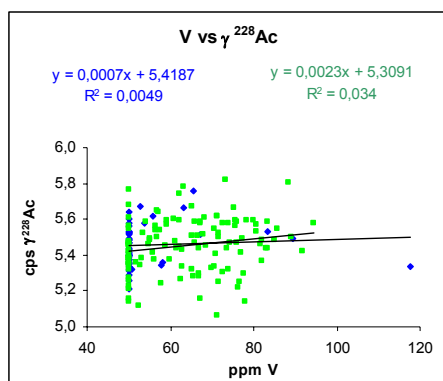
POZO D



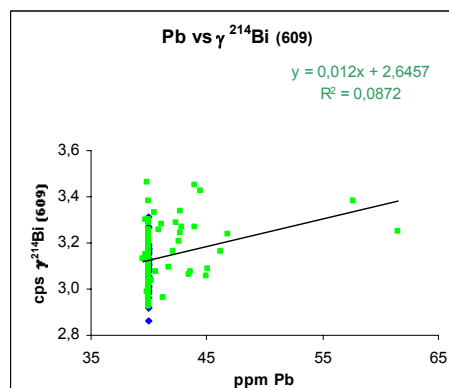
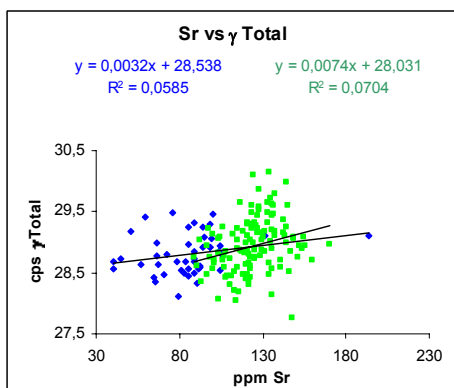
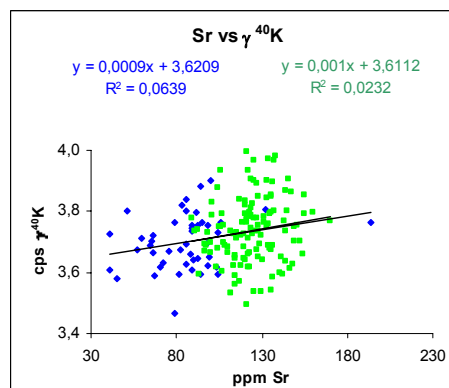
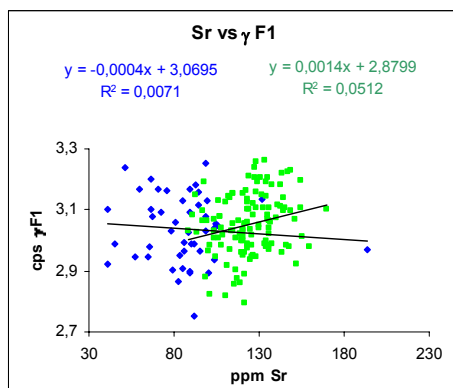
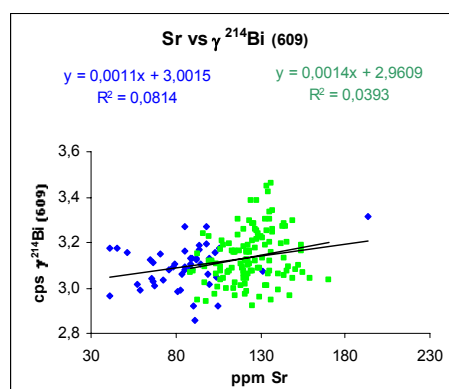
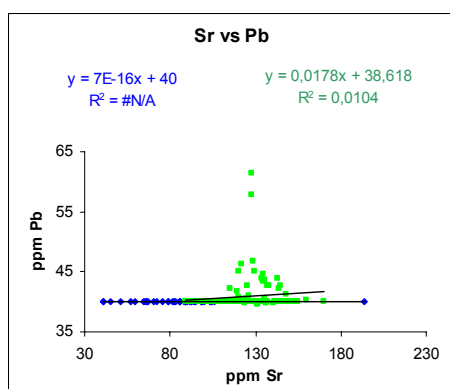
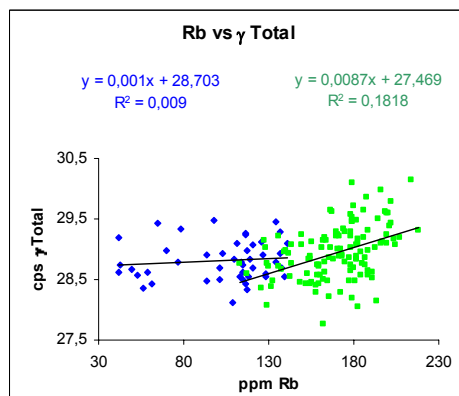
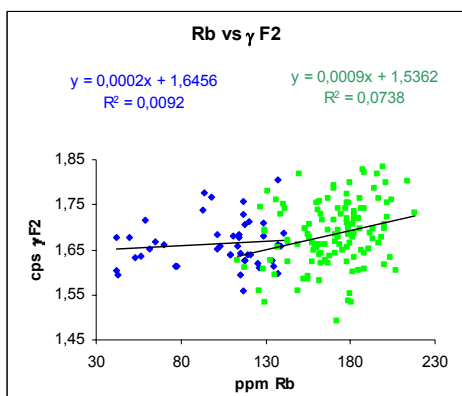
POZO D



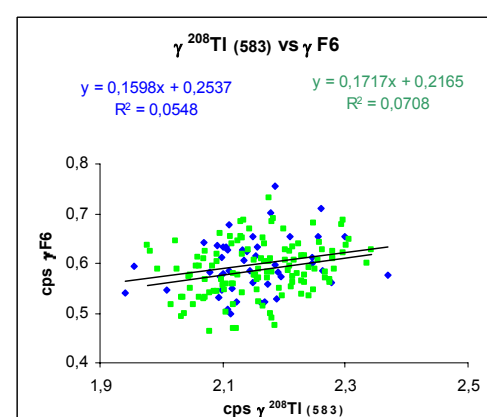
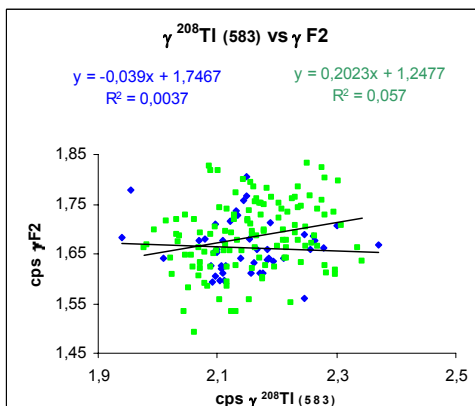
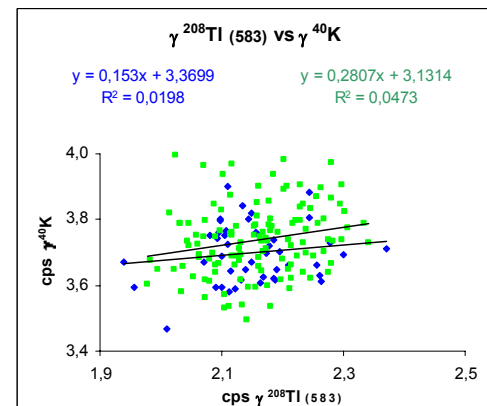
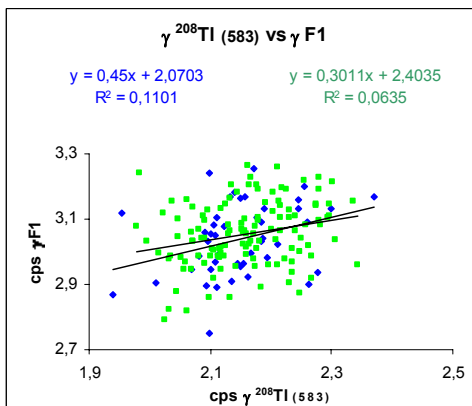
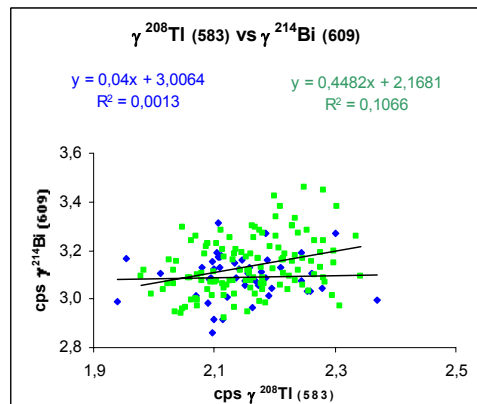
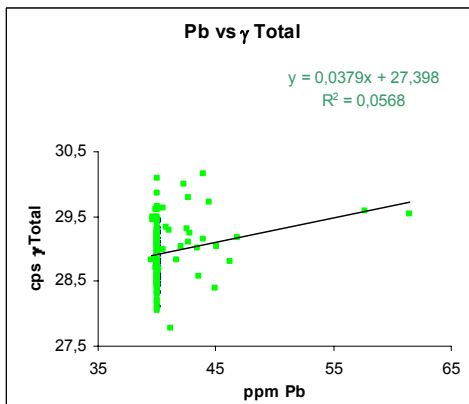
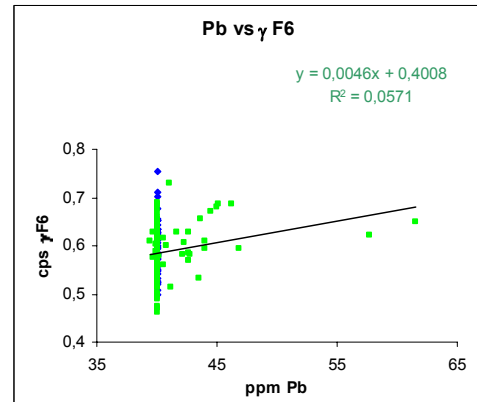
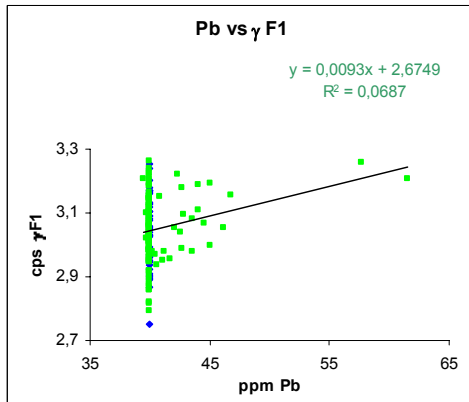
POZO D



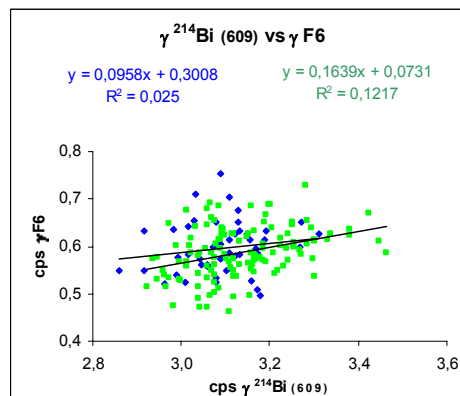
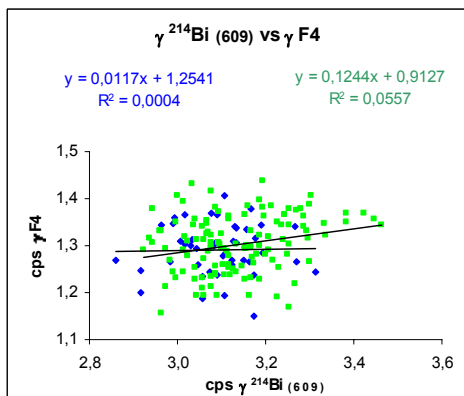
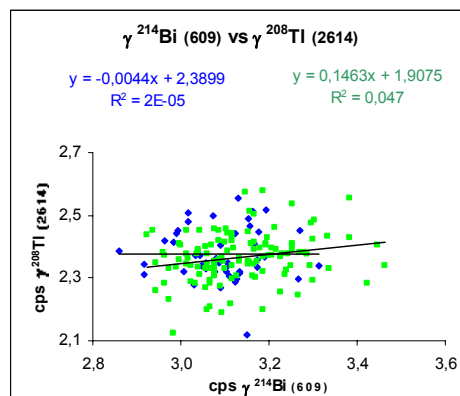
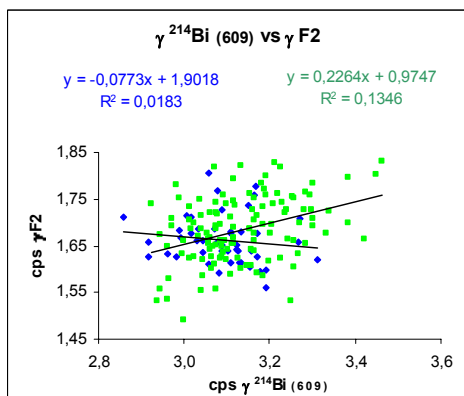
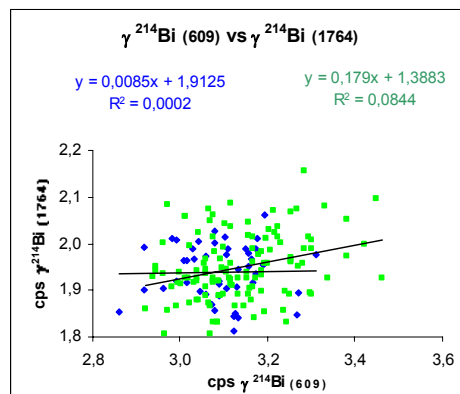
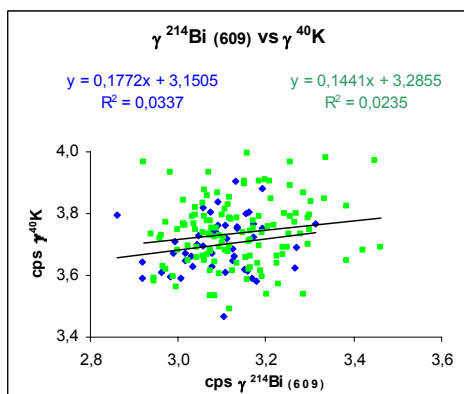
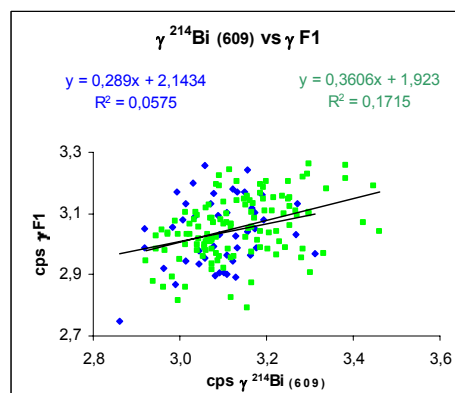
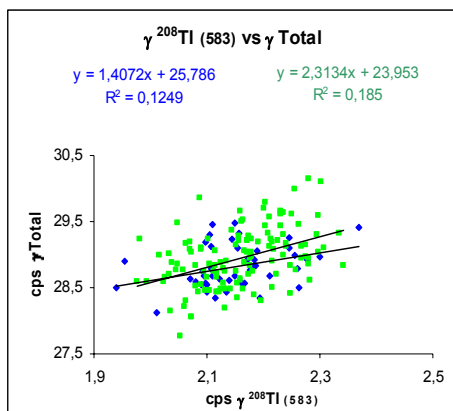
POZO D



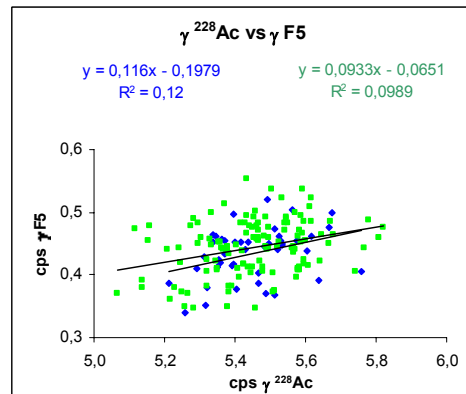
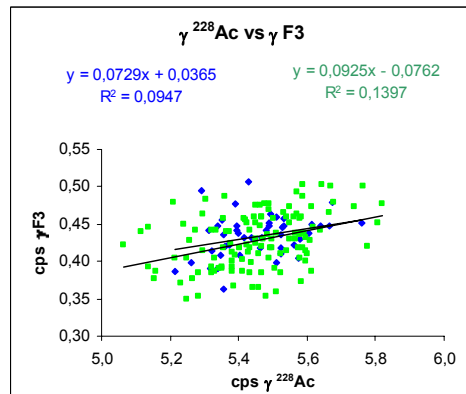
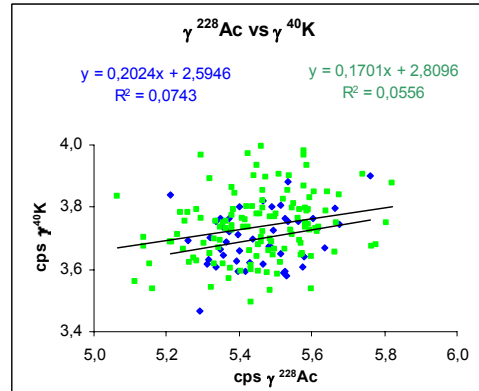
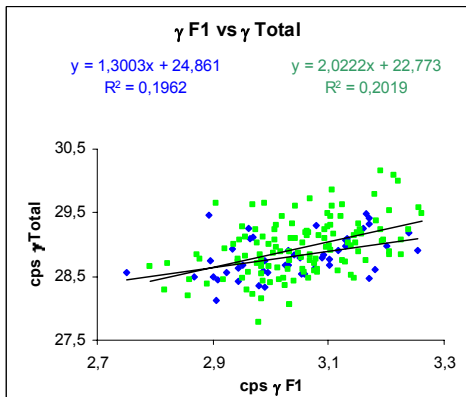
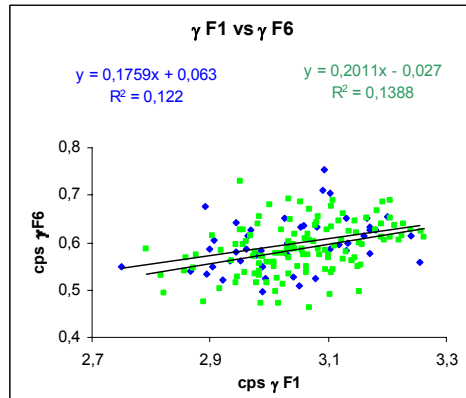
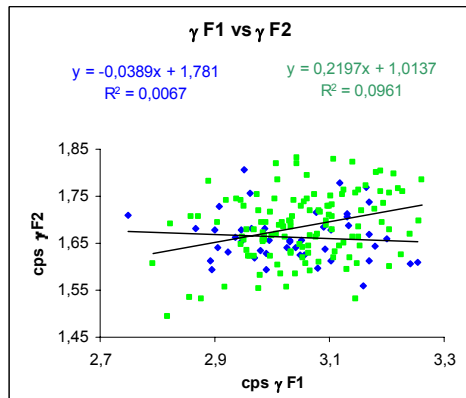
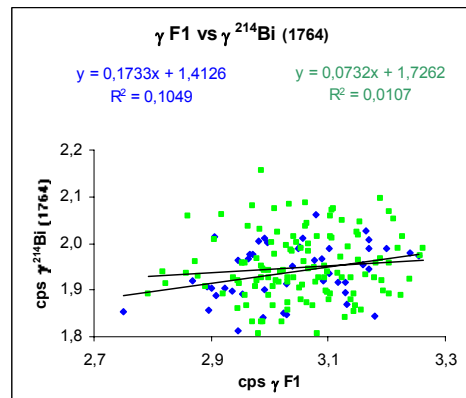
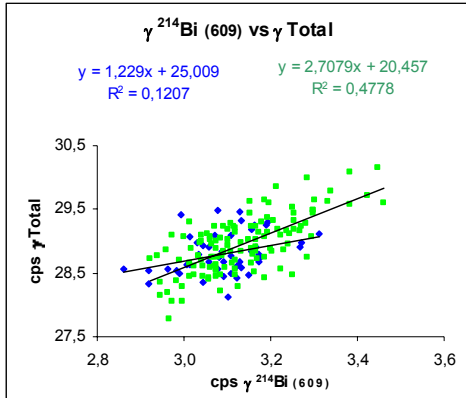
POZO D



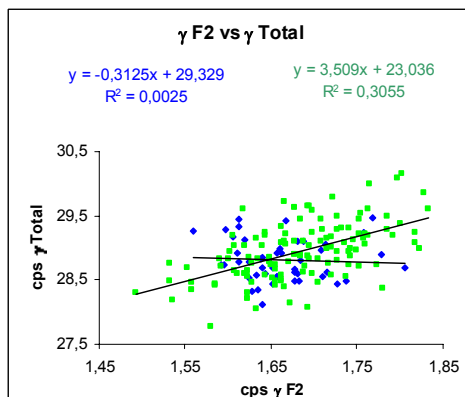
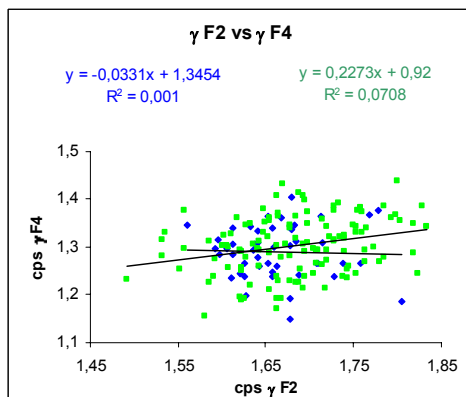
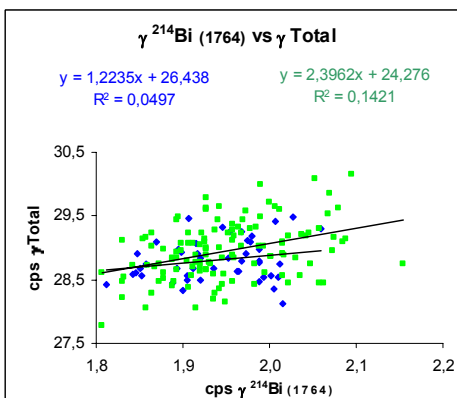
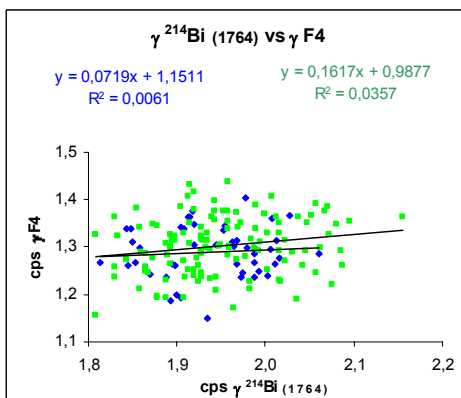
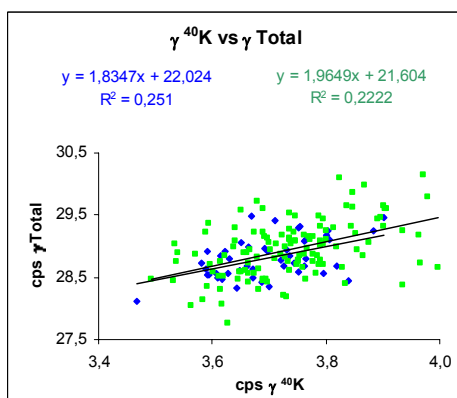
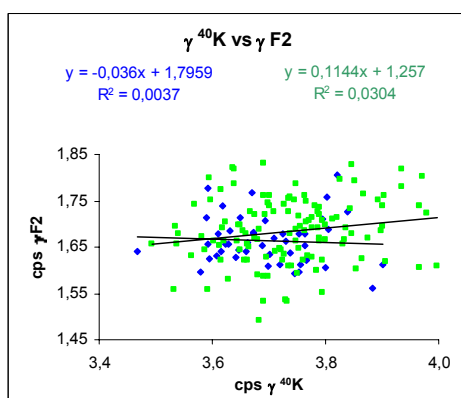
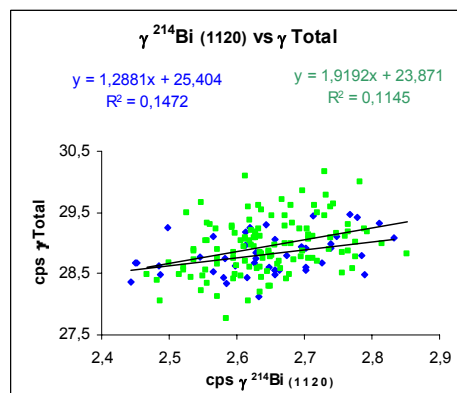
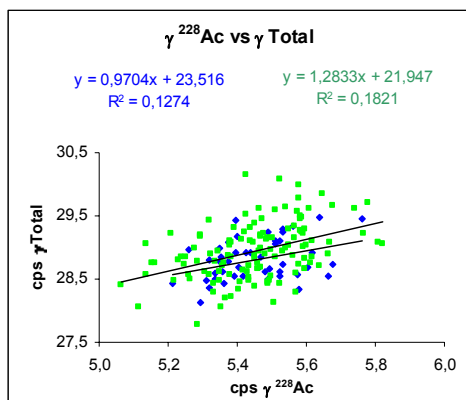
POZO D



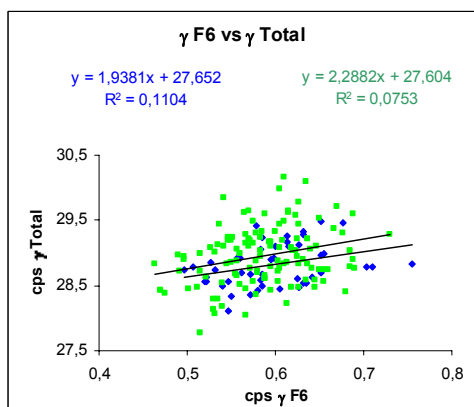
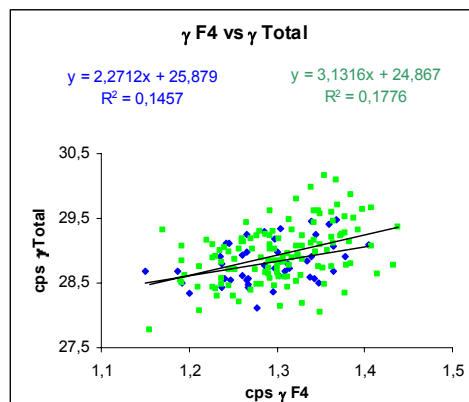
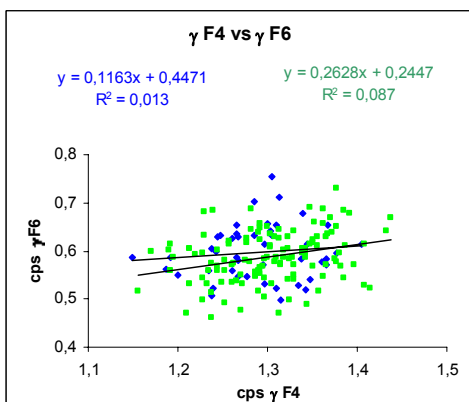
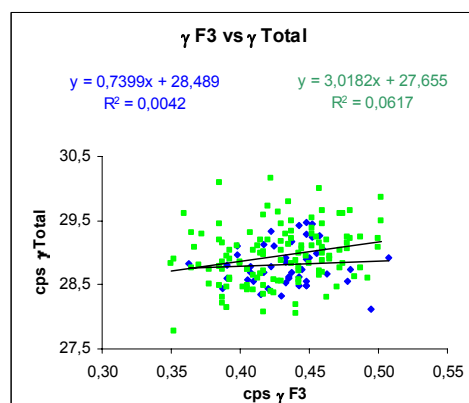
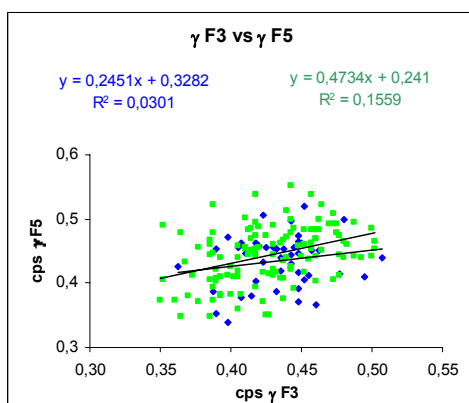
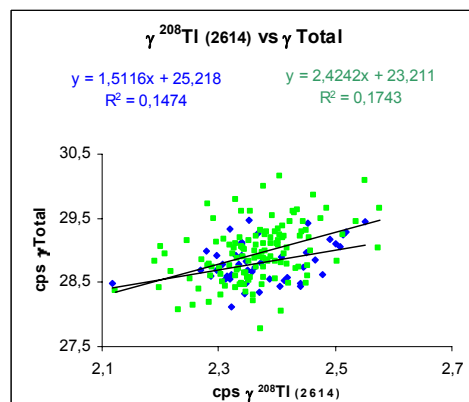
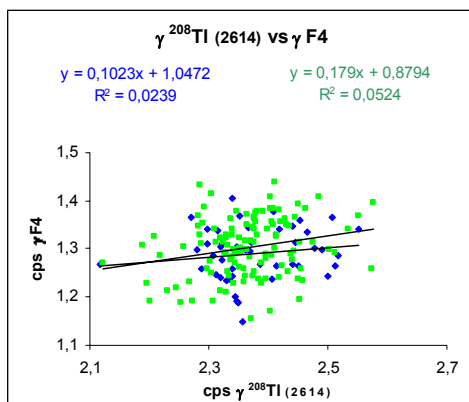
POZO D



POZO D



POZO D



APÉNDICE VI:

**Coeficientes no estandarizados de las funciones
discriminantes estudiadas**

Coeficientes no estandarizados para los tipos litológicos según la clasificación geoquímica de HERRON (1988)

Tabla VI.1. Tipos litológicos del pozo A.

Variables	Función 1	Función 2
SiO ₂	0,046158	-0,180693
TiO ₂	4,00606	2,09995
Al ₂ O ₃	0,391936	-0,113447
Fe ₂ O ₃	0,0678277	-0,168744
MnO	18,0358	38,897
MgO	0,437086	0,225111
CaO	0,479455	-0,32091
K ₂ O	0,906699	-5,81157
V	0,0143176	-0,0170428
Ni	0,000122858	-0,00212207
Zn	-0,00736555	-0,00670384
Rb	-0,0021978	0,0117344
Sr	0,0183777	-0,00257734
Zr	-0,00901959	-0,00332529
Hg	0,076804	-0,083615
Pb	-0,00641193	-0,00800871
Tl583	-7,07892	-16,1886
Bi609	-7,47287	-17,2094
F1	-9,06189	-16,3832
Ac	-8,64413	-16,9326
Bi1120	-7,36854	-15,3041
K1	-9,40454	-15,6482
Bi3	-10,2418	-16,2197
F2	-10,4498	-12,3375
Tl2	-7,11386	-17,5058
F3	-10,9305	-6,92669
F4	-11,9218	-9,20177
F5	-14,8964	-15,2607
F6	-8,61128	-16,8313
Total	8,85205	14,6461
CONSTANT	-18,2122	53,2708

Tabla VI.2. Tipos litológicos del pozo B.

Variables	Función 1	Función 2
SiO ₂	-0,215231	-0,118844
TiO ₂	2,4986	11,3325
Al ₂ O ₃	-0,00101416	0,608961
Fe ₂ O ₃	0,924419	-0,53552
MnO	-8,18177	13,8424
MgO	0,374052	0,265793
CaO	-0,458807	-0,295562
K ₂ O	-9,28608	-2,27776
V	0,0149163	-0,0348471
Ni	-0,000459161	-0,000287076
Zn	-0,0348054	-0,00182535
Rb	0,00446265	-0,0251896
Sr	0,0244707	0,00715941
Zr	-0,00267589	-0,0203578
Pb	0,0365995	0,022227
Tl583	4,63594	-21,3913
Bi609	6,09144	-20,7084
F1	5,86482	-17,7647
Ac	7,46596	-18,4144
Bi1120	5,9202	-20,9302
40K	4,39835	-19,3101
Bi1764	3,94131	-18,8709
F2	7,28268	-19,4791
Tl2614	4,37729	-20,3589
F3	4,54224	-15,7189
F4	6,91386	-21,6628
F5	12,0586	-15,5985
F6	3,49249	-17,5944
Total	-5,55005	19,3179
CONSTANT	12,2319	8,61627

Tabla VI.3. Tipos litológicos del pozo C.

Variables	Función 1	Función 2
SiO2	0,250272	0,0069813
TiO2	-12,4706	-4,22962
Al2O3	-0,0746725	0,289742
Fe2O3	-0,440856	0,135282
MnO	9,28141	29,5494
MgO	0,584551	-0,102603
CaO	-0,405068	-1,91706
K2O	-2,17846	-9,0349
V	0,020143	0,0223072
Ni	0,0000821051	0,0000659848
Zn	-0,00675351	-0,0129321
Rb	-0,0205666	0,011907
Sr	0,0220702	0,0387311
Zr	0,000357476	0,00274296
Hg	0,159412	0,0641811
Pb	0,0175076	-0,011506
Tl583	2,76052	-15,973
Bi609	4,18917	-15,2478
F1	3,29926	-17,4032
Ac	3,40008	-17,2113
Bi1120	3,04047	-22,538
40K	4,57817	-14,9356
Bi1764	1,96649	-16,5159
F2	4,85232	-15,8416
Tl2614	3,19096	-16,4492
F3	4,50041	-18,1133
F4	3,60562	-19,345
F5	-3,26566	-21,1279
F6	3,69911	-22,6584
Total	-3,46176	17,3421
CONSTANT	0,196194	-0,151481

Tabla VI.4. Tipos litológicos del pozo D.

Variables	Función 1	Función 2
SiO2	-0,03962	0,212939
TiO2	2,32368	7,33804
Al2O3	0,355929	0,165532
Fe2O3	-0,0977457	0,704579
MnO	-0,90643	-1,15027
MgO	0,268262	-0,34962
CaO	0,189832	0,613456
K2O	-2,2633	-8,36006
V	0,00993341	0,015126
Ni	-0,000305965	0,000218104
Zn	-0,00414204	-0,00563225
Rb	0,0340602	0,0232794
Sr	-0,00120826	0,00729505
Zr	-0,00481405	-0,000480694
Pb	0,016683	-0,0265717
Tl583	5,91928	32,2618
Bi609	4,608	32,2613
F1	6,48692	30,981
Ac	5,04135	27,4987
Bi1120	4,72763	29,5357
40K	5,27055	29,6771
Bi1764	5,64067	29,5185
F2	4,64074	27,531
Tl2614	4,53751	31,5221
F3	3,22863	36,5572
F4	6,85039	33,7046
F5	7,82076	35,5227
F6	0,647994	25,9194
Total	-5,84234	-30,2137
CONSTANT	13,1883	-17,4267

Coeficientes no estandarizados para las unidades químico – radiométricas mayores definidas

Tabla VI.5. Unidades mayores del pozo A.

Variables	Función 1	Función 2
SiO ₂	-0,102759	-0,257209
TiO ₂	7,4746	3,13654
Al ₂ O ₃	-0,020732	0,0770623
Fe ₂ O ₃	-0,11153	-0,718426
MnO	10,1634	56,9445
MgO	-0,164459	-0,249758
CaO	-0,0392305	-0,629483
K ₂ O	-7,17439	-0,811788
V	-0,0269795	0,0175376
Ni	0,0000175269	-0,000265287
Zn	-0,000139834	-0,00444998
Rb	0,0170072	-0,0455187
Sr	-0,0130154	0,0400203
Zr	-0,0219664	-0,000720249
Hg	0,0508437	-0,0774728
Pb	-0,0023899	-0,0200809
Tl ₅₈₃	-2,2235	-16,9947
Bi ₆₀₉	-1,94064	-17,8242
F ₁	-2,92498	-16,7224
Ac	-3,86538	-17,5643
Bi ₁₁₂₀	0,509449	-17,5146
40K	-3,35722	-14,5543
Bi ₁₇₆₄	-2,53674	-17,1729
F ₂	-1,84482	-13,3505
Tl ₂₆₁₄	-0,376483	-15,5698
F ₃	-5,63154	-10,8487
F ₄	-1,83919	-14,5665
F ₅	-5,8881	-15,0629
F ₆	2,30096	-11,4263
Total	3,0276	15,4073
CONSTANT	-6,26157	42,9608

Tabla VI.6. Unidades mayores del pozo B.

Variables	Función 1	Función 2
SiO ₂	0,0181117	0,275361
TiO ₂	6,30064	-15,8083
Al ₂ O ₃	-0,348324	-0,171599
Fe ₂ O ₃	0,0486489	-0,550034
MnO	-0,344161	-5,00977
MgO	0,26592	-0,0135633
CaO	-0,356136	0,279445
K ₂ O	3,04897	3,95892
V	-0,0040547	-0,00260651
Ni	0,000121432	-0,0000353532
Zn	-0,00768943	0,0169399
Rb	-0,0231481	0,0174537
Sr	-0,0183111	-0,000516228
Zr	-0,00108219	0,00447361
Pb	0,0512323	0,020319
Tl ₅₈₃	-22,0722	3,16183
Bi ₆₀₉	-23,0473	3,80928
F ₁	-21,7857	2,26607
Ac	-21,0798	2,80636
Bi ₁₁₂₀	-20,6507	5,42082
40K	-18,5264	4,28245
Bi ₁₇₆₄	-19,4497	3,34495
F ₂	-18,3346	4,46156
Tl ₂₆₁₄	-17,8962	1,95754
F ₃	-23,7403	2,41209
F ₄	-22,2701	3,43199
F ₅	-22,2941	-4,79007
F ₆	-18,3436	2,62333
Total	21,4122	-3,39557
CONSTANT	-23,9724	-6,56095

Tabla VI.7. Unidades mayores del pozo C.

Variables	Función 1	Función 2
	-	-
SiO ₂	0,00424398	-0,33321
TiO ₂	11,3321	-3,3091
Al ₂ O ₃	-0,45362	-0,130616
Fe ₂ O ₃	-0,0844012	-1,65562
MnO	1,11626	36,3637
MgO	0,322621	0,00588846
CaO	0,605633	-2,01593
K ₂ O	3,78605	-6,70735
V	0,00280734	0,0303279
Ni	0,0000932531	-0,000170243
Zn	0,00373449	0,0104128
Rb	-0,0206864	-0,00811137
Sr	-0,0155455	0,064907
Zr	0,00840516	0,00810649
Hg	0,161444	-0,101772
Pb	-0,0111204	-0,00992514
Tl583	0,492618	6,80017
Bi609	1,26728	6,03511
F1	2,61789	5,89995
Ac	2,05842	3,54399
Bi1120	4,87476	3,18527
40K	1,67745	6,06434
Bi1764	0,211347	4,08331
F2	-0,569759	6,17127
Tl2614	0,950791	5,8148
F3	-0,905342	9,86847
F4	1,18534	4,98829
F5	-0,371307	8,60777
F6	-0,423643	6,82085
Total	-1,93779	-3,99216
CONSTANT	2,7011	-4,13545

Tabla VI.8. Unidades mayores del pozo D.

Variables	Función 1	Función 2
	-	-
SiO ₂	-0,148627	0,0655628
TiO ₂	-4,42799	-4,05571
Al ₂ O ₃	0,141421	-0,121082
Fe ₂ O ₃	-0,210506	-0,676979
MnO	21,0165	17,227
MgO	-0,719816	0,713301
CaO	-0,0495687	0,503535
K ₂ O	-4,8539	5,06617
V	-0,023567	-0,051086
Ni	0,00014108	0,000342545
Zn	0,00155778	0,0137419
Rb	0,0641414	-0,00791482
Sr	-0,0436939	-0,00305187
Zr	-0,0068702	-0,00427168
Pb	-0,0354764	-0,0712646
Tl583	-7,87585	11,7338
Bi609	-7,011	14,1268
F1	-8,06086	11,2324
Ac	-6,62478	11,1698
Bi1120	-7,36451	9,2707
40K	-6,02483	11,3422
Bi1764	-4,62886	13,3631
F2	-8,70642	12,3526
Tl2614	-10,7673	14,1571
F3	-5,36571	16,2825
F4	-7,14284	16,6741
F5	-4,17824	16,7294
F6	-7,36564	9,95321
Total	7,26886	-11,1134
CONSTANT	14,6491	-30,9028

Coeficientes no estandarizados para las sub-unidades químico – radiométricas definidas.

Tabla VI.9. Sub-unidades del pozo A.

Variables	Función 1	Función 2
SiO ₂	-0,158268	0,306683
TiO ₂	3,37907	1,08034
Al ₂ O ₃	0,150271	-0,123453
Fe ₂ O ₃	0,499765	1,03348
MnO	-19,6164	-28,8186
MgO	-0,203468	0,0670351
CaO	-1,05784	-0,142561
K ₂ O	-9,01384	5,20644
V	-0,00567946	0,0400554
Ni	-0,0000838842	0,000215706
Zn	0,00472159	0,00657867
Rb	0,00320131	-0,0354115
Sr	0,00684497	0,0212996
Zr	-0,0110856	0,0164379
Hg	0,00685095	-0,0632721
Pb	0,0100344	0,0173551
Tl583	8,94546	6,87849
Bi609	10,0615	8,0769
F1	9,42774	7,45749
Ac	9,70612	10,1837
Bi1120	10,4379	5,82428
40K	8,19967	7,96414
Bi1764	10,8428	8,73654
F2	8,4449	5,25422
Tl2614	12,2455	7,46935
F3	6,68083	6,76439
F4	8,89651	4,23911
F5	5,49772	10,4514
F6	11,549	6,22523
Total	-8,74597	-7,72928
CONSTANT	-8,80624	-33,4069

Tabla VI.10. Sub-unidades del pozo B.

Variables	Función 1	Función 2
SiO ₂	0,392433	-0,214119
TiO ₂	0,443766	10,938
Al ₂ O ₃	-0,245994	-0,207578
Fe ₂ O ₃	-0,770189	0,776231
MnO	19,5413	-8,57845
MgO	0,975146	-0,0639511
CaO	1,02614	-0,871713
K ₂ O	10,698	-0,747121
V	-0,0270067	-0,0043366
Ni	0,000369615	0,0000440865
Zn	0,0301874	-0,0258047
Rb	-0,0136217	-0,0370727
Sr	-0,00839183	-0,0146898
Zr	0,00854988	-0,00704946
Pb	0,0162535	0,0413435
Tl583	-22,4512	-17,0877
Bi609	-23,9952	-17,6134
F1	-23,8276	-17,2634
Ac	-23,3078	-16,5474
Bi1120	-22,7372	-15,5269
40K	-24,2811	-13,3695
Bi1764	-23,8909	-14,9637
F2	-23,0171	-15,0353
Tl2614	-20,9397	-14,1839
F3	-21,1498	-21,5587
F4	-23,1058	-16,6024
F5	-31,8203	-9,73169
F6	-20,1982	-16,1439
Total	23,7457	16,4059
CONSTANT	-62,8934	0,68199

Tabla VI.11. Sub-unidades del pozo C.

Variables	Función 1	Función 2
SiO ₂	0,282462	-0,219563
TiO ₂	-1,32701	19,4996
Al ₂ O ₃	-0,350929	-0,404707
Fe ₂ O ₃	-0,192603	0,664976
MnO	16,4428	-46,9848
MgO	0,945359	-0,354541
CaO	0,714985	1,49278
K ₂ O	17,7743	-6,06437
V	0,0408751	-0,023944
Ni	0,000214441	0,000046049
Zn	0,00589305	-0,0119545
Rb	-0,084508	0,0582819
Sr	0,0227939	-0,0875409
Zr	0,0155826	0,00266286
Hg	0,109622	0,123115
Pb	-0,0286075	0,0836428
Tl583	2,61881	0,441211
Bi609	5,01367	2,30546
F1	6,55417	1,80903
Ac	5,05693	3,06551
Bi1120	3,80482	5,22005
40K	6,272	3,67275
Bi1764	2,7568	3,11001
F2	6,11897	3,36402
Tl2614	3,70621	-0,715443
F3	6,92318	-1,9826
F4	1,74209	1,39636
F5	0,252258	5,37429
F6	3,27484	-0,278616
Total	-5,26475	-2,72086
CONSTANT	-16,4053	22,4311

Tabla VI.12. Sub-unidades del pozo D.

Variables	Función 1	Función 2
SiO ₂	-0,281376	0,123028
TiO ₂	-1,81634	-4,57782
Al ₂ O ₃	0,0566774	-0,126163
Fe ₂ O ₃	-0,409985	-0,819998
MnO	25,5874	22,0072
MgO	-0,816962	0,531693
CaO	-0,620379	0,982932
K ₂ O	-7,02276	3,05766
V	-0,02787	-0,0384975
Ni	0,000062318	0,000205494
Zn	-0,00152843	0,0103338
Rb	0,0699532	0,0212175
Sr	-0,0411753	-0,0121959
Zr	-0,0199492	-0,00232169
Pb	0,00639776	-0,0719752
Tl583	-6,00444	7,06185
Bi609	-4,94284	10,5888
F1	-4,84475	8,70455
Ac	-5,03594	7,70322
Bi1120	-5,38552	6,91247
40K	-6,5622	7,62192
Bi1764	-3,15849	10,7146
F2	-5,45919	7,35948
Tl2614	-7,75324	8,92237
F3	-6,37935	11,2648
F4	-5,3488	12,9751
F5	-8,65265	10,643
F6	-3,37774	4,69497
Total	5,58593	-7,59802
CONSTANT	25,1884	-29,859

APÉNDICE VII:

Coeficientes críticos de correlación según SNEDECOR (1946)

Coeficientes críticos de correlación según SNEDECOR, (1946). Tomado de CROW, (1960).

<i>f</i>	Total number of variables				<i>f</i>	Total number of variables			
	2	3	4	5		2	3	4	5
1	.997 1.000	.999 1.000	.999 1.000	.999 1.000	24	.388 .496	.470 .565	.523 .609	.562 .642
2	.950 .990	.975 .995	.983 .997	.987 .998	25	.381 .487	.462 .555	.514 .600	.553 .633
3	.878 .959	.930 .976	.950 .983	.961 .987	26	.374 .478	.454 .546	.506 .590	.545 .624
4	.811 .917	.881 .949	.912 .962	.930 .970	27	.367 .470	.446 .538	.498 .582	.536 .615
5	.754 .874	.836 .917	.874 .937	.898 .949	28	.361 .463	.439 .530	.490 .573	.529 .606
6	.707 .834	.795 .886	.839 .911	.867 .927	29	.355 .456	.432 .522	.482 .565	.521 .598
7	.666 .798	.758 .855	.807 .885	.838 .904	30	.349 .449	.426 .514	.476 .558	.514 .591
8	.632 .765	.726 .827	.777 .860	.811 .882	35	.325 .418	.397 .481	.445 .523	.482 .556
9	.602 .735	.697 .800	.750 .836	.786 .861	40	.304 .393	.373 .454	.419 .494	.455 .526
10	.576 .708	.671 .776	.726 .814	.763 .840	45	.288 .372	.353 .430	.397 .470	.432 .501
11	.553 .684	.648 .753	.703 .793	.741 .821	50	.273 .354	.336 .410	.379 .449	.412 .479
12	.532 .661	.627 .732	.683 .773	.722 .802	60	.250 .325	.308 .377	.348 .414	.380 .442
13	.514 .641	.608 .712	.664 .755	.703 .785	70	.232 .302	.286 .351	.324 .386	.354 .413
14	.497 .623	.590 .694	.646 .737	.686 .768	80	.217 .283	.269 .330	.304 .362	.332 .389
15	.482 .606	.574 .677	.630 .721	.670 .752	90	.205 .267	.254 .312	.288 .343	.315 .368
16	.468 .590	.559 .662	.615 .706	.655 .738	100	.195 .254	.241 .297	.274 .327	.300 .351
17	.456 .575	.545 .647	.601 .691	.641 .724	125	.174 .228	.216 .266	.246 .294	.269 .316
18	.444 .561	.532 .633	.587 .678	.628 .710	150	.159 .208	.198 .244	.225 .270	.247 .290
19	.433 .549	.520 .620	.575 .665	.615 .698	200	.138 .181	.172 .212	.196 .234	.215 .253
20	.423 .537	.509 .608	.563 .652	.604 .685	300	.113 .148	.141 .174	.160 .192	.176 .208
21	.413 .526	.498 .596	.552 .641	.592 .674	400	.098 .128	.122 .151	.139 .167	.153 .180
22	.404 .515	.488 .585	.542 .630	.582 .663	500	.088 .115	.109 .135	.124 .150	.137 .162
23	.396 .505	.479 .574	.532 .619	.572 .652	1000	.062 .081	.077 .096	.088 .106	.097 .115