

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS ABANICOS ALUVIALES
DEL VALLE DE CARACAS A PARTIR DE POZOS EN LOS CHORROS,
SEBUCÁN Y PARQUE DEL ESTE**

TUTOR ACADÉMICO E INDUSTRIAL: Prof. Franco Urbani

COTUTOR: Prof. Lenín González

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
para optar al Título de Ingeniero Geólogo
por los Brs. Aguilar R., Iliana
y Caraballo R., Enzo H.

Caracas, mayo de 2007

Si caes n veces levántate $n+1$

Confusio, pensador y estadista chino (modificado)

AGUILAR, Iliana; CARABALLO, Enzo

CARACTERIZACIÓN GEOQUÍMICA DE LOS ABANICOS ALUVALES DEL VALLE DE CARACAS A PARTIR DE POZOS EN LOS CHORROS, SEBUCÁN Y PARQUE DEL ESTE

Tutor académico e industrial: Prof. Franco Urbani. Cotutor: Prof. Lenín González. Tesis. Caracas, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Departamento de Geología. Año 2007, 150 p.

Palabras clave: Abanicos aluviales, fluorescencia de rayos X, componentes mayoritarios, minerales pesados, estadística multivariante, alud torrencial, valle de Caracas.

Resumen: Se realizó una caracterización química y radiométrica, por medio de minerales pesados, color Munsel y por difracción de rayos X de los sedimentos aluviales de la parte este del valle de Caracas, a partir de pozos ubicados en Los Chorros (Colegio Don Simón), Sebuacán (estacionamiento de la Escuela de Enfermería de la UCV) y Parque del Este (sede principal de INPARQUES).

Un total de 256 muestras fueron preparadas y analizadas, siendo 192 muestras de canal y el resto provenientes de una perforación SPT. El análisis químico consistió en la medición de las concentraciones de los componentes mayoritarios (SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , CaO , MgO y ppm de V), mediante la fluorescencia de rayos X. En el análisis de isótopos radiactivos se determinó la radiactividad natural presente mediante la detección de 7 ventanas principales γF1 , $\gamma^{40}\text{K}$, γF2 , $\gamma^{214}\text{Bi}$, γF3 , $\gamma^{208}\text{Tl}$, γF4 . Los minerales pesados se separaron empleando bromoformo ($2,89 \text{ gr/cm}^3$) y las mineralogía por difracción de rayos X.

Los resultados químicos, mineralógicos y radiométricos obtenidos mediante los métodos mencionados se analizaron estadística y gráficamente para caracterizar los sedimentos y definir unidades, empleando al análisis de agrupaciones y confirmados con el análisis de funciones discriminantes. La elaboración de perfiles de abundancia químicos, permitieron definir unidades químicas, radiométricas y químico-radiométricas, siendo las primeras empleadas en la interpretación de procesos por su alto reflejo de la abundancia relativa del contenido mineral y a su vez a la textura y tipo del material.

Se interpretó que hacia la zona distal posiblemente haya existido una influencia de los sedimentos del río Guaire que provocase un incremento relativo de SiO_2 en la parte basal del pozo P-IN. Igualmente, se propone que hacia la zona media-proximal (P-SB) ha ocurrido un sucesivo retrabajo de los materiales más antiguos aflorantes en la parte apical del abanico del río Tócome y qda. Chacaíto.

ÍNDICE GENERAL

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. GENERALIDADES	1
1.2. OBJETIVO GENERAL	1
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	2
1.4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	2
1.5. MÉTODO DE TRABAJO	4
1.5.1. Etapas del trabajo	4
1.6. AGRADECIMIENTOS	8
2. GEOLOGÍA REGIONAL.....	11
2.1. El Valle de Caracas	11
2.1.1. Espesor de sedimentos en la parte este del valle	11
2.1.2. Formaciones cuaternarias del valle de Caracas	12
2.2. Cordillera de la Costa	14
2.3. Asociación Metamórfica la Costa	15
2.4. Asociación Metamórfica Ávila	16
2.4.1. Augengneis de Peña de Mora	17
2.4.2. Metagranito de Naguayatá	17
2.4.3. Complejo San Julián	18
2.5. Asociación Metasedimentaria Caracas	20
3. MARCO ESTRUCTURAL	22
4. CONSIDERACIONES TEÓRICAS Y METODOLOGÍA	24
4.1 ESPECTROMETRÍA DE FLUORESCENCIA DE RAYOS X POR DISPERSIÓN DE ENERGÍA (FRX-DE)	24
4.1.2. Fluorescencia de Rayos X	24
4.2. ESPECTROMETRÍA GAMMA	26
4.2.1. Radiometría	26
4.3. Flujos torrenciales	27
4.3.1. Clasificación de los flujos torrenciales	28
4.4. ABANICOS ALUVIALES	28
4.4.1. Definición y origen	28
4.5. METODOLOGÍA	29
4.6. PROCESAMIENTO DE DATOS	30
5. RESULTADOS.....	31
5.1. Fluorescencia de rayos X	31
5.2. Espectrometría gamma	31
5.3. Minerales pesados	32
5.4. Descripción mineralógica	32
5.5. Difracción de rayos X	33
6. PROCESAMIENTO DE DATOS.....	34
6.1 ESTADÍSTICA UNIVARIANTE	34
6.1.1. Diagramas de dispersión	34
6.1.2. Diagramas de caja	45
6.2. ESTADÍSTICA MULTIVARIANTE	47
6.2.1. Análisis de agrupaciones	47
6.2.1.1. Componentes mayoritarios	47

6.2.1.2. <i>Radiometría</i>	49
6.2.1.3. <i>Unidades químico-radiométricas</i>	50
6.2.2. <i>Análisis de funciones discriminantes</i>	52
6.2.2.1. <i>Componentes mayoritarios</i>	52
6.2.2.2. <i>Radiometría</i>	56
6.2.2.3. <i>Unidades químico-radiométricas</i>	60
6.2.2.4. <i>Resumen del análisis de funciones discriminantes</i>	64
6.3. <i>Definición de unidades</i>	65
6.3.1. <i>Definición de unidades químicas</i>	66
6.3.2. <i>Definición de unidades radiométricas</i>	69
6.3.3. <i>Comparación entre unidades químicas y radiométricas</i>	72
6.4. <i>Columna descriptiva del SPT-IN</i>	74
7. DISCUSIÓN E INTERPRETACIONES GENERALES	80
7.1 COMPARACIÓN ENTRE POZOS	80
7.2. DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LAS UNIDADES QUÍMICAS	82
7.2.1. <i>Interpretación de las unidades definidas en SPT-IN</i>	82
7.2.2. <i>Interpretación de las unidades definidas en P-IN</i>	82
7.2.3. <i>Interpretación de las unidades definidas en P-SB</i>	86
7.2.4. <i>Interpretación de las unidades definidas en P-DS</i>	89
7.3. Reconocimiento de posibles eventos de aludes torrenciales	89
8. CONCLUSIONES	92
9. RECOMENDACIONES	95
10. BIBLIOGRAFÍA	96
APÉNDICE 1. RESULTADOS ANALÍTICOS	100
APÉNDICE 2. METODOLOGÍA	117
APÉNDICE 3. CONSIDERACIONES TEÓRICAS	127
ANEXO 1.DIFRACTOGRAMAS	153
ANEXO 2.PERFILES QUÍMICOS	
ANEXO 3.PERFILES RADIOMÉTRICOS	
ANEXO 4.COLUMNA DESCRIPTIVA DEL SPT-IN	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación regional del área de estudio (Tomado y modificado de HACKLEY et al. 2005).....	2
Figura 2. Ubicación local de las perforaciones en el valle de Caracas. Vista aérea desde el este (Modificado de GOOGLE EARTH 2006).	3
Figura 3. Vista aérea desde el sur del área de estudio (Modificado de GOOGLE EARTH 2006)	3
Figura 4. Perforación del pozo ubicado en la Escuela de Enfermería de la UCV, Sebuacán.....	4
Figura 5. Recolección de las muestras en el pozo realizado en Sebuacán.....	5
Figura 6. Distribución de las muestras en los diversos pozos realizados y su posición en el valle de Caracas sobre un perfil N-S.....	6
Figura 7. Mapa de espesores de sedimentos en el valle de Caracas, obsérvese el mayor espesor presente en Los Palos Grandes, representado en la zona marrón oscuro (Tomado de KANTAK 2002).....	11
Figura 8. Mapa de las formaciones cuaternarias en la parte oriental del valle de Caracas con la ubicación de los pozos (Tomado y simplificado de SINGER 1977).	13
Figura 9. Unidades litológicas de la cordillera de la Costa.....	15
Figura 10. “Ojos” observados en el Augengneis de Peña de Mora, río Chichiriviche, estado Vargas.....	17
Figura 11. Mapa geológico simplificado donde muestra las unidades litológicas aflorantes en el flanco sur del Ávila y que son posibles áreas fuente de los sedimentos aluviales del valle de Caracas.	21
Figura 12. Mapa geológico-estructural del área este del valle de Caracas (BARBOZA & RODRÍGUEZ 2001).....	23
Figura 13. Representación esquemática del principio en que se basa la técnica de la FRX (Tomado de CABALLUD 2002) (A) La radiación incidente expulsa un electrón de una capa interior del átomo. (B) Un electrón de una capa externa pasa a ocupar el lugar vacante y genera una radiación de FRX.	25
Figura 14. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo SPT-IN.....	36
Figura 15. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-IN	38
Figura 16. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-DS.....	40
Figura 17. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-SB.....	43
Figura 18. Forma en que están ubicados los pozos en el diagrama de caja.	45
Figura 19. Diagramas de caja donde se comparan las variables químicas entre los diferentes pozos perforados.	46
Figura 20. Diagramas de caja radiométricos, donde se comparan los diferentes pozos.	46
Figura 21. Dendrogramas generado empleando variables químicas para los pozos SPT-IN y P-IN, respectivamente.....	47
Figura 22. Dendrogramas generado empleando las variables químicas para el pozo P-DS respectivamente y sus unidades propuestas.	48
Figura 23. endrograma generado empleando las variables químicas para el pozo P-SB y las unidades respectivas.....	48
Figura 24. Dendrogramas generados empleando los isótopos inestables para el pozo SPT-IN y P-IN, respectivamente.....	49
Figura 25. Dendrograma generado empleando los isótopos inestables para el pozo P-DS.	49
Figura 26. Unidades definidas en base al análisis de agrupaciones de P-SB.....	50

Figura 27. Unidades químico-radiométricas definidas en base al análisis de agrupaciones de P-IN.	50
Figura 28. Unidades químico-radiométricas definidas en base al análisis de agrupaciones de P-SB.	51
Figura 29. Unidades químico-radiométricas definidas en base al análisis de agrupaciones de P-DS.	51
Figura 30. Gráfico de las funciones discriminantes para el pozo P-IN.	53
Figura 31. Gráfico de las funciones discriminantes para el pozo SPT-IN.	54
Figura 32. Gráfico de las funciones discriminantes para el pozo P-DS.	55
Figura 33. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-SB.	56
Figura 34. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo SPT-IN.	57
Figura 35. Gráfico de las funciones discriminantes para el pozo P-IN.	58
Figura 36. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-DS.	59
Figura 37. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-SB.	60
Figura 38. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-IN.	61
Figura 39. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-SB.	62
Figura 40. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-DS.	64
Figura 41. Perfiles químicos del pozo SPT-IN y sus respectivas unidades definidas. Igualmente se muestra una columna de colores Munsel, generados a partir de la transformación a códigos RGB.	67
Figura 42. Perfiles químicos del pozo P-IN y sus respectivas unidades definidas. Igualmente se muestra la variación de colores Munsel, generados a partir de la transformación a códigos RGB.	67
Figura 43. Perfiles químicos del pozo P-DS y sus respectivas unidades definidas. Igualmente se muestra la variación de colores Munsel, generados a partir de la transformación a códigos RGB.	68
Figura 44. Perfiles químicos del pozo P-SB y sus respectivas unidades definidas. Igualmente se muestra la variación de colores Munsel, generados a partir de la transformación a códigos RGB.	68
Figura 45. Perfiles radiométricos del pozo SPT-IN y sus respectivas unidades definidas.	70
Figura 46. Perfiles radiométricos del pozo P-IN y sus respectivas unidades definidas.	70
Figura 47. Perfiles radiométricos del pozo P-DS y sus respectivas unidades definidas.	71
Figura 48. Perfiles radiométricos del pozo P-SB y sus respectivas unidades definidas.	71
Figura 49. Comparación entre unidades químicas y radiométricas en el pozo P-IN.	72
Figura 50. Comparación entre unidades químicas y radiométricas en el pozo P-SB.	73
Figura 51. Comparación entre unidades químicas y radiométricas en el pozo P-DS.	74
Figura 52. Columna descriptiva del SPT-IN.	75
Figura 53. Tendencias de los elementos mayoritarios en función de la posición de los pozos en el abanico, donde se observa un aumento de elementos asociados posiblemente a fragmentos de rocas anfibólicas hacia la zona proximal- media.	80
Figura 54. Gráficos de barras correspondientes a la descripción mineralógica de los pozos P-DS y P-IN, donde se observa la ausencia de rocas anfibólicas en INPARQUES y que justifican el mayor contenido de Fe ₂ O ₃ , MnO y V en el pozo P-DS (Los Chorros).	81
Figura 55. Tendencias generales de las curvas de abundancia químicos de P-IN. Observe la tendencia en escalones de dichas curvas que representan cambios en el material involucrado por unidad.	83

Figura 56. Diagrama que propone la influencia de los sedimentos del río Guaire y la interacción e interdigitación de éstos con los depósitos distales del abanico.84

Figura 57. Aproximación del perfil químico del K₂O del pozo P-SB a través de líneas de tendencias por unidad mostrando en todos los casos una disminución del mismo, probablemente por un retrabajo de material más antiguo.87

Figura 58. Corte esquemático que ilustra a grosso modo el proceso de transporte de los sedimentos en el Valle de Caracas. A) Corte general de los sedimentos en el valle de Caracas. B) Esquema en la que se muestra la influencia del río Guaire y su migración hacia el sur. C) Ilustración del retrabajo de sedimentos más antiguos en el ápice del abanico aluvial, en el río Tócome. (Basado en el corte realizado por WESTON GEOPHYSICAL INTERNACIONAL 1969).91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Profundidades de las perforaciones realizadas en el valle de Caracas.....	5
Tabla 2. Parámetros estadísticos para los componentes mayoritarios	31
Tabla 3. Parámetros estadísticos para radiometría.....	31
Tabla 4. Valores estadísticos correspondientes los minerales pesados.	32
Tabla 5. Valores porcentuales estadísticos correspondientes a la descripción mineralógica.....	32
Tabla 6. Composición mineralógica obtenida por difracción de rayos X.....	33
Tabla 7. Coeficientes de correlación para el pozo SPT-IN.....	34
Tabla 8. Coeficientes de correlación para el pozo P-IN.....	34
Tabla 9. Coeficientes de correlación para el pozo P-DS.....	35
Tabla 10. Coeficientes de correlación para el pozo P-SB.....	35
Tabla 11. Coeficientes de las funciones discriminantes empleados para la distinción de unidades en el pozo P-IN.....	52
Tabla 12. Tabla de clasificación de las muestras.....	52
Tabla 13. Coeficientes de las funciones discriminantes para el pozo SPT-IN.....	53
Tabla 14. Clasificación de las muestras del pozo SPT-IN.....	53
Tabla 15. Coeficientes de las funciones discriminantes para el pozo P-DS.....	54
Tabla 16. Clasificación de las muestras del pozo P-DS.....	54
Tabla 17. Coeficientes de las funciones discriminantes para el pozo P-SB.....	55
Tabla 18. Clasificación de las muestras del pozo P-SB.....	55
Tabla 19. Coeficientes de las funciones discriminantes para el pozo SPT-IN.....	56
Tabla 20. Clasificación de las muestras del pozo SPT-IN.....	56
Tabla 21. Coeficientes de las funciones discriminantes del pozo P-IN.....	57
Tabla 22. Clasificación de las muestras del pozo P-IN.....	57
Tabla 23. Coeficientes de las funciones discriminantes del pozo P-DS.....	58
Tabla 24. Clasificación de la muestras del pozo P-DS.....	58
Tabla 25. Coeficientes de las funciones discriminantes del pozo P-SB.....	59
Tabla 26. Clasificación de las muestras del pozo P-SB.....	59
Tabla 27. Coeficientes de las funciones discriminantes del pozo P-IN.....	60
Tabla 28. Clasificación de las muestras del pozo P-IN.....	61
Tabla 29. Coeficientes de las funciones discriminantes del pozo P-SB.....	62
Tabla 30. Clasificación de las muestras del pozo P-SB.....	62
Tabla 31. Coeficientes de las funciones discriminantes para el pozo P-DS.....	63
Tabla 32. Clasificación de las muestras del pozo P-DS.....	63
Tabla 33. Resumen del análisis de funciones discriminantes para cada uno de los pozos.....	64
Tabla 34. Número de unidades definidas a través de los análisis multivariantes.....	66
Tabla 35. Unidades radiométricas definidas.....	69
Tabla 36. Cuadro donde se muestra los fragmentos identificados en la descripción grava y su posible unidad fuente.....	92

1. INTRODUCCIÓN

1.1. GENERALIDADES

El valle de Caracas es una depresión tectónica resultado del levantamiento de la Cordillera de La Costa como parte de la tectónica debida a la interacción entre las placa Caribe y Suramericana. Este valle está relleno por sedimentos provenientes del macizo del Ávila a través de redes fluviales o quebradas, y en menor medida por sedimentos lacustres y fluviales del río Guaire.

El efecto conjunto del posible hundimiento de este valle y la sedimentación continua, ha generado grandes espesores de material (de hasta 300 m) en varias zonas de Caracas. Unos de los fenómenos que han sido responsables de este relleno del valle son los aludes torrenciales provenientes de la vertiente sur del macizo del Ávila debido a eventos hidrometeorológicos extraordinarios, promovidos adicionalmente por movimientos sísmicos, haciendo que se pueda acarrear material caótico y de gran tamaño.

Pocos trabajos han mencionado el hecho de que el valle ha sido soterrado de manera consecutiva por estos fenómenos catastróficos y probablemente recurrentes.

A raíz del la catástrofe de Vargas en diciembre de 1999, se retoma el estudio de estos fenómenos y su importancia como factor de riesgo para la zonas urbanizadas, como lo es Caracas. En función de esto, la siguiente investigación tiene como fin caracterizar químicamente los sedimentos que rellenan al valle de Caracas en la parte oriental, específicamente Sebucán, Los Chorros y Parque del Este para dilucidar posibles ciclos de sedimentación por aludes torrenciales, y sedimentación no asociada a eventos extraordinarios.

1.2. OBJETIVO GENERAL

Caracterizar y analizar químicamente los abanicos aluviales del este de Caracas a partir de muestras de sedimentos de los pozos de Sebucán, Los Chorros y de la sede principal de INPARQUES, para definir posibles ciclos en el proceso de depositación a partir de aludes torrenciales en esta zona del valle.

1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una descripción mineralógica, un análisis químico de componentes mayoritarios y espectrometría gamma de las muestras obtenidas en las perforaciones geotécnicas SPT (*Standard Penetration Test*).
- A las muestras de los pozos geofísicos de Sebuacán, Los Chorros y sede principal de INPARQUES efectuar una descripción mineralógica, un análisis químico de componentes mayoritarios, separación de minerales, espectrometría gamma y determinación de color Munsell.
- Interpretar mediante un análisis estadístico univariante y multivariante la definición de unidades químicas en los pozos.

1.4. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se halla en la parte oriental del valle Caracas, abarca al área comprendida entre los pozos y equivale a 0,87 km² aproximadamente.

Las perforaciones se localizan en (Fig. 1, 2 y 3):

1. Sebuacán, en el estacionamiento de la Escuela de Enfermería de la Universidad Central de Venezuela: (N1.162.149 m, E736.716 m).

2. Los Chorros, en el estacionamiento del pre-escolar Colegio Don Simón: (N1.162.477 m, E737.880 m).

3. INPARQUES, en el estacionamiento de la sede principal del Instituto Nacional de Parques: (N1.160.686 m, E737.063 m).

Todas las coordenadas están referidas según el geoido WGS 84.

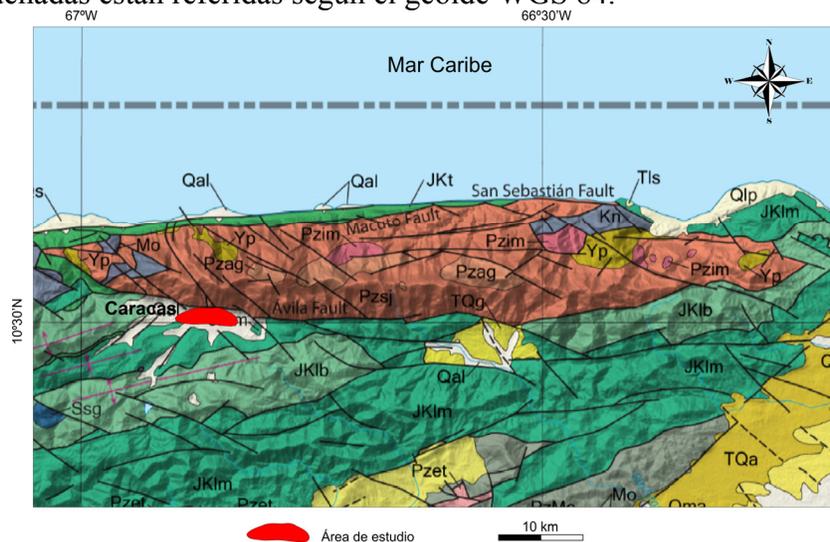


Figura 1. Mapa de ubicación regional del área de estudio (Tomado y modificado de HACKLEY et al. 2005)



Figura 2. Ubicación local de las perforaciones en el valle de Caracas. Vista aérea desde el este (Modificado de GOOGLE EARTH 2006).



Figura 3. Vista aérea desde el sur del área de estudio (Modificado de GOOGLE EARTH 2006)

1.5. MÉTODO DE TRABAJO

1.5.1. Etapas del trabajo

El trabajo se dividió en tres etapas fundamentales (detalles en el Apéndice 2):

- Fase de preparación de muestras
- Fase de laboratorio
- Fase de oficina

Fase de preparación de muestras

Las muestras utilizadas en este estudio fueron extraídas de pozos de perforación y tomadas a intervalos de 1, 2 y 5 m de profundidad (Fig. 4).



Figura 4. Perforación del pozo ubicado en la Escuela de Enfermería de la UCV, Sebucán.

Las mismas están constituidas por dos grandes grupos:

- Muestras no lavadas: Que contienen los sedimentos perforados a base de lodo de perforación (constituido por bentonita y agua).
- Muestras lavadas: fracción de sedimento tomada simultáneamente con la muestra anterior y colectada con un tamiz no. 10.

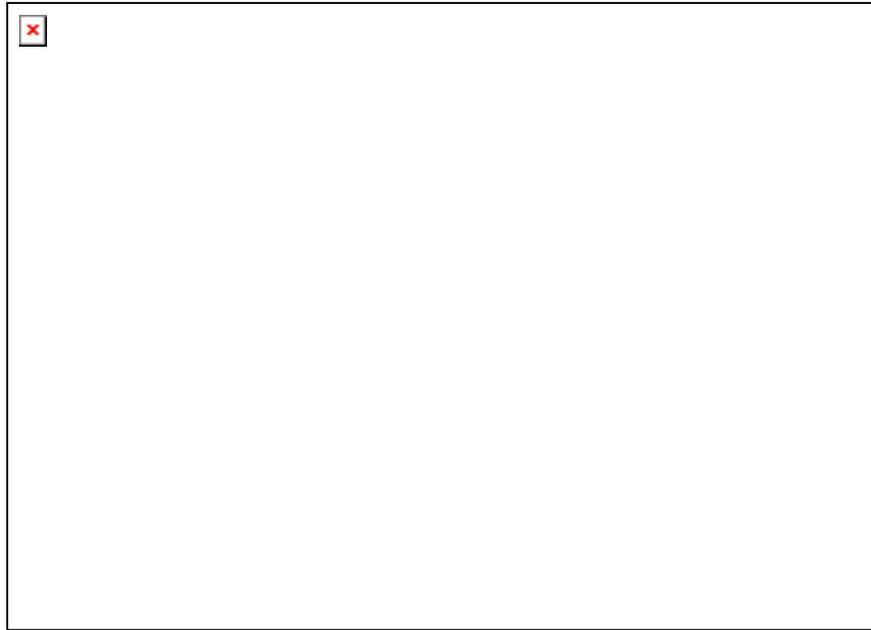


Figura 5. Recolección de las muestras en el pozo realizado en Sebuacán.

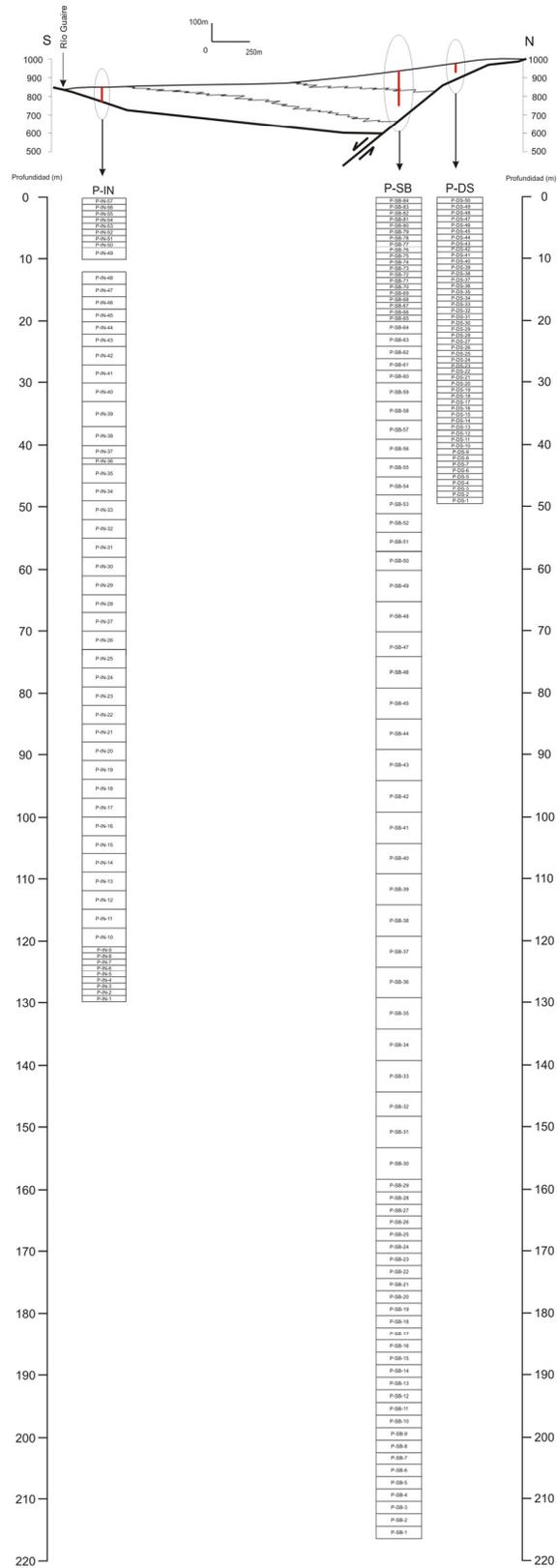
Sin embargo, en la sede de INPARQUES se realizó una perforación SPT, cuyas muestras fueron colectadas de núcleos. Las profundidades de las perforaciones son distintas según el sitio. Dichas profundidades se muestran a continuación:

Tabla 1. Profundidades de las perforaciones realizadas en el valle de Caracas

Ubicación	Tipo de perforación	Nomenclatura	Profundidad (m)	Número de muestras recolectadas
Escuela de Enfermería de la UCV, Sebuacán	Pozo geofísico	P-SB	218	84
Colegio Don Simón, Los Chorros	Pozo geofísico	P-DS	50	50
Sede principal de INPARQUES	Pozo geofísico	P-IN	130	57
	SPT	SPT-IN	133	65

Las muestras fueron extraídas en diferentes intervalos de profundidad, es decir, las muestras no representan un punto específico de profundidad sino que corresponden a un intervalo variable que va desde 1 m hasta los 5 m. A continuación se muestra la ubicación de las muestras en los pozos perforados, mostrando la profundidad de recolección y el intervalo que representa (Fig. 6).

Para ser tratadas en el laboratorio, estas muestras fueron previamente sometidas a un proceso de secado al aire libre, desfloculadas y separadas en una fracción de 200 g aproximadamente para una mejor manipulación.



Fase de laboratorio

Durante esta fase las muestras no lavadas fueron divididas en dos grupos 150 g para tamizar y 50 g para pulverizar.

Las muestras tamizadas fueron utilizadas para los siguientes ensayos:

- Descripción de la fracción grava.
- Separación de minerales pesados por el método del bromoformo.

Por otro lado a las muestras pulverizadas se les realizaron los siguientes análisis:

- Fluorescencia de rayos X
- Espectrometría gamma
- Difracción de rayos X
- Color Munsel

La metodología de trabajo detallada se describe en el apéndice 2 de este trabajo.

Fase de procesamiento de datos

En esta fase los resultados obtenidos de los diversos análisis de laboratorio fueron procesados estadísticamente. Fueron empleados métodos univariantes, bivariantes y multivariantes, tales como:

1. Estadística univariante
 - a. Diagramas de caja
 - b. Perfiles de abundancia
2. Estadística bivariante
 - a. Diagramas de dispersión
3. Estadística multivariante
 - a. Análisis de agrupaciones
 - b. Análisis de funciones discriminantes

1.6. AGRADECIMIENTOS

A Dios, que aunque no lo veamos es el responsable de todo lo que ocurre, de la vida.

A la casa donde se generan conocimientos universales útiles para la sociedad, la casa de estudio que nos permite obtener el título de ingeniero, la Ilustre Universidad Central de Venezuela.

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, y en particular el Departamento de Geología, que esta en un momento de crecimiento y cambio.

A FUNVISIS, por haber financiado este trabajo de investigación por medio del proyecto de Microzonificación Sísmica.

Al prof. Franco Urbani por habernos ofrecido este trabajo sumamente interesante e importante para nuestra formación académica, y por tenernos paciencia.

A nuestro cotutor Prof. Lenín González, por las muy oportunas sugerencias que nos dio en este trabajo, por su paciencia.

Al prof. Ricardo Alezones, amigo, consejero, profesor y papá, hombre sincero, merecedor de incontables agradecimientos por su innegable amor por la universidad, y por consiguiente a la enseñanza.

Al prof. Williams Meléndez, quien nos dio su apoyo en el ICT y nos permitió utilizar laboratorio para separar minerales pesados, y por su disposición incondicional para resolver y aclarar cualquier duda relacionado con este trabajo y con geoquímica en general.

A Jenny Rodríguez, Víctor Cano y Mauricio Tagliaferro quienes fueron grandes e incondicionales colaboradores en FUNVISIS.

Iliana Aguilar

Gracias a DIOS por ayudarme a salir de mis más profundos fosos y sacarme adelante incluso a pesar de mi misma, a mis padres por enseñarme el significado de una verdadera crisis y el valor de sobreponerse, a mis hermanas por ser tan fuertes y darme su ejemplo, a Enzo Caraballo por ser mi mejor amigo y el mejor compañero de tesis que Dios me pudo dar y brindarme la paz de su hogar para conseguir la mía.

A la familia Caraballo Rojas, por recibirme en su casa y hacerme parte de su hogar por tantos años.

A mi querido amigo Ricardo Alezones por darme la oportunidad de ser preparadora de la materia Introducción a la Geología de Campo, experiencia que sobre todo me ayudó a comprender el valor del trabajo y el esfuerzo de un compañero, conocer los límites de la subjetividad, por confiar en mi responsabilidad, criterio y madurez para hacer las cosas.

Al profesor Williams Meléndez, por su confianza y apoyo cuando me atreví a ser preparadora por primera vez en una escuela que sin ser la mía, él me puso a la orden y abrió sus puertas siempre que la necesité, incondicionalmente. A los pasantes del laboratorio a su cargo Franco y Ricardo por su simpatía y amabilidad, por enseñarme a separar la fracción pesada de los sedimentos, y hacerme sentir parte de su equipo de trabajo mientras estuve ocupando sus instalaciones, por sacrificar su comodidad para que yo alcanzara uno de los objetivos de mi tesis.

A Rossmar, Mijail, Andres, Nerwin y Linabel mis amigos del introductorio que duran toda la vida y más.

A Javier, Adriana, Ricardo y Maria Antonieta por compartir sus experiencias de tesis en nuestro laboratorio de Petrología Ígnea y Metamórfica.

A Graziana, Alexandra, Johana, Oscar, Laurita y Woodwarde por lo agradable de nuestra convivencia en campo y el laboratorio como preparadores y amigos.

A Laurita y David por la ayuda que nos prestaron para obtener los datos químicos del laboratorio.

A Pablo Ghinaglia por su amistad a prueba del tiempo y la distancia, por estar al día con nuestros avances y hacernos partícipe de los suyos.

A mi primita Yaneth por brindarme la mayor de las ayudas que alguien podía brindarme jamás, como es el estar con mi hermanita cuando yo no podía.

Enzo Caraballo

A Dios. Cuando uno cae, seguramente existirá una semilla de entusiasmo, de ganas de seguir y levantarse, dicha semilla te la regala Dios y está de parte de cada quien sembrarla y cosecharla. Le doy gracias por darme cada mañana, cada alimento, cada vivencia, pero principalmente por ser parte de la familia a la que pertenezco, un poco extraña pero muy unida y feliz, y por supuesto por haber conocido lo que yo considero mi mejor amiga en todos los ámbitos, mi compañera de vida, Iliana (ojalá sea toda la vida).

A mi amá y mi apá, Maritza Rojas y al viejito Jesús María Caraballo. Mi madre, cuya alegría infinita, el amor por sus hijos y principalmente por ver el lado positivo de las cosas, es un ejemplo para mí. Mi padre, su paciencia, su apoyo, el ser una persona muy ingeniosa para resolver problemas y principalmente muy pacífica (aunque no lo parece), es otro ejemplo.

A mis hermanos, todos absolutamente distintos, pero unidos. A mi sobrino Mahmoud.

A los primeros amigos de la universidad, Rossmar Del Valle, Andrés Felipe, Mijail Umberto, Linabel Coromoto y Nerwin “Kia”, amigos de toda la vida.

A Ricardo Alezones, un amigo de verdad, sincero, sarcástico en todo momento, pero eso sí, una persona que estuvo dispuesta a ofrecer su ayuda cuando la necesité, gracias por ofrecerme ser preparador de Introducción a la Geología de Campo, donde aprendí que las cosas si están planificadas, se hacen contra viento y marea, sin perder la calma.

A los amigos del laboratorio, Adriana, María Antonieta, Javier, Ricardo Yélez cuya muy buena compañía sirvió para continuar. Y por supuesto, a Leonel Messi no, Diego Armando Maradona no, perdón Woodward Joshua Guevara, Graciela (Alias Graziana), Johana, Oscar, Alexandra, Laura (por su paciencia), y a David Mendi por su colaboración prestada para obtener los datos que son la base de la investigación.

Por supuesto, al señor Corel (Hildemaro) por su enseñanza de esa herramienta de dibujo, pero sobre todo por su disposición en cualquier momento para prestarnos aunque sea una pequeña ayuda.

A la señora Morela, por su desinteresada atención prestada en la biblioteca de la escuela.

A la persona que inventó el UPS, un dispositivo que acumula energía, y es la salvación cuando en el cerro donde vivo se va la luz hasta 4-5 veces en una hora casi todos los días sin razón alguna (durante un día soleado, en una noche muy despejada, etc.) y permite que la computadora siga funcionando unos diez minutos solo con esa energía, suficiente como para guardar los cambios hechos en los archivos más importantes de tu vida y apagar la PC de forma convencional (para que no se queme como la que tuve anteriormente).

A mi tío José Luís y mi tía Reina, por ser en el momento oportuno un apoyo monetario sin condiciones.

A todo aquel que se crea merecedor de mis agradecimientos, y que de alguna manera participó en este trabajo (directa o indirectamente) y no lo recuerdo.

2. GEOLOGÍA REGIONAL

2.1. El Valle de Caracas

2.1.1. Espesor de sedimentos en la parte este del valle

KANTAK (2002) realiza en el valle de Caracas una compilación de datos de sismica de refracción obtenidos por la compañía Weston Geophysical Engineers INC. en 1969 y de pozos SPT (*Standard Penetration Test*) para estimar un espesor de sedimentos, es decir proponer una profundidad del basamento del valle. Además, realiza una serie de secciones donde muestra los depósitos aluviales hasta una profundidad de 30m basados en la información proporcionada por 205 pozos.

El resultado de este compendio de datos realizado por KANTAK (2002) es un mapa de espesores de sedimentos en el valle de Caracas (Fig. 7). En él se observa que en el sector de Los Palos Grandes se incrementa dicho espesor, planteando que el basamento en ese lugar está más profundo. Este espesor se hace cada vez menor hacia el sur del valle, siendo muy pequeño en el sector de Parque del Este, cuando entra en contacto con los sedimentos fluviales del río Guaire.

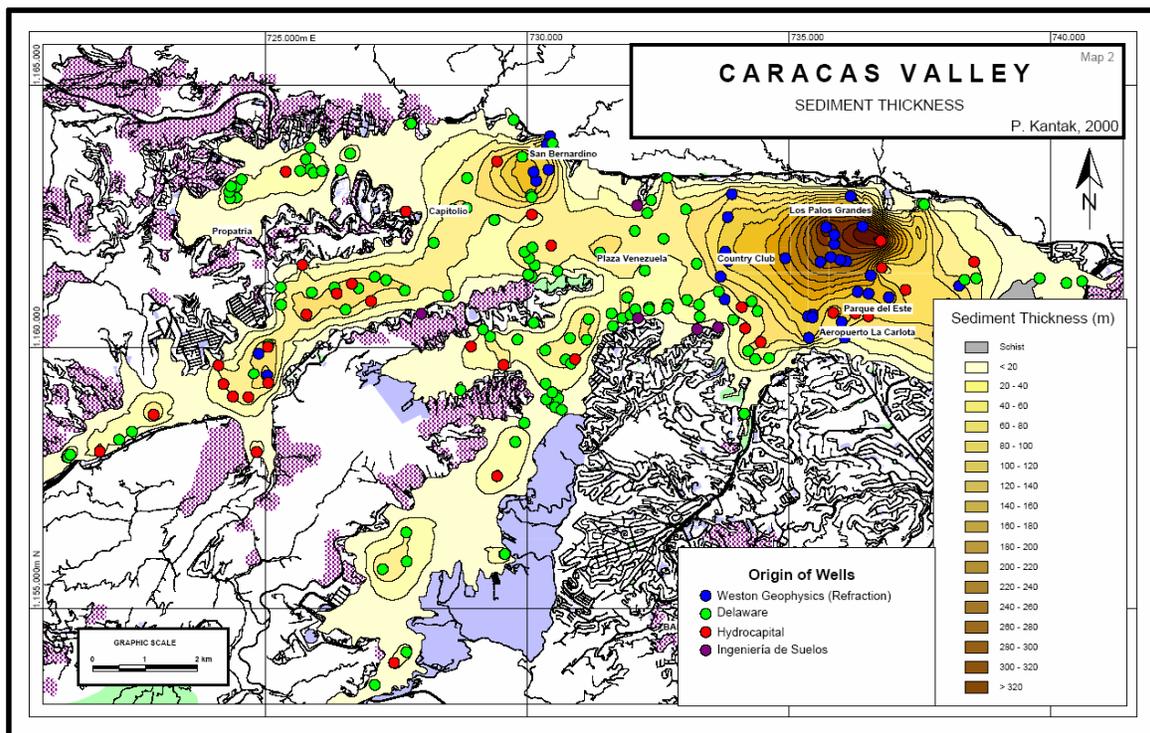


Figura 7. Mapa de espesores de sedimentos en el valle de Caracas, obsérvese el mayor espesor presente en Los Palos Grandes, representado en la zona marrón oscuro (Tomado de KANTAK 2002).

2.1.2. Formaciones cuaternarias del valle de Caracas

La geometría de las formaciones cuaternarias en el valle de Caracas (Fig. 8) esta afectada por condiciones morfoclimáticas y además por las deformaciones tectónicas contemporáneas y posteriores a su depósito (SINGER 1977).

Esta influencia se ve marcada en mayor medida debido a la intensa deformación cuaternaria sufrida al norte de Venezuela. En diversos sectores subsidentes durante el Cuaternario la tendencia de hundimiento es tal que se ha invertido el proceso actual de encajamiento de los ríos en sus aluviones (SINGER 1977).

En la parte oriental del valle de Caracas existe una gran subsidencia dado que los estudios geofísicos realizados por WESTON GEOPHYSICAL ENGINEER (1969) y por KANTAK (2001) muestran una profundización en el sector de Sebucán en Los Palos Grandes.

El mapa del tope de roca (basamento) señala dicha depresión de perfil transversal disimétrico, el relleno sedimentario alcanza un espesor de unos 300 m (SINGER 1977).

Sin embargo, esta característica de los sedimentos detríticos recientes del valle de Caracas conduce a pensar que la subsidencia acelerada de la parte oriental del valle no explica por sí sólo la extensión excepcional de las formaciones holocenas (SINGER 1977).

Por lo tanto se propone una serie de eventos extraordinarios de naturaleza hidrometeorológica que contribuyan con el relleno de la depresión.

SINGER (1977) realiza diversas observaciones en las riberas del río Guaire y halla que las terrazas que dominan las vegas del río presentan varios metros de espesores de “limo arenosos de desborde y capas de lodo holoceno que sepultan un paleosuelo del Cuaternario superior perteneciendo a aluviones infrayacentes” (SINGER 1977:10).

Se señala que en el Holoceno reciente han ocurrido mecanismos de “sobre-aluvionamiento anormales” SINGER (1977), que posiblemente están asociados a inundaciones de gran escala generados por el represamiento del cauce del río Guaire.

SINGER (1977) indica que las evidencias de esta formación de lagos de obturación se hallan en Petare, Bello Monte, en la Zona Rental de Plaza Venezuela (estudiada en este trabajo), en Puente de Hierro y en las Qda. Chapellín (Los Cedros), Chacaíto (Country Club) y Tócome.

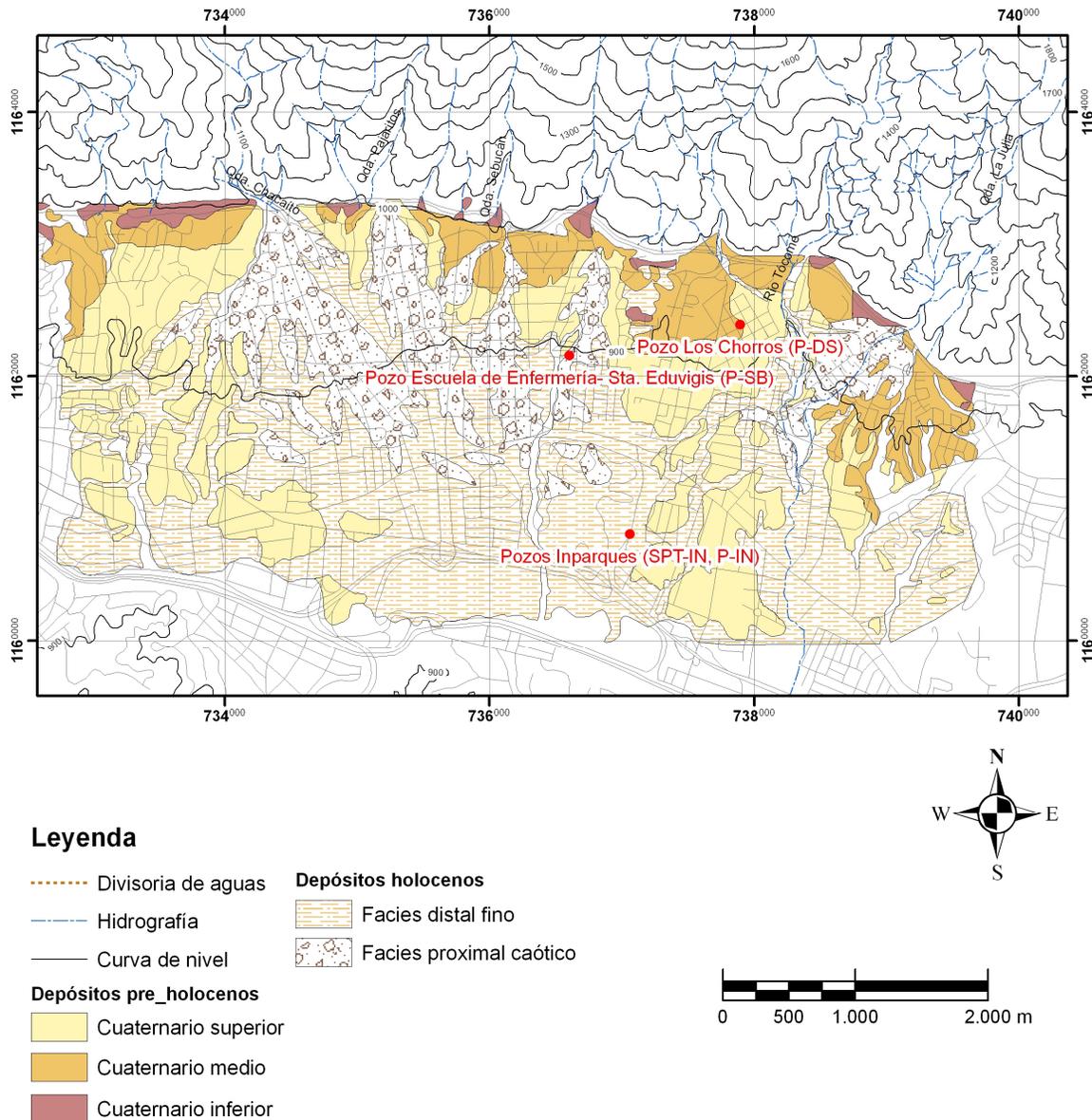


Figura 8. Mapa de las formaciones cuaternarias en la parte oriental del valle de Caracas con la ubicación de los pozos (Tomado y simplificado de SINGER 1977).

Es posible que un aporte de grandes volúmenes de sedimentos detríticos acarreados por las quebradas afluentes del río Guaire efectúe un bloqueo del mismo, creando un represamiento de las aguas. Estas condiciones de baja energía permiten la depositación de sedimentos lacustres del tipo limo arenoso, denominados varvas lacustres.

Tales volúmenes de material transportado desde el macizo del Ávila se interestratifican en sus extremidades distales (facies distal de los abanicos aluviales) con los depósitos lacustrinos, es decir, dichos eventos son contemporáneos. Este fenómeno catastrófico está datado por

yacimientos arqueológicos pre-colombinos descubiertos al oeste del valle de Caracas con edades comprendidas entre años 1100 y 1500 D.C. (Holoceno reciente) SINGER (1977).

El complejo aluvial del valle de Caracas corresponde a la ocurrencia de dos eventos consecutivos y relacionados entre sí. Estos fenómenos acontecen en un tiempo geológicamente corto y según SINGER (1977) son:

1. **Dos fases mayores de acumulación:** donde la primera es muy violenta y conduce al abandono y desorganización de los sistemas de drenaje afluentes del río Guaire (obturación del río Guaire y la qda. Tócome). La segunda fase corresponde a los efectos de represamiento aluvial, entre otros.

2. **De varias olas de erosión torrencial:** corresponde al socavamiento lateral de los depósitos lacustres (depósitos de obturación anteriormente señalados). Estas terrazas son generadas rítmicamente al romperse los obstáculos creados por los aludes torrenciales.

Como menciona SINGER (1977) estos eventos acontecen en un tiempo relativamente corto, por lo tanto es una aceleración de la morfogénesis en el conjunto aluvial del valle de Caracas. Este tipo de fenómenos se observan de forma similar en el piedemonte de cordillera de la Costa, desde el valle de Guarenas-Guatire hasta Valencia.

También cabe señalar que los primeros metros de sedimentos del Cuaternario superior en el este de Caracas manifiestan facies de material grosero similares a escombros producto de aludes torrenciales (SINGER 1977).

2.2. Cordillera de la Costa

La cordillera de la Costa es producto de la interacción de la placa Caribe y la placa Suramericana. Ésta posee una orientación aproximada este-oeste y está constituida por tres franjas, distintivas entre sí en campo y laboratorio, con edades diferentes con orígenes y marcos geodinámicos distintos según URBANI & OSTOS (1989), URBANI (2000), URBANI, RODRIGUEZ & VIVAS (2001) y BARBOZA & RODRIGUEZ (2001).

Dichas unidades corresponden a (Fig. 9):

1. Asociación Metamórfica la Costa: ubicada al norte y cuya edad es Mesozoico
2. Asociación Metamórfica Ávila: localizada en el centro de la Cordillera y posee una edad Paleozoica- Precámbrica.
3. Asociación Metasedimentaria Caracas: se ubica al sur de la faja y es edad Mesozoico.

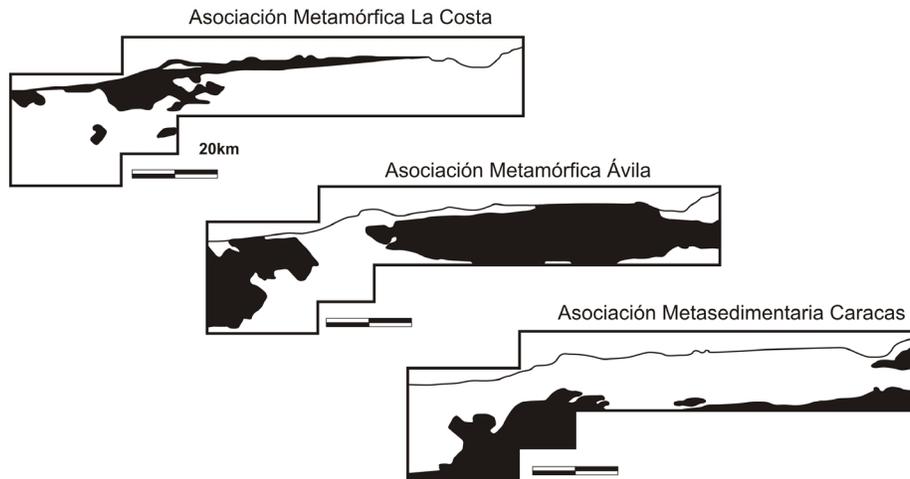


Figura 9. Unidades litológicas de la cordillera de la Costa.

2.3. Asociación Metamórfica la Costa

Según lo descrito por URBANI (2000), corresponde a unidades con una mezcla de litologías metaígneas y metasedimentarias acompañados de elementos ofiolíticos (anfíbolita, metagabro, metabasalto, eclogita, glaucofanita, serpentinita, etc.). Evidencias indican que dichas rocas fueron sometidas a un régimen de alta P/T (alta temperatura-baja presión).

Es el producto de la interacción entre la placa Caribe y la placa Suramericana URBANI (2000), perteneciendo a un terreno adosado cuya edad es Cretácica.

Las unidades que forman parte de esa asociación son (URBANI 2000):

➤ **Mármol de Antímano:** rocas carbonáticas mezcladas con rocas máficas y esquistos con mineralogía variada. La referencia original es DENGO (1951) quien describe formalmente la Formación Antímano con localidad tipo en la zona de Antímano, Distrito Capital totalmente cubiertos por el urbanismo de Caracas, con afloramientos aún visibles en las canteras de la quebrada Mamera pero algunos de los cuerpos de esta unidad según dicha descripción de Dengo, habían sido identificados previamente como pertenecientes a la Fase Zenda de la Formación Las Brisas Dengo 1947), o como parte de la Formación Las Mercedes (AGUERREVERRE & ZULOAGA 1937), WEHRMANN (1972) y GONZÁLEZ (1972) extienden esta unidad hacia los estados Miranda, Aragua y Carabobo. GONZÁLEZ DE JUANA *et al.* (1980) son los primeros en interpretar que esta unidad probablemente “representa un horizonte tectónico y no una unidad litoestratigráfica”. OSTOS *et al.* (1987), NAVARRO *et al.* (1988) la redefinen como Fase Antímano, formando parte de la unidad litodémica de corrimiento que denominan como Complejo la Costa, que reúne

adicionalmente a las Fases Tacagua y Nirgua. URBANI & OSTOS (1989) y UBANI *et al.* (1989) utilizan este nombre en los mapas geológicos de la zona de Puerto Cruz: a Macuto, estado Vargas, y El Palito - Motón - Valencia, estado Carabobo.

DENGO (1951) describe esta unidad como mármol masivo de grano medio, color gris claro, con cristales de pirlita, alternando con capas de esquisto cuarzo micáceo, y asociadas con cuerpos concordantes de rocas anfibólicas, algunas con estructuras de "boudinage ". El mármol está formado de un 85-95% de calcita, con cantidades menores de cuarzo, moscovita (2,5%), grafito (2,5%) y pirlita (20%).

➤ **Anfibolita de Nirgua:** donde resalta la presencia de rocas anfibólicas de diversos tipos, incluyendo eclogita y glaucofanita, pero igualmente esquisto y gneis de mineralogía variable.

➤ **Esquisto de Tacagua:** esta es una unidad mayormente metasedimentaria, con esquisto grafitoso formado en una cuenca anóxica, donde los sedimentos terrígenos están interestratificados por capas de material piroclástico (ahora esquisto actinolítico epidótico ± albita ± cuarzo ± calcita), con escasos lugares donde pueden interpretarse algunos flujos de lava.

➤ **Serpentinita:** Estos cuerpos usualmente se encuentran ubicados cerca de fallas. Además de diversos tipos de serpentinita propiamente dicha, se encuentran anfibolita granatífera, anfibolitita, metagabro, rodingita, etc.

2.4. Asociación Metamórfica Ávila

Estas rocas con edades desde el Precámbrico hasta el Paleozoico, corresponden a unidades típicas de un margen pasivo de corteza continental (URBANI 2000), representando un basamento exhumado, donde a gran escala la foliación muestra una estructura antiformal. La configuración del macizo del Ávila, localidad tipo de la Asociación, muestra una estructura tipo horst, controlado mayoritariamente por las fallas San Sebastián, Macuto y Ávila, con otras fallas intermedias que producen un notable escalonamiento topográfico tanto en el flanco Norte como en el Sur.

Por otra parte según lo indicado por URBANI (2000) las unidades individuales corresponden al Augengneis de Peña de Mora y el Complejo San Julián.

2.4.1. Augengneis de Peña de Mora

Es en gran parte a cuerpos de composición granítica, originalmente de granulometría muy diversa, de fina a muy gruesa, que debido a la posterior deformación ha permitido la formación de una amplia gama de tipos de gneis, hasta el típico augengneis con “ojos” de feld-K de hasta 4 cm (Fig. 10).

Son cuerpos graníticos metamorfozados que han sufrido diferentes grados de deformación. Aún cuando se carece de información concluyente al respecto, se estima que algunos de estos cuerpos gnéisicos, pueden ser intrusivos dentro de las rocas esquistosas adyacentes, pero debido al gran contraste ante la deformación de ambos tipos de rocas (granito vs. metasedimentos pelíticos), quizás en la mayoría de los casos, las rocas graníticas han sido emplazadas tectónicamente dentro del esquisto adyacente. En algunos lugares (quebrada San Julián, río Caruao, etc.) se observan estructuras migmatíticas sugiriendo que estas rocas pueden haber alcanzado condiciones anatécicas y las relaciones iniciales fueron borradas.

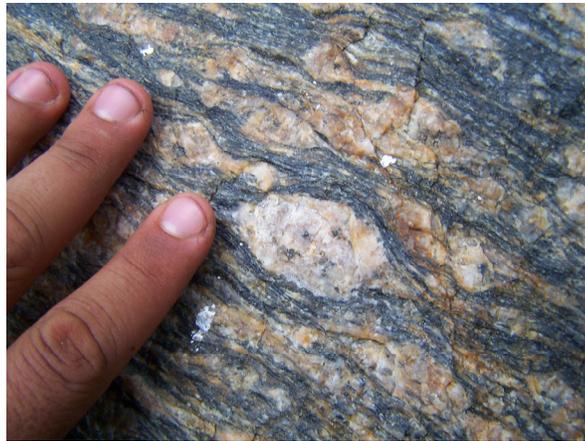


Figura 10. “Ojos” observados en el Augengneis de Peña de Mora, río Chichiriviche, estado Vargas.

2.4.2. Metagranito de Naiguatá

La referencia original es de URBANI *et al.* (1997).

AGUERREVERRE & ZULOAGA (1937) ubica en su mapa a un cuerpo de granito en la Fila Maestra en las cabeceras del río Naiguatá. DENGO (1951) menciona este tipo de roca, que encuentra como cantos rodados en las quebradas que drenan del pico Naiguatá. WEHRMANN (1972) en su mapa geológico delimita un cuerpo de metagranito en las cabeceras del río Naiguatá, basándose para ello en el hallazgo de cantos rodados de esta roca en el río y la expresión fotogeológica del cuerpo. Más recientemente GARCÍA *et al.* (1995), SABINO & URBANI

(1995) y ARANGUREN (1996) cartografían y estudian petrográficamente estas rocas. El nombre fue introducido en el trabajo de recopilación geológica del flanco sur del macizo de El Ávila de URBANI *et al.* (1997).

La localidad tipo se encuentra en la Fila Maestra de la Cordillera de la Costa en las cercanías del pico Naiguatá, estados Miranda y Vargas. WEHRMANN (1972) señala una mineralogía de cuarzo (36,5%), feldespatos (37), biotita (11,5), muscovita (7,5), epidoto (5), clorita (2,5) y trazas de apatito, turmalina, zircón, hematita, magnetita y granate, igualmente indica que cantos rodados de metagranito se ubica en diversas quebradas y ríos, deduciendo que puede haber una amplia variedad de este tipo de rocas, desde granodiorita hasta monzonita.

GARCÍA *et al.* (1995) y SABINO & URBANI (1995) al estudiar el cuerpo ubicado entre Puertas de Hércules y el pico Naiguatá señalan que la roca es un metaleucosienogranito de grano medio con ligera textura gnéisica. La mineralogía promedio es de feldespato potásico (45%), cuarzo (35), plagioclasa - albita (15), biotita (2) y trazas de epidoto, muscovita, esfena, granate y hematita.

Al este del pico Naiguatá el cuerpo deja de aflorar, apareciendo nuevamente en la zona de Gárate - Macanillal, donde es estudiado por ARANGUREN (1996) quien lo clasifica como un metasienogranito, indicando una mineralogía constituida por: feldespato potásico (55%), cuarzo (20), plagioclasa (albita - oligoclasa) (10), muscovita (6), biotita (4), y cantidades menores de clorita anfíbol, epidoto, esfena, zircón y apatito.

Es un cuerpo alargado en dirección este - oeste a lo largo de la Fila Maestra de la Cordillera de la Costa, desde Puertas de Hércules hasta un poco antes del Pico Naiguatá (SABINO & URBANI 1995). AGUERREVERRE (1996) y BAENA (1998) cartografían otro cuerpo un poco más al este del pico Naiguatá, en la zona de los topos Gárate, Macanillal y Tacamahaca. WEHRMANN (1972) basándose en interpretación fotogeológica extiende este último cuerpo hasta unos 2 km al norte de la Fila Maestra, e igualmente delimita otro cuerpo mayor al norte de Guatire.

2.4.3. Complejo San Julián

La referencia original es URBANI & OSTOS (1989).

LAMARE (1928) es el primero en presentar información petrográfica de rocas de esta unidad, colectadas como cantos rodados en el río Tócome Los Chorros. A partir de m trabajo detallado en el macizo de El Ávila por OSTOS (1981), este autor pudo cartografiar al augengneis como una

unidad separada de los demás tipos de rocas, que autores anteriores hablan adicionalmente incluido dentro de Peña de Mora. Lo mismo ocurrió con los trabajos de la zona de La Sabana, Cabo Codera, Mamo - Puerto Cruz, Puerto Cabello - Valencia (recopilados en URBANI *et al.* 1989a 1989b) donde igualmente se pudo cartografiar separadamente las zonas de augengneis de los demás tipos de rocas. Por consiguiente URBANI & OSTOS (1989), proponen volver al nombre original propuesto por AGUERREVERRE & ZULOAGA (1937) de Augengneis de Peña de Mora para referirse formalmente a los cuerpos dispersos de augengneis y gneis de grano grueso, mientras que proponen el nombre de Esquisto de San Julián para incluir las litologías esquistosas y gnéisicas que los circundan, ambas unidades agrupadas bajo el Complejo Ávila. Presentan mapas geológicos desde Puerto Cruz, estado Vargas, hasta Cabo Codera, Miranda, donde se muestra la extensión y continuidad de esta unidad.

La localidad tipo se encuentra en la Quebrada de San Julián, que nace en la Silla de Caracas y desemboca en el mar Caribe en Caraballeda, estado Vargas. URBANI & OSTOS (op. cit.) proponen adicionalmente secciones de referencia en el río Chuspa, al sur del pueblo de Guayabal, estado Miranda; carretera Chichiriviche - Colonia Tovar en el tramo de Paso Palomas - Naranjal, estado Vargas, así como en la quebrada Vallecito, Guaremal, estado Carabobo.

Las rocas preponderantes son el esquisto y gneis cuarzo plagioclásico micáceo frecuentemente se nota una rápida gradación desde una textura esquistosa haciéndose la granulometría más gruesa hasta que pasa a rocas de carácter gnéisico URBANI & OSTOS op. cit.. Las litologías minoritarias (menos del 5%) son mármol cuarcita y diversos tipos de rocas metaígneas mayoritariamente máficas (como anfibolita gabro, diorita, tonalita y granodiorita). Estas rocas cuando aparecen en zonas de dimensiones cartografiables a escala 1:10.000 se han denominado como Metaígneas de Tócome. El esquisto es de color gris a gris oscuro con tonalidades verdes, meteoriza a tonos pardos, usualmente se presenta muy bien foliado.

A escala centimétrica o plurimétrica pueden encontrarse niveles alternos de esquisto y/o gneis con proporciones variables de los minerales esenciales y accesorios, adquiriendo características diferentes en cuanto a color y desarrollo de foliación. El gneis siempre tiene colores más claros que los esquistos, ya que su textura se debe fundamentalmente a la mayor proporción de feldespatos y menor de filosilicatos. Una característica resaltante de ciertos sectores donde aflora el esquisto cuarzo plagioclásico micáceo, es que la plagioclasa (albita - oligoclasa) se desarrolla marcadamente porfidoblástica, y cuando su concentración es alta puede

enmascarar a la foliación, impartándole a la roca un aspecto moteado. Buenos ejemplos de esto pueden verse en la cuenca del río Chichiriviche, Vargas y en la quebrada Vallecito, Carabobo.

ARANGUREN (1996) en la cuenca de la quebrada La Encantada, al norte de Caucagüita Miranda, localiza los siguientes tipos de rocas: gneis cuarzo feldespático micáceo, esquisto cuarzo plagioclásico micáceo, augengneis cuarzo feldespático micáceo esquisto (con ligera textura augen) cuarzo feldespático moscovítico que considera originados por el metamorfismo de rocas ígneas (granitos y metatonalita), encuentra un pequeño cuerpo de tonalita, también hay esquisto cuarzo micáceo clorítico, esquisto epidótico cuarzo clorítico, que interpreta formados a partir de rocas volcánicas, probablemente tobas.

URBANI *et al.* (1997) presenta resumen de la geología del flanco sur del macizo de El Ávila desde Maripérez hasta Izcaragua (Miranda) aparece en todos estos autores a partir de evidencias petrográficas interpretan que entre esta amplia gama de litologías, aquellas más ricas en feldespatos corresponden a rocas metaígneas félsicas, las rocas esquistosas ricas en micas son producto de un protolito sedimentario, mientras que aquellos esquistos ricos en epidoto, actinolita \pm clorita las interpretan como producto del metamorfismo de horizontes volcánicos, probablemente tobas.

2.5. Asociación Metasedimentaria Caracas

Esta Asociación está compuesta por dos unidades cuyo origen es sedimentario (URBANI 2000). Probablemente fueron depositados sobre un basamento granítico como el gneis de Sebastopol. Tales unidades son:

➤ *Esquisto Las Brisas*: con rocas de colores claros, con predominio de esquisto con una variable combinación de muscovita, clorita, cuarzo y albita, así como metarenisca y metaconglomerado.

➤ *Esquisto de Las Mercedes*: con rocas de colores gris oscuro a negro, mayormente filita y esquisto grafitoso, pero con cantidades esenciales de cuarzo, muscovita, albita y calcita, minoritariamente hay niveles de metarenisca. Ambas unidades contienen cuerpos carbonáticos (mármol), mayormente dolomíticos en Las Brisas (Mármol de Zenda) y calcíticos en Las Mercedes (Mármol de Los Colorados) (URBANI *et al.* 1997).

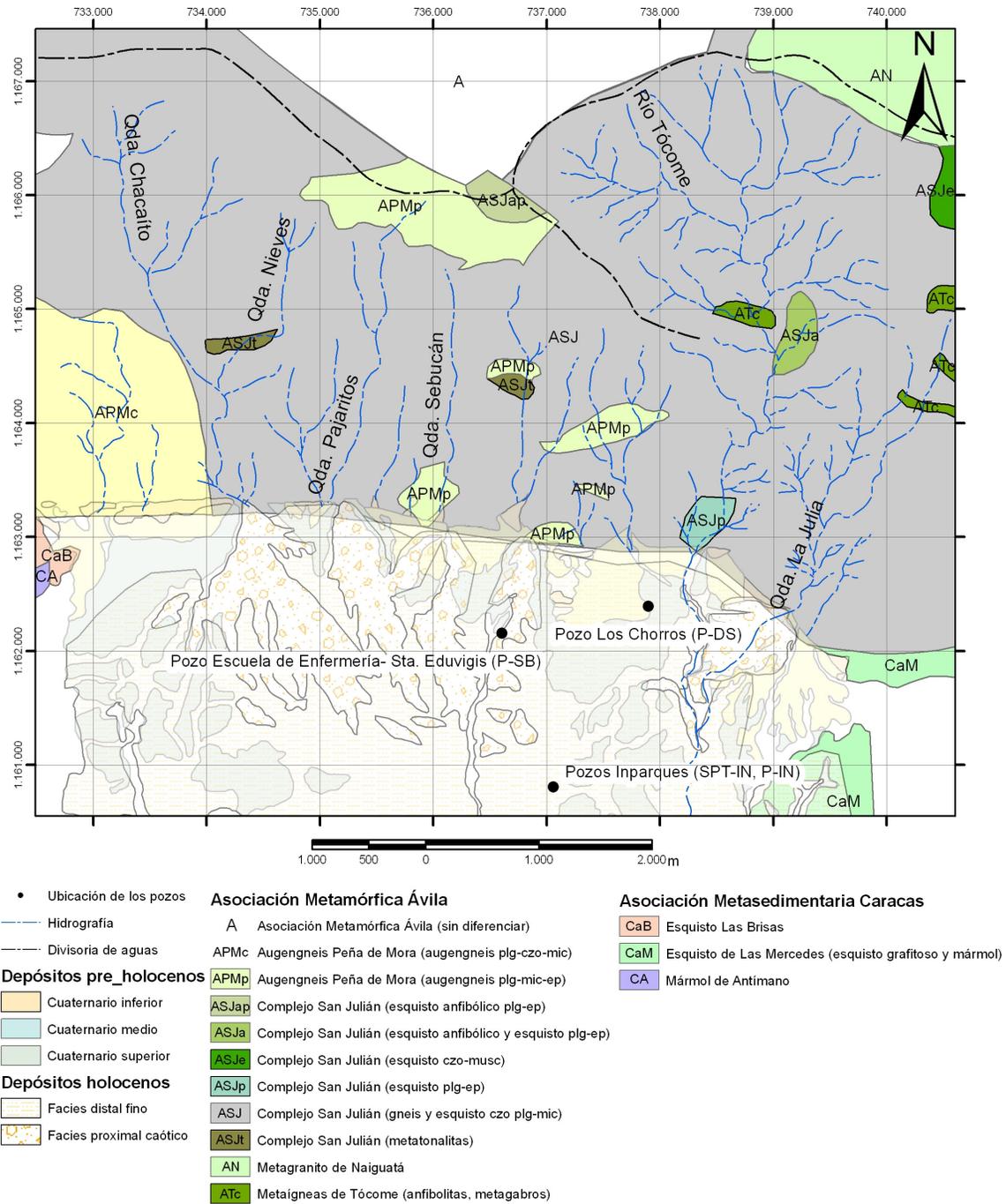


Figura 11. Mapa geológico simplificado donde muestra las unidades litológicas aflorantes en el flanco sur del Ávila y que son posibles áreas fuente de los sedimentos aluviales del valle de Caracas.

3. MARCO ESTRUCTURAL

La zona central de la Cordillera de La Costa presenta tres direcciones principales de cizallamiento (BARBOZA & RODRÍGUEZ, 2001), que coinciden con las tres propuestas por WEHRMANN (1972), se enumeran en orden cronológico:

1) Grandes fallas regionales: longitudinales de rumbo E-W. A este grupo pertenecen las fallas: de San Sebastián, del Ávila, de Las Pailas, de Macuto, etc. Es el sistema de falla más antiguo en la zona, de acuerdo a las relaciones de corte.

La Falla de San Sebastián, según BELTRÁN (1993) es la más extensa y define la linealidad de la costa. Su expresión son los pronunciados escarpes que se observan a lo largo de la carretera de La Costa, especialmente expuestos entre Tanaguarena y Naiguatá. Esta falla esta tectónicamente activa.

La Falla del Ávila representa una zona importante del área estudiada. Coloca en contacto a unidades de la Asociación Metasedimentaria Caracas con la Asociación Metamórfica Ávila. En fotografías aéreas se observa su clara expresión en la ladera sur del Macizo del Ávila (BARBOZA & RODRÍGUEZ, 2001).

2) Fallas oblicuas de rumbo N40-70°W. Es el sistema de fallas más frecuente en la zona estudiada. Ejercen un fuerte control sobre la dirección de los drenajes tributarios en todo el Litoral Central, lo que genera un sistema de fallamiento y drenaje pseudoparalelo. Tiene movimiento dextral.

La Falla de Macuto es una estructura relevante en el Litoral Central, es la que separa al Esquisto de Tacagua de las unidades de la Asociación Metamórfica Ávila. CASTILLA (2000) observa unas facetas triangulares que demuestran la actividad de esta falla. Presenta un movimiento de tipo dextral.

3) Fallas de rumbo N30-70° E. Es el sistema de fallas más joven. Es de movimiento dextral. Se observa que en la zona al oeste de Mamo existe un predominante rumbo de fallas NW-SE. Mientras que al este de Mamo, se presentan fallas NW-SE, NE-SW y E-W.

Un resumen de la configuración estructural del área en estudio se muestra en la figura 12.

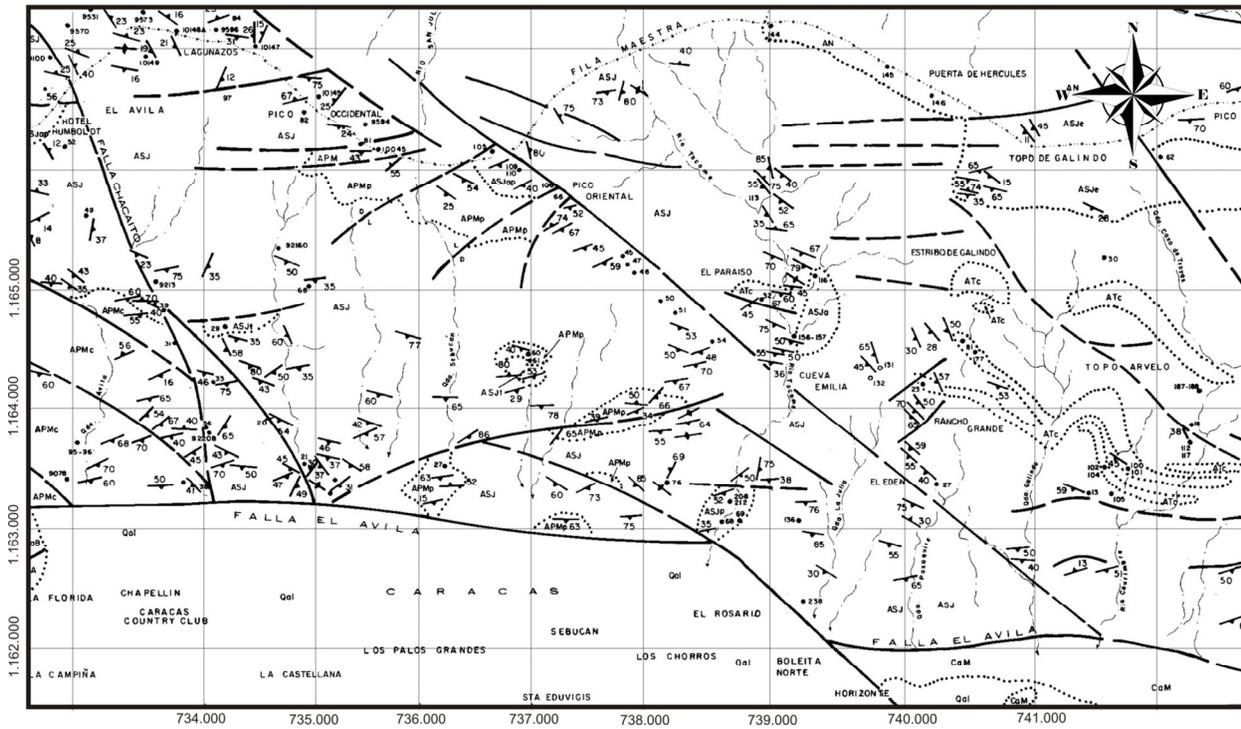


Figura 12. Mapa geológico-estructural del área este del valle de Caracas (BARBOZA & RODRÍGUEZ 2001).

4. CONSIDERACIONES TEÓRICAS Y METODOLOGÍA

En esta investigación las muestras recolectadas fueron sometidas a diversos análisis de laboratorio, cuyos resultados fueron procesados estadísticamente. Dichos análisis poseen una base teórica cuya comprensión es importante. Estos fundamentos básicos se pueden consultar de forma más detallada en el Apéndice 3. Básicamente los ensayos fueron los siguientes:

1. Fluorescencia de rayos X
2. Espectrometría gamma
3. Difracción de rayos X

Existen otros análisis complementarios tales como la separación de minerales pesados y color Munsel, que son mencionados con mayor detalle en Apéndice 2.

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

La radiación puede ser definida como energía, en forma de ondas o partículas; emanada de una fuente que atraviesa el espacio en línea recta divergente. Sin embargo, la radiación en la forma de partículas cargadas puede ser desviada de esta vía lineal por campos eléctricos y/o magnéticos. Todos los tipos de radiación tienen una naturaleza dual en la que exhiben mejor algunas propiedades en términos de partículas, y en otros casos sus propiedades son mejor explicadas en términos de ondas (BERTIN 1975).

Los rayos X forman parte del espectro electromagnético y por lo tanto tienen propiedades de partículas y ondas, con longitudes λ de aproximadamente $1 \text{ \AA} \approx 10^{-3} \text{ m}$ y frecuencias ν de aproximadamente 3×10^{13} ciclos (v)/segundo, y son producidos por desaceleración de electrones de alta energía y/o por transiciones electrónicas en las órbitas internas de los átomos (BERTIN 1975). La energía de un rayo electromagnético interactuando con un medio es parcialmente transmitida, refractada y disipada, y parcialmente absorbida. El paquete de energías, o fotones, pueden “rebotar” y transferirse momentáneamente, lo cual es una propiedad de las partículas discretas (MOORE & REYNOLDS 1989).

4.1.2. Fluorescencia de Rayos X

De acuerdo a ROLLINSON (1993) la espectrometría por fluorescencia de rayos X (FRX) es la técnica analítica más ampliamente usada en la determinación de elementos químicos mayoritarios

y traza en muestras de rocas. Es una técnica versátil en la cual se pueden analizar más de 80 elementos sobre un amplio rango de sensibilidades, detectando concentraciones de 100% hasta unos pocas partes por millón.

La espectrometría de fluorescencia de rayos x está basada en la excitación de una muestra. La intensidad producida por los rayos X secundarios es usada para determinar las concentraciones de los elementos presentes en la muestra ya que estos presentan longitudes de onda características de cada elemento químico. Alternativamente, los rayos X pueden ser detectados sin ser separados en diferentes frecuencias, usando un detector el cual mide la energía así como la intensidad de los rayos X. Este método es conocido como *fluorescencia de rayos X por energía dispersiva* (ROLLINSON 1993).

Según NITON CORPORATION (1998) al irradiar una muestra, los rayos X fuente pueden sufrir dispersión o absorción de los átomos. Este proceso posterior es conocido como *efecto fotoeléctrico*. Cuando un átomo absorbe los rayos X fuente, la radiación incidente desaloja electrones de las conchas más internas del átomo, creando vacantes. Los electrones vacantes son rellenados por electrones provenientes de las conchas electrónicas externas en forma de cascada (Fig. 13). Los electrones en las conchas externas tienen mayores estados energéticos que los electrones de las conchas internas, y los electrones de las conchas externas emiten energías hacia las conchas internas vacantes. Este reajuste de electrones es lo que resulta en la emisión de los rayos X característico de un átomo dado, como se mencionó anteriormente.

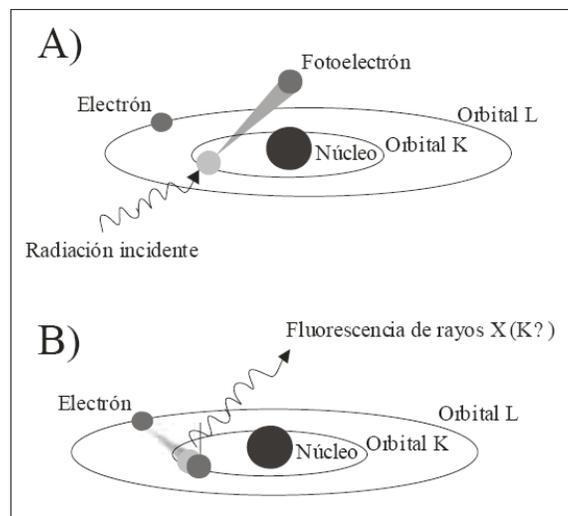


Figura 13. Representación esquemática del principio en que se basa la técnica de la FRX (Tomado de CABALLUD 2002) (A) La radiación incidente expulsa un electrón de una capa interior del átomo. (B) Un electrón de una capa externa pasa a ocupar el lugar vacante y genera una radiación de FRX.

Según SKOOG & WEST (1984), en CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000) existen diversas maneras de generar rayos X (ver Apéndice 2), por bombardeo de un blanco metálico, por un haz de electrones de alta energía, por exposición de una sustancia a un haz primario de rayos x, para generar un haz secundario de rayos fluorescentes, por empleo de una fuente radioactiva de rayos γ , la cual al interactuar con los elementos de la muestra permite la emisión de rayos x.

4.2. ESPECTROMETRIA GAMMA

4.2.1. Radiometría

La radiometría es aquella parte de la geofísica que estudia la corteza terrestre por medio de la detección de las radiaciones que provienen de los elementos radioactivos naturales.

Los métodos radiométricos pueden tener diversas finalidades:

- I. Búsqueda, prospección y exploración de yacimientos minerales radioactivos.
- II. Aplicación de la radiometría al levantamiento geológico.
- III. Prospección de minerales no radioactivos que estén vinculados de una u otra forma a elementos radioactivos.
- IV. Aplicación de los métodos radiométricos a la prospección de hidrocarburos, a la resolución de problemas hidrogeológicos o geotécnicos u otros.

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

La Radioactividad es la propiedad que poseen los núcleos de algunos elementos de desintegrarse emitiendo o absorbiendo radiaciones radioactivas. Los elementos radioactivos son aquellos que se desintegran en el transcurso del tiempo, convirtiéndose en otros elementos sin importar las condiciones externas.

Cuando los elementos radioactivos naturales se desintegran emiten radiación, la cual puede ser de tres tipos (ver Apéndice 2): α , β y γ .

❖ *La radiación α* es el flujo de partículas compuesta por dos protones y dos neutrones (partículas equivalentes a los núcleos de Helio) y ocurre principalmente en los elementos de $Z > 82$.

❖ *La Radiación β* consiste en un flujo de electrones. Puede ser de dos tipos electrónica o positrónica. La electrónica es la más común para cualquier valor de Z y consiste en la transformación de un neutrón a protón, acompañado por la emisión de un electrón y una partícula neutra de masa pequeña y alto poder de penetración (antineutrino). La positrónica es característica para los isótopos en los cuales el número de protones es superior al de neutrones.

❖ *La Radiación γ* está constituida por ondas electromagnéticas de mayor frecuencia y menor longitud de onda que los rayos X, y que no altera la carga nuclear.

El marco geológico de interés en este trabajo corresponde a abanicos aluviales. Es por ello que se menciona en este capítulo algunos conceptos en relación a este tema, sin embargo estos fundamentos teóricos se hallan con más detalle en el Apéndice 3.

4.3 *Flujos torrenciales*

Los flujos torrenciales son fenómenos que se han observado desde tiempos antiguos en regiones montañosas, y están asociados siempre a períodos de intensas y continuas lluvias en un solo lugar. Estos flujos son corrientes compuestas por agua, sedimentos detríticos granulométricamente heterogéneos, troncos de árboles, etc., que recorren el torrente montañoso formando un fluido viscoso de gran velocidad y muy destructivo (COUSSOT 1996, en BARBOZA & RODRIGUEZ 2000).

Este fenómeno generalmente puede producirse por pulsos, debido al represamiento de manera natural de los detritos provocando intervalos en los flujos, pudiéndose tratar de olas de fango de varios metros de altura, con una densidad hasta dos veces mayor que la del agua. Los frentes de ola pueden llegar a tener varios centenares de metros dependiendo del cauce por el cual se desplacen, si no hay restricciones laterales, el ancho dependerá del gasto (volumen/tiempo) (COUSSOT 1996, en BARBOZA & RODRIGUEZ 2000).

4.3.1. Clasificación de los flujos torrenciales

Los flujos torrenciales son una mezcla de agua, sedimentos y aire, que se desplaza por el torrente de una montaña, esta masa fluida puede tener diferentes concentraciones debido a la adición de material, ubicado en el lecho del canal o por numerosos deslizamientos en las laderas.

Los flujos torrenciales se pueden dividir en dos tipos principalmente (ver Apéndice 2), los flujos torrenciales fangosos y los granulares, los cuales se verán afectados por la relación porcentual que exista entre las partículas que conforman la mezcla, provocando que su comportamiento mecánico y reológico varíe (COUSSOT 1996). Dependiendo de la relación material sólido y agua presente en el fluido sus características reológicas cambiarán, aumentando o disminuyendo la velocidad y viscosidad en el fluido (COUSSOT 1996).

4.4. ABANICOS ALUVIALES

4.4.1. Definición y origen

Los abanicos aluviales son depósitos sedimentarios continentales que se desarrollan al frente de los macizos montañosos y están caracterizados por sedimentos gruesos que son transportados pendiente abajo por un río de montaña, generalmente de valles encajados. Una vez que los sedimentos pierden su confinamiento, son esparcidos en forma de abanico en las zonas de pendiente baja (ver Apéndice).

STANISTREET & MCCARTHY (1993), proponen un modelo de clasificación de abanicos basado en el mecanismo de transporte y en la morfología de la red de canales, reconociendo así tres tipos básicos de abanicos aluviales con las siguientes morfologías:

1) *Los abanicos dominados por flujos de detritos* están dominados en el abanico proximal por flujos de detritos, los que se adelgazan rápidamente hacia el abanico medio interdigitando con depósitos de canales entrelazados y de crecientes no encauzadas hacia el abanico distal. Este tipo corresponde por lo general a abanicos pequeños que muestran altas pendientes y escasa vegetación.

2) *Los abanicos dominados por acción fluvial* con canales entrelazados, muestran importante participación de depósitos de barras de canal desde el abanico proximal hasta el distal, dominando las barras longitudinales en el primer caso y las distales en el segundo. Este tipo de abanicos muestra pendientes menores y escasa vegetación, especialmente concentrada a lo largo del margen de los canales.

3) *El abanico dominado por canales meandrosos o anastomosados*, presentan importante carga en suspensión y están formados en el abanico proximal por cursos meandriformes con desarrollo de pantanos y lagunas en áreas de planicies de inundación que frecuentemente pasan a sistemas anastomosados hacia el abanico medio y distal.

4.5. METODOLOGÍA

Luego de señaladas las bases teóricas que definen tanto los análisis realizados a las muestras y al marco geológico en estudio, es importante señalar la metodología que será empleada para la obtención de los resultados.

Como se mencionó en la introducción y al inicio de éste capítulo la muestras fueron sometidas a ciertos ensayos para obtener resultados que permitiesen dar una interpretación, ya sea acerca de los procesos, o de las condiciones de la depositación de los sedimentos en cuestión. Sin embargo, la metodología se halla con mucho más detalle en el Apéndice 2 de este trabajo.

Las muestras fueron sometidas a una etapa de:

1. Preparación que consiste en:
 - a) Secado: al aire libre o con deshumificador
 - b) Separación de dos fracciones, una de 50 g para el pulverizado y otra de 150 g para el tamizado.
 - c) Tamizado: se emplearon los tamices 10, 50, 200, 325 y la bandeja para separar grava, arena gruesa, arena muy fina, limo y arcilla, respectivamente.
 - d) Pulverizado: fueron destinados 50 g para la molienda con el objeto de someterlas a fluorescencia de rayos X, espectrometría gamma y difracción de rayos X.

Posterior a la preparación de las muestras se procedió a realizarle a cada muestra una serie de ensayos, como:

1. Separación de minerales pesados: la metodología empleada para la separación de los minerales pesados fue la propuesta por MORALES (1975). Donde indica que la cantidad óptima para concentrar la mayor cantidad de dichos minerales es de 10 g. Sin embargo menciona que puede variar hasta 15 g. En este trabajo se emplearon 15 g de sedimento, al cual se le separaron los minerales pesados y luego se pesaron en una balanza de precisión, para posteriormente calcular el porcentaje separado.

2. Fluorescencia de rayos X: la metodología seguida para la operación del equipo de fluorescencia de rayos X fue tomada de CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000), donde indican paso a paso la manipulación de las muestras y del equipo.

3. Color Munsel: el método empleado para la asignación de colores Munsel a las muestras fue extraído de OVALLES VIANI (2003).

4.6. PROCESAMIENTO DE DATOS

Posteriormente, los resultados adquiridos mediante los análisis antes mencionados fueron procesados estadísticamente, con el objeto de clasificar las muestras, observar relaciones entre variables, cambios en la concentración de los elementos mayoritarios, isótopos radiactivos, minerales pesados, etc.

Por lo tanto el proceso consistió en tratar los datos a través de la estadística univariante y multivariante con los siguientes análisis:

➤ Estadística descriptiva

Fue ejecutado a través de Microsoft Excel y permitió calcular los parámetros básicos estadísticas para cada una de las variables tanto químicas como radiométricas y para cada pozo. Estos parámetros son el promedio y la desviación estándar.

➤ Diagrama de caja

Diagramas de caja o “Box Plots” ejecutados a través de MVSP, se realizaron para cada una de las variables para comparar los pozos.

➤ Diagrama de dispersión

Los diagramas de dispersión se realizaron a través de Microsoft Excel, este tipo de gráfico nos permite visualizar las relaciones que pueden existir entre cualquier par de variables. A cada gráfico se le modificó la escala para tener el mejor control visual del conjunto de datos y se le agregó la línea de tendencia central (línea de regresión) con su coeficiente de correlación de Peirson.

➤ Funciones discriminantes

Las funciones discriminantes se realizaron a través del Statgraphics plus 5.1 consistió en calcular la ecuación característica para cada grupo unidad de cada pozo. Estas ecuaciones están compuestas por la combinación lineal de las variables, es decir, cada variable multiplicada por un coeficiente que calcula el programa y que equivale en peso a cada variable. Este análisis permite verificar el porcentaje de muestras correctamente clasificadas en unidades o grupos previamente establecidos por el usuario (este fue el uso fundamental de esta herramienta en este trabajo).

➤ Análisis de agrupaciones

Los análisis de agrupaciones o “cluster análisis” fueron realizados utilizando el MVSP con el patrón de enlace para determinar la agrupaciones del vecino más lejano (“furthest neighbor”) y el método de distancia euclidiana. Se realizaron análisis de agrupaciones tomando en cuenta todas las variables químicas y radiométricas manteniendo el orden estratigráfico de las muestras, con el objeto de definir unidades.

➤ Series secuenciales o perfiles de distribución

Finalmente se elaboraron series de tiempo de cada variable a lo largo de cada pozo a través de Excel, para posteriormente realizar interpretaciones del porque la variación de cada variable.

5. RESULTADOS

Un total de 256 muestras fueron analizadas por fluorescencia de rayos X, espectrometría gamma, al igual que le fueron separados minerales pesados a 141 de ellas y se describió la fracción grava a 88 muestras. Las tablas que a continuación se presentan fueron obtenidas a partir de los resultados analíticos mostrados en el Apéndice 1.

Las tablas contentivas de los parámetros estadísticos derivados de los análisis realizados a las muestras de los pozos perforados en el Valle de Caracas se presentan a continuación:

5.1. Fluorescencia de rayos X

Tabla 2. Parámetros estadísticos para los componentes mayoritarios

Pozo	N° muestras	Estadístico	%SiO ₂	%TiO ₂	%Al ₂ O ₃	%Fe ₂ O ₃	%MnO	%CaO	%MgO	%K ₂ O	V(ppm)
P-IN	57	Prom.	75.1	0.22	10.6	2.2	0,02	1.95	3.01	1.74	57.0
		Máx.	86.1	0.89	20.5	5.8	0.09	20.4	8.0	2.73	205
		Mín.	52.4	0.01	5.2	0.8	0.0	0.43	1.13	0.88	10.6
		Des. Est.	8.9	0.20	3.5	1.2	0.01	3.85	2.18	0.45	41.1
SPT-IN	64	Prom.	64.5	0.47	15,9	4,1	0,03	2,2	----	2,1	117,2
		Máx.	94.8	1.04	26,6	10,1	0,13	27,6	----	7,5	271
		Mín.	49.9	0.01	0,01	0,4	0,01	0,32	----	0,01	20
		Des. Est.	8.31	0.23	4,9	2,2	0,02	5,0	----	1,1	70,7
P-DS	50	Prom.	60,6	0,61	15,9	5,99	0,08	1,71	----	1,56	155,3
		Máx.	66,1	0,84	21,7	8,67	0,27	3,79	----	2,41	287,9
		Mín.	50,9	0,42	11,6	4,18	0,05	0,981	----	0,75	55,4
		Des. Est.	2,81	0,097	2,01	0,944	0,03	0,499	----	0,46	41,8
P-SB	84	Prom.	67,2	0,47	14,2	4,23	0,05	1,71	----	1,87	----
		Máx.	89,1	0,88	20,8	7,51	0,12	4,30	----	2,80	----
		Mín.	48,8	0,14	7,90	2,10	0,03	0,70	----	0,99	----
		Des. Est.	7,22	0,12	2,48	1,06	0,01	0,61	----	0,45	----

Ver datos completos en las tablas A1, A2, A3 Y A4 del apéndice 1

5.2. Espectrometría gamma

Tabla 3. Parámetros estadísticos para radiometría

Pozo	N° muestras	Estadístico	$\gamma^{214}\text{Bi}$ (cps)	$\gamma^{212}\text{Bi}$ (cps)	$\gamma^{40}\text{K}$ (cps)	$\gamma^{208}\text{Tl}$ (cps)	γF_1 (cps)	γF_2 (cps)	γF_3 (cps)	γF_4 (cps)	γF_5 (cps)
P-IN	57	Promedio	0,90	0,71	0,26	0,15	1,62	1,06	0,56	0,16	0,30
		Máximo	1,11	1,01	0,29	0,18	1,82	1,15	0,67	0,19	0,34
		Mínimo	0,67	0,56	0,22	0,14	1,50	0,99	0,48	0,1	0,26
		Des. est.	0,13	0,14	0,01	0,008	0,06	0,03	0,03	0,03	0,01
SPT-IN	64	Promedio	0,93	0,74	0,28	0,16	1,72	1,12	0,60	0,17	0,33
		Máximo	1,13	1,03	0,32	0,19	2,15	1,44	0,78	0,19	0,41
		Mínimo	0,64	0,57	0,24	0,14	1,52	0,98	0,50	0,10	0,29
		Des. est.	0,13	0,11	0,02	0,01	0,10	0,07	0,05	0,03	0,02
P-DS	50	Promedio	0,86	1,08	0,32	0,15	2,16	1,34	0,73	0,12	0,38
		Máximo	1,19	1,39	0,39	0,19	2,78	1,80	1,00	0,19	0,48
		Mínimo	0,70	0,73	0,27	0,14	1,86	1,19	0,64	0,10	0,30
		Des. est.	0,11	0,12	0,02	0,01	0,14	0,09	0,06	0,02	0,03

Ver datos completos en las tablas A5, A6 y A7 del apéndice 1

5.3. Minerales pesados

A continuación se muestran los estadísticos de las concentraciones de minerales pesados, únicamente para los pozos P-IN y P-SB. La concentración que se presenta en gramos representa la cantidad de minerales pesados extraídos de un total de 15 g de sedimento. Igualmente, se muestra la concentración porcentual (Tabla 4).

Tabla 4. Valores estadísticos correspondientes los minerales pesados.

Pozo	N° muestras	Estadístico	Minerales pesados (g)	Minerales pesados (%)
P-IN	57	Promedio	1,32	8,96
		Máximo	3,28	21,8
		Mínimo	0,77	5,54
		Des. est.	0,61	4,04
P-SB	84	Promedio	1,58	10,5
		Máximo	3,50	23,3
		Mínimo	0,72	4,79
		Des. est.	0,70	4,67

Ver datos completos en la tabla A8 del apéndice I

5.4. Descripción mineralógica

La siguiente muestra los porcentuales estadísticos que resultaron de la descripción mineralógica de la fracción grava de los pozos P-IN y P-DS, respectivamente (ver tabla A9 y A10 del apéndice 1).

Tabla 5. Valores porcentuales estadísticos correspondientes a la descripción mineralógica

Pozo	P-IN				P-DS			
	Promedio	Máximo	Mínimo	Des. est.	Promedio	Máximo	Mínimo	Des. est.
N° muestras analizadas	38				50			
Estadístico								
Esquisto y gneis plagioclásico cuarcítico	11,9	60,1	0,1	16,9	18,8	42,9	0,1	12
Esquisto moscovítico clorítico	0,46	4,1	0,1	1,01	10,8	50,1	0,1	11,5
Esquisto clorítico-actinolítico	0,6	5,9	0,1	1,39	3,09	33,3	0,1	8,74
Esquisto cuarzo-moscovítico-clorítico	1,1	12	0,1	2,39	4,51	37,5	0,1	9,39
Esquisto moscovítico-cuarcítico	0,29	4,5	0,1	0,75	1,04	11,1	0,1	2,41
Cuarzo	70	100	0,1	31	47,9	100	16,7	19,1
Epidoto	0,56	5,3	0,1	1,02	1,99	14,7	0,1	3
Óxidos de hierro	1,42	14,3	0,1	2,91	8,20	40,1	0,1	11,3
Esquisto meteorizado (material no identificable)	0,19	2,3	0,1	0,36	1,15	11,4	0,1	2,41
Rocas anfibólicas	0,26	3,5	0,1	0,59	2,86	21,6	0,1	5,12
Mármol	0,9	15,3	0,1	2,61	----	----	----	----
Esquisto grafitoso	12,7	100	0,1	31,2	----	----	----	----
Esquisto sericítico	0,32	8,5	0,1	1,36	----	----	----	----

5.5. Difracción de rayos X

La tabla 6 representa los resultados de la difracción de rayos X. El orden en que se hallan los minerales no corresponde a un orden de abundancia, sólo se muestran la composición mineralógica promedio por muestra. Los difractogramas se hallan en el anexo 1.

Tabla 6. Composición mineralógica obtenida por difracción de rayos X

Pozo	Muestra	Unidad	Mineralogía
Sebucán	P-SB-78	PSBU4	Cuarzo, plagioclasa, feld-K, posibles minerales de arcilla (ilita, clorita/vermiculita)
	P-SB-60	PSBU3	Cuarzo, plagioclasa, feld-K, moscovita, posibles minerales de arcilla (ilita, clorita/vermiculita)
	P-SB-42	PSBU2	Cuarzo, plagioclasa, feld-K, moscovita, posibles minerales de arcilla (ilita, clorita/vermiculita)
	P-SB-19	PSBU1	Cuarzo, plagioclasa, feld-K, posibles minerales de arcilla (ilita, clorita/vermiculita)
Inparques	P-IN-53	PINU5	Cuarzo, plagioclasa, feld-K, moscovita, posibles minerales de arcilla (ilita, clorita/vermiculita)
	P-IN-41	PINU4	Cuarzo, plagioclasa, feld-K, moscovita, posibles minerales de arcilla (montmorillonita, clorita/vermiculita)
	P-IN-27	PINU3	Cuarzo, plagioclasa, feld-K, moscovita, posible ilita.
	P-IN-14	PINU2	Cuarzo, plagioclasa, feld-K, moscovita, posibles minerales de arcilla (ilita, caolinita)
	P-IN-2	PINU1	Cuarzo, calcita, posibles minerales de arcilla (ilita, clorita/vermiculita, caolinita)
	SPT-IN-62	SPTINU5	Cuarzo, feld-K, plagioclasa, posibles minerales de arcilla (ilita, clorita)
	SPT-IN-56	SPTINU4	Cuarzo, feld-K, plagioclasa, moscovita, posibles minerales de arcilla (clorita/vermiculita, caolinita)
	SPT-IN-38	SPTINU3	Cuarzo, feld-K, plagioclasa, moscovita, posibles minerales de arcilla (ilita, caolinita)
	SPT-IN-18	SPTINU2	Cuarzo, feld-K, plagioclasa, moscovita, posible ilita
	SPT-IN-5	SPTINU1	Cuarzo, feld-K, moscovita, clorita
Los Chorros	P-DS-48	PDSU6	Cuarzo, plagioclasa, moscovita, posible clorita/vermiculita
	P-DS-47	PDSU6	Cuarzo, plagioclasa, posibles minerales de arcilla (ilita, clorita/vermiculita)
	P-DS-43	PDSU5	Cuarzo, plagioclasa, posibles minerales de arcilla (ilita, clorita/vermiculita)
	P-DS-31	PDSU4	Cuarzo, plagioclasa, feld-K, moscovita, posibles minerales de arcilla (ilita, caolinita, clorita/montmorillonita)
	P-DS-21	PDSU3	Cuarzo, plagioclasa, feld-K, moscovita, posibles minerales de arcilla (ilita, smectita, clorita/montmorillonita)
	P-DS-12	PDSU2	Cuarzo, feld-K, moscovita, posibles minerales de arcilla (ilita, clorita)
	P-DS-6	PDSU1	Cuarzo, feld-K, plagioclasa, posibles minerales de arcilla (ilita, caolinita)
Bentonita			Cuarzo, plagioclasa, minerales de arcilla (ilita, bentonita (montmorillonita), clorita/vermiculita)

6. PROCESAMIENTO DE DATOS

6.1 ESTADÍSTICA UNIVARIANTE

6.1.1. Diagramas de dispersión

A continuación se muestran las tablas contentivas de los coeficientes de correlación para los pozos SPT-IN, P-IN, P-DS y P-SB, respectivamente.

En la tabla 7 están resaltados los valores de coeficientes de correlación significativos con un 99% de confiabilidad para una población de 64 muestras con dos variables. El valor crítico calculado según la tabla 1 del Anexo 3 (CROW 1960) es de 0,287, por lo tanto cualquier valor absoluto de coeficiente de correlación mayor o igual a este será significativo.

Tabla 7. Coeficientes de correlación para el pozo SPT-IN

Variables	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	V
SiO ₂							
TiO ₂	-0,676						
Al ₂ O ₃	-0,648	0,801					
Fe ₂ O ₃	-0,678	0,804	0,664				
MnO	-0,145	0,382	0,150	0,196			
K ₂ O	-0,199	0,133	0,481	0,101	-0,067		
V	-0,583	0,743	0,618	0,796	0,038	-0,026	

Al igual que en el pozo SPT-IN, fue calculado un valor de coeficiente de correlación crítico mediante la tabla de valores críticos de coeficientes de correlación. Este pozo (P-IN) posee un total de 57 muestras, por lo tanto los coeficientes (Tabla 8) que tomen un valor absoluto mayor a 0,333 son coeficientes de correlación significativos con un porcentaje de confiabilidad del 99% (CROW 1960).

Tabla 8. Coeficientes de correlación para el pozo P-IN.

Variables	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	K ₂ O	V	M.P.*
SiO ₂								
TiO ₂	-0,797							
Al ₂ O ₃	-0,744	0,936						
Fe ₂ O ₃	-0,857	0,921	0,832					
MnO	-0,804	0,915	0,830	0,885				
K ₂ O	0,419	-0,308	-0,131	-0,446	-0,406			
V	-0,779	0,764	0,660	0,747	0,781	-0,472		
M.P.*	-0,633	0,859	0,821	0,754	0,885	-0,369	0,667	

*Minerales pesados

La tabla 9 presenta los coeficientes de correlación para el pozo P-DS, indicando también los coeficientes significativos con un porcentaje de confiabilidad de 99%, para aquellos superiores (valores absolutos) a 0,354 (CROW 1960).

Tabla 9. Coeficientes de correlación para el pozo P-DS.

Variables	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	V
SiO ₂								
TiO ₂	-0,854							
Al ₂ O ₃	-0,474	0,207						
Fe ₂ O ₃	-0,789	0,775	0,175					
MnO	-0,182	0,304	-0,014	0,178				
CaO	-0,096	0,331	-0,445	0,266	0,028			
K ₂ O	0,206	-0,469	-0,398	-0,398	-0,358	-0,395		
V	-0,550	0,509	0,487	0,391	0,073	-0,190	-0,161	

La siguiente tabla (tabla 10) muestra de los coeficientes de correlación para las variables químicas del pozo P-SB. El valor crítico de este coeficiente para las 84 muestras de dicho pozo es 0,276, por lo tanto los coeficientes cuyo valor absoluto sea mayor a este es significativo con un porcentaje de confiabilidad del 99%.

Tabla 10. Coeficientes de correlación para el pozo P-SB.

Variables	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	CaO	K ₂ O	V
SiO ₂								
TiO ₂	-0,820							
Al ₂ O ₃	-0,624	0,707						
Fe ₂ O ₃	-0,859	0,943	0,799					
MnO	-0,803	0,836	0,629	0,867				
CaO	-0,530	0,692	0,217	0,573	0,637			
K ₂ O	-0,261	-0,013	0,455	0,181	0,122	-0,477		
V	-0,478	0,607	0,443	0,629	0,456	0,444	-0,069	

A continuación se muestran los diagramas de dispersión, herramienta que permite observar la relación existente en dos variables, en este caso variables químicas. Esta permite establecer una proporcionalidad directa o inversa, según el coeficiente de correlación lineal “r” derivado de dichos diagramas. Estos diagramas muestran de forma muy evidente las relaciones entre elementos, específicamente la correlación directa entre aquellos asociados a minerales de arcilla como Fe_2O_3 , Al_2O_3 , TiO_2 , MnO y V , y a su vez se esta reflejado en dichos diagramas la correlación inversa entre éstos componentes y el SiO_2 .

a) INPARQUES (SPT-IN y P-IN)

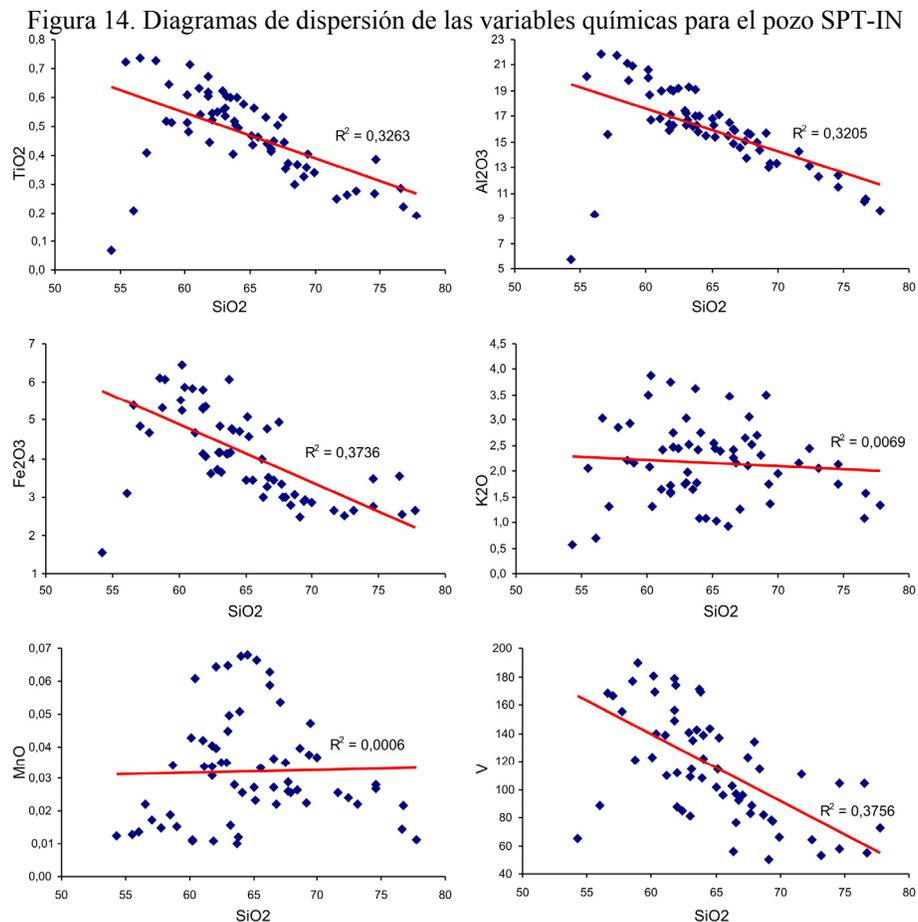


Figura 13. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo SPT-IN (continuación).

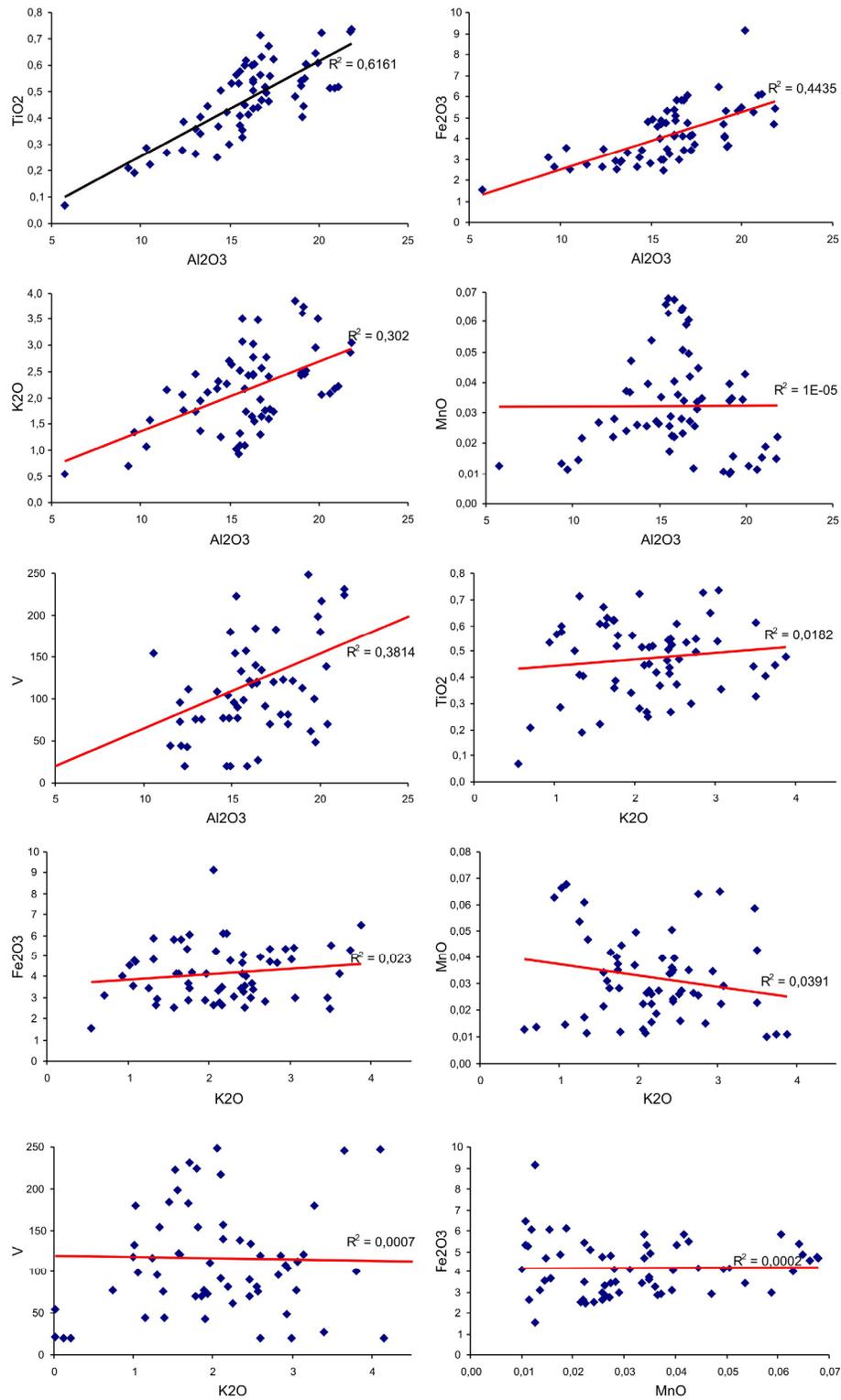


Figura 13. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo SPT-IN (continuación).

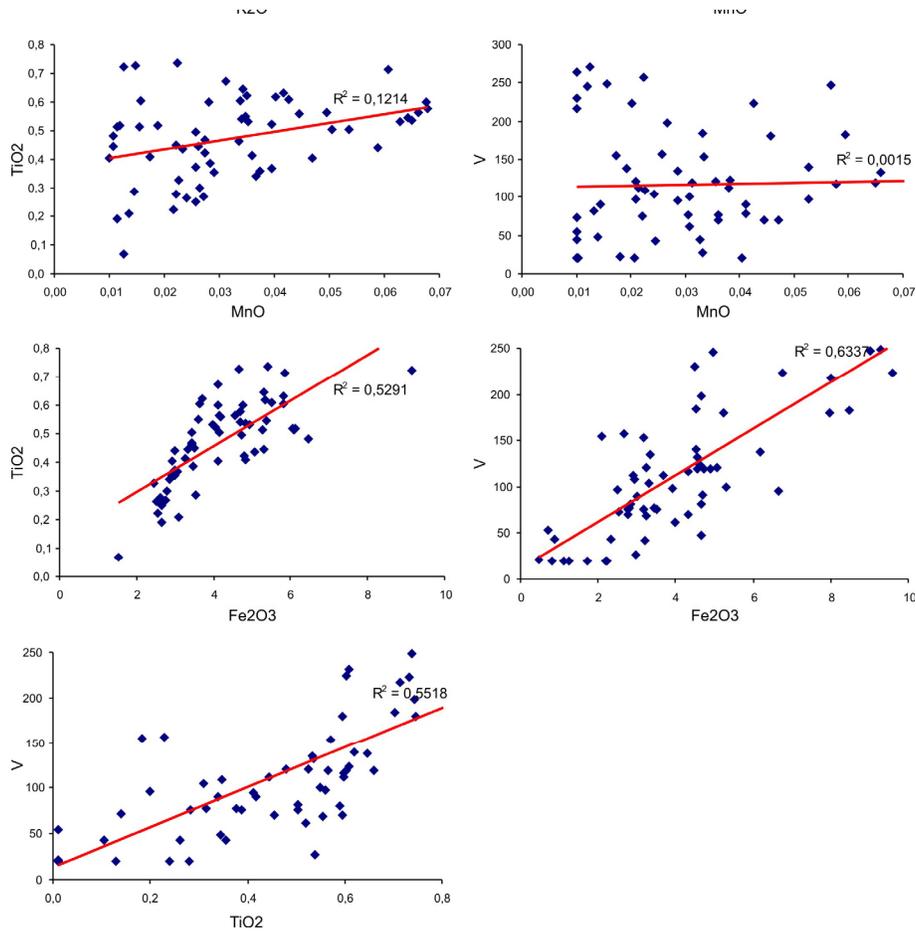


Figura 15. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-IN

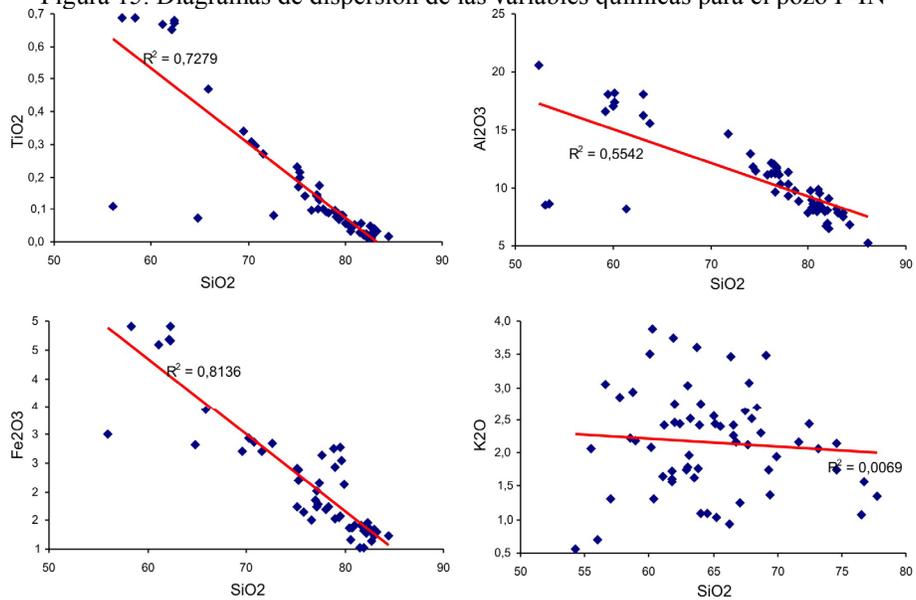


Figura 14. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-IN (continuación).

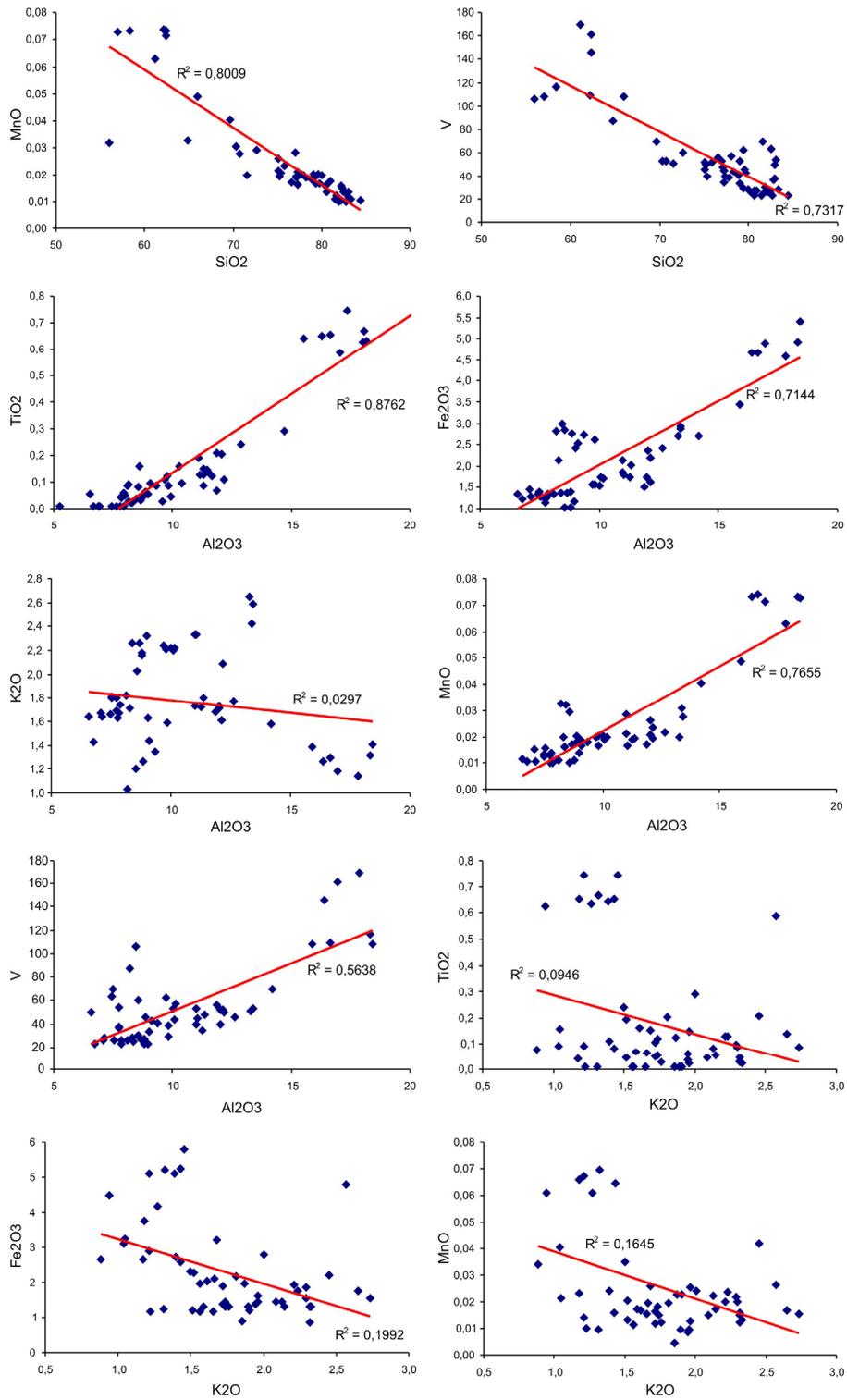
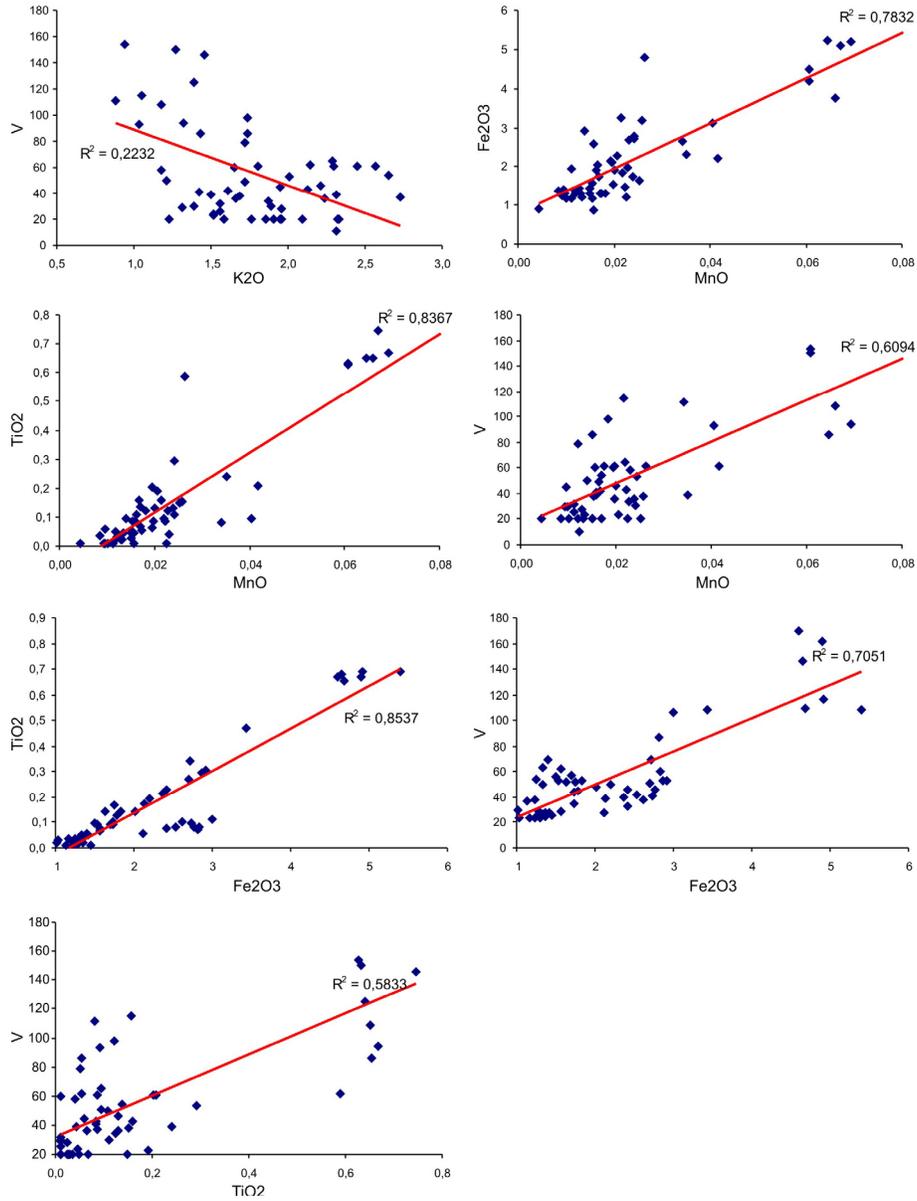


Figura 14. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-IN (continuación).



b) Los Chorros (P-DS)

Figura 16. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-DS.

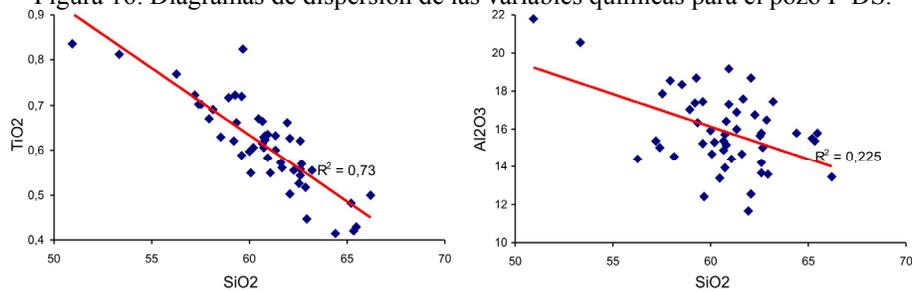


Figura 15. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-DS (continuación).

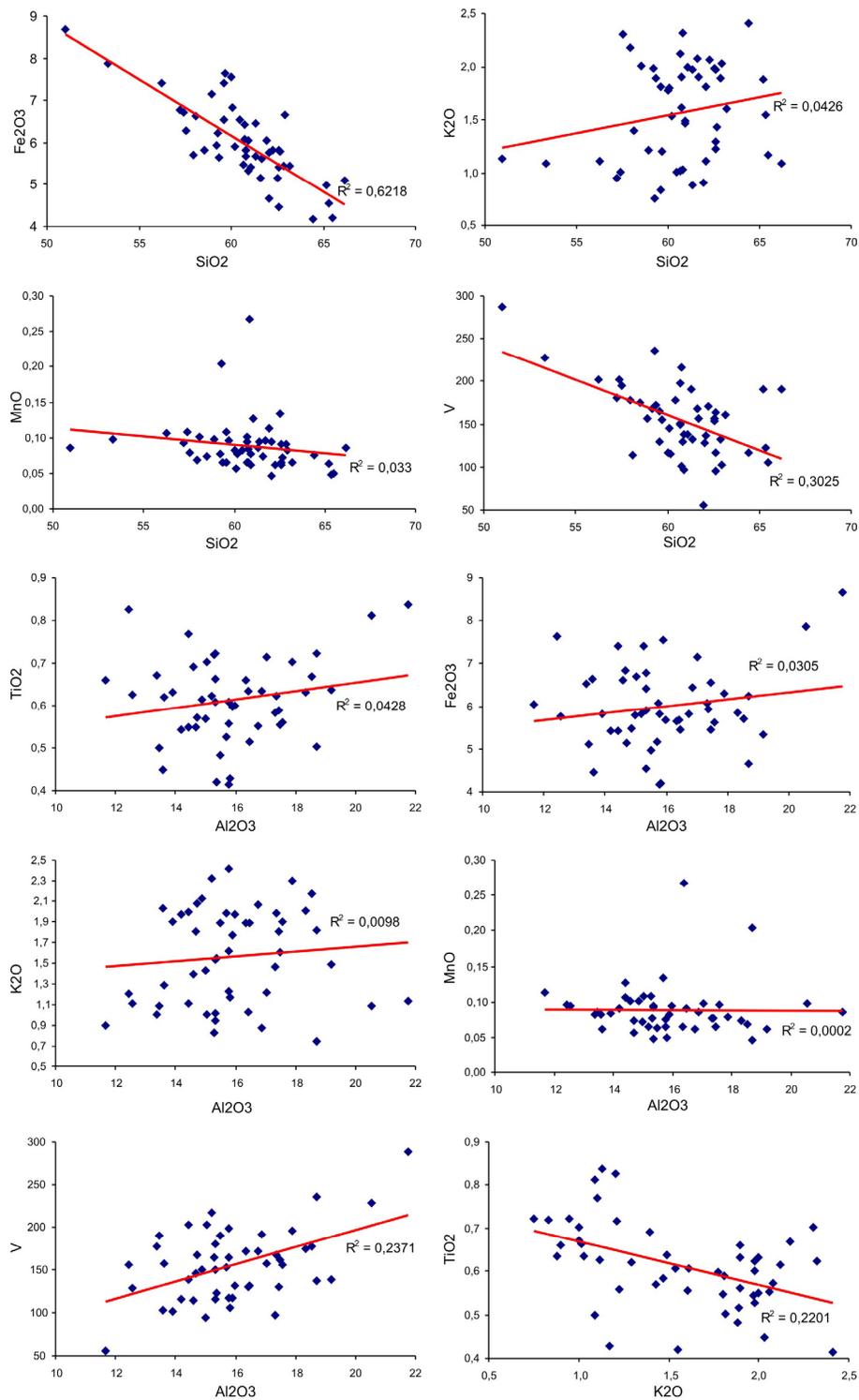
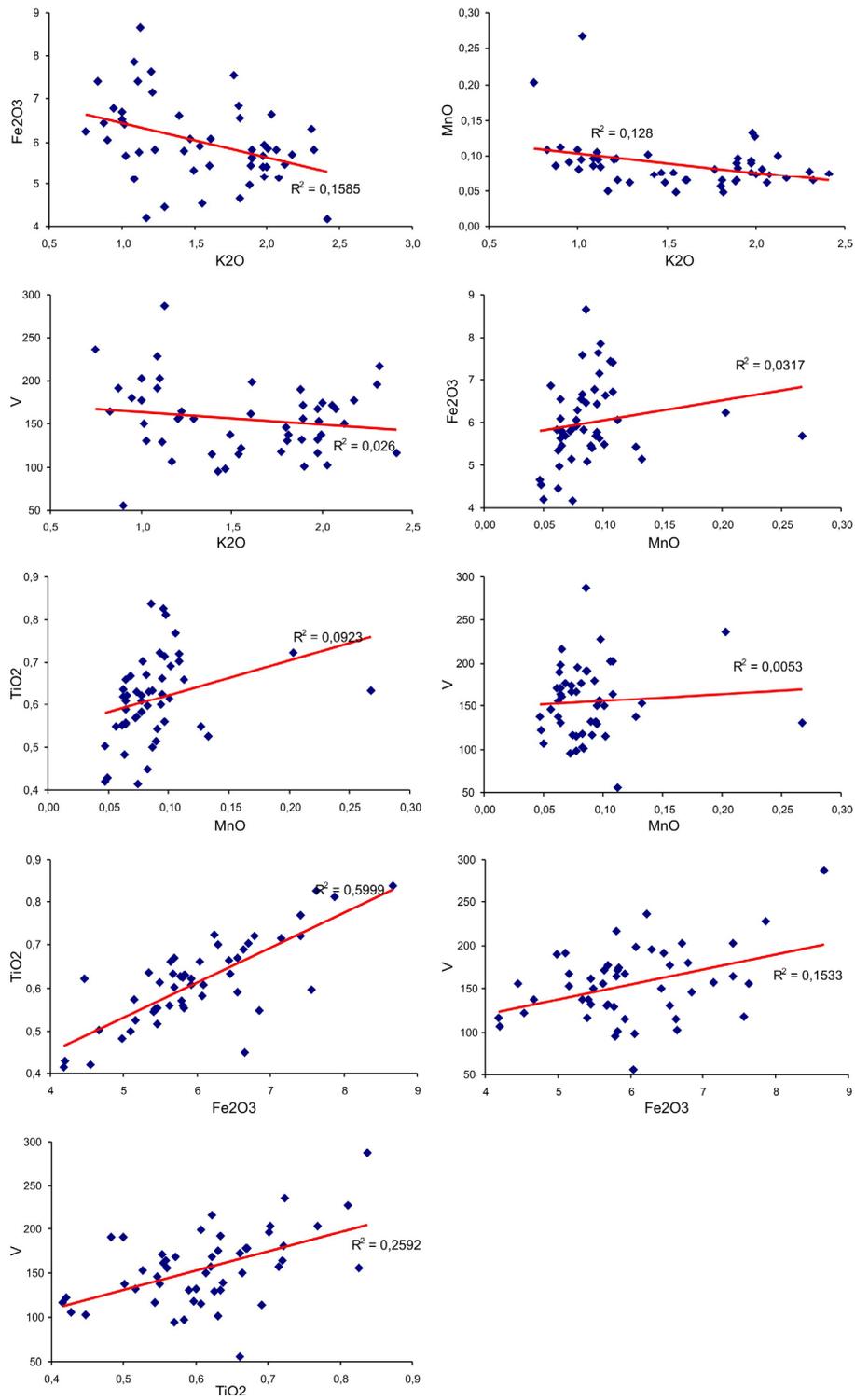


Figura 15. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-DS (continuación).



c) Sebucán (P-SB)

Figura 17. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-SB.

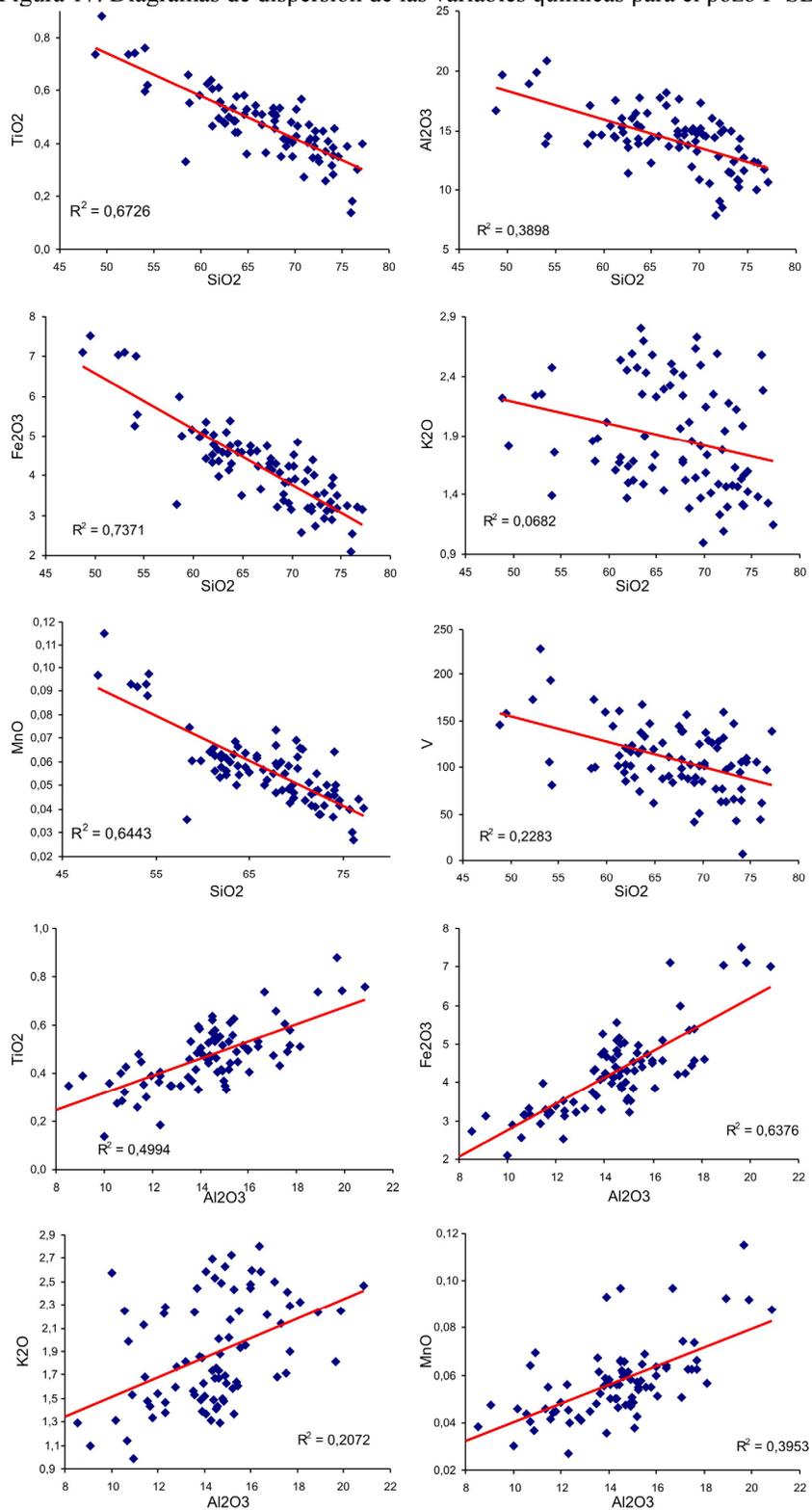


Figura 16. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-SB (continuación).

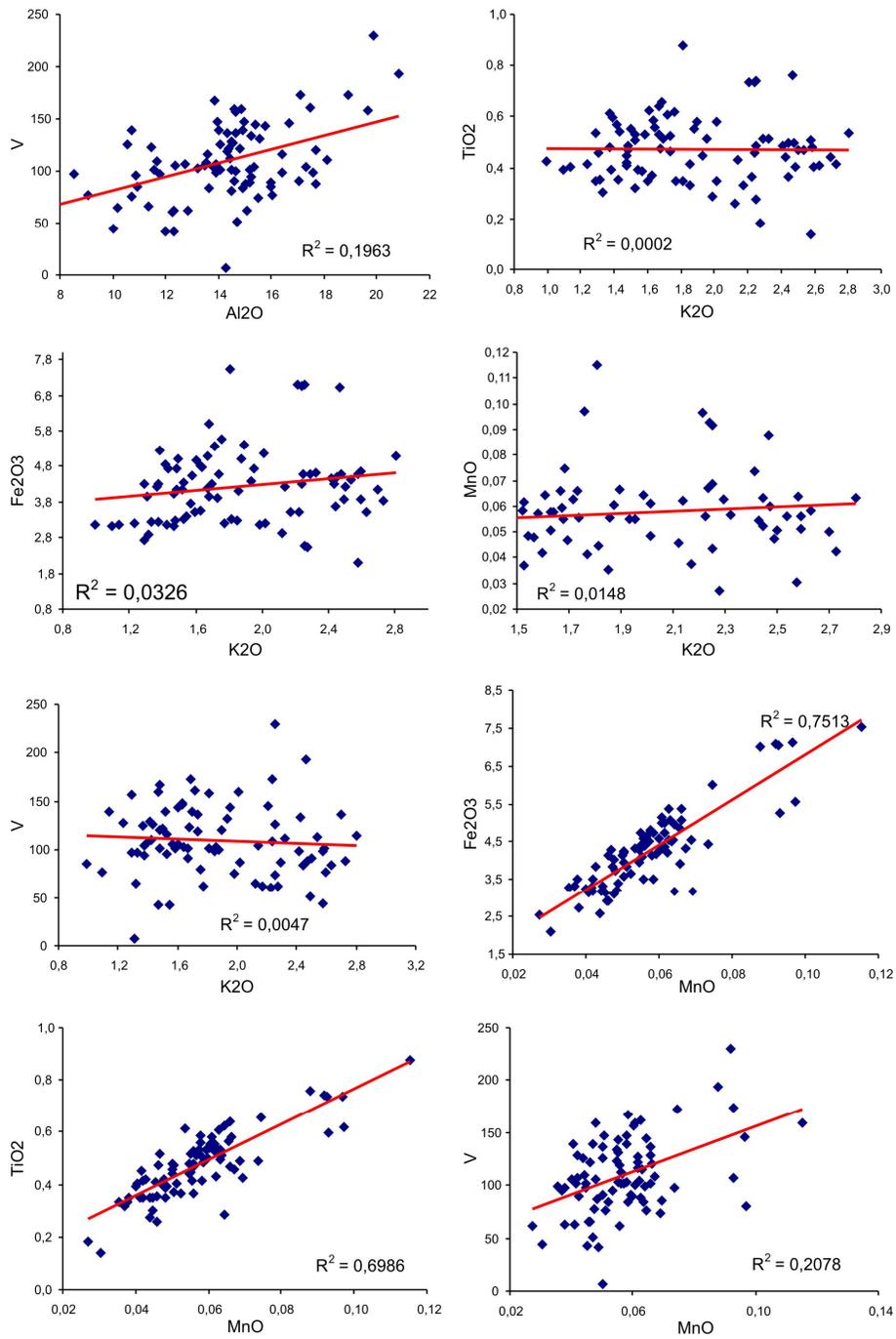
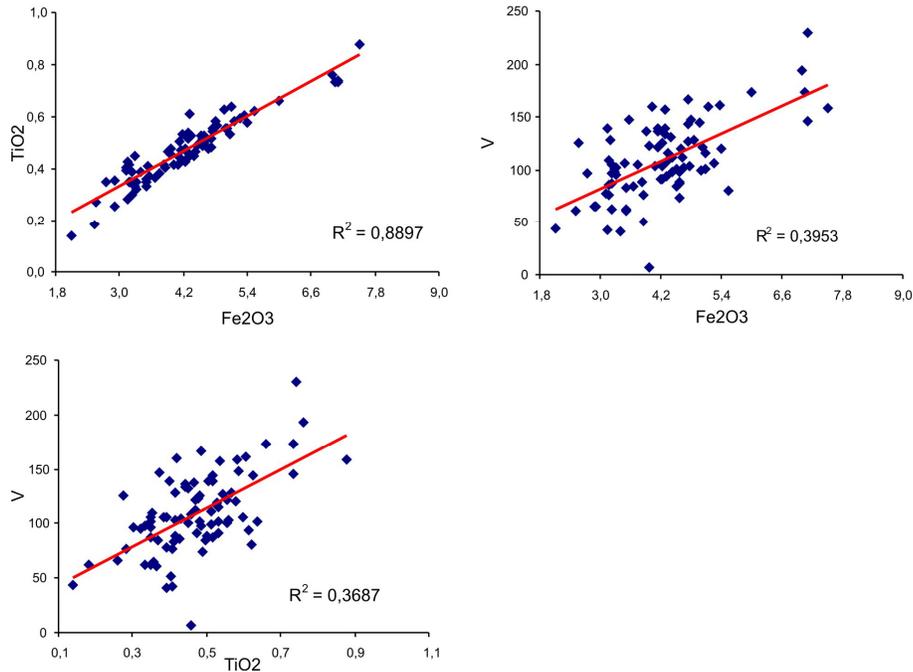


Figura 16. Diagramas de dispersión de las variables químicas para el pozo P-SB (continuación).



6.1.2. Diagramas de caja

Los diagramas de caja representan gráficamente la dispersión de los datos, la mediana y la presencia de valores anómalos en los mismos. Esta herramienta se empleó fundamentalmente para comparar las diversas variables químicas entre los pozos perforados. Es importante destacar que en los diagramas de caja que a continuación se presentan, los pozos están ubicados según la cercanía o lejanía de los mismos con respecto a las quebradas de la siguiente forma (Fig. 18):

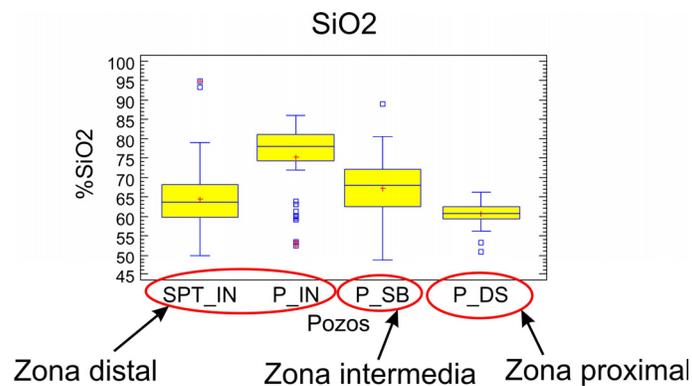


Figura 18. Forma en que están ubicados los pozos en el diagrama de caja.

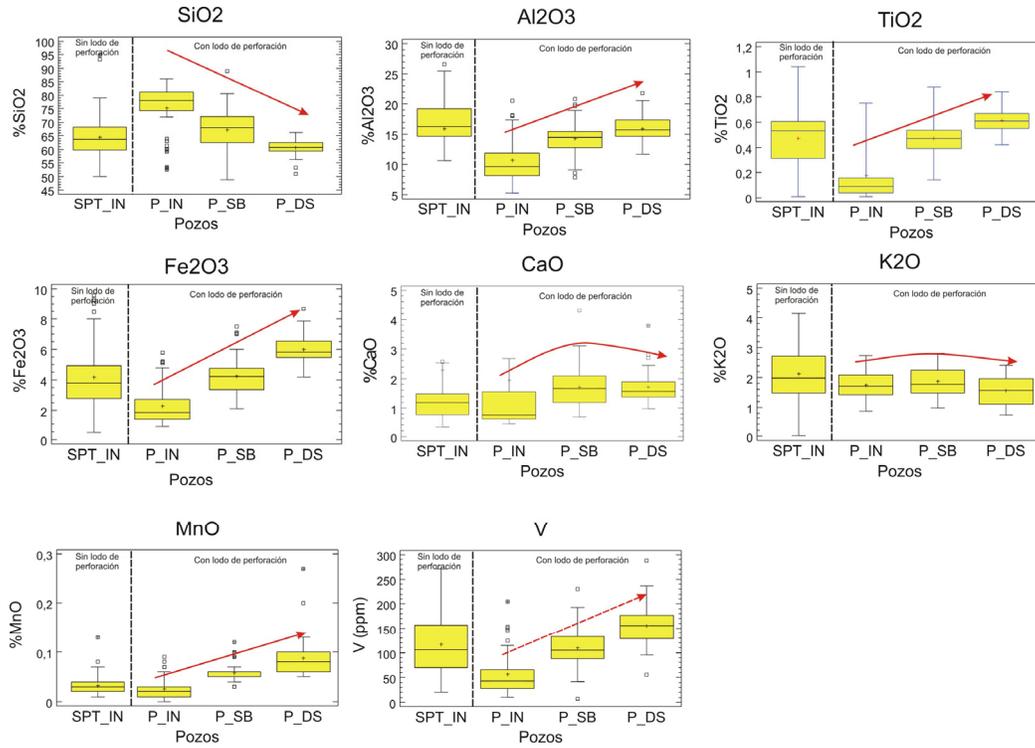


Figura 19. Diagramas de caja donde se comparan las variables químicas entre los diferentes pozos perforados.

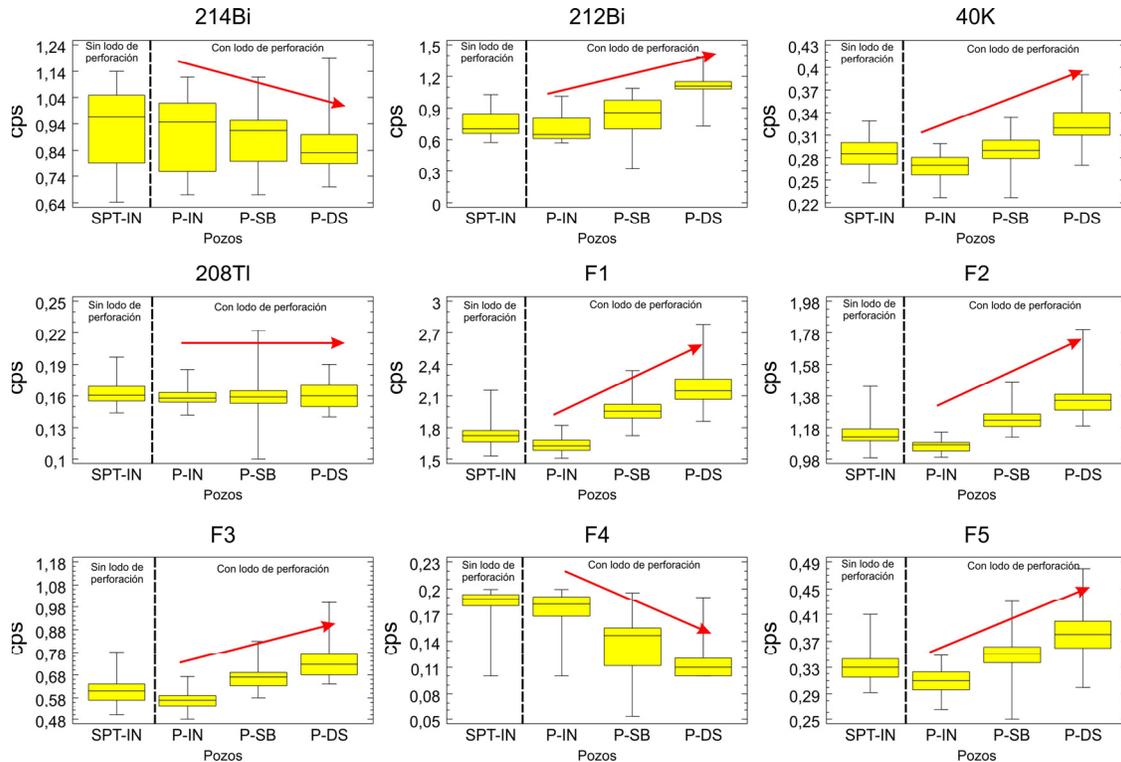


Figura 20. Diagramas de caja radiométricos, donde se comparan los diferentes pozos.

6.2. ESTADÍSTICA MULTIVARIANTE

6.2.1. Análisis de agrupaciones

El análisis de agrupaciones tiene como finalidad la separación o selección de grupos que poseen características semejantes. Los dendrogramas fueron generados combinando las 8 variables (componentes mayoritarios) a través del método del “vecino más lejano” y el criterio de las distancias euclidianas. En este trabajo se empleó esta herramienta con el objeto de definir unidades químicas, manteniendo el orden estratigráfico de las muestras.

6.2.1.1. Componentes mayoritarios

a) INPARQUES (SPT-IN y P-IN)

Es importante destacar que los dendrogramas generados mantienen a las muestras en el orden estratigráfico normal (constrained clustering). A continuación se presentan los dendrogramas correspondientes a los pozos SPT-IN y P-IN, respectivamente.

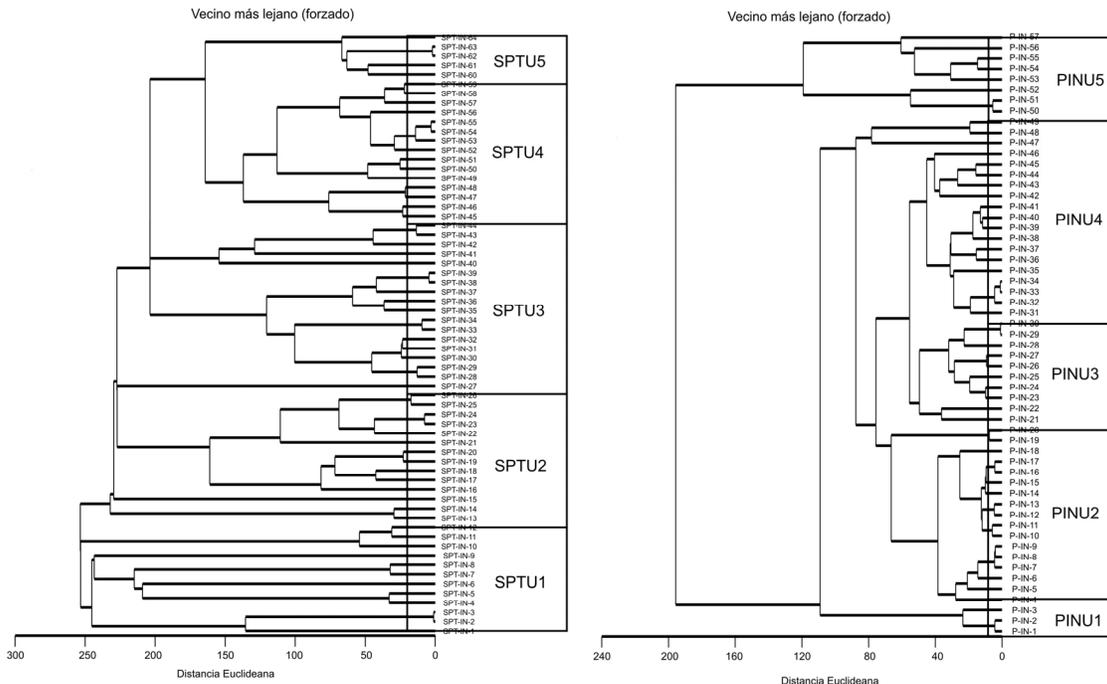


Figura 21. Dendrogramas generado empleando variables químicas para los pozos SPT-IN y P-IN, respectivamente.

b) Los Chorros (P-DS) y Sebucán (P-SB)

La 22 muestra el resultado del análisis de agrupaciones para el pozo P-DS, mostrando las unidades propuestas por el dendrograma.

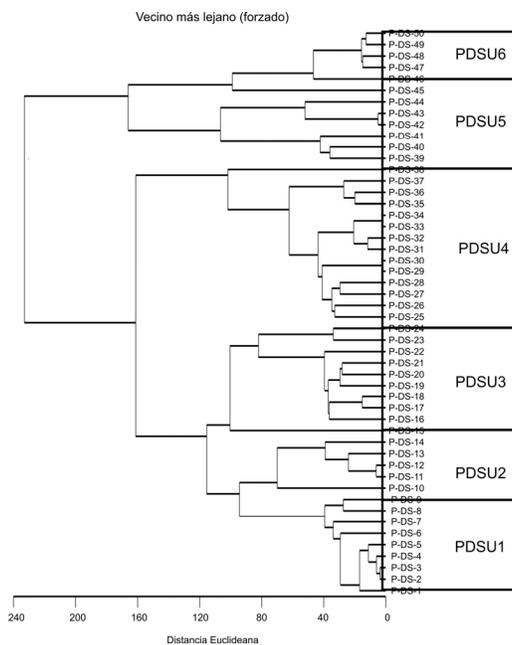


Figura 22. Dendrogramas generado empleando las variables químicas para el pozo P-DS respectivamente y sus unidades propuestas.

Al igual que P-SD se muestra (Fig. 23) el análisis de agrupaciones para el pozo P-SB y las respectivas unidades propuestas por el mismo.

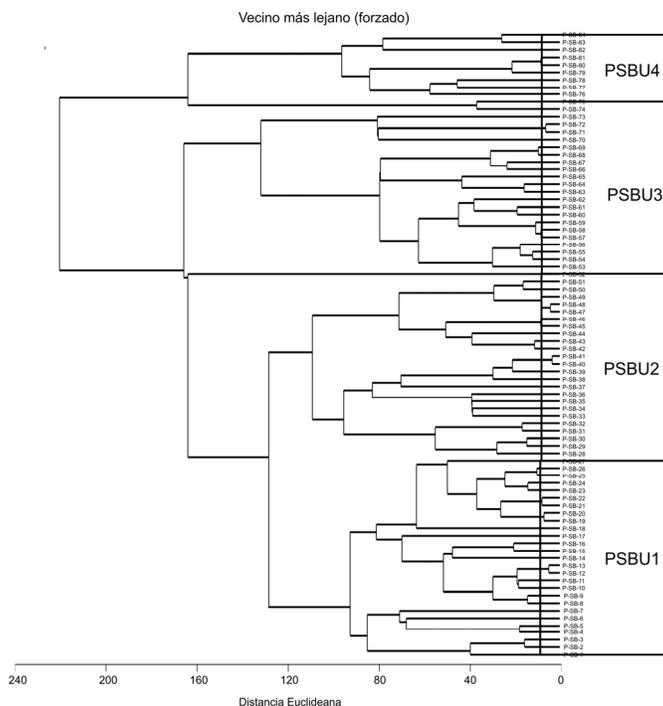


Figura 23. endrograma generado empleando las variables químicas para el pozo P-SB y las unidades respectivas.

6.2.1.2. Radiometría

a) INPARQUES (SPT-IN y P-IN)

A continuación se muestra el resultado del análisis de agrupaciones para los isótopos radiactivos (Fig. 24).

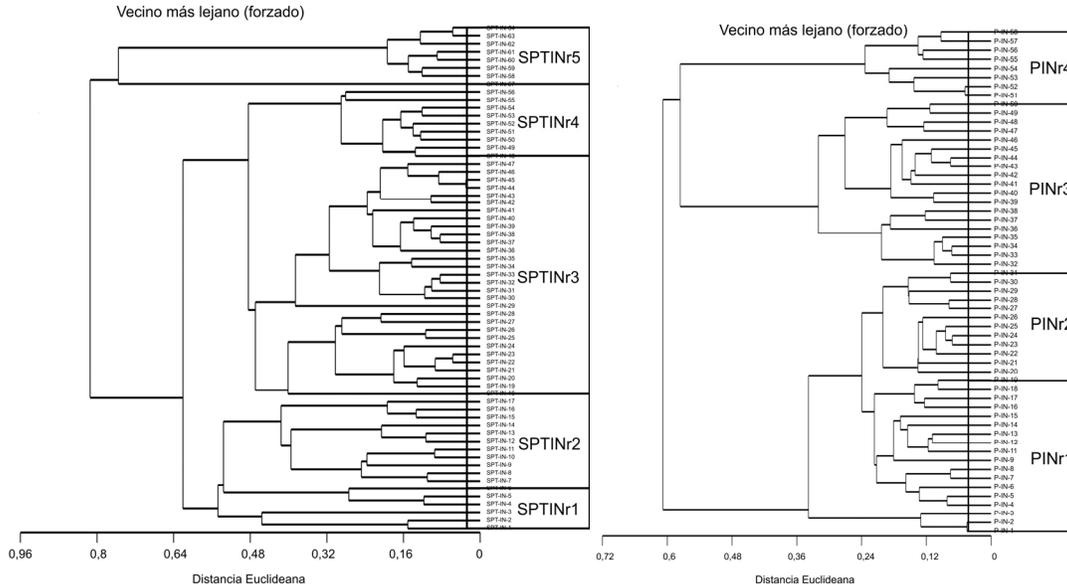


Figura 24. Dendrogramas generados empleando los isótopos inestables para el pozo SPT-IN y P-IN, respectivamente

b) Los Chorros (P-DS)

La siguiente figura (Fig. 25) presenta el dendrograma correspondiente al pozo P-IN, construido a partir de los isótopos radiactivos.

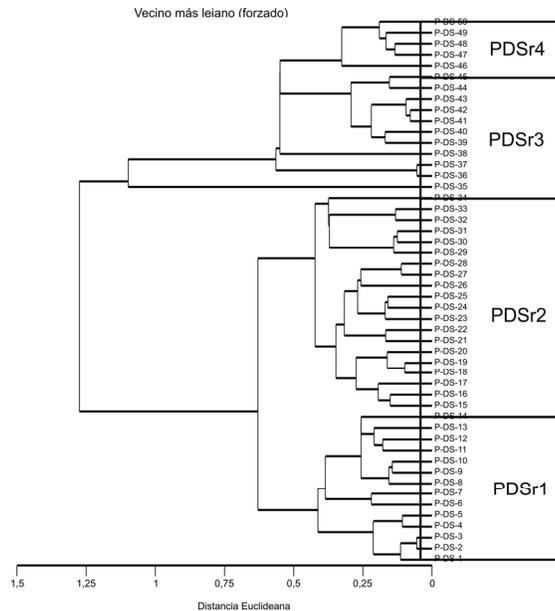


Figura 25. Dendrograma generado empleando los isótopos inestables para el pozo P-DS.

c) Sebucán (P-SB)

El análisis de agrupaciones correspondiente al pozo P-SB se muestra a continuación (Fig. 26).

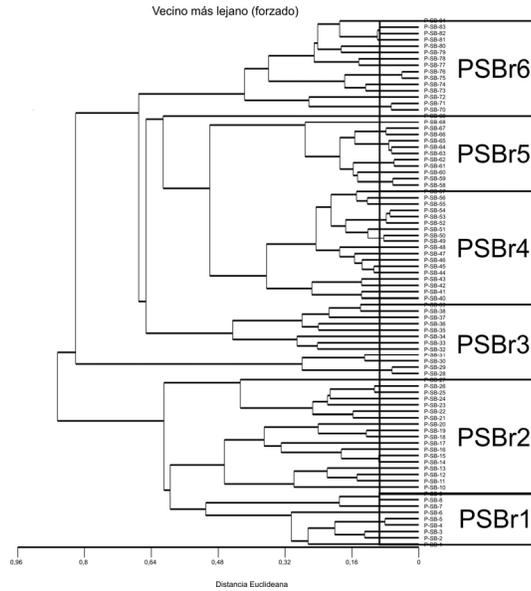


Figura 26. Unidades definidas en base al análisis de agrupaciones de P-SB.

6.2.1.3. Unidades químico-radiométricas

a) INPARQUES (P-IN)

A continuación se muestra el resultado del análisis de agrupaciones empleando las variables químicas y radiométricas (Fig. 27).

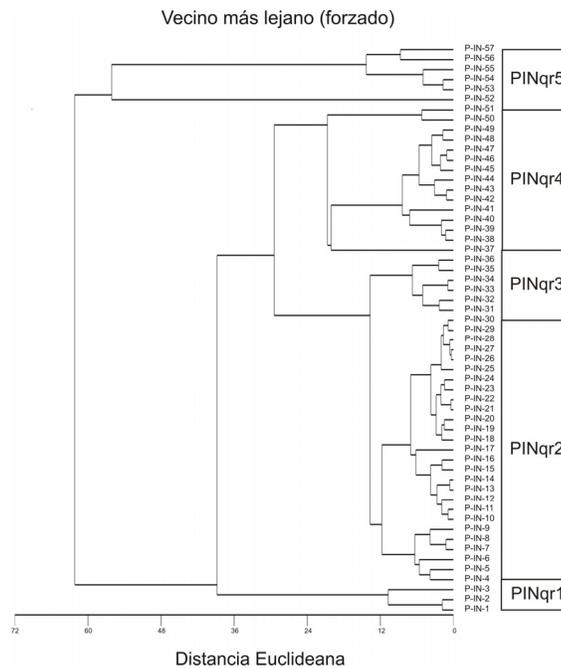


Figura 27. Unidades químico-radiométricas definidas en base al análisis de agrupaciones de P-IN.

b) Sebucán (P-SB)

El dendrograma siguiente presenta la definición de las unidades introduciendo tanto las variables químicas como radiométricas (Fig. 28).

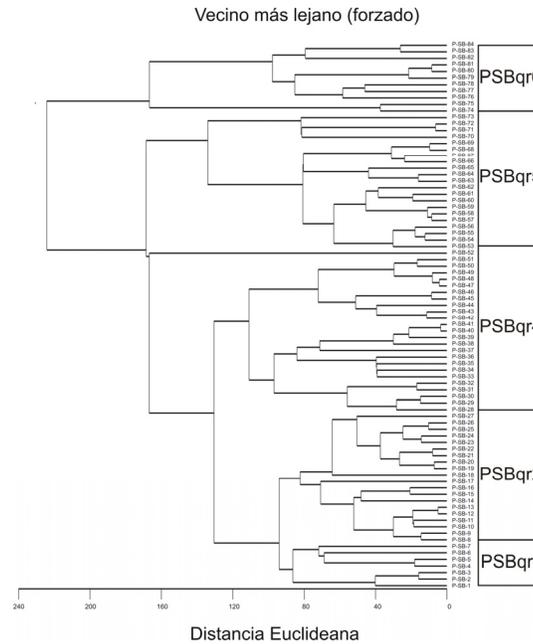


Figura 28. Unidades químico-radiométricas definidas en base al análisis de agrupaciones de P-SB.

c) Los Chorros (P-DS)

A continuación se muestra el resultado del análisis de agrupaciones empleando las variables químicas y radiométricas (Fig. 29).

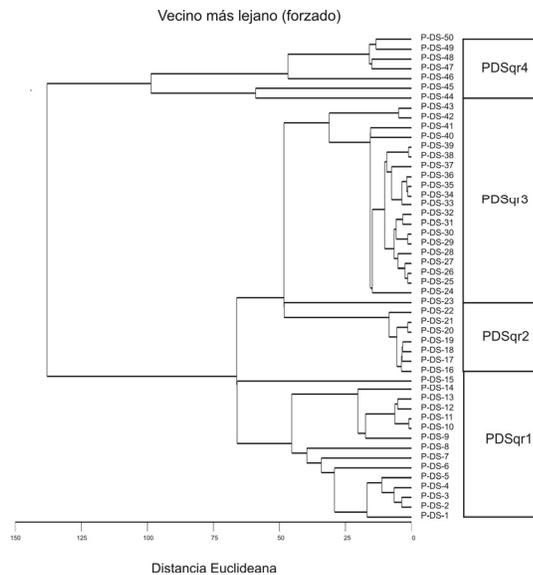


Figura 29. Unidades químico-radiométricas definidas en base al análisis de agrupaciones de P-DS.

6.2.2. Análisis de funciones discriminantes

6.2.2.1. Componentes mayoritarios

a) INPARQUES

Esta herramienta fue empleada para hallar las funciones que permitan diferenciar las unidades propuestas por el análisis de agrupaciones para cada pozo. La próxima tabla 11 contiene los coeficientes empleados para generar las funciones discriminantes a partir de los datos.

Tabla 11. Coeficientes de las funciones discriminantes empleados para la distinción de unidades en el pozo P-IN.

Variables	1	2	3	4
SiO ₂	0,0072	0,0050	-1,0680	0,0153
TiO ₂	0,2393	-1,0479	-0,2035	1,2201
Al ₂ O ₃	0,5655	-0,1718	-1,2915	-1,0157
Fe ₂ O ₃	-0,6052	0,7976	0,4685	-0,9386
MnO	-0,0883	-0,5758	0,0070	0,3445
CaO	-1,0568	0,0124	-0,5300	0,0871
K ₂ O	-0,2025	0,3275	-0,7150	0,3106
V (ppm)	-0,0922	-0,1995	0,1680	-0,2568

Igualmente, se presenta la siguiente tabla (tabla 12) que muestra la clasificación de las muestras del pozo P-IN.

Tabla 12. Tabla de clasificación de las muestras.

Unidades	Número de muestras	PINU1	PINU2	PINU3	PINU4	PINU5
PINU1	3	3 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
PINU2	17	0 (0%)	13 (76,4%)	4 (23,5%)	0 (0%)	0 (0%)
PINU3	10	0 (0%)	1 (10,0%)	8 (80,0%)	1 (0%)	0 (0%)
PINU4	19	0 (0%)	0 (0%)	2 (10,5%)	17 (89,4%)	0 (0%)
PINU5	8	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	8 (100%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados 86%

Si se grafican las funciones discriminantes 1 y 2 se obtiene el siguiente gráfico (figura 30), donde se observa la agrupación de las muestras en las unidades definidas.

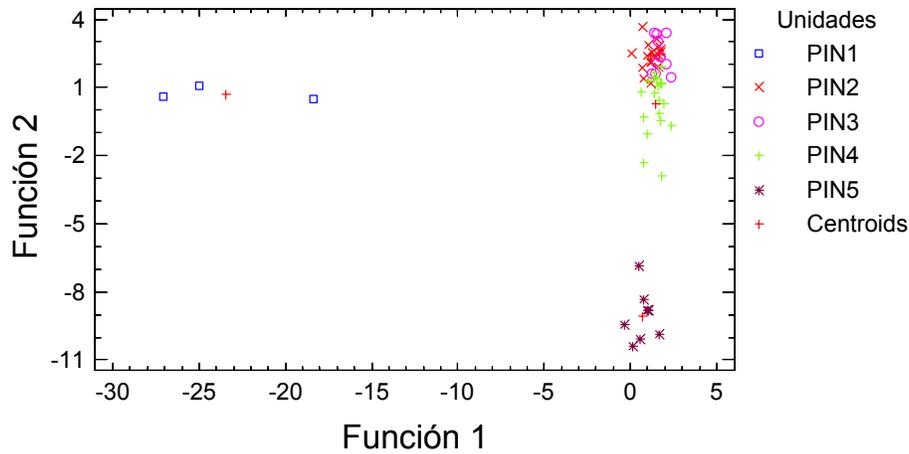


Figura 30. Gráfico de las funciones discriminantes para el pozo P-IN.

La tabla 13 contiene los coeficientes empleados para generar las funciones discriminantes a partir de los datos del pozo SPT-IN.

Tabla 13. Coeficientes de las funciones discriminantes para el pozo SPT-IN

Variables	1	2	3	4	5
SiO ₂	-1,239	-0,181	2,100	-3,376	1,799
Al ₂ O ₃	-0,571	-0,868	1,738	-1,912	0,436
CaO	0,924	-0,034	0,392	-0,537	0,352
Fe ₂ O ₃	-0,627	-0,892	1,421	-1,346	1,318
K ₂ O	0,122	-0,249	-0,350	-0,336	0,256
MnO	0,022	0,538	0,570	-0,153	-0,590
TiO ₂	-1,000	1,706	-0,494	0,109	1,683
V (ppm)	0,977	-0,756	0,088	0,444	-1,274

La clasificación de las muestras se observa en la tabla 14, donde se presenta el porcentaje de muestras correctamente clasificadas.

Tabla 14. Clasificación de las muestras del pozo SPT-IN.

Unidades	Número de muestras	SPTINU1	SPTINU2	SPTINU3	SPTINU4	SPTINU5	SPTINU6
SPTINU1	3	3 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
SPTINU2	9	0 (0%)	9 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
SPTINU3	14	0 (0%)	0 (0%)	10 (71,4%)	3 (21,4%)	0 (0%)	1 (7,14%)
SPTINU4	19	0 (0%)	1 (5,2%)	4 (21,0%)	11 (57,8%)	1 (5,2%)	2 (10,5%)
SPTINU5	12	0 (0%)	1 (8,3%)	3 (25,0%)	1 (8,3%)	7 (58,3%)	0 (0%)
SPTINU6	7	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	7 (100%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados 73,4%

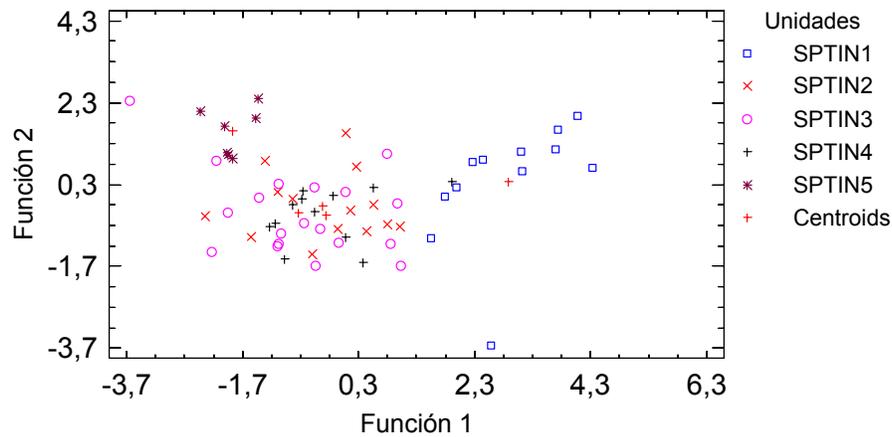


Figura 31. Gráfico de las funciones discriminantes para el pozo SPT-IN.

b) Los Chorros

A continuación se muestra el análisis de funciones dicriminantes realizado al pozo P-DS. Los coeficientes para las funciones discriminantes se presentan en la tabla 15, con el objetivo de separar las unidades propuestas por el análisis de agrupaciones.

Tabla 15. Coeficientes de las funciones discriminantes para el pozo P-DS.

Variables	1	2	3	4	5
SiO ₂	1,290	-0,224	-1,146	0,212	0,516
TiO ₂	1,646	-0,291	0,699	0,587	0,242
Al ₂ O ₃	0,390	0,861	-0,186	0,850	0,675
Fe ₂ O ₃	-0,064	0,212	-0,965	-1,046	0,380
MnO	-0,016	0,173	-0,449	-0,233	0,789
CaO	-0,238	0,158	-1,003	0,818	0,194
K ₂ O	1,177	-0,441	-0,358	-0,031	0,355
V (ppm)	-0,660	-1,244	-0,418	0,132	0,085

Tabla 16. Clasificación de las muestras del pozo P-DS.

Unidades	Número de muestras	PDSU1	PDSU2	PDSU3	PDSU4	PDSU5	PDSU6
PDSU1	7	6 (85,7%)	1 (14,3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
PDSU2	9	0 (0%)	9 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
PDSU3	8	1 (12,5%)	1 (12,5%)	5 (62,5%)	0 (0%)	1 (12,5%)	0 (0%)
PDSU4	14	0 (0%)	1 (7,14%)	1 (7,14%)	11 (78,5%)	1 (7,14%)	0 (0%)
PDSU5	7	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (14,3%)	5 (71,4%)	1 (14,2%)
PDSU6	5	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (20,0%)	4 (80,0%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados 80%

El gráfico siguiente (Fig. 32) representa la visualización de los grupos definidos por el análisis de agrupaciones.

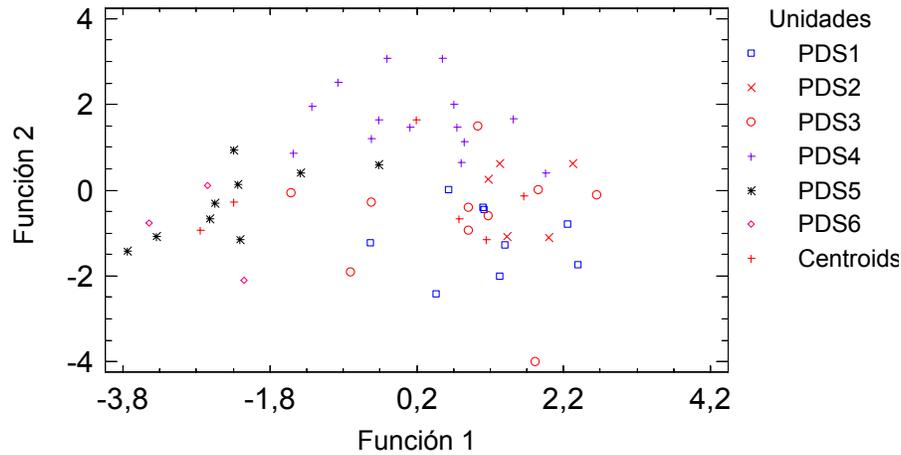


Figura 32. Gráfico de las funciones discriminantes para el pozo P-DS.

c) Sebucán

Los coeficientes de las funciones discriminantes (tabla 17) definidas para el pozo P-SB se dan a continuación. Igualmente, se muestra la clasificación de las muestras (tabla 18) en las unidades propuestas por el análisis de agrupaciones y la respectiva graficación de las funciones (Fig. 33).

Tabla 17. Coeficientes de las funciones discriminantes para el pozo P-SB.

Variables	1	2	3
SiO ₂	0,846	-0,241	-0,339
TiO ₂	0,569	1,809	-2,558
Al ₂ O ₃	-0,878	-0,245	0,217
Fe ₂ O ₃	1,261	-3,496	1,200
MnO	-0,272	0,983	1,715
CaO	0,785	0,843	-0,373
K ₂ O	-0,621	0,998	-0,633
V (ppm)	-0,156	-0,403	-0,094

Tabla 18. Clasificación de las muestras del pozo P-SB.

Unidades	Número de muestras	PSBU1	PSBU2	PSBU3	PSBU4
PSBU1	27	27 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
PSBU2	23	2 (8,7%)	19 (82,6%)	2 (8,7%)	0 (0%)
PSBU3	25	0 (0%)	3 (12%)	22 (88%)	0 (0%)
PSBU4	9	0 (0%)	0 (0%)	3 (33,3%)	6 (66,6%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 88,1%

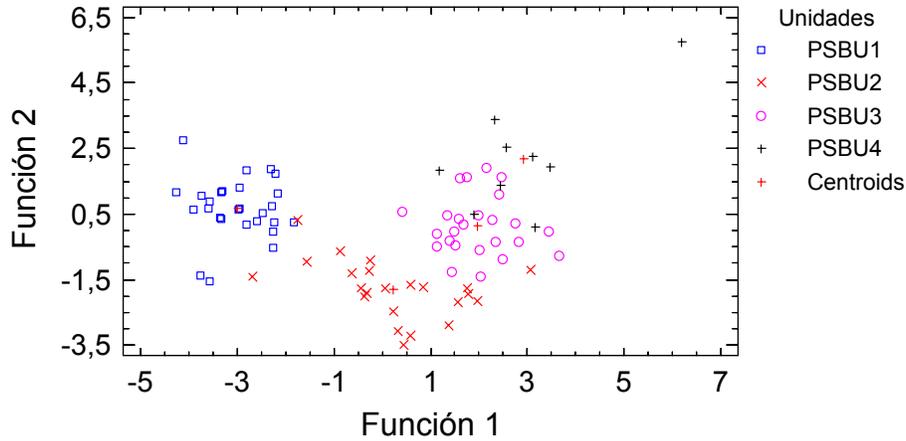


Figura 33. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-SB.

6.2.2.2. Radiometría

a) INPARQUES (SPT-IN y P-IN)

A continuación se muestra el análisis de funciones dicriminantes realizado a los pozos SPT-IN y P-IN. Con el objetivo de separar las unidades propuestas por el análisis de agrupaciones a partir de los datos de isótopos radiactivos.

Tabla 19. Coeficientes de las funciones discriminantes para el pozo SPT-IN.

Variables	1	2	3	4
214Bi	0,644	-1,744	-0,643	-0,060
212Bi	-0,517	-1,900	-0,842	-0,045
40K	0,095	-0,072	0,737	0,089
208Tl	0,149	0,576	-0,266	0,036
F1	0,375	-0,160	1,223	0,376
F2	-0,196	0,958	-1,133	-0,264
F3	-0,052	-0,022	0,608	-0,883
F4	0,018	-0,035	0,080	0,483
F5	-0,117	0,369	-0,220	0,119

Tabla 20. Clasificación de las muestras del pozo SPT-IN.

Unidades	Número de muestras	SPTINr1	SPTUNr2	SPTINr3	SPTINr4	SPTINr5
SPTINr1	6	1 (16,6%)	1 (16,6%)	2 (33,3%)	1 (16,6%)	1 (16,6%)
SPTINr2	12	2 (16,6%)	10 (83,3%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (80%)
SPTINr3	30	1 (3,33%)	2 (6,67%)	17 (56,6%)	2 (6,67%)	8 (26,6%)
SPTINr4	8	1 (12,5%)	1 (12,5%)	0 (0%)	6 (75,0%)	0 (0%)
SPTINr5	8	1 (12,5%)	0 (0%)	1 (12,5%)	0 (0%)	6 (75,0%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 62,5%

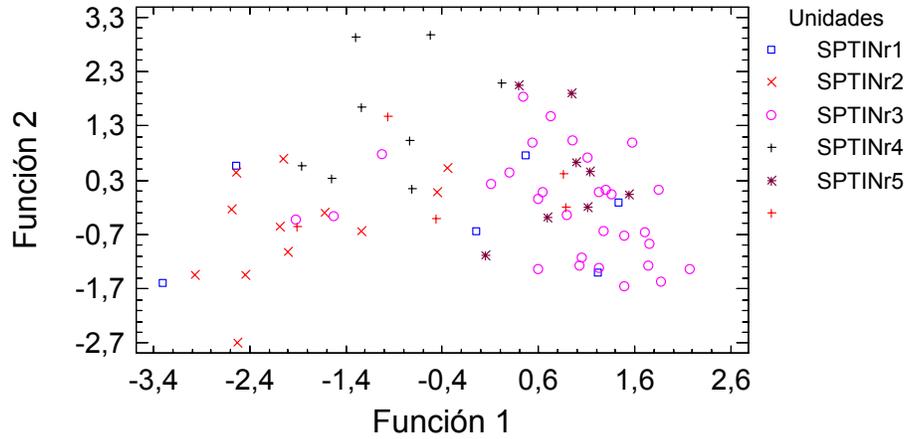


Figura 34. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo SPT-IN

Las tablas 21, 22 y la figura 34 muestran el resultado del análisis de funciones discriminantes del pozo P-IN.

Tabla 21. Coeficientes de las funciones discriminantes del pozo P-IN.

Variables	1	2	3	4
214Bi	-0,752	-0,288	0,700	0,034
212Bi	0,449	-0,289	0,894	-0,192
40K	-0,147	-0,027	-0,155	0,035
208Tl	-0,090	0,054	-0,041	-0,143
F1	0,046	-0,688	-0,295	0,561
F2	-0,061	-0,224	0,323	-0,162
F3	-0,036	0,812	-0,027	-0,022
F4	-0,078	-0,238	-0,086	-0,615
F5	0,076	0,380	0,502	0,742

Tabla 22. Clasificación de las muestras del pozo P-IN.

Unidades	Número de muestras	PINr1	PINr2	PINr3	PINr4	PINr5
PINr1	4	4	0	0	0	0
		(100%)	(0%)	(0%)	(0%)	(0%)
PINr2	14	0	10	3	0	1
		(0%)	(71,4%)	(21,4%)	(0%)	(7,1%)
PINr3	12	0	1	10	0	1
		(0%)	(8,3%)	(83,3%)	(0%)	(8,3%)
PINr4	19	1	0	0	18	0
		(5,2%)	(0%)	(0%)	(94,7%)	(0%)
PINr5	8	0	0	1	0	7
		(0%)	(0%)	(12,5%)	(0%)	(87,5%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 87,7%

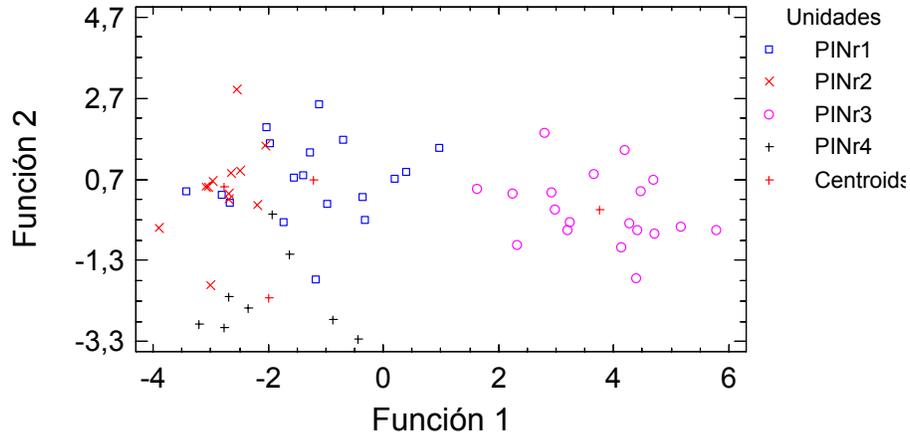


Figura 35. Gráfico de las funciones discriminantes para el pozo P-IN.

b) Los Chorros (P-DS)

Al igual que los pozos anteriores se muestra el análisis de funciones discriminantes para P-DS, donde en las tablas 23 y 24 y la figura 36 ilustran la clasificación de las muestras en a los isótopos radiactivos.

Tabla 23. Coeficientes de las funciones discriminantes del pozo P-DS.

Variables	1	2	3
214Bi	-1,122	-0,093	-0,176
212Bi	0,418	-0,314	0,278
40K	0,343	-0,171	0,582
208Tl	-0,040	0,502	0,730
F1	0,015	-0,942	-0,360
F2	-0,298	-0,388	0,191
F3	0,582	0,905	-0,740
F4	0,175	-0,209	0,322
F5	0,056	0,032	0,229

Tabla 24. Clasificación de la muestras del pozo P-DS.

Unidades	Número de muestras	PDSr1	PDSr2	PDSr3	PDSr4
PDSr1	14	12 (85,7%)	1 (7,14%)	1 (7,14%)	0 (0%)
PDSr2	19	3 (15,8%)	15 (78,9%)	1 (5,26%)	0 (0%)
PDSr3	12	1 (8,33%)	1 (8,33%)	9 (75,0%)	1 (8,33%)
PDSr4	5	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	5 (100%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 82,0%

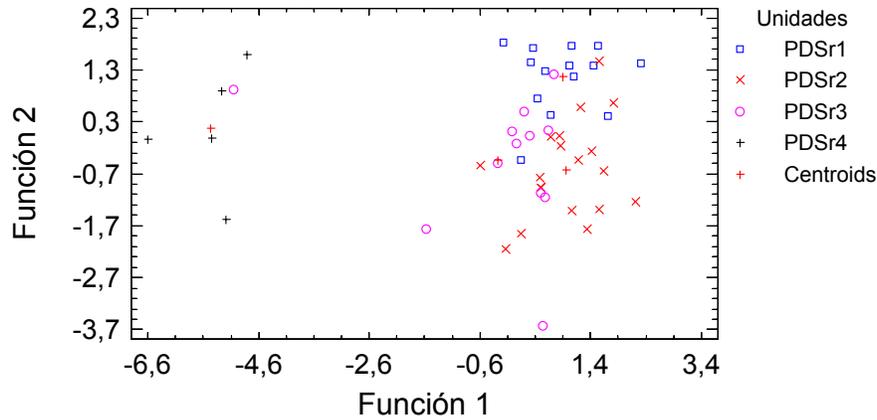


Figura 36. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-DS.

c) Sebucán (P-SB)

En el siguiente apartado se presenta el resultado del análisis de funciones discriminantes del pozo P-SB, en las tablas 25 y 26 se muestra un resumen de la clasificación de las muestras. Igualmente, se presenta un gráfico de las funciones discriminantes (Fig. 37).

Tabla 25. Coeficientes de las funciones discriminantes del pozo P-SB.

Variables	1	2	3	4	5
214Bi	-0,002	0,891	-0,098	0,179	0,267
212Bi	-0,490	-0,252	0,555	0,671	0,280
40K	-0,284	-0,522	-0,407	-0,129	0,223
208Tl	0,372	-0,165	-0,052	0,566	0,784
F1	0,972	-0,580	-0,024	-0,328	-0,051
F2	0,040	-0,063	0,543	-0,440	0,359
F3	-0,167	0,303	0,612	-0,091	0,003
F4	-0,314	0,009	-0,237	-0,551	0,417
F5	-0,213	-0,104	-0,005	-0,165	-0,255

Tabla 26. Clasificación de las muestras del pozo P-SB.

Unidades	Número de muestras	PSBr1	PSBr2	PSBr3	PSBr4	PSBr5	PSBr6
PSBr1	9	7 (77,7%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (22,2%)
PSBr2	18	1 (5,5%)	7 (38,8%)	0 (0%)	2 (11,1%)	5 (27,7%)	3 (16,6%)
PSBr3	12	0 (0%)	1 (8,3%)	11 (91,6%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
PSBr4	18	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	17 (94,4%)	0 (0%)	1 (5,5%)
PSBr5	12	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (8,3%)	11 (91,6%)	0 (0%)
PSBR6	15	1 (6,6%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	2 (13,3%)	12 (80%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 77,3%

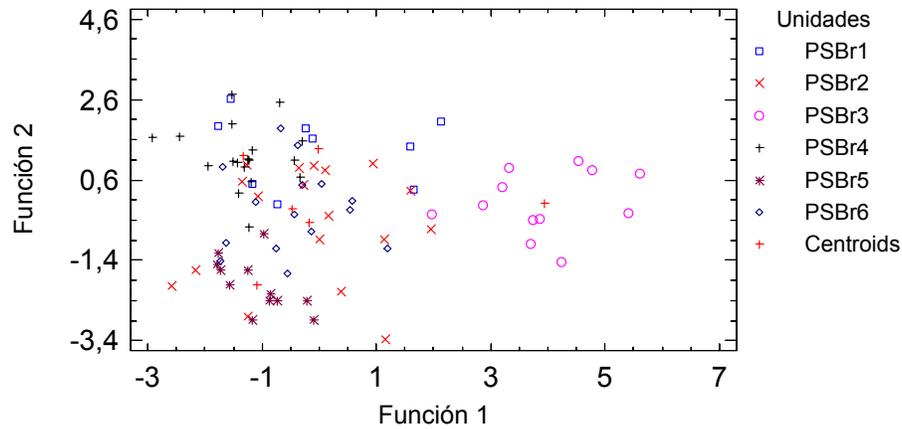


Figura 37. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-SB.

6.2.2.3. Unidades químico-radiométricas

a) INPARQUES (P-IN)

A continuación se muestra el análisis de funciones dicriminantes realizado al pozo P-IN. Con el objetivo de separar las unidades propuestas por el análisis de agrupaciones empleando las variables químicas y radiométricas.

Tabla 27. Coeficientes de las funciones discriminantes del pozo P-IN.

Variables	1	2	3	4
SiO ₂	-0,901	-0,632	0,151	-1,753
Al ₂ O ₃	-0,668	0,315	0,099	0,211
CaO	-0,152	-0,557	-0,598	-0,742
Fe ₂ O ₃	0,959	-0,717	-0,562	-1,112
K ₂ O	-0,021	0,269	0,109	-0,306
MnO	-0,267	-0,270	-0,239	-0,440
TiO ₂	-1,739	-0,371	0,614	0,093
V (ppm)	0,324	-0,098	-0,062	-0,308
²¹⁴ Bi	0,449	-0,859	0,210	-1,024
²¹² Bi	-0,271	-0,123	-0,330	-0,977
⁴⁰ K	0,165	-0,183	0,079	0,034
²⁰⁸ Tl	0,095	0,135	-0,182	-0,151
F1	0,276	0,201	-0,142	-0,332
F2	0,184	-0,229	0,073	0,007
F3	0,002	-0,029	0,009	-0,424
F4	0,068	0,227	-0,255	-0,322
F5	-0,007	0,005	0,430	0,218

Tabla 28. Clasificación de las muestras del pozo P-IN.

Unidades	Número de muestras	PINqr1	PINqr2	PINqr3	PINqr4	PINqr5
PINqr1	4	3 (75,0%)	1 (25,0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
PINqr2	25	0 (0%)	25 (100%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
PINqr3	7	0 (0%)	1 (14,3%)	6 (85,7%)	0 (0%)	0 (0%)
PINqr4	14	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	13 (92,8%)	1 (7,1%)
PINqr5	7	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	7 (100,0%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 94,7%

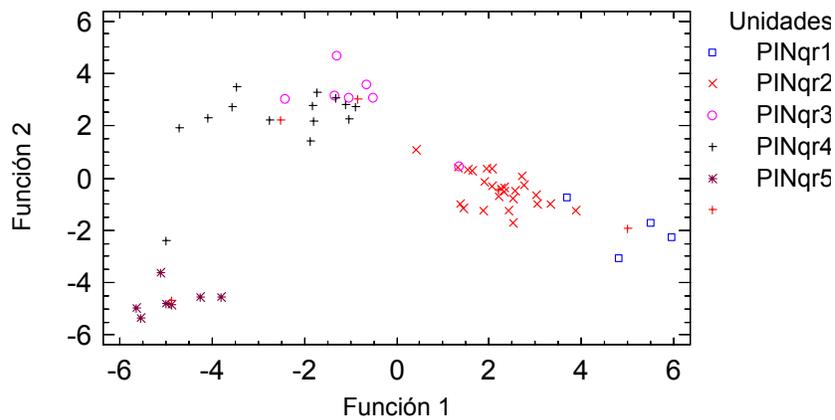


Figura 38. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-IN.

b) Sebucán (P-SB)

Se presenta el resultado del análisis de funciones discriminantes del pozo P-SB, en las tablas 29 y 30 se muestra un resumen de la clasificación de las muestras. Igualmente, se presenta un gráfico de las funciones discriminantes (Fig. 39).

Tabla 29. Coeficientes de las funciones discriminantes del pozo P-SB.

Variables	1	2	3	4
SiO2	0,729	-0,386	-0,567	1,010
TiO2	0,209	1,090	0,856	2,312
Al2O3	-0,911	-0,327	0,576	-1,011
Fe2O3	2,076	-3,123	-1,536	-0,090
MnO	-0,624	1,210	-0,167	-1,364
CaO	0,716	0,718	-0,275	0,607
K2O	-0,900	0,791	-0,172	0,893
V ppm	-0,140	0,050	0,007	0,168
214Bi	-0,143	-0,345	-0,692	0,427
212Bi	0,126	-0,298	0,612	0,172
40K	0,035	0,221	0,132	-0,164
208Tl	0,073	-0,231	0,252	-0,184
F1	0,551	-0,071	-0,036	-0,099
F2	-0,179	0,084	-0,080	0,429
F3	-0,211	-0,336	0,069	-0,168
F4	-0,496	0,181	-0,037	-0,042
F5	-0,169	0,086	0,133	0,226

Tabla 30. Clasificación de las muestras del pozo P-SB.

Unidades	Número de muestras	PSBqr1	PSBqr2	PSBqr3	PSBqr4	PSBqr5
PSBqr1	8	7 (87,5%)	1 (12,5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)
PSBqr2	20	0 (0%)	19 (95,0%)	1 (5,00%)	0 (0%)	0 (0%)
PSBqr3	25	0 (0%)	0 (0%)	23 (92,0%)	2 (8,0%)	0 (0%)
PSBqr4	21	0 (0%)	0 (0%)	2 (9,5%)	16 (76,2%)	3 (14,3%)
PSBqr5	10	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	1 (10%)	9 (90,0%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 88,1%

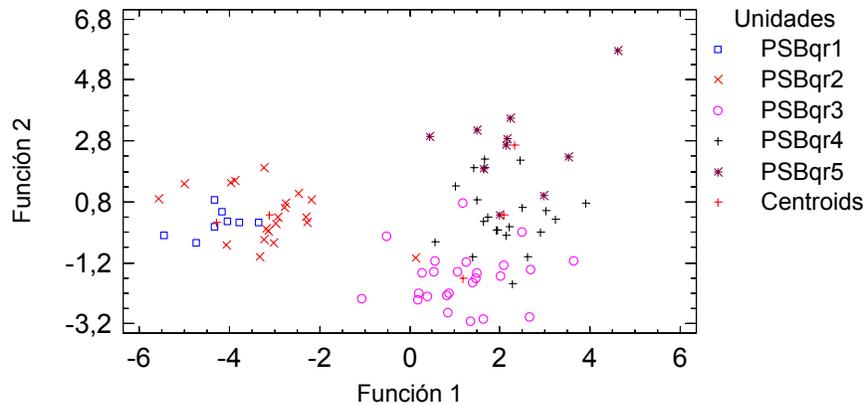


Figura 39. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-SB.

c) Los Chorros (P-DS)

Al igual que los pozos anteriores se muestra el análisis de funciones discriminantes para P-DS, donde en las tablas 31, 32 y la figura 40 ilustran la clasificación de las muestras a partir de las variables químicas y radiométricas.

Tabla 31. Coeficientes de las funciones discriminantes para el pozo P-DS

Variables	1	2	3
SiO2	1,580	1,121	0,576
Al2O3	-0,303	-0,177	-0,532
CaO	-0,750	-0,221	-0,617
Fe2O3	0,057	0,129	1,186
K2O	0,886	1,342	0,097
MnO	-0,144	0,160	0,272
TiO2	2,152	1,000	0,200
V ppm	-0,821	0,927	-0,091
214Bi	-0,802	0,399	0,312
212Bi	0,476	-0,371	0,104
40K	-0,268	-0,162	-0,524
208Tl	0,092	0,173	-0,656
F1	-0,196	-0,641	-0,265
F2	0,172	-0,563	0,032
F3	0,122	0,532	0,586
F4	0,396	0,224	0,119
F5	0,521	0,456	0,343

Tabla 32. Clasificación de las muestras del pozo P-DS.

Unidades	Número de muestras	PDSqr1	PDSqr2	PDSqr3	PDSqr4
PDSqr1	16	15 (93,7%)	0 (0%)	1 (6,2%)	0 (0%)
PDSqr2	7	0 (0%)	7 (100%)	0 (0%)	0 (0%)
PDSqr3	21	1 (4,7%)	1 (4,7%)	19 (90,5%)	0 (0%)
PDSqr4	6	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	6 (100%)

Porcentaje de casos correctamente clasificados: 94,0%

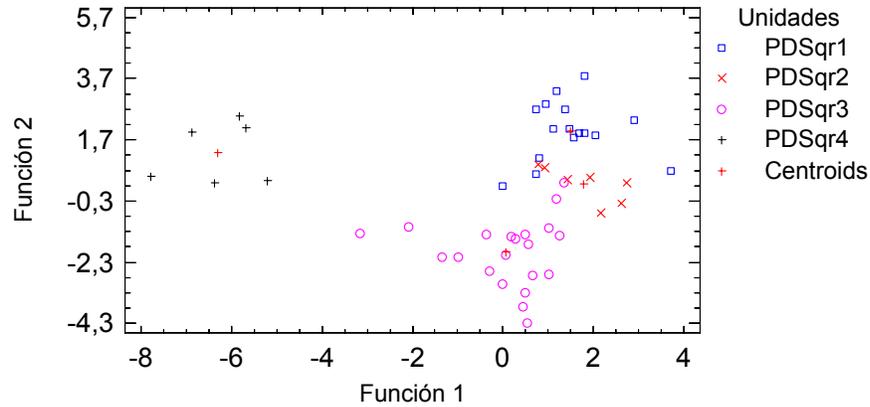


Figura 40. Gráfico de las funciones discriminantes del pozo P-DS.

6.2.2.4. Resumen del análisis de funciones discriminantes

La siguiente resume en forma tabular (Tabla 33) el resultado del análisis de funciones discriminantes para cada pozo estudiado.

Tabla 33. Resumen del análisis de funciones discriminantes para cada uno de los pozos.

Ubicación	Pozo	Nº de muestras	Unidades químicas	Porcentaje de aciertos	Unidades radiométricas	Porcentaje de aciertos	Unidades químico-radiométricas	Porcentaje de aciertos
INPARQUES	P-IN	57	5	86%	5	87,7%	5	94,7%
	SPT-IN	64	6	73,4%	5	62,5%	-	-
Sebucán	P-SB	84	4	88,1%	6	77,3%	5	88,1%
Los Chorros	P-DS	50	6	80%	4	82%	4	94%

6.3. Definición de unidades

Las unidades establecidas en los perfiles químicos y radiométricos fueron definidas en base a los criterios que a continuación se presentan:

1. Mediante el análisis de agrupaciones se definieron las unidades (químicas y/o radiométricas) manteniendo el orden estratigráfico de las muestras en los pozos.

2. Luego de establecidos los límites a través del análisis anterior, se procedió a evaluar el porcentaje de muestras correctamente clasificadas mediante el análisis de funciones discriminantes.

Posterior a esto, los límites de las unidades fueron redefinidos en los casos necesarios mediante la observación de los perfiles de abundancia químicos y radiométricos. Estos límites corresponden a marcadores de primer orden y son definidos en base a los siguientes criterios:

1. Se considera un marcador, de 1er orden, aquel caracterizado por un valor máximo o un mínimo presente en 4 o más variables, mientras que los definidos por una sola variable son definidos como 2do orden.

2. Dicho valor máximo o mínimo debe representar la culminación de una tendencia bien sea de ascenso o de descenso de una variable química o radiométrica.

Una vez establecidos los marcadores quimioestratigráficos se procedió a establecer las unidades químicas radiométricas bajo el siguiente criterio: Una unidad estará comprendida entre dos marcadores, o bien entre un marcador y la base o el tope la sección.

Dado que los análisis de agrupaciones revelan asociaciones y estructuras en la data aún cuando no sean evidentes aparentemente, en este trabajo constituyen la herramienta de mayor peso para la definición de unidades, por lo tanto tendrán más prioridad los límites y unidades definidas en base a esta herramienta que las establecidas por los perfiles de abundancia químicos y/o radiométricos. Sin embargo, es importante destacar que dichos límites y unidades no tuvieron discrepancias relevantes tomando en cuenta los tipos de perforaciones realizadas, donde los intervalos de muestreo en algunos casos sobrepasan los 4 m.

6.3.1. Definición de unidades químicas

A continuación se muestran las unidades definidas (tabla 34):

Tabla 34. Número de unidades definidas a través de los análisis multivariantes.

Pozo	Unidades químicas definidas
SPT-IN	6
P-IN	5
P-DS	6
P-SB	4

Los perfiles de distribución de los elementos químicos mayoritarios indican las variaciones geoquímicas experimentadas en los pozos 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 de concentraciones. Las figuras 41, 42, 43 y 44 presentan los perfiles correspondientes a los pozos SPT-IN, P-IN, P-DS y P-SB, respectivamente.

A la par se muestran las unidades definidas a partir de las herramientas estadísticas.

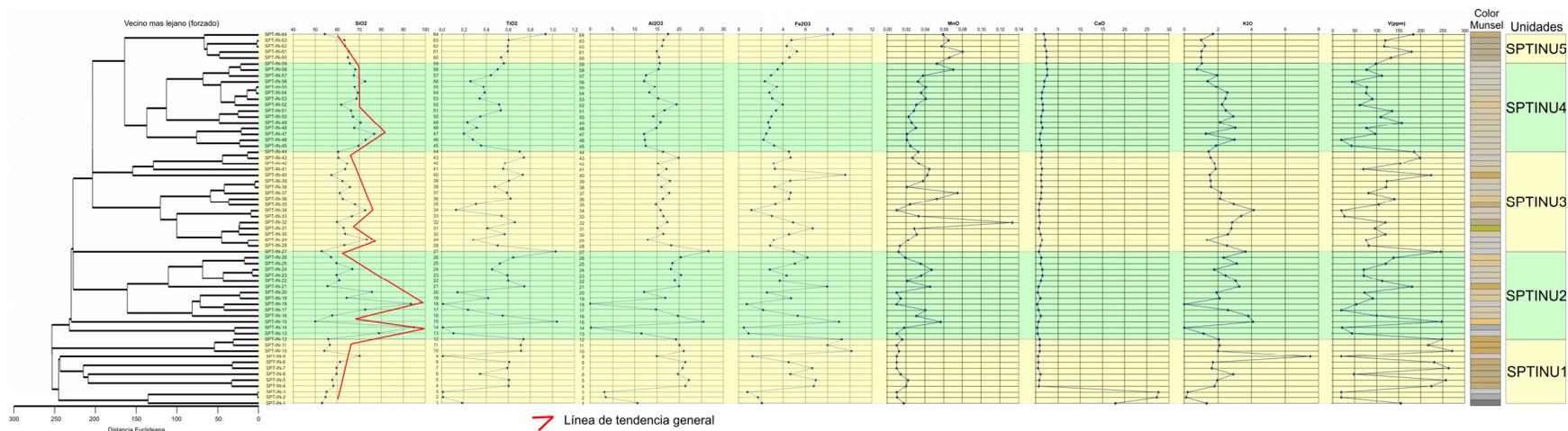


Figura 41. Perfiles químicos del pozo SPT-IN y sus respectivas unidades definidas. Igualmente se muestra una columna de colores Munsel, generados a partir de la transformación a códigos RGB.

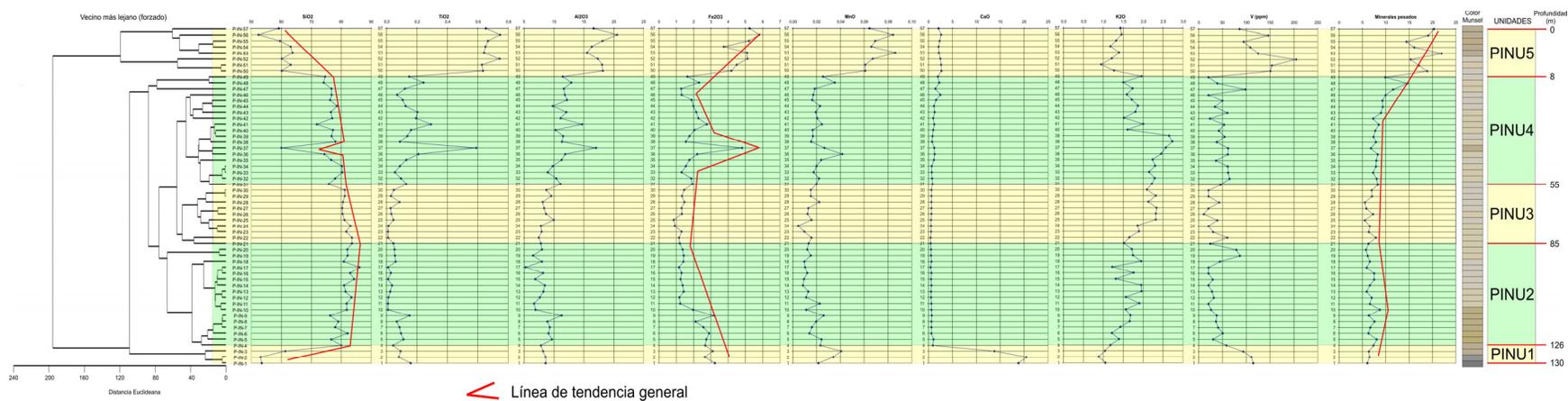


Figura 42. Perfiles químicos del pozo P-IN y sus respectivas unidades definidas. Igualmente se muestra la variación de colores Munsel, generados a partir de la transformación a códigos RGB.

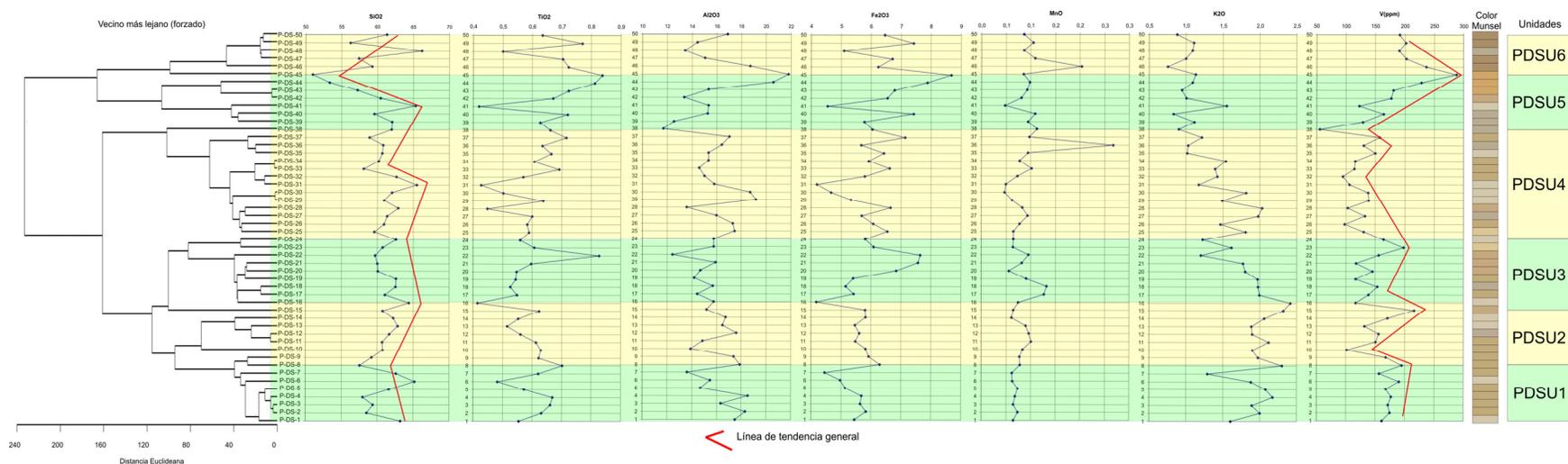


Figura 43. Perfiles químicos del pozo P-DS y sus respectivas unidades definidas. Igualmente se muestra la variación de colores Munsel, generados a partir de la transformación a códigos RGB.

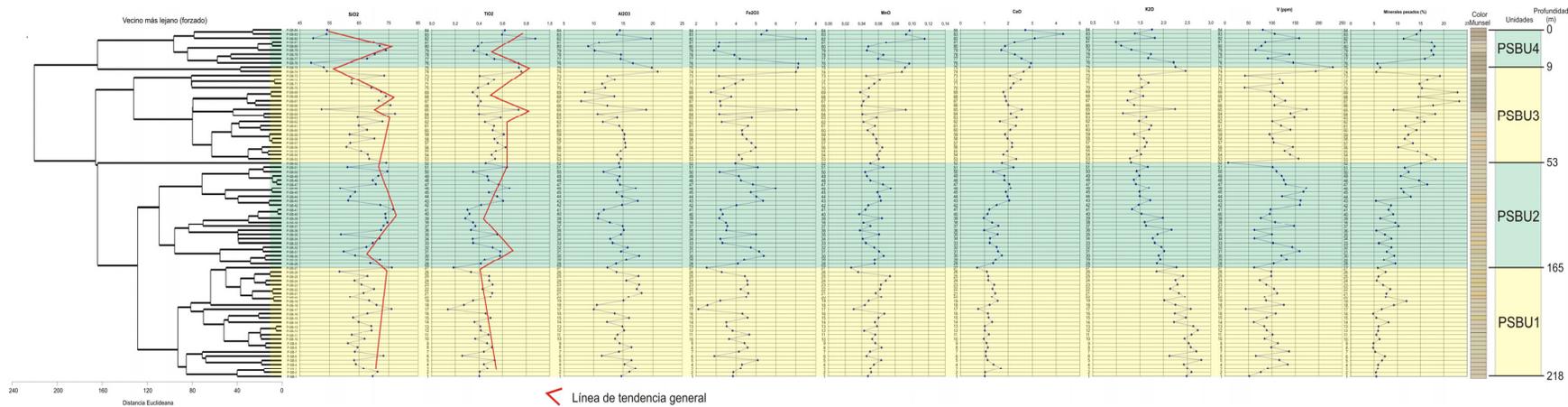


Figura 44. Perfiles químicos del pozo P-SB y sus respectivas unidades definidas. Igualmente se muestra la variación de colores Munsel, generados a partir de la transformación a códigos RGB.

6.3.2. Definición de unidades radiométricas

Del mismo modo que con los componentes mayoritarios, se definieron unidades radiométricas. A continuación se muestran los perfiles radiométricos correspondientes a los pozos SPT-IN, P-IN, P-DS y P-SB, con el objetivo de presentar las unidades y las variaciones a lo largo de los perfiles.

Las unidades propuestas por el análisis de agrupaciones se presentan en la tabla 35. De igual forma pueden observarse los perfiles de abundancia radiométricos en las figuras 45, 46, 47 y 48.

Tabla 35. Unidades radiométricas definidas.

Pozo	Unidades radiométricas definidas
SPT-IN	5
P-IN	5
P-DS	4
P-SB	6

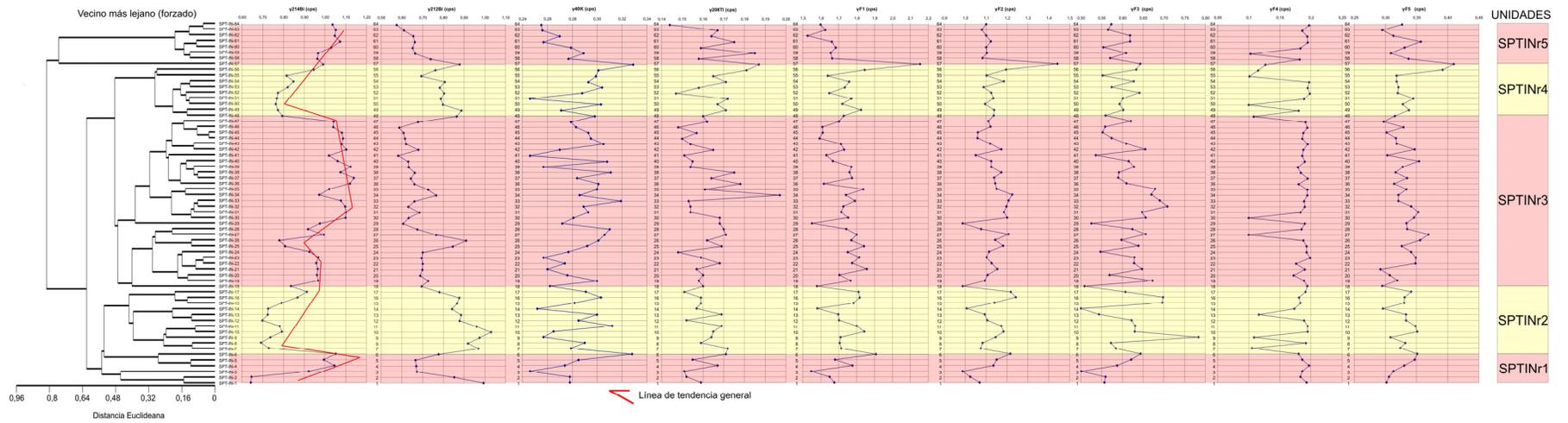


Figura 45. Perfiles radiométricos del pozo SPT-IN y sus respectivas unidades definidas.

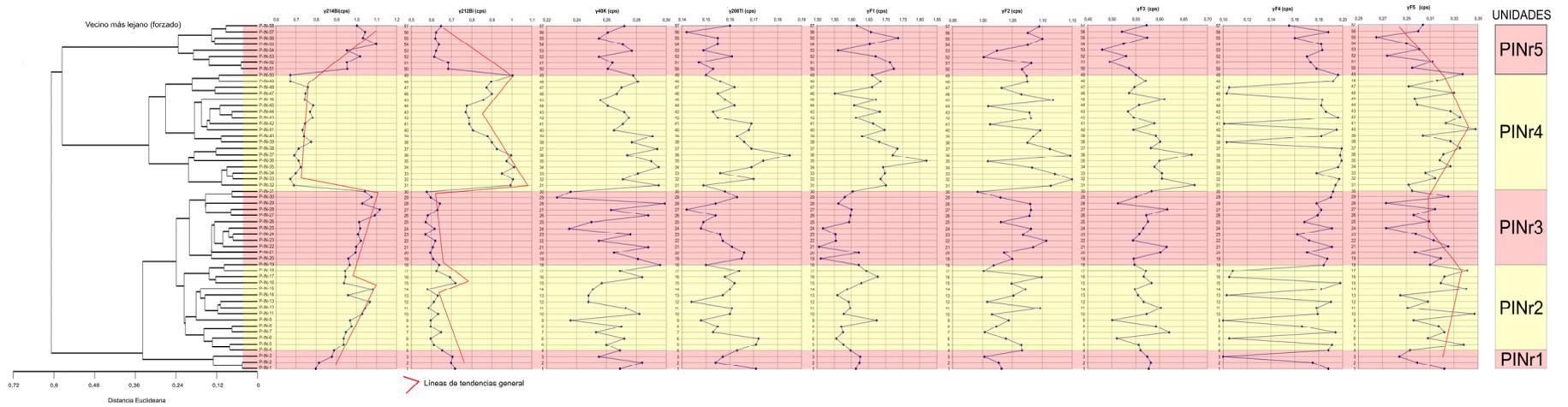


Figura 46. Perfiles radiométricos del pozo P-IN y sus respectivas unidades definidas.

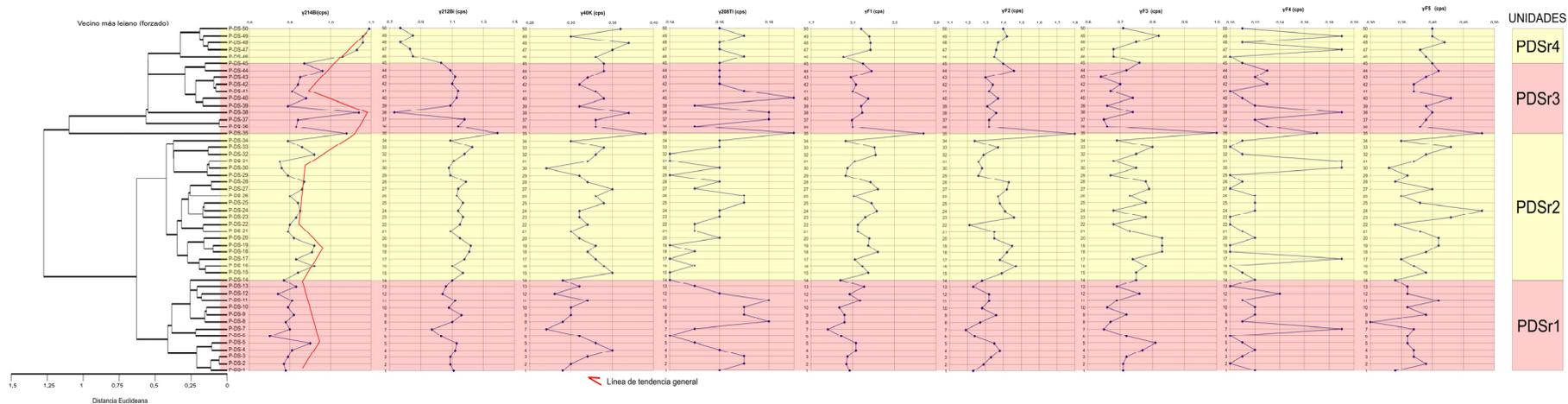


Figura 47. Perfiles radiométricos del pozo P-DS y sus respectivas unidades definidas.

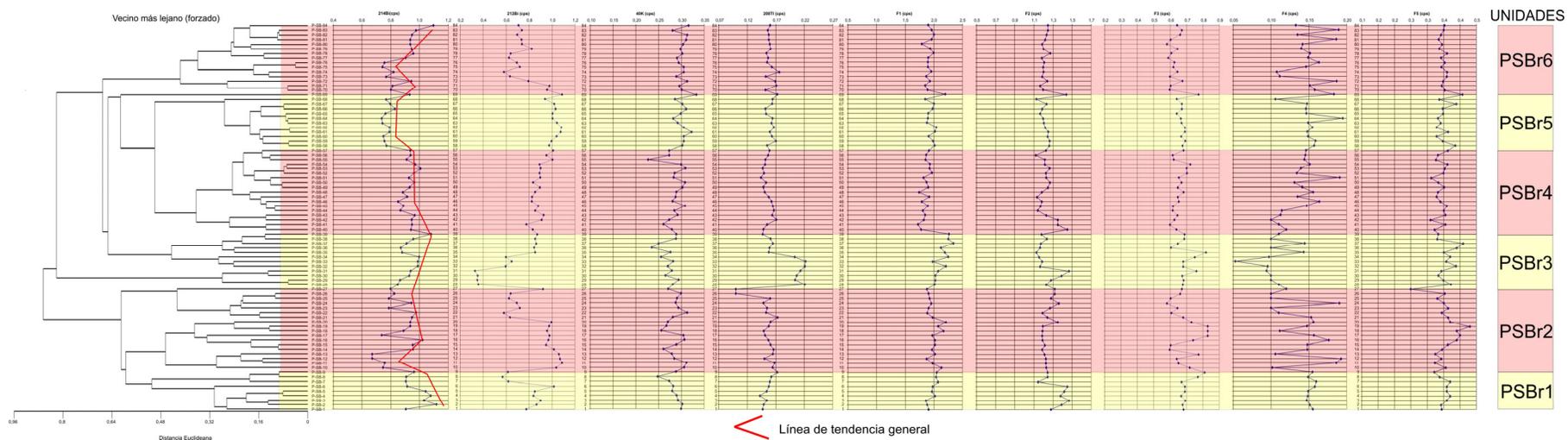


Figura 48. Perfiles radiométricos del pozo P-SB y sus respectivas unidades definidas.

6.3.3. Comparación entre unidades químicas y radiométricas

A continuación se muestra la correlación entre las unidades químicas y radiométricas definidas en cada pozo, al igual se exponen diversas razones que expliquen las diferencias existentes.

La figura 49 indica la correspondencia entre dichas unidades en el pozo P-IN. Se observa una coincidencia entre las mismas, con una variación en el límite superior de la unidad 2, sin embargo la diferencia es de dos muestras y puede considerarse despreciable tomando en cuenta el tipo de muestreo que en algunos casos se hacía en intervalos de hasta 5 m.

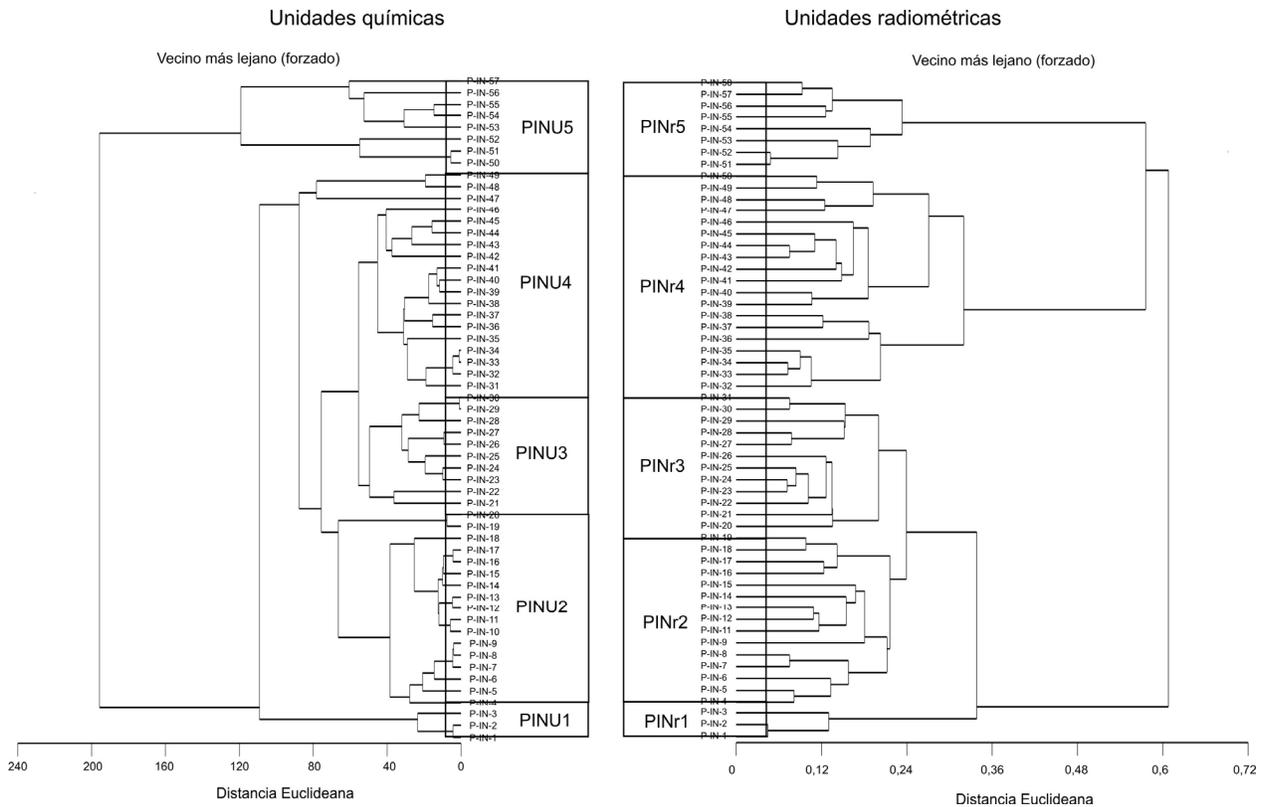


Figura 49. Comparación entre unidades químicas y radiométricas en el pozo P-IN.

A continuación se muestra la confrontación de las unidades en el pozo P-SB (Fig. 50). En ella se puede apreciar que existe una disparidad entre ambas, sin embargo es posible que esto se deba a que la espectrometría gamma registre más variaciones que los elementos mayoritarios. Aunque dos unidades radiométricas en algunos casos pueden estar incluidas en una unidad química con ciertas diferencias en los límites.

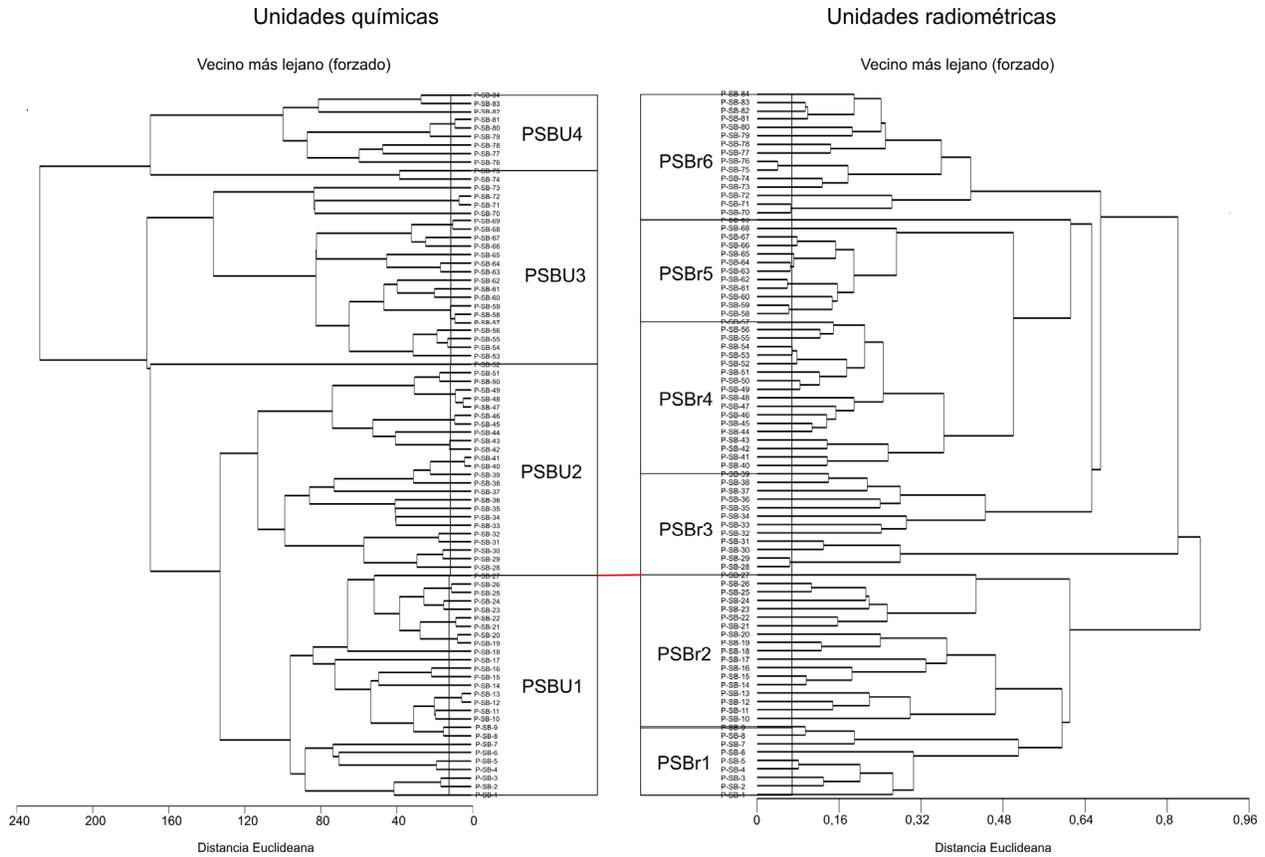


Figura 50. Comparación entre unidades químicas y radiométricas en el pozo P-SB.

En el caso del pozo P-DS la semejanza (Fig. 51) entre las unidades químicas y radiométricas es mayor. Existen más unidades radiométricas que químicas, sin embargo dos de las primeras en algunos casos están contenidas en una química. El único límite inconsistente es el inferior de la unidad PDSU5 y de la unidad PDSr3, aunque de solo tres muestras.

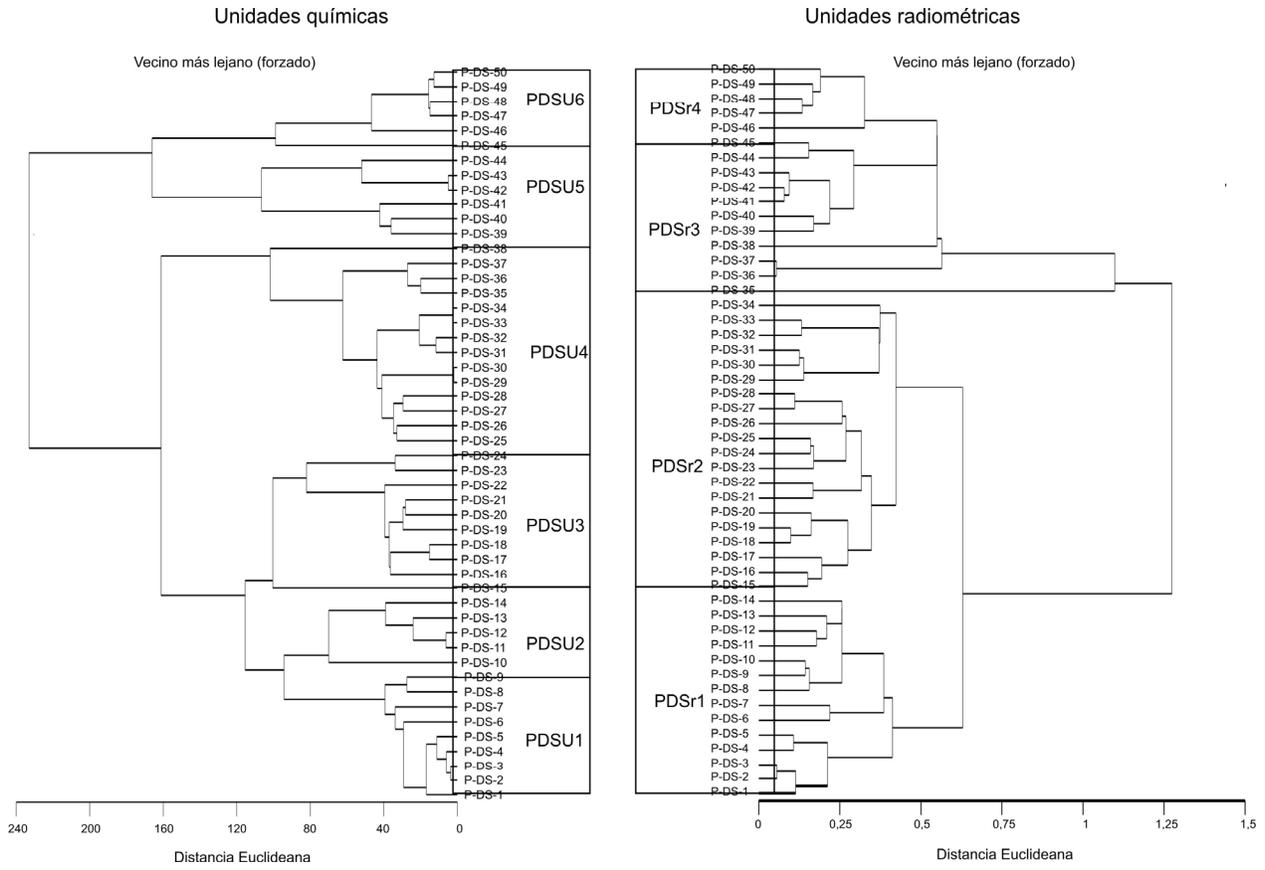


Figura 51. Comparación entre unidades químicas y radiométricas en el pozo P-DS.

6.4. Columna descriptiva del SPT-IN

A continuación se muestra la columna (Fig. 52) producto de la descripción de la muestras del SPT-IN. Se incluye la comparación entre las unidades SPT-IN y P-IN, donde existe un coincidencia a los 88 m, en el que es evidente un cambio en el tipo de material, y esta profundidad es la barrera que separa el material con alto contenido de clastos subredondeados de cuarzo, de las unidades suprayacentes caracterizadas por el dominio de una matriz limo arcillosa.

Profundidad (m)	Muestra	Representación gráfica	Descripción detallada	Unidades SPT-IN	Unidades P-IN	Observaciones
0	SPT-IN-64	[Diagrama]	Sedimento tamaño limo con arcilla, con presencia de moscovita y clorita, el material presenta zonas rojizas (óxidos) y gris.	SPTINU6	PINU5	Incremento del contenido de matriz limoso arcilloso, con la simultánea disminución del tamaño y abundancia de los granos de cuarzo y
	SPT-IN-63	[Diagrama]	Sedimento limoso-arcilloso presenta granos de cuarzo, plagioclasa alteradas y moscovita, subangulares. No se observan fragmentos de roca.			
	SPT-IN-62	[Diagrama]	Arena tamaño de grano fino con presencia de granos de cuarzo, plagioclasas alteradas y moscovita, subangulares. No se observan fragmentos de roca. Muestra muy deteizable.			
	SPT-IN-61	[Diagrama]	Arena de tamaño de grano fino con presencia de granos de cuarzo, plagioclasas alteradas y moscovita, subangulares. No se observan fragmentos de roca, muy deteizable, presenta óxidos de hierro.			
	SPT-IN-60	[Diagrama]	Mezcla de material oxidado (rojizo) con sedimento limoso de color gris. Presenta moscovita, granos de cuarzo, clorita y plagioclasa de angulares a subangulares.			
	SPT-IN-59	[Diagrama]	Sedimento de limoso, gris con granos de cuarzo angulares de hasta 0,5 cm. Tiene un menor contenido de arcillas, moscovita y plagioclasa.			
	SPT-IN-58	[Diagrama]	Sedimento limoso (sin presencia de óxidos) de color gris con granos de cuarzo angulares, moscovita y plagioclasa muy deteizable.			
	SPT-IN-57	[Diagrama]	Fragmentos de gneis plagioclásico moscovítico cuarzoso bastante meteorizados, se observan granos de plagioclasa.			
	SPT-IN-56	[Diagrama]	Fragmentos de cuarzo de hasta 3 cm, subangulares y granos de plagioclasa de 1cm, embebidos en sedimento arenoso con cuarzo, plagioclasa y moscovita de color gris.			
10	SPT-IN-55	[Diagrama]	Sedimento limoso-arcilloso color marrón con presencia de granos de cuarzo, plagioclasa alteradas y moscovita, subangulares. No se observan fragmentos de roca, muy deteizable.			
	SPT-IN-54	[Diagrama]	Sedimento limoso, con granos angulares de hasta 1mm de cuarzo plagioclasa y moscovita.			
	SPT-IN-53	[Diagrama]	Sedimento tamaño arena gruesa, con granos angulares de hasta 1mm de cuarzo plagioclasa y moscovita.			
	SPT-IN-52	[Diagrama]	Fragmentos de esquisto clorítico moscovítico, óxidos hierro, plagioclasa alterada embebida en una matriz limosa con arcilla.			
	SPT-IN-51	[Diagrama]	Fragmento de esquisto clorítico moscovítico, óxido de hierro, plagioclasa alterada embebida en una matriz limosa con arcilla.			
	SPT-IN-50	[Diagrama]	Matriz limosa con fragmentos de cuarzo, esquisto clorítico, gneis plagioclásico, angulares de 2-3 cm.			
	SPT-IN-49	[Diagrama]	Matriz limosa con fragmentos de cuarzo, esquisto clorítico, gneis plagioclásico, angulares de 2-3 cm.			
	SPT-IN-48	[Diagrama]	Sedimento limoso con fragmentos de esquisto moscovítico clorítico y plagioclasa.			
	SPT-IN-47	[Diagrama]	Sedimento limoso con fragmentos de esquisto moscovítico clorítico y plagioclasa.			
	SPT-IN-45	[Diagrama]	Sedimento arenoso con fragmentos de esquisto moscovítico clorítico y plagioclasa.			
	SPT-IN-44	[Diagrama]	Matriz arcillosa de color verde y rojo, con fragmentos angulares de cuarzo.	SPTINU4	PINU3	Zona (incluye varias unidades) donde dominan los fragmentos de gran tamaño y en algunos casos redondeados de cuarzo en una matriz limoso-arcilloso, verdo y naranjas
	SPT-IN-43	[Diagrama]	Sedimento limoso color gris con granos de cuarzo embebidos.			
	SPT-IN-42	[Diagrama]	Sedimento limoso color gris con granos de cuarzo, plagioclasa y moscovita embebidos.			
	SPT-IN-41	[Diagrama]	Sedimento de arena fina a limosa gris con mica.			
	SPT-IN-39	[Diagrama]	Sedimento limoso de color gris y rojo, con granos de cuarzo angulares de hasta 3mm embebidos.			
	SPT-IN-38	[Diagrama]	Sedimento limoso gris blanquecino con granos de cuarzo y plagioclasa de 1mm subangulares.			
	SPT-IN-37	[Diagrama]	Limo color amarillo pálido y blanco, moscovita y cuarzo de grano fino.			
	SPT-IN-36	[Diagrama]	Limo color amarillo pálido y naranja con fragmentos angulares de cuarzo y esquisto plagioclásico-moscovítico con tamaño menor a 1/2 cm.			
	SPT-IN-35	[Diagrama]	Fragmentos de gneis cuarzo plagioclásico y esquisto moscovítico clorítico angulares de 1/2 cm, fragmentos de actinolia de 1mm, embebidos en una matriz limosa de color naranja claro.			
	SPT-IN-34	[Diagrama]	Fragmentos de gneis cuarzo plagioclásico y cuarzo de 1/2 cm angulares, embebidos en una matriz de limo marrón claro con moscovita.			
	SPT-IN-33	[Diagrama]	Fragmentos de gneis cuarzo plagioclásico moscovítico clorítico angulares de 2cm, alterados, embebidos en una matriz arenosa marrón rojizo.	SPTINU3	PINU2	Zona (incluye varias unidades) donde dominan los fragmentos de gran tamaño y en algunos casos redondeados de cuarzo en una matriz limoso-arcilloso, verdo y naranjas
	SPT-IN-32	[Diagrama]	Limo gris claro con fragmentos de plagioclasa y cuarzo de 1mm + moscovita.			
	SPT-IN-31	[Diagrama]	Fragmentos de cuarzo y gneis cuarzo plagioclásico micaeo 1/2 cm angulares embebidos en Limo anaranjado + moscovita.			
	SPT-IN-30	[Diagrama]	Costras de óxido de hierro de 1mm de diámetro, fragmentos de cuarzo y gneis de cuarzo plagioclásico moscovítico angulares 1/2mm embebidos en una matriz de color gris claro que domina.			
	SPT-IN-28	[Diagrama]	Limo blanco con fragmentos de cuarzo de 1mm y moscovita. Con limo amarillo con intercalaciones anaranjadas.			
	SPT-IN-27	[Diagrama]	Arcilla, intercalación gris oscuro y blanco con raíces.			
	SPT-IN-25	[Diagrama]	Limo naranja claro con bandas blancas.			
	SPT-IN-24	[Diagrama]	Fragmentos de cuarzo de 3cm de diámetro, redondeados, embebidos en matriz de limo blanco con moscovita.			
	SPT-IN-23	[Diagrama]	Fragmentos de esquisto cuarzo-plagioclásico-moscovítico de 1,2,3 cm, fragmentos angulares de cuarzo de 1/2 cm embebido en un matriz de limo arenoso blanco.			
	SPT-IN-22	[Diagrama]	Limo blanco gris con fragmentos angulares de cuarzo de 3mm.			
	SPT-IN-21	[Diagrama]	Limo naranja rojizo con lentes blancas.	SPTINU2	PINU1	Zona (incluye varias unidades) donde dominan los fragmentos de gran tamaño y en algunos casos redondeados de cuarzo en una matriz limoso-arcilloso, verdo y naranjas
	SPT-IN-20	[Diagrama]	Fragmentos de gneis cuarzo plagioclásico moscovítico de 3cm.			
	SPT-IN-19	[Diagrama]	Fragmentos de cuarzo redondeados de 1 hasta 1/2 cm de diámetro, y angulares de menos de 1/2 cm. Fragmentos de gneis cuarzo plagioclásico moscovítico de 1cm, más moscovita y clorita.			
88	SPT-IN-18	[Diagrama]	Fragmentos subredondeados de cuarzo de 2cm de diámetro.			
	SPT-IN-16	[Diagrama]	Limo amarillo-naranja.			
	SPT-IN-15	[Diagrama]	Limo naranja con lentes gris claro y fragmentos de cuarzo angulares de menos de 3mm.			
	SPT-IN-14	[Diagrama]	Fragmentos de cuarzo lechoso angulares de 2cm, sub angulares de 2,5 cm de diámetro, fragmento del tamaño del núcleo. Muestra sin matriz.			
	SPT-IN-13	[Diagrama]	Fragmentos de cuarzo de 1/2 a 1,5 cm, angulares y lechosos con fragmento de posible veta de cuarzo sin matriz.			
	SPT-IN-12	[Diagrama]	Limo verde claro.			
	SPT-IN-11	[Diagrama]	Fragmentos de gneis cuarzo moscovítico clorítico, de 3 y 2 cm en matriz limosa naranja y verde.			
	SPT-IN-10	[Diagrama]	Limo verde con fragmentos de cuarzo de 1/2 cm.	SPTINU1	PINU1	Zona (incluye varias unidades) donde dominan los fragmentos de gran tamaño y en algunos casos redondeados de cuarzo en una matriz limoso-arcilloso, verdo y naranjas
	SPT-IN-9	[Diagrama]	Gneis cuarzo plagioclásico (sin matriz, posible gran fragmento).			
	SPT-IN-8	[Diagrama]	Material heterogeneo. Matriz limo arenosa marrón con fragmentos de cuarzo angulares cristalinos y lechoso (1/2cm) y fragmentos menos abundantes de esquisto plagioclásico cuarzoso de 3mm.			
	SPT-IN-7	[Diagrama]	Transición de dos materiales: 1) Material heterogeneo marrón con fragmentos de cuarzo angulares y raíces. 2) Intercalación de limo blanco y naranja con fragmentos de cuarzo angulares que varía de 2 mm a 2 cm.			
	SPT-IN-6	[Diagrama]	Fragmentos de cuarzo y gneis plagioclásico moscovítico embebidos en matriz de limo arenoso de color verde.			
	SPT-IN-5	[Diagrama]	Fragmentos de cuarzo y esquisto moscovítico clorítico y gneis cuarzo plagioclásico, tamaño menor a 1/2 cm. Embebidos en matriz de color naranja.			
	SPT-IN-4	[Diagrama]	Fragmentos de cuarzo lechoso angulares, clorita, embebidos en una matriz de limo verde.			
	SPT-IN-3	[Diagrama]	Todo el núcleo corresponde con un fragmento de gneis cuarzo plagioclásico con fragmentos angulares de cuarzo lechoso.			
133	SPT-IN-1	[Diagrama]	Esquisto cuarzo-grafítico, fragmentos de esquisto grafítico.			

Figura 52. Columna descriptiva del SPT-IN (para mayor detalle consultar el anexo 3).

7. DISCUSIÓN E INTERPRETACIONES GENERALES

7.1 COMPARACIÓN ENTRE POZOS

Los diagramas de caja permiten apreciar la tendencia de la composición elemental entre pozos, relacionada con la posición geográfica de los mismos respecto a las facies del abanico aluvial del río Tócome, principalmente y en menor grado el abanico de la qda. Chacaíto. En primera instancia se puede observar que casi todos los diagramas de los pozos perforados en base a bentonita poseen una tendencia de aumento o disminución en relación a la ubicación del pozo (Fig. 53), de zona distal a proximal o viceversa.

Estos diagramas para componentes como TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO , V y algunos isótopos como ^{212}Bi y ^{40}K , tienen una tendencia de aumento hacia los pozos ubicados en la facies media y proximal. Si se asocian estos elementos a minerales ferromagnesianos como anfíboles, clorita y epidoto, este incremento se puede relacionar con el hecho de que en dichas zonas se acumulan cantidades de fragmentos de rocas de gran tamaño con estas mineralogías (pertenecientes al Complejo San Julián) y que no pueden ser transportados hacia zonas más lejanas.

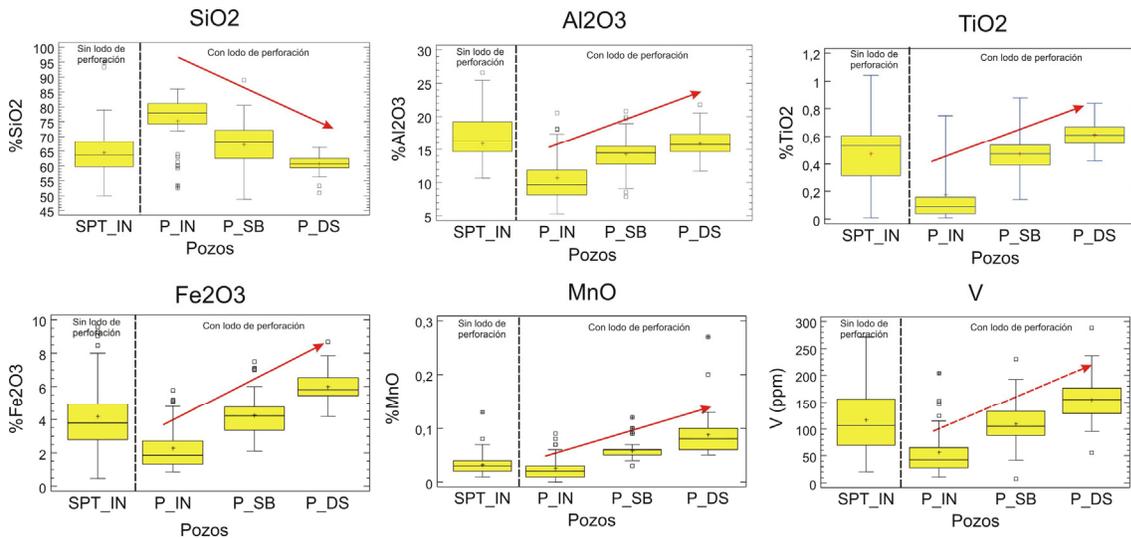


Figura 53. Tendencias de los elementos mayoritarios en función de la posición de los pozos en el abanico, donde se observa un aumento de elementos asociados posiblemente a fragmentos de rocas anfíbólicas hacia la zona proximal-media.

Esto es evidente en la descripción mineralógica de la fracción grava, donde en el pozo P-DS hay presencia de rocas anfíbólicas, esquisto clorítico y en menor grado óxidos de Fe y posiblemente de Mn. Al contrario, en el pozo P-IN están ausentes estos fragmentos líticos donde abundan esquisto moscovítico, gneis plagioclásico, y en algunos casos mármol (Fig. 54).

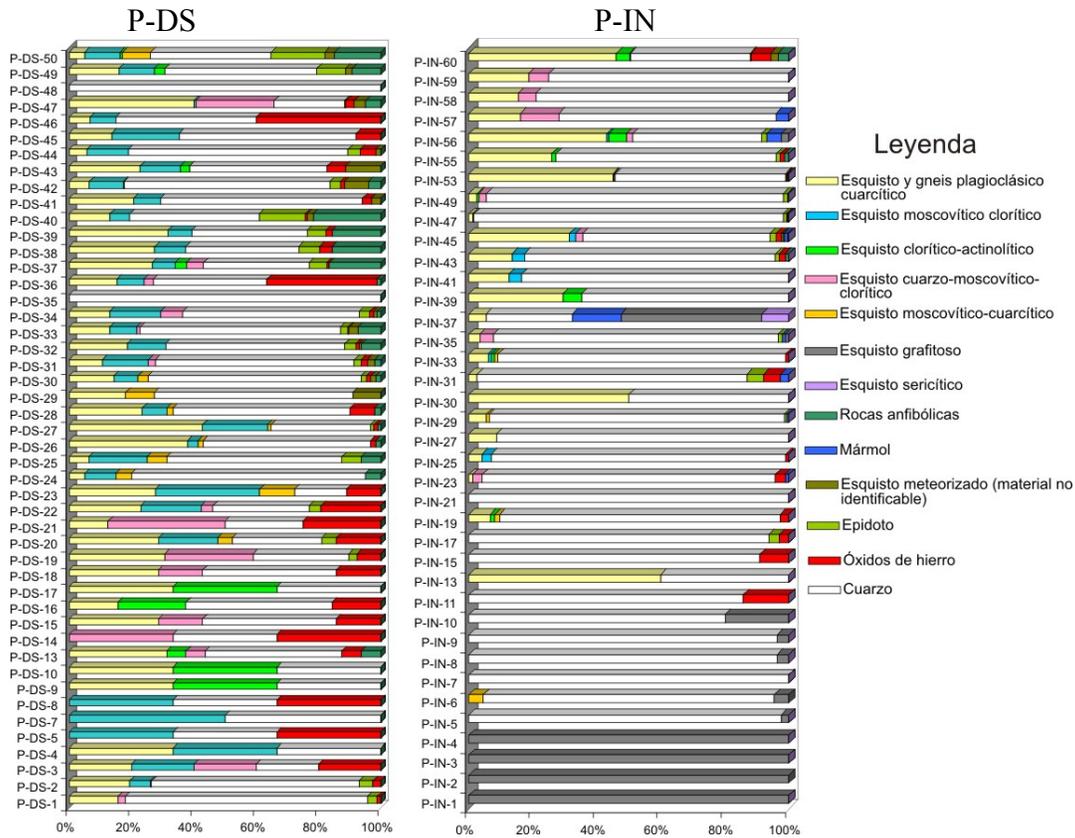


Figura 54. Gráficos de barras correspondientes a la descripción mineralógica de los pozos P-DS y P-IN, donde se observa la ausencia de rocas anfibólicas en INPARQUES y que justifican el mayor contenido de Fe_2O_3 , MnO y V en el pozo P-DS (Los Chorros)

El diagrama de caja de la sílice refleja un incremento en este elemento en la facies distal.

Asociando este elemento al cuarzo, el incremento de éste en la zona distal puede estar vinculado a un proceso de adición de material de origen fluvial en los sedimentos de las zonas marginales de la parte distal del abanico, como consecuencia del tránsito del río Guaire o río principal que drena la cuenca transversalmente a la dirección de los depósitos de los abanicos aluviales formados al pie del Ávila por las Qda. Chacaíto y Tócome. En consecuencia estas tendencias corresponden a un incremento relativo de SiO_2 , consecuente con una disminución de los porcentajes de Al_2O_3 asociado a los minerales de arcilla en la zona distal del abanico aluvial.

Es importante mencionar que el pozo SPT-IN en la mayoría de los diagramas no mantiene la tendencia general. Esto se puede atribuir a la naturaleza del pozo, en cuyas muestras no está involucrada la bentonita o lodo de perforación, material que influye químicamente. Por lo tanto la composición química de las muestras de éste pozo son un reflejo totalmente directo del tipo de material recolectado, contrario a los otros que son una especie de aproximación o promedio del sedimento perforado (P-IN, P-SB y P-DS).

7.2. DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE LAS UNIDADES QUÍMICAS

7.2.1. Interpretación de las unidades definidas en SPT-IN

Una de las características que distingue las muestras del SPT, de las del pozo geofísico usadas para los análisis químicos es, no solo, el empleo de la bentonita en las segundas, si no la más precisa técnica de muestreo de las primeras.

El grado de perturbación de las muestras del SPT, lejos de la compactación por el proceso de percusión durante la extracción de la misma, es casi nulo. Es por esto que la precisión de la profundidad de la muestra obtenida por este método en INPARQUES es mayor respecto a otras, y al mismo tiempo esta es una representación puntual del sedimento, mientras que las muestras que contienen bentonita del pozo P-IN constituyen un promedio perturbado de la composición de los sedimentos en profundidad.

Es por esta razón que se pueden observar tendencias promedio de elementos por unidad en P-IN, sin embargo en el SPT-IN, la composición refleja una característica puntual de cada muestra.

Incluso existe otra variable que puede estar involucrada en la no correspondencia directa entre SPT-IN y P-IN, y se relaciona con el tipo de material. El material perforado en el valle de Caracas es heterométrico, es decir, existe poca escogencia en el tamaño de los clastos, por lo tanto si el tamaño de un clasto supera el radio de la cuchara del SPT, éste tomará una muestra bastante puntual que no corresponde con las características del material en general a esa profundidad. Caso contrario para un clasto del mismo tamaño, la perforación con mecha (P-IN) trituraría totalmente el mismo, incluso la muestra de canal (ripio) que va a la superficie se llevará consigo también parte del material adyacente al clasto, teniendo como resultado una representación algo más amplia, aunque contaminada con bentonita.

7.2.2. Interpretación de las unidades definidas en P-IN

Los porcentajes de Al_2O_3 y SiO_2 tienen una marcada tendencia de concentración en bloques por unidad, es decir los valores medios son distintos. Los valores máximos y mínimos de concentración elemental por unidad, fungen como límites entre las que varía los porcentajes de cada elemento. Estos límites son escalones (Fig. 55) de ascenso para el SiO_2 y de descenso para el Al_2O_3 , los elementos asociados a la fase mineral arcillosa (Fe_2O_3 , MnO , V y el TiO_2).

➤ Unidad PINU1

Esta unidad tiene un espesor de 4 m y esta definida desde la base de la perforación hasta el marcador de primer orden de la muestra a 126 m. La unidad presenta los más altos porcentajes de CaO respecto a las unidades suprayacentes, valores asociados a los fragmentos líticos descritos en una muestra equivalente a la misma profundidad en la correspondiente perforación SPT-IN constituida fundamentalmente por un esquistos cuarzo grafitoso con vetas de calcita.

Los contenidos de SiO₂ (52% en promedio), Al₂O₃ (8% aprox.) y el grafito reportado por la difracción de muestras de esta unidad hacen corresponder esta composición química con la litología identificada como basamento (Esquistos de Las Mercedes).

➤ Unidades PINU2 y PINU3

Esta unidad tiene SiO₂ entre 80-85%, TiO₂ de 0% a 0,2% y Al₂O₃ con abundancia entre 8-10%, estos límites inferiores y superiores respectivamente constituyen los límites máximos o mínimos que definen la concentración de dichos elementos en esta unidad y la diferencia de las unidades suprayacentes e infrayacentes (Fig. 55).



Figura 55. Tendencias generales de las curvas de abundancia químicas de P-IN. Observe la tendencia en escalones de dichas curvas que representan cambios en el material involucrado por unidad.

Es posible que la influencia de un drenaje como el río Guaire haya subordinado la respuesta química de las muestras a los cambios de facies o material dentro del perfil transversal de su cauce.

La parte más basal esta influenciada por la mineralogía y las texturas características de la zona central del canal, es decir, existió una adición de sedimentos propios del río Guaire con un

relativo enriquecimiento de cuarzo como consecuencia de un grano selección ante la hidrodinámica del medio.

Una progresiva migración del río hacia el sur del valle, incrementa la influencia de los minerales y partículas tamaño arcilla asociados a las áreas marginales del canal principal, y como resultado en el perfil de la perforación genera zonas de interdigitación, donde coexisten sedimentos finos acarreados por el río y los transportados por las quebradas provenientes del Ávila, como el río Tócome hasta la zona distal del abanico.

A continuación el diagrama muestra como a medida que agrandan los depósitos de la cuenca, la influencia de los sedimentos fluviales se pierde a medida que se llega a la superficie (Fig. 56).

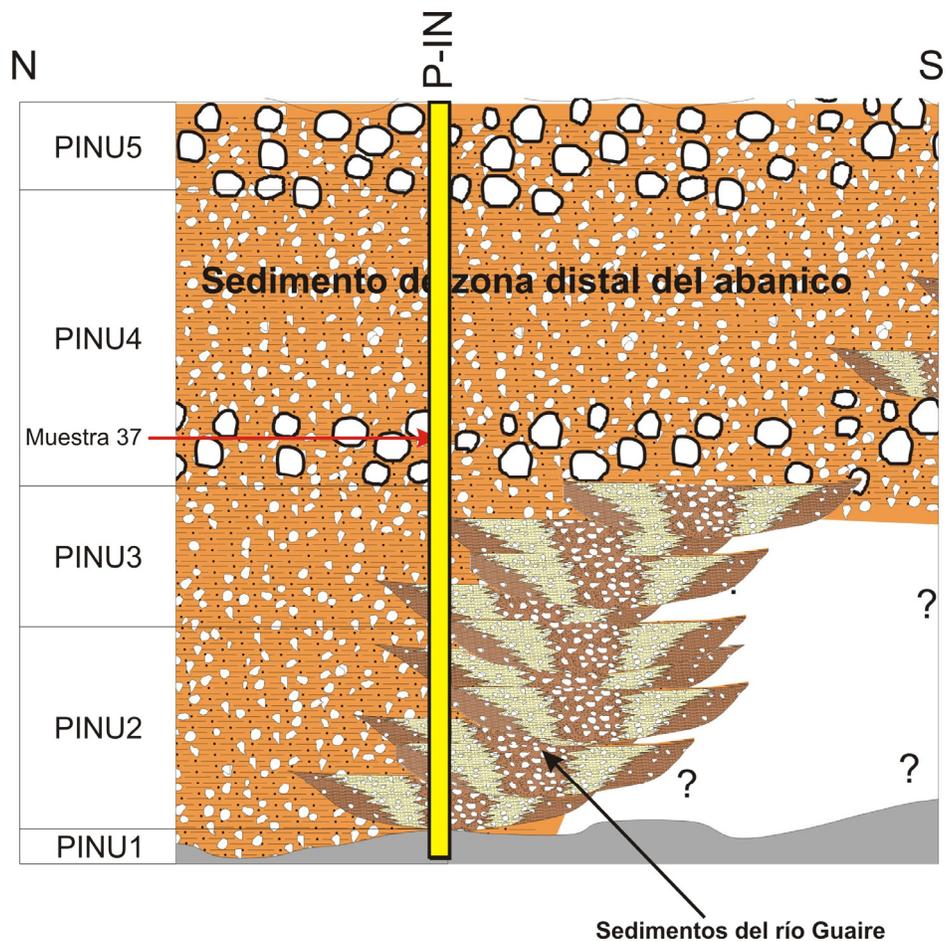


Figura 56. Diagrama que propone la influencia de los sedimentos del río Guaire y la interacción e interdigitación de éstos con los depósitos distales del abanico.

➤ Unidad PINU4

Esta unidad tiene un espesor de 47 m y esta definida entre los marcadores de primer orden de las muestras P-IN-31 y P-IN-49, se caracteriza por mantener sus porcentajes de SiO_2 entre 70-80%, los porcentajes de Al_2O_3 están en un rango de 10-17%, TiO_2 0,1- 0,3% y Fe_2O_3 1,2-3%, rangos que aumentan respecto a la unidad infrayacente. Hacia el tope esta unidad tiene un incremento de minerales pesados (Fig. 55).

Es posible que el aumento de estos elementos asociados a minerales de arcilla y un descenso en sílice se deba a una menor influencia de un drenaje principal como el río Guaire, incrementándose en mayor medida los sedimentos propios de la zona distal del abanico (Fig 56).

Esto es consecuente con el proceso de migración de este drenaje hacia el sur como consecuencia de la sedimentación catastrófica proveniente del Ávila en forma de aludes.

Es conspicua la tendencia anómala de los porcentajes de abundancia de la muestra P-IN-37 de esta unidad, definida por un marcador de primer orden (en los elementos SiO_2 , Al_2O_3 , TiO_2 , MnO y Fe_2O_3) cuyos valores se encuentran en los rangos definidos para la unidad PINU5, y cuya clasificación de acuerdo a las funciones discriminantes la ubican mejor en la unidad PINU5. Esta muestra dentro de la unidad puede corresponder a un material abundante en matriz y relativo bajo contenido en fragmentos de cuarzo, posiblemente se trate de un evento de alud torrencial.

➤ Unidad PINU5

Es la unidad más superficial definida por el marcador de primer orden en la muestra P-IN-49 hasta la superficie. Esta unidad abarca un espesor de 8 m. y registra el más reciente alud torrencial evidenciado por la morfología aborregada del Parque del Este (SINGER 1977).

Esta se encuentra definida por los máximos porcentajes de Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO y minerales pesados respecto a las unidades inferiores, y su incremento en el pozo está asociado a que el transporte de materiales por una corriente en la mayoría de las situaciones fluviales de arena, limo y partículas más grandes es en forma de una capa de tracción en la cual la depositación es poco importante. Lo importante es que los granos o clastos más grandes y livianos (de cuarzo) que sobresalen en la capa serán arrastrados en mayor medida por la corriente y que los intersticios en sedimentos gruesos atrapan a los minerales pesados más finos, por lo que las gravas fungen de trampas para dichos minerales. Esto subordina el desplazamiento de los minerales pesados más finos y produce un enriquecimiento de ellos mientras son transportados en

una capa gruesa de sedimento en el fondo del cauce. Esto en consecuencia conlleva a un enriquecimiento de minerales pesados asociados a un sedimento soportado por una matriz arcillosa sustentado por las altas concentraciones Al_2O_3 , TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO .

7.2.3. Interpretación de las unidades definidas en P-SB

Los perfiles geoquímicos de este pozo muestran una marcada dependencia entre elementos. El perfil de SiO_2 es una imagen especular del Al_2O_3 , y la tendencia y sinгонía de las curvas de abundancia de TiO_2 , Fe_2O_3 , MnO son iguales.

La similitud entre las curvas de abundancia de Fe_2O_3 y TiO_2 permite sugerir que ambas están asociadas a la misma fase mineral.

Es importante mencionar que este pozo probablemente se halle en una zona de coalescencia de los abanicos de la qda. Chacaíto y el río Tócome, entre otros. Esto puede “enmascarar” la respuesta química de ciertos elementos, haciendo más compleja la interpretación o definición de procesos. Sin embargo, el K_2O tiene una tendencia como sigue:

➤ Unidad PSBU1

A partir de los datos mineralógicos reportados por la difracción de rayos x realizada a las muestras de esta unidad, es posible adjudicar los contenidos de K_2O , al feldespato potásico.

Es bien conocida la importancia de los feldespatos como indicadores de cercanía o lejanía de la fuente, como medida de la energía del medio y distancia de transporte de sedimentos.

Aproximando una función por regresión lineal los valores de abundancia de K_2O (Fig. 57) por cada unidad en este pozo, es posible observar la tendencia de disminución en la concentración de K_2O a medida que las unidades se acercan a la superficie.

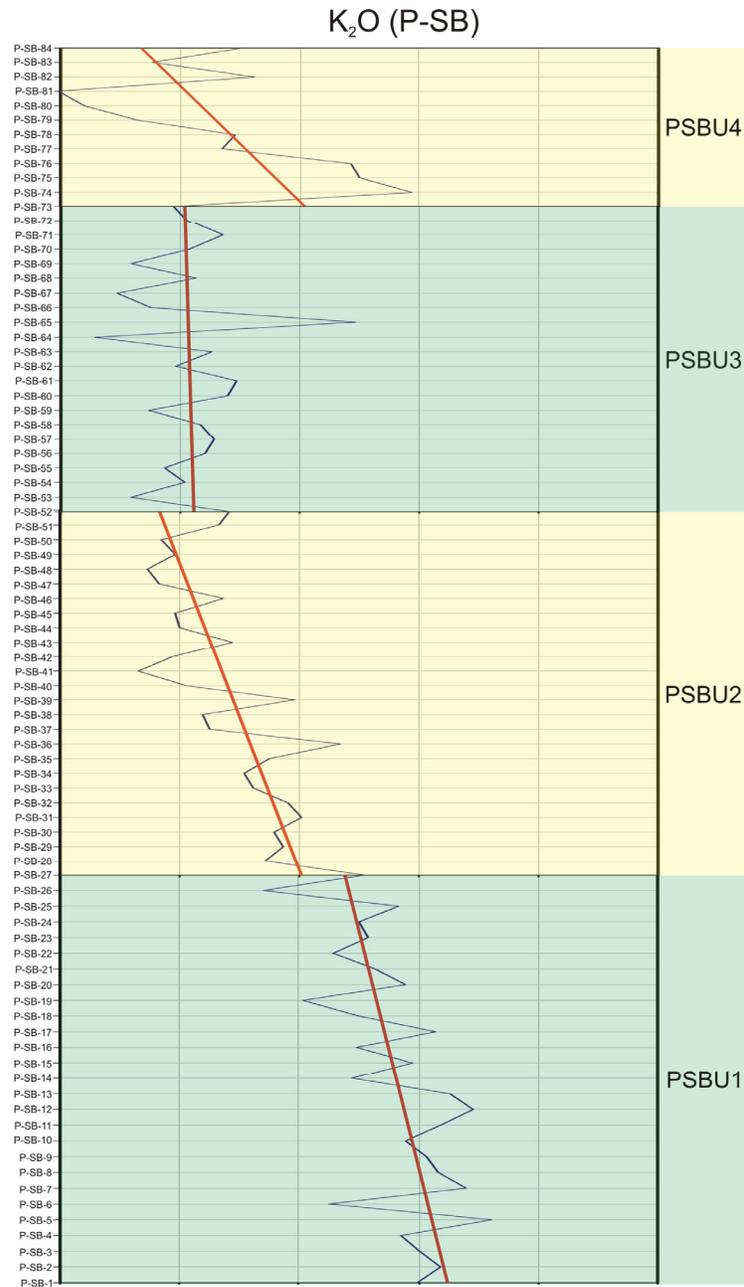


Figura 57. Aproximación del perfil químico del K_2O del pozo P-SB a través de líneas de tendencias por unidad mostrando en todos los casos una disminución del mismo, probablemente por un retrabajo de material más antiguo.

La química de los sedimentos del pozo en Sebucán está subordinada a la dinámica de la zona proximal del abanico, que está dominada por el proceso de levantamiento del Ávila y el retrabajo de los sedimentos más antiguos por deslizamientos asociados a inestabilidad gravitatoria y al proceso aluvial mismo.

Esta unidad más basal del pozo tienen los más altos porcentajes de K_2O en toda la columna. Esta tendencia en un sedimento más antiguo implica un proceso de depositación de fragmentos de rocas con feldespatos potásicos entre otros.

➤ Unidad PSBU2

La unidad PSBU2 suprayacente a la anterior, conserva la tendencia de disminución de la unidad anterior. Está constituida no solo por los sedimentos de acarreo de la Qda. Tócome, también incorpora los sedimentos de la unidad anterior (más antigua), que acumulados en las laderas durante el levantamiento del macizo montañoso ceden por inestabilidad gravitacional y sirven nuevamente de fuente para las unidades superiores. Así a medida que se incrementa la acumulación de sedimentos en las partes proximales (debido a la falta de entallamiento del río y una tasa de levantamiento mayor que la depositación de sedimento), el aumento de la pendiente incorpora sedimentos retrabajados, proceso al que son altamente susceptibles los feldespatos.

Por lo tanto, dicha disminución puede estar relacionada a que sedimentos en la que pueden hallarse fragmentos de gneises y esquistos feldespáticos (provenientes del Augengneis de Peña de Mora) más antiguos están siendo alterados por retrabajo.

➤ Unidad PSBU3

Al igual que las anteriores los porcentajes de K_2O descienden, pero en menor medida. Esto podría interpretarse como un menor retrabajo de los sedimentos más infrayacentes.

➤ Unidad PSBU4

Esta unidad se caracteriza por un cambio abrupto en las tendencias del pozo en general.

Luego del marcador definido por la muestra P-SB-75, se muestra una clara dependencia entre elementos. Se nota un aumento de sílice y una disminución consecuente de elementos asociados a minerales de arcilla. Es conocido que un alud torrencial se caracteriza por grandes fragmentos de líticos, cuarzo, etc., soportados por una matriz arcillosa, sin embargo en la zona proximal-media del abanico, por las condiciones hidrodinámicas los fragmentos rocosos y de cuarzo se depositarán y la matriz será transportada hacia las zonas más distales, junto otros fragmentos de menor tamaño.

La depositación de dichos fragmentos posiblemente sea la responsable del aumento del sílice y el transporte de la matriz a otras zonas trae como consecuencia una disminución relativa de Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 y V.

Luego de la muestra P-SB-82 existe una tendencia distinta, atribuida a posibles efectos del proceso pedogenético en la superficie y que puede afectar el comportamiento de las curvas en este nivel.

7.2.4. Interpretación de las unidades definidas en P-DS

Este pozo es particular dado que es muy somero en comparación a los demás pozos, apenas llega a 50 m de profundidad. Los materiales que se depositan en la zona proximal carecen de estratificación y diferenciación química, aunado al hecho de que se tratan de bloques y fragmentos rocosos y de cuarzo de gran tamaño. Esto trae como consecuencia que el registro químico no muestre un comportamiento obvio para permitir interpretar un proceso en específico.

Igualmente, en un espacio vertical de 50 m ubicado en el ápice del abanico del río Tócome es poco probable que se desarrollen condiciones suficientemente marcadas para generar una respuesta definida en los perfiles químicos o radiométricos. Las unidades definidas en este pozo posiblemente sean el reflejo de procesos pedogenéticos a nivel superficial (de 0 m a unos 8 m aproximadamente).

A pesar de la poca profundidad se puede observar una tendencia de disminución de K_2O , por un posible retrabajo de material tipo gneises y esquistos feldespáticos infrayacente aflorante.

7.3. Reconocimiento de posibles eventos de aludes torrenciales

A través del análisis de los perfiles de abundancia químicos y radiométricos fue posible identificar el último alud torrencial en el valle de Caracas (Fig. 58A) reportado por SINGER (1977). Tomando en cuenta que un proceso de éste tipo se caracteriza por el transporte de clastos de gran tamaño soportados por matriz (NILSEN 1982) en una concentración del 10% al 20%, dependiendo de dónde se este ubicado en el abanico, el resultado es distinto. Éste evento se expresa en los primeros 10 m en los pozos P-IN y P-SB de la siguiente forma:

➤ Para P-IN, ubicado en la zona distal del abanico del río Tócome principalmente, dicho alud se caracteriza por presentar grandes cantidades de minerales de arcilla (contenidos en la matriz que soporta a los grandes clastos), por lo tanto prácticamente en todas curvas se observa una

deflección a los 9-10 m (Fig. 58B). Como resultado de la abundancia de una matriz, aumentan de forma drástica los elementos asociados a minerales de arcilla y disminuye el único elemento disponible asociado a los clastos (SiO_2) de cuarzo y fragmentos de rocas.

➤ En el caso de P-SB, que se localiza en la zona media-proximal, incluso es probable que se halle en una zona de coalescencia de los abanicos de la qda. Chacaíto y el río Tócome el evento torrencial se registra de otra forma. En el mapa de las formaciones cuaternarias (SINGER 1977) se puede observar que el material aflorante es caótico y cuya granulometría es mayor que en INPARQUES. Durante el proceso de transporte de bloques a través de una matriz arcillosa de alta densidad la depositación de los mismos será mayor en la zona proximal-media del abanico y la matriz será transportada hacia la zona distal, generando un cambio repentino en los elementos (Fig. 58B). En este caso la acumulación de dichos clastos es la responsable del aumento del SiO_2 y la disminución de la matriz (dado que se depositará a una mayor distancia) significará en un descenso en aquellos elementos asociados a minerales de arcilla (Al_2O_3 , TiO_2 , MnO , V , Fe_2O_3).

➤ Para el pozo P-DS ubicado en la zona proximal no es posible hallar dicho evento. Esto por que el material más superficial en dicho pozo corresponde al Cuaternario Medio (SINGER 1977), por lo tanto no es posible correlacionar con los demás pozos cuyo material superficial pertenece al Holoceno (Fig. 58C).

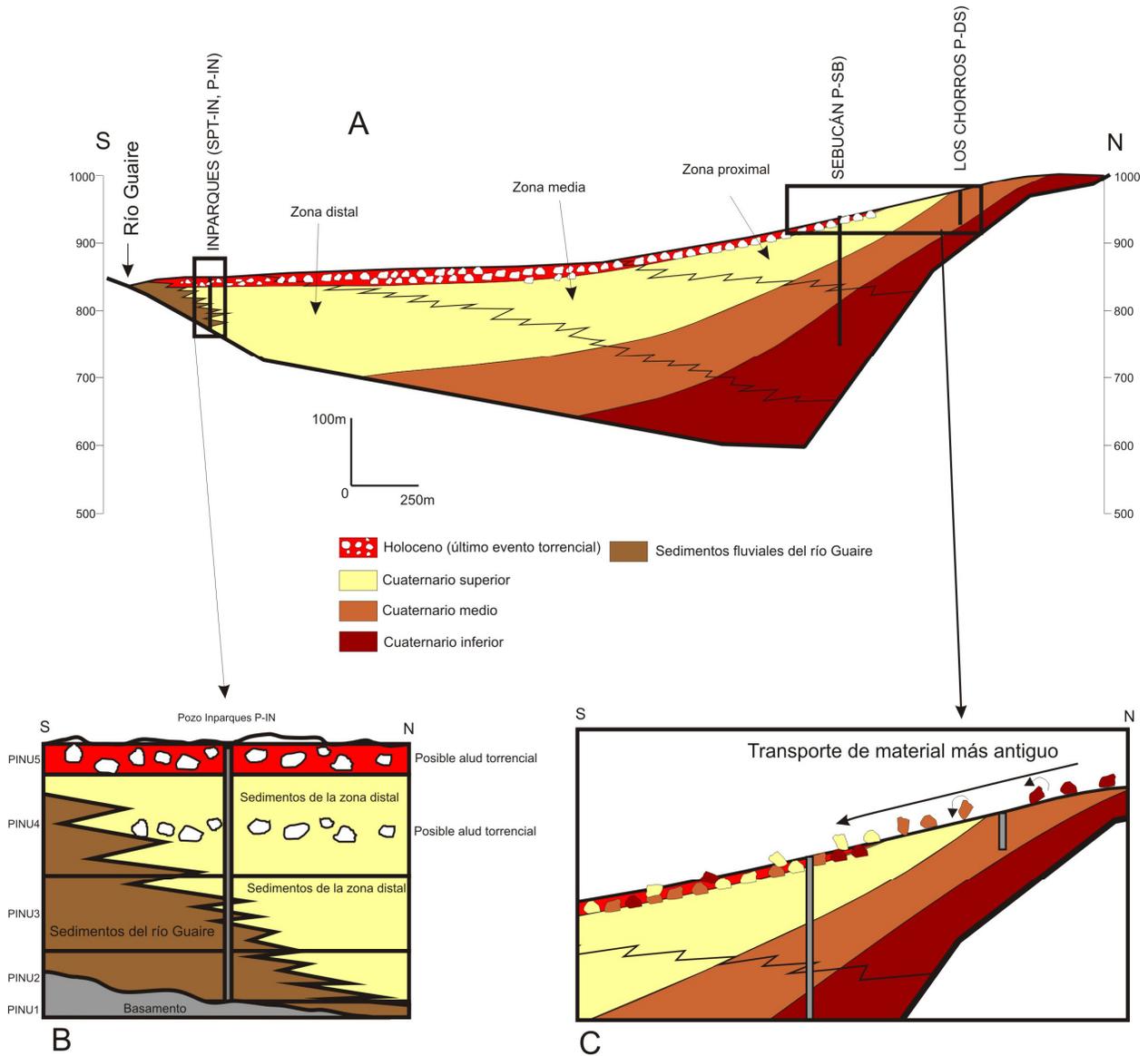


Figura 58. Corte esquemático que ilustra a grosso modo el proceso de transporte de los sedimentos en el Valle de Caracas. A) Corte general de los sedimentos en el valle de Caracas. B) Esquema en la que se muestra la influencia del río Guaire y su migración hacia el sur. C) Ilustración del retrabajo de sedimentos más antiguos en el ápice del abanico aluvial, en el río Tócome. (Basado en el corte realizado por WESTON GEOPHYSICAL INTERNACIONAL 1969).

8. CONCLUSIONES

La composición química general de los pozos es una función directa de la posición geográfica de los mismos en el abanico y la composición de la roca fuente, teniendo incrementos en la zona proximal (P-DS y P-SB) de Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 y V; donde éstos componentes pueden asociarse a litologías de composición máfica como esquistos anfíbólicos, esquistos cloríticos y anfibolitas pertenecientes al Complejo San Julián y constituyen materiales conglomeráticos que no pueden ser transportados hacia la zona distal, generando consecuentemente una disminución de éstos en dicha área.

El SiO_2 por su parte tiene una tendencia inversa en comparación a los demás elementos, es decir, las concentraciones son mayores hacia las zonas distales (P-IN) y probablemente sea el resultado de un incremento relativo provocado por el acarreo de material del río Guaire que drena transversalmente a los abanicos estudiados y que genera un aumento relativo de éste y una disminución de Al_2O_3 .

A los fragmentos de roca y minerales hallados en la descripción de la fracción grava le fueron asignados las siguientes unidades litológicas como posible fuente (tabla 36):

Tabla 36. Cuadro donde se muestra los fragmentos identificados en la descripción grava y su posible unidad fuente.

Fragmentos de roca identificados en el laboratorio	Unidad litológica (Posible fuente)
Esquisto y gneis cuarzo plagioclásico	Complejo San Julián(ASJ)
Esquisto clorítico-actinolítico	Metaígneas de Tócome (ATc)
Esquisto cuarzo-moscovítico- clorítico	Complejo San Julián (ASJe)
Esquisto moscovítico-cuarcítico	Complejo San Julián (ASJe)
Epidoto	Augengneis Peña de Mora (APMp) o Complejo San Julián(ASJap, AsJa, ASJp)
Óxidos	x
Esquisto meteorizado (material no identificable)	x
Anfibolita	Metaígneas de Tócome (ATc)
Mármol	Esquisto las Mercedes (Esquisto grafitoso y mármol)
Esquisto grafitoso	Esquisto las Mercedes
Esquisto sericítico	Posiblemente Metaígneas de Tócome (ATc)

En función de los diagramas de dispersión y el coeficiente de correlación lineal obtenido, se estableció que los elementos como Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 y V están asociados minerales de arcilla y el SiO_2 al cuarzo. Los primeros poseen coeficientes de correlación negativos con respecto al SiO_2 , estableciéndose así dos grandes grupos de minerales, minerales de arcilla y cuarzo, respectivamente. Igualmente, el Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , TiO_2 y V tienen entre sí coeficientes “r” positivos.

Solo es posible identificar a partir de los perfiles químicos el alud torrencial más superficial, caracterizado por la morfología aborregada del Parque del Este, entre otros (SINGER 1977). Dicho alud puede correlacionarse en el pozo P-IN y P-SB en los primeros 8-9 m más superficiales y se destacan en los perfiles químicos como cambios abruptos en las concentraciones. No es posible identificar este marcador en el pozo P-DS dado que donde esta ubicado, ésta formación correlativa no se reporta posiblemente por la disposición en tijera de los sedimentos en la cuenca del Valle de Caracas o se ha erosionado por la acción fluvial del río Tócome. Dependiendo de la posición del pozo en el abanico su expresión es distinta.

En el pozo P-IN (en los 8-9 m más superficiales) este evento es caracterizado por un incremento abrupto de los porcentajes de Al_2O_3 y los elementos asociados a las minerales de arcilla como Fe_2O_3 , MnO , V y TiO_2 (que constituyen la matriz de los flujos de alta densidad), así como los minerales pesados tamaño limo que viajan hacia las zonas más distales del abanico aluvial en los intersticios del flujo generado entre los bloques transportados.

En el P-SB está definido por un aumento de SiO_2 y una disminución de los elementos asociados a minerales de arcilla que por estar localizado en la zona proximal-media la relación fragmentos líticos y cuarzo/matriz es mayor.

Mediante el análisis de agrupaciones y los perfiles químicos se definieron 5 unidades químicas y 4 radiométricas en el pozo P-IN y reflejan los cambios de materiales generados por la interacción en los procesos de sedimentación fluvial, aluvial y en menor proporción lacustre. Dichas unidades fueron verificadas con el análisis de funciones discriminantes arrojando un 86% y 87% de muestras correctamente clasificadas para las unidades químicas y radiométricas, respectivamente. Esta perforación ubicada hacia la zona distal del abanico aluvial, indica que su

parte basal estuvo influenciada posiblemente por los procesos fluviales del río Guaire, donde muestra un dominio de clastos subredondeados a redondeados (de 2-3 cm de diámetro) sobre una matriz arcillosa-limosa observada en la correspondiente perforación SPT. Luego, hacia la superficie debido a la migración de dicho drenaje hacia el sur disminuye la influencia de éste sobre el pozo, dominando en este caso los sedimentos soportados por matriz limosa salvo que con una menor cantidad de clastos de menor tamaño, propios de la zona distal.

Igualmente fueron definidas en P-SB 4 unidades químicas con 88% de muestras correctamente clasificadas y 6 unidades radiométricas con 77% según el análisis de funciones discriminantes. Las unidades definidas en este pozo están controladas por los cambios de la pendiente de la línea de regresión de abundancia de K_2O , probablemente asociada a la susceptibilidad de los feldespatos potásicos ante los agentes de transporte y retrabajo. La curva correspondiente a este elemento, excluyendo a la unidad más superficial, está dividida en tres bloques, cada uno con menor porcentaje de K_2O ; lo que posiblemente se deba a los tres tipos de materiales reportados por SINGER (1977), es decir, Pleistoceno Inferior, medio y Superior. La unidad 5 (PSBU5) de éste pozo corresponde al último alud torrencial reportado por SINGER (1977) y tiene edad Holocena, también es importante mencionar que existe una clara correspondencia en profundidad con los perfiles geoquímicos, en este orden de ideas se pretende tomar este hecho como una posible base para sugerir que los límites entre los tres bloques mencionados como cambios en el material y consecuentemente cambios en la edad.

El K_2O se asocia principalmente al feldespato potásico y micas, cuya tendencia general de disminución a medida que se acerca a la superficie esta posiblemente asociada a un retrabajo de fragmentos líticos infrayacentes y actualmente aflorantes al pie del macizo del Ávila.

En el pozo P-DS se establecieron 6 unidades químicas y 4 unidades radiométricas con un 80% y 82% de aciertos, respectivamente. De forma similar se tiene que el K_2O posee una tendencia de disminución hacia el tope, y quizá se deba igualmente al proceso de retrabajo del material infrayacente más antiguo, que aflora en la zona más proximal del abanico.

9. RECOMENDACIONES

⇒ Realizar un estudio de elementos traza a las muestras de canal y SPT con la finalidad de precisar mejor los cambios en el material sedimentario del abanico, y en especial elementos como Zr, Rb y Sr.

⇒ Realizar un muestreo de mayor resolución, si es posible cada metro para definir mejor los cambios y no omitir eventos esporádicos.

⇒ Se recomienda desflocuar las muestras al momento de secarlas al aire libre, dado que esto permite disminuir el error en la separación granulométrica, y posteriormente una mejor separación de minerales pesados.

⇒ Efectuar dataciones por radiocarbono (^{14}C), sobretodo a las unidades definidas en el pozo P-SB, y poder corroborar si se tratan de las distintas unidades Pleistocenas definidas por SINGER (1977).

10. BIBLIOGRAFÍA

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

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

ALTUNA A. 2006. *Caracterización química y radiométrica de diversos niveles de los pozos MAC-1X, MAC-2X y PIC-25, norte del estado Monagas*. UCV-EG. 125 p.

ARANGUREN A. 1996. *Reconocimiento geológico de la Quebrada El Encantado, Parque Nacional El Ávila*. UCV-EG. 103 p.

ARAUJO R. 1975. Geología de la cuenca de los ríos Chuspa y Aguas Calientes, *edo. Miranda y Dto. Federal*. UCV-EG. 178 p.

BAENA J. 1998. *Reconocimiento geológico de la cuenca del río Tacamahaca, Parque Nacional El Ávila*. UCV-EG. 95 p.

BARITTO T., Iván J. 2003. *Caracterización química de muestras de sedimentos superficiales y de núcleos de la fachada Atlántica Venezolana*. UCV-G, 773 p.

BELTRÁN C. (comp). 1993. *Mapa geotectónico de Venezuela a escala 1:2.000.000*. FUNVISIS.

BERTIN Eugene. 1975. *Principles and practice of x-ray spectrometric analysis*. 2da. Ed. Plenum Press, New York-London, 1079p.

BUKOR K. & TAGLIAFERRO M. 2004. *Caracterización y cuantificación de sedimentos en la cuenca del río San José de Galipán, estado Vargas*. UCV-G, 262 p

- BARBOZA L. & RODRIGUEZ S. 2001. Integración de la geología del estado Vargas y del flanco sur del Macizo del Ávila al norte del Caracas. *Geos* (Caracas) 35:55.
- CASTILLA R. 2000. Facies sedimentarias del abanico de Caraballeda y su relación con la posible licuación de suelos ocurrida durante el sismo de Caracas de 1967. *Geos* (Caracas) 35:62
- CAMPOSANO L. & N. MARTÍNEZ. 2000. Caracterización química y radiométrica de secciones estratigráficas de las formaciones Barco y Mirador, San Pedro del Río, estado Táchira. *Geos* (Caracas) 36:70.
- COUSSOT P. 1996. Les Laves Torrentielles, connaissances à l' usage praticien, 1era. Ed. Cemagref, Saint-Martin, 117 p.
- CROW Edwin & Davis Frances. 1960. Statistics manual, Dover Publications, New Cork, 288p.
- DENGO G. 1951. Geología de la región de Caracas. *Bol. Geol.* Caracas, 1(1): 39-115 p.
- GARCÍA L. 1994. *Reconocimiento geológico de la cuenca del río Tócome*. UCV-EG. 249 p.
- GONZÁLEZ P. Lenin A., 2001. Caracterización geoquímica y radiométrica de dos secciones estratigráficas de la Formación La Luna, en el estado Táchira. *Geos* (Caracas) 36:72.
- GONZÁLEZ DE JUANA C., J. ITURRALDE DE & X. PICARD. 1980. *Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas*. Caracas, Ed. Foninves, 2 tomos. 1021p.
- GONZÁLEZ L. 1972. Geología de la Cordillera de la Costa, zona centro occidental. *Mem. IV Cong. Geol. Venezolano, Bol. Geol.* Publ. Esp. III:1589-1618.
- HÜBL J. & H. STEINWEDTNER 2001. *Debris flow hazard assesment and risk mitigation*, FELSBAU, 18p.

- KANTAK P. 2002. Espesores de los sedimentos, una sección este-oeste, velocidades sísmicas someras y microtemores medidos en el Valle de Caracas. *Geos* (Caracas) 35:59-60.
- LAMARE P. 1928. Contribution a l'étude pétrographique des roches de la Cordillère Caraibe (Venezuela). *Bull. Soc. Geol. de France*, 4 ser., 27: 127-162.
- MOORE D. & R. REYNOLDS. 1989. *X-ray Diffraction and the Identification and Analysis of Clay Minerals*. Oxford University Press, 332 p.
- MORALES R. Pedro. 1975. Manual de sedimentología. Tip. Sorocaima, Caracas, 303 p.
- NAVARRO E., M. OSTOS Y F. YORIS. 1988. Revisión y redefinición de unidades litoestratigráficas y síntesis de un modelo tectónico para la evolución de la parte norte-central de Venezuela durante el Jurásico medio – Paleógeno. *Acta Científica Venezolana* 39:427-436.
- NILSEN Tor. 1982. Alluvial fan deposits. *AAPG Mem.* 31:49-86.
- NITON CORPORATION. 1998. Field Portable X-ray Fluorescence Spectrometry for the Determinations in Soil and Sediment. USA, 25 p.
- NORTH C. & BOERING M. 1999. Spectral gamma-ray logging for facies discrimination in mixed fluvial-eolian successions: a cautionary tale. *AAPG Bulletin*. 83 (1): 155-169.
- OSTOS M. 1990. Evolución tectónica del margen sur-central del Caribe basado en datos geoquímicos. *Geos*, Caracas, (30): 1-294.
- _____. & E. NAVARRO. 1986. Faja de Villa de Cura. ¿Realmente un complejo de arco de isla alóctono?. *Mem. VI Congreso Geológico Venezolano*, Caracas, 10: 6615-6637.

- _____. 1987. Transporte tectónico de la Formación Peña de Mora, parte central de la Cordillera de La Costa. *Mem. Iras. Jornadas de Investigación. Ingeniería*, UCV, Caracas, p. 102-105.
- ROLLINSON H. 1993. Using Geochemical Data: Evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical, New York, 352 p.
- SABINO I. & F. URBANI 1995. Geología del flanco sur del pico Naiguatá, Parque nacional El Ávila, estado Miranda, Venezuela. *Bol. Geol.*, Caracas, Public. Esp. 10, p. 287-296.
- SABINO I. 1995. Geología del flanco sur del pico Naiquatá, Parque Nacional El Ávila, estado Miranda, Venezuela Caracas. UCV-EG. 209 p.
- SINGER A. 1974. Acumulaciones torrenciales catastróficas de posible origen sísmico y movimientos neotectónicos de subsidencia en la parte oriental del Valle de Caracas. Primer Congreso Venezolano de Sismología e Ingeniería Sísmica. *Geos*, UCV, Caracas 22:64-65.
- SINGER A. 1977. Tectónica reciente, morfogénesis sísmica y riesgo geológico en el graben de Caracas. Memorias V Congreso Venezolano de Geología. IV:123-170.
- SKOOG D. & D. WEST. 1984. *Análisis instrumental*. 2da edición, Ed. Interamericana, México, 806 p.
- URBANI & M. OSTOS .1989. El Complejo Ávila, Cordillera de La Costa, Venezuela, *Geos*, (UCV, Caracas) 29:205-217.
- _____, O. CONTRERAS, L. GARCIA DE LOS SALMONES, I. SABINO, A. ARANGUREN & R. UZCÁTEGUIL. 1997. Reconocimiento geológico del flanco sur del macizo de El Ávila, Cordillera de La Costa, Distrito Federal y estado Miranda, Venezuela, *Mem. VIII Congr. Geol. Venezolano*, Margarita, 2:463-468.

_____. 2000. Revisión de las unidades de las rocas ígneas y metamórficas de la Cordillera de La Costa, Venezuela, *Geos*, UCV, Caracas (33):1-170.

_____, J. A. RODRÍGUEZ & V. VIVAS. 2000. Geología de estado Vargas: 1. Nomenclatura actualizada de las unidades ígneo metamórficas de la parte central de la Cordillera de la Costa. *Jornadas de investigación Facultad de Ingeniería*, UCV, Caracas, resúmenes, p 621-622.

VALLEJO G. 1992. Técnicas multivariadas aplicadas a las ciencias comportamentales. Universidad de Oviedo. 36 – 57 p.

WEHRMANN M. 1972. Geología de la región Guatire-Colonia Tovar. *Bol. Geol.*, Public. Esp. 5 (4): 2093-2121.

WESTON GEOPHYSICAL ENGINEERS INTERNATIONAL, INC. 1969. Seismic investigations, Valley of Caracas and The Litoral Central; *Comisión Presidencial para el Estudio del Sismo de Caracas de 1967*.

APÉNDICE 1. RESULTADOS ANALÍTICOS

5.1 Fluorescencia por rayos X

Las tablas A1 y A2 muestran las concentraciones de los componentes mayoritarios obtenidos para el pozo P-IN y la perforación SPT-IN, respectivamente.

Tabla A1. Concentración de componentes mayoritarios de la perforación SPT-IN.

Muestra	Prof. (m)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO(%)	CaO(%)	MgO(%)	K ₂ O(%)	V(ppm)
SPT-IN-64	0,55-1	54,37	0,94	17,49	8,48	0,16	1,87	<1	1,70	183
SPT-IN-63	1,55-2	63,24	0,60	16,42	4,75	0,17	2,13	<1	1,00	<150
SPT-IN-62	2,55-3	63,58	0,60	16,18	4,33	0,16	2,04	<1	1,24	<150
SPT-IN-61	3,55-4	65,18	0,60	14,92	5,22	0,18	2,35	<1	1,02	180
SPT-IN-60	4,55-5	64,86	0,54	15,51	4,56	0,17	2,52	<1	1,01	<150
SPT-IN-59	5,55-6	65,72	0,56	15,67	3,91	0,15	2,35	<1	1,05	<150
SPT-IN-58	6,55-7	68,13	0,50	15,36	3,51	0,17	2,58	<1	0,74	<150
SPT-IN-57	7,55-8	67,55	0,44	12,54	2,90	0,14	2,53	<1	1,96	<150
SPT-IN-56	8,55-9	72,62	0,26	12,16	2,34	0,13	1,93	<1	1,38	<150
SPT-IN-55	9,55-10	67,88	0,38	14,51	3,45	0,14	1,85	<1	1,89	<150
SPT-IN-54	1,55-12	69,37	0,39	13,28	2,76	0,14	1,38	<1	2,57	<150
SPT-IN-53	12,55-13	68,74	0,34	15,34	3,01	0,14	1,33	<1	2,46	<150
SPT-IN-52	13,55-14	61,76	0,52	19,51	3,98	0,13	1,59	<1	2,25	<150
SPT-IN-51	14,55-15	66,19	0,53	16,68	3,36	0,13	1,58	<1	2,48	<150
SPT-IN-50	15,55-16	67,20	0,35	14,15	2,92	0,12	1,24	<1	2,91	<150
SPT-IN-49	16,55-17	70,48	0,23	15,85	2,66	0,13	1,24	<1	2,13	157
SPT-IN-48	17,55-17,95	67,60	0,32	14,87	2,80	0,13	1,48	<1	3,05	<150
SPT-IN-47	18,55-19	76,80	0,20	12,09	2,48	0,12	1,07	<1	1,30	<150
SPT-IN-46	19,55-20	72,93	0,28	12,34	2,23	0,12	0,92	<1	2,99	<150
SPT-IN-45	20,55-20,82	69,70	0,36	12,49	3,19	0,12	1,21	<1	1,90	<150
SPT-IN-44	21,55-22	60,36	0,70	16,38	4,53	0,13	1,33	<1	1,45	185
SPT-IN-43	22,55-23	60,55	0,74	19,92	4,67	0,13	1,29	<1	1,56	198
SPT-IN-42	23,55-23,67	64,54	0,57	15,21	3,17	0,13	1,18	<1	1,81	154
SPT-IN-40	25,55-26	57,26	0,73	15,28	9,58	0,14	1,26	<1	1,53	223
SPT-IN-39	26,55-27	62,27	0,61	17,93	4,63	0,14	1,21	<1	1,58	<150
SPT-IN-38	27,55-28	65,75	0,48	16,01	3,23	0,12	1,30	<1	1,59	<150
SPT-IN-37	28,55-29	61,06	0,59	17,80	4,66	0,17	1,26	<1	2,19	<150
SPT-IN-36	29,55-30	62,52	0,62	16,34	4,53	0,15	1,18	<1	2,12	<150
SPT-IN-35	32,65-32,68	68,09	0,31	14,82	3,30	0,12	0,76	<1	2,94	<150
SPT-IN-34	35,55-36	72,67	0,13	15,88	1,12	0,11	0,75	<1	4,15	<150
SPT-IN-33	39,55-39,85	66,56	0,54	16,48	2,97	0,13	0,78	<1	3,39	<150
SPT-IN-32	42,55-43	59,74	0,66	17,35	4,89	0,13	1,02	<1	2,86	<150
SPT-IN-31	45,55-45,88	62,81	0,41	15,15	6,65	0,13	0,72	<1	2,82	<150
SPT-IN-30	49,55-49,65	63,58	0,57	16,43	4,54	0,13	1,09	<1	2,59	<150
SPT-IN-29	55,55-56	73,43	0,28	12,94	3,17	0,12	1,40	<1	1,37	<150
SPT-IN-28	58,55-59	63,29	0,50	18,21	2,83	0,11	1,08	<1	2,55	<150
SPT-IN-27	59,55-60	52,94	1,03	26,62	4,97	0,11	0,70	<1	3,66	246
SPT-IN-26	62,55-62,86	57,07	0,65	20,38	6,19	0,12	1,22	<1	2,34	<150
SPT-IN-25	65,55-65,93	59,73	0,53	18,50	5,05	0,14	1,02	<1	3,13	<150
SPT-IN-24	68,55-68,63	66,74	0,45	18,18	2,79	0,15	1,49	<1	1,78	<150
SPT-IN-23	71,55-71,63	59,66	0,59	20,42	4,31	0,14	1,47	<1	2,46	<150
SPT-IN-22	74,55-75	60,93	0,60	19,00	3,67	0,12	1,14	<1	3,07	<150
SPT-IN-21	77,55-78	55,57	0,75	20,11	7,98	0,15	0,65	<1	3,28	180
SPT-IN-20	80,55-80,63	75,74	0,14	12,10	2,54	0,11	0,41	<1	1,93	<150
SPT-IN-19	83,55-83,63	64,21	0,42	16,90	4,71	0,11	1,03	<1	2,09	<150
SPT-IN-18	86,55-86,69	93,38	0,11	0,11	0,71	0,11	0,32	<1	0,11	<150

Tabla A1. Concentración de componentes mayoritarios de la perforación SPT-IN (continuación).

Muestra	Prof. (m)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO(%)	CaO(%)	MgO(%)	K ₂ O(%)	V(ppm)
SPT-IN-17	89,55-89,65	72,62	0,24	14,75	2,19	0,14	0,64	<1	2,60	<150
SPT-IN-16	92,55-92,85	57,74	0,55	19,70	5,31	0,13	1,18	<1	3,80	<150
SPT-IN-15	95,55-95,70	49,99	1,04	25,48	9,03	0,16	0,58	<1	4,10	248
SPT-IN-14	100-103,5	94,87	0,11	0,15	0,46	0,12	0,32	<1	0,11	<150
SPT-IN-13	109,17-112,12	78,99	0,11	11,53	0,88	0,11	0,45	<1	1,15	<150
SPT-IN-12	112,12-113	55,86	0,74	19,33	9,28	0,12	0,89	<1	2,06	248
SPT-IN-11	113-114,5	56,55	0,71	20,13	8,01	0,11	0,90	<1	2,09	217
SPT-IN-10	114,5-115,16	54,05	0,72	21,03	10,15	0,11	0,88	<1	2,02	271
SPT-IN-9	118,07-119,5	70,16	0,11	14,95	1,24	0,11	0,49	<1	7,50	<150
SPT-IN-8	119,5-121	61,33	0,61	21,40	4,49	0,11	0,66	<1	1,71	231
SPT-IN-7	121-122	59,63	0,59	20,81	6,63	0,11	0,52	<1	1,63	263
SPT-IN-6	122-123	59,65	0,34	19,73	4,65	0,11	1,07	<1	2,93	<150
SPT-IN-5	123-124,5	57,64	0,61	22,20	6,94	0,12	0,78	<1	1,95	257
SPT-IN-4	124,5-128	58,28	0,60	21,40	6,77	0,12	0,74	<1	1,79	224
SPT-IN-3	128-129	55,23	0,11	3,18	0,79	0,11	27,61	<1	0,21	<150
SPT-IN-2	129,7-131	54,64	0,11	3,43	1,73	0,11	27,24	<1	0,12	<150
SPT-IN-1	131-133	52,97	0,18	10,61	2,11	0,12	17,98	<1	1,33	155

Tabla A2. Concentración de los componentes mayoritarios de la perforación P-IN.

Muestra	Prof. (m)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO(%)	CaO(%)	MgO(%)	K ₂ O(%)	V(ppm)
P-IN-58	0-1	59,17	0,65	16,63	5,23	0,16	2,13	4,28	1,43	<150
P-IN-57	1-2	52,40	0,75	20,58	5,80	0,18	2,60	8,00	1,46	<150
P-IN-56	2-3	59,51	0,67	18,09	5,19	0,17	2,32	1,28	1,32	<150
P-IN-55	3-4	63,16	0,65	16,30	3,75	0,17	2,10	<1	1,18	<150
P-IN-54	4-5	63,76	0,64	15,53	5,10	0,19	2,14	<1	1,39	<150
P-IN-53	5-6	60,20	0,74	17,33	5,11	0,17	2,49	<1	1,21	205
P-IN-52	6-7	63,13	0,63	18,03	4,48	0,16	2,62	<1	0,94	153
P-IN-51	7-8	60,13	0,63	18,16	4,18	0,16	2,67	3,98	1,27	150
P-IN-50	8-10	74,59	0,15	11,48	1,63	0,13	1,98	<1	1,96	<150
P-IN-49	12-14	74,07	0,24	12,91	2,31	0,14	2,21	<1	1,50	<150
P-IN-48	14-16	76,71	0,12	11,65	1,29	0,12	1,44	2,52	1,74	<150
P-IN-47	16-18	76,80	0,17	11,84	1,31	0,12	2,46	2,69	1,59	<150
P-IN-46	18-20	76,22	0,11	12,17	1,89	0,12	1,55	<1	1,72	<150
P-IN-45	20-22	78,58	0,12	9,78	1,98	0,12	1,09	<1	1,87	<150
P-IN-44	22-24	76,52	0,20	12,07	2,16	0,12	1,31	<1	1,81	<150
P-IN-43	24-27	76,96	0,19	11,12	2,28	0,12	0,991	<1	1,52	<150
P-IN-42	27-30	71,85	0,29	14,70	2,78	0,12	1,21	<1	2,00	<150
P-IN-41	30-33	77,17	0,16	10,30	2,05	0,12	0,945	<1	1,61	<150
P-IN-40	33-37	76,77	0,14	11,50	1,75	0,12	0,801	1,52	2,65	<150
P-IN-39	37-40	78,01	0,19	11,33	1,56	0,12	0,762	1,74	2,73	<150
P-IN-38	40-42	60,11	0,59	17,05	4,80	0,13	1,21	<1	2,57	<150
P-IN-37	42-43	74,31	0,21	11,86	2,22	0,14	1,25	<1	2,45	<150
P-IN-36	43-46	76,57	0,13	11,30	1,75	0,12	1,14	<1	2,23	<150
P-IN-35	46-49	80,20	0,19	9,81	1,55	0,12	0,700	<1	2,30	<150
P-IN-34	49-52	80,31	0,16	8,95	1,31	0,12	0,702	<1	2,14	<150
P-IN-33	52-55	77,96	0,19	10,40	1,86	0,12	0,744	<1	2,29	<150
P-IN-32	55-58	75,77	0,13	11,13	1,92	0,12	0,847	<1	2,22	<150
P-IN-31	58-61	81,14	0,15	8,74	1,45	0,12	0,601	<1	2,09	<150
P-IN-30	61-64	81,21	0,13	9,56	1,32	0,12	0,605	<1	2,32	<150
P-IN-29	64-67	80,52	0,18	8,12	1,46	0,12	0,625	<1	2,13	<150
P-IN-28	67-70	80,35	0,12	8,33	1,30	0,11	0,605	<1	2,33	<150
P-IN-27	70-73	80,45	0,13	8,66	1,33	0,11	0,595	<1	2,32	<150
P-IN-26	73-76	81,04	0,14	9,94	0,855	0,12	0,548	1,13	2,32	<150

Tabla A2. Concentración de los componentes mayoritarios de la perforación P-IN (continuación)

Muestra	Prof. (m)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO(%)	CaO(%)	MgO(%)	K ₂ O(%)	V(ppm)
P-IN-25	76-79	83,02	0,11	7,80	0,912	0,10	0,492	<1	1,86	<150
P-IN-24	79-82	81,64	0,11	7,96	1,31	0,11	0,503	<1	1,89	<150
P-IN-23	82-85	83,59	0,11	7,46	1,17	0,12	0,479	<1	1,65	<150
P-IN-22	85-88	83,55	0,15	7,83	1,20	0,11	0,471	<1	1,52	<150
P-IN-21	88-91	81,97	0,15	8,02	1,37	0,11	0,508	<1	1,72	<150
P-IN-20	91-94	82,08	0,15	6,52	1,44	0,12	0,495	<1	1,74	<150
P-IN-19	94-97	80,86	0,16	7,97	1,40	0,11	0,619	<1	1,95	<150
P-IN-18	97-100	86,10	0,11	5,23	1,17	0,11	0,436	<1	1,22	<150
P-IN-17	100-103	82,97	0,13	8,16	1,30	0,11	0,608	<1	1,76	<150
P-IN-16	103-106	84,23	0,11	6,86	1,24	0,11	0,491	<1	1,31	<150
P-IN-15	106-109	80,92	0,14	8,45	1,37	0,11	0,622	<1	1,95	<150
P-IN-14	109-112	81,44	0,12	8,25	1,44	0,11	0,556	<1	1,96	<150
P-IN-13	112-115	83,42	0,11	7,64	1,19	0,11	0,526	<1	1,56	<150
P-IN-12	115-118	81,79	0,11	6,70	1,22	0,12	0,566	<1	1,91	<150
P-IN-11	118-121	81,93	0,11	6,92	1,96	0,11	0,575	<1	1,56	<150
P-IN-9	121-122	76,24	0,15	11,29	3,19	0,13	0,664	<1	1,68	<150
P-IN-8	122-123	78,99	0,16	8,88	2,11	0,12	0,623	<1	1,66	<150
P-IN-7	123-124	77,98	0,18	9,34	2,57	0,12	0,587	<1	1,43	<150
P-IN-6	124-125	82,16	0,19	9,07	2,91	0,11	0,590	<1	1,21	<150
P-IN-5	125-126	76,62	0,11	9,67	2,73	0,12	1,05	<1	1,39	<150
P-IN-4	126-127	79,96	0,14	7,83	2,67	0,12	0,864	<1	1,18	<150
P-IN-3	127-128	61,40	0,19	8,16	3,11	0,14	13,77	<1	1,04	<150
P-IN-2	128-129	53,09	0,18	8,57	2,66	0,13	20,46	<1	0,88	<150
P-IN-1	129-130	53,50	0,16	8,59	3,24	0,12	18,80	<1	1,05	<150

A continuación se muestran las tablas A3 y A4, que contienen los análisis químicos correspondientes a las perforaciones realizadas en el Colegio Don Simón ubicado en Los Chorros y en la Escuela de Enfermería de la U.C.V. localizada en Sebucán.

Tabla A3. Análisis de componentes mayoritarios de la perforación P-DS.

Muestra	Prof. (m)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO(%)	CaO(%)	MgO(%)	K ₂ O(%)	V(ppm)
P-DS-50	0-1	61,33	0,63	16,87	6,45	0,19	1,99	<1	0,88	190
P-DS-49	1-2	56,24	0,77	14,42	7,42	0,11	3,79	<1	1,11	202
P-DS-48	2-3	66,19	0,50	13,45	5,10	0,19	1,53	<1	1,09	190
P-DS-47	3-4	57,39	0,70	15,04	6,70	0,11	1,79	<1	1,00	202
P-DS-46	4-5	59,28	0,72	18,70	6,23	0,20	0,98	<1	0,75	236
P-DS-45	5-6	50,97	0,84	21,77	8,67	0,19	1,22	<1	1,13	287
P-DS-44	6-7	53,31	0,81	20,55	7,87	0,10	1,12	<1	1,09	228
P-DS-43	7-8	57,22	0,72	15,34	6,79	0,19	1,38	<1	0,95	180
P-DS-42	8-9	60,45	0,67	13,38	6,54	0,18	1,80	<1	1,00	177
P-DS-41	9-10	65,33	0,42	15,35	4,54	0,15	1,31	<1	1,55	<150
P-DS-40	10-11	59,58	0,72	15,28	7,41	0,11	2,70	<1	0,83	164
P-DS-39	11-12	62,04	0,63	12,55	5,77	0,19	2,80	<1	1,11	<150
P-DS-38	12-13	61,95	0,66	11,68	6,04	0,11	2,45	<1	0,90	<150
P-DS-37	13-14	58,92	0,72	17,03	7,14	0,10	2,18	<1	1,21	157
P-DS-36	14-15	60,82	0,63	16,41	5,68	0,27	1,35	<1	1,03	<150
P-DS-35	15-16	60,70	0,66	15,35	6,43	0,19	2,25	<1	1,02	<150
P-DS-34	16-17	60,19	0,61	15,33	5,92	0,18	2,19	<1	1,54	<150
P-DS-33	17-18	58,10	0,69	14,58	6,62	0,10	2,36	<1	1,39	<150
P-DS-32	18-19	62,64	0,57	15,00	5,79	0,17	1,84	<1	1,43	<150
P-DS-31	19-20	65,48	0,43	15,80	4,20	0,15	1,66	<1	1,17	<150

Tabla A3. Análisis de componentes mayoritarios de la perforación P-DS (continuación).

Muestra	Prof. (m)	SiO ₂ (%)	TiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MnO(%)	CaO(%)	MgO(%)	K ₂ O(%)	V(ppm)
P-DS-30	20-21	62,06	0,50	18,69	4,66	0,15	1,35	<1	1,82	<150
P-DS-29	21-22	60,92	0,64	19,18	5,33	0,16	1,40	<1	1,49	<150
P-DS-28	22-23	62,92	0,45	13,59	6,65	0,18	1,19	<1	2,03	<150
P-DS-27	23-24	61,36	0,60	15,99	5,69	0,19	2,06	<1	1,97	<150
P-DS-26	24-25	60,90	0,58	17,32	6,06	0,18	1,90	<1	1,47	<150
P-DS-25	25-26	59,58	0,59	17,45	6,55	0,16	1,78	<1	1,81	<150
P-DS-24	26-27	62,60	0,56	15,77	5,81	0,16	1,79	<1	1,22	164
P-DS-23	27-28	60,73	0,61	15,76	6,08	0,16	1,64	<1	1,61	198
P-DS-22	28-29	59,70	0,83	12,42	7,63	0,10	2,28	<1	1,20	155
P-DS-21	29-30	60,10	0,60	15,90	7,56	0,18	1,44	<1	1,77	<150
P-DS-20	30-31	60,18	0,55	14,68	6,85	0,16	1,38	<1	1,80	<150
P-DS-19	31-32	62,61	0,54	14,19	5,41	0,19	1,35	<1	1,97	<150
P-DS-18	32-33	62,53	0,53	15,68	5,16	0,13	1,43	<1	1,98	153
P-DS-17	33-34	61,07	0,55	14,43	5,42	0,13	1,54	<1	2,00	<150
P-DS-16	34-35	64,41	0,42	15,77	4,18	0,17	1,33	<1	2,41	<150
P-DS-15	35-36	60,77	0,62	15,19	5,81	0,17	1,35	<1	2,32	216
P-DS-14	36-37	62,24	0,55	16,75	5,82	0,16	1,59	<1	2,06	170
P-DS-13	37-38	62,86	0,52	16,47	5,46	0,19	1,58	<1	1,89	<150
P-DS-12	38-39	61,69	0,56	17,58	5,61	0,10	1,65	<1	1,90	155
P-DS-11	39-40	60,68	0,61	14,88	5,49	0,10	1,63	<1	2,12	150
P-DS-10	40-41	60,77	0,63	13,90	5,82	0,18	1,73	<1	1,90	<150
P-DS-9	41-42	59,20	0,62	17,38	5,93	0,18	1,52	<1	1,98	167
P-DS-8	42-43	57,52	0,70	17,88	6,29	0,18	1,57	<1	2,30	195
P-DS-7	43-44	62,59	0,62	13,63	4,46	0,16	1,92	<1	1,29	156
P-DS-6	44-45	65,19	0,48	15,48	4,98	0,16	1,37	<1	1,88	190
P-DS-5	45-46	61,61	0,57	14,71	5,15	0,17	1,48	<1	2,08	167
P-DS-4	46-47	57,94	0,67	18,53	5,69	0,17	1,40	<1	2,18	177
P-DS-3	47-48	59,36	0,66	16,33	5,64	0,16	1,34	<1	1,89	171
P-DS-2	48-49	58,51	0,63	18,32	5,83	0,17	1,49	<1	2,00	174
P-DS-1	49-50	63,19	0,55	17,47	5,46	0,16	1,46	1,01	1,61	161

5.2. Espectrometría gamma

A continuación se presentan las tablas (tablas A5, A6 y A7) de resultados obtenidos al aplicar el método de espectrometría gamma multicanal. Los valores de cada ventanas se encuentran expresados en cuentas por segundo (cps).

Tabla A5. Concentración de isótopos radiactivos en el pozo SPT-IN.

Muestra	Prof. (m)	$\gamma^{214}\text{Bi}$ (cps)	$\gamma^{212}\text{Bi}$ (cps)	$\gamma^{40}\text{K}$ (cps)	$\gamma^{208}\text{Tl}$ (cps)	γF_1 (cps)	γF_2 (cps)	γF_3 (cps)	γF_4 (cps)	γF_5 (cps)
SPT-IN-64	0,55-1	1,036	0,575	0,255	0,144	1,599	1,101	0,573	0,197	0,327
SPT-IN-63	1,55-2	1,052	0,610	0,256	0,167	1,625	1,080	0,565	0,186	0,295
SPT-IN-62	2,55-3	1,046	0,656	0,270	0,164	1,526	1,101	0,619	0,194	0,313
SPT-IN-61	3,55-4	1,072	0,663	0,257	0,175	1,662	1,123	0,619	0,195	0,357
SPT-IN-60	4,55-5	1,029	0,651	0,279	0,159	1,683	1,100	0,554	0,183	0,331
SPT-IN-59	5,55-6	0,966	0,664	0,289	0,185	1,655	1,104	0,609	0,103	0,309
SPT-IN-58	6,55-7	0,963	0,739	0,277	0,158	1,663	1,083	0,571	0,182	0,337
SPT-IN-57	7,55-8	0,991	0,879	0,329	0,187	2,153	1,441	0,643	0,127	0,410
SPT-IN-56	8,55-9	0,946	0,762	0,301	0,181	1,844	1,195	0,633	0,115	0,392
SPT-IN-55	9,55-10	0,815	0,694	0,299	0,165	1,640	1,102	0,552	0,101	0,318
SPT-IN-54	1,55-12	0,848	0,807	0,293	0,171	1,759	1,185	0,627	0,197	0,318
SPT-IN-53	12,55-13	0,819	0,782	0,304	0,158	1,733	1,088	0,574	0,195	0,321
SPT-IN-52	13,55-14	0,772	0,803	0,288	0,147	1,647	1,125	0,641	0,198	0,320
SPT-IN-51	14,55-15	0,767	0,787	0,246	0,172	1,770	1,135	0,601	0,189	0,345
SPT-IN-50	15,55-16	0,763	0,799	0,303	0,167	1,719	1,096	0,593	0,100	0,328

Tabla A5. Concentración de isótopos radiactivos en el pozo SPT-IN (continuación).

Muestra	Prof.(m)	$\gamma^{214}\text{Bi}$ (cps)	$\gamma^{212}\text{Bi}$ (cps)	$\gamma^{40}\text{K}$ (cps)	$\gamma^{208}\text{Tl}$ (cps)	γF_1 (cps)	γF_2 (cps)	γF_3 (cps)	γF_4 (cps)	γF_5 (cps)
SPT-IN-49	16,55-17	0,772	0,888	0,271	0,171	1,824	1,138	0,602	0,180	0,338
SPT-IN-48	17,55-17,95	0,793	0,864	0,298	0,160	1,727	1,137	0,559	0,108	0,315
SPT-IN-47	18,55-19	1,041	0,678	0,279	0,162	1,701	1,111	0,620	0,191	0,297
SPT-IN-46	19,55-20	1,040	0,587	0,283	0,148	1,609	1,121	0,558	0,194	0,329
SPT-IN-45	20,55-20,82	1,081	0,609	0,293	0,157	1,610	1,061	0,552	0,188	0,302
SPT-IN-44	21,55-22	1,086	0,615	0,295	0,150	1,593	1,059	0,574	0,186	0,317
SPT-IN-43	22,55-23	1,080	0,621	0,305	0,154	1,711	1,119	0,609	0,195	0,318
SPT-IN-42	23,55-23,67	1,102	0,679	0,270	0,165	1,730	1,173	0,655	0,188	0,347
SPT-IN-41	24,55-25	1,019	0,582	0,246	0,151	1,632	1,051	0,536	0,186	0,303
SPT-IN-40	25,55-26	1,060	0,630	0,308	0,155	1,667	1,125	0,615	0,190	0,354
SPT-IN-39	26,55-27	1,123	0,632	0,257	0,154	1,770	1,124	0,628	0,179	0,328
SPT-IN-38	27,55-28	1,074	0,663	0,311	0,175	1,760	1,173	0,592	0,184	0,316
SPT-IN-37	28,55-29	1,139	0,643	0,284	0,164	1,774	1,138	0,590	0,195	0,335
SPT-IN-36	29,55-30	1,119	0,661	0,301	0,178	1,616	1,143	0,610	0,180	0,314
SPT-IN-35	32,65-32,68	1,021	0,727	0,300	0,161	1,837	1,150	0,679	0,194	0,334
SPT-IN-34	35,55-36	0,971	0,765	0,286	0,197	1,740	1,225	0,670	0,194	0,321
SPT-IN-33	39,55-39,85	1,077	0,661	0,319	0,153	1,791	1,208	0,690	0,189	0,321
SPT-IN-32	42,55-43	1,097	0,630	0,289	0,154	1,726	1,197	0,708	0,190	0,341
SPT-IN-31	45,55-45,88	1,100	0,685	0,293	0,154	1,713	1,186	0,647	0,183	0,353
SPT-IN-30	49,55-49,65	1,098	0,633	0,281	0,168	1,753	1,201	0,656	0,100	0,346
SPT-IN-29	55,55-56	0,975	0,607	0,272	0,168	1,551	0,988	0,525	0,190	0,334
SPT-IN-28	58,55-59	0,917	0,674	0,310	0,170	1,743	1,077	0,624	0,185	0,335
SPT-IN-27	59,55-60	0,994	0,765	0,306	0,171	1,801	1,208	0,656	0,100	0,369
SPT-IN-26	62,55-62,86	0,779	0,910	0,301	0,162	1,770	1,144	0,598	0,188	0,356
SPT-IN-25	65,55-65,93	0,807	0,846	0,292	0,169	1,840	1,182	0,639	0,193	0,326
SPT-IN-24	68,55-68,63	0,924	0,701	0,277	0,148	1,750	1,114	0,547	0,193	0,341
SPT-IN-23	71,55-71,63	0,968	0,696	0,257	0,159	1,815	1,103	0,629	0,199	0,349
SPT-IN-22	74,55-75	0,957	0,701	0,274	0,168	1,774	1,126	0,628	0,176	0,348
SPT-IN-21	77,55-78	0,965	0,698	0,260	0,157	1,858	1,154	0,647	0,190	0,292
SPT-IN-20	80,55-80,63	0,961	0,689	0,276	0,160	1,704	1,108	0,569	0,172	0,307
SPT-IN-19	83,55-83,63	0,966	0,727	0,300	0,158	1,767	1,093	0,673	0,189	0,319
SPT-IN-18	86,55-86,69	0,835	0,696	0,262	0,160	1,578	0,988	0,509	0,194	0,295
SPT-IN-17	89,55-89,65	0,913	0,780	0,291	0,151	1,810	1,218	0,607	0,191	0,341
SPT-IN-16	92,55-92,85	0,866	0,876	0,303	0,159	1,817	1,242	0,698	0,181	0,331
SPT-IN-15	95,55-95,70	0,790	0,866	0,282	0,159	1,783	1,140	0,696	0,183	0,330
SPT-IN-14	100-103,5	0,726	0,842	0,252	0,157	1,581	1,008	0,500	0,173	0,296
SPT-IN-13	109,17-112	0,723	0,885	0,300	0,169	1,697	1,094	0,544	0,116	0,333
SPT-IN-12	112,12-113	0,697	0,878	0,285	0,152	1,702	1,105	0,622	0,189	0,333
SPT-IN-11	113-114,5	0,782	0,960	0,312	0,169	1,801	1,174	0,631	0,195	0,348
SPT-IN-10	114,5-115,16	0,792	1,030	0,265	0,165	1,842	1,183	0,630	0,195	0,351
SPT-IN-9	118,07-119,5	0,736	0,974	0,257	0,164	1,710	1,146	0,783	0,109	0,308
SPT-IN-8	119,5-121	0,690	0,919	0,290	0,159	1,706	1,084	0,572	0,192	0,332
SPT-IN-7	121-122	0,729	0,969	0,279	0,172	1,714	1,075	0,585	0,105	0,324
SPT-IN-6	122-123	1,052	0,778	0,328	0,171	1,908	1,216	0,644	0,180	0,351
SPT-IN-5	123-124,5	0,995	0,666	0,285	0,155	1,679	1,151	0,621	0,186	0,347
SPT-IN-4	124,5-128	1,044	0,669	0,274	0,167	1,777	1,135	0,587	0,197	0,330
SPT-IN-3	128-129	0,921	0,673	0,246	0,151	1,547	0,988	0,501	0,186	0,313
SPT-IN-2	129,7-131	0,645	0,852	0,278	0,152	1,649	1,024	0,559	0,183	0,306
SPT-IN-1	131-133	0,642	0,993	0,278	0,159	1,676	1,070	0,557	0,193	0,302

Tabla A6. Concentración de isótopos radiactivos en el pozo P-IN.

Muestra	Prof.(m)	$\gamma^{214}\text{Bi}$ (cps)	$\gamma^{212}\text{Bi}$ (cps)	$\gamma^{40}\text{K}$ (cps)	$\gamma^{208}\text{Tl}$ (cps)	γF_1 (cps)	γF_2 (cps)	γF_3 (cps)	γF_4 (cps)	γF_5 (cps)
P-IN-58	0-1	1,002	0,647	0,272	0,160	1,616	1,095	0,573	0,155	0,304
P-IN-57	1-2	1,044	0,623	0,261	0,142	1,657	1,076	0,521	0,188	0,300
P-IN-56	2-3	1,033	0,619	0,255	0,155	1,737	1,100	0,574	0,160	0,265
P-IN-55	3-4	1,099	0,637	0,271	0,155	1,654	1,076	0,525	0,182	0,290
P-IN-54	4-5	0,952	0,622	0,277	0,149	1,561	1,024	0,480	0,183	0,301
P-IN-53	5-6	1,019	0,614	0,255	0,161	1,671	1,002	0,530	0,170	0,274
P-IN-52	6-7	0,952	0,684	0,264	0,147	1,713	1,082	0,496	0,173	0,312
P-IN-51	7-8	0,955	0,684	0,261	0,153	1,724	1,066	0,536	0,178	0,295
P-IN-50	8-10	0,671	1,003	0,278	0,150	1,660	1,074	0,550	0,196	0,337
P-IN-49	12-14	0,671	0,897	0,281	0,156	1,686	1,075	0,571	0,192	0,316
P-IN-48	14-16	0,758	0,873	0,270	0,162	1,660	1,032	0,547	0,105	0,292
P-IN-47	16-18	0,746	0,901	0,267	0,155	1,551	1,065	0,536	0,103	0,330
P-IN-46	18-20	0,743	0,858	0,256	0,158	1,672	1,118	0,610	0,183	0,297
P-IN-45	20-22	0,785	0,776	0,261	0,162	1,608	1,010	0,557	0,182	0,299
P-IN-44	22-24	0,769	0,771	0,272	0,153	1,683	1,079	0,534	0,186	0,327
P-IN-43	24-27	0,782	0,787	0,275	0,155	1,613	1,081	0,546	0,196	0,335
P-IN-42	27-30	0,744	0,789	0,271	0,169	1,663	1,013	0,589	0,101	0,323
P-IN-41	30-33	0,731	0,806	0,265	0,168	1,697	1,097	0,545	0,195	0,348
P-IN-40	33-37	0,739	0,880	0,291	0,163	1,631	1,085	0,592	0,182	0,304
P-IN-39	37-40	0,774	0,901	0,277	0,166	1,681	1,075	0,601	0,103	0,327
P-IN-38	40-42	0,713	0,926	0,294	0,169	1,735	1,113	0,582	0,199	0,335
P-IN-37	42-43	0,690	0,996	0,274	0,185	1,721	1,147	0,667	0,198	0,321
P-IN-36	43-46	0,713	0,973	0,290	0,174	1,820	1,009	0,600	0,199	0,318
P-IN-35	46-49	0,722	1,011	0,295	0,169	1,693	1,083	0,589	0,196	0,327
P-IN-34	49-52	0,698	0,951	0,281	0,156	1,698	1,121	0,605	0,178	0,306
P-IN-33	52-55	0,672	1,005	0,271	0,170	1,685	1,150	0,605	0,197	0,314
P-IN-32	55-58	0,689	0,993	0,295	0,149	1,701	1,114	0,673	0,194	0,292
P-IN-31	58-61	1,041	0,577	0,236	0,158	1,604	0,992	0,583	0,192	0,295
P-IN-30	61-64	1,076	0,597	0,227	0,163	1,581	1,030	0,551	0,190	0,325
P-IN-29	64-67	1,029	0,643	0,299	0,154	1,562	1,080	0,513	0,178	0,273
P-IN-28	67-70	1,117	0,630	0,263	0,142	1,601	1,081	0,616	0,182	0,314
P-IN-27	70-73	1,091	0,582	0,288	0,154	1,597	1,079	0,572	0,179	0,296
P-IN-26	73-76	1,013	0,571	0,250	0,149	1,593	1,031	0,576	0,168	0,309
P-IN-25	76-79	1,019	0,616	0,235	0,148	1,517	1,081	0,566	0,191	0,273
P-IN-24	79-82	1,008	0,569	0,276	0,156	1,553	1,068	0,558	0,162	0,298
P-IN-23	82-85	1,022	0,619	0,255	0,157	1,555	1,107	0,544	0,172	0,313
P-IN-22	85-88	0,998	0,607	0,288	0,161	1,505	1,085	0,615	0,191	0,325
P-IN-21	88-91	0,996	0,594	0,265	0,166	1,622	1,036	0,602	0,170	0,297
P-IN-20	91-94	0,960	0,609	0,281	0,165	1,510	1,050	0,546	0,187	0,319
P-IN-19	94-97	0,966	0,638	0,296	0,150	1,622	1,019	0,547	0,184	0,310
P-IN-18	97-100	0,944	0,625	0,269	0,164	1,644	1,002	0,571	0,108	0,341
P-IN-17	100-103	0,946	0,693	0,284	0,158	1,677	1,099	0,567	0,105	0,322
P-IN-16	103-106	0,939	0,719	0,257	0,162	1,629	1,049	0,583	0,198	0,319
P-IN-15	106-109	1,080	0,581	0,251	0,160	1,588	1,072	0,548	0,182	0,340
P-IN-14	109-112	0,957	0,632	0,248	0,157	1,559	1,052	0,555	0,103	0,285
P-IN-13	112-115	1,067	0,612	0,248	0,144	1,592	1,008	0,567	0,190	0,308
P-IN-12	115-118	1,043	0,585	0,273	0,161	1,596	1,097	0,603	0,178	0,291
P-IN-11	118-121	1,029	0,634	0,282	0,160	1,578	1,016	0,573	0,179	0,347
P-IN-9	121-122	0,968	0,597	0,236	0,148	1,674	1,044	0,501	0,100	0,296
P-IN-8	122-123	0,976	0,597	0,270	0,155	1,570	1,023	0,592	0,166	0,317
P-IN-7	123-124	0,947	0,647	0,253	0,153	1,575	1,004	0,620	0,194	0,322
P-IN-6	124-125	0,936	0,596	0,272	0,172	1,556	1,039	0,511	0,105	0,308
P-IN-5	125-126	0,936	0,613	0,260	0,171	1,576	1,065	0,556	0,191	0,338
P-IN-4	126-127	0,888	0,654	0,269	0,163	1,597	1,066	0,560	0,188	0,293
P-IN-3	127-128	0,877	0,704	0,255	0,157	1,626	1,003	0,574	0,100	0,284
P-IN-2	128-129	0,814	0,698	0,284	0,154	1,624	1,027	0,582	0,175	0,299
P-IN-1	129-130	0,798	0,717	0,269	0,171	1,613	1,032	0,577	0,188	0,322

Tabla A7. Análisis de isótopos radiactivos en el pozo P-DS.

Muestra	Prof.(m)	$\gamma^{214}\text{Bi}$ (cps)	$\gamma^{212}\text{Bi}$ (cps)	$\gamma^{40}\text{K}$ (cps)	$\gamma^{208}\text{Tl}$ (cps)	γF_1 (cps)	γF_2 (cps)	γF_3 (cps)	γF_4 (cps)	γF_5 (cps)
P-DS-50	0-1	1,19	0,77	0,36	0,16	2,18	1,40	0,71	0,11	0,40
P-DS-49	1-2	1,16	0,85	0,30	0,17	2,26	1,42	0,82	0,19	0,40
P-DS-48	2-3	1,16	0,77	0,37	0,16	2,27	1,37	0,75	0,11	0,42
P-DS-47	3-4	1,13	0,83	0,35	0,16	2,27	1,36	0,68	0,19	0,38
P-DS-46	4-5	1,06	0,85	0,33	0,17	2,01	1,35	0,68	0,10	0,39
P-DS-45	5-6	0,87	1,03	0,34	0,16	2,20	1,40	0,76	0,11	0,40
P-DS-44	6-7	0,96	1,09	0,34	0,16	2,28	1,46	0,72	0,13	0,41
P-DS-43	7-8	0,85	1,12	0,32	0,16	2,08	1,30	0,64	0,12	0,39
P-DS-42	8-9	0,84	1,10	0,31	0,16	2,13	1,34	0,70	0,13	0,37
P-DS-41	9-10	0,81	1,14	0,33	0,17	2,10	1,32	0,67	0,10	0,37
P-DS-40	10-11	0,88	1,13	0,34	0,19	2,25	1,37	0,74	0,11	0,43
P-DS-39	11-12	0,79	1,09	0,31	0,15	2,18	1,31	0,66	0,12	0,39
P-DS-38	12-13	1,14	0,73	0,37	0,18	2,19	1,36	0,74	0,19	0,40
P-DS-37	13-14	0,84	1,18	0,33	0,18	2,09	1,32	0,65	0,12	0,39
P-DS-36	14-15	0,83	1,14	0,33	0,15	2,10	1,32	0,66	0,13	0,38
P-DS-35	15-16	1,08	1,39	0,39	0,19	2,78	1,80	1,00	0,17	0,48
P-DS-34	16-17	0,79	1,09	0,30	0,16	2,03	1,24	0,69	0,11	0,35
P-DS-33	17-18	0,86	1,23	0,34	0,16	2,31	1,37	0,80	0,10	0,43
P-DS-32	18-19	0,92	1,18	0,33	0,14	2,32	1,29	0,75	0,11	0,39
P-DS-31	19-20	0,75	1,11	0,32	0,14	2,12	1,26	0,68	0,19	0,37
P-DS-30	20-21	0,76	1,08	0,27	0,16	2,05	1,28	0,75	0,19	0,33
P-DS-29	21-22	0,79	1,09	0,31	0,14	2,03	1,26	0,67	0,10	0,36
P-DS-28	22-23	0,87	1,19	0,32	0,16	2,27	1,43	0,78	0,11	0,34
P-DS-27	23-24	0,86	1,14	0,35	0,15	2,34	1,42	0,79	0,10	0,40
P-DS-26	24-25	0,80	1,13	0,33	0,17	2,11	1,37	0,73	0,12	0,35
P-DS-25	25-26	0,84	1,17	0,34	0,17	2,28	1,38	0,78	0,12	0,38
P-DS-24	26-27	0,85	1,14	0,31	0,16	2,33	1,41	0,68	0,12	0,48
P-DS-23	27-28	0,83	1,17	0,31	0,16	2,22	1,46	0,78	0,10	0,43
P-DS-22	28-29	0,80	1,15	0,32	0,15	2,15	1,21	0,68	0,10	0,34
P-DS-21	29-30	0,79	1,09	0,30	0,15	2,15	1,35	0,73	0,11	0,38
P-DS-20	30-31	0,82	1,15	0,31	0,16	2,26	1,35	0,83	0,12	0,41
P-DS-19	31-32	0,92	1,22	0,33	0,14	2,25	1,45	0,83	0,10	0,41
P-DS-18	32-33	0,91	1,21	0,32	0,15	2,34	1,42	0,83	0,10	0,39
P-DS-17	33-34	0,83	1,18	0,33	0,14	2,12	1,38	0,74	0,19	0,35
P-DS-16	34-35	0,92	1,10	0,34	0,15	2,19	1,47	0,78	0,10	0,37
P-DS-15	35-36	0,84	1,17	0,35	0,14	2,25	1,39	0,75	0,11	0,39
P-DS-14	36-37	0,77	1,10	0,29	0,14	1,98	1,28	0,75	0,12	0,34
P-DS-13	37-38	0,83	1,06	0,31	0,15	2,21	1,23	0,69	0,10	0,36
P-DS-12	38-39	0,74	1,04	0,28	0,16	2,07	1,32	0,76	0,14	0,36
P-DS-11	39-40	0,81	1,12	0,32	0,18	2,17	1,32	0,69	0,11	0,41
P-DS-10	40-41	0,79	1,08	0,30	0,17	1,97	1,28	0,66	0,12	0,36
P-DS-9	41-42	0,82	1,16	0,30	0,17	2,02	1,36	0,72	0,12	0,39
P-DS-8	42-43	0,78	1,10	0,29	0,18	2,02	1,27	0,67	0,11	0,30
P-DS-7	43-44	0,80	0,97	0,27	0,15	1,86	1,19	0,65	0,19	0,37
P-DS-6	44-45	0,70	1,03	0,31	0,14	1,99	1,24	0,72	0,10	0,36
P-DS-5	45-46	0,90	1,13	0,33	0,15	2,13	1,35	0,81	0,11	0,36
P-DS-4	46-47	0,81	1,12	0,35	0,16	2,13	1,38	0,77	0,12	0,37
P-DS-3	47-48	0,79	1,09	0,32	0,17	2,05	1,33	0,72	0,11	0,37
P-DS-2	48-49	0,77	1,09	0,30	0,17	2,04	1,29	0,71	0,10	0,39
P-DS-1	49-50	0,78	1,11	0,29	0,16	2,07	1,23	0,71	0,12	0,34

5.3. Minerales pesados

La tabla (tabla A8) posterior contiene los resultados de la separación de los minerales pesados en los pozos P-IN y P-SB. Las concentración de minerales pesados que se muestra en la tabla siguiente es lo separado de un total de 15 g de sedimento. Dichos valores están acompañados de su equivalente porcentual.

Tabla A8. Concentración de minerales pesados en los pozos P-IN y P-SB.

P-INPARQUES			P-SEBUCÁN		
Muestras	Minerales pesados (g)	Minerales pesados (%)	Muestras	Minerales pesados (g)	Minerales pesados (%)
P-IN-58	3,05	20,32	P-SB-84	2,24	14,95
P-IN-57	2,86	19,09	P-SB-83	2,12	14,12
P-IN-56	2,17	14,44	P-SB-82	1,71	11,37
P-IN-55	2,42	16,13	P-SB-81	2,61	17,38
P-IN-54	3,28	21,89	P-SB-80	2,69	17,94
P-IN-53	2,31	15,37	P-SB-79	2,59	17,27
P-IN-52	2,57	17,11	P-SB-78	2,66	17,76
P-IN-51	2,83	18,88	P-SB-77	2,38	15,87
P-IN-50	1,48	9,89	P-SB-76	0,86	5,74
P-IN-49	2,20	14,66	P-SB-75	0,95	6,31
P-IN-48	1,74	11,57	P-SB-74	0,82	5,50
P-IN-47	1,50	9,99	P-SB-73	2,87	19,12
P-IN-46	1,39	9,29	P-SB-72	2,47	16,46
P-IN-45	1,41	9,37	P-SB-71	2,21	14,76
P-IN-44	1,34	8,95	P-SB-70	2,29	15,28
P-IN-43	1,09	7,30	P-SB-69	3,44	22,94
P-IN-42	1,27	8,49	P-SB-68	2,18	14,53
P-IN-41	1,16	7,71	P-SB-67	3,50	23,30
P-IN-40	1,11	7,38	P-SB-66	2,65	17,65
P-IN-39	1,18	7,89	P-SB-65	1,37	9,16
P-IN-38	1,02	6,82	P-SB-64	2,72	18,11
P-IN-37	1,24	8,28	P-SB-63	2,14	14,28
P-IN-36	1,20	7,98	P-SB-62	2,38	15,85
P-IN-35	1,19	7,93	P-SB-61	1,76	11,75
P-IN-34	1,10	7,32	P-SB-60	2,12	14,14
P-IN-33	1,20	8,02	P-SB-59	1,85	12,33
P-IN-32	1,24	8,28	P-SB-58	1,73	11,56
P-IN-31	1,04	6,94	P-SB-57	2,01	13,38
P-IN-30	1,06	7,04	P-SB-56	1,53	10,20
P-IN-29	0,83	5,54	P-SB-55	2,15	14,33
P-IN-28	0,87	5,82	P-SB-54	2,44	16,26
P-IN-27	1,10	7,32	P-SB-53	2,73	18,19
P-IN-26	0,83	5,55	P-SB-52	2,26	15,08
P-IN-25	0,99	6,62	P-SB-51	1,73	11,55
P-IN-24	0,95	6,35	P-SB-50	1,86	12,42
P-IN-23	1,02	7,87	P-SB-49	1,61	10,76
P-IN-22	0,95	6,31	P-SB-48	2,20	14,66
P-IN-21	0,86	5,74	P-SB-47	2,47	16,46
P-IN-20	0,92	6,12	P-SB-46	1,62	10,77
P-IN-19	0,99	6,60	P-SB-45	1,70	11,35
P-IN-18	0,89	5,93	P-SB-44	1,93	12,90

Tabla A8. Concentración de minerales pesados en los pozos P-IN y P-SB (continuación)

P-IN-17	1,13	7,54	P-SB-43	0,82	5,44
P-IN-16	1,12	7,48	P-SB-42	1,30	8,66
P-IN-15	0,99	6,61	P-SB-41	1,22	8,11
P-IN-14	0,89	5,92	P-SB-40	1,36	9,08
P-IN-13	1,04	6,96	P-SB-39	0,94	6,30
P-IN-12	0,99	6,59	P-SB-38	1,44	9,57
P-IN-11	0,98	8,71	P-SB-37	1,53	10,22
P-IN-9	0,85	6,37	P-SB-36	0,83	5,51
P-IN-8	1,14	7,63	P-SB-35	1,09	7,30
P-IN-7	1,00	6,65	P-SB-34	1,31	8,70
P-IN-6	0,95	6,30	P-SB-33	0,90	6,03
P-IN-5	0,82	8,06	P-SB-32	1,30	8,69
P-IN-4	0,92	7,34	P-SB-31	1,16	7,71
P-IN-3	0,96	6,40	P-SB-30	1,40	9,36
P-IN-2	0,98	6,50	P-SB-29	1,06	7,09
P-IN-1	0,77	6,04	P-SB-28	1,44	9,60
			P-SB-27	0,87	5,82
			P-SB-26	1,12	7,46
			P-SB-25	0,89	5,94
			P-SB-24	0,83	5,55
			P-SB-23	1,04	6,91
			P-SB-22	1,27	8,48
			P-SB-21	1,15	7,67
			P-SB-20	1,13	7,51
			P-SB-19	1,79	11,94
			P-SB-18	1,39	9,29
			P-SB-17	1,00	6,65
			P-SB-16	0,72	4,79
			P-SB-15	0,82	5,48
			P-SB-14	1,22	8,11
			P-SB-13	0,89	5,96
			P-SB-12	0,88	5,84
			P-SB-11	0,82	5,44
			P-SB-10	0,92	6,15
			P-SB-9	0,73	4,85
			P-SB-8	0,72	4,82
			P-SB-7	0,79	5,28
			P-SB-6	1,11	7,37
			P-SB-5	1,01	6,75
			P-SB-4	0,88	5,89
			P-SB-3	0,86	5,75
			P-SB-2	0,81	5,38
			P-SB-1	0,82	5,46

5.4. Descripción mineralógica

Las siguientes tablas contienen el resultado de la descripción mineralógica de la fracción grava en las muestras de canal (ripios). En ellas se muestran los porcentaje en peso de cada una de las litologías y minerales identificados (tablas A9 y A10) correspondientes a los pozos P-IN y P-DS, respectivamente.

Tabla A9. Composición mineralógica porcentual de las muestras de canal tomadas en el pozo P-IN.

Muestra	Esquisto y gneis plagioclásico cuarítico	Esquisto Moscovítico clorítico	Esquisto clorítico-actinolítico	Esquisto cuarzo-Moscovítico-clorítico	Esquisto Moscovítico-cuarítico	Cuarzo	Epidoto	Óxidos	Esquisto Meteorizado (Material no identificable)	Anfibolita	MárMol	Esquisto grafitoso	Esquisto sercítico
P-IN-60	46,1	<0,1	4,1	0,3	<0,1	37,4	0,3	6,1	2,3	3,5	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-59	18,8	<0,1	<0,1	6,3	<0,1	75,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-58	15,4	<0,1	<0,1	5,5	<0,1	79,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-57	16,0	<0,1	<0,1	12,0	<0,1	68,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,0	<0,1	<0,1
P-IN-56	43,0	0,8	5,4	1,9	<0,1	40,3	1,6	<0,1	<0,1	<0,1	4,7	2,3	<0,1
P-IN-55	26,0	<0,1	1,3	<0,1	<0,1	68,8	1,3	1,3	<0,1	1,3	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-53	45,0	<0,1	0,4	0,4	<0,1	53,1	0,4	0,4	<0,1	0,4	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-49	2,6	<0,1	0,5	2,5	<0,1	92,7	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,6	<0,1	<0,1
P-IN-47	1,0	<0,1	<0,1	0,6	<0,1	96,6	0,9	0,3	<0,1	<0,1	0,5	<0,1	<0,1
P-IN-45	31,5	1,8	<0,1	2,3	<0,1	58,4	1,8	1,8	0,5	0,5	0,9	0,5	<0,1
P-IN-43	13,4	3,9	<0,1	<0,1	<0,1	78,5	1,1	2,1	<0,1	1,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-41	12,4	4,1	<0,1	<0,1	<0,1	83,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-39	29,4	<0,1	5,9	<0,1	<0,1	64,7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-37	5,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	27,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	15,3	44,0	8,5
P-IN-35	3,3	<0,1	<0,1	4,4	<0,1	89,0	1,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,1	1,1	<0,1
P-IN-33	6,1	1,0	1,0	<0,1	1,0	89,9	<0,1	1,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-31	2,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	84,2	5,3	5,3	<0,1	<0,1	2,6	<0,1	<0,1
P-IN-30	5<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	5<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-29	5,5	<0,1	<0,1	<0,1	0,8	92,1	0,8	<0,1	<0,1	<0,1	0,8	<0,1	<0,1
P-IN-27	8,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	91,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-25	4,0	3,0	<0,1	<0,1	<0,1	91,9	<0,1	1,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-23	1,1	<0,1	<0,1	3,2	<0,1	91,6	<0,1	3,2	<0,1	<0,1	1,1	<0,1	<0,1
P-IN-21	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	100,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-19	6,8	<0,1	1,4	<0,1	1,4	87,8	<0,1	2,7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-17	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	93,8	3,1	3,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	90,9	<0,1	9,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-13	6<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	85,7	<0,1	14,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	8<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2<0,1	<0,1
P-IN-9	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	96,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3,8	<0,1
P-IN-8	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	96,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	3,7	<0,1
P-IN-7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	100,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-IN-6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,5	90,9	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,5	<0,1
P-IN-5	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	97,6	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,4	<0,1
P-IN-4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	100,0	<0,1
P-IN-3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	100,0	<0,1
P-IN-2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	100,0	<0,1
P-IN-1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	100,0	<0,1

Tabla A10. Composición mineralógica porcentual de las muestras de canal tomadas en el pozo P-DS.

Muestra	Esquisto y gneis plagioclásico cuarítico	Esquisto moscovítico clorítico	Esquisto clorítico-actinolítico	Esquisto cuarzo-moscovítico-clorítico	Esquisto moscovítico-cuarítico	Cuarzo	Epidoto	Óxidos	Esquisto meteorizado (material no identificable)	Anfibolita
P-DS-50	5,1	11,3	0,8	<0,1	9,0	38,7	17,2	<0,1	3,1	14,8
P-DS-49	16,0	11,4	3,4	<0,1	<0,1	48,6	9,1	<0,1	2,3	9,1
P-DS-48	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	100	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-DS-47	40,1	0,5	<0,1	25,1	<0,1	22,5	0,5	2,7	3,7	4,8
P-DS-46	6,7	8,3	<0,1	<0,1	<0,1	45,0	<0,1	40,1	<0,1	<0,1
P-DS-44	13,7	21,6	<0,1	<0,1	<0,1	56,9	<0,1	7,8	<0,1	<0,1
P-DS-43	5,6	13,4	<0,1	<0,1	<0,1	70,4	3,9	4,9	1,8	<0,1
P-DS-42	22,9	12,9	2,9	<0,1	<0,1	44,3	<0,1	5,7	11,4	<0,1
P-DS-41	6,5	10,9	0,4	<0,1	<0,1	65,9	3,3	1,4	7,6	4,0
P-DS-38	20,6	8,8	<0,1	<0,1	<0,1	64,7	<0,1	2,9	2,9	<0,1
P-DS-37	13,2	6,3	<0,1	<0,1	<0,1	41,6	14,7	0,5	2,1	21,6
P-DS-36	31,6	7,7	<0,1	<0,1	<0,1	37,0	6,0	2,0	0,2	15,5
P-DS-35	27,5	10,1	<0,1	<0,1	<0,1	36,1	6,7	4,0	<0,1	15,6
P-DS-34	26,6	7,3	3,7	5,5	<0,1	33,9	5,5	0,9	<0,1	16,5
P-DS-33	15,3	8,7	<0,1	3,0	<0,1	36,5	<0,1	35,3	<0,1	1,2
P-DS-32	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	100	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-DS-31	12,9	16,5	<0,1	7,1	<0,1	56,5	3,5	1,2	1,2	1,2
P-DS-30	13,0	8,7	<0,1	1,1	<0,1	64,1	2,5	0,4	2,9	7,2
P-DS-29	18,6	12,4	<0,1	<0,1	<0,1	57,5	3,5	0,9	0,9	6,2
P-DS-28	10,6	14,9	<0,1	2,1	<0,1	63,8	2,1	2,1	2,1	2,1
P-DS-27	14,3	7,9	<0,1	<0,1	3,2	68,3	1,6	1,6	1,6	1,6
P-DS-26	18,2	<0,1	<0,1	<0,1	9,1	63,6	<0,1	<0,1	9,1	<0,1
P-DS-25	23,5	7,8	<0,1	<0,1	2,0	56,9	<0,1	7,8	<0,1	2,0
P-DS-24	42,9	20,9	<0,1	<0,1	1,1	31,9	1,1	1,1	<0,1	1,1
P-DS-23	37,9	3,4	<0,1	<0,1	1,7	53,4	<0,1	1,7	<0,1	1,7
P-DS-22	6,3	18,8	<0,1	<0,1	6,3	56,3	6,3	<0,1	<0,1	6,3
P-DS-21	5,0	10,1	<0,1	<0,1	5,0	75,0	<0,1	<0,1	<0,1	5,0
P-DS-20	27,8	33,3	<0,1	<0,1	11,1	16,7	<0,1	11,1	<0,1	<0,1
P-DS-19	23,1	19,2	<0,1	3,8	<0,1	30,8	3,8	19,2	<0,1	<0,1
P-DS-18	12,5	<0,1	<0,1	37,5	<0,1	25,0	<0,1	25,0	<0,1	<0,1
P-DS-17	28,6	19,0	<0,1	<0,1	4,8	28,6	4,8	14,3	<0,1	<0,1
P-DS-16	30,8	<0,1	<0,1	28,2	<0,1	30,8	2,6	7,7	<0,1	<0,1
P-DS-15	28,6	<0,1	<0,1	14,3	<0,1	42,9	<0,1	14,3	<0,1	<0,1
P-DS-14	33,3	<0,1	33,3	<0,1	<0,1	33,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-DS-13	15,6	<0,1	21,9	<0,1	<0,1	46,9	<0,1	15,6	<0,1	<0,1
P-DS-12	28,6	<0,1	<0,1	14,3	<0,1	42,9	<0,1	14,3	<0,1	<0,1
P-DS-11	<0,1	<0,1	<0,1	33,3	<0,1	33,3	<0,1	33,3	<0,1	<0,1
P-DS-10	31,3	<0,1	6,3	6,3	<0,1	43,8	<0,1	6,3	<0,1	6,3
P-DS-9	33,3	<0,1	33,3	<0,1	<0,1	33,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-DS-8	33,3	<0,1	33,3	<0,1	<0,1	33,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-DS-7	<0,1	33,3	<0,1	<0,1	<0,1	33,3	<0,1	33,3	<0,1	<0,1
P-DS-6	<0,1	50,1	<0,1	<0,1	<0,1	50,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-DS-5	<0,1	33,3	<0,1	<0,1	<0,1	33,3	<0,1	33,3	<0,1	<0,1
P-DS-4	33,3	33,3	<0,1	<0,1	<0,1	33,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
P-DS-3	20,1	20,1	<0,1	20,1	<0,1	20,1	<0,1	20,1	<0,1	<0,1
P-DS-2	19,5	6,5	<0,1	0,5	<0,1	66,5	4,5	2,5	<0,1	<0,1
P-DS-1	15,7	<0,1	<0,1	2,4	<0,1	77,6	3,1	1,2	<0,1	<0,1

El pozo P-SB no posee descripción mineralógica por estar ausente en la mayoría de las muestras la fracción grava.

5.5 Color Munsel

En las tablas A11, A12, A13 y A14 se presentan los resultados correspondientes al código de color Munsel para cada muestra de los pozos SPT-IN, P-IN, P-DS y P-SB, respectivamente.

Tabla A11. Código de color Munsel del pozo SPT-IN.

Muestra	Color	Hue	Value	Chroma	R	G	B
SPT-IN-64	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
SPT-IN-63	Light gray	2,5Y	7	2	184	172	147
SPT-IN-62	Light gray	2,5Y	7	2	184	172	147
SPT-IN-61	Light gray	2,5Y	7	2	184	172	147
SPT-IN-60	Light gray	5Y	7	2	181	173	146
SPT-IN-59	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-58	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-57	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-56	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-55	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-54	White	5Y	8	2	208	201	171
SPT-IN-53	White	5Y	8	2	208	201	171
SPT-IN-52	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
SPT-IN-51	White	2,5Y	8	2	211	200	172
SPT-IN-50	White	2,5Y	8	2	211	200	172
SPT-IN-49	White	2,5Y	8	2	211	200	172
SPT-IN-48	White	5Y	8	2	208	201	171
SPT-IN-47	White	5Y	8	2	208	201	171
SPT-IN-46	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-45	White	5Y	8	2	208	201	171
SPT-IN-44	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-43	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-42	White	2,5Y	8	2	211	200	172
SPT-IN-41	White	5Y	8	2	208	201	171
SPT-IN-40	Yellow	2,5Y	7	6	202	170	99
SPT-IN-39	White	2,5Y	8	2	211	200	172
SPT-IN-38	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-37	White	5Y	8	2	208	201	171
SPT-IN-36	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
SPT-IN-35	White	2,5Y	7	4	194	171	123
SPT-IN-34	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-33	White	2,5Y	8	2	211	200	172
SPT-IN-32	Light gray	5Y	7	2	181	173	146
SPT-IN-31	Yellow	10Y	7	8	181	178	63
SPT-IN-30	White	2,5Y	8	2	211	200	172
SPT-IN-29	White	2,5Y	8	0	200	200	200
SPT-IN-28	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-27	White	2,5Y	8	0	200	200	200
SPT-IN-26	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148

SPT-IN-25	White	2,5Y	8	4	220	198	148
SPT-IN-24	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-23	White	5Y	8	2	208	201	171
SPT-IN-22	White	5Y	8	1	205	200	185
SPT-IN-21	Yellow	2,5Y	7	6	202	170	99
SPT-IN-20	White	2,5Y	8	2	211	200	172
SPT-IN-19	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
SPT-IN-18	White	2,5Y	8	0	200	200	200
SPT-IN-17	White	2,5Y	8	2	211	200	172
SPT-IN-16	White	2,5Y	8	2	211	200	172
SPT-IN-15	Yellow	2,5Y	8	6	229	197	123
SPT-IN-14	Light gray	2,5Y	7	0	173	173	173
SPT-IN-13	White	2,5Y	8	0	200	200	200
SPT-IN-12	Yellow	2,5Y	7	6	202	170	99
SPT-IN-11	Yellow	2,5Y	7	6	202	170	99
SPT-IN-10	Yellow	2,5Y	7	6	202	170	99
SPT-IN-9	White	5YR	8	1	209	199	191
SPT-IN-8	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
SPT-IN-7	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
SPT-IN-6	Pale yellow	5Y	7	3	184	173	133
SPT-IN-5	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
SPT-IN-4	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
SPT-IN-3	White	2,5Y	8	0	200	200	200
SPT-IN-2	Light gray	2,5Y	7	0	173	173	173
SPT-IN-1	Gray	2,5Y	5	0	122	122	121

Tabla A12. Código de color Munsell y su transformación a los valores RGB del pozo P-IN.

Muestra	Color	Hue	Value	Chroma	R	G	B
P-IN-58	Light gray	2,5Y	7	2	184	172	147
P-IN-57	Light gray	2,5Y	7	2	184	172	147
P-IN-56	Light brownish gray	2,5Y	7	3	189	172	135
P-IN-55	Light gray	10YR	7	2	187	171	150
P-IN-54	Light gray	2,5Y	7	2	184	172	147
P-IN-53	Light gray	2,5Y	7	2	184	172	147
P-IN-52	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-51	white	2,5Y	8	2	211	200	172
P-IN-50	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-49	white	2,5Y	8	1	206	200	186
P-IN-48	white	2,5Y	8	2	211	200	172
P-IN-47	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-46	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-45	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-44	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-43	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-42	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-41	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-40	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-39	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-38	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-37	Light gray	2,5Y	7	2	184	172	147
P-IN-36	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-35	white	5Y	8	1	205	200	185

P-IN-34	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-33	white	2,5Y	8	2	211	200	172
P-IN-32	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-31	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-30	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-29	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-28	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-27	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-26	white	2,5Y	8	2	211	200	172
P-IN-25	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-24	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-23	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-22	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-21	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-20	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-19	white	2,5Y	8	2	211	200	172
P-IN-18	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-17	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-16	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-15	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-14	white	5Y	8	1	205	200	185
P-IN-13	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-12	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-11	white	5Y	8	2	208	201	171
P-IN-9	pale yellow	5Y	7	3	184	173	133
P-IN-8	pale yellow	5Y	7	3	184	173	133
P-IN-7	pale yellow	5Y	7	3	184	173	133
P-IN-6	pale yellow	5Y	7	4	187	173	120
P-IN-5	pale yellow	5Y	7	4	187	173	120
P-IN-4	Light gray	2,5Y	7	2	184	172	147
P-IN-3	Light gray	2,5Y	7	2	184	172	147
P-IN-2	Gray	2,5Y	6	0	147	147	147
P-IN-1	Gray	2,5Y	5	0	122	122	121

Tabla A13. Código de color Munsel del pozo P-DS.

Muestra	Color	Hue	Value	Chroma	R	G	B
P-DS-50	Light yellowish brown	10YR	6	4	171	143	104
P-DS-49	Light yellow brown	10YR	6	4	171	143	104
P-DS-48	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-DS-47	Light yellowish brown	10YR	6	4	171	143	104
P-DS-46	Light yellowish brown	10YR	6	4	171	143	104
P-DS-45	Yellow	10YR	7	6	208	167	104
P-DS-44	Yellow	10YR	7	6	208	167	104
P-DS-43	Yellow	10YR	7	6	208	167	104
P-DS-42	Very pale brown	10YR	7	4	198	169	127
P-DS-41	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-DS-40	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-DS-39	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-DS-38	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147

Tabla 13. Código de color Munsel y su transformación a los valores RGB del pozo P-DS
(continuación).

P-DS-37	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-36	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-DS-35	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-DS-34	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-33	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-32	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-31	White	5Y	8	2	208	201	171
P-DS-30	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-DS-29	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-DS-28	Very pale brown	10YR	7	4	198	169	127
P-DS-27	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-DS-26	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-25	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
P-DS-24	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-DS-23	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
P-DS-22	Very pale brown	10YR	7	4	198	169	127
P-DS-21	Very pale brown	10YR	7	4	198	169	127
P-DS-20	Very pale brown	10YR	7	4	198	169	127
P-DS-19	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-18	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-DS-17	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-16	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-DS-15	Very pale brown	10YR	7	4	198	169	127
P-DS-14	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-DS-13	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-DS-12	Light gray	10YR	7	2	187	171	150
P-DS-11	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-10	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-9	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-8	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-7	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-6	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-DS-5	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-4	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-3	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-2	Pale yellow	2,5Y	7	4	194	171	123
P-DS-1	White	2,5Y	8	2	211	200	172

Tabla A14. Código de color Munsell del pozo P-SB.

Muestra	Color	Hue	Value	Chroma	R	G	B
P-SB-84	Light gray	10YR	7	2	187	171	150
P-SB-83	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-SB-82	Light gray	10YR	7	2	187	171	150
P-SB-81	White	10YR	8	1	210	201	189
P-SB-80	White	5Y	8	2	211	202	173
P-SB-79	White	5Y	8	2	208	201	171
P-SB-78	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-SB-77	Light gray	5Y	7	2	181	173	146
P-SB-76	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-SB-75	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-SB-74	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-SB-73	White	5Y	8	2	208	201	171
P-SB-72	Light gray	5Y	7	2	181	173	146
P-SB-71	White	5Y	8	2	208	201	171
P-SB-70	White	5Y	8	2	208	201	171
P-SB-69	White	5Y	8	2	208	201	171
P-SB-68	White	5Y	8	2	208	201	171
P-SB-67	White	5Y	8	2	208	201	171
P-SB-66	White	5Y	8	2	208	201	171
P-SB-65	Light gray	2,5Y	7	2	184	173	147
P-SB-64	White	5Y	8	2	208	201	171
P-SB-63	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-62	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-61	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-60	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-59	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
P-SB-58	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-57	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-56	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
P-SB-55	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-54	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-53	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-52	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-51	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-50	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-49	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-48	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-47	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-46	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-45	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-44	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
P-SB-43	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
P-SB-42	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-41	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-40	White	5Y	8	2	208	201	171
P-SB-39	White	5Y	8	2	208	201	171

Tabla A14. Código de color Munsell del pozo P-SB (continuación).

P-SB-38	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-37	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-36	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-35	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
P-SB-34	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-33	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
P-SB-32	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-31	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
P-SB-30	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-29	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-28	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-27	White	5Y	8	2	208	201	171
P-SB-26	Pale yellow	5Y	8	4	214	201	145
P-SB-25	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-24	Pale yellow	5Y	7	3	214	201	145
P-SB-23	Pale yellow	5Y	8	4	214	201	145
P-SB-22	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-21	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
P-SB-20	Pale yellow	2,5Y	8	4	220	198	148
P-SB-19	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-18	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-17	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-16	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-15	Pale yellow	5Y	8	4	214	201	145
P-SB-14	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-13	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-12	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-11	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-10	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-9	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-8	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-7	Pale yellow	5Y	8	3	210	205	171
P-SB-6	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-5	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-4	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-3	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-2	White	2,5Y	8	2	211	200	172
P-SB-1	White	2,5Y	8	2	211	200	172

APÉNDICE 2. METODOLOGÍA

I. Metodología de trabajo

1. Metodología para la descripción de la fracción > 2mm

a. Materiales y equipos:

- Juego de tamices con tamaño de abertura: 10, 50, 200, 325 y bandeja.
- Brocha para limpieza de tamices y bolsas rotuladas para coleccionar las distintas fracciones de sedimento.

- Tambor vibratorio.
- Balanza electrónica.

Para describir la fracción grava de cada muestra se tamizan los 150 g destinados para ello, seleccionados previamente y se describen conjuntamente con su correspondiente muestra lavada (si existe).

b. Preparación de muestras

• *Procedimiento para separar la fracción grava:*

➤ Verifique que los 150 g de muestra no tengan aglomerados, o partículas de arcilla floculadas en torno a partículas más grandes. Si es así, emplear un rodillo de madera suavemente sobre el sedimento. Cabe acotar que las muestras deben estar secas.

➤ Armar el juego de tamices con el siguiente orden: 10, 35, 50, 200, 325 y finalmente la bandeja.

➤ Colocar la muestra en el tamiz de máxima abertura, colocar la tapa y asegurar los tamices en el tambor vibratorio.

➤ Dejar los tamices vibrar por 8 minutos.

➤ Retirar el juego de tamices del tambor vibratorio al término del tiempo, coleccionar las fracciones retenidas por cada tamiz y pesarlas en la balanza electrónica.

Las fracciones coleccionadas en los tamices son:

Tamiz	Sedimento retenido	Granulometría
10	Grava	>2mm
50	Arena gruesa	2mm-294 μ
200	Arena fina	294 μ -74 μ
325	Limo	74 μ -45 μ
Bandeja	Arcilla	<45 μ

Tabla A15. Fracciones separadas con los tamices.

La fracción colectada en el tamiz 10 (>2 mm) junto a la correspondiente muestra lavada son pesados y clasificados mineralógica y litológicamente. Igualmente las otras fracciones son pesadas y almacenadas por separado.

Sobre una hoja dividida en diferentes campos se agrupan los fragmentos de roca (de acuerdo a su tipo litológico) y los minerales, los que posteriormente son pesados para establecer una relación de abundancia relativa en dicha muestra (%).

Los datos son registrados en una planilla que constituye la base de datos para construir gráficos de abundancia.

2. Separación de minerales pesados

a. Materiales y equipos:

- ❖ Embudo de separación o Enlenmeyer
- ❖ Embudos
- ❖ Vasos de precipitado Pirex de 50, 300 y 500 ml de capacidad
- ❖ Agitadores de vidrio.
- ❖ Aros para sostener el embudo de extracción y los embudos convencionales.
- ❖ Maso de goma
- ❖ Lana de vidrio
- ❖ Soporte universal
- ❖ Piceta
- ❖ Guantes de látex
- ❖ Papel de filtro cuantitativo de 7,5 cm de diámetro
- ❖ Papel absorbente
- ❖ Campana extractora de gases.
- ❖ Reactivos:
 - Bromoformo (CHBr_3) al 97%
 - Agua destilada
 - Acetona
 - Alcohol

La muestra seleccionada para hacer la separación de minerales pesados son 15 g de la fracción $294 \mu - 74 \mu$ colectadas en el tamiz 200 y 325 durante la fase previa de tamizado de todas las muestras no lavadas.

La metodología para separar los minerales pesados es la que a continuación se menciona:

1. Colóquese los guantes de látex y la bata de laboratorio
2. Se deben lavar todos los materiales de vidrio con agua, dejarlos secar sobre papel absorbente y limpiar finalmente con acetona para eliminar al máximo residuos de agua y polvo.
3. Con el soporte universal y la ayuda de los soportes se fijan los aros que sostendrán los embudos a una altura de fácil y cómodo manejo.
4. Acople el sistema dentro de una campana con excelente sistema de extracción (Fig. A1).



Figura A1. Equipo necesario para la separación de minerales pesados por medio del bromoformo.

5. Vierta 500 ml de bromoformo en un vaso de precipitado y con la ayuda de un embudo de tallo largo vierta el reactivo dentro del embudo de separación (Fig. A2). Verifique que sea máxima la superficie de interfase del bromoformo y el aire (mayor diámetro del embudo).



Figura A2. Forma de verter el bromoformo en el embudo de separación.

6. Con la ayuda de un embudo seco se distribuye lo más uniformemente posible los 15 gr de sedimento sobre la superficie de bromoformo dentro del embudo de separación.

7. Se deja en reposo aproximadamente 15 minutos. Para contribuir con el descenso de los minerales se golpea repetidas veces el embudo con el mazo de goma.

8. Cada 5 minutos se realiza una agitación enérgica del líquido (Fig. A3) y el sedimento en el interior del embudo de extracción removiendo con el agitador de vidrio para minimizar la posible adherencia entre los granos minerales.



Figura A3. Agitación del líquido y el sedimento para contribuir con la decantación y separación.

9. Los minerales con densidad mayor a $2,89 \text{ gr/cm}^3$ decantan y se acumulan en la parte inferior del embudo, sobre la válvula de cierre (Fig. A4).

10. Al pie del tallo del embudo de separación coloque un vaso de precipitado con capacidad de 300 ml.



Figura A4. Minerales pesados decantados en el bromoformo. Los minerales livianos se mantienen flotando en la superficie del líquido.

11. Tomar un papel de filtro y adherirlo en un embudo convencional (con agua destilada) y colocar dicho embudo dentro del vaso de precipitado.

12. Verificando que el embudo con el filtro y el vaso de precipitado se hallen debajo del embudo de separación, proceder a abrir la llave y permitir la salida de los minerales pesados con cuidado de no arrastrar livianos ni dejar pasar mucho bromoformo.

13. Luego de captados los minerales pesados en el filtro, dejar secar dentro de la campana extractora hasta que se evapore por completo el bromoformo. Puede secar los minerales pesados de una manera más rápida agregándole a lo separado sobre el filtro alcohol puro (99%). Éste diluirá el bromoformo y luego se secará rápidamente. Sin embargo, no es recomendable dado que el bromoformo del vaso de precipitado será necesario separarlo del alcohol.

Posteriormente, es necesario recuperar el bromoformo que contiene los minerales livianos, dado que éste líquido es de difícil adquisición, de la siguiente forma:

1. Se toma el embudo contentivo del bromoformo con los minerales livianos.
2. Se vierte el mismo sobre un embudo con lana de vidrio para filtrar el bromoformo (sin poder recuperar el sedimento liviano). Si se quiere recuperar el liviano es necesario el empleo del papel de filtro.

3. Si quedan restos de minerales livianos en las paredes del embudo de separación vierta bromoformo limpio y agitar hasta dejar el embudo libre de sedimentos de cualquier tipo (Fig. A5).



Figura A5. Limpieza del embudo de separación con el bromoformo.

Finalmente, los minerales pesados se vierten en una bolsa clic debidamente rotulada. Si la cantidad es muy poca no se recomienda colocar el rótulo sobre la bolsa dado que influiría en la medición. Se recomienda llevarlos a la bolsa sólo cuando estén totalmente secos o de lo contrario se corre el riesgo de que hallen restos de bromoformo y modifiquen la lectura del peso.

3. *Análisis por fluorescencia de rayos X*

De la fracción correspondiente a los 150 g, una parte fue tamizada para separar los minerales pesados y para describir la fracción grava. El restante fue utilizado para el análisis elemental y de isótopos.

El análisis de fluorescencia de rayos X da la concentración de elementos mayoritarios y trazas. Dicho análisis fue realizado empleando el equipo *Minipal 2* marca *Philips* (Fig. A6).

El análisis de componentes mayoritarios y traza constó de los siguientes pasos:

- ❖ Pulverizado de las muestras.
- ❖ Preparación de las muestras en dispositivos especiales para el análisis.



Figura A6. Equipo de fluorescencia de rayos X marca *Philips* modelo *Minipal 2* empleado en este trabajo para el análisis elemental

3.1. Pulverizado de las muestras a analizar

El proceso de pulverizado de las muestras fue realizado usando un equipo de molienda marca *Shatterbox*. La molienda consta de los siguientes materiales a saber:

- ❖ Cápsula de Carburo de Tungsteno (Fig. A7).



Figura A7. Cápsula donde se introduce la muestra a pulverizar

- ❖ Alcohol
- ❖ Papel absorbente
- ❖ Pala de metal o cuchara
- ❖ Bolsas clic pequeñas
- ❖ Marcador para acetatos
- ❖ Cuarzo de veta (limpio)

El proceso comienza con el limpiado de la cápsula con el alcohol y el papel absorbente, luego dejar que la misma se seque para evitar que la muestra se adhiera.

Posteriormente, se vierte una pequeña cantidad de muestra 1 a pulverizar (1-2 g) para eliminar restos de otros materiales. Se introduce la cápsula en el equipo y se pulveriza unos 20 s.

Seguido se limpia la cápsula con alcohol hasta eliminar restos de la muestra. Se procede a pulverizar en sentido estricto.

Para pulverizar la muestra 1 es necesario tomar unos 10-15 g y luego introducirla en la cápsula de Carburo de Tungsteno. Se introduce de forma homogénea y luego se tapa.

Se monta la cápsula en el equipo *Shatterbox* (Fig. A8), para luego encender y esperar unos 40 s. En este trabajo se dejó cada muestra unos 40-50 s, sin embargo para rocas es recomendable un tiempo de 1-2 min.

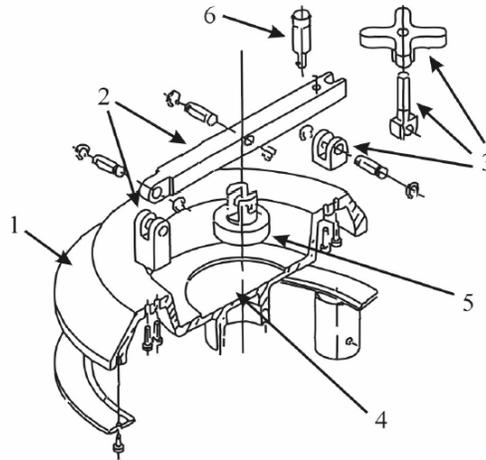


Figura A8. Esquema del equipo de molienda *Shatterbox* (Tomado de CONNOLLY 2004)

Luego de culminado el proceso en el equipo, se procede a tomar la muestra 1 con la pala y verterla en una bolsa clic con su correspondiente identificación.

Se limpia la cápsula con alcohol para eliminar restos de la muestra 1 y subsecuentemente se introducen pequeños fragmentos de cuarzo para pulverizar siguiendo el procedimiento anterior.

La molienda de cuarzo previo a una muestra 2 y posterior a una muestra 1 garantiza que restos de muestra 1 no queden en la cápsula y contaminen el resultado. Luego de pulverizado el cuarzo se limpia nuevamente con alcohol.

Seguidamente se procede a introducir una pequeña cantidad de muestra 2, se pulveriza por unos 20 segundos. Se limpia con alcohol para eliminar residuos.

Por último se vierten unos 10-15 g de muestra 2 y se introducen en el equipo por unos 40 segundos. Este proceso se sigue cada vez que se requiere pulverizar una muestra.

3.2. Preparación de las muestra a analizar

Después de tener las muestras pulverizadas, se procede a prepararlas o “montarlas” en unos portamuestras. Estos dispositivos se emplean para introducir las muestras en el equipo de análisis y el material empleado es el siguiente:

- ❖ Portamuestras
- ❖ Alcohol

- ❖ Paleta metálica
- ❖ Filtro Mylar

Para preparar las muestras se separó una porción de aproximadamente 5 cm³ de cada una de ellas para ser analizadas por fluorescencia de rayos x. Las muestras en forma de polvo sin prensar, fueron montadas en los distintos portamuestras de plástico. Éstos constan de dos cilindros de diferente diámetro, el cilindro de diámetro menor es introducido dentro del cilindro de diámetro mayor colocando entre ambos una película de Mylar de 0.02 μ de espesor, la cual impide el contacto de la sustancia con el detector del equipo a la vez que protege la muestra de una posible contaminación (Fig.A9). Se preparó un portamuestra por cada muestra analizada, desechando el Mylar utilizado después de cada análisis y limpiando con alcohol isopropílico y papel absorbente los cilindros usados.



Figura A9. Preparación de las muestras en los cilindros de plástico, para luego introducirlos en el *Minipal*.

Después de colocado el polvo en el portamuestras, el mismo se compactó propinándole 40 pequeños golpes al depósito sobre una mesa, utilizando el mismo número de golpes para todas las muestras y procurando no contaminar la base del depósito. De esta forma, se logró distribuir uniformemente el polvo sobre el Mylar sin necesidad de elaborar pastillas prensadas.

Luego de montadas las muestras se procede luego a introducir las en el equipo de fluorescencia de rayos X o de espectrometría gamma.

4. Caracterización por la carta de colores Munsell

Posterior a la molienda de las muestras y aún preparadas en los portamuestras son comparadas en una carta de colores de suelos y sedimentos *Munsell*. La carta Munsell está compuesta de hojas, representando cada una de ellas un matiz (Hue) específico que aparece en la parte superior derecha de dicha página. Cada hoja presenta una serie de placas diferentemente coloreadas y

sistemáticamente arregladas en la hoja, que representan la claridad (Value) y la pureza (Chroma). Las divisiones de claridad (Value) se presentan en sentido vertical, incrementando su valor (haciéndose más claro) de abajo hacia arriba; las divisiones de pureza (Chroma) se presentan en sentido horizontal, en la parte inferior de la hoja, incrementándose de izquierda a derecha.

De esta forma se toma la muestra y se compara el color de la misma con las placas de la carta, hasta dar con el más parecido posible. Al hallar el color más similar se reportan los siguientes datos:

- El matiz (Hue): puede ser R (rojo), Y (amarillo) o B (azul).
- La claridad (value): puede variar de 1 a 8
- La pureza o saturación (chroma): toma valores entre 1 y 8

APÉNDICE 3. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

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

La radiación puede ser definida como energía, en forma de ondas o partículas; emanada de una fuente que atraviesa el espacio en línea recta divergente. Sin embargo, la radiación en la forma de partículas cargadas puede ser desviada de esta vía lineal por campos eléctricos y/o magnéticos. Todos los tipos de radiación tienen una naturaleza dual en la que exhiben mejor algunas propiedades en términos de partículas, y en otros casos sus propiedades son mejor explicadas en términos de ondas (BERTIN 1975).

Los rayos X forman parte del espectro electromagnético (Fig. A10) y por lo tanto tienen propiedades de partículas y ondas, con longitudes λ de aproximadamente $1 \text{ \AA} \approx 10^{-3} \text{ m}$ y frecuencias ν de aproximadamente 3×10^{13} ciclos (v)/segundo, y son producidos por desaceleración de electrones de alta energía y/o por transiciones electrónicas en las órbitas internas de los átomos (BERTIN 1975). La energía de un rayo electromagnético interactuando con un medio es parcialmente transmitida, refractada y disipada, y parcialmente absorbida. El paquete de energías, o fotones, pueden “rebotar” y transferirse momentáneamente, lo cual es una propiedad de las partículas discretas (MOORE & REYNOLDS 1989).

Según SKOOG & WEST (1984), en CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000) existen diversas maneras de generar rayos X, estos son:

a) Por bombardeo de un blanco metálico, por un haz de electrones de alta energía: Es la fuente más común de generación de rayos X, a través de un tubo conocido como Coolidge, el cual contiene un emisor de electrones o cátodo y un blanco metálico o ánodo. Los rayos X se generan cuando los electrones bombardeados tienen suficiente energía para liberar electrones de las capas más internas de los átomos del ánodo produciéndose transiciones electrónicas que emiten radiación X.

b) Por exposición de una sustancia a un haz primario de rayos X, para generar un haz secundario de rayos fluorescentes: En este proceso los rayos X generados por la fuente son dirigidos hacia la muestra a ser analizada, absorbiendo ésta parte de los rayos, generando una serie de transiciones electrónicas donde se generan rayos X característicos de cada uno de los elementos analizados en la muestra.

c) Por empleo de una fuente radioactiva de rayos γ , la cual al interactuar con los elementos de la muestra permite la emisión de rayos X: Cada elemento emite una radiación

característica que es una propiedad periódica (por ejemplo, relacionado al número atómico), así como cada elemento absorbe diferentes longitudes de onda de radiación de manera característica (MOORE & REYNOLDS 1989).

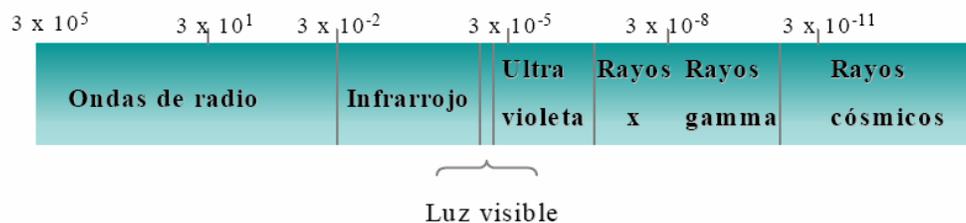


Figura A10. Espectro electromagnético mostrando el espectro visible con las longitudes de onda en cm. (Tomado y modificado de de HURLBUT & KLEIN, 1991).

El método de análisis mediante la utilización de rayos X de especial interés en este trabajo lo constituye la fluorescencia de rayos X por energía dispersiva, por ser la técnica empleada para el análisis de las muestras estudiadas y por consiguiente su principio físico será explicado a continuación.

1.1. Fluorescencia de Rayos X

De acuerdo a ROLLINSON (1993) la espectrometría por fluorescencia de rayos X (FRX) es la técnica analítica más ampliamente usada en la determinación de elementos químicos mayoritarios y traza en muestras de rocas. Es una técnica versátil en la cual se pueden analizar más de 80 elementos sobre un amplio rango de sensibilidades, detectando concentraciones de 100% hasta unos pocas partes por millón.

La espectrometría de fluorescencia de rayos x está basada en la excitación de una muestra. La intensidad producida por los rayos X secundarios es usada para determinar las concentraciones de los elementos presentes en la muestra ya que estos presentan longitudes de onda característicos de cada elemento químico. Sin embargo, para cuantificar estas concentraciones es necesario tener una calibración estándar del equipo que sirva como patrón de referencia, para lo cual previamente son efectuadas correcciones que permiten eliminar los errores instrumentales y los efectos de la matriz. Alternativamente, los rayos X pueden ser detectados sin ser separados en diferentes frecuencias, usando un detector el cual mide la energía así como la intensidad de los rayos X. Este método es conocido como *fluorescencia de rayos X por energía dispersiva* (ROLLINSON 1993).

Según NITON CORPORATION (1998) al irradiar una muestra, los rayos X fuente pueden sufrir dispersión o absorción de los átomos. Este proceso posterior es conocido como *efecto fotoeléctrico*. Cuando un átomo absorbe los rayos X fuente, la radiación incidente desaloja electrones de las conchas más internas del átomo, creando vacantes. Los electrones vacantes son rellenados por electrones provenientes de las conchas electrónicas externas en forma de cascada (Fig. A11). Los electrones en las conchas externas tienen mayores estados energéticos que los electrones de las conchas internas, y los electrones de las conchas externas emiten energías hacia las conchas internas vacantes. Este reajuste de electrones es lo que resulta en la emisión de los rayos X característico de un átomo dado, como se mencionó anteriormente.

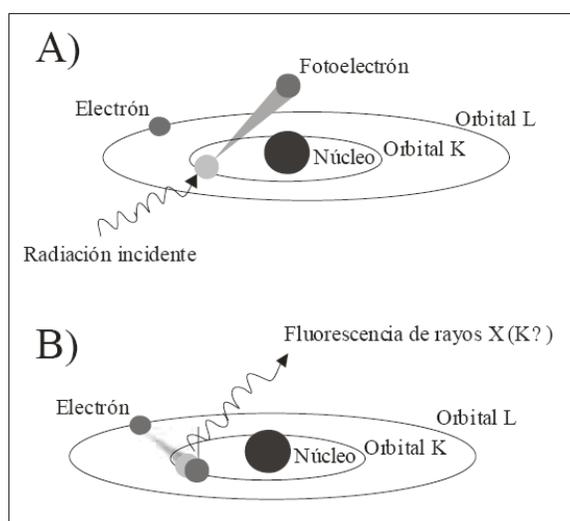


Figura A11. Representación esquemática del principio en que se basa la técnica de la FRX (Tomado de CABALLUD, 2002)
 (A) La radiación incidente expulsa un electrón de una capa interior del átomo. (B) Un electrón de una capa externa pasa a ocupar el lugar vacante y genera una radiación de FRX.

Durante los análisis por FRX-ED de muestras, están envueltos en la emisión de rayos X tres conchas electrónicas conocidas como: K, L y M. Un patrón de emisión típico llamado también espectro de emisión para un metal dado tiene picos de múltiples intensidades generados por la emisión de los electrones de estas capas K, L y M (NITON CORPORATION 1998). Las mediciones más comunes de rayos X emitidos son provenientes de las conchas K y L; solamente metales con un número atómico mayor de 57 tienen emisiones provenientes de la concha M.

Los fotones emitidos durante la fluorescencia o emisión secundaria son recibidos simultáneamente por el detector del espectrómetro y posteriormente son convertidos en una serie de señales eléctricas las cuales son electrónicamente amplificadas, procesadas y transformadas en valores digitales. Luego estos valores digitales son almacenados en un analizador multicanal

donde se separan de acuerdo a sus niveles de energía, permitiendo de esta manera generar un espectro de la muestra. El espectro resultante finalmente es procesado por el software y son calculados directamente los resultados en términos de concentraciones de elementos o cualquier otro valor de concentración derivado (CAMPOSANO & MARTÍNEZ 2000).

Estos fotones emitidos son adquiridos generalmente por un detector de Si(Li) de alta resolución y todo el procesamiento electrónico tiene un tiempo característico de adquisición de aproximadamente 10⁻⁸ segundos. Del espectro energético obtenido producto de la excitación y desexcitación de los átomos, se analiza la posición de los máximos de intensidad, correspondientes a los elementos presentes a través de un *análisis cualitativo*. Posteriormente se deconvoluciona e integra cada uno de los perfiles elementales obteniendo las proporciones másicas de los elementos presentes (*análisis semicuantitativo*) y luego se añade un elemento patrón de concentración conocida obteniéndose la cuantificación absoluta de dichos elementos o *análisis cuantitativo* (FERNÁNDEZ 2002).

Los límites de detección en FRX-ED depende de varios factores entre los cuales se destacan: el análisis de interés, el tipo de detector usado, el tipo de fuente de excitación, la potencia de la fuente de excitación, el tiempo de conteo usado al irradiar la muestra, los efectos físicos de la matriz, los efectos químicos de la matriz y las interferencias espectrales interelementales (NITON CORPORATION 1998).

Las ventajas indicadas por FERNÁNDEZ (2000) y mencionadas en BARITO (2003) son:

- a. Una adecuada sensibilidad absoluta y relativa, las cuales la hacen comparable en su alcance con otras técnicas analíticas potentes.
- b. Gran versatilidad, ya que permite la determinación simultánea de un número considerable de elementos.
- c. Amplio rango de aplicación pues los diferentes métodos empleados permiten su aplicación en la determinación de la concentración química de más de 5 órdenes (ppm).
- d. Cantidades y manipulación mínima de la muestra para el análisis, lo que redundo en un apreciable beneficio de la garantía de eliminar fuentes de errores y contaminación de las muestras.
- e. Tiempos de análisis relativamente cortos (5 a 90 minutos por muestra)
- f. Costos relativamente bajos en comparación con otros métodos analíticos.

Otra de las ventajas de los sistemas dispersores de energía según SKOOG & WEST (1984) en CAMPOSANO & MARTÍNEZ (2000) es la simplicidad y falta de componentes móviles en los sistemas de excitación y detección del espectrofotómetro. Además, de la ausencia de colimadores y de un difractor de cristal (fluorescencia por longitud de onda) así como la mayor proximidad entre el detector y la muestra, teniendo como consecuencia que la energía que llega al detector es 100 veces mayor o aún más.

Estas características permiten el uso de fuentes más débiles, como tubos de rayos X de bajo poder o fuentes radiactivas, como los empleados en este trabajo, cuyo costo es menor y los cuales producen un menor daño por radiación. Otra ventaja importante es la mejora en la relación señal-ruido, y quizás una de las más importantes es que la muestra no es destruida durante el proceso de análisis lo que permitiría ser posteriormente reutilizada.

En cuanto a las desventajas de FRX por energía dispersiva, no pueden ser analizados elementos químicos considerados “livianos”, de número atómico menor a 16 tales como: Li, Be, Na, Mg, P, entre otros. De igual forma cuando se compara con espectrómetros de cristal por longitud de onda este método ofrece menores resoluciones para longitudes de onda mayores a 1 Å (CAMPOSANO 2002).

Efectos de la matriz en el análisis químico de la muestra

Los rayos X producidos en un proceso de fluorescencia se generan no solamente en los átomos de la superficie sino también en aquellos que se encuentran debajo de esta. Así, una parte del haz incidente y del haz fluorescente resultante atraviesan un espesor significativo de la muestra, en el que puede tener lugar la absorción y dispersión. El grado de atenuación de ambos haces depende del coeficiente de absorción másico del medio, el cual a su vez se determina a partir de los coeficientes de todos los elementos de la muestra. Por tanto los resultados calculados pueden ser más altos o bajos ya que la intensidad energética del elemento determinado está influenciada por la concentración y por los coeficientes de absorción másicos de la matriz (SKOOG *et al.* 1992).

Los efectos físicos de la matriz por su parte resultan de variaciones en las características físicas de la muestra. Estas variaciones pueden incluir parámetros tales como tamaño de las partículas, uniformidad, homogeneidad, y condición de su superficie. Por ejemplo, si se realiza una análisis de una muestra en la forma de partículas muy finas en una matriz granular, las concentraciones medidas por FRX pueden variar dependiendo de como las partículas finas son

distribuidas dentro de la matriz granular. Si las partículas finas se asientan en el fondo del portamuestra, la concentración medida puede ser mayor que si las partículas finas no están bien mezcladas y por consiguiente se quedan en el tope de las partículas de mayor tamaño en el portamuestras. Una forma de reducir este error es pulverizar y tamizar la muestra para uniformizar el tamaño de las partículas y así reducir la variabilidad de tamaños (NITON CORPORATION 1998).

Además de presentarse estos efectos físicos también se pueden tener efectos químicos en la matriz producto de las diferencias en las concentraciones por interferencia de elementos. Estas interferencias espectrales o solapamiento de picos energéticos son comunes en muestras que contienen metales pesados. Estos efectos pueden ser corregidos realizando calibraciones adicionales con otros métodos más precisos y comparando posteriormente los resultados obtenidos (CAMPOSANO 2002).

Los equipos que aplican estas técnicas constan básicamente de los siguientes componentes: una fuente, un dispositivo para restringir el intervalo de energía/longitud de onda utilizado, un portamuestras, un detector de radiación o transductor y un procesador de señales o dispositivo de lectura.

Existen tres tipos de instrumentos de fluorescencia de rayos X: *dispersores de longitud de onda*, *dispersores de energía* y *no dispersores*. Para efectos de este trabajo se hará referencia sólo a los instrumentos dispersores de energía.

Como se muestra en la figura A12, un equipo de dispersión de energía consiste en una fuente policromática que puede ser un tubo de Coolidge o un material radiactivo, un portamuestras, un detector semiconductor de Si desplazado por Li y varios componentes electrónicos necesarios para la discriminación energética.

El tubo de Coolidge es un tubo de alto vacío con un cátodo de filamento de W y un ánodomasivo de W, Cu, Mo, Cr, Ag, Ni, Co, Rh, o Fe, empleando circuitos eléctricos se calienta el cátodo y se aceleran los electrones hacia el ánodo en el cual se genera un espectro continuo de rayos X.

El detector semiconductor de Si desplazado por Li, transforma la energía radiante en energía eléctrica, y un par de amplificadores se encargan de hacer de la señal una herramienta de fácil detección. La ventaja más evidente de estos instrumentos respecto a otros radica en su simplicidad, la ausencia de componentes móviles, de colimadores y de un difractor de cristal.

La principal desventaja de los sistemas dispersores de energía es la baja resolución que tienen para longitudes de onda mayores de 1.

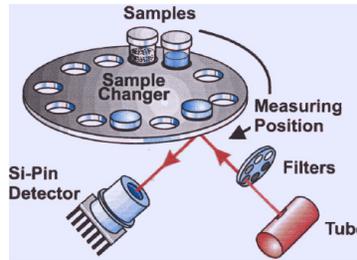


Figura a12. Componentes principales de un instrumento de fluorescencia de rayos X por dispersión de energía (Tomado de GONZÁLEZ, 2002).

2. ESPECTROMETRIA GAMMA

2.1. Radiometría

La radiometría es aquella parte de la geofísica que estudia la corteza terrestre por medio de la detección de las radiaciones que provienen de los elementos radioactivos naturales.

Los métodos radiométricos pueden tener diversas finalidades:

- V. Búsqueda, prospección y exploración de yacimientos minerales radioactivos.
- VI. Aplicación de la radiometría al levantamiento geológico.
- VII. Prospección de minerales no radioactivos que estén vinculados de una u otra forma a elementos radioactivos.
- VIII. Aplicación de los métodos radiométricos a la prospección de hidrocarburos, a la resolución de problemas hidrogeológicos o geotécnicos u otros.

Más específicamente en geoquímica, los isótopos radiogénicos son usados principalmente de dos maneras. En primer lugar en la determinación de edades de rocas o minerales (geocronología), y más recientemente en estudios petrogénicos para la determinación de procesos geológicos y fuentes de aporte (geología o geoquímica isotópica) (ROLLINSON 1994).

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

La positronia es característica para los isótopos en los cuales el número de protones es superior al de neutrones. Se produce cuando un protón se convierte en neutrón, acompañado por la emisión de un positrón y un neutrino. Como consecuencia de la transformación el número atómico del nuevo elemento formado disminuye en una unidad, por lo que el elemento se desplaza una posición a la izquierda en la tabla periódica de los elementos. Ambas radiaciones (positronia y electrónica) van acompañadas de emisiones de radiación γ .

❖ *La Radiación γ* está constituida por ondas electromagnéticas de mayor frecuencia y menor longitud de onda que los rayos X, y que no altera la carga nuclear.

2.2. Series de desintegración

Los átomos de elementos pesados sufren transformaciones que dan lugar a las series de desintegración, en las cuales existen hasta 19 elementos. Las series radiactivas producidas en la naturaleza son tres: la serie del uranio, la del torio y la del actinio – uranio FRIEDLANDER *et al.* (1964). El primer elemento de cada una de estas series posee una existencia muy larga, estando su período de semidesintegración entre los 108 y 1010 años, mientras que el último de ellos es un isótopo estable de plomo. Los isótopos de subíndices B, C, C1 y CII son los principales emisores γ de todas las series radiactivas, razón por la cual fueron escogidos los isótopos Bi214 y Tl208 para ser medidos en el presente TEG. El 40K no forma series radioactivas ya que al desintegrarse pasa a ser un isótopo estable, pero debido a su gran abundancia en la corteza terrestre (2,7 %) brinda un gran aporte a la radioactividad total de las rocas, por lo que también es utilizado en las mediciones de este trabajo. En general, en rocas con un contenido normal de elementos radioactivos, cerca del 42 % de la energía radiada se debe al 40K, 32 % al Th, 25 % a las series del U y AcU y el 1 % a los demás elementos radioactivos de la parte central de la tabla de Mendeleev.

2.3. Espectrometría

Los espectros energéticos son los rangos de energía que presentan los distintos tipos de radiaciones. Debido a que cada tipo de radiación posee espectros distintos y característicos es posible diferenciar un tipo de radiación de otra. Los espectros energéticos también permiten determinar los elementos emisores, ya que cada uno de estos emite radiaciones (α , β y γ) con

energías específicas. Por ejemplo el Torio emite partículas α de aproximadamente 3,993 mev y cuantos γ de aproximadamente 60 kev.

2.4. Interacción de la radiación con la materia

Todos los tipos de radiaciones antes mencionados tienen la particularidad de que pueden atravesar la materia, y al hacerlo interactúan con la misma provocando una serie de fenómenos, que permiten registrar y caracterizar la radiación emitida.

Uno de estos fenómenos es la ionización, la cual permite registrar la radiación, siendo la relación aproximada de ionización entre las radiaciones α , β y γ de 100.000:100:1 respectivamente. Como consecuencia del fenómeno anterior es posible que se produzcan reacciones químicas como las que ocurren en las placas fotográficas, las cuales permiten detectar dichas radiaciones. Otro efecto importante, por medio del cual la radiación es detectada en los contadores modernos, es la luminiscencia.

A pesar de lo antes mencionado, las radiaciones α y β rara vez pueden ser detectadas ya que al atravesar la materia y debido a su alto poder de ionización, pierden la casi totalidad de su energía, por lo que unos pocos centímetros de arena son suficiente para detenerlas. Los rayos γ , por su parte pueden ser detectados a través de cualquier espesor de materia, pero la sensibilidad de los equipos de medición y el ruido de fondo de radiación puede afectar este hecho.

Debido a lo mencionado anteriormente (facilidad en su detección) los rayos γ son los más comúnmente usados para la búsqueda de elementos radioactivos.

2.5. Equipos (esquema básico de funcionamiento)

Los equipos más utilizados en radiometría son aquellos que detectan las radiaciones γ . Estos pueden medir la intensidad total de radiación sin importar su energía (integrales) o la intensidad de radiación para rangos de energías fijas (espectrómetros). Actualmente los contadores más comúnmente usados son los de *centelleo* o *escintilómetros*.

❖ **Contadores de centelleo:** se basa en que ciertos cristales emiten destellos (radiaciones luminosas) al absorber rayos γ . Consta de un centelleador y un fotomultiplicador.

En el centelleador las partículas radioactivas cargadas, al pasar a través de la materia pierden parte de su energía cinética al ionizarse o excitar los átomos y las moléculas de éstas.

La energía perdida es transformada primeramente en energía de movimiento térmico y posteriormente en cuantos de luz con longitudes de onda características para la sustancia dada. Sólo en algunas sustancias (centelleadoras) los fotones de luz pueden salir de la misma y centellear.

Entre el centelleador y el fotomultiplicador existe un fotocátodo el cual permite que los fotones de luz que provienen del centelleador sean transformados en electrones por medio de un efecto fotoeléctrico que se da lugar en el mismo.

Los tubos fotomultiplicadores permiten detectar los destellos a través de artificios especiales.

Este es un tubo de vidrio al vacío dentro del cual se encuentran electrodos. Los electrones provenientes del fotocátodo inciden en cada uno de los electrodos permitiendo la aparición de electrones secundarios y multiplicando así la cantidad de electrones recibidos de una manera proporcional.

Lo importante de este proceso es que gracias a sus características la amplitud del impulso eléctrico que sale del contador es proporcional a la energía que se transmite al centelleador por la radiación, lo que permite medir la radiación.

En general a partir de los contadores de radiación se puede obtener: cantidad de sustancias radioactivas, concentración e intensidad de las mismas.

3. DIFRACCIÓN DE RAYOS X

Para este método se utiliza un equipo llamado difractómetro de rayos X, el cual cuenta con un tubo generador de dichos rayos (Fig. A14), un goniómetro o sistema mecánico de funcionamiento y un detector y medidor de la radiación.

El efecto de difracción ocurre cuando la longitud de onda de los rayos X es proporcional a la distancia interplanar o espaciamiento (d) entre los átomos que conforman la red cristalina de las especies analizadas, según la Ley de Bragg ($n\lambda = 2d \text{ Sen } \theta$), siendo n un número entero, λ la longitud de onda de los rayos X, d la distancia interplanar del cristal y θ el ángulo de incidencia y de reflexión de los rayos X.

La muestra a ser analizada es pulverizada finamente y se coloca sobre un porta muestras. El instrumento está constituido de tal forma que el porta muestra gira según la trayectoria de un haz

de rayos X, manteniendo entre ellos en cada momento un ángulo θ , a medida que un detector, montado sobre un brazo, gira a su alrededor para captar las señales difractadas de rayos X.

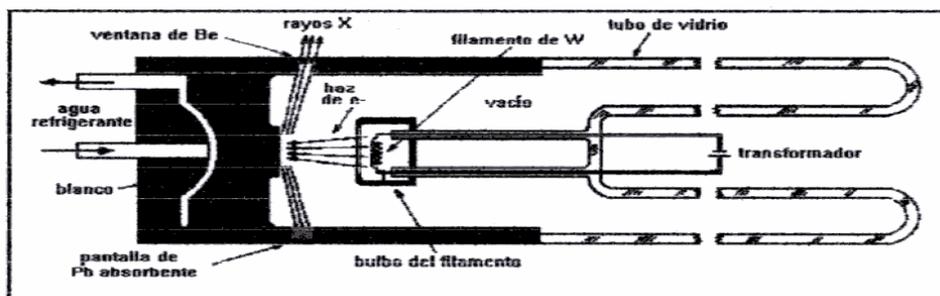


Fig. A14. Tubo generador de rayos X. Tomado y modificado de CULLITY (1967).

El porta muestra y el detector se mueven mediante engranajes que permiten que mientras el primero gira un ángulo θ , el segundo gira un ángulo 2θ (Fig.A15).

Si la muestra ha sido preparada adecuadamente, la orientación de las partículas cristalinas en la muestra es realmente al azar, para cada familia de planos atómicos con su característico espaciado d , por lo que existen muchas partículas cuya orientación es tal que hacen el ángulo apropiado θ con el rayo incidente para que se satisfaga la Ley de Bragg. Aunque todas las “reflexiones posibles” ocurren al mismo tiempo, éstas no son detectadas en el mismo momento ya que el detector mantiene la relación geométrica adecuada para recibir separadamente cada máximo de difracción.

Luego de que el rayo ha sido difractado es registrado por un detector, siendo el más común es el de ionización de gas, el cual mide corrientes de iones producidos cuando el haz es absorbido por un gas.

Lo que se obtiene finalmente es un difractograma (registro en papel del proceso de difracción), cuya abcisa es 2θ y ordenada I (intensidad), en este caso cada pico del gráfico representa la misma longitud de onda, difractada por un diferente set de planos de la muestra cristalina. De esta manera conociendo la longitud de onda (la cual depende del tubo generador) y el ángulo θ (el cual puede leerse del difractograma), puede calcularse la distancia d característica para la sustancia cristalina (Fig.A16).

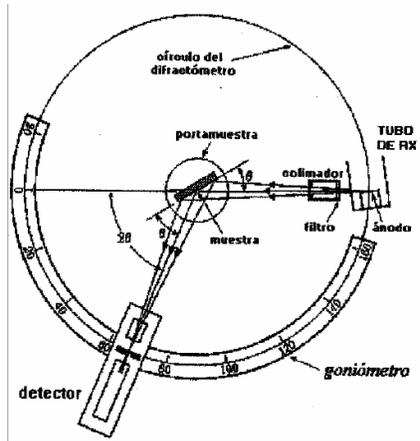


Fig.A15. Esquema de funcionamiento del difractómetro de rayos x. Tomado y modificado de CULLITY (1967).

Una vez que se tienen todos los datos respectivos de la muestra se puede proceder a la identificación utilizando fichas de compilados por la Comisión Internacional para datos de difracción de rayos X (ICDD, 1974), disponibles en libros o de manera computarizada. El procedimiento es el siguiente:

1. Se toman los picos de mayor porcentaje relativo de intensidad con su respectiva distancia interplanar “d”.
2. Se ordenan los picos en orden de intensidad según los porcentajes relativos.
3. Las distancias interplanares respectivas a los mayores porcentajes de intensidad son comparadas con las tablas o patrones existentes. En dichas tablas pueden ser objetos de comprobación todos los picos del difractograma de acuerdo a su distancia interplanar y a su intensidad relativa. Si no se logra identificar la muestra con el ordenamiento construido deben permutarse los valores y repetirse el mismo procedimiento hasta conseguir el ordenamiento que se ajuste con los picos de alguno de los patrones.

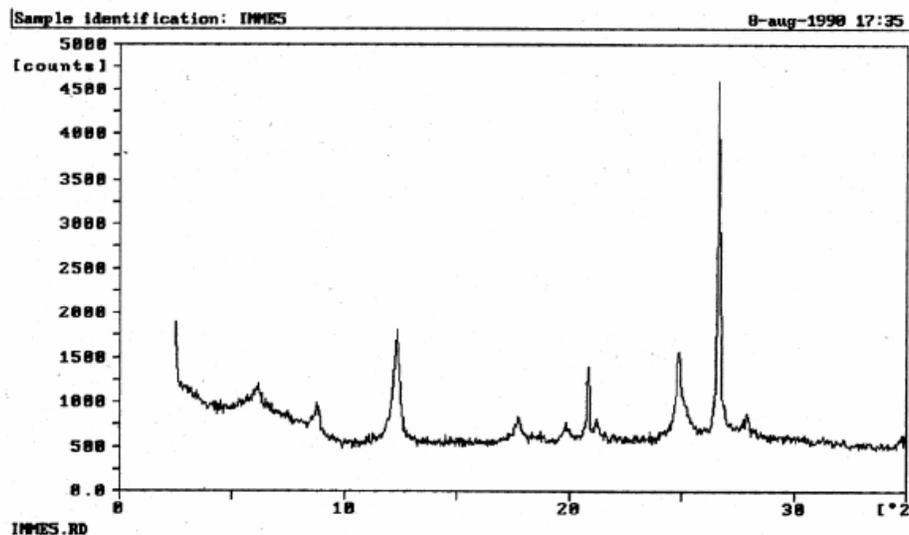


Fig.A16. Difractograma de una muestra donde se aprecian los picos principales de los minerales presentes. El eje x representa el ángulo 2θ y el eje la intensidad en cuentas por segundo (cps).

4. FLUJOS TORRENCIALES

Los flujos torrenciales son fenómenos que se han observado desde tiempos antiguos en regiones montañosas, y están asociados siempre a períodos de intensas y continuas lluvias en un solo lugar. Estos flujos son corrientes compuestas por agua, sedimentos detríticos granulométricamente heterogéneos, troncos de árboles, etc., que recorren el torrente montañoso formando un fluido viscoso de gran velocidad y muy destructivo (COUSSOT 1996, en BARBOZA & RODRIGUEZ 2000).

Cuando ocurre un evento de este tipo, el volumen de agua y sedimentos es tan grande que después de haber recorrido varios kilómetros por el torrente, toda la mezcla al llegar al pie de monte o a una zona de baja pendiente, forma abanicos o conos de deyección debido a la disipación de la energía presente en ellos.

La generación del flujo se origina de uno o varios deslizamientos laterales de una ladera (figura A17), que en el transcurso del movimiento y por adición de agua, termina por formar un fluido viscoso que avanza por el drenaje principal o secundario (BARBOZA & RODRIGUEZ 2000).

4.1. Características de los flujos torrenciales

Este fenómeno generalmente puede producirse por pulsos, debido al represamiento de manera natural de los detritos provocando intervalos en los flujos, pudiéndose tratar de olas de fango de varios metros de altura, con una densidad hasta dos veces mayor que la del agua. Los frentes de

ola pueden llegar a tener varios centenares de metros dependiendo del cauce por el cual se desplacen, si no hay restricciones laterales, el ancho dependerá del gasto (volumen/tiempo) (COUSSOT 1996, en BARBOZA & RODRIGUEZ 2000).

El límite del tamaño de los peñones es el ancho mínimo del cauce por el que puedan seguir fluyendo (en la literatura se mencionan casos de flujo de un peñón de más de 10 m³ En Vargas los depósitos dominantes eran arena, peñas (diámetro entre 64 y 256 mm) y peñones, además de los árboles despojados de ramas y follaje. La velocidad de flujo de toda la masa es variable (BUKOR & TAGLIAFERRO 2004).

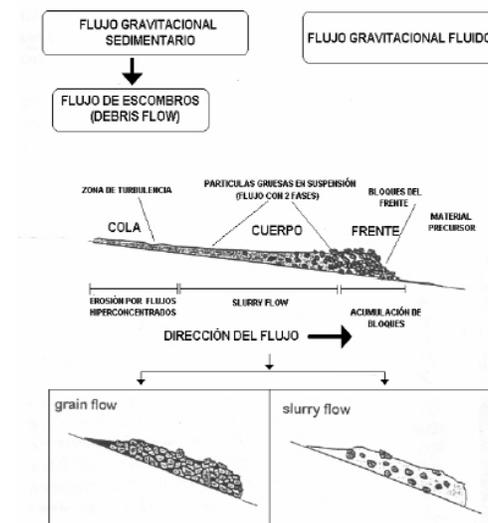


Figura A17. Esquema que muestra la forma de los flujos de detritos. Tomado de HÜBL & STEINWEDTNER (2001)

El flujo de detritos es tan sensible a los cambios de pendiente que, cuando atraviesan una ciudad lo hacen preferentemente por las calles, doblando la esquina cuando la avenida transversal tiene una pendiente mayor.

Las velocidades en los flujos torrenciales son controladas tanto por la viscosidad, por la fricción en el fondo y por el contenido de grandes bloques en el frente de la masa en movimiento. Los peñones de gran tamaño que se han incorporado a cierta distancia del frente se mueven más velozmente que los fragmentos más adelantados, de manera tal que a veces cabalgan algunos sobre otros, dejando atrás los más pequeños.

La altura del frente de onda puede estar comprendida entre pocas decenas de centímetros y varios metros dependiendo siempre del grado de viscosidad del fluido, mientras más viscoso sea el fluido la altura será mucho mayor pero con una velocidad menor mientras que un fluido sea

menos viscoso tendrá una altura menor pero tendrá mucha más rapidez. En el estado Vargas las alturas estuvieron comprendidas entre 2 y 4 m (SANCIO 2000).

4.2. Clasificación de los flujos torrenciales

Los flujos torrenciales son una mezcla de agua, sedimentos y aire, que se desplaza por el torrente de una montaña, esta masa fluida puede tener diferentes concentraciones debido a la adición de material, ubicado en el lecho del canal o por numerosos deslizamientos en las laderas.

Los flujos torrenciales se pueden dividir en dos tipos principalmente, los flujos torrenciales fangosos y los granulares, los cuales se verán afectados por la relación porcentual que exista entre las partículas que conforman la mezcla, provocando que su comportamiento mecánico y reológico varíe (COUSSOT 1996) (figura A18). Dependiendo de la relación material sólido y agua presente en el fluido sus características reológicas cambiarán, aumentando o disminuyendo la velocidad y viscosidad en el fluido (COUSSOT 1996).

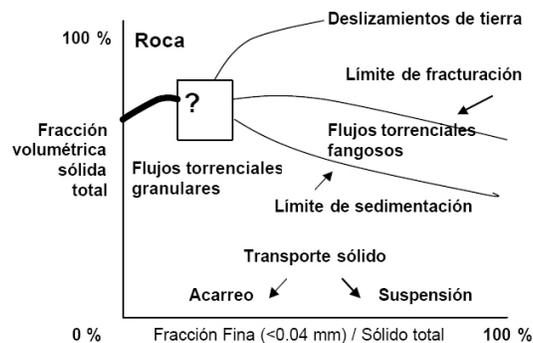


Figura A18. Clasificación de los flujos torrenciales en función del porcentaje de la concentración de sólidos totales y de la concentración de la fracción fina. (Tomado COUSSOT 1996).

Los flujos de sedimentos hiperconcentrados deben ser clasificados como inundaciones de lodo (mud floods), flujos de lodo (mud flows) y flujos de detritos (debris flows), dicha clasificación esta basada en la relación reológica entre la mezcla de sedimentos-agua (JULIEN & LEÓN 2000).

4.3. Flujos de lodo o coladas de barro

Los flujos de lodo tienen una viscosidad del fluido en orden de magnitud mucho mayor que el agua, es por esto que la velocidad es mucho menor comparada con las inundaciones de lodo.

4.4. Flujo de detritos o colada de detritos

Esta caracterizado por el movimiento de grandes bloques y escombros que controlan totalmente el flujo haciendo que el agua tenga menor importancia, produciéndose el movimiento por una transferencia del momento al colisionar las partículas y bloques (SUÁREZ 1999).

El flujo de detritos generalmente ocurre en zonas de pendientes altas e involucran altas concentraciones de material sólido, principalmente de partículas gruesas y bloques. Debido a las altas pendientes, el flujo de detritos puede transportar fácilmente bloques de gran tamaño (como peñones) a altas velocidades, provocando que estos flujos presenten un alto poder destructivo (SUÁREZ 1999).

5. ABANICOS ALUVIALES

5.1. Definición y origen

Los abanicos aluviales son depósitos sedimentados continentales que se desarrollan al frente de los macizos montañosos y están caracterizados por sedimentos gruesos que son transportados pendiente abajo por un río de montaña, generalmente de valles encajados. Una vez que los sedimentos pierden su confinamiento, son esparcidos en forma de abanico en las zonas de pendiente baja.

En la zona de mayor pendiente, el cauce es generalmente recto, pero cuando emerge en la planicie, playa o en un valle más amplio, la corriente se divide en numerosos canales entrelazados y/o discontinuos. Los canales son más y más numerosos a medida que la pendiente se hace más suave. Parte del material forma barras en el medio de los canales y a medida que dichos canales se rellenan, los mismos migran lateralmente una corta distancia hacia otra posición.

5.2. Forma de los abanicos aluviales

Vistos desde planta, los sedimentos de un abanico aluvial se presentan en forma cónica. Un perfil esquemático de un abanico aluvial en sección longitudinal es mostrado en la figura A19. El abanico formado por flujos torrenciales presenta una sección longitudinal convexa mientras que es convexo cuando la sección es transversal.

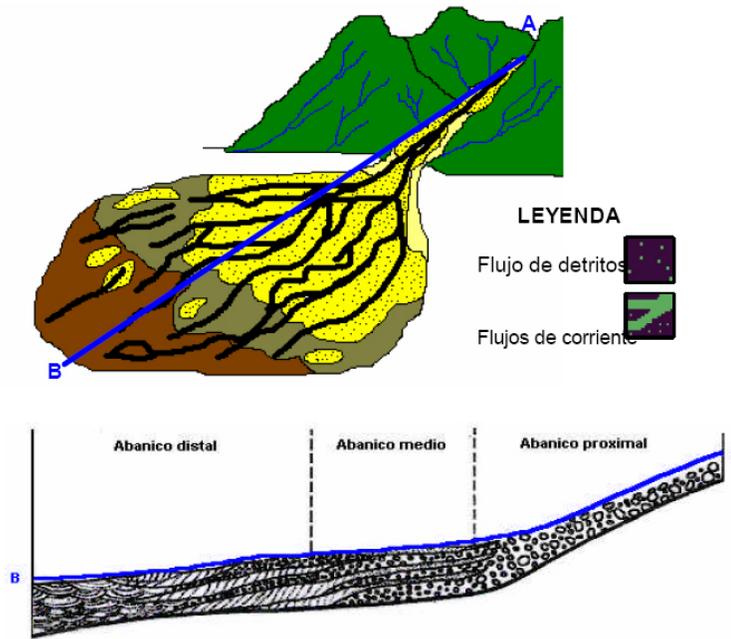


Figura A19. Distribución de los sedimentos en un abanico aluvial en función del tipo de material (grosso o fino). (Modificado de GRIJALVA 2003)

Desde los estudios de BLISSENBACH (1954) y BULL (1964) se han dividido a los abanicos en tres sectores principales: proximal (o abanico superior), medio y distal (o abanico inferior). El abanico superior es el que muestra mayor pendiente, un escaso número de canales y mayor tamaño de grano; en el abanico medio se define claramente la red distributaria de canales, ha disminuido ligeramente la pendiente y el tamaño de grano. Finalmente, el abanico distal representa una transición a sistemas fluviales entrelazados.

5.3. Modelos de clasificación de abanicos

Inicialmente, los abanicos aluviales fueron clasificados según el régimen climático en el cual estos se desarrollaban reconociendo dos tipos principales: 1) Abanicos de climas áridos o semiáridos, siendo estos activados principalmente por el efecto de gravedad y 2) Abanicos de clima húmedo los cuales son formados por flujos torrenciales.

COLLINSON (1996), propone clasificar a los abanicos de acuerdo al mecanismo de transporte y deposición dominante, reconociendo abanicos dominados por flujos de gravedad y por acción fluvial. Los abanicos dominados por flujos de gravedad generan abanicos de poco tamaño, frecuentemente con facies conglomeráticas soportadas por matriz, mientras que los abanicos dominados por la acción fluvial (abanicos aluviales) forman abanicos de gran tamaño, siempre

dependiendo de las condiciones, con variación de tamaños en los sedimentos dependiendo de la zona M abanico donde se encuentre.

STANISTREET & MCCARTHY (1993), proponen un modelo de clasificación de abanicos basado en el mecanismo de transporte y en la morfología de la red de canales, reconociendo así tres tipos básicos de abanicos aluviales con las siguientes morfologías:

1) *Los abanicos dominados por flujos de detritos* están dominados en el abanico proximal por flujos de detritos, los que se adelgazan rápidamente hacia el abanico medio interdigitando con depósitos de canales entrelazados y de crecientes no encauzadas hacia el abanico distal. Este tipo corresponde por lo general a abanicos pequeños que muestran altas pendientes y escasa vegetación.

2) *Los abanicos dominados por acción fluvial* con canales entrelazados, muestran importante participación de depósitos de barras de canal desde el abanico proximal hasta el distal, dominando las barras longitudinales en el primer caso y las distales en el segundo. Este tipo de abanicos muestra pendientes menores y escasa vegetación, especialmente concentrada a lo largo del margen de los canales,

3) El abanico dominado por canales meandrosos o anastomosados, presentan importante carga en suspensión y están formados en el abanico proximal por cursos meandriiformes con desarrollo de pantanos y lagunas en áreas de planicies de inundación que frecuentemente pasan a sistemas anastomosados hacia el abanico medio y distal.

5.4. Tipos de flujos que actúan en los abanicos aluviales

Un aspecto importante en los abanicos aluviales es el mecanismo de transporte y depositación, porque dependiendo como este sea, se obtendrán diferentes facies sedimentarias.

5.5. Transporte de material a través de los flujos

COSTA (1984) indica que los mecanismos de soporte y transporte de los clastos de gran tamaño son:

❖ Fuerzas cohesivas debido a flujos de agua y arcillas que forman un medio de soporte para los bloques. Cuanto mayor sea la densidad del flujo, mayor será la fuerza interna para mantener a flote los clastos.

❖ Flotabilidad debido a la diferencia de densidad.

- ❖ Turbulencia.
- ❖ Soporte estructural debido al soporte grano a grano.
- ❖ Presiones dispersas, por el concepto de BAGNOLD (1950) quien dice que durante un flujo con esfuerzos cortantes los clastos más grandes tienden a desplazarse hacia la superficie libre.

5.5.1. Flujo de detritos (Debris flow)

Según VARNES (1978) y JOHNSON (1984), el flujo detrítico es un tipo de flujo gravitacional-sedimentario caracterizado por una mezcla de diferentes tamaños de grano, troncos y otros sólidos con pequeñas cantidades de agua y aire, que se desplaza pendiente abajo, bajo la fuerza de gravedad. Presenta una matriz típicamente de 10-20% de arcilla y limo, un contenido de 10-30% de agua y una viscosidad de hasta 8.000 poises (COSTA 1984). Es el proceso gravitacional-sedimentario más importante en cuanto al volumen de material depositado directamente en el cono aluvial. Las fases sólidas y líquidas de los flujos son separadas solo después de la depositación de los detritos, lo cual lo diferencia de las inundaciones.

COLLINSON (1996), menciona que para generar un flujo detrítico se necesita una roca fuente que se meteorice para producir materiales detríticos incluyendo arcilla, las pendientes fuertes son un factor que aceleran la escorrentía y los procesos erosivos. Se inician con la transformación de deslizamientos en flujos de detritos al incorporar aire y agua a medida que las partículas se desplazan. Los flujos de detritos presentan una fuerza muy alta de impacto causando el daño de edificaciones, casas y vegetación (árboles grandes) cercanos al cauce principal.

La arcilla presente en los suelos confiere fuerza al fluido intersticial y disminuye la permeabilidad produciendo una obstrucción para la disipación de los fluidos de poros y cuando se producen precipitaciones de grandes magnitudes provocan un aumento en la presión de poro, resultando en la movilidad del flujo.

NILSEN (1982) indica que los flujos de detritos se caracterizan por una escasa estratificación de los sedimentos y ausencia de estructuras sedimentarias, y tienen grandes cantidades de matriz tamaño arcilla y cuyos materiales son matriz-soportados.

5.5.2. Flujos de lodo (Mud flow)

Son similares a los flujos de escombros o detritos excepto que consiste totalmente de un material de grano fino, tamaño arena y más finos (NILSEN 1982). Las viscosidades de los flujos

de lodo pueden variar en gran medida y se depositan en áreas canalizadas o no. Cuando éstos flujos lodosos se compactan generan extensos “mud cracks” en las superficies de los flujos (NILSEN 1982).

5.5. Parámetros composicionales de los abanicos aluviales

La composición de los abanicos aluviales modernos según NILSEN (1982) está estrechamente relacionada con el área fuente dado la relativa poca distancia de transporte y la general falta de escogimiento del material.

La composición de los abanicos se hace más compleja distal y lateralmente por la coalescencia de abanicos adyacentes y litológicamente diferentes y por la mezcla con otros sedimentos en las llanuras aluviales (NILSEN 1982).

Los conglomerados y brechas menciona NILSEN (1982) contienen clastos de rocas del área fuente, sin embargo sus relativas cantidades serán inconsistentes en los depósitos del abanico. Los factores contribuyentes de estas diferencias incluyen la ubicación en el abanico y la meteorización de los distintos tipos de roca que produce cantidades variables de gravas, arenas, limos y arcillas (dependiendo de factores climáticos entre otros).

Composicionalmente NILSEN (1982) menciona que los sedimentos pueden ser cuarzosos, feldespáticos o líticos. La abundancia de fragmentos de rocas decrece hacia el abanico inferior (zona distal) como resultado de la meteorización durante el proceso, igualmente sucede con los ferromagnesianos.

5.6. Algunas características físicas de los depósitos de abanicos aluviales

NILSEN (1982) menciona algunas características de los sedimentos para el reconocimiento de abanicos aluviales, entre ellos se tienen:

1. Los sedimentos son composicionalmente inmaduros y poseen un amplio rango de composición, dependiendo de los tipos de rocas presentes en el área fuente.
2. Los sedimentos se caracterizan por un decrecimiento rápido del tamaño de grano hacia la zona distal.
3. Los sedimentos están generalmente oxidados, no se generan condiciones reductoras, son muy característicos los sedimentos rojos, marrones, amarillos o naranja.
4. Los sedimentos no contienen por lo general materia orgánica por las condiciones oxidantes del medio.

5. Los cuerpos depositacionales son lenticulares y típicamente forman cuñas.
6. Los depósitos consisten en una mezcla en parte de depósitos de streamflow con partículas algo escogidas y depósitos sin escogimiento de flujos de detritos y de lodos.
7. Los cuerpos depositacionales en general están pobremente estratificados, teniendo cuerpos sin estratificación provenientes de debris flow y mud flow y depósitos mejor estratificados provenientes de streamflow.
8. Los depósitos cambian lateralmente en composición por que cada abanico de un grupo coalescente de abanicos es alimentado por flujos que pueden drenar áreas con distintos cuerpos de roca.
9. Los depósitos de un abanico se interdigital distalmente o en el abanico inferior con sedimentos de la llanura aluvial, eólicos, lacustrinos o marinos.
10. Los depósitos contienen abundantes perfiles de suelo y superficies de terrazas.

6. PROCESAMIENTO ESTADÍSTICO DE LOS DATOS

Luego de la obtención de las mediciones y obtención de los datos químicos de las muestras de los pozos son sometidos a un procesamiento estadístico, que de alguna forma permita obtener o definir unidades químicas, medidas de tendencia central, etc.

La *estadística* es una ciencia que comprende la recopilación, tabulación, análisis e interpretación de los datos cuantitativos y cualitativos; este proceso incluye determinar los atributos o cualidades reales, al igual que realizar estimaciones y verificar hipótesis mediante las cuales se determinan valores probables o esperados. Mediante la estadística se intenta definir y controlar el grado de incertidumbre que surge de la inevitable variabilidad de los datos (KENNEDY & NEVILLE 1982).

En este trabajo se emplearon herramientas estadísticas univariantes, en la que se ve involucrada una variable (ya sea química o de cualquier otra índole), tal como los diagramas de caja.

Igualmente, fueron utilizados herramientas bivariantes, como los son los diagramas de dispersión y multivariantes tales como, análisis de agrupaciones y análisis discriminante.

Además de esto se realizaron perfiles de distribución que permiten visualizar la variación vertical de los elementos mayoritarios de cada una de las secuencias sedimentarias representadas en los pozos. También, ayudan a interpretar la posibilidad de establecer un número de unidades

químicas y las tendencias de dichas variaciones que caracterizan a cada una de las secciones, por medio de la construcción de curvas con los datos “crudos”.

6.1. Diagramas de caja

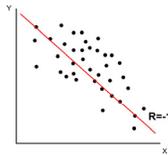
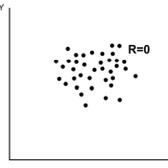
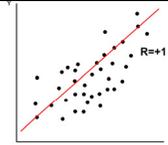
Los diagramas caja o “Box plot” son especialmente eficaces para la descripción gráfica de comparaciones entre conjuntos de observaciones o de datos (JOHNSON 1997).

6.2. Diagramas de dispersión

Los diagramas de dispersión o gráficos de correlación permiten estudiar la relación entre dos variables x e y . La variable x se coloca en el eje de la abscisas, la otra variable y en el eje de ordenadas y los pares (x,y) representan al dato conformando a su vez una nube de puntos. La forma de la nube de puntos nos informa sobre el tipo de relación existente entre las variables (KITANIDIS 1997).

Los diagramas de dispersión de acuerdo a KITANIDIS (1997) se pueden utilizar como una forma de cuantificar el grado de relación lineal existente entre las variables al establecer el grado en que la nube de puntos se ajusta a una línea recta. El ajuste de una recta a una nube de puntos es a través de un índice numérico conocido como *coeficiente de correlación*, el cual permite establecer una cuantificación de la relación lineal existente entre las dos variables cuantitativas.

Dicho coeficiente puede tomar valores desde -1 hasta +1, siendo la correlación como sigue:

Coeficiente de correlación	Significado	Representación gráfica
-1	Ambas variables involucradas son inversamente proporcionales (para altos valores de una existen bajo valores para la otra)	
0	No hay relación alguna entre ambas variables	
+1	Las dos variables son directamente proporcionales (para altos valores de una existen altos valores para la otra)	

Sin embargo, es necesario poseer un valor de coeficiente de correlación con que comparar y considerar una valor cualquiera de dicho coeficiente significativa. Este valor crítico es calculado mediante la tabla de la figura A20, donde mediante interpolación se obtiene este valor de comparación, ya sea para dos, tres, cuatro o cinco variables.

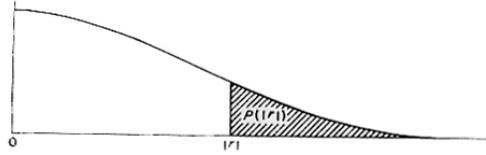


TABLE 7. CRITICAL ABSOLUTE VALUES OF CORRELATION COEFFICIENT r^*

5% points and 1% points (in boldface) for equal-tails test of hypothesis $\rho = 0$.

f	Total number of variables				f	Total number of variables			
	2	3	4	5		2	3	4	5
1	.997	.999	.999	.999	24	.388	.470	.523	.562
	1.000	1.000	1.000	1.000		.496	.565	.609	.642
2	.950	.975	.983	.987	25	.381	.462	.514	.553
	.890	.895	.897	.898		.487	.555	.600	.633
3	.878	.930	.950	.961	26	.374	.454	.506	.545
	.959	.976	.983	.987		.478	.546	.590	.624
4	.811	.881	.912	.930	27	.367	.446	.498	.536
	.917	.949	.962	.970		.470	.538	.582	.615
5	.754	.836	.874	.898	28	.361	.439	.490	.529
	.874	.917	.937	.949		.463	.530	.573	.606
6	.707	.795	.839	.867	29	.355	.432	.482	.521
	.834	.886	.911	.927		.456	.522	.565	.598
7	.666	.758	.807	.838	30	.349	.426	.476	.514
	.798	.855	.885	.904		.449	.514	.558	.591
8	.632	.726	.777	.811	35	.325	.397	.445	.482
	.765	.827	.860	.882		.418	.481	.523	.556
9	.602	.697	.750	.786	40	.304	.373	.419	.455
	.735	.800	.836	.861		.393	.454	.494	.526
10	.576	.671	.726	.763	45	.288	.353	.397	.432
	.708	.776	.814	.840		.372	.430	.470	.501
11	.553	.648	.703	.741	50	.273	.336	.379	.412
	.684	.753	.793	.821		.354	.410	.449	.479
12	.532	.627	.683	.722	60	.250	.308	.348	.380
	.661	.732	.773	.802		.325	.377	.414	.442
13	.514	.608	.664	.703	70	.232	.286	.324	.354
	.641	.712	.755	.785		.302	.351	.386	.413
14	.497	.590	.646	.686	80	.217	.269	.304	.332
	.623	.694	.737	.768		.283	.330	.362	.389
15	.482	.574	.630	.670	90	.205	.254	.288	.315
	.606	.677	.721	.752		.267	.312	.343	.368
16	.468	.559	.615	.655	100	.195	.241	.274	.300
	.590	.662	.706	.738		.254	.297	.327	.351
17	.456	.545	.601	.641	125	.174	.216	.246	.269
	.575	.647	.691	.724		.228	.266	.294	.316
18	.444	.532	.587	.628	150	.159	.198	.225	.247
	.561	.633	.678	.710		.208	.244	.270	.290
19	.433	.520	.575	.615	200	.138	.172	.196	.215
	.549	.620	.665	.698		.181	.212	.234	.253
20	.423	.509	.563	.604	300	.113	.141	.160	.176
	.537	.608	.652	.685		.148	.174	.192	.208
21	.413	.498	.552	.592	400	.098	.122	.139	.153
	.526	.596	.641	.674		.128	.151	.167	.180
22	.404	.488	.542	.582	500	.088	.109	.124	.137
	.515	.585	.630	.663		.115	.135	.150	.162
23	.396	.479	.532	.572	1000	.062	.077	.088	.097
	.505	.574	.619	.652		.081	.096	.106	.115

Figura A20. Coeficientes de correlación críticos, donde f = número de muestras-1. Tomado de CROW (1960).

6.3. Análisis de agrupaciones

El análisis de agrupaciones es una herramienta exploratoria de análisis de datos empleada para resolver problemas de clasificación. Esta técnica estadística multivariante clasifica objetos en

grupos o *clusters* los cuales pueden presentar relaciones complejas entre los mismos, de modo que el grado de asociación es fuerte entre miembros del mismo grupo y débil entre miembros de diferentes grupos o *clusters* (VALLEIO 1992).

La forma en que son presentados los datos es a través de un *dendograma* o diagrama de árbol (Fig. A21), el cual es la forma más común de desplegar los resultados de las agrupaciones, a través de este se representa en el eje *y* la disimilitud entre los grupos y en el eje *x* las diversas variables agrupadas (VALLEIO 1992).

VALLEIO (1992) indica además que la clasificación puede depender del método particular usado, ya que es posible medir similitud y disimilitud por numerosas vías. Sin embargo, en esta investigación se empleará el método del vecino más alejado en el cual se obtiene la distancia entre dos agrupaciones calculando la distancia entre sus dos miembros más distantes al igual que la distancia euclídeana.

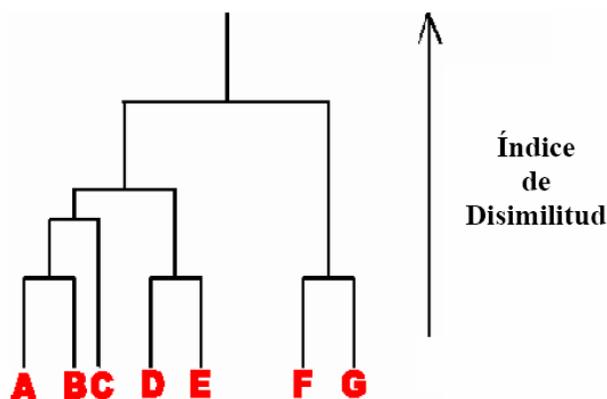


Figura A21. Ejemplo de dendrograma, resultado del análisis de agrupaciones. Tomado de VALLEIO (1992).

6.4. Análisis de funciones discriminante

El análisis de funciones discriminantes es una técnica estadística multivariante que consiste en el cálculo de funciones de clasificación, en base a variables medidas y para describir grupos de poblaciones que se han definido como distintos uno de otro. Los grupos se definen en base a tales variables y se utilizan de acuerdo a su contribución en la discriminación. Las funciones toman en consideración la dispersión o varianza de cada variable.

Según ROLLINSON (1993) en el análisis discriminante un grupo de muestras estándar son nombradas como pertenecientes a dos o más grupos. Las funciones discriminantes tienen la forma siguiente:

$$F_i = a_i x_1 + b_i x_2 + c_i x_3 \dots p_i x_p$$

Donde x_1, x_2, \dots, x_p son las variables discriminantes (elementos mayoritarios o traza), a_i, b_i, \dots, p_i son los coeficientes de las funciones discriminantes y F_{ii} es el resultado final o función discriminante. La magnitud de los coeficientes de las funciones discriminantes asociados con las variables muestran la importancia relativa de las variables en la separación de los grupos a lo largo de la función discriminante.

ANEXO 1.DIFRACTOGRAMAS

Las siguientes figuras corresponden a los difractogramas, resultado del análisis mineralógico realizado por difracción de rayos X.

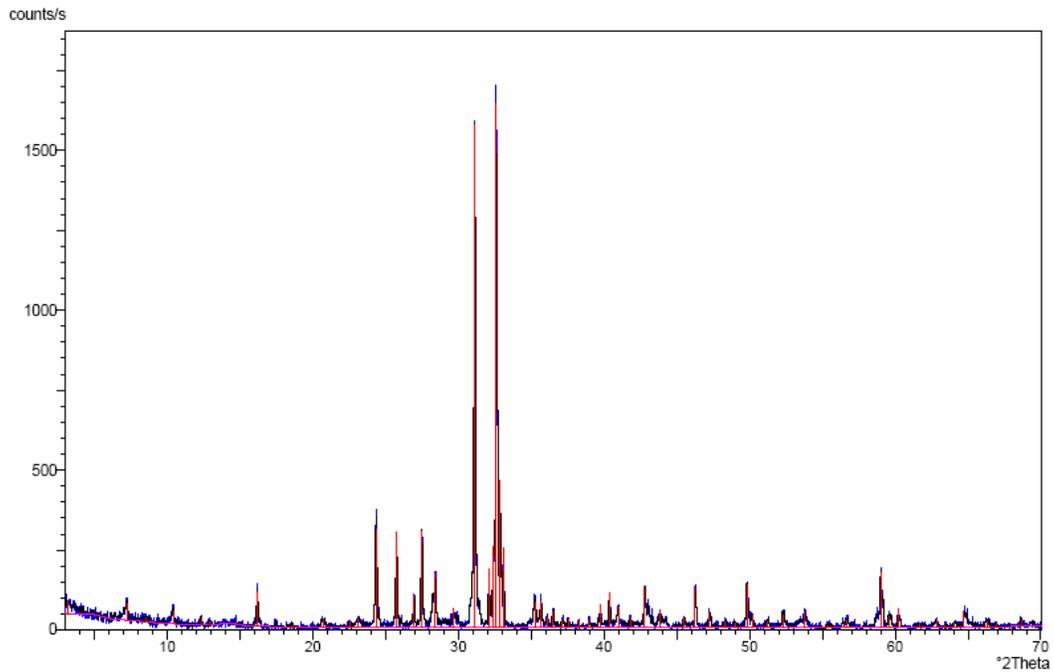


Figura A21. Difractograma de la muestra SPT-IN-62

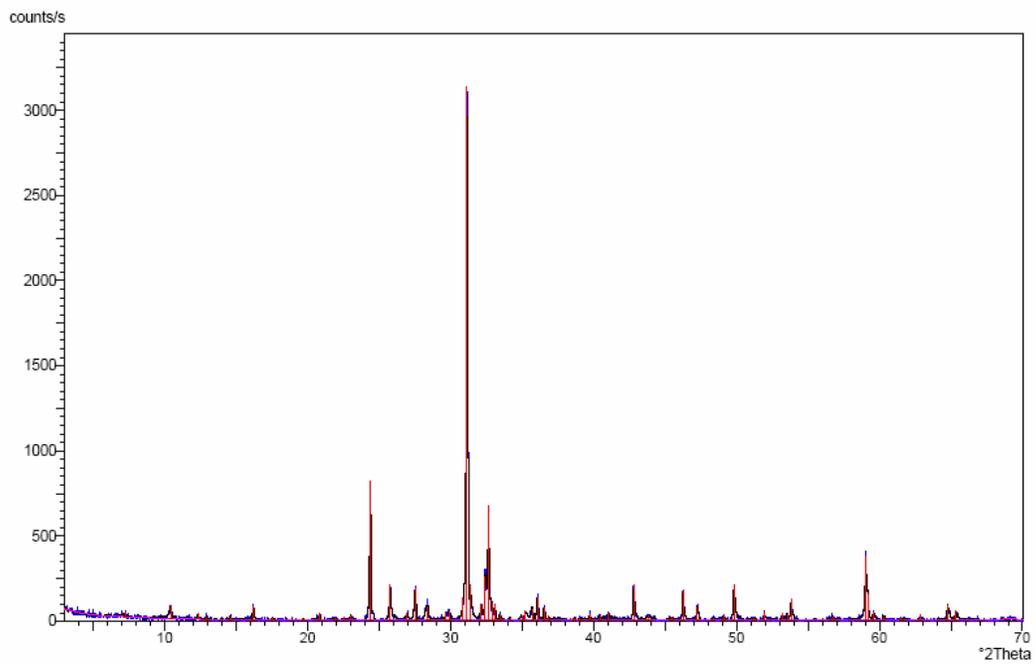


Figura A22. Difractograma de la muestra SPT-IN-56

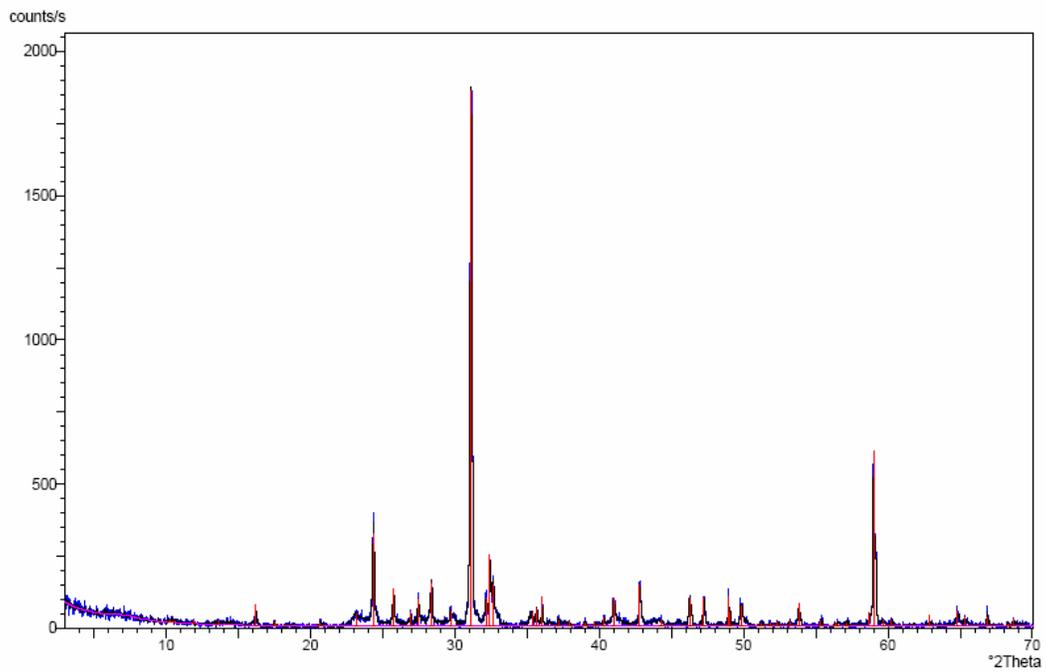


Figura A23. Difractograma de la muestra SPT-IN-38.

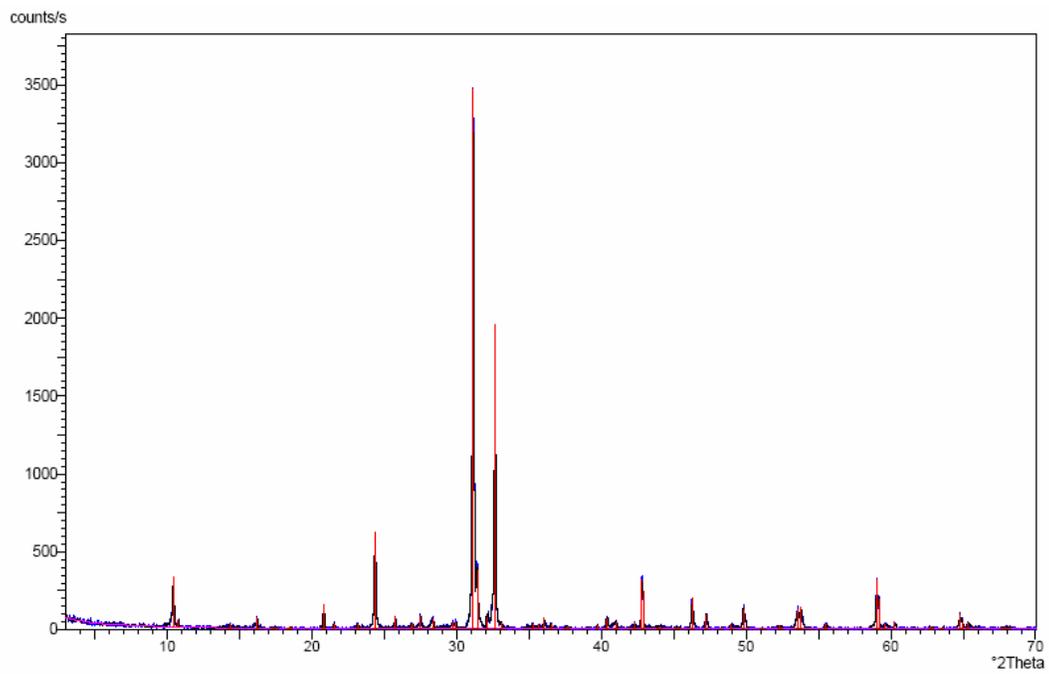


Figura A24. Difractograma de la muestra SPT-IN-18.

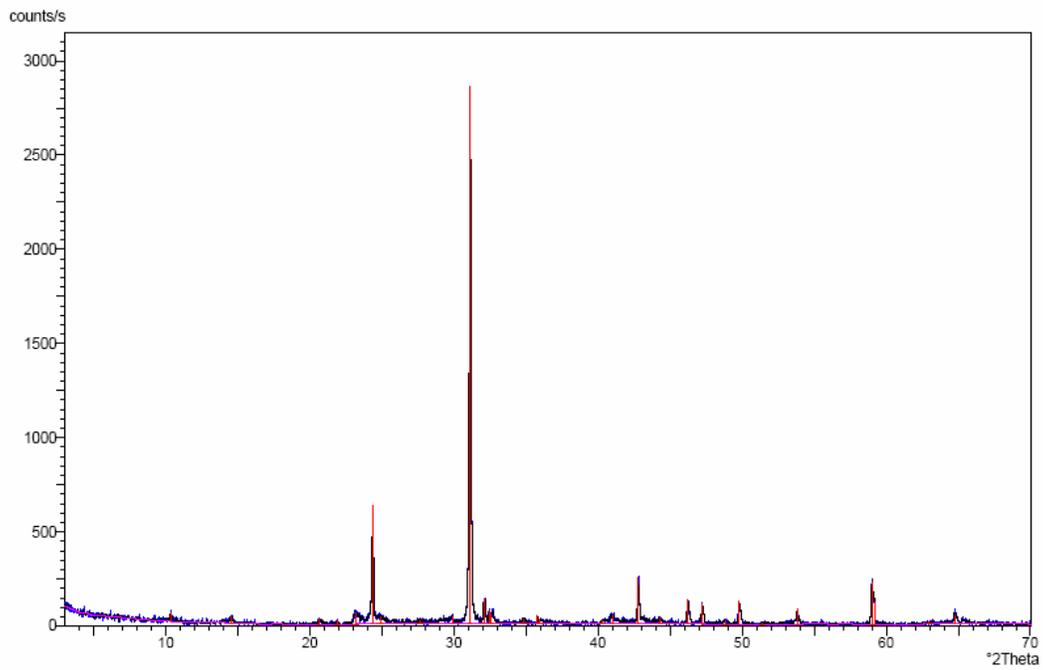


Figura A25. Difractograma de la muestra SPT-IN-5.

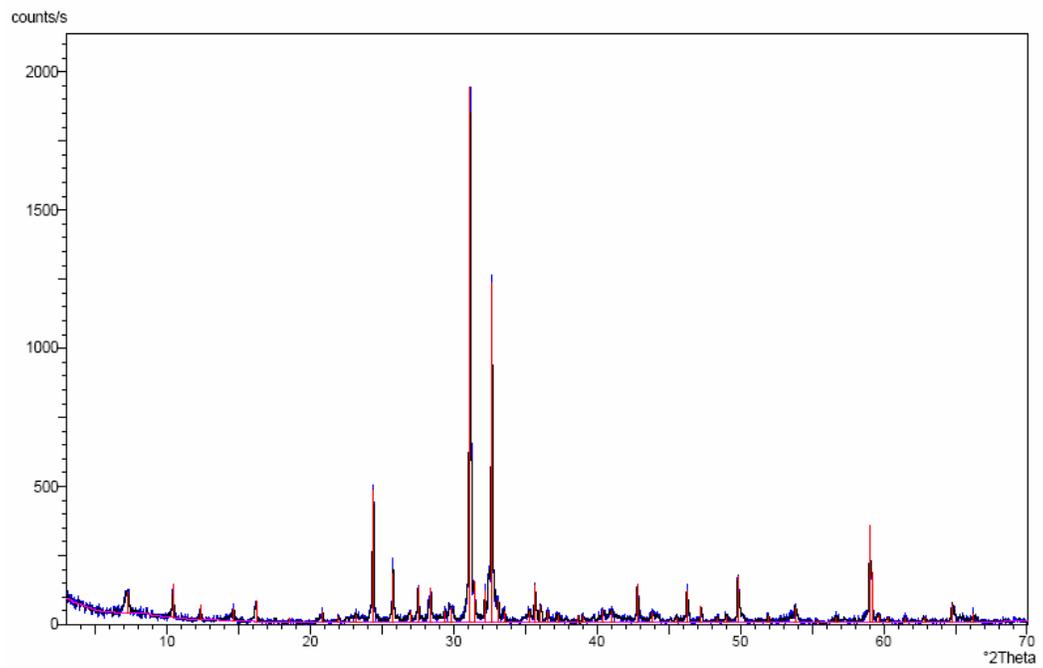


Figura A26. Difractograma de la muestra P-IN-53.

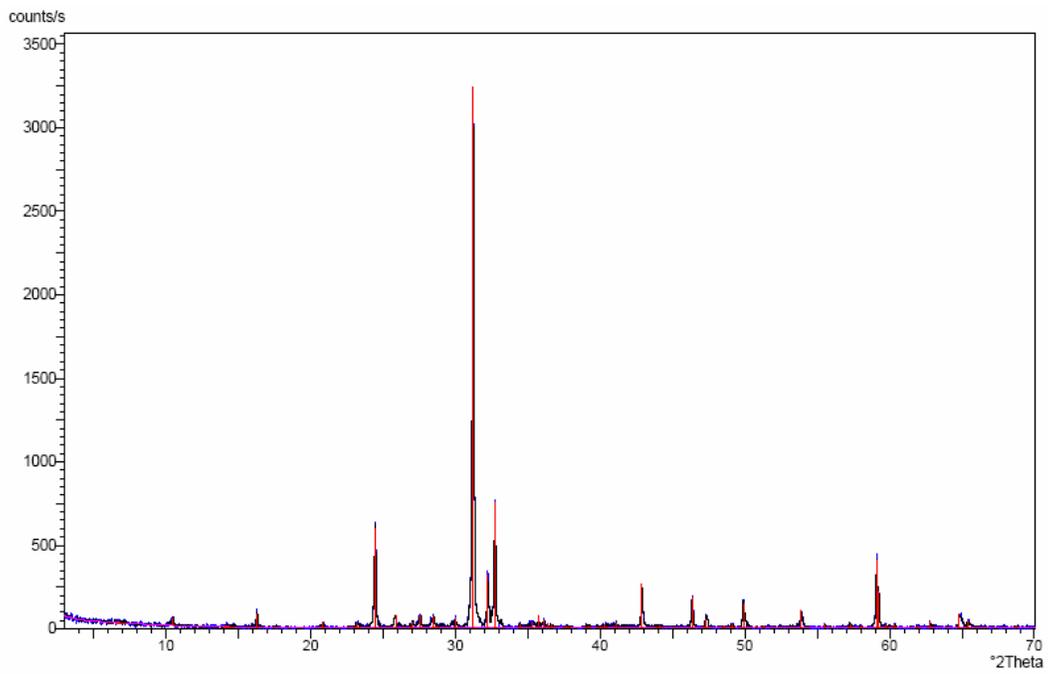


Figura A27. Difractograma de la muestra P-IN-41.

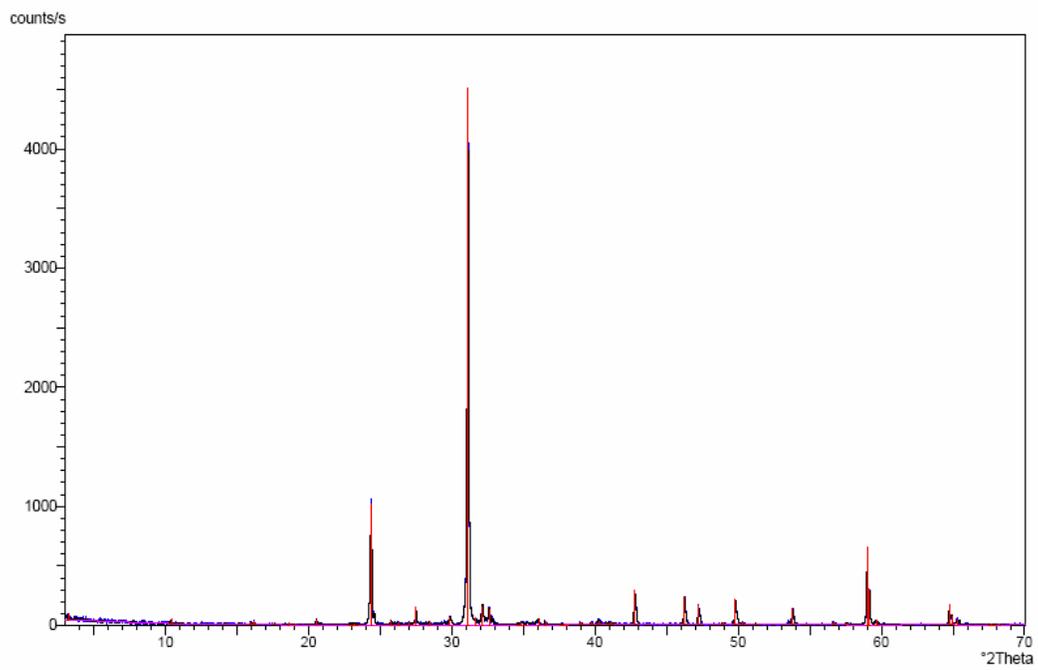


Figura A28. Difractograma de la muestra P-IN-27

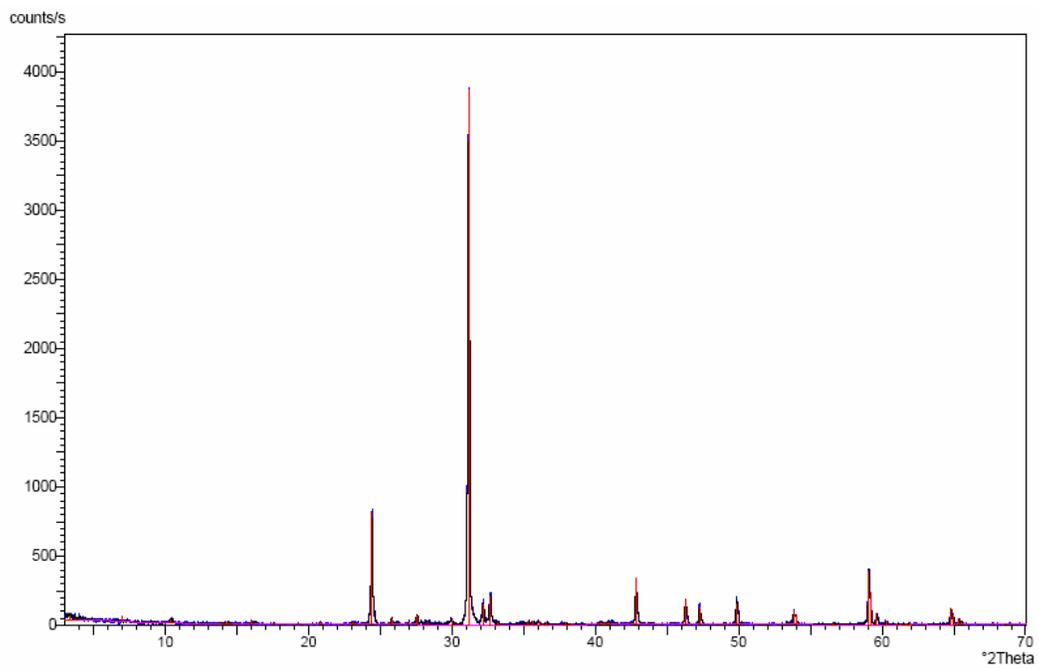


Figura A29. Difractograma de la muestra P-IN-14.

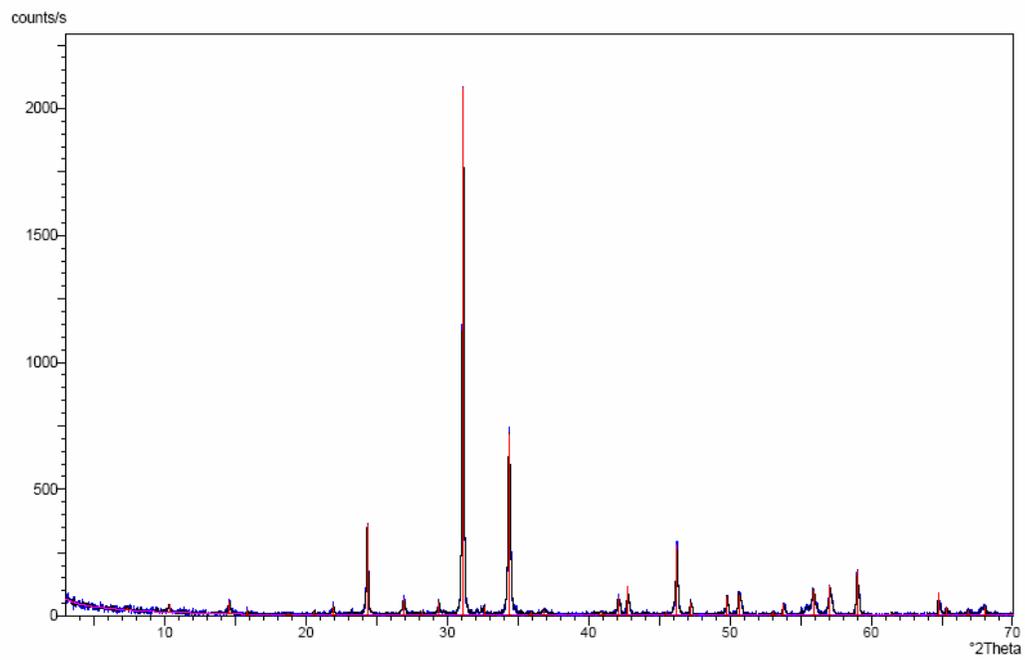


Figura A30. Difractograma de la muestra P-IN-2.

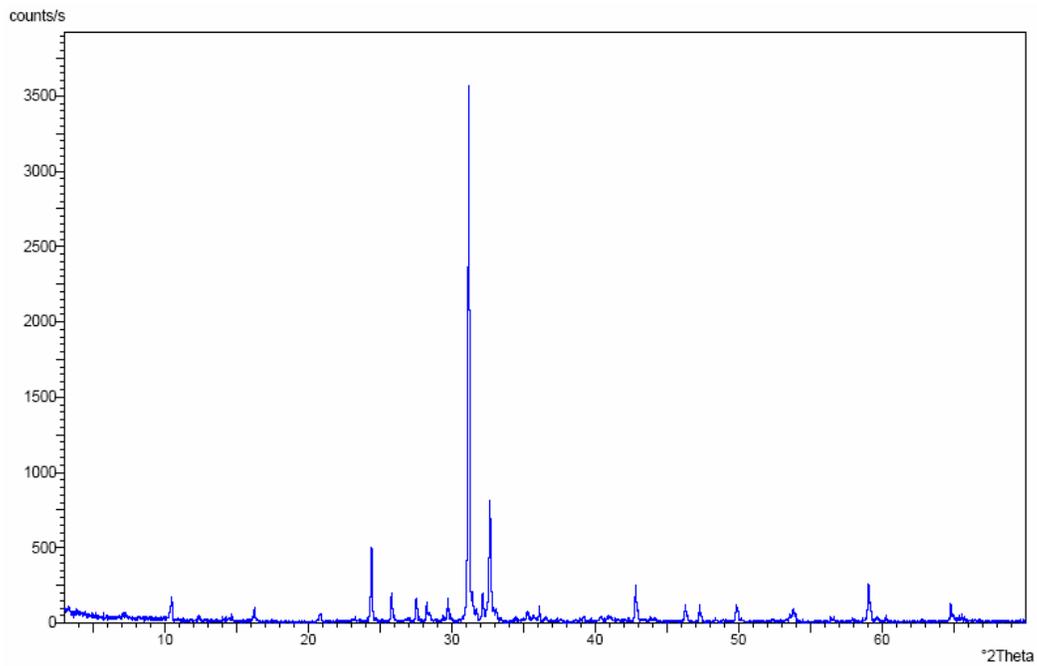


Figura A31. Difractograma de la muestra P-SB-78.

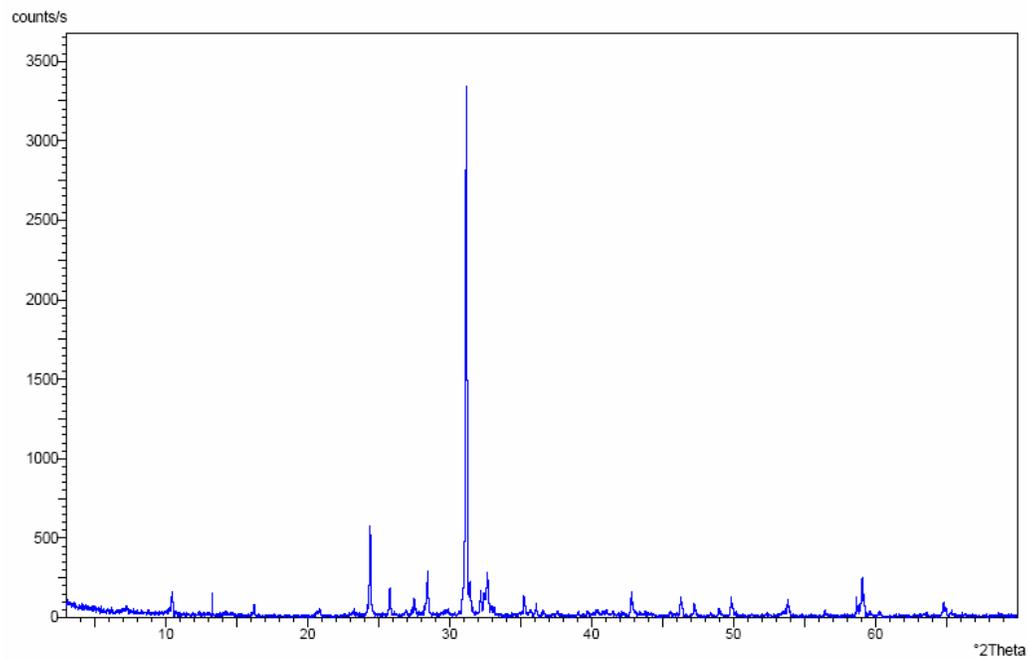


Figura A32. Difractograma de la muestra P-SB-60.

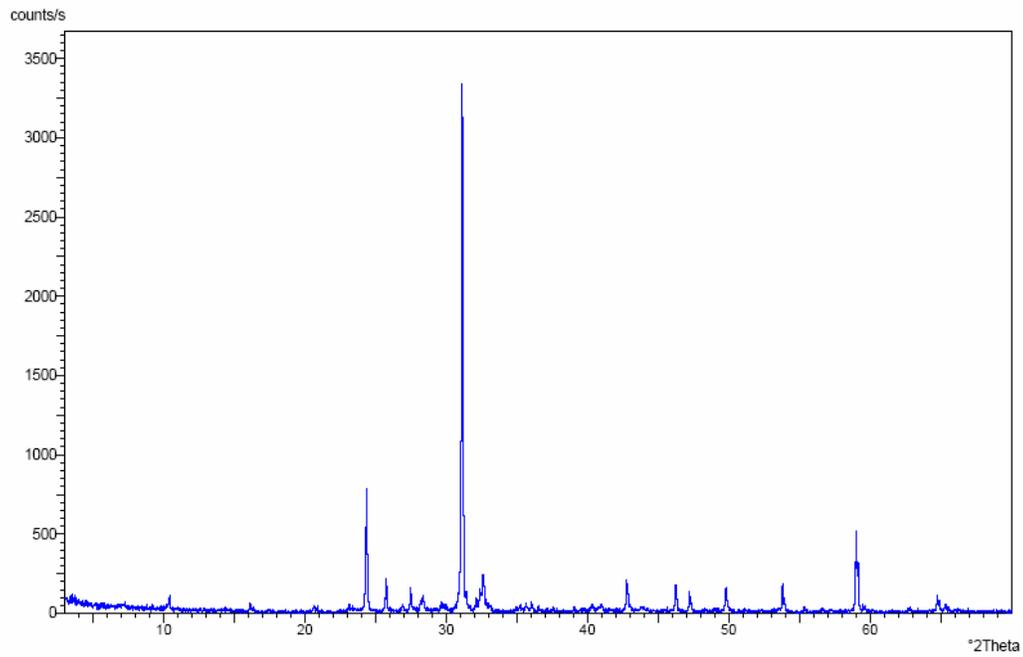


Figura A33. Difractograma de la muestra P-SB-42.

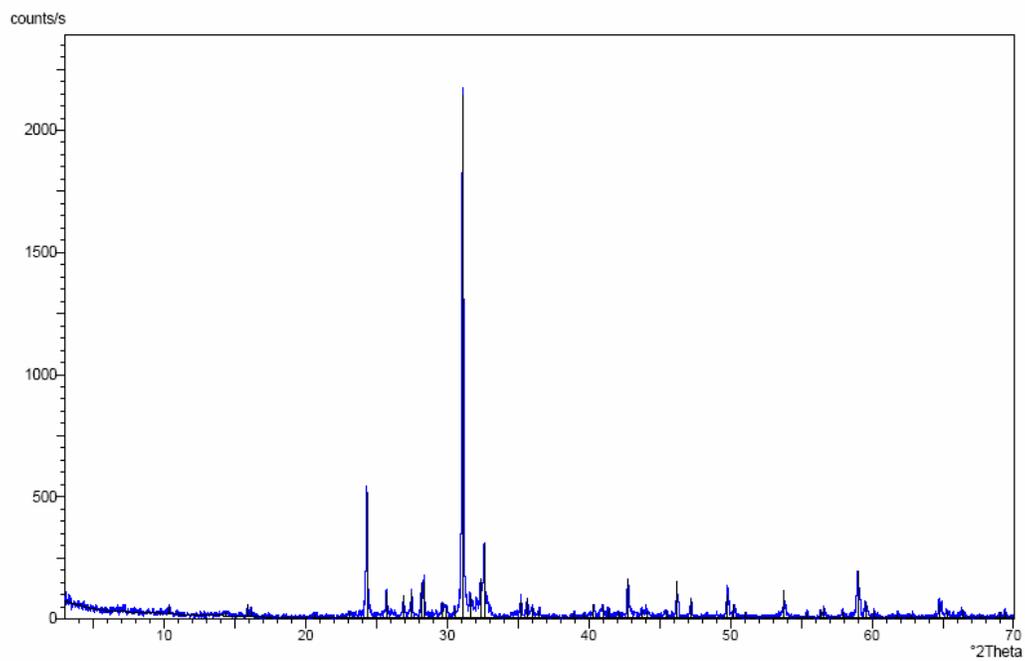


Figura A34. Difractograma de la muestra P-SB-19.

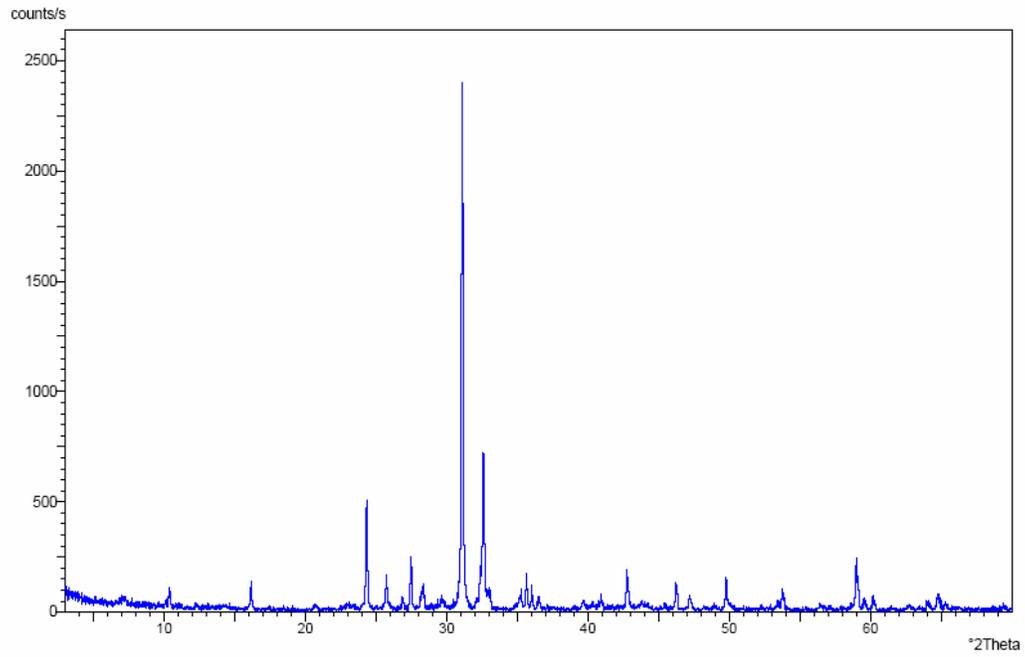


Figura A35. Difractograma de la muestra P-DS-48.

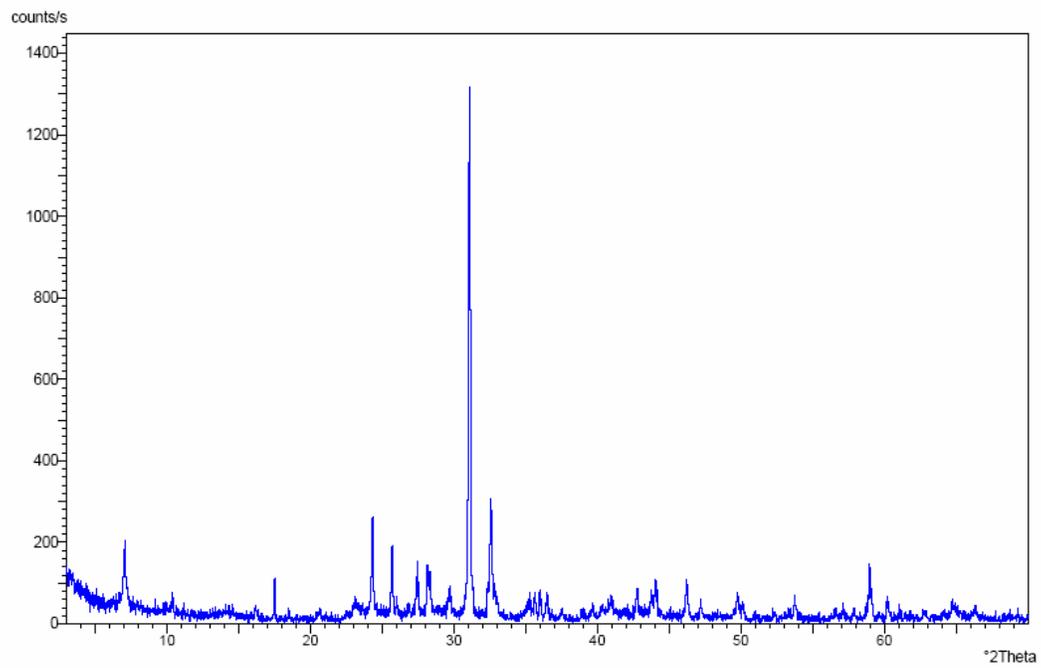


Figura A36. Difractograma de la muestra P-DS-47.

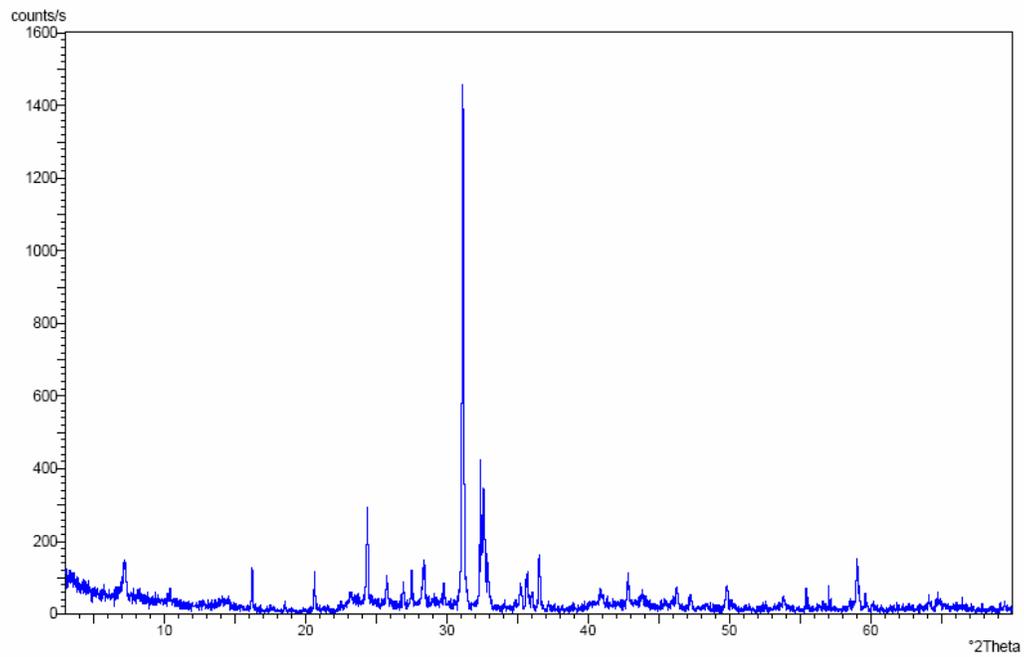


Figura A37. Difractograma de la muestra P-DS-43.

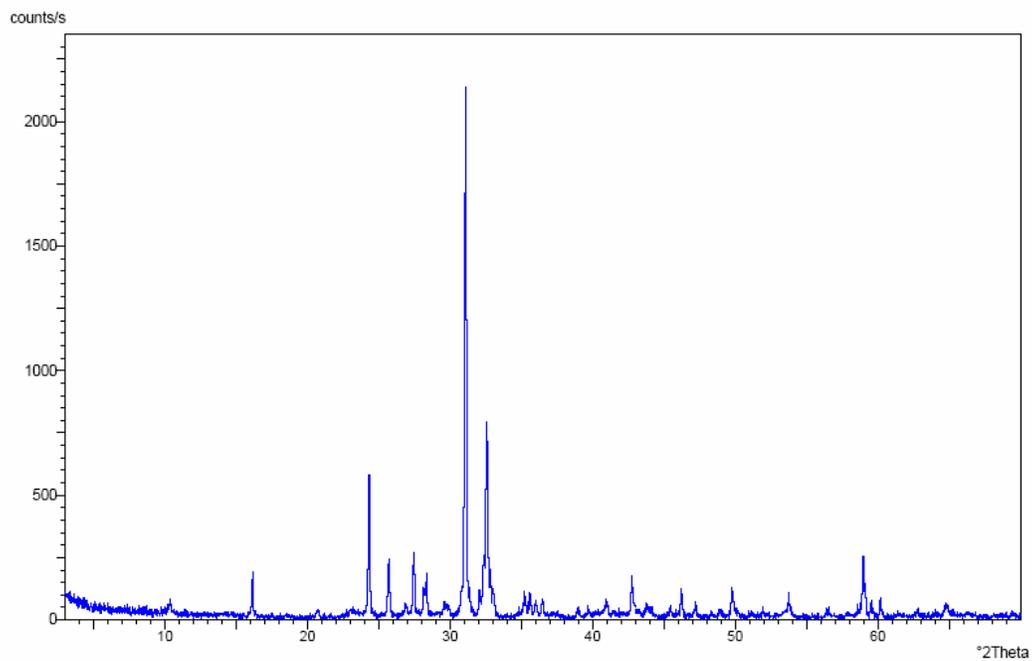


Figura A38. Difractograma de la muestra P-DS-31

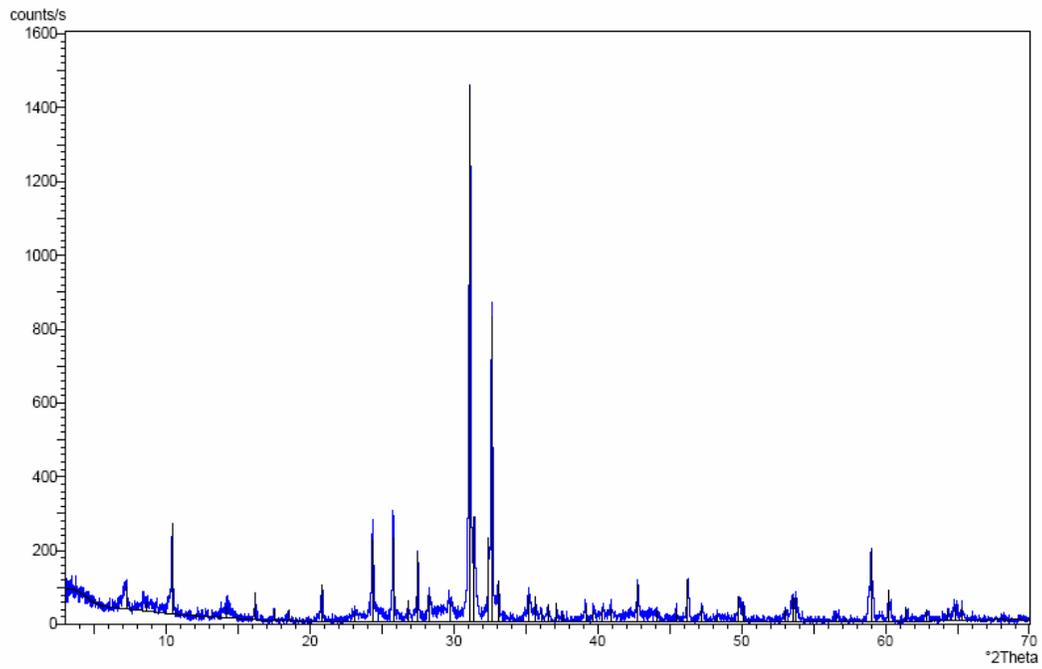


Figura A39. Difractograma de la muestra P-DS-21.

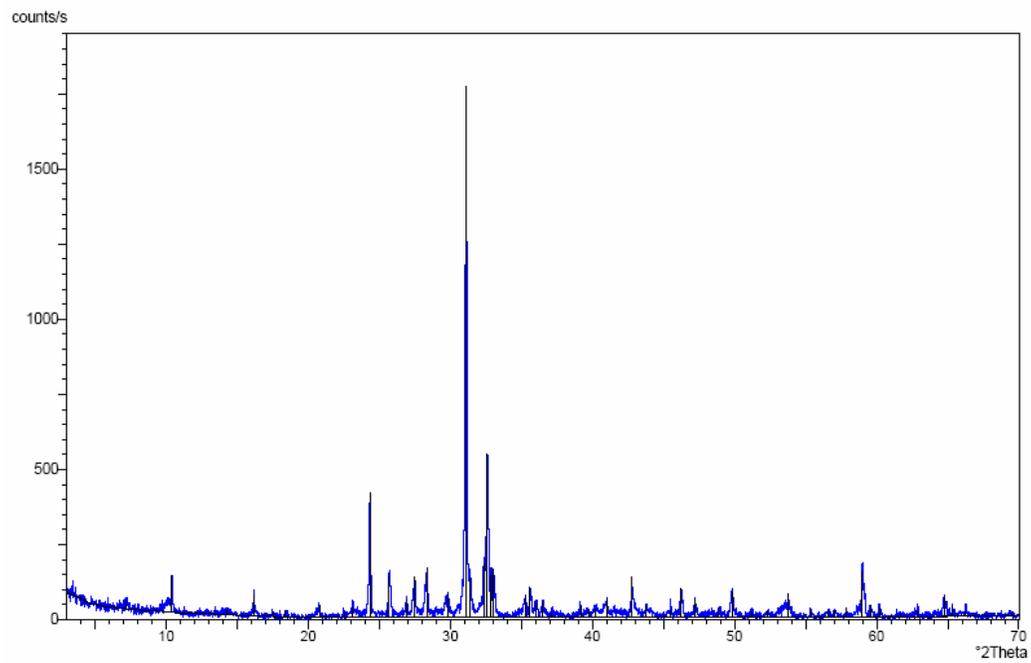


Figura A40. Difractograma de la muestra P-DS-12.

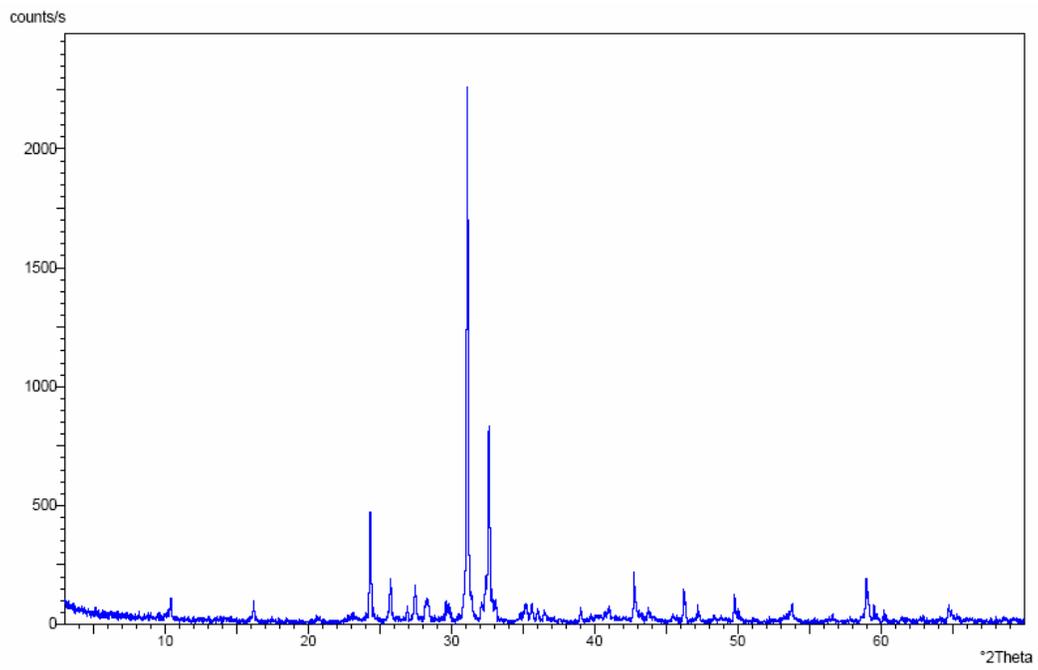


Figura A41. Difractograma de la muestra P-DS-6.