

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE MINERALES DE ARCILLA PRESENTES EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES Y NÚCLEOS DE LA FACHADA ATLÁNTICA VENEZOLANA

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
optar al título de Ingeniero Geólogo
Por el Br. Arias D., Iván R.

Caracas, Noviembre 2004

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

ESTUDIO DE MINERALES DE ARCILLA PRESENTES EN MUESTRAS DE SEDIMENTOS SUPERFICIALES Y NÚCLEOS DE LA FACHADA ATLÁNTICA VENEZOLANA

TUTOR ACADÉMICO: Dr. Franco Urbani

Trabajo Especial de Grado
Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela para
optar al título de Ingeniero Geólogo
Por el Br. Arias D., Iván R.

Caracas, Noviembre 2004

ARIAS D., IVÁN R.

**ESTUDIO DE MINERALES DE ARCILLA PRESENTES EN MUESTRAS DE
SEDIMENTOS SUPERFICIALES Y NÚCLEOS DE LA FACHADA ATLÁNTICA
VENEZOLANA**

**Tutor Académico: Prof. Franco Urbani. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de
Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica.
Departamento de Geología. Año 2004, 94 p.**

Palabras Claves: arcillas, sedimentos, difracción de rayos x, Fachada Atlántica

Resumen. Se estudiaron sedimentos cuaternarios de la Fachada Atlántica Venezolana, provenientes de 9 núcleos tipo “*Gravity core*” y muestras de sedimentos superficiales obtenidas a través de un “*Box core*”, con el fin de correlacionar los cambios mineralógicos a procesos geológicos,

Se realizó la identificación mineralógica de 95 muestras, a través de difracción de rayos X (DRX) y se determinó la mineralogía de la fracción <2 micras de 53 muestras. La fracción mas fina se separó por decantación y centrifugación según las recomendaciones de MOORE & REYNOLDS (1989) y FOURNIER (1999).

Los resultados de los análisis mineralógicos muestran la presencia de cuarzo, calcita, arcillas, micas (traza) y feldespatos (traza), en Muestra total, mientras que en la fracción <2 micras se identificó: ilita, caolinita, clorita y esmectitas.

Los datos se procesaron con estadística univariante y multivariante, se elaboraron perfiles de distribución de la relación (caolinita + clorita + ilita)/esmectitas, y se definieron unidades a partir de las variaciones mineralógicas que permitieron caracterizar y reconocer las relaciones verticales existentes entre los sedimentos.

Con base a los perfiles de distribución realizados, la textura de los sedimentos, las tasas de sedimentación y edades relativas de FAUGÈRES *et al.* (1991) y PARRA *et al.* (1997), se identificó de forma aproximada un marcador de tiempo que define el límite Holoceno/Pleistoceno en los núcleos estudiados.

La confluencia de la pluma de sedimentos del Orinoco, en su mayor parte influenciada por río Grande, y la corriente de Guayana, produce una dispersión en la depositación de los sedimentos de la plataforma deltaica, esta dispersión se evidencia en los gráficos de caolinita + clorita + ilita/esmectitas, de forma que la gran mayoría de las muestras superficiales poseen una notable influencia Amazónica

Se interpreta que el río Orinoco es la principal fuente de sedimentos terrígenos a la plataforma deltaica, mientras que la fracción más fina (<2 micras) proviene en su mayoría de la Amazonia y es transportada por la corriente de Guayana. Es posible considerar la presencia de otras fuentes de aporte en los núcleos más distales, sin embargo no son apreciables con las técnicas empleadas en este estudio.

El estudio de la variación porcentual de los minerales de arcilla en sedimentos cuaternarios de la Fachada Atlántica venezolana, pueden ser interpretados como cambios paleoclimáticos. Los cambios del clima ocurridos en las cuencas de drenaje de las fuentes fluviales más cercanas a la zona de estudio han sido determinantes en el aporte relativo de minerales de arcillas de los ríos que drenan a la Fachada Atlántica. Así como también la distribución de estos minerales se encuentra controlada por factores oceanográficos activos como lo son las corrientes superficiales y de fondo que actúan en la zona de estudio.

ÍNDICE GENERAL

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	1
2.ASPECTOS GEOLÓGICOS	5
2.1. GEOLOGÍA REGIONAL	5
2.2. TASA DE SEDIMENTACIÓN	6
2.3. GEOLOGÍA LOCAL	7
2.3.1. Descripción de los núcleos	7
2.4. TRABAJOS PREVIOS	8
3.MARCO TEÓRICO	12
3.1. SEDIMENTACIÓN Y AMBIENTES	12
3.2.NATURALEZA DE LOS RAYOS X	14
3.3.MINERALES DE ARCILLA	17
3.3.1. Generalidades	17
3.3.2. Clasificación	17
3.3.2.1. Grupo de la caolinita	18
3.3.2.2. Grupo de la esmectita	18
3.3.2.3. Grupo de la illita	19
3.3.2.4. Grupo de la clorita	19
4. MARCO METODOLÓGICO	20
4.1. FASE DE CAMPO	20
4.2. FASE DE LABORATORIO	20
4.2.1. Generalidades	20
4.2.2. Materiales y Equipos utilizados	21
4.2.2.1. Análisis en muestra total	21
a)Equipos Analíticos	21
b) Materiales para la preparación de muestras	21

4.2.2.2. Análisis de la fracción <2 micras	22
a) Equipos Analíticos	22
b) Materiales para la preparación de muestras	22
c) Equipos para preparación y tratamiento de muestras	23
4.2.3. Muestras para su análisis en muestra total	23
4.2.4. Muestras para su análisis con la fracción <2 micras	24
4.2.5. Tratamiento con Etilen glicol (EG)	27
4.2.6. Condiciones del difractómetro de rayos X	28
4.2.6.1. Análisis en muestra total	28
4.2.6.2. Análisis de la fracción <2 micras	29
4.2.7. Identificación y cuantificación de minerales	29
4.2.7.1. Análisis en muestra total (muestras desorientadas)	29
a) Identificación de minerales	29
b) Cuantificación de minerales	30
4.2.7.2. Análisis de la fracción <2 micras l (muestras orientadas)	32
a) Identificación de minerales	32
b) Cuantificación de minerales	34
4.3. FASE DE PROCESAMIENTO DE DATOS	35
5. RESULTADOS E INTERPRETACIONES	36
5.1. GENERALIDADES	36
5.2. SEDIMENTOS SUPERFICIALES	38
5.2.1. Muestra Total	38
5.2.1.1. Estadística univariante	38
a. Histogramas de frecuencia	38
b. Diagramas de caja	39
c. Gráficos de dispersión	41
d. Perfiles de distribución	42
e. Gráficos triangulares	43
5.2.1.2. Estadística multivariante	43
a. Dendrogramas	43
b. Funciones discriminantes	44

5.2.2. Arcillas (fracción $<2\mu$)	45
5.2.2.1. Estadística univariante	45
a. Histogramas de frecuencia	45
b. Diagramas de caja	46
c. Gráficos de dispersión	47
d. Perfiles de distribución	48
e. Gráficos triangulares	49
5.2.2.2. Estadística multivariante	49
a. Dendrogramas	49
b. Funciones discriminantes	50
5.3. NÚCLEOS	50
5.3.1. Muestra Total	50
5.3.1.1. Estadística univariante	50
a. Histogramas de frecuencia	50
b. Diagramas de caja	51
c. Gráficos de dispersión	52
d. Perfiles de distribución	54
e. Gráficos triangulares	55
5.3.1.2. Estadística multivariante	55
a. Dendrogramas	55
b. Funciones discriminantes	55
5.3.2. Arcillas (fracción $<2\mu$)	58
5.3.2.1. Estadística univariante	58
a. Histogramas de frecuencia	58
b. Diagramas de caja	59
c. Gráficos de dispersión	60
d. Perfiles de distribución	61
e. Gráficos triangulares	62
5.3.2.2. Estadística multivariante	62
a. Dendrogramas	62
b. Funciones discriminantes	63

5.4. DISCUSIÓN GENERAL (MUESTRA TOTAL + ARCILLAS)	64
5.4.1. Sedimentos superficiales	64
5.4.1.1 Estadística multivariante	64
a. Dendrogramas	64
b. Funciones discriminantes	65
5.4.2. Núcleos	68
5.4.2.1. Estadística multivariante	68
a. Funciones discriminantes	68
5.4.2.2. Definición de unidades mineralógicas	70
5.4.2.2. Estadística multivariante	80
a. Funciones discriminantes	80
5.4.2.3 Perfiles de distribución vertical (cao+clo+ilita)/es	82
6. SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	92
6.1. SUMARIO Y CONCLUSIONES	92

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas y profundidad (metros) de los puntos de muestreo	2
Tabla 2. Tabla de descripción de los núcleos pertenecientes a la Fachada Atlántica venezolana	7
Tabla 3. Clasificación de los minerales de arcilla según la AIPEA	18
Tabla 4. Patrones utilizados para la cuantificación de minerales no arcillosos	30
Tabla 5. Patrones minerales para análisis de Muestra total, se indican los ángulos de barrido así como los picos e intensidades (Cuarzo I y II pertenecen al mismo patrón de cuarzo, pero en distintos ángulos de barrido)	30
Tabla 6. Valores para la cuantificación de minerales, las intensidades se expresan en cps	31
Tabla 7. Valores obtenidos en el calculote S_x , mostrando la sumatoria de $S_x...$	31
Tabla 8. Resultados porcentuales de la cuantificación de minerales en las muestras A28	32
Tabla 9. Espaciado basal de algunos minerales de arcilla	32
Tabla 10. Profundidad del muestreo y ubicación batimétrica de las muestras del transecto A	36
Tabla 11. Valores promedio de las muestras para la Muestra total	37
Tabla 12. Valores promedio de las muestras para las arcillas $<2\mu$. Valores en %	38
Tabla 13. Tipos de distribución de histogramas y máximos valores en muestras superficiales	38
Tabla 14. Mediana y máximos valores en muestras superficiales	39
Tabla 15. Tipos de distribución de histogramas y máximos valores en muestras superficiales de la fracción <2 micras	45
Tabla 16. Mediana y máximos valores en muestras superficiales de la fracción <2 micras	46

	Págs.
Tabla 17. Tipos de distribución y máximos valores en muestras de núcleo	50
Tabla 18. Mediana y máximos valores de Muestra total en núcleos	52
Tabla 20. Tipos de distribución y máximos valores en muestras de núcleo	58
Tabla 21. Mediana y máximos valores en muestras de núcleo	59
Tabla 22. Resultados analíticos finales para las muestras superficiales	64
Tabla 23. Relaciones minerales en muestras superficiales	66
Tabla 24. Compilación de trabajos varios en mineralogía de arcillas, mostrando los respectivos valores y raport	67
Tabla 25. Resultados analíticos finales para las muestras de núcleo	68

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de localización de la zona de estudio con detalle de ubicación de los puntos de muestreo de los núcleos y sedimentos superficiales en el transecto a estudiar	2
Figura 2. Mapa de distribución de facies sedimentarias holocenas del Delta del Orinoco y Golfo de Paria adyacente	5
Figura 3. Clasificación de los sistemas deltaicos	13
Figura 4. El espectro electromagnético, mostrando los distintos tipos de radiación y longitudes de onda. (Tomado y modificado de BARITTO 2004)	14
Figura 5. Esquema del sistema óptico de un difractómetro de rayos x Philips	14
Figura 6. Esquema de un tubo de rayos x.	15
Figura 7. Distribución de longitudes de onda de los rayos X	15

		Págs.
Figura 8.	Transiciones electrónicas en la estructura de un átomo	16
Figura 9.	Comparación de un espectro de radiación de cobre, a) antes y b) después de ser pasado por un filtro de Ni	16
Figura 10.	Equipo de difracción de rayos x, Laboratorio de difracción y fluorescencia de rayos x, Departamento de Geología, UCV	21
Figura 11.	Equipo de difracción de rayos x, Laboratorios Geológicos “El Chaure”, PDVSA, división Oriente	22
Figura 12.	Método de preparación de muestras en Muestra total: a, b y c montura del vidrio esmerilado; d y e Vista del conjunto y de la muestra final desorientada	23
Figura 13.	Método de preparación de la fracción <2 micras, a.- Disgregación. b y c.- Preparación acuosa. d.- Dispersión. e.- Centrifugado. f y g.- Separación de fracción gruesa. i.- Filtrado de la solución. j y k.- Colocación en portamuestra de vidrio y vista final de la muestra	25
Figura 14.	Método de preparación de muestras en Muestra total: a, y b.- Preparación de las muestras. c.- Vista de las muestras finales	28
Figura 15.	Espectro de difracción de rayos X de una mezcla de calcita y aragonito, indicando en rojo los picos principales de aragonito y en morado los de la calcita.(Tomado y modificado de U. S. Geological Survey)	29
Figura 16.	Espectro de difracción de rayos X de una muestra de esmectita en AS y EG, indicando el ángulo 2θ y su valor $d(\text{\AA})$ correspondiente al pico del mineral	33
Figura 17.	Histogramas de frecuencia, a. Cuarzo, b. Arcillas y c. Calcita	39
Figura 18.	a. Diagramas de caja de las variables mineralógicas. b, c y d. Diagramas de caja según su posición batimétrica	40
Figura 19.	Gráficos de dispersión de las variables mineralógicas según su batimetría	41
Figura 20.	Perfil de distribución de muestras superficiales	42

	Págs.
Figura 21. Gráfico ternario de muestras superficiales en Muestra total	43
Figura 22. Dendrogramas de muestras superficiales utilizando las variables de Muestra total	44
Figura 23. Gráfico de funciones discriminantes usando las variables de Muestra total y las zonas batimétricas definidas	44
Figura 24. Histogramas de frecuencia, a. Cao+Clo, b. Ilita y c. Esmeclitas	45
Figura 25. a. Diagramas de caja de las variables mineralógicas, b, c y d. Diagramas de caja según su posición batimétrica de ilita, Cao+Clo y esmeclitas respectivamente	46
Figura 26. Gráficos de dispersión de las variables mineralógicas según su batimetría	47
Figura 27. Perfil de distribución de muestras superficiales, indicando % mineral, profundidad, distancia a la costa y límites batimétricos	48
Figura 28. Gráfico ternario de muestras superficiales de arcillas <2μ	49
Figura 29. Dendrogramas de muestras superficiales utilizando las variables de arcillas <2 micras	49
Figura 30. Gráfico de funciones discriminates usando las variables de arcillas <2 micras y las zonas batimétricas definidas	50
Figura 31. Histogramas de frecuencia, a. Arcillas, b. Cuarzo y c. Calcita	51
Figura 32. a. Diagramas de caja de las variables mineralógicas, b, c y d. Diagramas de caja según su posición batimétrica de cuarzo, arcillas y calcita respectivamente	52
Figura 33. Gráficos de dispersión de las variables mineralógicas diferenciando los núcleos, y según su batimetría	53
Figura 34. Perfil de distribución de muestras de núcleo (media), indicando % mineral, profundidad, distancia a la costa y límites batimétricos	54
Figura 35. Gráfico ternario de muestras superficiales en Muestra total	55

	Págs.
Figura 36. Dendrogramas de muestras de núcleo utilizando un promedio con las variables de Muestra total. Izquierda: conservando el orden estratigráfico de las muestras. Derecha: sin conservar el orden estratigráfico	55
Figura 37. Representación gráfica de las funciones discriminantes generadas en cada núcleo por las asociaciones químicas	56
Figura 38. Histogramas de frecuencia, a. Illita, b. Cao+Clo y c. Esmectitas...	58
Figura 39. a. Diagramas de caja de las variables mineralógicas, b, c y d. Diagramas de caja según su posición batimétrica de illita, Esmectitas, y cao+clo respectivamente	60
Figura 40. Gráficos de dispersión de las variables mineralógicas. Izquierda: según su batimetría. Derecha: según el núcleo correspondiente	60
Figura 41. Perfil de distribución de muestras de núcleo, indicando % mineral (promedio por núcleo) profundidad y distancia a la costa	61
Figura 42. Gráfico ternario de muestras de núcleo de arcillas <2 μ	62
Figura 43. Dendrogramas de muestras de núcleo utilizando un promedio con las variables de fracción <2 micras	62
Figura 44. Representación gráfica de las funciones discriminantes para la fracción <2 micras por núcleo	63
Figura 45. Dendrogramas de los sedimentos superficiales (Muestra total + arcillas)	65
Figura 46. Representación gráfica de las funciones discriminantes generadas para los sedimentos superficiales	65
Figura 47. Valores de las muestras superficiales de la relación (Cao+Clo+I)/Es	66
Figura 48. Representación gráfica de las funciones discriminantes según las asociaciones químicas para Muestra total + arcillas < 2 micras	69
Figura 49. Leyenda de la litología grafica utilizada en los perfiles verticales	71
Figura 50. Perfil de distribución vertical del núcleo A2	72

	Págs.
Figura 51. Perfil de distribución vertical del núcleo A5	73
Figura 52. Perfil de distribución vertical del núcleo A11	74
Figura 53. Perfil de distribución vertical del núcleo A14	75
Figura 54. Perfil de distribución vertical del núcleo A18	76
Figura 55. Perfil de distribución vertical del núcleo A24	77
Figura 56. Perfil de distribución vertical del núcleo A26	78
Figura 57. Perfil de distribución vertical del núcleo A28	79
Figura 58. Perfil de distribución vertical del núcleo A32	80
Figura 59. Representación gráfica de funciones discriminantes generadas para las unidades mineralógicas definidas en cada núcleo	80
Figura 60. Perfiles de distribución vertical de la relación (cao+clo+ilita)/es. En color verde se muestra la zona de influencia Amazonica, en morado la zona de mezcla, y en rojo la zona con influencia Orinoquense. Las líneas rojas unen e indican los máximos de influencia Orinoquense en cada núcleo	83
Figura 61. Fotografías de: Centro Espacial NASA-Johnson. Análisis de imágenes y Ciencias de la Tierra. Izquierda: costa de Trinidad y Delta del Orinoco. Derecha: costa de Guayana	88

ÍNDICE DE APÉNDICES

APÉNDICE I

Tabla de resultados analíticos

APÉNDICE II

Matrices de correlación

APÉNDICE III

Panel de correlación transecto A

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo General

Establecer por medio de la caracterización mineralógica de muestras de sedimentos y de núcleos del fondo marino pertenecientes a la Fachada Atlántica Venezolana las relaciones laterales y verticales de las mismas, así como establecer si es posible, posibles fuentes de aporte sedimentario.

1.1.2. Objetivos Específicos

Caracterizar mineralógicamente los sedimentos depositados durante el Cuaternario en la Fachada Atlántica Venezolana con la finalidad de asociar los cambios observados con diversos procesos geológicos.

Cuantificar el porcentaje de los minerales de arcilla presente en las muestras recolectadas (ilita, esmectita, caolinita, clorita, etc.)

Cuantificar el porcentaje de los minerales detríticos como el cuarzo, feldespatos, calcita y micas, así como la determinación de politipos de los filosilicatos

Correlacionar los datos mineralógicos aquí obtenidos, con los datos químicos reportados por BARITTO (2003).

1.2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se encuentra ubicada al este del estado Delta Amacuro en la zona atlántica Venezolana entre las coordenadas de latitud norte $8^{\circ}48'14''$ y $10^{\circ}19'1''$ y de longitud oeste $57^{\circ}42'10''$ y $60^{\circ}33'43''$, abarcando entre los 200 y 3.000 m de profundidad como se puede apreciar en la figura 1.

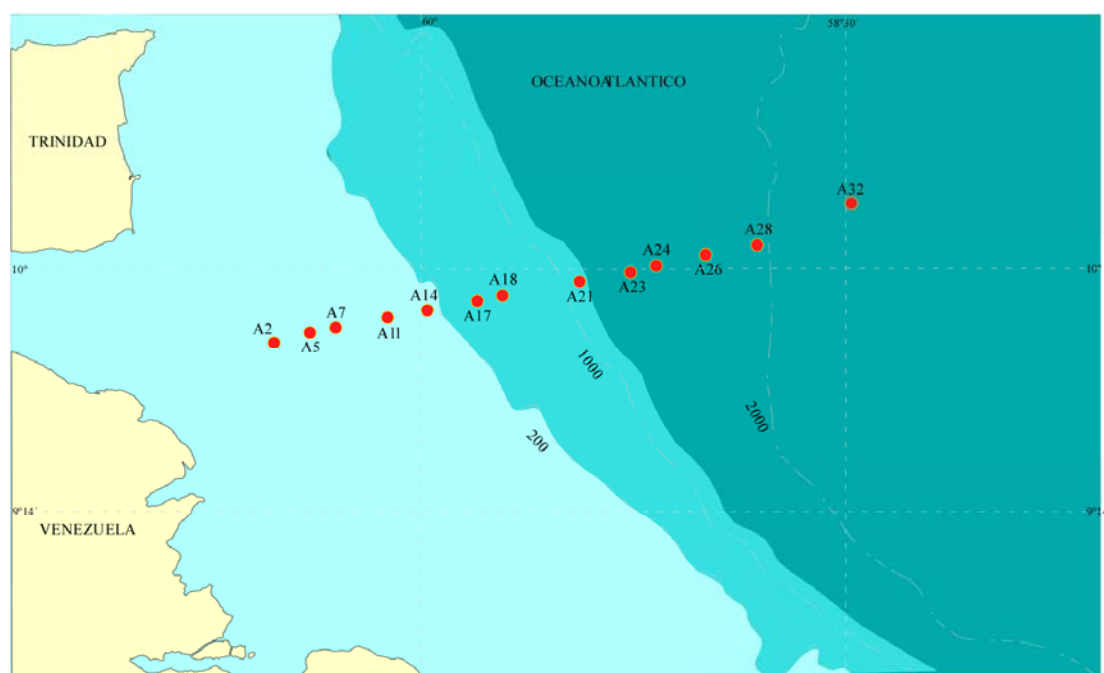


Fig. 1. Mapa de localización de la zona de estudio con detalle de ubicación de los puntos de muestreo de los núcleos y sedimentos superficiales en el transecto a estudiar.

En la tabla 1 se presenta la ubicación de los puntos de muestreo en el transecto A, indicando su profundidad y coordenadas geográficas y UTM.

Tabla 1. Coordenadas y profundidad (metros) de los puntos de muestreo.

Núcleos	Profundidad	Geográficas		UTM.	
		Latitud	Longitud	N	E
A2	60	9°57'7"	60°30'57"	1.417.710	1.602.149
A5	66	9°46'33"	60°22'48"	1.420.517	1.617.070
A11	83	9°49'26"	60°6'25,2"	1.426.145	1.646.998
A14	155	9°50'52"	59°58'1,2"	1.428.975	1.662.317
A18	709	9°53'42"	59°42'0"	1.434.542	1.691.575
A24	1.462	9°59'31"	59°9'39,6"	1.445.992	1.750.608
A26	1.731	10°1'33"	58°58'55"	1.449.947	1.770.211
A28	1.960	10°3'32"	58°48'10"	1.453.866	1.789.839
A32	2.594	10°12'10"	58°28'8,4"	1.470.354	1.826.225

1.3. AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Central de Venezuela, por ser fuente inagotable de conocimientos y oportunidades para los jóvenes venezolanos.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, sin duda un lugar especial donde se concentra el conocimiento geológico en Venezuela.

Al Laboratorio de Difracción y Fluorescencia de rayos X, por ser mi segundo hogar durante estos últimos tres años de mi vida.

A INTEVEP, por el financiamiento de este proyecto, y en especial a los integrantes del proyecto “Fachada Atlántica”.

Al profesor Franco Urbani, por darme la oportunidad de estar a su lado y brindarme su amistad sincera y desinteresada.

Al profesor Ricardo Alezones, por siempre estar allí...

A la profesora Celia Bejarano, por brindarme su ayuda desinteresada en el momento que más los necesitaba.

A los Ing. Luis Camposano e Iván Baritto, por todas esas horas de enseñanzas y trabajo, que contribuyeron a mi formación como profesional y persona.

Al Ing. Juan Carlos Suárez, por su amistad, sus consejos oportunos y su apoyo incondicional para lograr la culminación del presente Trabajo Especial de Grado.

Iván Arias agradece a:

A mis padres, por todo el esfuerzo y las horas invertidas con el fin de darme una educación universitaria.

A toda mi familia, que en todo momento me apoyaron, y me dieron ánimos para continuar.

A Fátima Vanessa Dos Santos, una persona muy especial que ha llegado a mi vida y espero que siempre estemos juntos.

A Alejandro Taibo, Claudio Lisciani, José Barreiro, Juan Carlos Picott, Randie Blanco, Redgie Blanco, Rodner Ferreira, por los viejos tiempos y esperando verlos nuevamente.

A mis amigos y compañeros de la universidad, el grupo DRX, el 330 y sus “peluches”, en especial a Claudia Chacin, David Mendi, Giovanni Prada, José Arcila, Joseph Cedillo, Jorham Contreras, Leonardo Rivas, Ricardo Arellano, William Olaya y Yulner Romero, por compartir su amistad conmigo.

A mis panas de los laboratorios geológicos “El Chaure”, en especial a Ender, Pablo Quiroz, el Sr. Zorrilla, el Dr. Pablo Klar y Yeliz, gracias por todo!.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron en mi formación como persona y profesional, y no son nombrados en estas pocas líneas, mis agradecimientos sinceros.

2. ASPECTOS GEOLÓGICOS

2.1. GEOLOGÍA REGIONAL

El Delta del Orinoco es un depocentro que presenta una forma triangular a trapezoidal, con 5 a 6 distributarios principales, los cuales se encuentran radiando al delta desde su vértice hasta la costa atlántica venezolana (WARNE *et al.* 2000). El vértice del delta está situado entre los sectores de Barrancas y Piacoa en el estado Delta Amacuro; la costa atlántica forma su base, la cual posee 275 km de largo entre Pedernales al norte y Punta Barima al sur. Su área no se limita solamente por el Orinoco, ya que el delta se extiende por la plataforma marina hacia el Golfo de Paria al norte y por el Amacuro al sur (MÉNDEZ 2000).

La plataforma costa afuera del Delta del Orinoco es amplia y extensa, con una pendiente suave de 0,1 a 0,2% hasta el borde del talud, ubicada aproximadamente a 150 km de la línea de costa con una profundidad entre 100 y 120 m. Sobre la plataforma interna del Delta del Orinoco la sedimentación es activa hasta unos 67 m aproximadamente, disminuyendo hacia la parte media y externa de la plataforma, y en ella se encuentra la facies de arena basal transgresiva como se muestra en la figura 2 (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

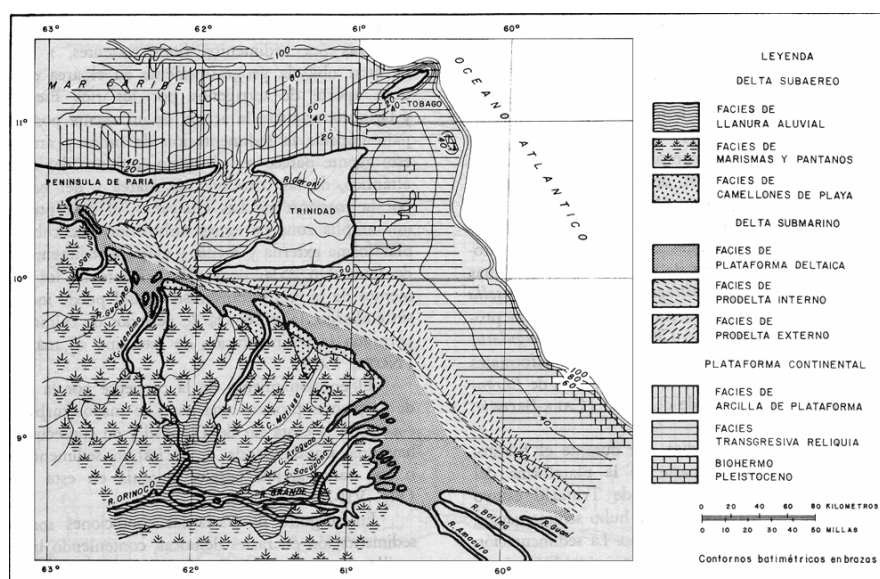


Fig. 2. Mapa de distribución de facies sedimentarias holocenas del Delta del Orinoco y Golfo de Paria adyacente (Tomado de GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

Los sedimentos de la plataforma interna corresponden a la parte submarina del Delta y se caracterizan por sedimentación rápida de material fino en ambiente parcialmente reductor. En la facies de plataforma deltaica predominan arenas finas bien escogidas, finamente intercaladas con arcillas limosas oscuras ricas en materia orgánica. La facies prodeltaica interna se caracteriza por arcilla limosa, negra, pirítica, con ocasionales restos de plantas y se extiende aproximadamente hasta unos 35-40 m en la Plataforma Atlántica. La facies prodeltaica externa se caracteriza por arcillas y arcillas limosas ligeramente calcáreas, que se extienden hasta una profundidad de 37-67 m sobre la plataforma media (GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* 1980).

WARNE *et al.* (2000), indican que la llanura del delta puede ser subdividida también en tres sectores costeros paralelos; un delta superior, delta medio y delta inferior. El delta superior es la mayor y la más frecuente parte inundada del delta. Los sedimentos superficiales son lodos alterados y arenas, y muestran que esta es la parte más antigua de la cuña sedimentaria que forma el delta. Las aguas subterráneas son salobres a dulces y tienen una mínima interacción con el océano.

El prisma de acreción al Sur de Barbados está situado entre el margen Sur-Americano y el arco de islas de las Antillas menores. Representa un modelo sedimentario complejo con aporte insular y continental. Presenta un complejo sistema de estructuras, con tres dominios geodinámicos: la placa Atlántica, el dominio Caribe y el margen de Venezuela y la placa Sur-Americana. El prisma colecta material de cinco diferentes fuentes: fuentes continentales del Amazonas y Orinoco, fuente volcanogénica del arco de las Antillas menores, arcillas diapióricas derivadas de volcanes de lodo, y aerosoles (polvo) del Sahara (PARRA *et al.* 1997).

2.2. TASA DE SEDIMENTACIÓN

En la costa afuera atlántica venezolana, la corriente norte ecuatorial (corriente de Guayana) fluye con velocidades que varían entre 0,25 y 0,75 m/seg, dirigida hacia el noroeste. Estos efectos inducidos por los cambios del viento, generan una sedimentación de $1 \text{ a } 2 \times 10^8$ tons provenientes del río Amazonas, los cuales son distribuidos anualmente a lo largo de la costa atlántica (MÉNDEZ 2000, WARNE *et al.* 2000).

El suministro de sedimentos por parte del río Amazonas y del Orinoco, han ayudado para el crecimiento del plano deltaico y el relleno del Golfo de Paria (EISMA *et al.* 1978). Estos últimos autores también indican que la tasa de sedimentación del delta del Orinoco no es está muy bien establecida, aunque si se considera un caudal de agua promedio de 40.000 m³/seg para el lapso de julio a septiembre (estación de lluvia), la tasa de sedimentación se ubicaría en $1,5 \times 10^8$ ton/año.

2.3. GEOLOGÍA LOCAL

2.3.1. Descripción de los núcleos

BARITTO (2003), realizó la descripción de los núcleos correspondientes al transecto A, determinándose el color, la variación granulométrica, niveles de materia orgánica o de conchas. Esta descripción fue hecha en base al orden de sedimentación de base a tope. En la tabla 2 se presenta la respectiva descripción de cada uno de los núcleos estudiados:

Tabla 2. Tabla de descripción de los núcleos pertenecientes a la Fachada Atlántica venezolana

Núcleo	Longitud total (cm)	Número de muestras	Descripción
A2	139,5	14	Muestras 1-5: Hacia el tope se presenta granulometría tipo limo con fragmentos de conchas y hacia la base granulometría tipo arcilla con colores marrón-gris claro. Muestras 6-10: Color verde oliva en toda esta porción del núcleo con granulometría tipo arcilla sin ninguna evidencia de conchas. Muestras 11-14: Se sigue manteniendo esta granulometría fina arcillosa con color verde oliva.
A5	115	12	Muestras 1-3: Núcleo que presenta hacia en el tope granulometría tipo limo con fragmentos de conchas, de color verde oliva. Muestras 4-6: Se sigue manteniendo hacia este nivel la misma granulometría tipo limo con las tonalidades verde oliva y fragmentos de conchas. Muestras 7-9: Porción del núcleo donde se presenta un cambio granulométrico a arcillas con el mismo color verde oliva observado en los niveles anteriores. Muestras 10-12: Granulometría arcillosa con colores verde oliva y gris claro.
A11	126	13	Muestras 1-4: Granulometría tipo arcilla de color verde oliva. Muestras 5-8: Color verde oliva con granulometría arcillosa Muestras 9-11: El núcleo sigue manteniendo la misma homogeneidad en cuanto a la granulometría arcillosa y al color verde oliva que se observa hacia el tope. Muestras 12-13: Hacia la base el color y el tipo de sedimento del núcleo sigue siendo el mismo descrito que para los niveles anteriores.
A14	99,5	10	Muestras 1-4: Núcleo que presenta hacia el tope colores gris a verde oliva con sedimento de granulometría tipo arcilla. Muestras 5-7: Hacia esta parte del núcleo se mantiene la granulometría arcillosa con color verde oliva y se aprecia un contenido considerable de materia orgánica. Muestras 8-10: En la base de este núcleo la granulometría y el color del mismo es semejante a los niveles anteriores.
A18	93	9	Muestras 1-3: Granulometría arcillosa de color verde oliva sin ningún tipo de fragmento de concha. Muestras 4-6: Se mantiene la misma granulometría arcillosa al igual que el color verde oliva. Muestras 7-9: Color verde oliva y granulometría arcillosa.
A24	106	11	Muestras 1-2: Núcleo que presenta hacia el tope color marrón a gris claro con granulometría tipo limo.

			Muestras 3-5: En esta porción del núcleo se tiene una granulometría arcillosa con un color marrón claro. Muestras 6-8: En esta sección del núcleo existe la misma granulometría arcillosa identificada anteriormente pero con color verde oliva. Muestra 9-11: En la base se tienen colores verde oliva y el sedimento identificado es tipo arcilla.
A26	80	8	Muestras 1-2: El núcleo muestra hacia el tope granulometría tipo limo y color marrón claro a gris. Muestras 3-5: Aquí la granulometría cambia a tipo arcilla al igual que el color el cual es verde oliva. Muestras 6-8: En la base del núcleo se tiene el mismo color verde oliva al igual que la granulometría arcillosa.
A28	61,5	6	Muestras 1-2: Núcleo de corta longitud mostrando en el tope granulometría tipo arcilla y color marrón claro. Muestras 3-6: Se mantiene la misma granulometría arcillosa, sin embargo, se observan además del color marrón tonalidades verde oliva.
A32	101,5	10	Muestras 1-2: En el tope de este núcleo se destaca un sedimento tipo arcilla con color marrón claro. Muestras 3-5: En esta sección del núcleo se destaca la misma granulometría arcillosa y el color marrón claro. Muestras 6-8: De igual forma al nivel anterior se mantiene la misma homogeneidad en cuanto a color y tipo de sedimento. Muestras 9-10: En la base de este núcleo se evidencia la misma granulometría arcillosa y el color marrón claro que caracteriza al mismo en toda su extensión.

Tabla 2 (Continuación)

2.4. TRABAJOS PREVIOS

A continuación se presentan los trabajos más importantes realizados en la zona de estudio:

PORRENGA (1967) hace un estudio de mineralogía de arcillas por difracción de rayos X y geoquímica en los deltas del río Orinoco, Níger y la plataforma de Sarawak, pudiendo establecer la composición de las arcillas detríticas y autigénicas.

VAN ANDEL (1967) realiza una caracterización sedimentológica detallada en la región del Delta del Orinoco y Golfo de Paria, estableciendo los patrones de sedimentación y evolución geológica durante el Holoceno.

GIBBS (1967) en base a la técnica de difracción de rayos X (DRX) determinó la composición y concentración de los sólidos suspendidos en los 16 tributarios mayores del río Amazonas al igual que determinó los factores que controlan la salinidad en el mismo.

EMEL'YANOV & KHARIN (1974) consideran el efecto del influjo de material terrígeno de los ríos Amazonas y Orinoco en el Océano Atlántico y Mar Caribe, además de hacer una caracterización de los efectos de material volcánico y biogénico en la depositación de sedimentos oceánicos.

ZAKHAROV (1974) realizó un estudio de los sedimentos del fondo de la plataforma suramericana entre los ríos Amazonas y Orinoco determinando su tamaño de grano y composición química y mineralógica.

MILLIMAN *et al.* (1975) por su parte realizan de igual forma un estudio sedimentológico hacia la desembocadura del río Amazonas determinando las facies sedimentarias presentes y la evolución en el Cuaternario de dicha área.

DAMUTH (1977) en base a 350 núcleos de pistón (piston core) obtenidos a lo largo de la región costafuera del noroeste de Suramérica realiza una caracterización sedimentológica y zonaciones bioestratigráficas que posteriormente correlaciona entre sí con el fin de establecer los procesos que afectaron la sedimentación durante el Cuaternario Tardío en esta área del Atlántico ecuatorial.

EISMA *et al.* (1978), estudió la variación de la turbidez y el origen de los sedimentos suspendidos y del fondo en la región de Boca Grande, al norte del Delta del Orinoco, por medio del análisis mineralógico y de componentes químicos mayoritarios y elementos traza.

BUTENKO & BARBOT (1979) efectúan una zonificación geotécnica de los sedimentos marinos costafuera del Delta del Orinoco definiendo las propiedades acústicas, mecánicas, geológicas y químicas de estos sedimentos al igual que realizan un análisis de los procesos sedimentarios que han afectado la plataforma continental.

BUTENKO *et al.* (1981) presentan los resultados de las investigaciones geológicas submarinas realizadas con el minisubmarino Calypso en la región costafuera del Delta del Orinoco, destacando un escarpe regional ubicado entre los 90 y 130 m de profundidad, que correspondería a una antigua línea de costa de finales del Pleistoceno.

MILLIMAN *et al.* (1982) indican los patrones depositacionales de lodos recientes de los ríos Amazonas y Orinoco sobre la plataforma noreste venezolana estableciendo más o menos la continuidad de los mismos con un espesor aproximado de 20 m

BELDERSON *et al.* (1984) empleando la técnica de sonar estudiaron el abanico submarino del Orinoco y la morfología de los canales que conforman el sistema de brazos tributarios de este abanico, cercanos al frente de deformación de Barbados.

BOWLES & FLEISCHER (1985) en base al análisis de núcleos de pistón (piston cores) de la zona de Islas de Aves revelan las relaciones climáticas moduladas entre la depositación de

carbonatos en el Cuaternario y el influjo de sedimentos terrígenos provenientes de los ríos Amazonas y Orinoco.

KRONBERG *et al.* (1986) establecen la composición química de elementos mayoritarios y trazas al igual que la composición mineralógica de los lodos pertenecientes al abanico submarino del Amazonas.

FAUGÈRES *et al.* (1991) efectúan un estudio de depósitos cuaternarios recientes del prisma de acreción del sur de Barbados empleando núcleos de gravedad (gravity cores) y núcleos de piston (piston cores), al igual que líneas sísmicas con el fin de detallar la morfología del área, estimar las tasas de sedimentación y proveniencia de los sedimentos, cambios del nivel del mar y tectónica de la zona.

MEADE (1994) realizó un estudio detallado de los sedimentos suspendidos de los ríos Amazonas y Orinoco, determinando que aproximadamente 90% de los mismos tienen como fuente de proveniencia a los Andes. En este trabajo establece las cantidades de sedimento suspendido que transportan los principales afluentes de estos dos sistemas fluviales.

DEBRABANT *et al.* (1997) usando la técnica de DRX realizaron un estudio de minerales de arcilla de sedimentos cuaternarios del abanico del Amazonas, estableciendo la distribución de las mismas al igual que su proveniencia.

PUJOS *et al.* (1997) realiza un estudio de los minerales de arcilla presentes en los sedimentos del golfo de Paria y el delta del Orinoco, encontrando cuatro minerales presentes en todas las muestras: caolinita, clorita, illita y esmectita. Pudiendo establecer patrones de sedimentación para la estación de verano e invierno.

ASLAN (1999) realiza un estudio general de la geomorfología y los sistemas depositacionales en el Delta del Orinoco.

ALMENARA & OCHOA (2000) y ESCAMILLA & ROMERO (2000), caracterizaron la sedimentología y la distribución de facies sedimentarias en el delta inferior y superior del Delta del Orinoco, respectivamente.

MÉNDEZ (2000) efectuó una caracterización de las facies sedimentarias, ambientes de sedimentación y evolución geológica del Delta del Orinoco.

ASLAN *et al.* (2001) describen a los volcanes de lodo de la región del Delta del Orinoco, interpretando el origen y evolución de estos y la importancia que han tenido para el desarrollo desde el punto de vista geológico del delta.

WARNE *et al.* (2000) establecen los controles regionales que influyen la hidrología y geomorfología de la región del Delta del Orinoco.

ARCHER (2003) por su parte hace una revisión de los sistemas depositacionales del Amazonas y región noreste de Sudamérica.

ASLAN *et al.* (2003) realizan un estudio de imágenes con sensores remotos, núcleos de poca profundidad al igual que dataciones mediante ^{14}C de remanentes orgánicos del Delta del Orinoco con la finalidad de describir los ambientes deltaicos y la interpretación de la historia geológica del delta durante el Holoceno.

CEDILLO & OLAYA (2003) caracterizaron química y radiométricamente los sedimentos depositados durante el Cuaternario en la Plataforma Deltana venezolana, provenientes de 4 núcleos tipo “piston core”. El límite entre las unidades químico-radiométricas mayores de estos núcleos, definido en este trabajo como el marcador MCO-01, concuerda con una superficie de retrogradación-progradación.

BARITTO (2003) realiza la caracterización química de sedimentos Cuaternarios de la Fachada Atlántica Venezolana, con el fin de correlacionar los cambios de las variables analizadas con procesos geológicos, así como comparar y establecer las relaciones verticales y laterales existentes.

3. MARCO TEÓRICO

3.1. SEDIMENTACIÓN Y AMBIENTES

Los sedimentos marinos son depositados bajo una amplia variedad de condiciones. Sin embargo, es de gran utilidad diferenciar entre depósitos cercanos a costas (*nearshore*) y marinos profundos (*deep-sea*), distinción que se basa en conceder una gran importancia a la ruptura de la plataforma (ORTEGA *et al.* 1991).

Los sedimentos cercanos a costas son depositados fundamentalmente en las regiones de plataforma, bajo una amplia variedad de regímenes de depósito que están fuertemente influenciados por las áreas continentales cercanas. El resultado de estas interacciones es que los depósitos de estas áreas son muy variados. El término depósito cercano a costas incluye: estuarios, bahía, lagunas, delta, abanicos aluviales, terrazas continentales y cuencas marginales (ORTEGA *et al.* 1991).

Los sedimentos marinos profundos (*deep-sea*), son depositados usualmente a profundidades superiores a una columna de agua de 500 m. Cubren más del 50% de la superficie de la Tierra. Dos de las características más distintivas de los sedimentos marinos profundos son: su tamaño de partícula (<2 micras), en proporciones que oscilan entre el 60% y el 70% del material no biológico, y su velocidad de acumulación (ORTEGA *et al.* 1991).

El ambiente deltaico se trata de un ambiente de transición caracterizado por sedimentos que han sido transportados por una corriente de agua continental hasta el extremo de un canal (o de un conjunto de canales bifurcados), y depositados, principalmente en condiciones sub-acuáticas aunque parcialmente en condiciones sub-aéreas. (SERRA 1984).

Los ambientes deltaicos presentan una gran variedad de facies. Esta complejidad responde a una serie de factores: éstos se dan en un amplio rango de ambientes geográficos; se forman en zonas de interacción de aguas dulces y procesos marinos; el régimen de sedimentación es frecuentemente alto, originando un sustrato extremadamente débil y dando lugar a una importante variedad de procesos de movimiento de remoción en masa. Por lo tanto estos depósitos muestran una gran diversidad de geometrías y características en una secuencia vertical (SERRA 1984).

En términos generales, un delta puede subdividirse en varios subambientes:

Planicie deltaica: corresponde a la porción subaérea del delta, que comprende los canales activos y abandonados separados por ambientes de aguas someras y superficies emergidas o casi emergidas.

Planicie deltaica sub-acuática: corresponde a la porción de la planicie deltaica que se encuentra por debajo del nivel de bajamar, y se extiende hacia el mar hasta el área de recepción activa de sedimentos fluviales. Esta área abarca profundidades de agua que van desde los 10 hasta los 300 m.

El Delta del Orinoco posee una superficie aproximada de 22.000 km² y presenta una forma trapezoidal a triangular con cinco a seis distributarios mayores radiando del ápice a la costa. Está limitado por el Golfo de Paria y parte de la Cordillera de La Costa al norte, el Escudo de Guayana al sur, las planicies aluviales de los Llanos y los Andes venezolanos al oeste y por el Océano Atlántico al este y sureste (BARITTO 2004).

Según CEDILLO & OLAYA (2003), el patrón de ambientes sedimentarios, desarrollo y geometría de facies y la morfología del Delta del Orinoco, evidencia características determinativas que lo diferencian de otros deltas en el mundo. La descarga de sedimentos (tasa de sedimentación), mareas, corrientes y oleaje, son parámetros que caracterizan o definen los cambios fundamentales en el desarrollo y geometría de las facies de los deltas (Figura 3).

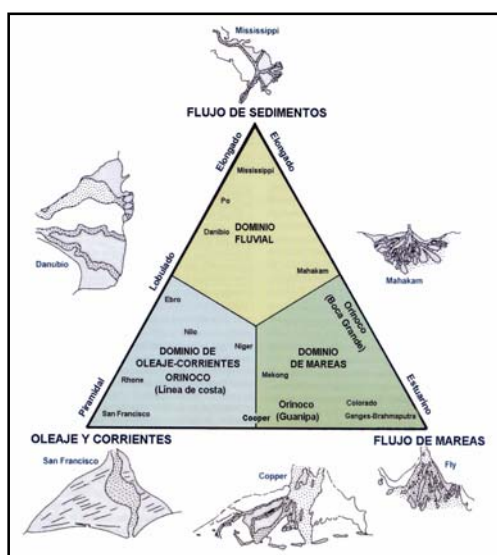


Fig. 3. Clasificación de los sistemas deltaicos en base a los parámetros de flujo de sedimentos, oleaje-corrientes y flujo de mareas (Tomado de MÉNDEZ 2000).

3.2. NATURALEZA DE LOS RAYOS X

Los rayos X son radiaciones electromagnéticas de alta frecuencia y de muy corta longitud de onda, 10 nm hasta 0,001 nm (1 nm o nanómetro equivale a 10^{-9} m). Estos rayos se generan cuando un haz de electrones de alta energía o velocidad incide sobre la materia (GRANDE 1996).

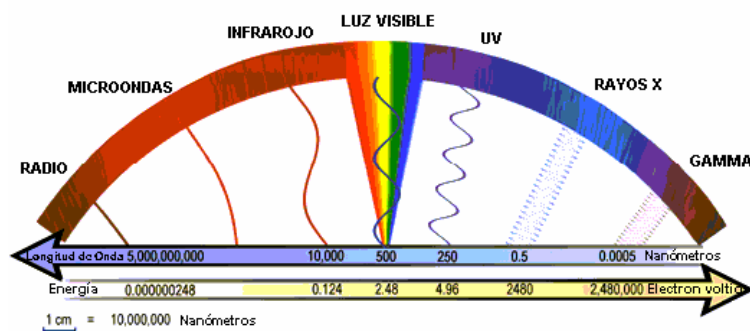


Fig. 4. El espectro electromagnético, mostrando los distintos tipos de radiación y longitudes de onda. (Tomado y modificado de BARITTO 2004).

Los rayos X que más interesan en el campo de la difracción rayos X son aquellos que disponen de una longitud de onda próxima a 1 Ångstrom (Figura 4) y corresponden a una frecuencia de aproximadamente 3 millones de THz (tera-hertzios) y a una energía de 12,4 keV (kilo-electrón-voltios) (POPPE *et al.* 2001).

La aplicación fundamental de la difracción de rayos X es la identificación de la composición mineralógica de una muestra cristalina. La difracción está basada en las interferencias ópticas que se producen cuando una radiación monocromática atraviesa una rendija de espesor comparable a la longitud de onda de la radiación x (Figura 5) (POPPE *et al.* 2001).

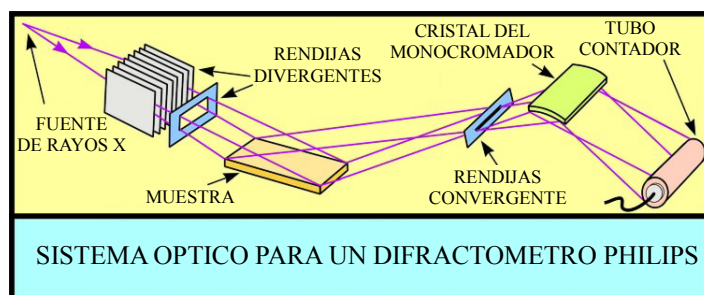


Fig. 5. Esquema del sistema óptico de un difractómetro de rayos x Philips (Tomado y modificado de: POPPE *et al.* (2001)

Esos 50 kV se suministran como diferencia de potencial (alto voltaje) entre un filamento incandescente (por el que se hace pasar una corriente i de bajo voltaje, unos 5 A a unos 12 V) y un metal puro (normalmente cobre o cobalto), estableciéndose entre ambos una corriente de unos 30 mA de electrones libres (Figura 6). Desde el filamento incandescente (cargado negativamente) saltan electrones hacia el ánodo (cargado positivamente) provocando, en los átomos de este último, una reorganización electrónica en sus niveles de energía. Este es un proceso en el que se genera mucho calor, por lo que los tubos de rayos X deben estar bien refrigerados.

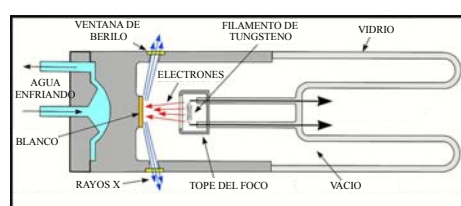
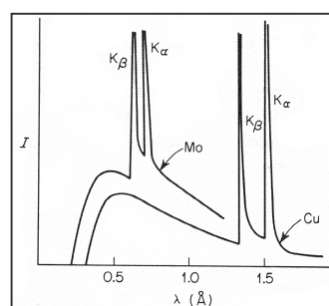


Fig. 6. Esquema de un tubo de rayos x. (Tomado y modificado de: POPPE (2001)).

El restablecimiento energético del electrón que se excitó, se lleva a cabo con emisión de rayos X con una frecuencia que corresponde exactamente al salto de energía (cuántico) que necesita ese electrón para volver a su estado inicial. Estos rayos X tienen por tanto una longitud de onda concreta y se conocen con el nombre de radiación característica (CULLITY 1967).

Las radiaciones características más importantes en difracción de rayos X son las llamadas líneas K-alpha y K-beta, donde los electrones caen a la capa más interior del átomo. Sin embargo, además de estas longitudes de onda concretas, se produce también todo un espectro de longitudes de onda muy próximas entre sí y que se denomina radiación continua mostrado en la figura 7, debido al frenado por el material, de los electrones incidentes (GRANDE 1996).

Fig. 7. Distribución de longitudes de onda de los rayos X que se producen en tubos de rayos X (Tomado de CULLITY 1967).



Al aumentar el voltaje hasta un nivel crítico, que depende del metal de ánodo, líneas espectrales definidas y de alta energía se superponen al espectro continuo. Cuando los electrones de las capas L y M caen hacia la capa K, se emiten rayos x cuyos fotones poseen una energía igual a la diferencia de energía entre las capas internas y externas involucradas en la transición. Las transiciones ocurren entre la concha M y K (transición M-K) y entre dos niveles con una leve diferencia energética de la capa L y la K, en la figura 8 se muestran las transiciones entre las capas electrónicas. Cada transición genera una radiación x característica (CULLITY 1967, GRANDE 1996).

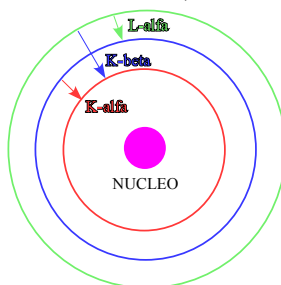


Fig. 8. Transiciones electrónicas en la estructura de un átomo.

El pico $K\beta$ tiene una intensidad de por lo menos $\frac{1}{4}$ de los picos $K\alpha$. Las intensidades solo indican que las transiciones M-K son menos probable que las L-K. Sin embargo cada transición M-K libera mucha mas energía que una L-K, de modo que la longitud de onda $K\beta$ es menor que la $K\alpha$ (CULLITY 1967, (GRANDE 1996).

En cristalografía de rayos x se requiere de una radiación x monocromática, es decir una longitud de onda lo mas definida posible. Cuando se hace pasar radiación x a través de una lámina metálica, los rayos x sufrirán una absorción, mostrado en la figura 9 (igual que la luz a través de un vidrio ahumado). Esto representa una gran ventaja debido a que permite seleccionar una gama de láminas metálicas de diferentes espesores y composición que sirvan de filtro para la radiación $K\beta$, dejando sólo pasar radiación $K\alpha$ monocromática (GRANDE 1996).

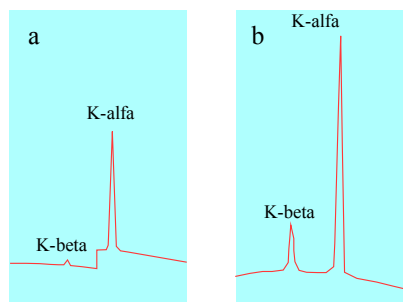


Fig. 9. Comparación de un espectro de radiación de cobre, a) antes y b) después de ser pasado por un filtro de Ni.

Sin embargo, existe un dispositivo llamado monocromador que consiste en un pequeño cristal curvo de grafito, colocado usualmente frente al detector, este cristal es posicionado de tal forma que las radiaciones $K\alpha$ son difractadas justo al detector, y de igual manera las radiaciones $K\beta$ son difractadas pero con un ángulo distinto que las $K\alpha$, por ende sólo las $K\alpha$ llegan al detector; haciendo innecesario la utilización de filtros o láminas metálicas para la absorción de las radiaciones $K\beta$ (MOORE & REYNOLDS 1989).

3.3. MINERALES DE ARCILLA

3.3.1. Generalidades

Los minerales de la arcilla, los filosilicatos, son los minerales más abundantes en el ambiente sedimentario considerándose en general, estables en los diferentes ambientes de formación, sea cual fuere su origen y, por consiguiente, estableciéndose relación directa entre tipo, composición química y cristalinidad frente a las condiciones genéticas (ORTEGA *et al.* 1991).

Por ello, los minerales de la arcilla (en el ámbito del tiempo geológico) son testigos sensibles a los cambios de presión y temperatura. Su particular cristalquímica, tamaño de partícula, capacidad de sustitución química, etc. los convierte en excelentes indicadores en el estudio evolutivo de una cuenca sedimentaria. (ORTEGA *et al.* 1991).

Existe una considerable variación en las propiedades químicas y físicas de este grupo mineral, pero la característica que tienen en común es la morfología planar y su perfecto clivaje (001), a consecuencia de su estructura atómica laminar (MOORE & REYNOLDS 1989).

3.3.2. Clasificación

La nomenclatura para la clasificación de los minerales de arcilla ha sido un tema ampliamente discutido, a continuación se presenta una clasificación recomendada por BAILEY & CHAIRMAN 1980, y aprobada por la Association Internationale Pour l'Étude des Argiles (AIPEA).

En la tabla 3 se da un esquema de clasificación en donde los filosilicatos son divididos en grupos, conteniendo subgrupos dioctaédricos y trioctaédricos; y cada subgrupo a su vez se divide en especies minerales.

Tabla 3. Clasificación de los minerales de arcilla según la AIPEA.

Tipo de capa	Grupo	Subgrupo	Especie mineral
1:1	Caolinita-serpentina	Caolinita	Caolinita, dickita, halloysita
		Serpentina	Crisotilo, lizardita, amesita
2:1	Pirofilita-talco	Pirofilita	Pirofilita
		Talco	Talco
	Esmectita	Esmectita dioctaédrica	Montmorillonita, beidelita
		Esmectita trioctaédrica	Saponita, hectorita, Sauconita
	Vermiculita	Vermiculita dioctaédrica	Vermiculita dioctaédrica
		Vermiculita trioctaédrica	Vermiculita trioctaédrica
	Mica #	Mica dioctaédrica	Muscovita, paragonita
		Mica trioctaédrica	Flogopita, biotita, lepidolita
	Mica frágil	Mica frágil dioctaédrica	Margarita
		Mica frágil trioctaédrica	Clintonita, anandita
	Clorita	Clorita dioctaédrica	Donbasita
		Clorita di, trioctaédrica	Cokeita, sudoita
		Clorita trioctaédrica	Clinocloro, chamosita, Nimita

El estatus de la ilita (o hidromica), sericita, etc. debe ser dejado abierto hasta el presente, debido a que aun no está claro en que nivel de la tabla deba ser clasificada.

3.3.2.1. Grupo de la caolinita $\text{Al}_4[\text{Si}_4\text{O}_{10}](\text{OH})_8$

Probablemente la más común del grupo de minerales de arcilla (frecuentemente acompañada por cuarzo, óxidos de hierro, pirita, siderita, moscovita y otros minerales de arcilla), son formados principalmente por alteración hidrotermal o meteorización de feldespatos, feldespatoideos y otros silicatos (DEER *et al.* 1970).

Experimentos realizados han mostrado que a bajas temperaturas y presiones, condiciones ácidas favorecen la formación de caolinita, y las condiciones alcalinas promueven la formación de esmectitas o, si hay suficiente potasio (K) presente, micas.

Las rocas que alteran a caolinita son usualmente de tipo ácidas (granitos, cuarzo-dioritas, etc.), mientras que las rocas ricas en calcio y sodio generan esmectitas (DEER *et al.* 1970).

3.3.2.2. Grupo de la esmectita $(0,5\text{Ca},\text{Na})_{0,7}(\text{Al},\text{Mg},\text{Fe})_4[(\text{Si},\text{Al})_8\text{O}_{20}](\text{OH})_4n\text{H}_2\text{O}$

Por mucho tiempo considerada el mas interesante de los minerales de arcilla, y ahora curiosamente es el centro de investigación en atención a la transición esmectita a ilita.

Esmectita es realmente el nombre de un grupo de minerales, dioctahedricos y trioctaédricos, todos ellos con la propiedad de expandir o contraer su estructura manteniendo sus propiedades cristalográficas intactas. La expansión tiene lugar con

moléculas de agua o algún compuesto orgánico, tal como ethylen glycol. (MOORE & REYNOLDS 1989).

3.3.2.3. Grupo de la ilita $K_{1-1.5}Al_4[Si_{7-6.5}Al_{1-1.5}O_{20}](OH)_4$

La ilita es el mineral de arcilla predominante en esquistos y lodolitas, también suele ocurrir en otras rocas como lutitas y en sedimentos. La ilita de sedimentos puede haber sido depositada después de su formación por meteorización de silicatos, principalmente feldespatos, pero en algunos puede ser derivada de la alteración de otros minerales de arcilla producto de la diagénesis. También puede producirse por degradación de la muscovita, o en apropiadas condiciones por recristalización de sedimentos coloidales (DEER *et al.*, 1970).

La ilita puede tener un origen hidrotermal, son frecuentemente encontradas en zonas de alteración alrededor de puntos calientes o vetas metalíferas. Experimentos de laboratorio indican que la ocurrencia de ilita es favorecida por condiciones alcalinas y por altas concentraciones de K y Al (DEER *et al.*, 1970).

3.3.2.4. Grupo de la clorita $(Mg,Al,Fe)_{12}[(Si,Al)_8O_{20}](OH)_{16}$

Los minerales del grupo de la clorita son constituyentes comunes de sedimentos arcillosos, en cuales ocurre como mineral detrítico y antigénico. Muchas veces se presenta interestratificada con otros minerales como la vermiculita (DEER *et al.*, 1970).

La clorita puede formarse como subproducto de la transformación de esmectita en ilita (ORTEGA *et al.* 1991).

4. MARCO METODOLÓGICO

4.1. FASE DE CAMPO

Las muestras utilizadas en el presente trabajo fueron colectadas por el buque oceanográfico de la Armada “Punta Brava” y suministradas por INTEVEP.; anteriormente BARITTO (2004) realizó la caracterización química de las muestras, este autor describe de una manera detallada la fase de recolección de muestras, así como también el proceso de selección y el tratamiento final para los análisis por rayos X.

4.2. FASE DE LABORATORIO

4.2.1. Generalidades

Se realizó un muestreo de 10 cm en cada uno de los 9 núcleos, los cuales están localizados en el transecto A como se puede apreciar en la figura 1. Además se obtuvieron muestras de sedimentos superficiales en algunos de los puntos de muestreo.

Se analizaron 89 muestras pertenecientes a todos estos núcleos y 8 muestras pertenecientes a los sedimentos superficiales de los mismos, arrojando una cifra total de 95 muestras. Todas estas muestras fueron analizadas por difracción de rayos x, para determinar su composición mineralógica.

Esta fase consta de dos partes:

Análisis por difracción de rayos X en muestra total: se realizó en el Laboratorio de Difracción y Fluorescencia de rayos X de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Universidad Central de Venezuela. El análisis en “muestra total”, consiste en identificar la mineralogía total de las muestras, este análisis ha sido aplicado con éxito en los sedimentos recientes estudiados en este trabajo

Análisis por difracción de rayos X de la fracción <2 micras: que comprende el análisis de 53 muestras en los pozos A5, A14, A18, A26, A28, A32, y seis muestras superficiales. Se realizó en los Laboratorios Geológicos de “El Chaure”, PDVSA Oriente, Puerto La Cruz.

4.2.2. Materiales y Equipos utilizados

4.2.2.1. Análisis en muestra total

a) Equipos Analíticos

Difractómetro Philips

Generador de rayos x: PW 3830

Goniómetro modelo “step scanning”: PW 3020

Detector de rayos x: PW 1711/90

Monocromador Pw 1752/00

Tubo de cobalto



Fig 10. Equipo de difracción de rayos x, Laboratorio de difracción y fluorescencia de rayos x, Departamento de Geología, UCV.

b) Materiales para la preparación de muestras

Morteros de ágata

Portamuestras de aluminio especiales para difracción

Espátula

Vidrios esmerilados de 2×2 cm

Vidrios normales de 2×2 cm

Exacto y hojillas

Cinta transparente adhesiva

Papel absorbente

Alcohol isopropílico

4.2.2.2. Análisis de la fracción <2 micras

a) Equipos Analíticos

Difractómetro Philips

Generador de rayos x

Goniómetro modelo “step scanning”: PW 3020

Detector de rayos x: PW 1711/90

Monocromador de grafito Pw 1752/00

Tubo de cobre



Fig. 11. Equipo de difracción de rayos x, Laboratorios Geológicos “El Chaure”, PDVSA, división Oriente.

b) Materiales para la preparación de muestras

Morteros de ágata

Portamuestras de aluminio especiales para difracción

Portamuestras de vidrio de 2 × 3 cm

Filtros redondos Sartorius de 1,2 micras × 47 mm de nitrato de celulosa

Beakers Pyrex de 250 ml

Beakers Pyrex de 600 ml

Kitasato Pyrex de 500 ml

Sistema de vacío (Vaso graduado, portamembranas de 47 mm)

Bomba de vacío

Removedores de vidrio

Vidrios esmerilados de 2 × 2 cm

Vidrios normales de 2 × 2 cm

Cuchillo y hojillas

Cinta transparente adhesiva

Papel absorbente

Cacerola Pyrex con plataforma para el tratamiento con ethilen glicol

Tamiz de 200 mesh

c) Equipos para preparación y tratamiento de muestras

Ultrasonido

Equipo de destilación de agua

Balanza electrónica

Centrífuga

4.2.3. Muestras para su análisis en muestra total

Este análisis por DRX se realizara a todas las muestras recolectadas, en forma de montura desorientada, para así identificar la mineralogía total de la muestra y politipos de minerales de arcilla.

En este proceso se siguen los siguientes pasos:

Se disgrega la muestra mediante un mortero de ágata o porcelana, obteniendo un polvo fino.	a 
Se coloca un vidrio esmerilado a una plaquita de difracción por el lado de incidencia de los rayos x, el vidrio se ajusta con cinta plástica transparente y se voltea el conjunto vidrio esmerilado - plaquita	b 

Fig. 12. Método de preparación de muestras en muestra total: a, b y c montura del vidrio esmerilado; d y e Vista del conjunto y de la muestra final desorientada

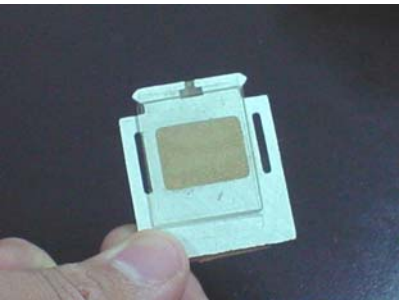
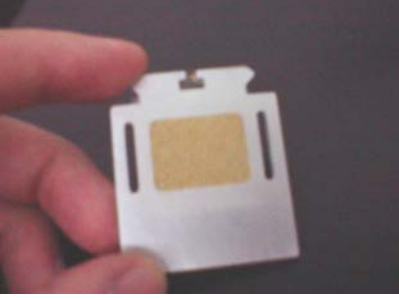
Se agrega el polvo fino con una espátula cuidando que esta se mantenga perpendicular a la superficie del aluminio para lograr la máxima desorientación. Luego se llena el espacio de la plaquita con el polvo.	c 
Se coloca un vidrio normal ajustándolo también con cinta plástica transparente teniendo cuidado de no hacer mucha presión	d 
Se voltea el conjunto y se retira el vidrio esmerilado cortando las cintas con una hojilla, de esta manera la cara de incidencia de los rayos x queda desorientada por la superficie esmerilada.	e 

Fig. 12. (Continuación)

4.2.4. Muestras para su análisis con la fracción <2 micras

Con este tipo de análisis sólo se estudian los filosilicatos y consiste en orientar estos minerales según planos basales. A continuación en la figura 13 se detalla la metodología utilizada:

Paso 1 Se utiliza una porción de muestra que no haya sido tratada químicamente (ácidos), físicamente (molienda) o sometida a excesos de temperatura. Con un mortero de ágata se disgrega (no moler) la muestra por períodos limitados de tiempo. (En el caso que la muestra se encuentre en estado plástico o maleable obviar este paso)	a 
Paso 2 Agregar 25 gr de muestra en un biker de 600 ml lleno con agua destilada, remover en forma continua durante un (1) minuto, y dejar reposar por cinco (5) minutos.	b 
Paso 3 Una vez que la fracción gruesa decantó al fondo del biker (paso anterior), llenar los tubos de la centrífuga previamente identificados con el nombre de la muestra y equilibrando su peso con agua destilada. Guardar el líquido restante en el biker de 600 ml hasta el final del proceso.	c 
Paso 4 Dispersar en el ultrasonido por 60 segundos el líquido contenido en los tubos de centrífuga	d 

Fig. 13. Método de preparación de la fracción <2 micras, a.- Disgregación. b y c.- Preparación acuosa. d.- Dispersión. e.- Centrifugado. f y g.- Separación de fracción gruesa. i.- Filtrado de la solución. j y k.- Colocación en portamuestra de vidrio y vista final de la muestra.

Paso 5 Equilibrar el peso de los tubos con agua destilada y centrifugar a 900 rpm por un tiempo de 3 min.	e 
Paso 6 Verter el líquido sobrenadante de los tubos de centrifuga en bikers de 250 ml previamente identificados con el nombre de la muestra, y desechar el líquido y sedimento restante en los tubos.	f 
Paso 7 Trasvasar el líquido contenido en los bikers de 250 ml a los tubos de centrifuga previamente lavados con agua destilada e identificados con el nombre de la muestra.	g 
Paso 8 Repetir el proceso desde el Paso 4 hasta el Paso 7 dos veces más (Es decir el proceso entre los Pasos 4 y 7 se realizará tres (3) veces)	h 

Fig. 13. (Continuación)

Paso 9 Una vez realizado el proceso tres veces, se toma el líquido contenido en el biker de 250 ml y se verte en el vaso del aparato de filtración y se pone en funcionamiento la bomba de vacío.	i 
Paso 10 Terminada la filtración de la muestra, se retira el vaso del aparato de filtración y se procede a sacar la membrana con la fracción $<2\mu$ retenida, la cual se coloca en el portamuestras de vidrio	j 
Paso 11 A continuación, se deja en reposo hasta que se seque la película arcillosa y se retira con cuidado la membrana.	k 

Fig. 13. (Continuación)

4.2.5. Tratamiento con Etilen glicol (EG)

Después de analizar las muestras orientadas en condiciones atmosféricas normales (AS), las mismas muestras fueron sometidas a una atmósfera de etilen glicol (EG) para verificar la existencia de arcillas expansiva. A continuación en la figura 14 se detalla la metodología utilizada:

Paso 1 Se coloca 200 ml de EG en la cacerola de cierre hermético de vidrio Pyrex. Se colocan las muestras dentro de la cacerola y en la plataforma tratando en lo posible de no juntarlas demasiado.	a 
Paso 2 Se coloca la cacerola cerrada dentro de un horno a 60 °C por 12 horas.	b 
Paso 3 Se retiran las muestras de la cacerola una por una, volviéndola a identificar si es necesario	c 

Fig. 14. Método de preparación de muestras en muestra total: a, y b.- Preparación de las muestras. c.- Vista de las muestras finales.

4.2.6. Condiciones del difractómetro de rayos X

Para todos los análisis el generador de rayos X se ajustó a 40 kV y 20 mA utilizando un tubo de Co para muestra total y Cu para la fracción <2 micras. Las condiciones de las corridas y ajustes del goniómetro son los siguientes:

4.2.6.1. Análisis en muestra total

- Intervalo de barrido 2θ : 3 - 69°.
- Tamaño del paso: $0,02^\circ 2\theta$.
- Tiempo de conteo en cada paso: 1,25 segundos.

- Velocidad: $0,016^{\circ}2\theta/\text{seg}$.
- Ranura divergente: 1° .
- Ranura receptora: $0,1^{\circ}$.
- Tipo de montura: desorientada.

4.2.6.2. Análisis de la fracción <2 micras

- Intervalo de barrido 2θ : $2 - 35^{\circ}$.
- Tamaño del paso: $0,02^{\circ}2\theta$.
- Tiempo de conteo en cada paso: 0,800 segundos.
- Velocidad: $0,016^{\circ}2\theta/\text{seg}$.
- Ranura divergente: $1,5^{\circ}$.
- Ranura receptora: $0,2^{\circ}$.
- Tipo de montura: orientada.

4.2.7. Identificación y cuantificación de minerales

4.2.7.1. Análisis en muestra total (muestras desorientadas)

a) Identificación de minerales

Usando la corrida de muestra total en difracción se utilizan las tablas del Joint Committee on Powder Diffraction Standards (JCPDS) para un reconocimiento de los minerales presentes en la roca. En la figura 15 se observa el espectro en difracción de rayos X de una mezcla de calcita y aragonito, mostrando sus picos principales para su identificación.

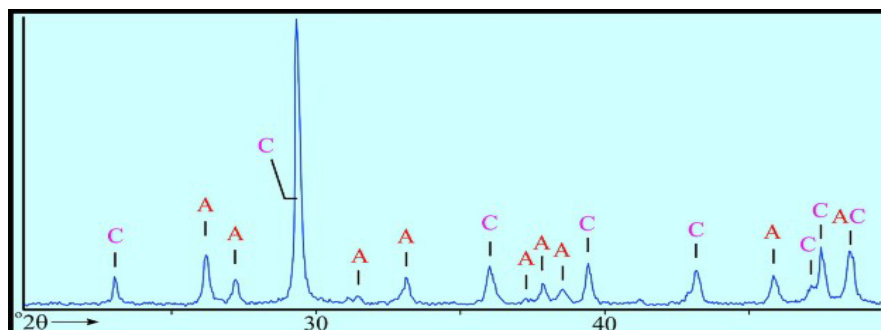


Fig. 15. Espectro de difracción de rayos X de una mezcla de calcita y aragonito, indicando en rojo los picos principales de aragonito y en morado los de la calcita (modificado de POPPE *et al.* 2001).

b) Cuantificación de minerales

Previamente se corrieron en forma desorientada y separadamente, muestras puras de los minerales a cuantificar. En estas muestras se reconocieron el principal pico o aquella reflexión más alta en intensidad relativa. La tabla 4 muestra la localidad de los patrones no arcillosos utilizados:

Tabla 4. Patrones utilizados para la cuantificación de minerales no arcillosos

Mineral	Localidad
Cuarzo	Venezuela
Calcita	Venezuela
Albita	Edo. Cojedes- Venezuela
Micas	Venezuela

El patrón arcilloso utilizado en este trabajo fue provisto por el laboratorio de difracción y fluorescencia de rayo X, anteriormente utilizado por FOURNIER (1999), en su trabajo especial de grado.

La muestra arcillosa se corrió en todo su espectro 2θ y se identificó el pico de $4,464\text{\AA}$, esta reflexión no es la más alta en intensidad relativa pero si es la más común y diagnóstica para los minerales de arcilla.

Posterior a la identificación de los picos principales en los minerales no arcillosos y el pico de $4,46\text{\AA}$ en la mezcla arcillosa, y siguiendo la metodología utilizada por FOURNIER (1999) se elaboraron programas de análisis en muestra total para cada mineral, con la finalidad de poder determinar la intensidad del pico de cada mineral separadamente.

Tabla 5. Patrones minerales para análisis de muestra total, se indican los ángulos de barrido así como los picos e intensidades (Cuarzo I y II pertenecen al mismo patrón de cuarzo, pero en distintos ángulos de barrido).

Mineral	Intervalo 2θ barrido	Pico($\text{\AA}$)	(hkl)	Intensidad (cps)
Cuarzo I	30,2-31,7	3,34	(101)	2609
Cuarzo II	23,7-24,8	4,24	(100)	678
Calcita	33,7-34,7	3,03	(104)	1527
Albita	31,79-33,23	3,19	(002)	5439
Arcillas	22-25	4,46	(020)	101
Micas	9-11	10.02	(001)	3257

El pico principal o mayor reflexión de cada mineral fue analizado cinco veces y se tomó el promedio de la intensidad (cps), de igual forma se realizó con la mezcla de arcillas y con su pico estándar 4,464Å. La tabla 5 muestra el promedio de la intensidad en cps de las diferentes corridas.

Una vez obtenidos los datos necesarios a través del método de difracción de rayos X, se procede a la cuantificación de los minerales presentes en las muestras. Los cálculos son muy sencillos y consisten en obtener el porcentaje de cada mineral a través de los resultados del difractograma. En primer lugar es recomendable ordenar los datos como se muestra en la tabla 6, en donde se indique las cuentas por segundo (cps) de las muestras a cuantificar en el ángulo correspondiente al mineral.

Tabla 6. Valores para la cuantificación de minerales, las intensidades se expresan en cps.

ID	Intensidades (cps)					
	Micas 9-11°	Arcillas 22-25°	Cuarzo I 30,2-31,7°	Cuarzo II 23,7-24,8°	Feldespatos 31,79-33,23°	Calcita 33,7-34,7°
A28-1	37	103	123	446	62	299
A28-2	31	105	185	940	66	184
A28-3	50	100	229	935	59	113
A28-4	37	112	224	864	62	134
A28-5	36	96	198	828	70	145
A28-6	47	117	249	862	68	111

Una vez concluida la tabla, debemos calcular el factor de corrección de intensidades (S_x), a través de la siguiente formula: $S_x = (I_{mx} / I_{patrón}) * 100$, en donde I_{mx} son las intensidades de los minerales en las muestras a cuantificar (pozo A28, en la tabla 6), y $I_{patrón}$ corresponde a los valores calculados anteriormente y señalados en la tabla 5. A continuación en la tabla 7, se muestra el resultado en donde se ha calculado S_x , además se agrega una columna que corresponde a la sumatoria de todos los S_x en cada muestra ($\sum S_x$).

Tabla 7. Valores obtenidos en el cálculo de S_x , mostrando la sumatoria de S_x

ID	$S_x = (I_{mx} / I_{patrón}) * 100$						
	Micas 9-11°	Arcillas 22-25°	Cuarzo I 30,2-31,7°	Cuarzo II 23,7-24,8°	Feldespatos 31,79-33,23°	Calcita 33,7-34,7°	$\sum S_x$
A28-1	1	102	18	17	1	20	159
A28-2	1	104	27	36	1	12	182
A28-3	2	99	34	36	1	7	179
A28-4	1	111	33	33	1	9	188
A28-5	1	96	29	32	1	10	169
A28-6	1	117	37	33	1	7	196

Obtenido el factor $\sum S_x$ se procede al cálculo porcentual de los minerales presentes (M_x), a través de la siguiente formula: $M_x = (S_x / \sum S_x) * 100$ (Tabla 8).

Tabla 8. Resultados porcentuales de la cuantificación de minerales en las muestras A28.

ID	$M_x = (S_x / \sum S_x) * 100$					
	Micas 9-11°	Arcillas 22-25°	Cuarzo I 30,2-31,7°	Cuarzo II 23,7-24,8°	Feldespatos 31,79-33,23°	Calcita 33,7-34,7°
A28-1	1	64	11	11	1	12
A28-2	1	57	20	15	1	7
A28-3	1	56	20	19	1	4
A28-4	1	59	18	18	1	5
A28-5	1	57	19	17	1	6
A28-6	1	59	17	19	1	4

4.2.7.2. Análisis de la fracción <2 micras I (muestras orientadas)

a) Identificación de minerales

Según FOURNIER (1999), los filosilicatos son identificados de acuerdo los planos basales ó (00l), los demás planos hkl de los minerales de arcillas no son diagnósticos porque las estructuras de muchas arcillas son muy similares. Por lo tanto los valores en Å de los planos basales para la identificación se tomaron de MOORE & REYNOLDS (1989) y se muestran en la tabla 9.

Tabla 9. Espaciado basal de algunos minerales de arcilla.

Filosilicato	Espaciado basal 00l			
	001	002	003	004
Clorita	14,2	7,1	4,74	3,55
Caolinita	7,16	3,58	2,38	
Ilita/Mica	10	5	3,33	2
Esmeclita	15	5	3,75	
Ilita/esmeclita	17-10	9-10	5,5-5	3,5

A continuación y siguiendo las recomendaciones de FOURNIER (1999), se describen los pasos para la identificación de muestras orientadas:

En principio se debe interpretar el análisis en AS, para lo cual se recomienda escribir en el difractograma la posición angular y el valor d (Å) de cada pico y comparar los valores obtenidos de los planos d (Å) con los valores listados en la tabla 9.

Para llevar un orden se recomienda comenzar desde el valor 2θ más bajo, que es donde ocurren las reflexiones (001). En cada pico del difractograma escribir el (los) nombre(s) del (los) filosilicato(s) que generó, se debe recordar que las reflexiones siguen un patrón uniforme ya que la muestra está orientada según los planos basales (001).

Identificados los minerales en AS, se continúa con la interpretación del análisis en EG, el cual permite la identificación de filosilicatos expansivos, en su mayoría estos filosilicatos son del grupo de la esmectita en donde su principal miembro es la montmorillonita, también existe otro grupo grande de minerales expansivos los cuales son los llamados interstratificados, el más común de estos minerales es el del tipo illita/esmectita (I/S).

En la figura 16 se observa un espectro de difracción de rayos x analizado por AS y EG, mostrando como se corre hacia ángulos más bajos el pico de los minerales expansivos una vez tratados con EG.

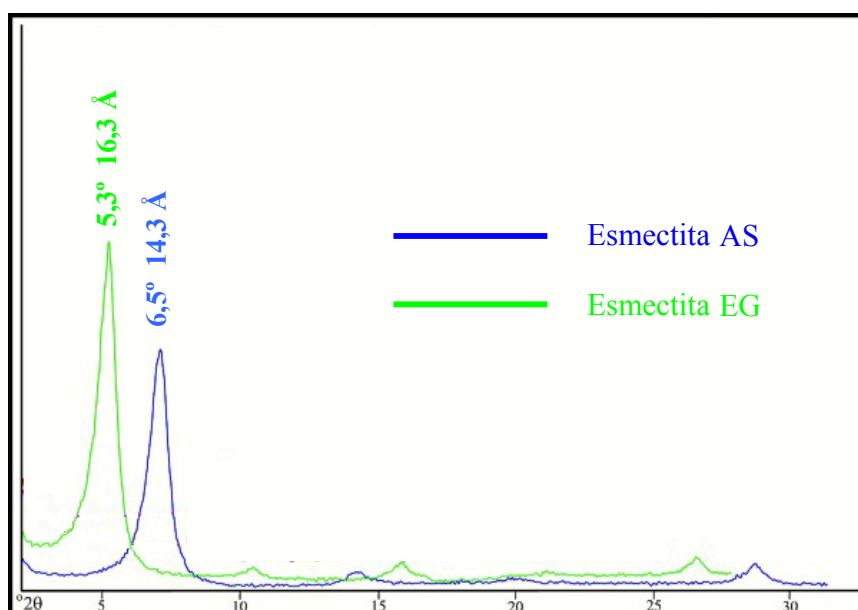


Fig. 16. Espectro de difracción de rayos X de una muestra de esmectita en AS y EG, indicando el ángulo 2θ y su valor $d(\text{\AA})$ correspondiente al pico del mineral. Modificado POPPE *et al* (2001)

El tratamiento con EG produce un difractograma distinto que el de AS si existen minerales expansivos, esto se traduce en desplazamientos de picos hacia menores valores 2θ es decir en un aumento en el valor d ($\text{\AA}$) o también en afinamientos en la forma de picos.

Si se observan estos cambios en los dos difractogramas se procede a identificar el tipo de filosilicato expansivo a partir de los valores propuestos por MOORE & REYNOLDS 1989 y mostrados en la tabla 9.

b) Cuantificación de minerales

Para la cuantificación de los minerales de arcilla se utilizaron las corridas tratadas con EG, ya que de esta manera se elimina cualquier efecto o interrupción de los minerales expansivos hacia los no expansivos (FOURNIER 1999).

La cuantificación de las muestras orientadas se realiza a partir de una serie de cálculos sencillos, en base a las intensidades relativas (I) en los planos basales de los minerales de arcilla.

Esta metodología se basa en las recomendaciones hechas por JOHN HOWER, Profesor de la Universidad de Illinois en el Departamento de Geología, en comunicación personal a PABLO CLARK, asesor en mineralogía de arcillas de los Laboratorios Geológicos “El Chaure”, PDVSA, División Oriente.

A continuación se detallan los cálculos para la cuantificación:

En primer lugar debemos plantear los factores y la fórmula para la cuantificación:

$I_{\text{caolinita (002)}}$ = intensidad en cps de la reflexión basal de la caolinita en el valor de 3,58 Å

$I_{\text{clorita (004)}}$ = intensidad en cps de la reflexión basal de la clorita en el valor 3,53 Å

$I_{\text{illita (001)}}$ = intensidad en cps de la reflexión basal de la illita en el valor 10 Å

$I_{\text{illita (003)}}$ = intensidad en cps de la reflexión basal de la illita en el valor 3,35 Å

$I_{\text{cuarzo (100)}}$ = intensidad en cps de la reflexión del cuarzo en el valor 4,26 Å

F = valor empírico calculado en base a la relación de illita/esmectita presente en las muestras, CLARK (2004, com. Per.) recomendó utilizar el valor 1,7 para el factor F.

$$[I_{\text{caolinita (002)}}]/(3/F) + [I_{\text{clorita (004)}}]/(3/F) + [I_{\text{illita (003)}} - (I_{\text{cuarzo (100)}} * 4,5)] = X$$

Esta fórmula calcula el porcentaje de caolinita, clorita e illita/esmectita. A continuación se desarrollará un ejemplo correspondiente a la muestra A5-8:

$$(2228)/(3/1,7) + 0 + [1225 - (45 * 4,5)] = X$$

$$1041,12 + 1022,5 = 2063,62$$

En este caso el valor de $I_{\text{clorita (004)}}$ es cero, por lo tanto los factores en la fórmula corresponden al mineral caolinita e illita/esmectita.

Una vez realizados estos cálculos en base a las reflexiones de los minerales, se procede a recalcular en base a 100% (normalización de factores).

$$(1041,12/2063,62)*100 + (1022,5/2063,62)*100$$

$$50,45 \% + 49,55 \% = 100\%$$

Caolinita = **50,45 %**

Illita/esmectita = **49,55 %**

Ahora debemos hallar el porcentaje de illita y recalcular el factor illita/esmectita:

$$\% \text{ Illita} = \{[I_{\text{illita (001)}}/2]/2063,62\} * 100$$

$$\% \text{ Illita} = \{[562/2]/2063,62\} * 100$$

$$\% \text{ Illita} = \mathbf{13,61\%}$$

Caolinita = **50,45 %**

Illita = **13,61%**

Illita/esmectita = (49.55% - 13.61%) = **35,93%**

4.3. FASE DE PROCESAMIENTO DE DATOS

Esta fase consistió en el procesamiento estadístico de los datos obtenidos a través de difracción de rayos x de las muestras de los 9 núcleos de gravedad “gravity core” al igual que los sedimentos superficiales, a través de la elaboración de histogramas de frecuencia, diagramas caja, diagramas de dispersión, funciones discriminantes y análisis de agrupaciones, por medio de la utilización de los programas estadísticos NCSS[®] 2000, MVSP[®] 3.1, Statgraphics[®] 5.1 Plus, y Microsoft Excel[®] Xp.

5. RESULTADOS E INTERPRETACIONES

5.1. GENERALIDADES

Se analizaron por DRX 89 muestras pertenecientes a 9 núcleos A2, A5, A7, A11, A14, A18, A26, A28 y A32, y 8 muestras superficiales A2, A5, A7, A11, A14, A17, A21 y A23. En la tabla 10 se indica la profundidad del muestreo y su ubicación batimétrica.

Tabla 10. Profundidad del muestreo y ubicación batimétrica de las muestras del transecto A

Muestras	Tipo		Profundidad (m)	Ubicación batimétrica
	N	S		
A2	x	x	60	Plataforma
A5	x	x	66	
A7		x	69	
A11	x	x	83	
A14	x	x	155	
A17		x	209	Talud
A18	x		709	
A21		x	1030	
A23		x	1387	Distal
A24	x		1462	
A26	x		1731	
A28	x		1960	
A32	x		2594	

N: Muestras de núcleo, S: muestra superficial

Los resultados de la mineralogía en muestra total, producto del análisis por DRX arrojaron un total de seis variables mineralógicas: 1. Micas, 2. Minerales de arcilla, 3. Cuarzo 4,24Å, 4. Cuarzo 3,33Å, 5. Feldespatos, 6. Calcita. Las variables cuarzo 4,24Å y cuarzo 3,33Å, corresponden al mineral cuarzo analizado en ángulos 2θ distintos.

Para efectos de la cuantificación se utilizará la variable cuarzo 4,24Å como la representativa del mineral, esto debido a que se encuentra libre de perturbaciones producto de otros minerales presentes, al contrario de la variable cuarzo 3,33Å la cual se solapa en el espectro de DRX con el grupo de las micas y algunos minerales de arcilla.

Según GIBBS (1977), la precisión obtenida en los análisis de DRX y la montura de las muestras es de 5%, pudiendo reducirse a 2% duplicando o triplicando los análisis por muestra.

Con base en lo expuesto anteriormente y los resultados analíticos en muestra total se procedió a evaluar la confiabilidad de las variables obtenidas, obteniéndose que las variables arcillas, cuarzo y calcita presentan valores superiores y cercanos al 5% estimado por GIBBS (1977), mientras que las variables micas y feldspatos presentan valores entre 1% y 0.

Con respecto a los análisis realizados a la fracción $<2\mu$, a través del análisis por DRX se determinaron los siguientes minerales: 1. Esmectitas, 2. Ilita, 3. Caolinita y 4. Clorita. Sin embargo debido a que los minerales caolinita y clorita se encuentran yuxtapuestos en sus reflexiones básicas (caolinita 001/clorita 002 y caolinita 002/clorita 004), se procedió a definir ambos minerales como una sola variable: caolinita + clorita. Finalmente se obtuvieron tres variables para la cuantificación: 1. Esmectitas, 2. Ilita y 3. Caolinita + Clorita (Cao+Clo).

Las tablas 11 y 12 muestran los valores promedio de los minerales presentes en los núcleos y muestras superficiales para los análisis de muestra total y fracción $<2\mu$ respectivamente, mientras que los resultados analíticos de cada núcleo se encuentran en las tablas generales (Apéndice I).

Tabla 11. Valores promedio de las muestras para la muestra total. Valores en %.

ID	Nº muestras	Arcillas	Cuarzo	Calcita
A2	13	78	19	1
A5	11	64	33	2
A11	12	77	21	0
A14	9	81	16	2
A18	9	79	15	5
A24	11	72	20	7
A26	8	71	19	8
A28	6	71	20	8
A32	10	69	21	9
Superficiales	8	73	20	5

Tabla 12. Valores promedio de las muestras para las arcillas <2 μ . Valores en %.

ID	Nº muestras	Ilita	Cao+Clo	Esmectita
A5	11	13	50	36
A14	9	17	55	27
A18	9	12	51	35
A26	8	16	54	29
A28	6	16	52	31
A32	10	12	51	35
Superficiales	8	15	51	35

5.2. SEDIMENTOS SUPERFICIALES

Debido a la ausencia de muestras superficiales en los núcleos A18, A24, A26, A28 y A32, se procedió a definir en estos puntos el “tope de núcleo”, este término se define como el promedio estadístico de las dos primeras muestras del núcleo. Es decir; se tomaron las muestras A18-1 y A18-2, y se promediaron en todas las variables mineralógicas para así obtener una representación completa del transecto A en muestras superficiales.

5.2.1. Muestra Total

5.2.1.1. Estadística univariante

a. Histogramas de frecuencia

Se realizaron histogramas de frecuencia, con sus respectivos polígonos de frecuencia, a cada una de las variables mineralógicas, que indican su movilidad dentro del polígono, cuyo comportamiento es resumido en la tabla 13, indicando los valores máximos, así como su tendencia modal.

Tabla 13. Tipos de distribución de histogramas y máximos valores en muestras superficiales.

Muestras	Mineral		
	Arcillas	Cuarzo	Calcita
Superficiales	Unimodal Máximo = 40%	Unimodal Máximo = 58%	Unimodal Máximo = 51%

En general, se observa en la figura 17 que los histogramas de frecuencia presentan una clara asimetría en el caso del cuarzo y las arcillas positivamente asimétrica para el cuarzo, lo cual significa que las concentraciones más bajas de este componente son las de mayor

frecuencia. Mientras que la asimetría positiva del histograma de la calcita se presenta de manera menos marcada o sesgada. Por otro lado, la asimetría negativa en el histograma de las arcillas indica que las concentraciones elevadas son las más frecuentes.

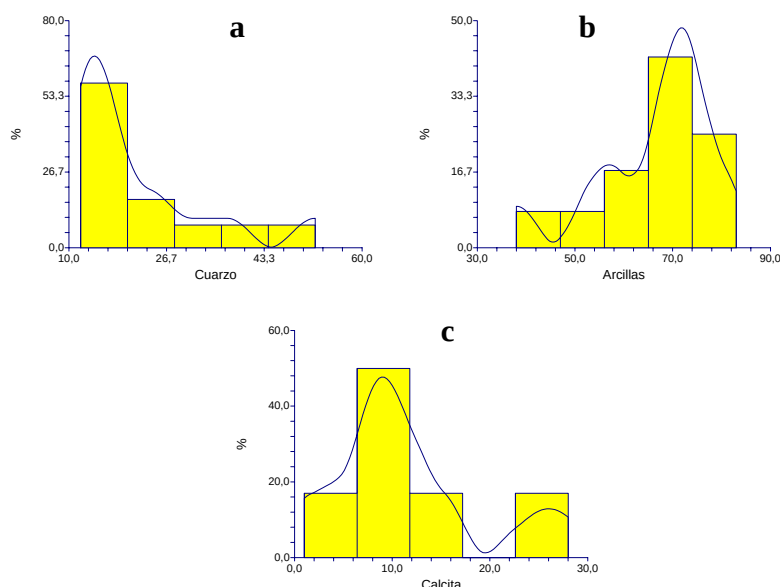


Fig. 17. Histogramas de frecuencia, a. Cuarzo, b. Arcillas y c. Calcita

b. Diagramas de caja

A través de esta herramienta estadística se comparó los porcentajes de las muestras de sedimentos superficiales, así como también se realizaron gráficos de acuerdo a su ubicación batimétrica. La tabla 14 presenta los valores máximos, mínimos y de mediana arrojados por estos gráficos exploratorios.

Tabla 14. Mediana y máximos valores en muestras superficiales.

Muestras		Mineral			Ubicación batimétrica			
					Arcillas			
		Arcillas	Cuarzo	Calcita		Plataforma	Talud	Distal
Superficiales	Mediana	70%	20%	12%	Mediana	73%	73%	64%
	Máximo	87%	53%	35%	Máximo	86%	86%	66%
	Mínimo	39%	17%	2%	Mínimo	40%	40%	60%
	Ubicación batimétrica				Ubicación batimétrica			
	Calcita				Cuarzo			
		Plataforma	Talud	Distal		Plataforma	Talud	Distal
	Mediana	9%	14%	14%	Mediana	19%	21%	13%
	Máximo	10%	25%	28%	Máximo	50%	29%	23%
	Mínimo	2%	4%	7%	Mínimo	16%	14%	12%

La figura 18 presenta los diagramas de caja de las tres variables mineralógicas estudiadas. Estos se interpretan de la siguiente manera: a) La variable mineralógica de mayor concentración general son las arcillas, cuya mediana y valor mínimo son considerablemente superiores a los valores máximos de las demás variables. b) El rango de concentraciones cubierto por la arcillas en la plataforma es mucho más amplio (hacia valores de menor concentración), que el que presentan en las demás posiciones batimétricas, sin embargo la mediana en todas ellas no es muy diferente. c) En el talud se presenta la distribución más amplia de concentraciones de calcita, sin embargo la mediana más elevada de esta variable se presenta hacia la zona distal. d) Mientras que el cuarzo presenta tanto distribuciones más amplias como medianas más elevadas mientras más somero es la ubicación de la muestra.

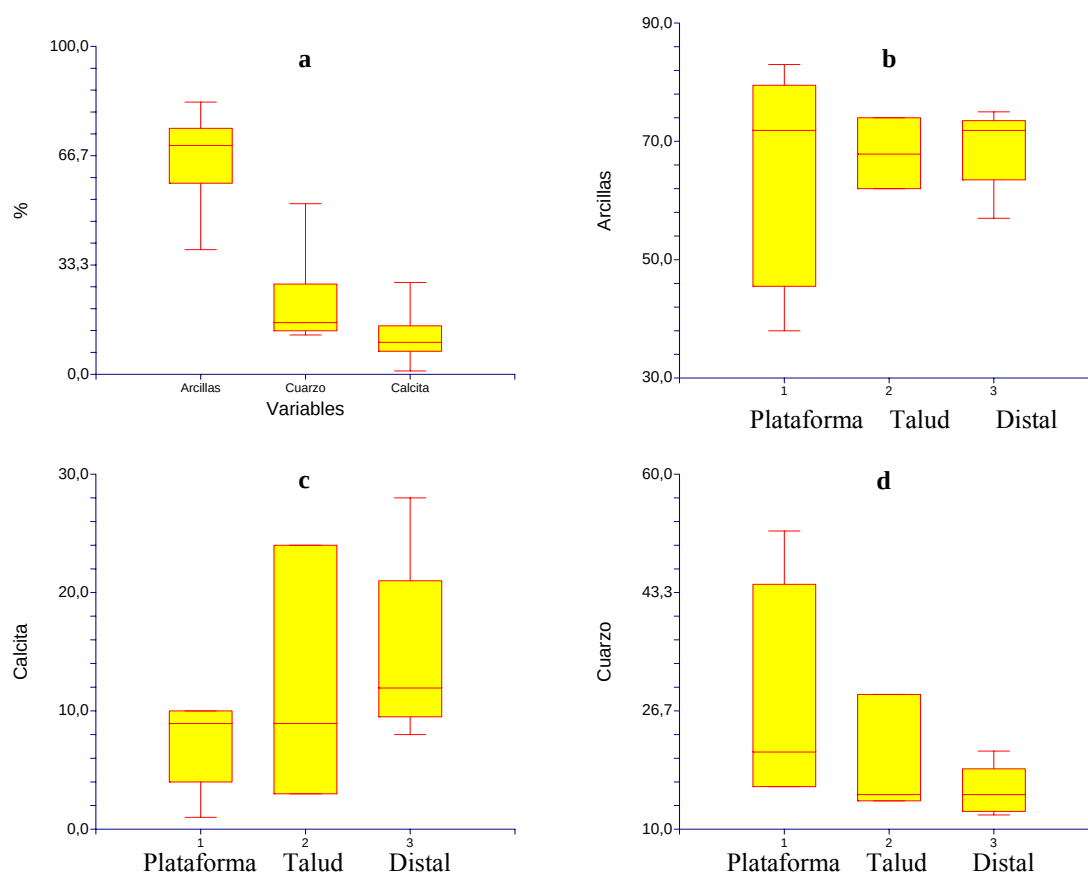


Fig. 18. a. Diagramas de caja de las variables mineralógicas. b, c y d. Diagramas de caja según su posición batimétrica de arcillas, calcita y cuarzo respectivamente

c. Gráficos de dispersión

Para establecer las relaciones lineales existentes entre las diferentes variables mineralógicas analizadas fueron efectuados diagramas de dispersión con la finalidad de establecer los patrones de correlación entre las variables correspondientes. En estos gráficos las muestras fueron clasificadas según su posición batimétrica.

Se realizó una matriz de correlación (Apéndice II) con las variables mineralógicas y químicas aportadas por BARITTO (2004), con la finalidad de establecer tendencias de correlación entre las variables, obteniéndose una confiabilidad mayor al 99% en las siguientes relaciones: calcita vs CaO, arcillas vs K₂O, calcita vs MnO, arcillas vs Fe₂O₃, cuarzo vs Zr, calcita vs Sr y arcillas vs Rb.

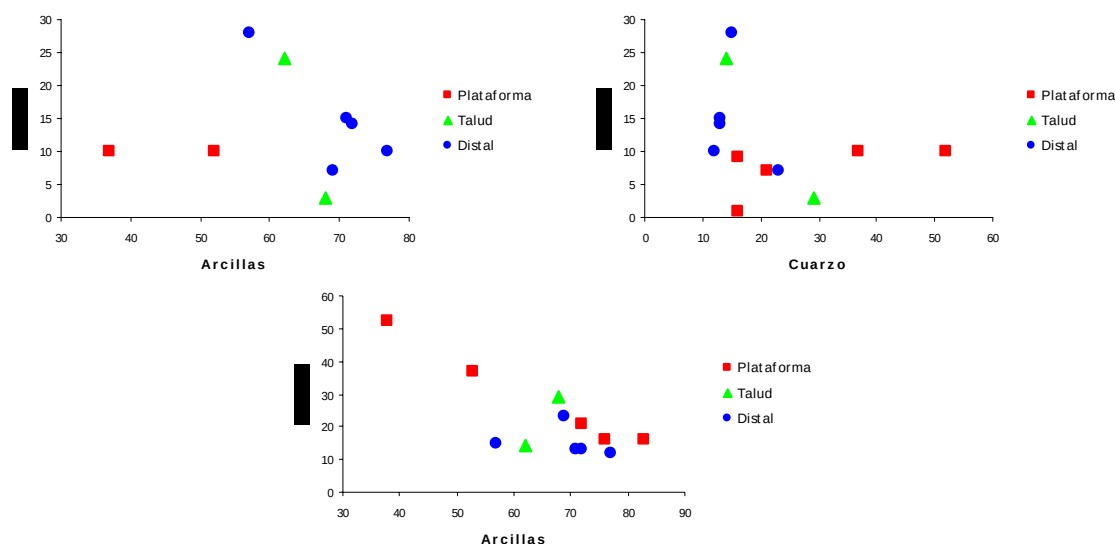


Fig. 19. Gráficos de dispersión de las variables mineralógicas según su batimetría.

Se observa en la relación calcita vs. arcillas de la figura 19, que las muestras correspondientes a la zona distal se ubican de manera lineal con una pendiente negativa, es decir, aquellas que presentan altas concentraciones de una de ellas presenta bajas concentraciones de la otra. El mismo caso se presenta en la relación cuarzo vs. arcillas para las muestras correspondientes a la plataforma.

d. Perfiles de distribución

A continuación se presenta en la figura 20, la distribución horizontal en porcentaje de las variables mineralógicas (ploteadas con respecto al eje y izquierdo del gráfico), así como también se muestra la curva de profundidad (ploteada con respecto al eje y derecho del gráfico). En el eje x del gráfico se indica el nombre de la muestra y su distancia (km) en línea recta a la costa (Figura 1), de igual manera se muestra en color las zonas de plataforma, talud y distal.

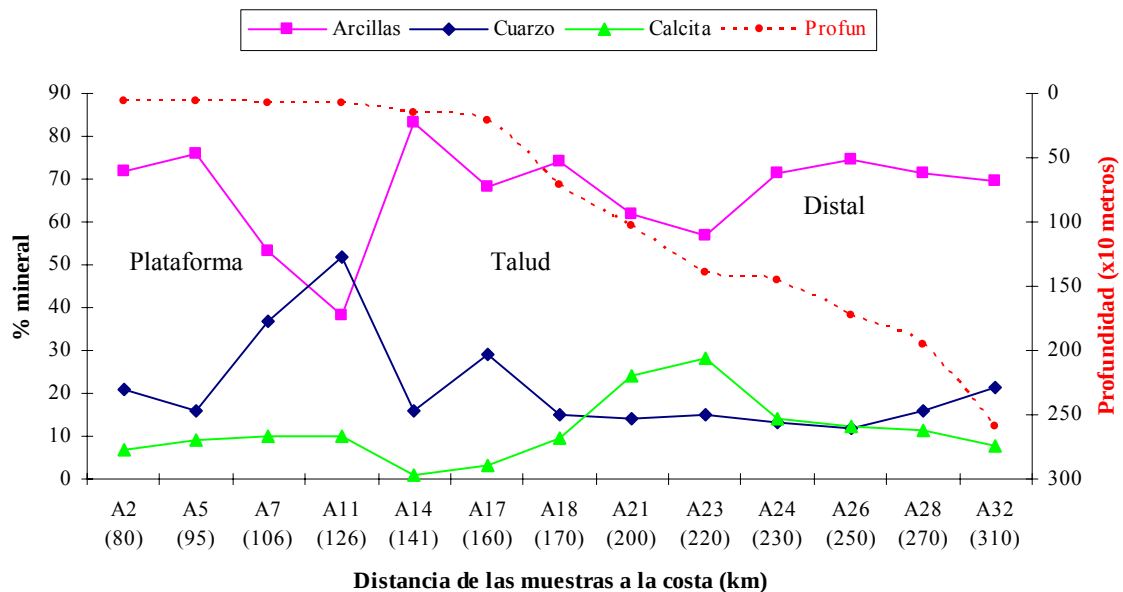


Fig. 20. Perfil de distribución de muestras superficiales, indicando % mineral, profundidad, distancia a la costa y límites batimétricos.

Para las arcillas se observa en la zona de plataforma un fuerte cambio hacia el descenso, entre las muestras A11 y A14, para luego continuar en la zona de talud con una tendencia hacia la baja, en la zona distal se observa un incremento a partir de la muestra A23

El mineral cuarzo se comporta en la zona de plataforma de forma contraria a las arcillas, mostrando un aumento considerable a partir de A5 hasta A11, e iniciando una disminución hasta A14. En la zona de talud se muestra un máximo en A17 para luego disminuir y mantener esa tendencia hasta la zona distal, en donde comienza un aumento a partir de A26.

La calcita muestra valores similares en la plataforma, hasta el comienzo de la zona de talud en A14, donde se encuentra el valor mínimo, a partir de A14 comienza un aumento

constante en la zona de talud hasta A23 (valor máximo) en la zona distal, donde inicia una tendencia hacia la baja hasta A32.

e. Gráficos triangulares

Se realizaron gráficos ternarios con la finalidad de encontrar alguna relación o dependencia entre las variables, se utilizaron los criterios de ubicación batimétrica para diferenciar las muestras. En la figura 21 se observa el gráfico ternario donde se muestra una dispersión sin una tendencia definida, solo en el caso de la zona distal se ve una tendencia semejante hacia la parte centro-superior del triángulo, con excepción de la muestra A23 que presenta un valor alto de calcita.

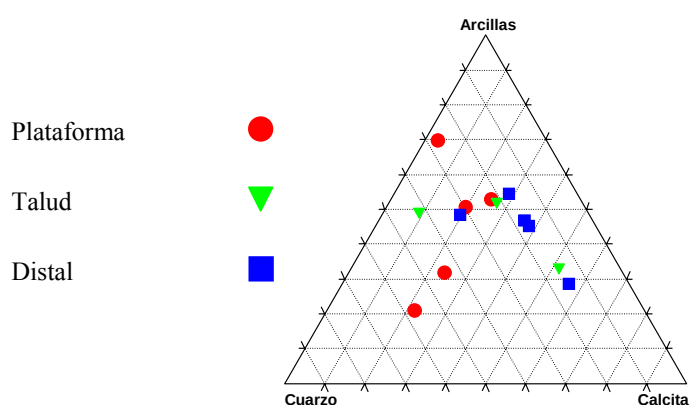


Fig. 21. Gráfico ternario de muestras superficiales en muestra total

5.2.1.2. Estadística multivariante

a. Dendrogramas

El objetivo de la elaboración de análisis de agrupaciones o dendrogramas es definir y establecer grupos con características mineralógicas semejantes. La elaboración y obtención de los dendrogramas se realizó empleando para ello el programa estadístico MVSP® 3.1, el cual se caracteriza por mantener la posición estratigráfica de cada muestra. Para la generación de los gráficos se utilizó el método del vecino más alejado o “Furthest neighbor” con distancias euclidianas. Así como también se realizó por el método no constreñido, el cual no mantiene el orden de las muestras.

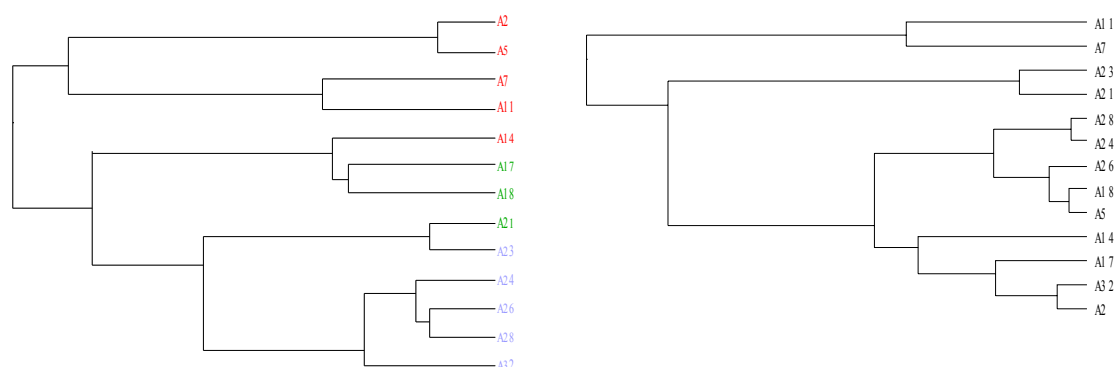


Fig. 22. Dendrogramas de muestras superficiales utilizando las variables de muestra total. Izquierda: conservando el orden estratigráfico de las muestras. Derecha: sin conservar el orden estratigráfico

Al observar la figura 22 se observan tres agrupaciones, las cuales muestras discrepancias con las unidades batimétricas definidas (rojo plataforma, verde talud y azul zona distal), la muestra A14 ha sido clasificada como perteneciente al talud y no a la plataforma, la muestra A21 como parte de la zona distal y no del talud como se definió anteriormente.

b. Funciones discriminantes

A partir de las unidades batimétricas definidas, se ha determinado la mayor discriminación posible entre estas unidades, es decir, se diferencié cada unidad respecto a otra por medio de las características mineralógicas de las muestras, a través del programa STATGRAPHICS® 5.1. En la figura 23 se muestra los resultados obtenidos para las variables de muestra total, indicando el porcentaje de aciertos en la predicción.

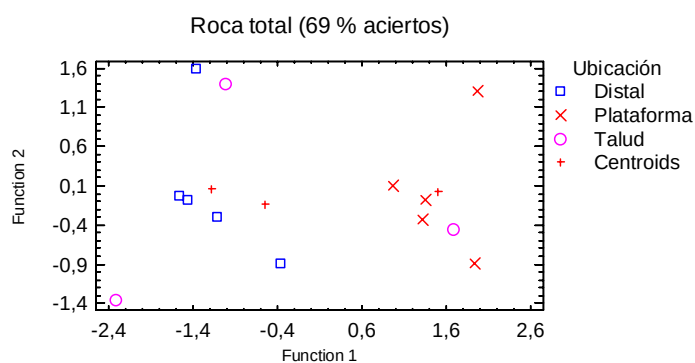


Fig. 23. Gráfico de funciones discriminantes usando las variables de muestra total y las zonas batimétricas definidas.

Los resultados obtenidos de las funciones discriminantes muestran que no existe una correspondencia total entre las unidades batimétricas definidas y las predichas o calculadas por el programa.

5.2.2. Arcillas (fracción <2 μ)

5.2.2.1. Estadística univariante

a. Histogramas de frecuencia

Se realizaron histogramas de frecuencia, con sus respectivos polígonos de frecuencia, a cada una de las variables mineralógicas, que indican su movilidad dentro del polígono, ellos se muestran en la figura 24.

En la tabla 15 se presenta un resumen del comportamiento de los histogramas indicando los máximos, así como también mostrando una tendencia unimodal en todas las variables.

Tabla 15. Tipos de distribución de histogramas y máximos valores en muestras superficiales de la fracción <2 micras

Muestras	Mineral		
	Ilita	Cao+Clo	Esmectitas
Superficiales	Unimodal Máximo = 42%	Unimodal Máximo = 44%	Unimodal Máximo = 43%

En la figura 24 se observa que el histograma de frecuencia de la Cao+Clo es casi simétrico, ligeramente sesgado hacia valores de mayor concentración, mientras que el correspondiente a la ilita presenta su moda hacia los valores de concentración media, siendo los de mínima y máxima concentración de una frecuencia no muy baja. Por último, el histograma de las esmectitas presenta una asimetría negativa, siendo sus mayores concentraciones los de mayor frecuencia.

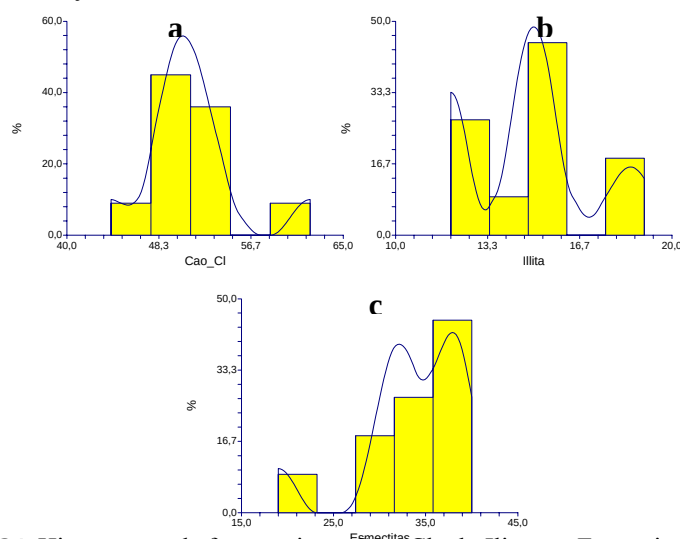


Fig. 24. Histogramas de frecuencia, a. Cao+Clo, b. Ilita y c. Esmectitas

b. Diagramas de caja

A través de esta herramienta estadística se comparó el porcentaje de las muestras de sedimentos superficiales, así como también se realizaron gráficos de acuerdo a su ubicación batimétrica como se muestra en la figura 25, de acuerdo al coeficiente de variación experimentado por cada uno de ellos y de los valores de sus medianas, tal y como se puede apreciar en la tabla 16.

Tabla 16. Mediana y máximos valores en muestras superficiales de la fracción <2 micras

Muestras	Mineral				Ubicación batimétrica			
		Ilita	Cao+Clo	Esmectitas		Plataforma	Talud	Distal
Superficiales	Mediana	15%	-	34%	Mediana	13%	17%	14%
	Máximo	19%	62%	41%	Máximo	15%	19%	15%
	Mínimo	12%	44%	19%	Mínimo	12%	14%	12%
	Ubicación batimétrica				Ubicación batimétrica			
	Cao+Clo				Esmectitas			
		Plataforma	Talud	Distal		Plataforma	Talud	Distal
	Mediana	50%	-	51%	Mediana	37%	21%	-
	Máximo	52%	62%	54%	Máximo	39%	29%	39%
	Mínimo	49%	44%	47%	Mínimo	30%	14%	19%

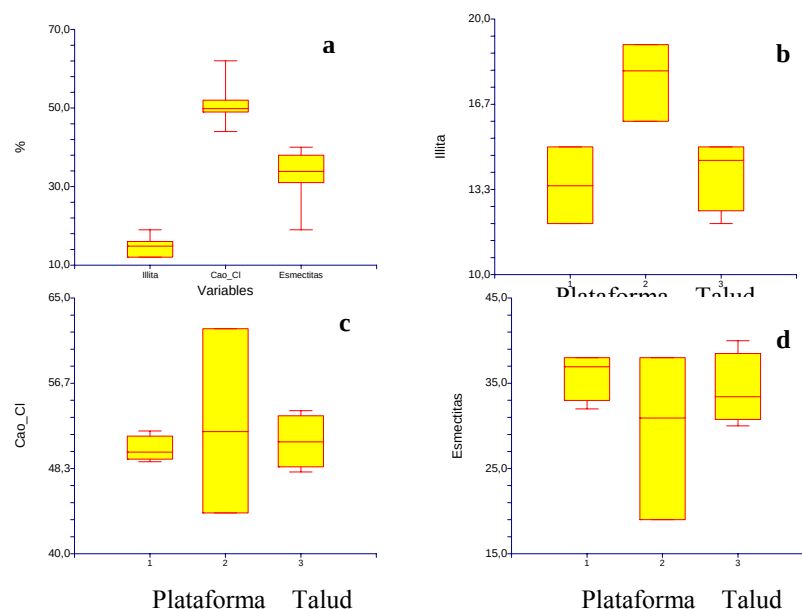


Fig. 25. a. Diagramas de caja de las variables mineralógicas, b, c y d. Diagramas de caja según su posición batimétrica de ilita, Cao+Clo y esmectitas respectivamente.

La figura 25 se interpreta de la siguiente manera: a) las concentraciones generales más elevadas están dadas por la Cao+Clo y las más bajas por la illita, b) las concentraciones de la illita en el talud son mayores, sin embargo la amplitud del rango abarcado por este tipo de arcillas en cada uno de las posiciones batimétricas es similar (dado por el tamaño de caja similar), c y d) tanto para la Cao+Clo como para las esmectitas es en el talud donde se presenta en rango de concentraciones más amplio, sin embargo en las tres posiciones batimétricas el valor de las medianas es similar.

c. Gráficos de dispersión

Se realizaron los gráficos mostrados en la figura 26 utilizando como factor discriminante su ubicación batimétrica, obteniéndose una separación de las muestras pertenecientes al talud con respecto a las otras zonas.

Se realizó una matriz de correlación (Apéndice II) con las variables mineralógicas y químicas aportadas por BARITTO (2004), con la finalidad de establecer tendencias de correlación entre las variables, obteniéndose una confiabilidad mayor al 99% en las siguientes relaciones: esmectitas vs CaO, Cao+Cl vs TiO_2 , esmectitas vs Sr, illita vs Pb, cuarzo vs Zr, y Cao+Clo vs Pb.

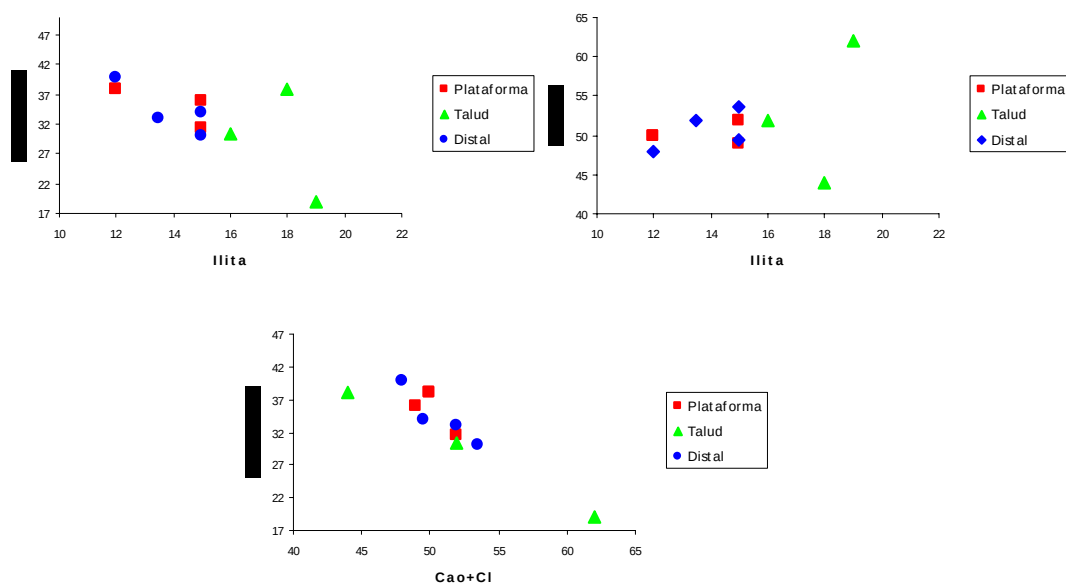


Fig. 26. Gráficos de dispersión de las variables mineralógicas según su batimetría.

En la figura 26 se observa particularmente en la relación esmectitas vs. Cao+Clo que tanto las muestras correspondientes al talud como a la zona distal, se ubican en una línea de pendiente negativa, lo que indica que si presentan altas concentraciones de una de esta, presentan bajas concentraciones de la otra y viceversa.

d. Perfiles de distribución

A continuación se presenta en la figura 27, la distribución horizontal en porcentaje de las variables mineralógicas, así como también se muestra la curva de profundidad. En el eje x del gráfico se indica el número de la muestra y su distancia (en km) en línea recta a la costa (Figura 1), de igual manera se muestra en color las zonas de plataforma, talud y distal.

La curva de Cao+Clo tiene un comportamiento constante en la zona de plataforma con un leve incremento en la muestra A14, para luego continuar en la zona de talud con un valor máximo en A17, y disminuyendo su valor hasta A21, en donde comienza un suave aumento hasta A26 en la zona distal, en donde normaliza su comportamiento, y comienza un aumento considerable en toda la zona de talud hasta A23 en la zona distal, para luego disminuir hasta A26 y normalizar su comportamiento.

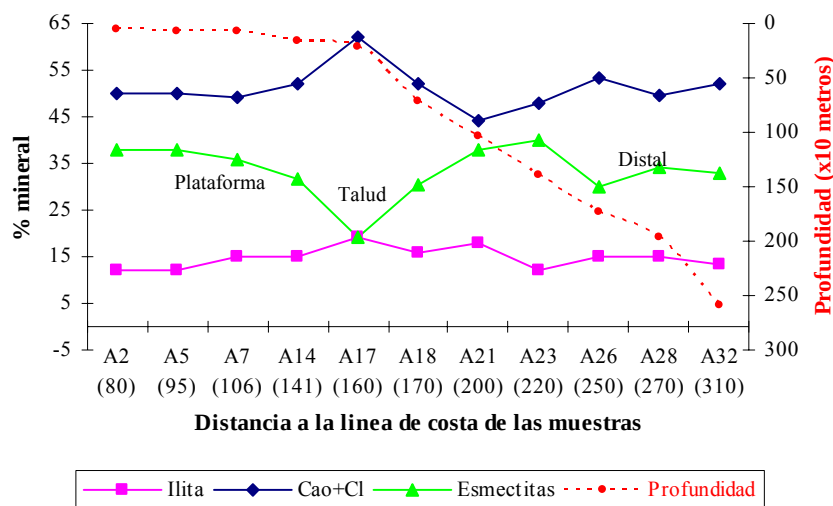


Fig. 27. Perfil de distribución de muestras superficiales, indicando % mineral, profundidad, distancia a la costa y límites batimétricos.

Las esmectitas se presentan en la plataforma con una tendencia suave hacia la disminución hasta la muestra A17, en la zona de talud en donde presenta el valor mínimo.

La illita muestra valores semejantes en las zonas batimétricas, sin embargo los máximos valores se encuentran en la zona de talud.

e. Gráficos triangulares

En la figura 28 se plotearon las variables de la fracción de arcillas $<2\mu$, con respecto a su ubicación batimétrica. No se aprecia una dispersión considerable, sin embargo es notable la tendencia de todas las muestras hacia el vértice CaO+Clo.

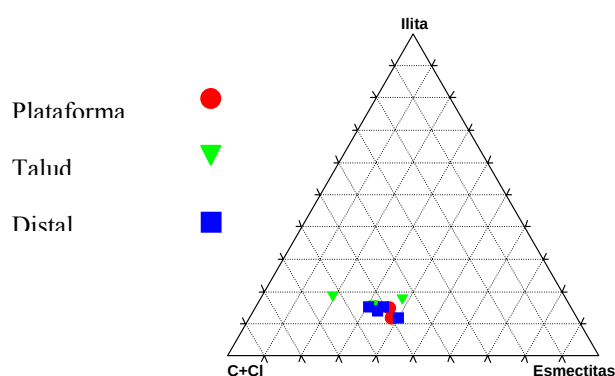


Fig. 28. Gráfico ternario de muestras superficiales de arcillas $<2\mu$

5.2.2.2. Estadística multivariante

a. Dendrogramas

Al observar la figura 29 se observan dos agrupaciones, las zonas en rojo, verde y azul representan las zonas de plataforma, talud y distal respectivamente. Las agrupaciones del gráfico muestran discrepancias con las unidades batimétricas definidas, la zona más somera de la plataforma (A2 y A5) ha sido correctamente agrupada, mientras que el resto de las muestras se encuentran intercaladas sin correspondencia a su ubicación.

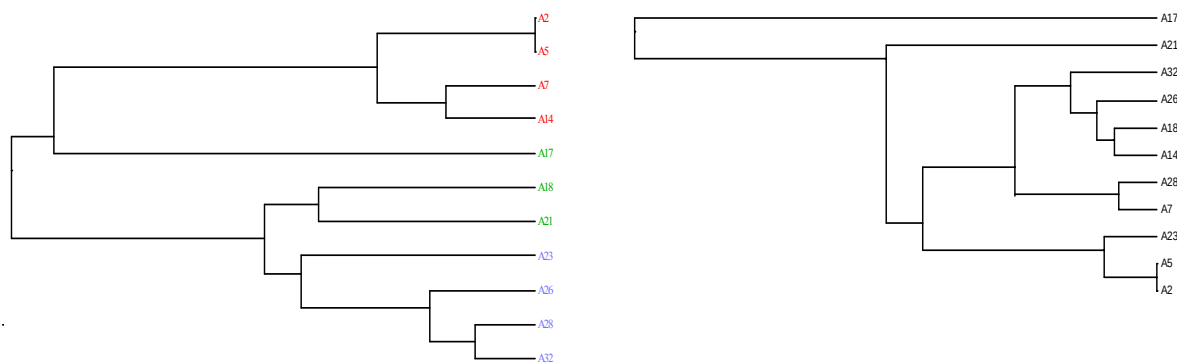


Fig. 29. Dendrogramas de muestras superficiales utilizando las variables de arcillas <2 micras. Izquierda: conservando el orden estratigráfico de las muestras. Derecha: sin conservar el orden estratigráfico.

b. Funciones discriminantes

Los resultados obtenidos en la función discriminante (Figura 30) muestran un aumento en la correspondencia total entre las unidades batimétricas definidas y las predichas o calculadas por el programa para la fracción $<2\mu$. Sin embargo, se observan algunas superposiciones entre las muestras de la plataforma y de la zona distal, así como una separación marcada entre todas las muestras de la plataforma.

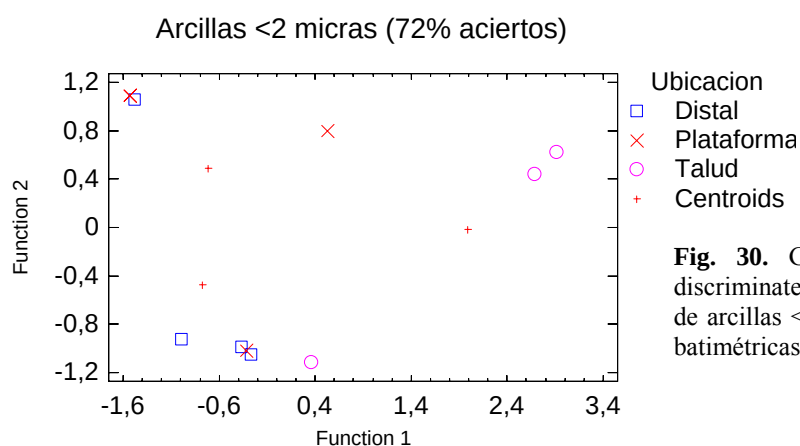


Fig. 30. Gráfico de funciones discriminantes usando las variables de arcillas <2 micras y las zonas batimétricas definidas.

5.3. NÚCLEOS

5.3.1. Muestra Total

5.3.1.1. Estadística univariante

a. Histogramas de frecuencia

Se realizaron histogramas de frecuencia, con sus respectivos polígonos de frecuencia, a cada una de las variables mineralógicas, que indican su movilidad dentro del polígono, ellos se muestran en la figura 31

En la tabla 18 se presenta un resumen del comportamiento de los histogramas indicando los máximos, así como también mostrando una clara tendencia unimodal en todas las variables.

Tabla 17. Tipos de distribución y máximos valores en muestras de núcleo

Muestras	Mineral		
	Arcillas	Cuarzo	Calcita
Superficiales	Unimodal Máximo = 47%	Unimodal Máximo = 44%	Unimodal Máximo = 54%

En la figura 31 se observa que el histograma de las arcillas presenta cierta simetría, siendo sus concentraciones medias las más frecuentes, sin embargo las concentraciones más elevadas son de mayor frecuencia que las bajas concentraciones. Mientras que tanto en el histograma del cuarzo como en el de la calcita, se presenta un sesgo bien marcado hacia los valores más altos de porcentaje mineral, indicando que las mayores frecuencias son dadas por las bajas concentraciones de estas variables.

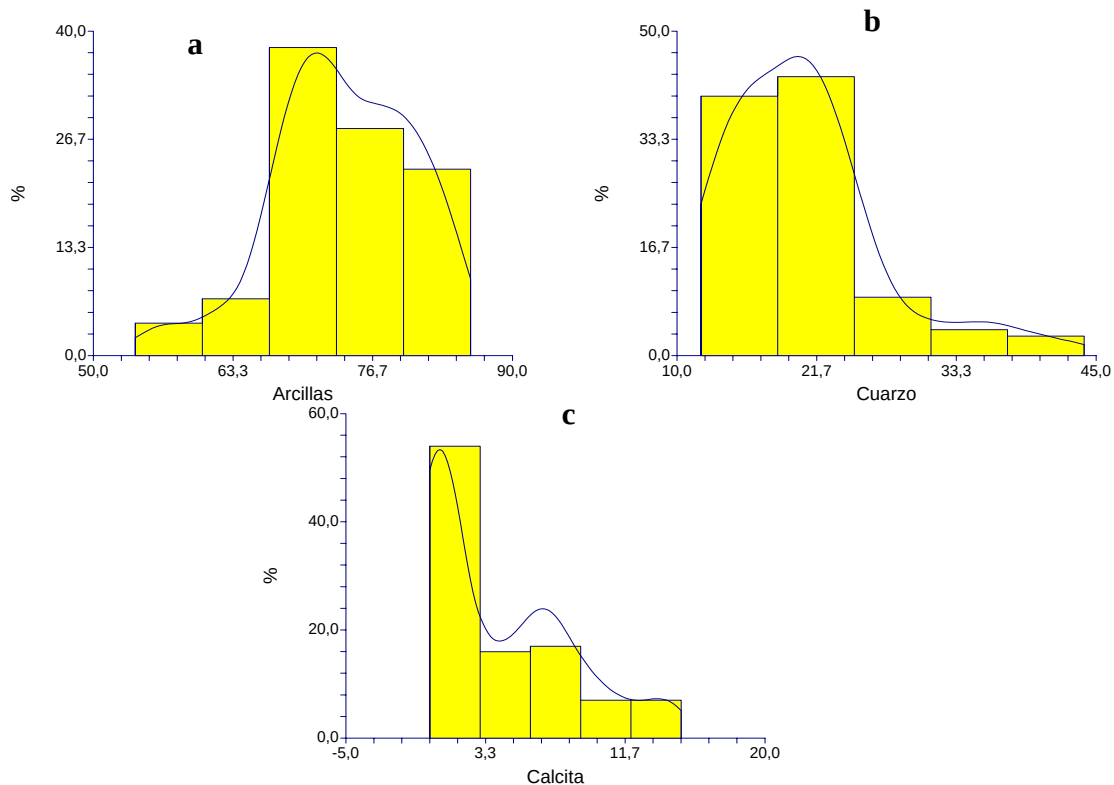


Fig. 31. Histogramas de frecuencia, a. Arcillas, b. Cuarzo y c. Calcita

b. Diagramas de caja

Se realizaron gráficos de las variables y también de acuerdo a su ubicación batimétrica como se muestra en la figura 32, de acuerdo a los valores de sus medianas, tal y como se puede apreciar en las tabla 18.

La figura 32 se interpreta de la siguiente manera: a) son las arcillas la variable mineralógica que presenta la mayor concentración general, mientras que la calcita presenta las más bajas, b) el cuarzo en la zona de talud presenta concentraciones más bajas, mientras que en las otras dos posiciones batimétricas tanto su media como la amplitud de su rango de concentraciones es similar, c) las arcillas en la zona distal presenta las menores

concentraciones, mientras que en el talud estas son ligeramente más elevadas que en la plataforma, d) para la calcita se observan tanto mayores concentraciones como mayor amplitud del rango de concentraciones mientras más profunda es la ubicación de las muestras.

Tabla 18. Mediana y máximos valores de muestra total en núcleos

Muestras	Mineral				Ubicación batimétrica			
					Arcillas			
		Arcillas	Cuarzo	Calcita		Plataforma	Talud	Distal
Núcleos	Mediana	70%	20%	4%	Mediana	77%		69%
	Máximo	85%	44%	13%	Máximo	86%	83%	77%
	Mínimo	53%	12%	0%	Mínimo	54%	74%	64%
	Ubicación batimétrica				Ubicación batimétrica			
	Calcita				Cuarzo			
		Plataforma	Talud	Distal		Plataforma	Talud	Distal
	Mediana		3%	5%	Mediana	19%		21%
	Máximo	87%	10%	15%	Máximo	44%	16%	29%
	Mínimo	0%	1%	2%	Mínimo	11%	11%	12%

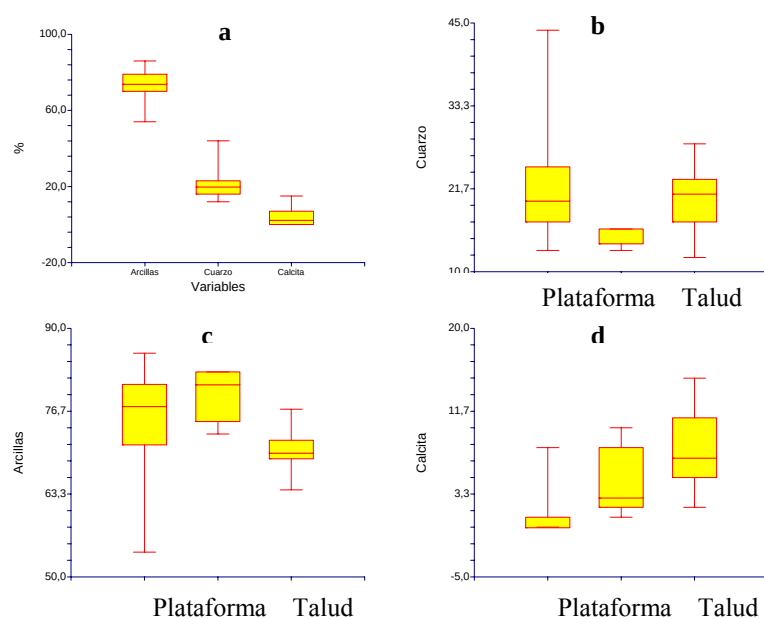


Fig. 32. a. Diagramas de caja de las variables mineralógicas, b, c y d. Diagramas de caja según su posición batimétrica de cuarzo, arcillas y calcita respectivamente

c. Gráficos de dispersión

En este caso se han realizado diagramas de dispersión, diferenciando entre los núcleos en estudio, y según su ubicación batimétrica.

Se realizó una matriz de correlación (Apéndice II) con las variables mineralógicas y químicas, en cada núcleo con la finalidad de establecer tendencias de correlación entre las variables.

En la figura 33 se observa que las nubes de datos en su mayoría no se ubican de manera lineal, sin embargo pocas de ellas sí lo hacen con una pendiente negativa principalmente, y estas son: en la relación cuarzo vs. arcillas, las muestras correspondientes a la plataforma (que son los núcleos A2, A5, A11 y A14); en la relación calcita vs. arcillas las muestras correspondientes al talud o núcleo A18 y por último para la relación calcita vs. cuarzo, las muestras correspondientes a la zona distal o núcleos A26, A28 y A32. Sin embargo también se presenta una línea de pendiente fuertemente positiva (cercana a la vertical) en la última de las relaciones, dada por las muestras del talud o núcleo A18.

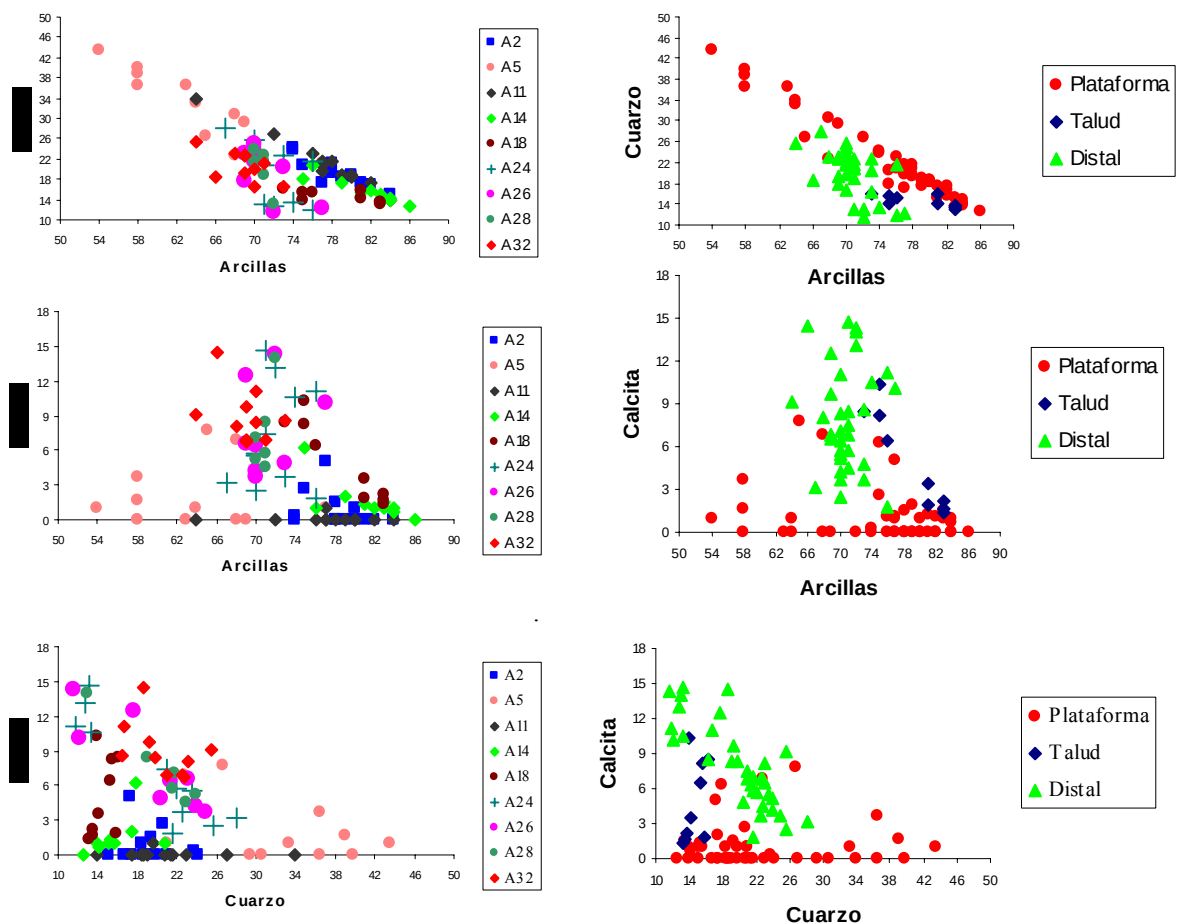


Fig. 33. Gráficos de dispersión de las variables mineralógicas diferenciando los núcleos, y según su batimetría

d. Perfiles de distribución

A continuación (Figura 34), la distribución horizontal de la media de todos los núcleos (Tabla 11) para las variables mineralógicas, así como también se muestra la curva de profundidad. En el eje x del gráfico se indica el nombre de la muestra y su distancia (km) en línea recta a la costa (Figura 1), de igual manera se muestra en color las zonas de plataforma, talud y distal.

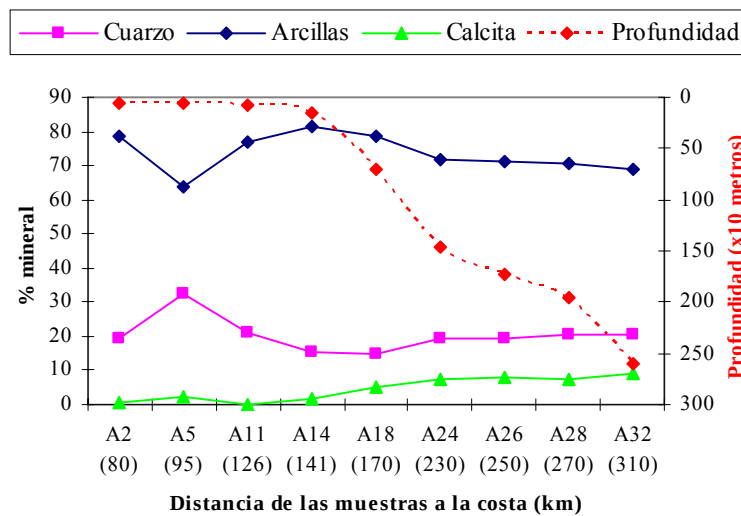


Fig. 34. Perfil de distribución de muestras de núcleo (media), indicando % mineral, profundidad, distancia a la costa y límites batimétricos.

La curva de arcillas muestra el valor mínimo en A5 perteneciente a la plataforma, y hasta la zona de talud experimenta un aumento hasta A18. En la zona distal se observa una disminución con respecto a la plataforma y talud, a partir de A24 se estabiliza mostrando un suave descenso hasta A32.

El cuarzo presenta un comportamiento contrario a las arcillas se presentan en la plataforma con un valor máximo en A5, mientras que hacia el talud se aprecia una disminución hasta A18, para luego comenzar en la zona distal con un leve aumento hasta A32. Los valores de la calcita en la plataforma son los mínimos encontrados, es a partir de A14 que comienza un continuo aumento en la zona de talud y distal.

e. Gráficos triangulares

En la figura 35 se observa el gráfico ternario con muestras pertenecientes de todos los núcleos, en él se muestra una dispersión con una tendencia definida, la zona distal tiende a separarse de las otras zonas batimétricas, esto en parte por presentar altos valores de calcita.

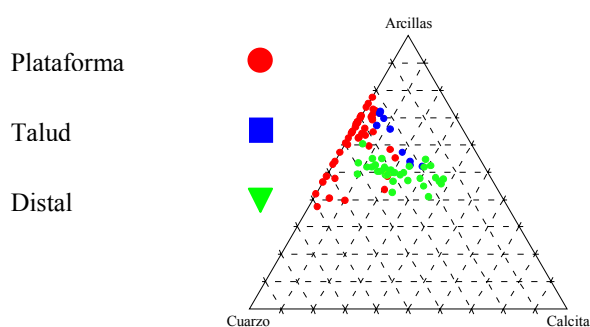


Fig. 35. Gráfico ternario de muestras superficiales en muestra total

5.3.1.2. Estadística multivariante

a. Dendrogramas

Se realizaron dendrogramas para la totalidad de los núcleos, en la figura 36 se muestran gráficos utilizando los promedios de las variables por cada núcleo, en el cual no se presentan discrepancia marcadas entre los grupos dados en ambos casos, únicamente hacia los formados por los núcleos más someros (A2 y A5).

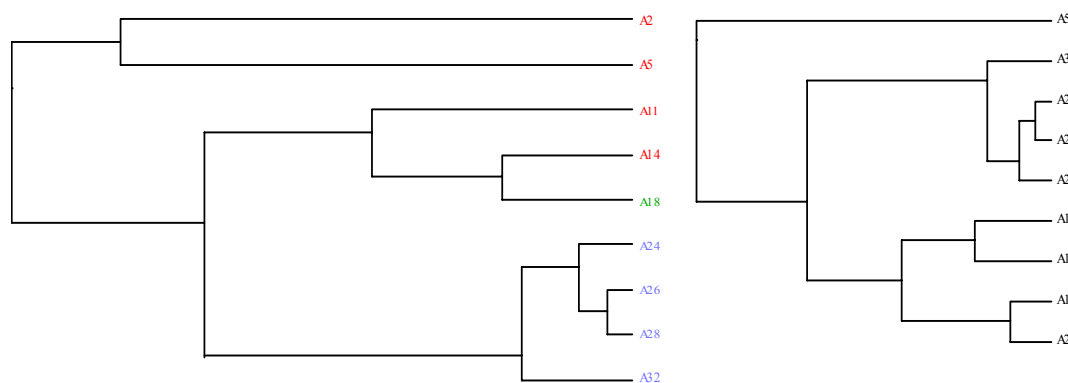


Fig. 36. Dendrogramas de muestras de núcleo utilizando un promedio con las variables de muestra total. Izquierda: conservando el orden estratigráfico de las muestras. Derecha: sin conservar el orden estratigráfico.

b. Funciones discriminantes

En cada núcleo estudiado se realizó un análisis para encontrar la correspondencia entre las asociaciones químicas propuestas por BARITTO (2004), con los valores obtenidos de las variables en muestra total. En la figura 37 se muestran los porcentajes de aciertos para cada

núcleo, así como también para todo el conjunto de núcleos según las asociaciones químicas y ubicación batimétrica.

Las asociaciones químicas corresponden a unidades definidas en cada núcleo en base a 15 variables químicas, ocho (8) variables de elementos mayoritarios y siete (7) variables de elementos traza.

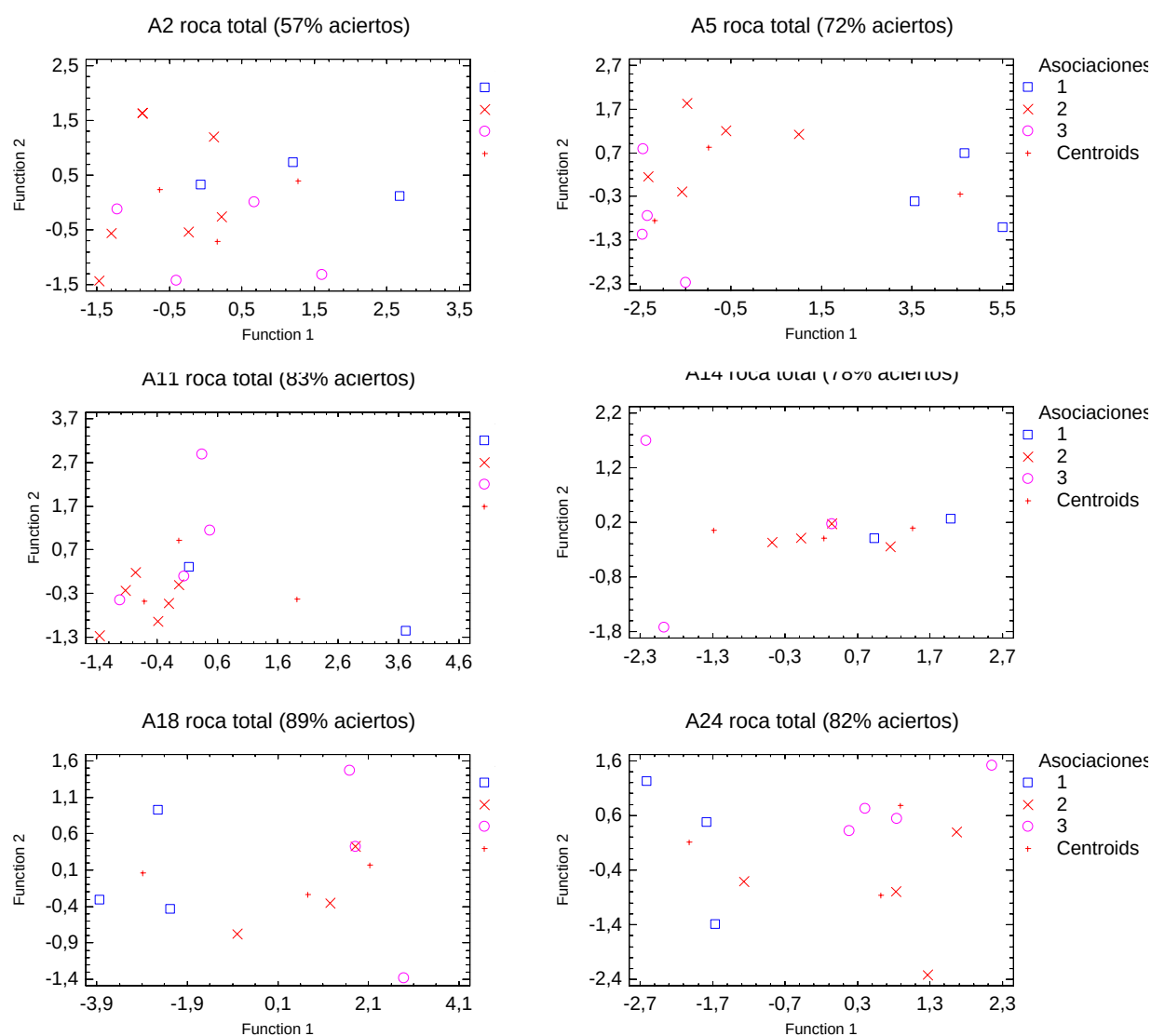
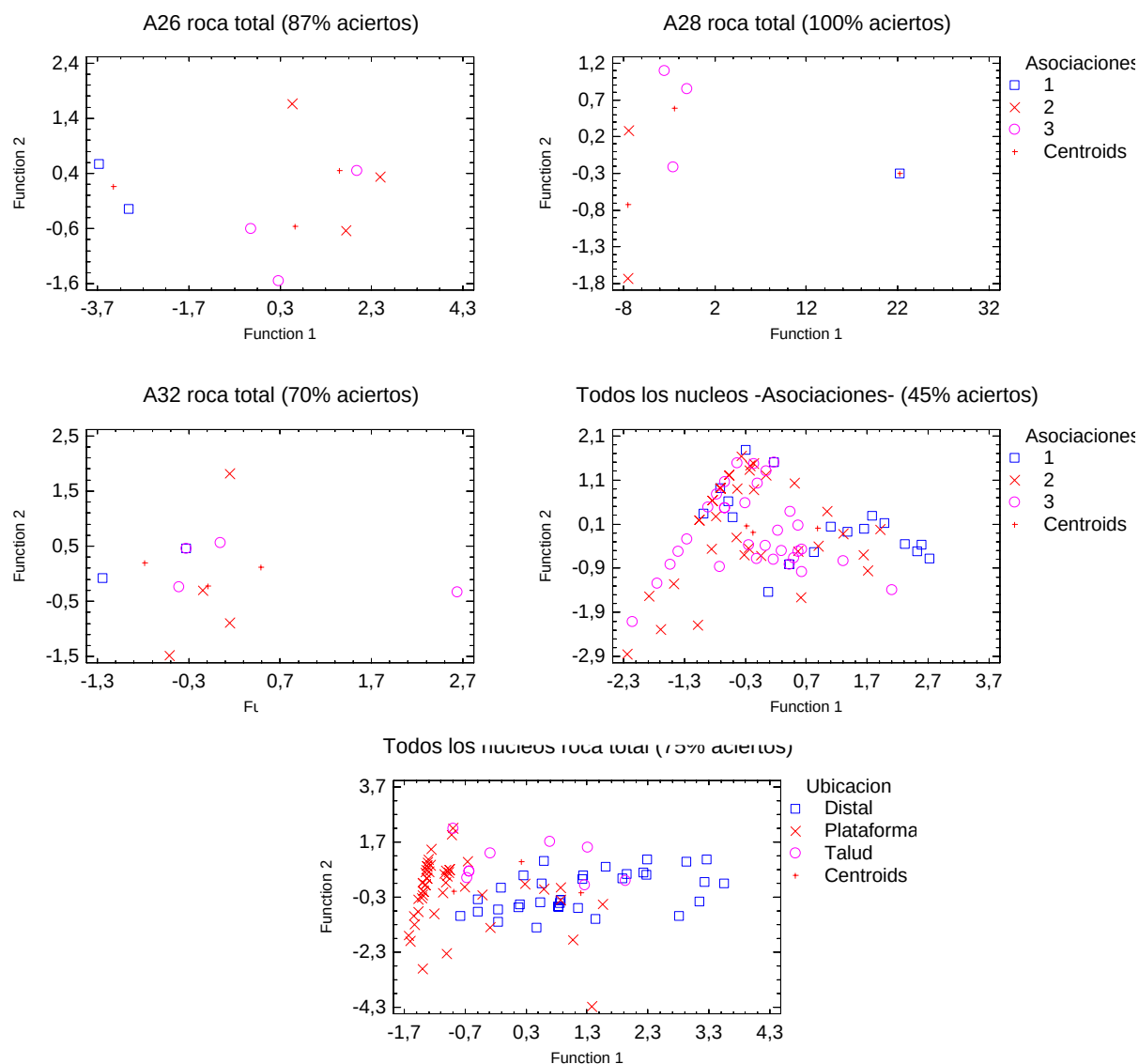


Fig. 37. Representación gráfica de las funciones discriminantes generadas en cada núcleo por las asociaciones químicas.

**Fig. 37.** (Continuación)

Se observa que para el núcleo A28, las asociaciones químicas tienen una correspondencia perfecta con las variables en muestra total. Dicha correspondencia se hace menos marcada en el resto de los núcleos, sin embargo las que se presentan en A18, A26, A11 y A24 se consideran bastante buenas.

5.3.2. Arcillas (fracción <2 μ)

5.3.2.1. Estadística univariante

a. Histogramas de frecuencia

Se realizaron histogramas de frecuencia, con sus respectivos polígonos de frecuencia, a cada una de las variables mineralógicas, que indican su movilidad dentro del polígono, ellos se muestra en la figura 38.

En la tabla 20 se presenta un resumen del comportamiento de los histogramas indicando los máximos, así como también mostrando una clara tendencia unimodal en todas las variables

Tabla 20. Tipos de distribución y máximos valores en muestras de núcleo

Muestras	Mineral		
	Ilita	Cao+Clo	Esmectitas
Superficiales	Unimodal Máximo = 55%	Unimodal Máximo = 38%	Unimodal Máximo = 50%

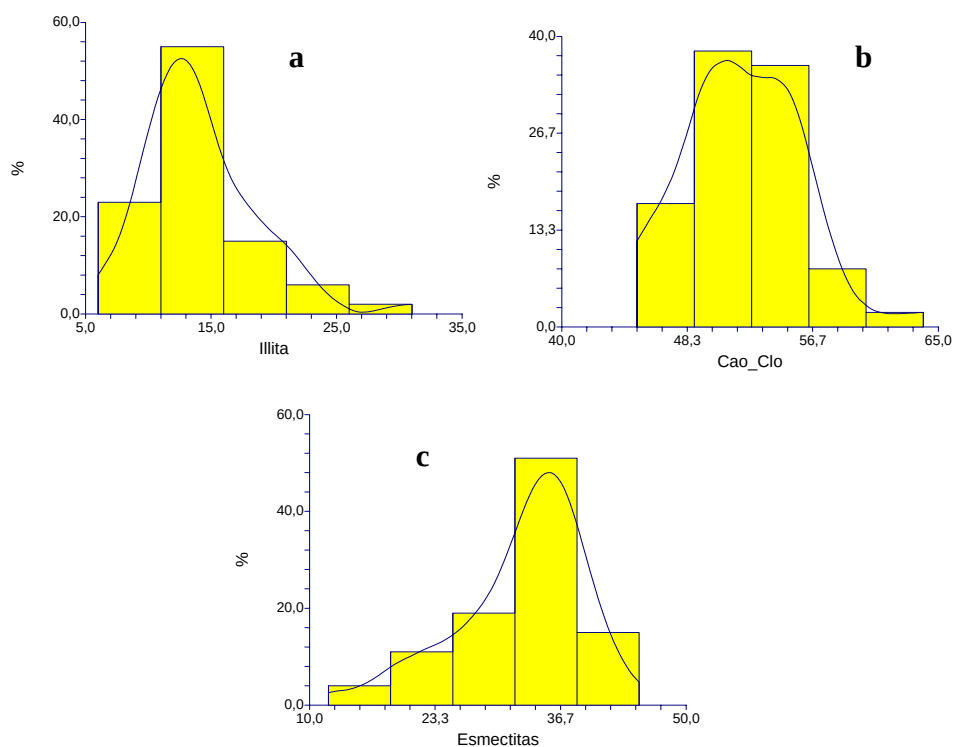


Fig. 38. Histogramas de frecuencia, a. Ilita, b. Cao+Clo y c. Esmectitas

En la figura 38 se observa asimetría positiva en el histograma de frecuencia de la ilita, lo que significa que las bajas concentraciones (no extremas) son las de mayor frecuencia, mientras que para el correspondiente al Cao +Clo se observa una mayor simetría, siendo las concentraciones medias las más frecuentes y por último, en el histograma de frecuencia de las esmectitas se presenta una asimetría negativa, donde la mayor frecuencia está dada por concentraciones mayores (no extremas).

b. Diagramas de caja

Se realizaron gráficos de las variables y también de acuerdo a su ubicación batimétrica como se muestra en la figura 39, de acuerdo a los valores de sus medianas, tal y como se puede apreciar en las tabla 21.

Tabla 21. Mediana y máximos valores en muestras de núcleo

Muestras	Mineral				Ubicación batimétrica			
					Iilita			
		Iilita	Cao+Clo	Esmectitas		Plataforma	Talud	Distal
Nucleos	Mediana	12%	51%		Mediana	14%		
	Máximo	30%	61%	46%	Máximo	31%	20%	22%
	Mínimo	5%	46%	11%	Mínimo	8%	6%	10%
	Ubicación batimétrica				Ubicación batimétrica			
	Cao + Clo				Esmectitas			
		Plataforma	Talud	Distal		Plataforma	Talud	Distal
	Mediana	53%	50%	51%	Mediana	33%	36%	34%
	Máximo	59%	56%	64%	Máximo	44%	45%	39%
	Mínimo	45%	47%	45%	Mínimo	16%	23%	12%

La figura 39 se interpreta como sigue: a) las mayores concentraciones generales corresponden a las Cao+Clo, mientras que las más bajas son de ilita, b) la ilita presenta concentraciones similares en las tres posiciones batimétricas, aunque su mediana es ligeramente menor en la zona distal y sus valores extremos superiores más destacados corresponden al talud, c) para las esmectitas se observa cierta correspondencia entre los valores extremos de las cajas y la batimetría, haciéndose estos mayores a medida que la profundidad aumenta, d) mientras que para las Cao +Clo ocurre lo contrario con los valores extremos superiores de las cajas, los cuales disminuyen a medida que la profundidad aumenta.

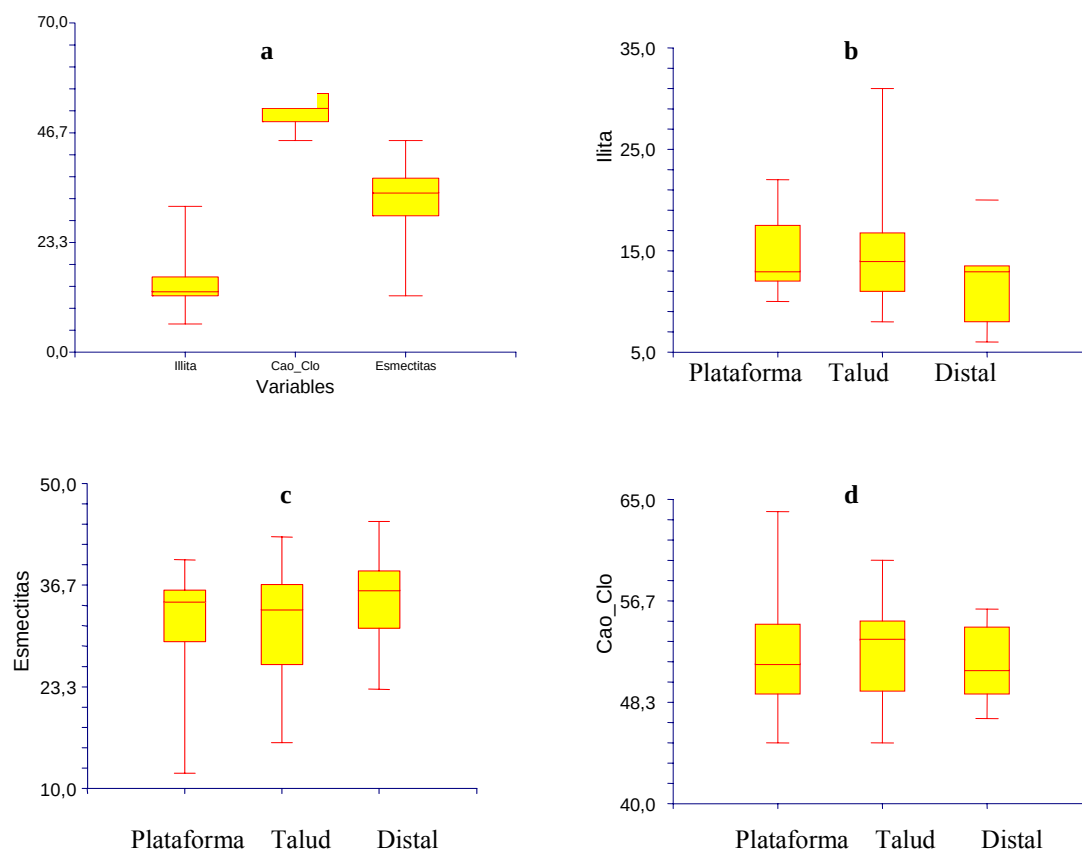


Fig.39. a. Diagramas de caja de las variables mineralógicas, b, c y d. Diagramas de caja según su posición batimétrica de illita, Esmeclitas, y cao+clo respectivamente

c. Gráficos de dispersión

Se realizaron los gráficos mostrados en la figura 40, utilizando como factor discriminante su ubicación batimétrica, obteniéndose una separación de las muestras pertenecientes al talud con respecto a las otras zonas.

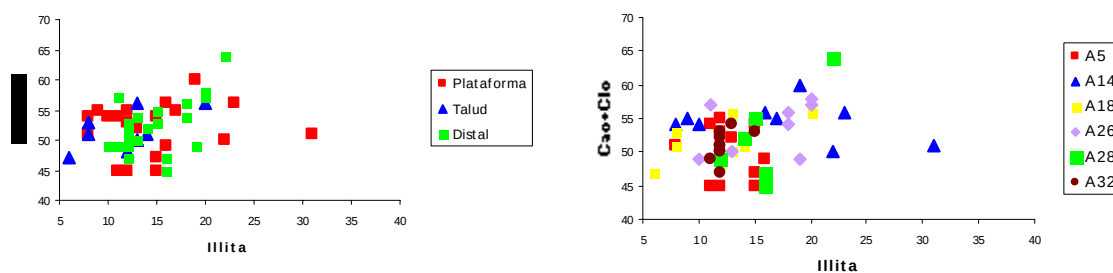


Fig. 40. Gráficos de dispersión de las variables mineralógicas. Izquierda: según su batimetría. Derecha: según el núcleo correspondiente

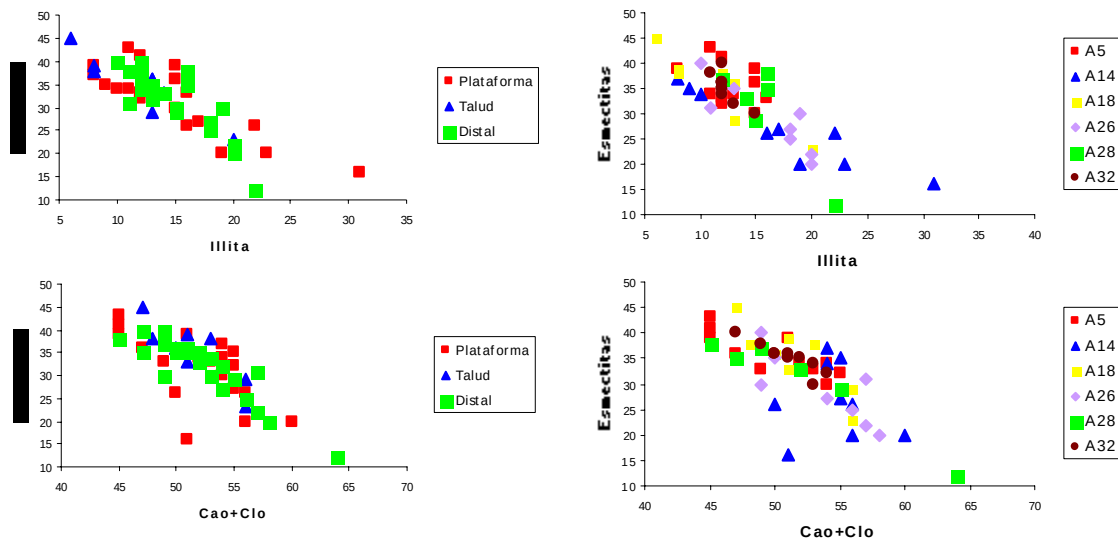


Fig. 40. (Continuación)

Se observa en la figura 40 cierto arreglo lineal en las siguientes relaciones: Cao+Clo vs. illita para las muestras correspondientes al talud (núcleo A18) y para las de los núcleos A26 y A28 de la plataforma, las cuales forman una línea de pendiente positiva. Mientras que en la relación esmectita vs. illita todas las muestras forman arreglos lineales de pendiente negativa. Dicho comportamiento también se observa en la relación esmectita vs. Cao+Clo excepto en las muestras del núcleo A14.

d. Perfiles de distribución

A continuación se presenta en la figura 41, la distribución horizontal de la media de todos los núcleos (tabla 12) en porcentaje de las variables mineralógicas, así como también se muestra la curva de profundidad. En el eje x del gráfico se indica el nombre de la muestra y su distancia (km) en línea recta a la costa (Figura 1).

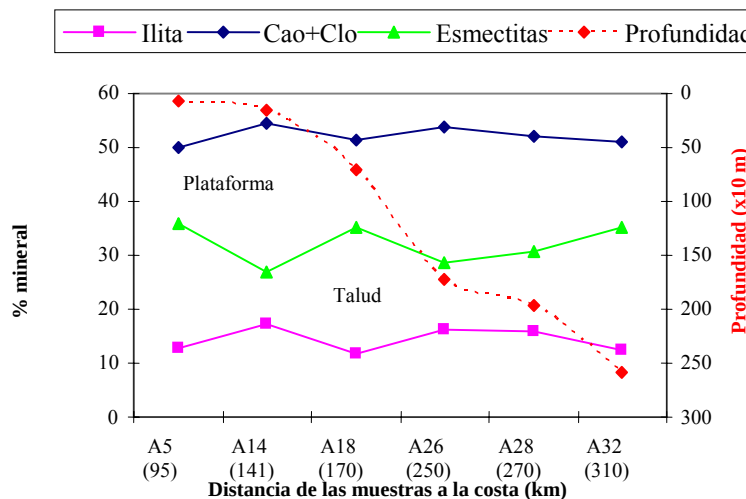


Fig. 41. Perfil de distribución de muestras de núcleo, indicando % mineral (promedio por núcleo) profundidad y distancia a la costa.

e. Gráficos triangulares

En la figura 42 se plotearon las variables de la fracción de arcillas $<2\mu$, con respecto a su ubicación batimétrica. No se aprecia una dispersión considerable, sin embargo es notable la tendencia de todas las muestras hacia el vértice Cao+Clo.

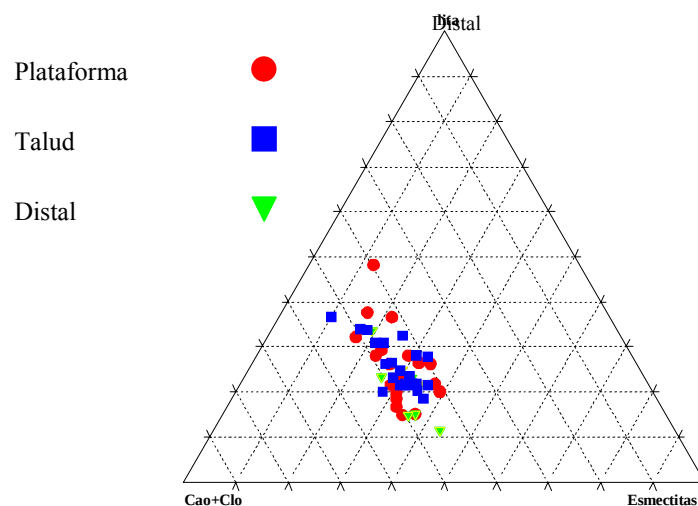


Fig. 42. Gráfico ternario de muestras de núcleo de arcillas $<2\mu$

5.3.2.2. Estadística multivariante

a. Dendrogramas

Se realizaron dendrogramas para la totalidad de los núcleos, en la figura 43 se muestran gráficos utilizando los promedios de las variables por cada núcleo

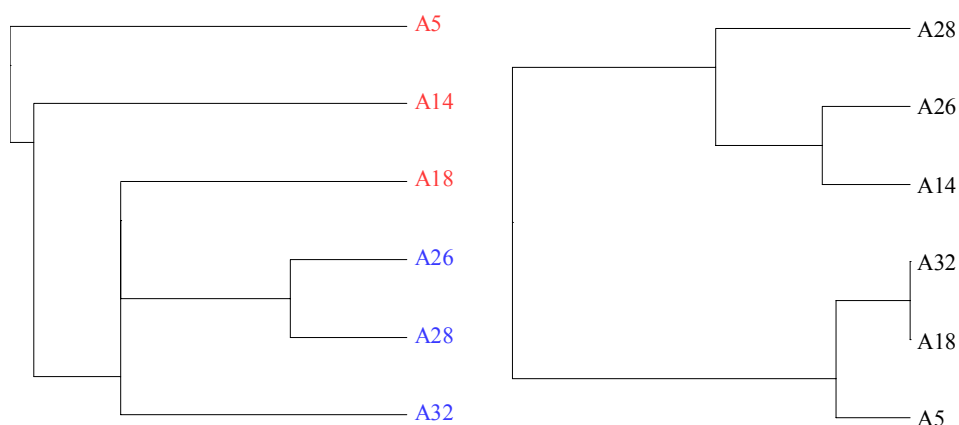


Fig. 43. Dendrogramas de muestras de núcleo utilizando un promedio con las variables de fracción <2 micras. Izquierda: conservando el orden estratigráfico de las muestras. Derecha: sin conservar el orden estratigráfico.

Se observa en los dendrogramas que al no conservar el orden estratigráfico (derecha), los núcleos A26 y A28 son los únicos que se mantienen en un mismo grupo con respecto al otro dendrograma (izquierda), sugiriendo que la fracción <2 micras de estos son las más parecidas entre el total de los núcleos.

b. Funciones discriminantes

En la figura 44 se muestran los porcentajes de aciertos para cada núcleo, así como también para todo el conjunto de núcleos según las asociaciones químicas y ubicación batimétrica. Nuevamente en el núcleo A28 se presenta una correspondencia perfecta entre los grupos predichos y los dados por las funciones discriminantes.

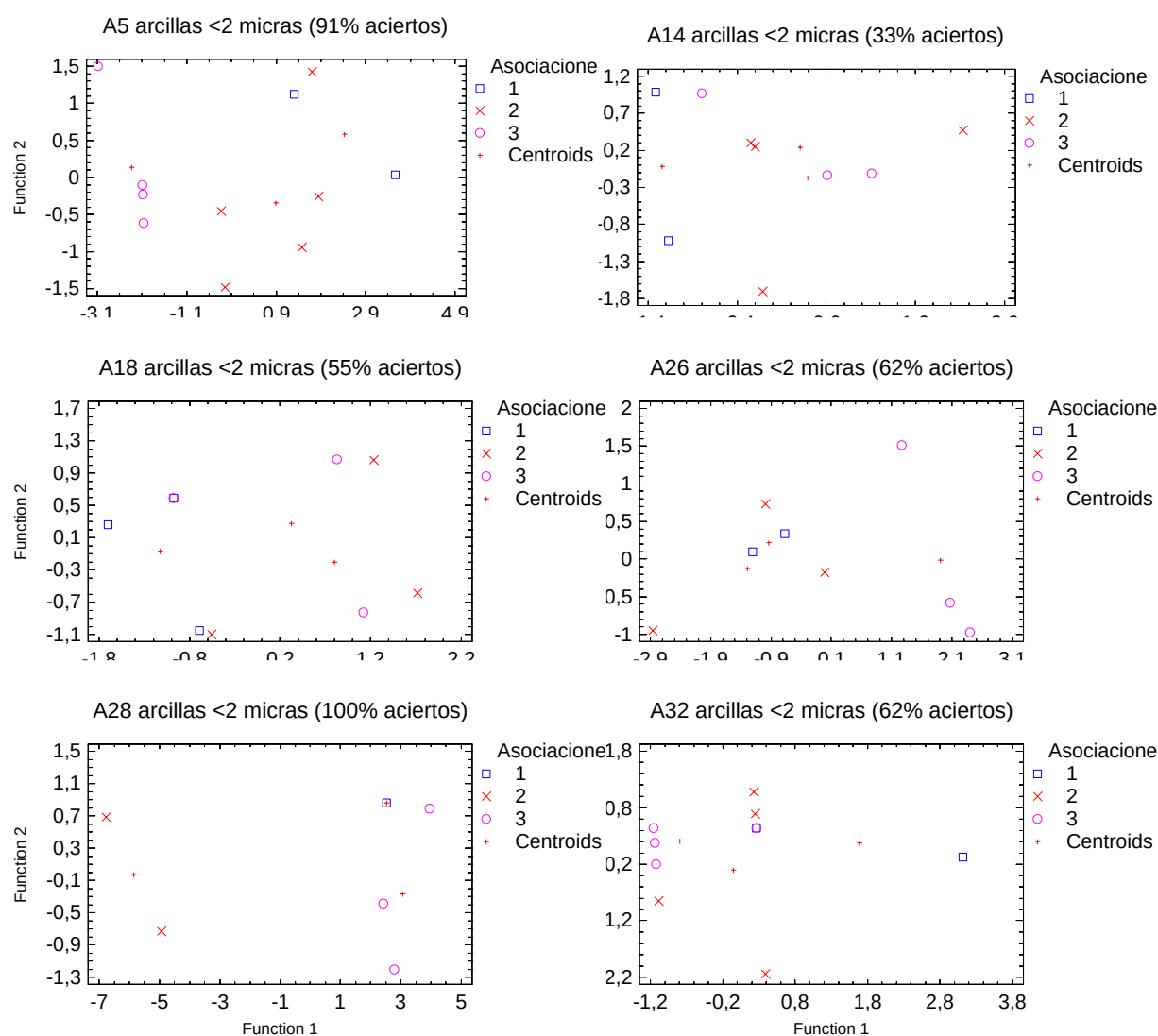
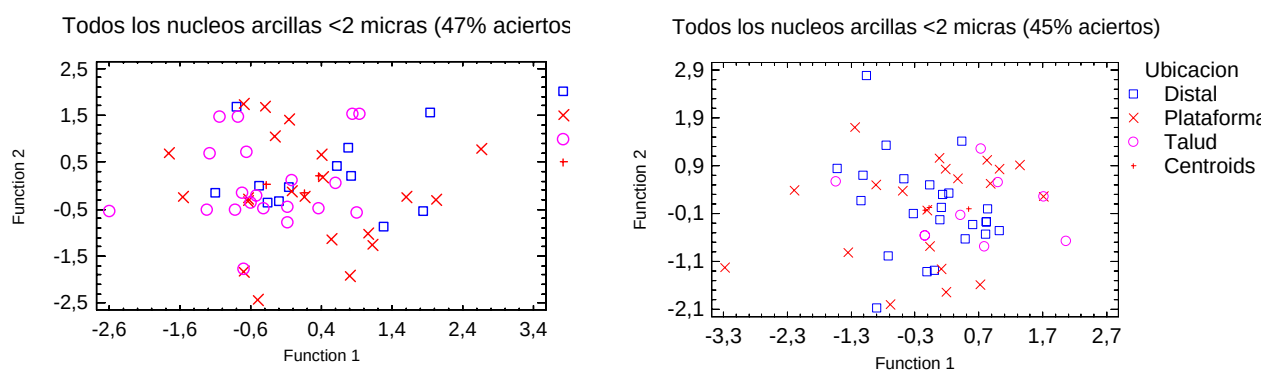


Fig. 44. Representación gráfica de las funciones discriminantes para la fracción <2 micras por núcleo



5.4. DISCUSIÓN GENERAL (MUESTRA TOTAL + ARCILLAS)

5.4.1. Sedimentos superficiales

A continuación se presenta (Tabla 22) los resultados del análisis por DRX en muestra total y la fracción de arcillas <2 micras, que a diferencia de las tablas mostradas anteriormente uno los resultados de muestra total y la fracción <2 μ , la variable arcillas definida en muestra total fue desglosada proporcionalmente en los tres minerales de arcilla identificados.

Tabla 22. Resultados analíticos finales para las muestras superficiales

ID	Cuarzo	Calcita	Ilita	Cao+Clo	Esmectitas
A2	21	7	9	36	27
A5	16	9	9	38	28
A7	37	10	8	26	19
A14	16	1	13	44	27
A17	29	3	13	42	13
A18	15	9	12	39	23
A21	14	24	11	27	24
A23	15	28	7	27	23
A26	12	12	11	40	23
A28	16	11	11	36	25
A32	21	8	10	37	23

5.4.1.1 Estadística multivariante

a. Dendrogramas

Se realizaron dendrogramas para las muestras superficiales, en la figura 45 se muestran gráficos utilizando los promedios de las variables por cada núcleo.

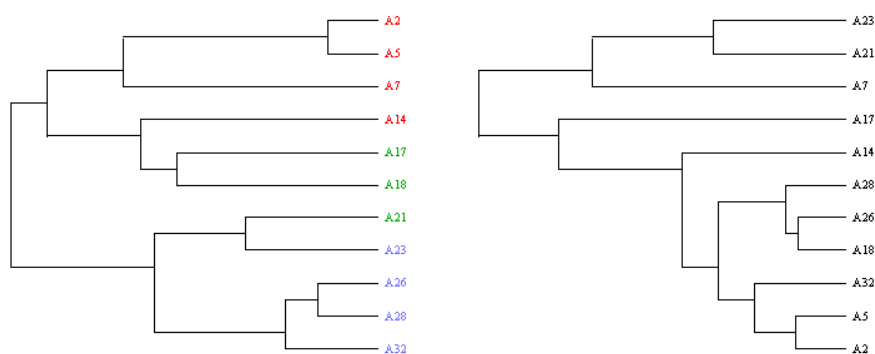


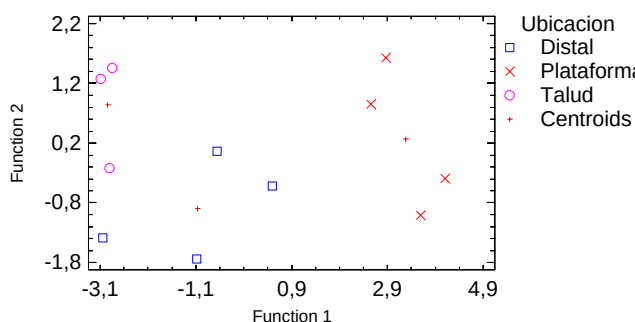
Fig. 45. Dendrogramas de los sedimentos superficiales (muestra total + arcillas)

En el dendrograma sin orden estratigráfico (derecha) se observa que la mayoría de los núcleos se mantienen formando los mismos grupos o cercanos a aquellos que están dados por el dendrograma constreñido (izquierda) excepto los núcleos A7, A18 y A32.

b. Funciones discriminantes

En la figura 46 se muestran los porcentajes de aciertos para las muestras superficiales, según su ubicación batimétrica.

Superficiales roca total + arcillas <2 micras (100% aciertos)



Superficiales roca total + <2 micras + químicos (100% aciertos)

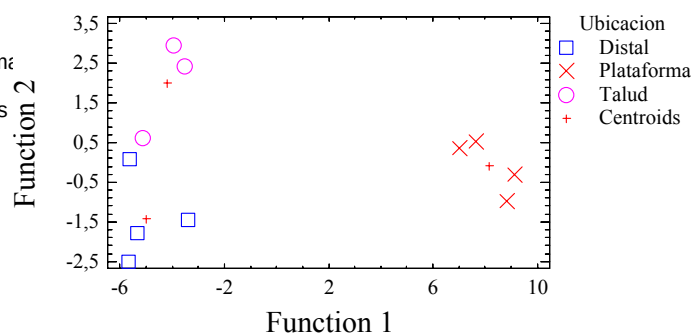


Fig. 46. Representación gráfica de las funciones discriminantes generadas para los sedimentos superficiales

A continuación en la tabla 23 se muestran los resultados del cálculo de algunas de las relaciones (raport), utilizadas frecuentemente para el estudio de los minerales de arcilla. Así como también se presenta (Tabla 24) una recopilación bibliográfica modificada de

FAUGÈRES *et al.* (1992), en donde se encuentran algunos de los trabajos más destacados realizados en el Caribe, plataforma del Orinoco y la Amazonia.

Tabla 23. Relaciones minerales en muestras superficiales

ID	(Cao+Clo+I)/Es	I/Es
A2	1,63	0,32
A5	1,68	0,33
A7	1,78	0,42
A14	2,13	0,48
A17	4,26	1,00
A18	2,23	0,52
A21	1,63	0,47
A23	1,50	0,30
A26	2,28	0,50
A28	1,90	0,44
A32	1,98	0,41

EISMA *et al.* (1978) proponen un rango de valores para el rapport = (Cao+Clo+I)/Es, en el cual se discriminan tres fuentes para los sedimentos encontrados en la plataforma deltana, para el delta del Orinoco valores entre 1,2 – 1,7; los sedimentos provenientes del Amazonas y Guayana, valores entre 1,8 – 2,8; y finalmente para el río Orinoco valores mayores o cercanos a 6.

Con base a los valores de las relaciones (Cao+Clo+I)/Es y I/Es, mostrados en la tabla 23 se puede establecer que los valores más bajos en estas relaciones son para ríos de la Amazonia, pasando por una gama de valores intermedios que pudieran representar la mezcla de sedimentos de origen Amazónico y del río Orinoco, en la figura 47 se observa en un gráfico de puntos, los valores de las muestras superficiales según el valor del rapport (Cao+Clo+I)/Es, en verde se muestra la zona de influencia Amazónica, en morado la zona de mezcla Orinoquense-Amazónica, y en rojo la zona de influencia Orinoquense.

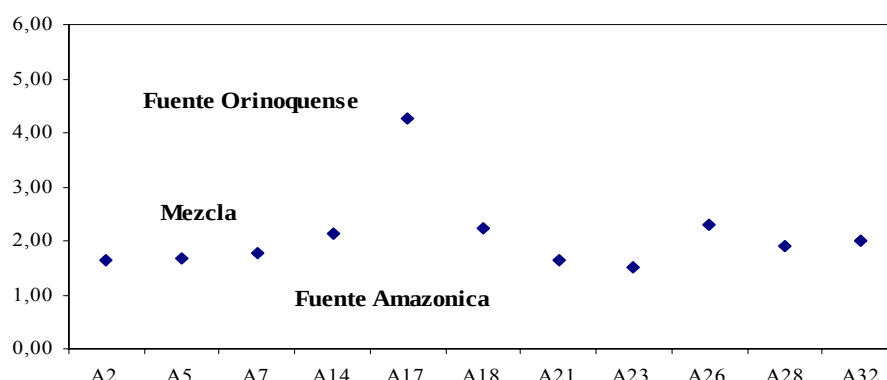


Fig. 47. Valores de las muestras superficiales de la relación (Cao+Clo+I)/Es

Tabla 24. Compilación de trabajos varios en mineralogía de arcillas, mostrando los respectivos valores y relaciones mineralógicas (Cao+Clo+I)/Es y (I/Es).

Datos bibliograficos (nombre, año, zona y núcleo)		% mineral				Relaciones		Fuente de sedimento
		Ilita	Caolinita	Clorita	Esmectita	(Cao+Clo+I)/Es	I/Es	
GIBBS (1967)		29-43	12-34	3-6	21-47	1,86	1,05	Ríos de los Andes
GIBBS (1967)		36	23	15	34	2,18	1,06	Ríos de los Andes
GIBBS (1967)		0-17	11-97	0-1	0-68	1,85	0,25	Ríos de la Amazonia
GIBBS (1967)		8,5	54	1	34	1,84	0,25	Ríos de la Amazonia
GIBBS (1967)		13-62	20-63	0-4	9-34	3,76	1,74	Mezcla de ríos
GIBBS (1967)		36,5	41,5	1	22	3,55	1,66	Mezcla de ríos
PARRA (in prep)		25	30	8	35	1,80	0,71	Boca del río Amazonas
BOLTENHAGEN & MARION (1978)		25-30	35		40-45	1,47	0,64	Boca del río Amazonas
FAUGERES et al., (1991)	Lodo	30	45	1	20	3,80	1,50	Orinoco y Amazonas
FAUGERES et al., (1991)	Lodo	40	40	15	1	95,00	40,00	Orinoco
FAUGERES et al., (1991)	Arenas	40-45	35	15-20	1	95,00	42,50	Orinoco
FAUGERES et al., (1992) Plataforma Trinidad (119)	Arenas	34	51	4	10	8,90	3,40	Orinoco y Amazonas
FAUGERES et al., (1992) Plataforma Orinoco (120)	Lodo	27	38	15	20	4,00	1,35	Orinoco y Amazonas
FAUGERES et al., (1992) Plataforma Orinoco (120)	Arenas	33	23	22	22	3,55	1,50	Orinoco y Amazonas
FAUGERES et al., (1992) Zona Abisal (112)	Lodo	35	42	15	8	11,50	4,38	Orinoco
FAUGERES et al., (1992) Zona Abisal (112)	Arenas	41	26	26	7	13,29	5,86	Orinoco
PUJOS et al., (1997) Delta del Orinoco (1) Febrero		37	28	22	13	6,7	2,85	Orinoco
PUJOS et al., (1997) Delta del Orinoco (1) Octubre		54	20	18	8	11,5	6,75	Orinoco

Los resultados muestran que las estaciones A2, A5 y A7 poseen una influencia Amazónica, sin embargo muy cercanas al límite de mezcla. La muestra A14 presente en la zona de mezcla, marca un aumento en la influencia orinoquense; para llegar al máximo de aporte del río Orinoco en A17, dando paso a un descenso hasta la zona de mezcla en A18, y A21 y A23 en la zona de influencia Amazónica, finalmente en A26, A28 y A32 se ubican en zona de mezcla muy cercanas al límite Amazónico a excepción de A26.

Es importante mencionar que la mayoría de las muestras a excepción de A17 se encuentran cercanas al límite de mezcla Orinoquense y Amazónico, lo que se pudiera interpretar como una relación de aporte de sedimentos similar para ambas fuentes en la plataforma del Orinoco, y corrobora lo mencionado por MÉNDEZ. (2000), en donde el total de sedimentos en las fracciones más finas que se desplaza desde el Amazonas en dirección nor-oeste, es sólo ligeramente mayor o equivalente en las mismas fracciones, al depositado por el río Orinoco en su desembocadura.

5.4.2. Núcleos

A continuación se presenta (Tabla 25) un promedio de los valores en cada núcleo, de los resultados del análisis por DRX en muestra total y la fracción de arcillas <2 micras, adicionalmente se muestran los resultados de las relaciones (Cao + Clo + Ilita)/es e I/Es.

Tabla 25. Resultados analíticos finales para las muestras de núcleo

ID	Cuarzo	Calcita	Ilita	Cao+Clo	Esmectita	(Cao + Clo + Ilita)/Es	I/Es
A5	33	2	8	32	23	1,78	0,36
A14	16	2	14	45	22	2,96	0,77
A18	15	5	9	41	28	1,89	0,37
A26	19	8	12	39	21	2,60	0,61
A28	20	8	11	37	22	2,77	0,66
A32	21	9	9	36	25	1,81	0,35

5.4.2.1. Estadística multivariante

a. Funciones discriminantes

En la figura 48 se muestran los porcentajes de aciertos para cada núcleo, así como también para todo el conjunto de núcleos según las asociaciones químicas y ubicación batimétrica.

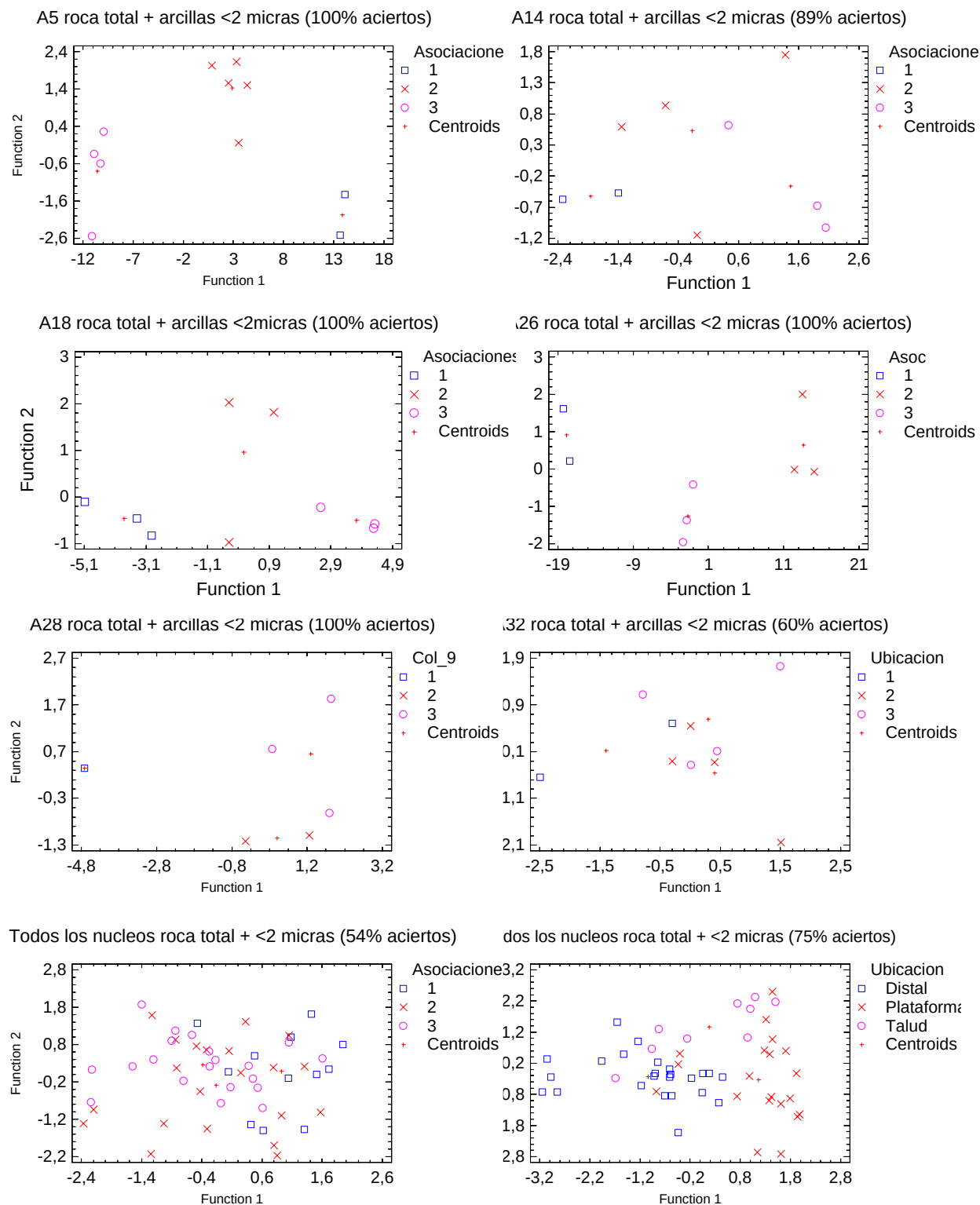


Fig. 48. Representación gráfica de las funciones discriminantes según las asociaciones químicas para muestra total + arcillas < 2 micras

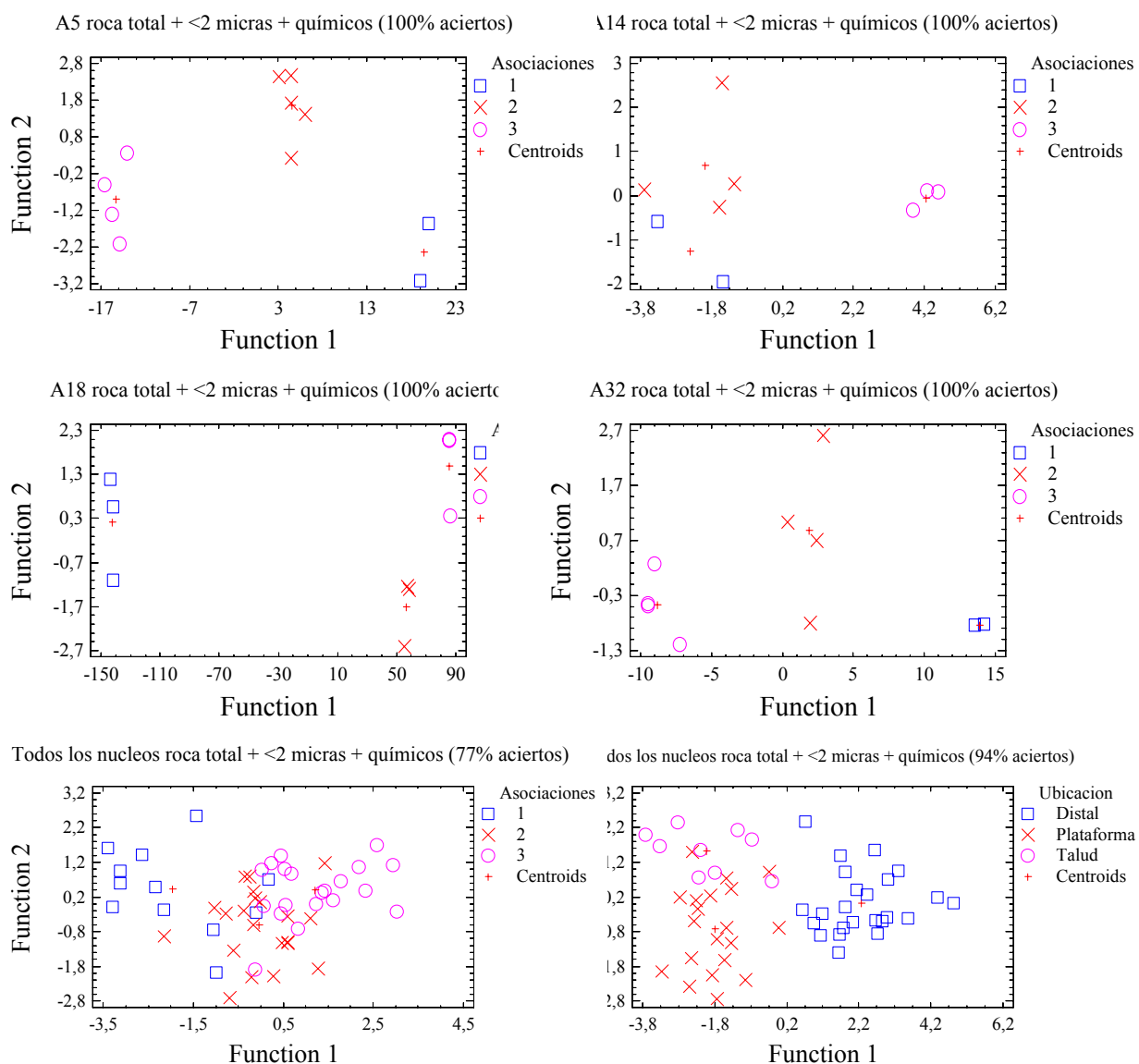


Fig. 48. (Continuación)

5.4.2.2. Definición de unidades mineralógicas

Los perfiles de distribución vertical muestran las variaciones mineralógicas experimentadas en los núcleos con la profundidad, permitiendo establecer el comportamiento de las distintas variables a través de las deflexiones, tendencias máximas y/o mínimas observadas en las curvas.

Las deflexiones en las curvas representan terminaciones de ascenso o descenso manifestados como máximos o mínimos, por lo que para una mejor representación de las

unidades químicas se hablará de tendencia positiva (+) a las curvas representadas con máximas culminaciones y de tendencia negativa (-) a las curvas con inflexiones mínimas.

Al observar los valores promedios para todas las variables en los núcleos (Tabla 11), se concluye que las arcillas son el mineral mayoritario en las muestras, mientras que el cuarzo se encuentra en menor proporción.

Con el objeto de complementar la información acerca de los núcleos, se añade a los perfiles el color de los núcleos, así como también la descripción granulométrica realizada por BARITTO (2004) (microscópica), y una estimación granulométrica basado en el contenido de cuarzo y arcillas. A continuación (Figura 49) se observa la leyenda para la litología gráfica:

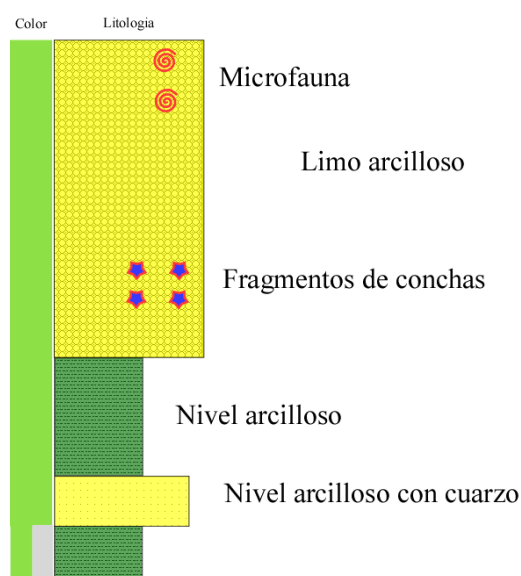


Fig. 49. Leyenda de la litología gráfica utilizada en los perfiles verticales

El limo arcilloso y los fragmentos de conchas fueron identificados macroscópicamente por BARITTO (2004), mientras que la microfauna, los niveles arcillosos y arcillosos con cuarzo son estimados a partir de las deflexiones positivas de los minerales calcita, arcillas y cuarzo respectivamente.

Núcleo A2 (Figura 50)

Se definieron tres unidades mineralógicas principales: UMA_2I , UMA_2II , UMA_2III , en este núcleo se observa el dominio de las arcillas sobre el mineral cuarzo y la calcita.

Unidad UMA_2I : de tope a base la calcita presenta una notable disminución, así como también el cuarzo posee una tendencia de disminución. En el caso de las arcillas es dominante en esta unidad presentando cerca de los valores máximos a lo largo del perfil de todo el núcleo (83%).

Unidad UMA_2II : esta unidad se caracteriza por la intercalación de valores de cuarzo y arcillas, de tope a base el cuarzo presenta su valor máximo (24%), mientras que las arcillas y la calcita exhiben una disminución respecto a la unidad suprayacente. Entre las muestras A2-6 y A2-7 se observa un aumento en las arcillas, así como también la calcita la presenta un pequeño aumento. Hacia la base de la unidad el mineral cuarzo vuelve a presentar su valor máximo, mientras que las arcillas disminuyen hasta la muestra A2-9, donde aumenta hasta A2-10.

Unidad UMA_2III : el mineral cuarzo posee una tendencia hacia el aumento, de igual manera la calcita aumenta hacia la base del núcleo, mientras que las arcillas disminuyen de forma gradual hasta A2-13

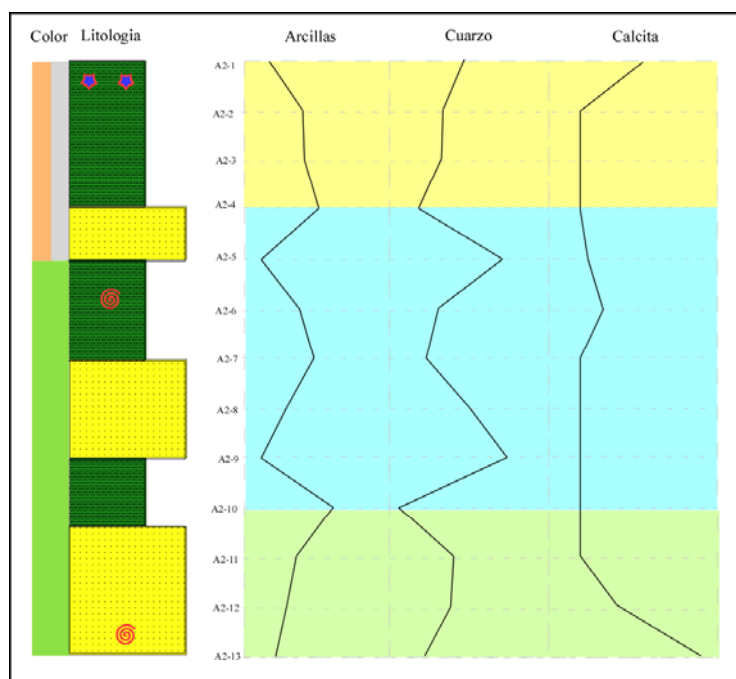


Fig. 50. Perfil de distribución vertical del núcleo A2

Núcleo A5 (Figura 51)

Se definieron tres unidades mineralógicas principales: UMA₅I, UMA₅II, UMA₅III, en este núcleo se observa un aumento en los valores del cuarzo respecto al núcleo A2, de igual forma los valores de las arcillas disminuyen, sin embargo esta variable sigue siendo dominante en todo el núcleo.

Unidad UMA₅I: en esta unidad las variables cuarzo cao+clo y esmectita (43%) muestran una tendencia positiva, mientras que la illita y las arcillas exhiben una tendencia negativa. Por otro lado la calcita muestra su valor máximo en A5-2 (8%) para luego iniciar una disminución homogénea hasta la base del núcleo.

Unidad UMA₅II: caracterizan esta unidad los altos valores de illita y cao+clo, mientras que las esmectitas poseen una tendencia negativa, las arcillas, la calcita y el cuarzo presentan un comportamiento homogéneo a excepción de las muestras A5-6 y A5-7.

Unidad UMA₅III: las arcillas muestran una tendencia positiva (71%), así como el cuarzo en A5-10, mientras que la illita disminuye hasta el mínimo (8%), la variable cao+clo posee una tendencia positiva y las esmectitas aumentan en A5-10 hasta valores de 39%.

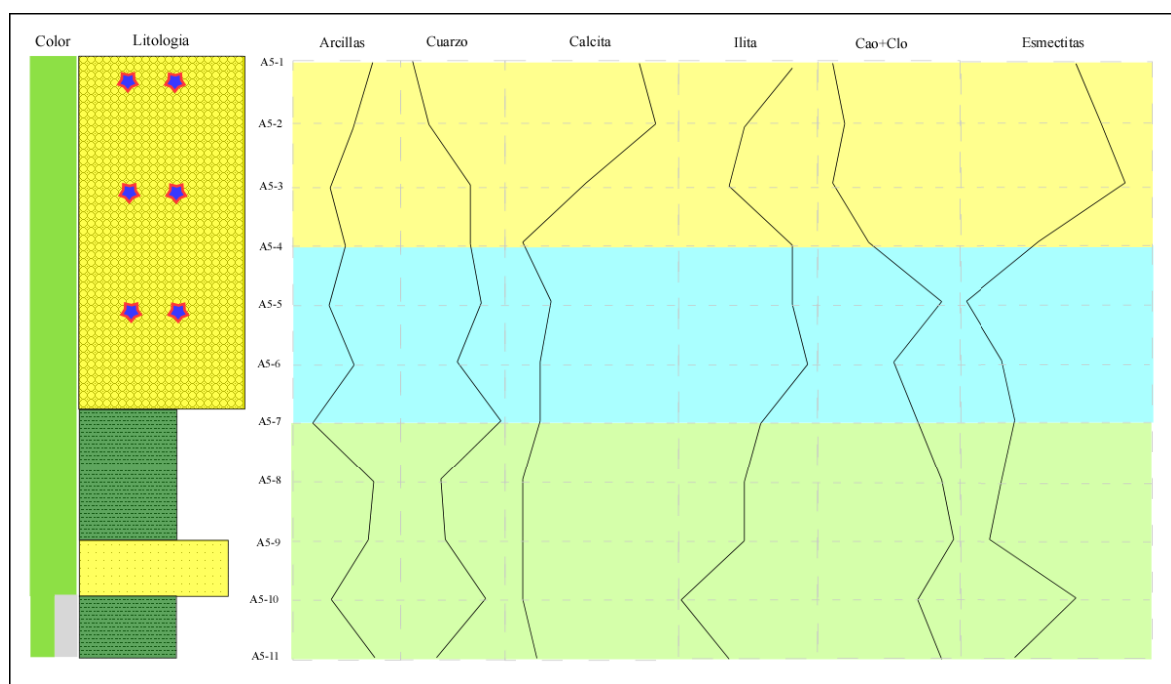


Fig. 51. Perfil de distribución vertical del núcleo A5

Núcleo A11 (Figura 52)

Se definieron dos unidades mineralógicas principales: UMA_{11I} y UMA_{11II} , este núcleo se caracteriza por la homogeneidad de los datos exceptuando los valores en A11-9, A11-10 y A11-11, la calcita sólo se presenta en A11-1.

Unidad UMA_{11I} : unidad caracterizada por la homogeneidad de las variables, sin embargo las arcillas presentan una leve tendencia positiva hacia la base de la unidad (86%), por el contrario el cuarzo presenta una disminución muy leve hacia la base. La calcita se encuentra en A11-1.

Unidad UMA_{11II} : la muestra A11-9 marca el mínimo valor para las arcillas (78%), y el máximo para el cuarzo (34%), para luego en las muestras A11-10 y A11-11 mostrar una tendencia positiva para las arcillas y negativa para el cuarzo.

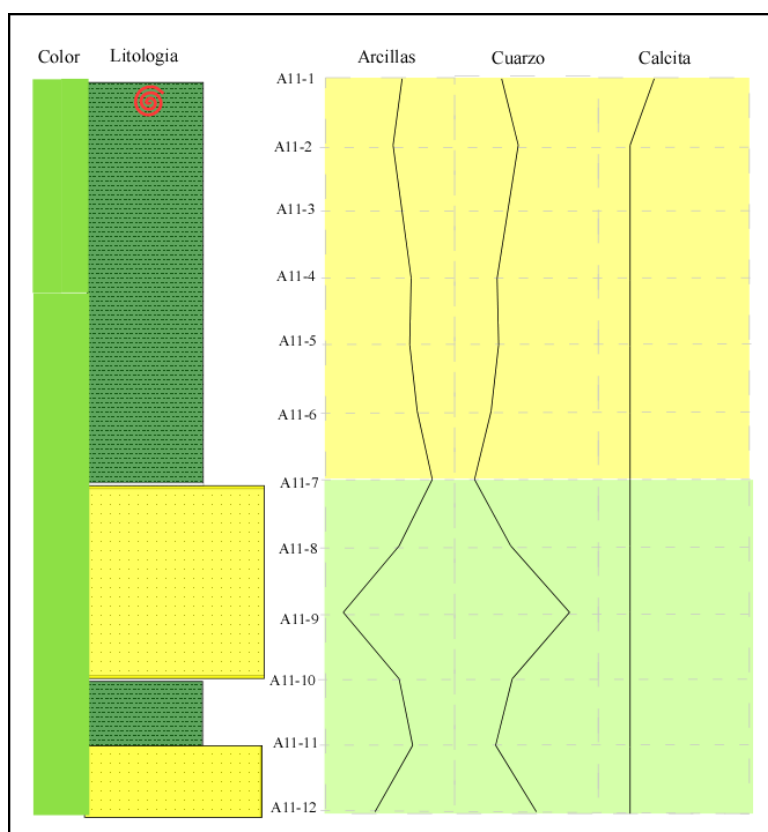


Fig. 52. Perfil de distribución vertical del núcleo A11

Núcleo A14 (Figura 53)

Se definieron tres unidades mineralógicas principales: UMA₁₄I, UMA₁₄II y UMA₁₄III:

Unidad UMA₁₄I: en esta unidad las arcillas muestran su máximo valor en A14-2 (87%), mientras que el cuarzo marca el mínimo valor (13%), de igual manera la calcita disminuye al cero (0%). Mientras que la ilita muestra un aumento del mínimo valor (8%) hasta A14-2, Cao+Clo disminuye y las esmectitas muestran su valor máximo en A14-1 (37%) para luego comenzar una disminución.

Unidad UMA₁₄II: las arcillas exhiben una tendencia positiva hacia la base de la unidad, mientras que el cuarzo muestra una pequeña deflexión positiva en A14-3 y A14-7, casi de forma análoga se observa el comportamiento de la calcita a excepción de la muestra A14-7. La ilita en esta unidad presenta su valor máximo (31%) en A14-4, mientras que cao+clo en A14-3 marca el máximo valor (61%). Las esmectitas llegan al mínimo valor en A14-4 (16%), para luego mostrar un aumento hacia la base de la unidad.

Unidad UMA₁₄III: el cuarzo y la ilita poseen una tendencia positiva en A14-7, mientras que las arcillas y esmectitas exhiben una tendencia negativa. La calcita marca el máximo valor en la base de la unidad.

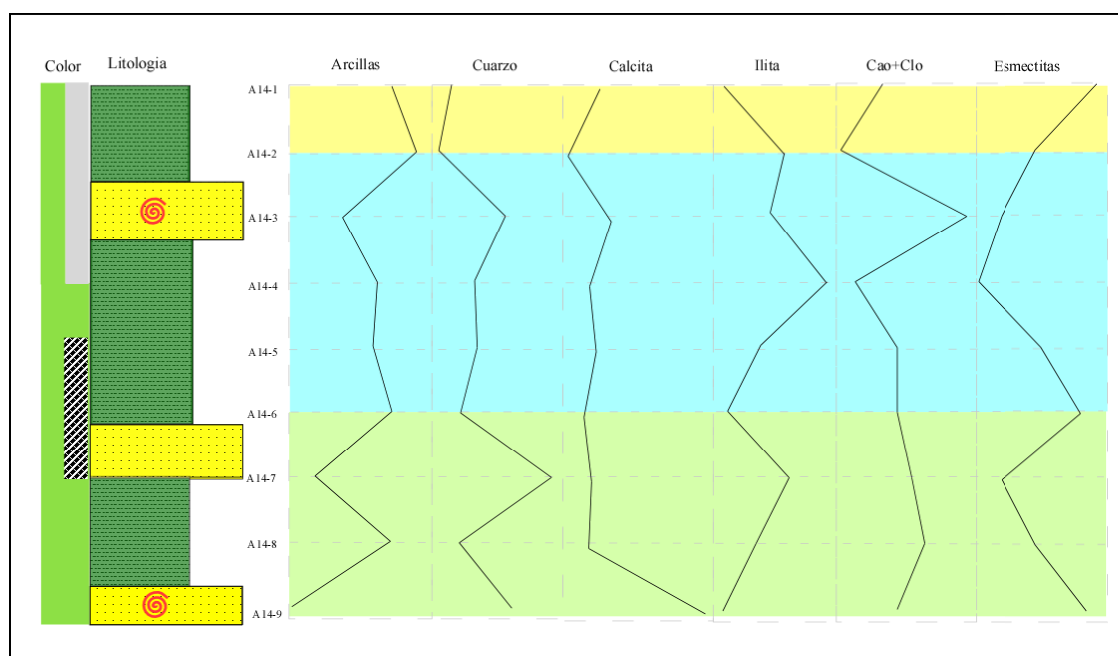


Fig. 53. Perfil de distribución vertical del núcleo A14

Núcleo A18 (Figura 54)

Se definieron tres unidades mineralógicas principales: UMA₁₈I, UMA₁₈II y UMA₁₈III:

Unidad UMA₁₈I: se caracteriza por la disminución de valores en las variables calcita, ilita y Cao+Clo, mientras que las esmectitas y el cuarzo aumentan. Las arcillas presentan una tendencia homogénea.

Unidad UMA₁₈II: las arcillas, Cao+Clo y las esmectitas presentan un aumento gradual hacia la base de la unidad, mientras que la ilita, calcita y cuarzo muestran una tendencia negativa hacia la base.

Unidad UMA₁₈III: en el tope de esta unidad se observa un cambio en los valores de todas las variables, en A18-7 el cuarzo (16%) y las esmectitas (45%) muestran deflexiones positivas, mientras que las arcillas, ilita (6%) y Cao+Clo exhiben tendencias negativas.

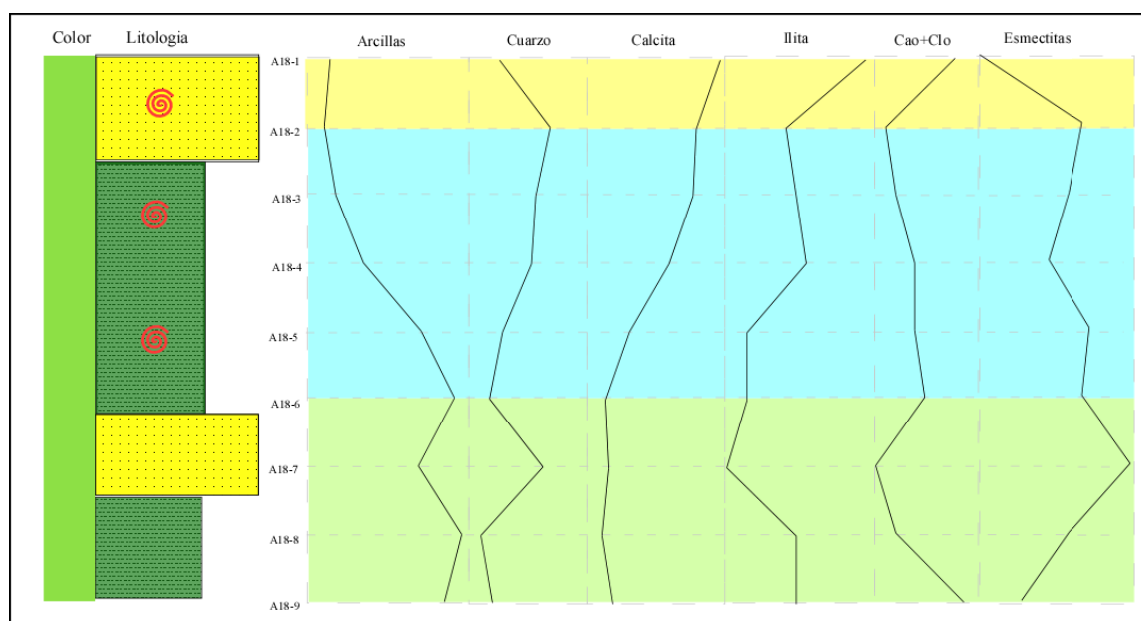


Fig. 54. Perfil de distribución vertical del núcleo A18

Núcleo A24 (Figura 55)

Se definieron tres unidades mineralógicas principales: UMA₂₄I, UMA₂₄II y UMA₂₄III:

Unidad UMA₂₄I: la variable arcillas muestra una deflexión positiva en esta unidad marcando el máximo valor en A24-3 (77%), mientras que el cuarzo muestra una disminución constante de tope a base, el cuarzo tiene un comportamiento homogéneo.

Unidad UMA₂₄II: caracterizada por las deflexiones del cuarzo mostrando los máximos valores en A24-6 (26%) y A24-8 (28%), las arcillas disminuyen su valor, sin embargo se observa una deflexión positiva en A24-7 (77%), en esta muestra la calcita marca el mínimo valor en todo el núcleo, para luego mostrar un leve aumento hacia la base de la unidad.

Unidad UMA₂₄III: las arcillas exhiben una tendencia homogénea, mientras que el cuarzo disminuye en A24-9, en esta muestra la calcita posee una deflexión positiva para luego disminuir los valores hacia la base de la unidad.

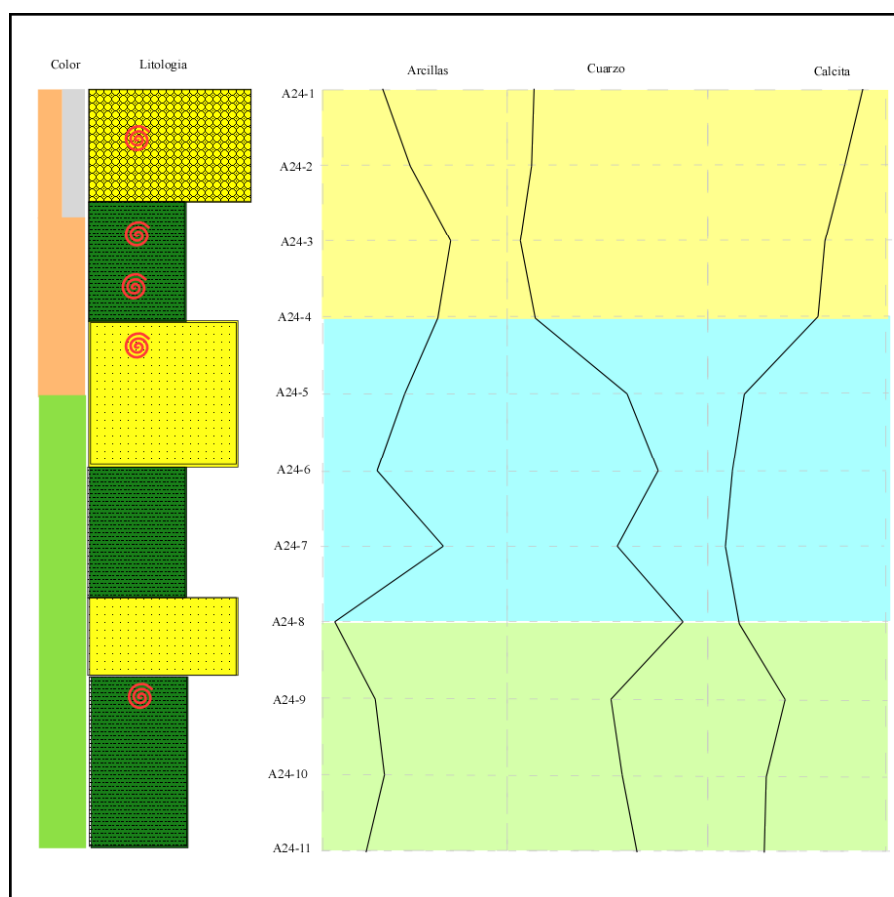


Fig. 55. Perfil de distribución vertical del núcleo A24

Núcleo A26 (Figura 56)

Se definieron tres unidades mineralógicas principales: UMA₂₆I, UMA₂₆II y UMA₂₆III:

Unidad UMA₂₆I: la variable arcillas y esmectitas disminuyen su valor, mientras que la calcita, ilita y Cao+Clo aumentan hacia la base de la unidad, el cuarzo se mantiene estable.

Unidad UMA₂₆II: el cuarzo muestra una deflexión positiva con máximo en A26-4, así como también la calcita exhibe una deflexión negativa en esta unidad, la ilita y esmectitas muestran una intercalación de deflexiones positivas y negativas en toda la unidad.

De igual forma las arcillas muestran una deflexión negativa con el valor mínimo en A26-3 (70%). Unidad UMA₂₆III: las arcillas y cao+clo poseen deflexiones negativas en A26-7, mientras que cuarzo y esmectitas muestran deflexiones positivas. Calcita e ilita exhiben tendencias similares y homogéneas.

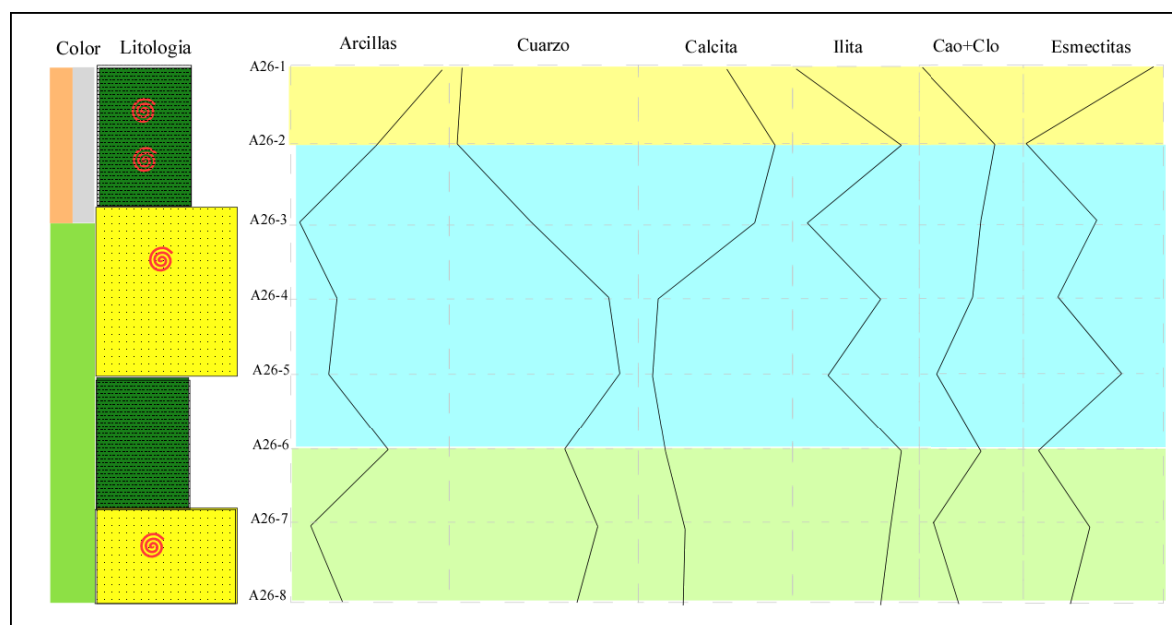


Fig. 56. Perfil de distribución vertical del núcleo A26

Núcleo A28 (Figura 57)

Se definieron dos unidades mineralógicas principales: UMA₂₈I y UMA₂₈II:

Unidad UMA₂₈I: las variables ilita y esmectita muestran un suave aumento hacia la base de la unidad, así como el cuarzo muestra un aumento del valor mínimo (13%) hasta la base de la unidad. Las variables arcillas, calcita y Cao+Clo muestran una disminución hacia la base.

Unidad $UMA_{28}II$: la illita y Cao+Clo muestran deflexiones positivas en A28-4, mientras que las esmectitas exhiben deflexión negativa en esta misma muestra. El cuarzo se mantiene estable, en el caso de las arcillas y calcita muestran deflexiones positivas en A28-4 y A28-5 respectivamente.

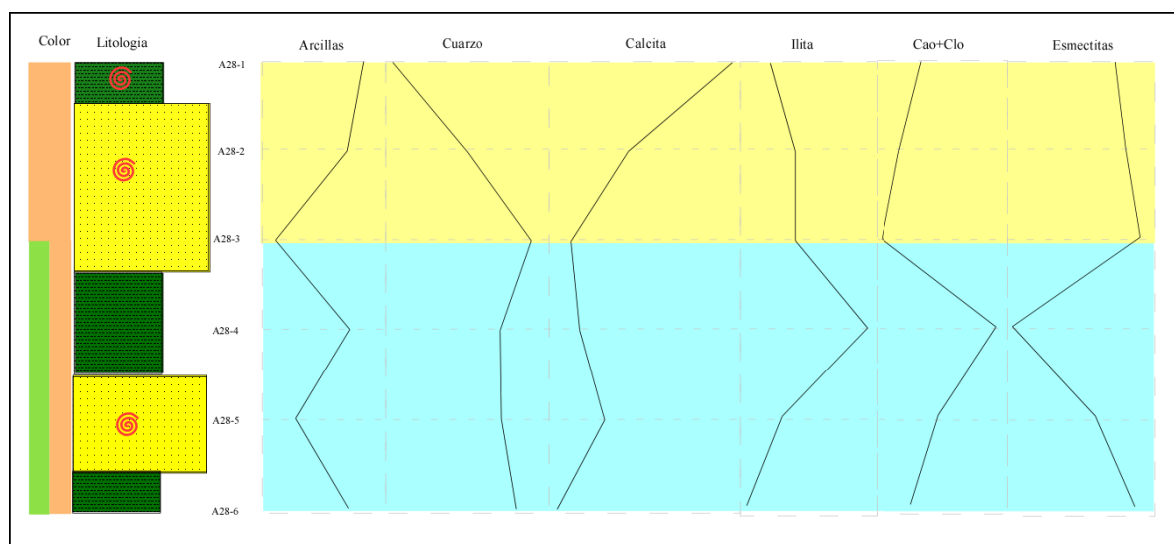


Fig. 57. Perfil de distribución vertical del núcleo A28

Núcleo A32 (Figura 58)

Se definieron tres unidades mineralógicas principales: $UMA_{32}I$, $UMA_{32}II$ y $UMA_{32}III$:

Unidad $UMA_{32}I$: la variable cuarzo y esmectitas exhiben una deflexión negativa en A32-2, mientras que a las arcillas, illita y Cao+Clo muestran una deflexión positiva, la calcita mantiene una leve tendencia de aumento hacia la base.

Unidad $UMA_{32}II$: la variable arcillas muestra una deflexión positiva, sin embargo tiende a disminuir sus valores hacia la base de la unidad, el cuarzo muestra alternancia entre valores altos y bajos, produciendo una curva de forma “dentada”, la calcita con una tendencia homogénea en el núcleo, exhibe una deflexión positiva en A32-6, al igual que la illita y Cao+Clo.

Unidad $UMA_{32}III$: en esta unidad los minerales conservan las tendencias de la unidad suprayacente a excepción de la calcita que posee su valor máximo (14%) en A32-9.

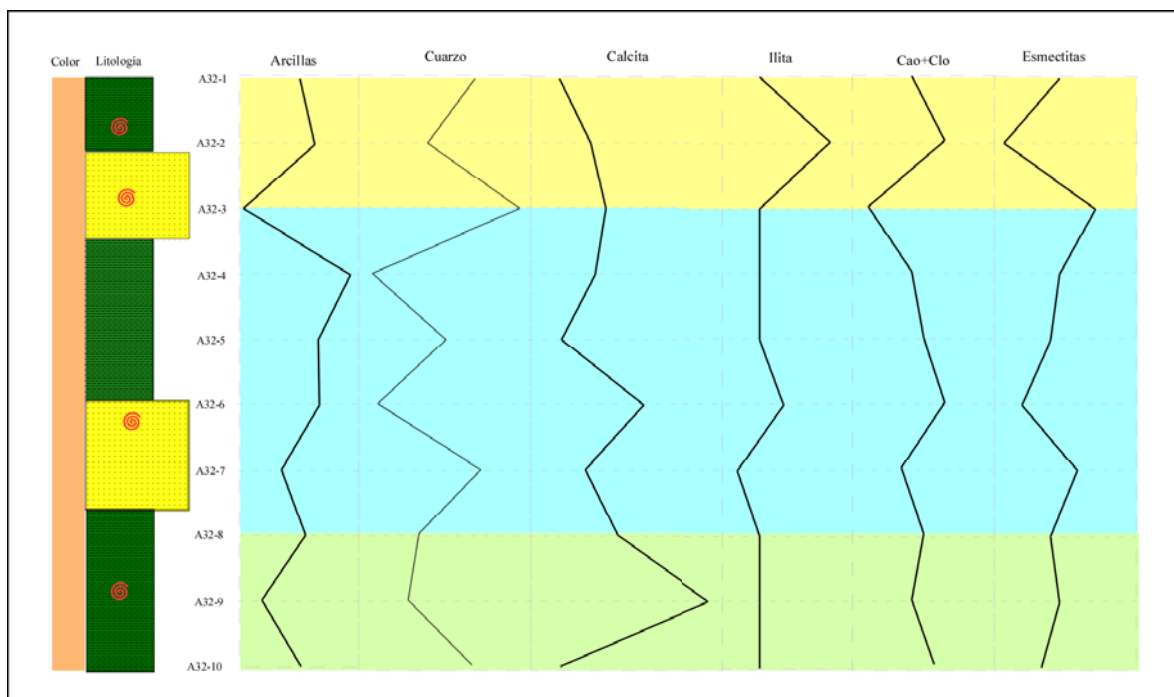


Fig. 58. Perfil de distribución vertical del núcleo A32

5.4.2.2. Estadística multivariante

a. Funciones discriminantes

Se realizaron gráficos de función discriminante con las unidades mineralógicas definidas. En la figura 59 se muestran los porcentajes de aciertos para cada núcleo, así como también para todo el conjunto de núcleos.

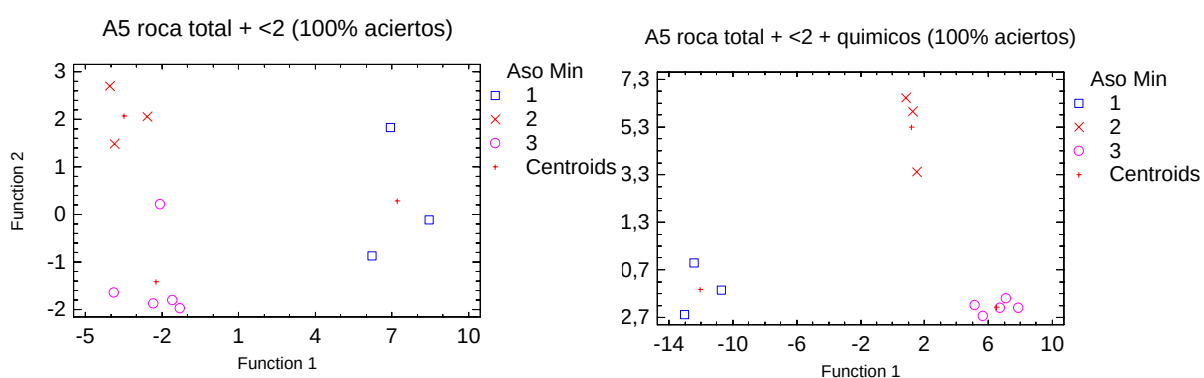


Fig. 59. Representación gráfica de funciones discriminantes generadas para las unidades mineralógicas definidas en cada núcleo.

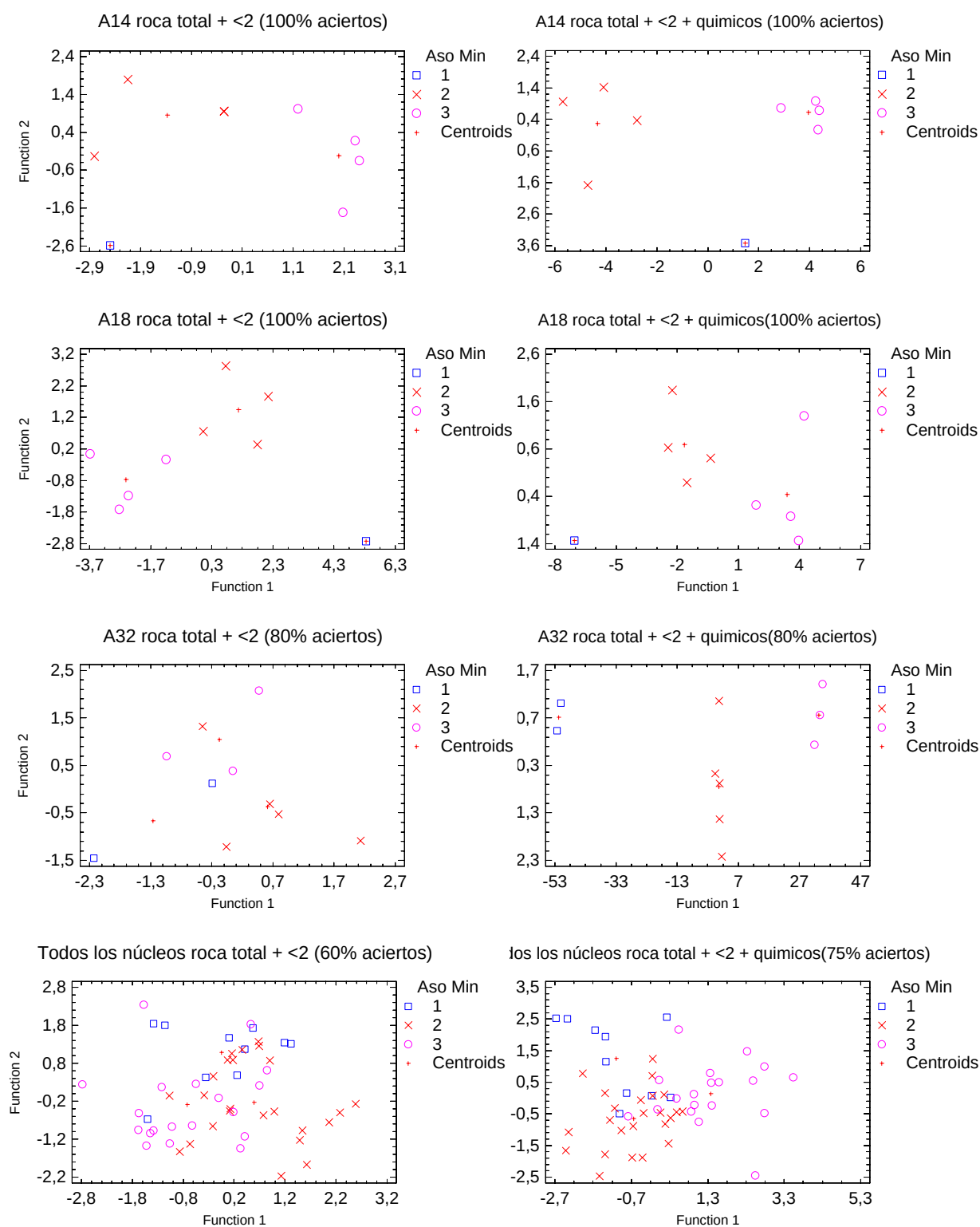


Fig. 59. (Continuación)

Se observa en la figura 59 que existe un 100% de aciertos en las funciones discriminantes de las unidades mineralógicas definidas, excepto en el núcleo A32 que presenta un 80% de aciertos por un solapamiento entre las unidades mineralógicas UM_{A32II} y $UM_{A32.III}$

Mientras que al estudiar el conjunto completo de núcleos este porcentaje baja a un 60%, por la existencia de muestras pertenecientes a núcleos diferentes y que son parecidas en su composición mineralógica, sin embargo al incluir las variables químicas el porcentaje de aciertos para todos los núcleos se incrementa hasta un 75%, lo que significa que las variables químicas contribuyen en la separación de estas unidades mineralógicas.

5.4.2.3 Perfiles de distribución vertical utilizando la relación (Cao+Clo+Ilita)/Es

Se presenta (Figura 60) la distribución vertical de la relación (Cao+Clo+Ilita)/Es, estas curvas, que muestran la variación en profundidad se utilizarán para identificar una tendencia general en cuanto al origen de los sedimentos arcillosos presentes en la zona de estudio. Tomando en cuenta que el río Orinoco es la fuente fluvial más cercana a la zona de estudio, se identificaron los máximos de influencia Orinoquense con la finalidad de establecer una relación entre los procesos geológicos que gobernaron durante la depositación de estos sedimentos, y los valores de minerales de arcilla obtenidos.

Los máximos de influencia Orinoquense son: núcleo A5: A5-5, núcleo A14: A14-4, núcleo A18: A18-1, núcleo A26: A26-2, núcleo A28: A28-4, núcleo A32: A32-2.

En general se observa que los núcleos A14, A26 y A28 muestran claras deflexiones producto de una influencia Orinoquense, mientras que los núcleos A5, A18 y A32, exhiben valores y deflexiones que se limitan a la zona de mezcla y origen Amazónico. En particular se observa que en el núcleo A32 las muestras se encuentran entre la zona de mezcla y la zona de origen Amazónico, a diferencia de los núcleos restantes. Según FAUGERES *et al.* (1993) los procesos de sedimentación en esta zona están controlados por la presencia de una red de cañones submarinos los cuales limitan la circulación de corrientes y por lo tanto la depositación de sedimentos.

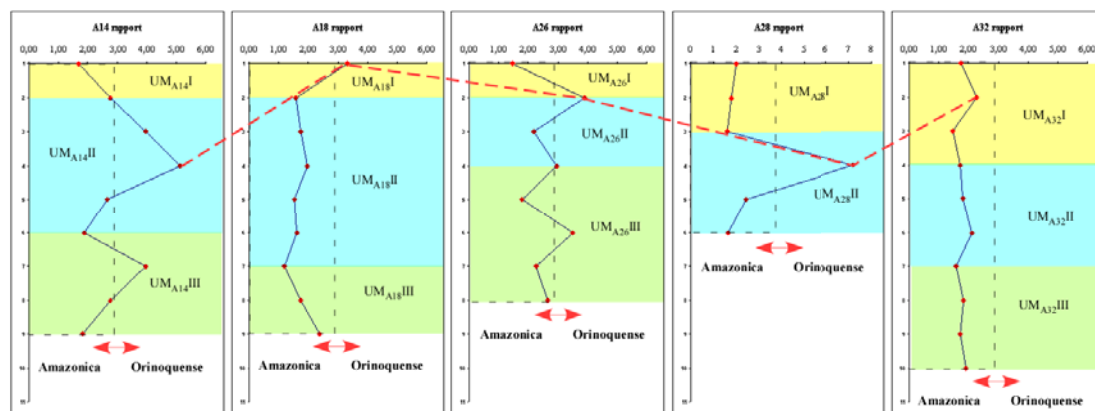


Fig.60. Perfiles de distribución vertical de la relación $(cao+clo+ilita)/es$, indicando las unidades mineralógicas. La línea roja une e indica los máximos de influencia Orinoquense en cada núcleo.

5.5 INTERPRETACIONES GENERALES

El análisis de funciones discriminantes realizado a los núcleos, con asociaciones químicas y las unidades mineralógicas creadas en este trabajo, muestran una gran correspondencia en los análisis de cada núcleo, aunque el reducido número de muestras por núcleo impide una interpretación mas detallada. Sin embargo en los análisis con todos los núcleos se observa que el porcentaje de aciertos mejora para las unidades mineralógicas utilizando las variables muestra total + arcillas <2 micras (60%), respecto a los análisis con asociaciones químicas utilizando las mismas variables (54%).

Además, contrariamente a lo esperado, al utilizar en el análisis discriminante las variables muestra total + arcillas <2 micras + químicos, el porcentaje de aciertos utilizando las unidades mineralógicas (75%) como factor discriminante disminuye respecto al obtenido con las asociaciones químicas (77%), este hecho se podría explicar de la siguiente manera: los criterios utilizados para la creación de las unidades mineralógicas se basaron principalmente en las deflexiones de los minerales de arcilla, pudiendo estos minerales no tener una relación directa con los componentes químicos utilizados, tal como lo demuestran las matrices de correlación (Apéndice V) realizadas con todas las variables utilizadas.

Los resultados de las funciones discriminantes utilizando el factor ubicación batimétrica, muestran una excelente correspondencia (94% aciertos), para todas las variables y en todas las muestras de núcleo. En las muestras superficiales se obtiene el máximo de discriminación (100% aciertos) con el factor ubicación batimétrica, y utilizando todas las variables. Sin embargo el escaso número de muestras impide un mayor afinamiento al análisis.

La mineralogía de las muestras superficiales en el transecto A, muestra un comportamiento homogéneo en la zona de plataforma para la variable calcita, mientras que para el cuarzo y las arcillas, se observan variaciones considerables entre los 60 (A7) y 90 (A14) m de profundidad, pudiendo estar este incremento asociado a una antigua línea de costa reportada por BUTENKO *et al.* (1981). En la zonas de talud y distal, el cuarzo y las arcillas se comportan en forma estable, a excepción de A23 en arcillas y A17 en cuarzo, respecto a la calcita las muestras A21 y A23 marcan los máximos valores en zonas entre 1.030 y 1.387 m de profundidad.

En la fracción <2 micras el comportamiento de los minerales es homogéneo en la zona de plataforma, mientras que en la zona de talud las esmectitas disminuyen bruscamente a 200 m de profundidad, así como la variable Cao+Clo aumenta considerablemente. En la zona distal las esmectitas muestran su máximo valor en 1.400 m de profundidad, cao+clo muestra un leve incremento y la ilita permanece estable.

De acuerdo a BUTENKO *et al.* (1981) a partir de la desembocadura deltaica y hasta una distancia entre 35 y 80 km de la costa se extiende una cuña de fango cuyo espesor máximo alcanza unos 50 m. La sedimentación actual caracterizada por esta cuña de fango desaparece al alcanzar profundidades de agua de 70 m. Hacia el noroeste afloran los sedimentos subyacentes a la cuña de fango, compuestos por una mezcla de arena, limo y arcillas, derivados de antiguos depósitos deltaicos de acuerdo a los perfiles sísmicos del área.

Estos sedimentos terminan en un acantilado de carácter regional ubicado entre los 90 y 130 m de profundidad. Estos autores sugieren que este acantilado es una superficie erosionada probablemente asociada a una antigua línea de costa, correspondiente a un nivel de mar bajo a final del Pleistoceno. Así como también que los primeros depósitos deltaicos holocénicos de la plataforma continental antepuestos al acantilado se destacan por presentar limo de color verde, calcáreo con inclusión de foraminíferos además de fragmentos de conchas de pelecípodos, gasterópodos, espículas, equinoideos, entre otros, lo cual concuerdan muy bien con la descripción litológica realizada por BARITTO (2004) en algunos de los núcleos estudiados.

La corriente de Guayana define la sedimentación clástica en la plataforma deltaica como una sedimentación mayoritariamente calcárea (MÉNDEZ *et al.* 2002), lo cual explica los altos porcentajes de calcita encontrados en las muestras superficiales.

Además FAUGÈRES *et al.* (1990) estiman que el material derivado del continente Sur Americano y el material calcáreo pelágico son claramente dos fuentes de sedimentos. Con un aporte relativo que varía acorde a los cambios en el nivel del mar y subsecuentes modificaciones en el régimen hidrológico para la zona al sur del prisma de Barbados.

Estos autores también asumen que durante el Holoceno, la fuente de material terrígeno al sur del prisma de Barbados, fueron los ríos Orinoco y de la Guayana, mientras que el

material de grano fino, tiene su origen en el Amazonas y fueron transportados en suspensión por corrientes superficiales.

PUJOS *et al.* (1997) realizaron un muestreo en el delta del Orinoco en la estación de sequía (febrero), en la estación lluviosa (agosto) y en la estación de fin de lluviosidad (octubre), de sedimentos en suspensión, estos fueron analizados por DRX, los resultados para la estación 1 correspondiente a Río Grande se muestran en la tabla 24, la estación de fin de lluviosidad (octubre) se caracteriza por el predominio del mineral ilita (54%), mientras que en la estación de sequía se observa una disminución en el valor de ilita (37%), y un aumento en el mineral caolinita (28%) respecto a la estación de fin de lluviosidad (20%).

Tomando en cuenta que la campaña de recolección de muestras superficiales para el proyecto “Fachada Atlántica” fue realizada entre los meses de octubre y diciembre del 2001, se puede estimar que los valores obtenidos en el “rapport” (Cao+Clo+I)/Es, se encuentran claramente influenciados por un aporte Orinoquense, producto de las condiciones climáticas en la cuenca de drenaje del río Orinoco.

FAUGERES *et al.* (1993) establece que la similitud en los porcentajes de minerales de arcilla obtenidos en los pozos 70 y 80 (zona abisal), con los ubicados en la plataforma sugiere una misma fuente de sedimentos.

PUJOS *et al.* (1995) estiman que una significativa cantidad de sedimentos ($1,5 \times 10^8$ Ton/año) son transportados desde la boca del Amazonas hacia el nor-este por las corrientes de Guayana. De la misma forma, PARRA *et al.* (1985), afirma que los materiales depositados en la cuenca de Granada formados en las provincias norte del continente suramericano, son transportados por las corrientes superficiales; de Guayana y Ecuatorial.

En la figura 61 (izquierda), se observa una fotografía satelital de la costa de Trinidad, tomada el 7 de septiembre de 1995, en donde se aprecia claramente la influencia de la corriente de las Guayanas en la descarga de sedimentos del río Orinoco al océano Atlántico. En el lado derecho la figura 61, corresponde a la costa de Guayana, esta fotografía fue tomada el 12 de marzo del 2003 y muestra de una forma impecable la pluma de sedimentos originada por la corriente de Guayana.

En cuanto al aporte de terrígenos FAUGÈRES *et al.* (1993)) determinó a través del estudio de sedimentos arenosos desde la plataforma del Orinoco hasta los depósitos profundos, que la principal fuente para el material depositado en el área es de origen Orinoquense.

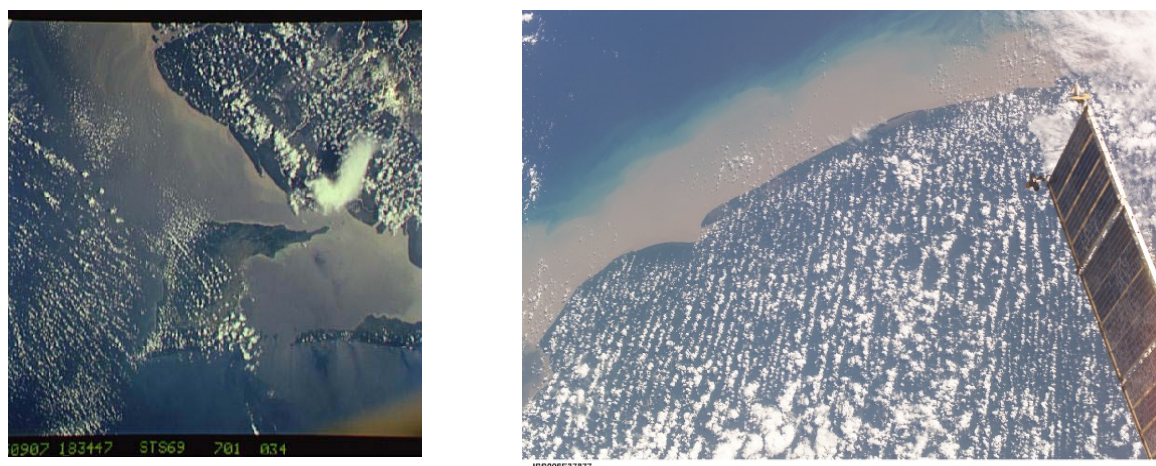


Fig 61. Fotografías tomadas de: Centro Espacial NASA-Johnson. Análisis de imágenes y Ciencias de la Tierra. Izquierda: costa de Trinidad y Delta del Orinoco. Derecha: costa de Guayana.

MÉNDEZ (2000) señala que el equilibrio en la formación del delta y su proceso de progradación más efectivo comienza entre 4-2 ka A.P, cuando el nivel del mar probablemente alcanza su altura máxima. La evolución actual del delta se puede circunscribir al final del Pleistoceno tardío o Glaciación Wisconsin y a la transgresión Flandriense del Holoceno.

Según FAUGERES *et al.* (1990), durante la pasada glaciación la fuente de sedimentos del continente fue importante. Esto se refleja en las altas tasas de sedimentación (10 cm/1000 años) en la cuenca. El río Orinoco es la fuente fluvial más cercana y provee la mayoría de estos sedimentos, mientras que el Amazonas contribuye con una minoría.

FAUGERES *et al.* (1993), sugiere que los sedimentos cuaternarios de sur del prisma de Barbados, predominantemente son provenientes del río Orinoco, especialmente durante los niveles bajos del mar (*lowstand*). El río Amazonas provee una minoría, sin embargo se hace relativamente más alto su aporte durante los niveles altos del mar (*highstand*)

PARRA *et al.* (1997), establece que en la última glaciación (*lowstand*), el relativo aumento en la contribución de minerales de arcilla del río Orinoco, derivó principalmente de las rocas graníticas del Escudo de Guayana, con un máximo en el flujo de aporte de minerales de arcilla ($1.5 \text{ gr cm}^{-2} \times 10^{-3} \text{ años}$) para el estado climático 2.

Con base a lo expuesto anteriormente es viable establecer un marcador en los perfiles de distribución vertical (Cao+Clo+Ilita)/es (fig 60), los máximos de influencia Orinoquense en los perfiles podrían estar asociados a un período de depositación de nivel bajo del mar (*lowstand*), de igual manera también los valores mínimos en esta relación podrían estar

relacionados con un periodo del nivel alto (*highstand*). Así como también la descripción de los núcleos coincide plenamente con lo expuesto por FAUGÈRES *et al.* (1990), en donde refiere los depósitos holocénicos como un cuerpo fino (15-30 cm), que consisten de un lodo gris-amarillento pelágico o hemipelágico.

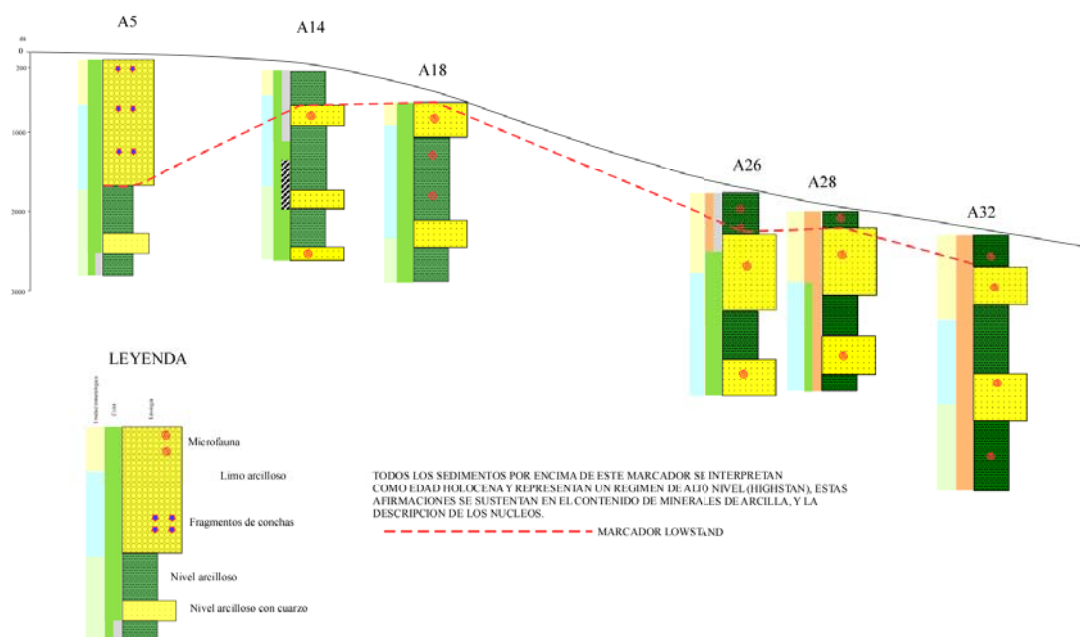


Fig 62. Perfil transecto A mostrando litología estimada y marcador de tiempo

Como puede apreciarse en la fig 62 (Apéndice III), la sedimentación durante el Holoceno consiste de sedimentos arcillosos, a excepción de A5; en donde la litología es producto de su ubicación (durante el inicio de la transgresión holocénica) en la línea de costa (sedimentos de grano grueso y retrabajados). La línea roja separa el actual “*highstand*” holocénico del Pleistoceno o “última glaciación”, esta división se basa en el contenido de minerales de arcillas de los núcleos y el respectivo análisis a través de la relación $(Cao + Clo + Ilita) / Es$, es importante destacar que en general los sedimentos holocénicos se encuentran dentro de las unidades mineralógicas definidas en los núcleos con el número I (UMA₂I, UMA₅I, UMA₁₄I, etc), así como también coinciden en su mayoría con las asociaciones químicas propuestas por BARITTO 2004 ubicadas hacia el tope de los núcleos.

Según PARRA *et al* (1997), el mínimo del nivel del mar (-120 m) durante la pasada glaciación fue hace aproximadamente 12 ka años (estado isotópico 2.2), estos autores con base en análisis de $\delta^{18}O$ en foraminíferos planctónicos (*Globigerina ruberalba*), y usando

la curva de niveles del mar para el Pleistoceno Tardío en las Bahamas, identifican a 40 cm. del tope del núcleo el estado isotópico 2.2, en el cual la principal fuente de aporte radicó en los batolitos graníticos de la plataforma de Guayana, y estos sedimentos fueron transportados directamente por corrientes de turbidez..

Estos valores de edad a esa profundidad coinciden plenamente con las tasas de sedimentación del Holoceno propuestas por GONTHIER *et al.* (2002), de 3-4 cm cada 1.000 años, y se ajustan de forma aproximada a los máximos de influencia Orinoquense identificados en los núcleos en estudio.

PARRA *et al.* (1997), también sugieren que existen cinco probables fuentes de aporte para los sedimentos al sur del prisma de Barbados, 1. Material Orinoquense, 2. Material Amazónico, 3. Material volcanogénico proveniente del Arco de las Antillas Menores, 4. Volcanes de lodo y 5. Aerosoles (polvo) del Sahara. En el caso de los núcleos en estudio, las similitudes entre los valores de minerales de arcillas con los encontrados por otros autores (Tabla 24) en la boca del río Amazonas, el abanico del Amazonas y los ríos de Guayana, hacen pensar que en las muestras analizadas existe una influencia de material Orinoquense y Amazónico, sin embargo no se descarta el aporte de otra fuente de sedimentos en los núcleos mas distales, aunque no es apreciable en este estudio.

FAUGERES *et al.* (1990) proponen que los principales factores que controlan la sedimentación en el prisma de Barbados son la tectónica, las variaciones en el nivel del mar y la fuente de los sedimentos. La tectónica juega el rol principal, siendo el responsable de los procesos de diapirismo, la circulación de fluidos a lo largo de los depósitos y el accionar de las corrientes de gravedad en los escarpes de cuesta en los diapiros más altos. Como consecuencia de esto, un significativo aporte de los diapiros de lodo suple los depósitos adyacentes a la cuenca, y costras calcáreas locales relacionadas a migraciones de fluidos ascendentes, ocurren en el piso oceánico al tope de los diapiros. Esta aseveración pudiera explicar los valores anómalos de calcita en las muestras superficiales entre 1.000 y 1.400 m de profundidad.

Es importante mencionar un factor primordial en la interpretación de los análisis realizados, la toma de muestras realizada para los sedimentos superficiales con una draga tipo “Box core” y los núcleos de tipo “Gravity core”, no garantizan que se conserve el estado original del material, es decir para los sedimentos superficiales las dimensiones y

forma de la draga, mezclan y dispersan todo el material al momento del muestreo, así como también los “Gravity core” es posible que al momento del muestreo deformen la secuencia litológica, alterando las características texturales, mineralógicas y químicas de los sedimentos presentes.

6. SUMARIO, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. SUMARIO Y CONCLUSIONES

- Se observa en los histogramas de frecuencia de las variables analizadas, comportamientos unimodales que pueden ser indicativos de la existencia de una fuente de sedimentos única para todas las muestras.
- El análisis de funciones discriminante presentó un alto porcentaje de acierto (100%) en las unidades mineralógicas definidas a partir de los perfiles de distribución vertical en la mayoría de los núcleos analizados, lo que indica igualmente el buen escogimiento de estas unidades.
- Con base a la bibliografía consultada y los resultados obtenidos, se sugiere que el río Orinoco es la principal fuente de sedimentos terrígenos a la plataforma deltaica, mientras que la fracción más fina (<2 micras) proviene en su mayoría de la Amazonia y es transportada por la corriente de Guayana. Es posible considerar la presencia de otras fuentes de aporte en los núcleos más distales, sin embargo no son apreciables con las técnicas empleadas en este estudio.
- La confluencia de la pluma de sedimentos del Orinoco, en su mayor parte influenciada por río Grande, y la corriente de Guayana, produce una dispersión en la depositación de los sedimentos de la plataforma deltaica, esta dispersión se evidencia en los gráficos de (Cao+ Clo + Iilita/Es) de forma que la gran mayoría de las muestras superficiales poseen una notable influencia Amazónica.
- Las variaciones en profundidad de los minerales de arcilla y de la relación (cao+ clo + ililita/es), pueden ser interpretadas como cambios paleoclimáticos, además debe tomarse en consideración la textura y color de los sedimentos. A partir de los resultados se identificó de forma aproximada y basado en tasas de sedimentación y edades relativas de FAUGÈRES *et al.* (1990) y PARRA *et al.* (1997), un marcador o línea de tiempo que limita el actual “highstand” (Holoceno) de la depositación en el Pleistoceno.

- La mineralogía para las muestras superficiales indica que entre los 60 y 80 m de profundidad se encuentran facies limosas-arcillosas con fragmentos de conchas, que pudieran representar una antigua línea de costa reportada por BUTENKO *et al.* (1981). Así como también se identificaron facies calcáreas con valores anómalos entre 1.000 y 1.400 m de profundidad, que se pudieran interpretar como acumulaciones de microfauna producto de factores oceanográficos (corrientes de fondos y gravedad, batimetría, etc) o también, si se toma en cuenta los altos valores de esmectitas se estima que sean producto de actividad diapírica reportada por FAUGÈRES *et al.* (1990).

- En base a las unidades mineralógicas definidas, se estima que existe una correspondencia con el marcador de edad definido para el límite Holoceno/Pleistoceno, utilizando criterios texturales de los sedimentos, y también por las marcadas diferencias entre el Holoceno y Pleistoceno Tardío (BUTENKO *et al.* 1981, FAUGÈRES *et al.* 1990, FAUGÈRES *et al.* 1993, PARRA *et al.* 1997):

- Núcleo A5: UMA₅I = Holoceno
UMA₅ II = Pleistoceno
UMA₅ III = Pleistoceno
- Núcleo A14: UMA₁₄I = Holoceno
UMA₁₄ II = Pleistoceno
UMA₁₄ III = Pleistoceno
- Núcleo A18: UMA₁₈I = Holoceno
UMA₁₈ II = Pleistoceno
UMA₁₈ III = Pleistoceno
- Núcleo A26: UMA₂₆I = Holoceno
UMA₂₆ II = Pleistoceno
UMA₂₆ III = Pleistoceno
- Núcleo A28: UMA₂₈I = Holoceno
UMA₂₈ II = Pleistoceno
- Núcleo A232: UMA₃₂I = Holoceno
UMA₃₂ II = Holoceno-Pleistoceno
UMA₃₂ III = Pleistoceno

6.2. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios bioestratigráficos en las muestras superficiales y de núcleo, cuantificando las especies con la finalidad de establecer relaciones de abundancia con las unidades definidas en este trabajo, así como también análisis de $\delta^{18}\text{O}$ en foraminíferos planctónicos, para obtener un estimado de la edad relativa de estos sedimentos.
- Con la finalidad de establecer con claridad los distintos cambios climáticos en las cuencas de drenaje de los ríos Orinoco y Amazonas, se recomienda realizar estudios de polen y esporas en las muestras de núcleo.
- Es necesario realizar una granulometría por lavado de las muestras de núcleo, con el fin de establecer características sedimentológicas de las secuencias depositadas en la plataforma deltaica. Así como también se recomienda el conteo e identificación de granos y fragmentos, a través de la observación microscópica, para así complementar la información mineralógica que por limitaciones instrumentales no son apreciables en difracción de rayos X.

7. BIBLIOGRAFÍA

- ALMENARA M. & S. OCHOA. 2000. Delta del Orinoco, características sedimentológicas y distribución de facies en el delta inferior y la línea de costa entre los caños Manamo y Macarco. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 169 p.
- ASLAN A., WARNE A., WHITE W., GIBEAUT J. C. & E. GUEVARA. 1999. Geomorphology and depositional systems of the Orinoco Delta, Venezuela. *Soc. Geol. Am.*, 31 (7): 423 p.
- ASLAN A., WARNE A. G, WHITE W. A., GUEVARA E., SMYTH R. C., RENEY J. & J. C. GIBEAUT. 2001. Mud volcanoes of the Orinoco Delta, Eastern Venezuela. *Geomorphology*, 41: 323-336.
- ASLAN A., WARNE A. G, WHITE W. A., GUEVARA E. 2003. Holocene evolution of the western Orinoco Delta, Venezuela. *GSA Bulletin*, 115(4): 479 – 498 p.
- ARCHER A. 2003. Review of Amazonian Depositional systems. En: *International Association of Sedimentologist*, in press.
- BAILEY, W., CHAIRMAN, S. 1980. Summary of recommendations of AIPEA Nomenclature Committee on clay minerals American mineralogist. 65: 1-7, Department of Geology and Geophysics. University of Wisconsin-Madison. Madison.
- BARITTO, I. 2003. Caracterización química de muestras de sedimentos superficiales y de núcleos de la fachada atlántica venezolana. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 456 p.
- BELDERSON R. H., KENYON N. H., STRIDE H. & C. D. PELTON. 1984. A “Braided” distributary system on the Orinoco Deep-Sea fan. *Marine Geology*, 56: 195-206.

- BOLES J.R., & FRANKS S.G., 1979. Clay diagenesis in Wilcox sandstones of southwest Texas: implications of smectite diagenesis on sandstone cementation. *J. Sed. Petrol.* 49: 55–70
- BOWLES F. & P. FLEISCHER. 1985. Orinoco and Amazon river sediment input to the eastern Caribbean Basin. *Marine Geology*, 68: 53-72.
- BUTENKO J. & J. BARBOT. 1979. Características geotécnicas de los sedimentos marinos costafuera Delta del Orinoco. En: Fourth Latin American Geological Congress Trinidad and Tobago: 144-154.
- BUTENKO J., BARBOT J. & J. DAZA. 1981. Singularidades geológicas exploradas con el mini submarino del Calipso en Venezuela. *Revista Técnica Intevep Caracas*, 1 (1): 27-35.
- CEDILLO J. & W. OLAYA. 2003. Caracterización química y radiométrica de sedimentos de una zona ubicada al noroeste del Delta del Orinoco en el Océano Atlántico, Venezuela. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 195 p.
- COLEMAN, JAMES M., AND D. B. PRIOR. (1982). Deltaic environments of deposition. *Sandstone Depositional Environments*. Eds. P. A. Scholle, and D. Spearing, 139-78. Tulsa, Okla.: American Association Petroleum Geologists.
- CULLITY, B.D., 1967. *Elements of X-Ray Diffraction*. Addison-Wesley Publishing Company. 514 pp
- DAMUTH J. 1977. Late Quaternary sedimentation in the western equatorial Atlantic. *Geol. Soc. of Am. Bull*, 88: 695-710.
- DEBRADANT P., LÓPEZ M. & H. CHAMLEY. 1997. Clay mineral distribution and significance in Quaternary sediments of the Amazon fan. *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 155: 177-192.

- DEER, W., HOWIE, R., ZUSSMAN, J., 1971. Rock forming minerals. Ed. Longmans Green and Co., vol. 1, 333 p.
- EISMA D., S. VAN DER GAAST, J. MARTÍN & A. THOMAS. 1978. Suspend matter and bottom deposits of the Orinoco Delta: Turbidity, Mineralogy and Elementary composition. Netherlands Journal of Sea Research, 12 (2): 224-251.
- EMEL'YANOV E. M & G. S. KHARIN. 1974. Sedimentation in the Guiana and North American basins in relation to sediment discharge of the Amazon and Orinoco Rivers. Litology and Mineral Resources, 9 (2): 150-162.
- ESCAMILLA H. & K. ROMERO. 2000. Distribución de facies sedimentarias, características de los sedimentos en la parte superior del Delta del Orinoco. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 166 p.
- FAUGERES J. C., GONTHIER E., GRIBOULARD R. & L. MASSE. 1993. Quaternary sandy deposits and canyons on the Venezuelan Margin and South Barbados Accretionary Prism. Marine Geology, 110 (1-2): 115 – 142.
- FAUGÈRES, J.C., GONTHIER, E., MASSE, L., PARRA, M., PONS, J.C. AND PUJOL, C., 1991. Quaternary deposits on the South Barbados accretionary prism. Mar. Geol., 96: 247-267.
- FOURNIER H. 1999. Estudio de los minerales de arcilla en la sección de Agua Blanca - Altagracia de Orituco. Estados Guárico y Miranda. Trabajo Especial de Grado, Inédito. Dpto. de Geología, UCV, 184 p.
- FRIEDMAN, G.M. & SANDERS J.E. 1978. Principles of sedimentology. John Wiley & Sons, New York, 792 pp.

- GIBBS R. 1967. The Geochemistry of the Amazon River System: Part I. The Factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. Geological Society of America Bulletin, 78: 1203-1232.
- GIBBS R. 1977. Clay mineral segregation in the marine environment. Journal of sedimentary petrology, 47: 237-243.
- GONTHIER, J. C. FAUGÈRES, A. GERVAIS, G. ERCILLA, B. ALONSO AND J. BARAZA. 2002. Quaternary sedimentation and origin of the Orinoco sediment-wave field on the Demerara continental rise (NE margin of South America), Marine Geology, Volume 192: 189-214
- GONZÁLEZ DE JUANA C., ITURRALDE DE AROZENA J. & X. PICARD. 1980. Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas. Caracas, Ed. Foninves, 2 tomos, 1021 p.
- GRANDE, S. 1996. Cristalografía de rayos X. Guías de estudio. UCV. Fac. Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica: 2 – 10.
- KRONBERG B., NESBITT H. & W. LAM. 1986. Upper Pleistocene Amazon deep-sea fan muds reflect intense chemical weathering of their mountainous source lands. Chemical Geology, 54: 283-294.
- MEADE, R. 1994. Suspended Sediments of the Modern Amazon and Orinoco Rivers. Quaternary International. 21: 29 – 39.
- MÉNDEZ J. 2000. Delta del Orinoco (Geología). Bol. Geol. Caracas, Publicación Especial N° 13: 14-121.
- MILLIMAN J., SUMMERHOYES C. & H. BARRETTO. 1975. Quaternary sedimentation on the Amazon continental margin: a model. Geol. Soc. Am. Bull., 86: 61-64.

- MILLIMAN J., BUTENKO J., BARBOT J. P. & J. HEDBERG. 1982. Depositional patterns of modern Orinoco/Amazon muds on the Northern Venezuelan Shelf. *Journal of Marine Research*, 40: 643-657.
- MOORE, D.M. & R. C. REYNOLDS JR 1989. *X-Ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford University of Press, Oxford, 332 pp.
- ORTEGA H, M; PALOMO, I; MORESI, M & ODDONE, M. 1991. A mineralogical and geochemical approach to establishing a sedimentary model in a passive continental margin (Subbetic Zone, Betic Cordilleras, SE Spain). *Clay Minerals* 26, 389-407
- PARRA, M., FAUGÈRES, J.-C., GROUSSET, F., PUJOL, C., 1997. Sr–Nd isotopes as tracers of fine-grained detrital sediments: the South Barbados accretionary prism during the last 150 kyr. *Mar.Geol.* 136, 225–243.
- POLLASTRO, R.M., 1985. Mineralogical and morphological evidence for the formation of illite at the expense of illite/smectite. *Clays Clay Miner.*, 33:265-274.
- POPPE, L.J., V.F., PASKEVICH, HATHAWAY, J.C & BLACKWOOD, D.S. 2001. *A Laboratory Manual for X-Ray Powder Diffraction*. U. S. Geological Survey Open-File Report 01-041
- PORRENGA, D. H. 1967. Clay mineralogy and geochemistry of Recent marine sediments in tropical areas. Ph. D., Amsterdam Univ.
- PUJOS, M., MONENTE, J., LATOUCHE, C. & MAILLET N. 1997. Origine de la sédimentation dans le delta de l 'Orénoque et le golfe de Paria (Venezuela): impact du système dispersif amazonien. *Oceanologica Acta*. 20(6): 799 – 809.
- SERRA, O. 1984. "Análisis de ambientes sedimentarios mediante perfiles de pozo". Schlumberger Ltd.

- VAN ANDEL TJ. 1967. The Orinoco Delta. *Journal of Sedimentary Petrology*, 37 (2): 297-310.
- WARNE A. G., R. H. MEADE, W. A. WHITE, E. H. GUEVARA, J. GIBEAUT, R. C. SMYTH, A. ASLAN & T. TREMBLAY. 2000. Regional controls on geomorphology, hydrology, and ecosystem integrity in the Orinoco Delta, Venezuela. In: *Geomorphology*, 44 (12): 273-307.
- ZAKHAROV L. A. 1974. Bottom sediments of the South American Shelf between the Amazon Orinoco rivers. *Oceanology*, 14 (1): 93-101.

APÉNDICE I

TABLA DE RESULTADOS ANALÍTICOS SEDIMENTOS SUPERFICIALES

Roca total:

ID	Arcillas	Cuarzo	Calcita
A2	72	21	7
A5	76	16	9
A7	53	37	10
A11	38	52	10
A14	83	16	1
A17	68	29	3
A21	62	14	24
A23	57	15	28

Los valores se encuentran en porcentaje (%)

Fracción <2 micras:

ID	Ilita	Cao+Clo	Esmectitas
A2	9	36	27
A5	9	38	28
A7	8	26	19
A14	13	44	27
A17	13	42	13
A21	11	27	24
A23	7	27	23

Roca total + fracción <2 micras:

a. Topes de núcleo

ID	Cuarzo	Calcita	Ilita	Cao+Clo	Esmectitas
A2	21	7	9	36	27
A5	16	9	9	38	28
A7	37	10	8	26	19
A14	16	1	13	44	27
A17	29	3	13	42	13
A18 ^a	15	9	12	39	23
A21	14	24	11	27	24
A23	15	28	7	27	23
A26 ^a	12	12	11	40	23
A28 ^a	16	11	11	36	25
A32 ^a	21	8	10	37	23

TABLA DE RESULTADOS ANALÍTICOS NÚCLEOS

Roca total:

ID	Arcillas	Cuarzo	Calcita
A2-1	75	21	3
A2-2	80	19	0
A2-3	79	19	0
A2-4	82	17	0
A2-5	74	24	0
A2-6	80	18	1
A2-7	81	17	0
A2-8	78	21	0
A2-9	74	24	0
A2-10	84	15	0
A2-11	78	20	0
A2-12	78	19	2
A2-13	77	17	5
A5-1	68	23	7
A5-2	65	27	8
A5-3	58	36	4
A5-4	63	36	0
A5-5	58	39	2
A5-6	64	33	1
A5-7	54	44	1
A5-8	69	29	0
A5-9	68	31	0
A5-10	58	40	0
A5-11	77	21	1
A11-1	77	20	1
A11-2	76	23	0
A11-3	77	21	0
A11-4	80	19	0
A11-5	79	19	0
A11-6	82	17	0
A11-7	84	14	0
A11-8	78	21	0
A11-9	64	34	0
A11-10	77	22	0
A11-11	80	18	0
A11-12	72	27	0
A14-1	83	13	1
A14-2	86	13	0
A14-3	79	17	2
A14-4	83	15	1
A14-5	81	15	1
A14-6	84	14	1
A14-7	76	21	1
A14-8	84	14	1
A14-9	75	18	6

A18-1	75	14	10
A18-2	73	16	8
A18-3	75	16	8
A18-4	76	15	6
A18-5	81	14	3
A18-6	83	14	2
A18-7	81	16	2
A18-8	83	13	1
A18-9	83	14	2
A24-1	71	13	15
A24-2	72	13	13
A24-3	76	12	11
A24-4	74	13	11
A24-5	73	23	4
A24-6	70	26	3
A24-7	76	22	2
A24-8	67	28	3
A24-9	71	21	7
A24-10	70	22	6
A24-11	70	24	6
A26-1	77	12	10
A26-2	72	12	14
A26-3	69	18	13
A26-4	70	24	4
A26-5	70	25	4
A26-6	73	20	5
A26-7	69	23	7
A26-8	70	21	6
A28-1	72	13	14
A28-2	71	19	8
A28-3	70	24	5
A28-4	71	22	6
A28-5	70	22	7
A28-6	71	23	5
A32-1	69	23	7
A32-2	70	20	8
A32-3	64	26	9
A32-4	73	16	9
A32-5	71	21	7
A32-6	70	17	11
A32-7	68	23	8
A32-8	69	19	10
A32-9	66	19	14
A32-10	69	23	7

Fracción <2 micras:

ID	Ilita	Cao+Clo	Esmectita
A5-1	15	45	39
A5-2	12	45	41
A5-3	11	45	43
A5-4	15	47	36

A5-5	15	54	30
A5-6	16	49	33
A5-7	13	52	34
A5-8	12	53	33
A5-9	12	55	32
A5-10	8	51	39
A5-11	11	54	34
A14-1	8	54	37
A14-2	22	50	26
A14-3	19	60	20
A14-4	31	51	16
A14-5	17	55	27
A14-6	10	54	34
A14-7	23	56	20
A14-8	16	56	26
A14-9	9	55	35
A18-1	20	56	23
A18-2	12	48	38
A18-3	13	50	36
A18-4	14	51	33
A18-5	8	51	39
A18-6	8	53	38
A18-7	6	47	45
A18-8	13	50	36
A18-9	13	56	29
A26-1	10	49	40
A26-2	20	58	20
A26-3	11	57	31
A26-4	18	56	25
A26-5	13	50	35
A26-6	20	57	22
A26-7	19	49	30
A26-8	18	54	27
A28-1	14	52	33
A28-2	16	47	35
A28-3	16	45	38
A28-4	22	64	12
A28-5	15	55	29
A28-6	12	49	37
A32-1	12	51	36
A32-2	15	53	30
A32-3	12	47	40
A32-4	12	50	36
A32-5	12	51	35
A32-6	13	54	32
A32-7	11	49	38
A32-8	12	52	35
A32-9	12	50	36
A32-10	12	53	34

Roca total + fracción <2 micras:

ID	Cuarzo	Calcita	Illita	Cao+Clo	Esmeclita
A5-1	23	7	10	31	27
A5-2	27	8	8	30	27
A5-3	36	4	6	26	25
A5-4	36	0	10	30	23
A5-5	39	2	9	32	18
A5-6	33	1	10	32	22
A5-7	44	1	7	28	19
A5-8	29	0	8	37	23
A5-9	31	0	8	38	22
A5-10	40	0	5	30	23
A5-11	21	1	9	42	26
A14-1	13	1	7	45	31
A14-2	13	0	19	44	23
A14-3	17	2	15	48	16
A14-4	15	1	26	43	14
A14-5	15	1	14	45	22
A14-6	14	1	9	46	29
A14-7	21	1	18	43	15
A14-8	14	1	14	48	22
A14-9	18	6	7	42	27
A18-1	14	10	15	42	17
A18-2	16	8	9	36	28
A18-3	16	8	10	38	27
A18-4	15	6	11	40	26
A18-5	14	3	7	42	32
A18-6	14	2	7	44	32
A18-7	16	2	5	39	37
A18-8	13	1	11	42	30
A18-9	14	2	11	47	25
A26-1	12	10	8	38	31
A26-2	12	14	15	43	15
A26-3	18	13	8	40	22
A26-4	24	4	13	40	18
A26-5	25	4	9	36	25
A26-6	20	5	15	42	16
A26-7	23	7	13	35	21
A26-8	21	6	13	38	19
A28-1	13	14	10	38	24
A28-2	19	8	12	34	25
A28-3	24	5	11	32	27
A28-4	22	6	16	46	9
A28-5	22	7	11	39	21
A28-6	23	5	9	36	27
A32-1	23	7	8	36	25
A32-2	20	8	11	38	21
A32-3	26	9	8	30	26
A32-4	16	9	9	37	27

A32-5	21	7	9	37	25
A32-6	17	11	9	38	23
A32-7	23	8	8	34	26
A32-8	19	10	8	36	24
A32-9	19	14	8	34	24
A32-10	23	7	8	37	24

APÉNDICE II

MATRIZ DE CORRELACIÓN MUESTRAS SUPERFICIALES

Roca total + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

Fracción <2 micras + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

MATRIZ DE CORRELACION DE NÚCLEOS

A2

Roca total + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

A5

Roca total + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

Fracción <2 micras + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

A11

Roca total + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

A14

Roca total + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

Fracción <2 micras + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

A18

Roca total + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

Fracción <2 micras + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

A24

Roca total + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

A26

Roca total + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

Fracción <2 micras + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

A28

Roca total + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

Fracción <2 micras + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

A32

Roca total + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

Fracción <2 micras + componentes químicos (mayoritarios y traza):

[illegible]

APÉNDICE III. PANEL DE CORRELACIÓN TRANSECTO A

