

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA



**DETERMINACIÓN DE Na, Mg, Al, K, Ca, Rb y Sr
EN SEDIMENTOS PROVENIENTES DEL GLACIAR COLLINS, ISLA REY JORGE,
CONTINENTE ANTÁRTICO.**

Trabajo Especial de Grado Presentado
ante la Ilustre Universidad Central de
Venezuela, por la Br. Alejandra Delgado
Gil, para optar por el título de Licenciada
en Química

Caracas, Septiembre de 2012.

Los abajo firmantes asignados por la Universidad Central de Venezuela, como integrantes del jurado examinador del Trabajo Especial de Grado titulado: Determinación de Na, K, Rb, Ca, Mg, Sr y Al en sedimentos provenientes del Glaciar Collins, Isla Rey Jorge, Continente Antártico. Presentado por la Bachiller Alejandra Delgado Gil, C.I. 17.758.071, certificamos que este trabajo cumple con los requisitos exigidos por nuestra magna casa de estudios para optar por el título de Licenciada en Química.

Prof. Alonso David Ojeda
(Tutor)

Prof. Santiago Marrero
(Jurado)

Prof. Maximiliano Bezada
(Jurado)

Caracas, Septiembre 2012.

Agradecimientos

Primeramente a Dios, por darme la fuerza y la voluntad para realizar este trabajo.

A mi familia, por apoyarme a lo largo de toda la carrera y sobre todo en la realización de este proyecto.

A mis tutores, el Profesor Armando, por guiarme durante el tiempo que estuvo conmigo y por enseñarme tantas cosas. Al Profesor Alonso, por su ayuda, por su colaboración y sobre todo por el apoyo incondicional en los momentos tan difíciles que viví durante este trabajo.

Al Profesor Santiago, por ayudarme durante el desarrollo de todo el trabajo, por estar presente siempre que lo necesité, por todo lo que hizo por mí. ¡Mil gracias!

Al Profesor Carlos Yanes, por su orientación y apoyo que permitieron la culminación de este trabajo.

A los Profesores Eduardo Carrillo y Ramón Montero, por estar siempre atentos al desarrollo de mi trabajo y por colaborar con información que me fue de gran ayuda.

Al señor Fernando, Ángel, Franco, Luis y Fernanda, por ayudarme durante la realización de este proyecto y por escucharme tantas veces.

Al personal de la Facultad de Ingeniería, Prof. David Mendi y Alí, por su invaluable colaboración al permitirme realizar los análisis de Difracción de Rayos X en su laboratorio y guiarme en la interpretación de los mismos.

A mi amiga Mariana, ya que gracias a ella, conocí a los Profesores Armando y Alonso y tuve la oportunidad de realizar este trabajo.

A mis amigos, David, Jóeneth, Martha, Yamelis y John, que siempre estuvieron a mi lado para apoyarme, aconsejarse, ayudarme y alentarme en los momentos difíciles.

A mi amiga Emma, que compartió conmigo este trabajo y durante todo este tiempo me brindó su amistad, su apoyo y compartió conmigo los momentos difíciles así como las alegrías.

A todas las personas que estuvieron a mi lado durante el desarrollo de este proyecto y que de una forma u otra colaboraron para que se llevara a cabo.

Resumen

El objetivo principal de este Trabajo Especial de Grado fue determinar la composición química y mineralógica de sedimentos superficiales provenientes de 3 pendientes de alteración y de la línea de costa de un lago periglacial adyacente al glaciar Collins (62°10'11"S; 58°55'18"O) y a la Base Científica Artigas de la Republica del Uruguay (62°11'4"S; 58°5'17"O). Para ello, fueron recolectadas 12 muestras de sedimentos superficiales los cuales fueron tamizados en húmedo, secados, homogeneizados y cuarteados. La separación se realizó en 9 tamaños diferentes los cuales son: F1: <2µm; F2: 2-45 µm; F3: 45-63 µm, F4: 63-125 µm; F5: 125-250 µm; F6: 250-500 µm; F7: 500-1000 µm; F8: 1000-2000 µm y F9: 2000-4000 µm, que corresponden a: arcilla, limo fino, limo grueso, arena muy fina, arena fina, arena media, arena gruesa, arena muy gruesa y grava respectivamente. Una alícuota de cada una de las fracciones fue sometida a un proceso de digestión ácida empleando ácido fluorhídrico y clorhídrico y calentamiento. Posteriormente se determinó la concentración de Na, Mg, Al, K, Ca, Rb y Sr mediante las técnicas de Espectrometría de absorción y emisión atómica con llama (EAA, EEA) y Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICPOES) y se determinó la composición mineralógica mediante la técnica de Difracción de Rayos X (DRX). En cuanto a la composición química se encontraron valores de concentración por debajo del promedio en sedimentos correspondientes a esta zona. En cuanto a la composición mineralógica se encontraron minerales como albita, anortita, andesita, montmorilonita y heulandita, lo cual indica por la presencia de la montmorilonita un grado de meteorización química bajo, por lo que predomina la meteorización física en ese ambiente. La importancia de este trabajo es que permite establecer una línea base de concentración de estos elementos en la zona, ya que por considerarse una zona no contaminada, la presencia de estos elementos es de origen natural, lo cual permite conocer a futuro que un enriquecimiento de alguno de ellos se deba a fuentes de contaminación.

Índice General

Introducción.....	1
Revisión bibliográfica.....	16
Glaciares.....	16
Tipos de glaciares.....	16
Acumulación de material en ambientes glaciares.....	16
Características de los sedimentos transportados por los glaciares.	18
Morrenas.....	19
Zona Periglacial.....	20
Transporte de sedimentos provenientes de ambientes glaciares.	21
Meteorización en ambientes glaciares.....	22
Lagos glaciares.....	25
Preparación de las muestras	26
Fundamento teórico de las técnicas analíticas utilizadas.	26
Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES).....	26
Fundamento de la técnica	27
Espectrometría de absorción y emisión atómica con llama (EAA, EEA).....	27
Espectrometría de emisión atómica con llama.	28
Calibración del instrumento.....	28
Antecedentes	31
Objetivos	36
Objetivo General.....	36

Objetivos Específicos.....	36
Materiales y métodos	37
Descripción de la zona de estudio	37
Geología Local.....	37
Parte Experimental.....	41
Resultados y discusión.....	54
Conclusiones.....	67
Bibliografía	68
Anexos	71

Índice de figuras

Figura 1. Depósitos de tills encima, debajo y en el frente del glaciar.	18
Figura 2. Permafrost del Glaciar Collins, continente Antártico, donde se observa los clastos y la poca abrasión de los fragmentos.	21
Figura 3. Fotografía de material transportado por el glaciar, presentando aspecto hojoso.	23
Figura 4. Lago periglacial, adyacente al Glaciar Collins.	26
Figura 5. Diagrama de espectrometría de absorción atómica con llama.	27
Figura 6. Difracción de rayos X en sucesivos planos cristalinos.	30
Figura 7. Mapa de la zona de estudio en el cual se presenta una vista de la Isla Rey Jorge.	39
Figura 8. Imagen google earth de la zona de muestreo en la cual pueden observarse los puntos y estaciones de recolección de muestras.	41
Figura 9. Fotografía del Lago Periglacial afluente Norte, en la cual es posible observar las estaciones de muestreo 1,2 y 3, así como la morfología predominante en la zona y las características del material presente.	42
Figura 10. Fotografía del Lago al norte del Lago Periglacial, en la cual puede observarse el punto de muestreo F, así como la morfología predominante en la zona y las características del material.	42
Figura 11. Tamices empleados para la separación granulométrica de las muestras de sedimentos.	43
Figura 12. Columnas de decantación para la separación de limos y arcillas.	44
Figura 13. Esquema del procedimiento de preparación de muestras.	44

Figura 14. Envases de teflón utilizados para la digestión de las muestras.....	46
Figura 15. Esquema del procedimiento realizado para la disolución de las muestras de sedimentos.	47
Determinación de la composición mineralógica.	47
Figura 16. Portamuestras utilizados en difracción de rayos X.....	48
Figura 16. Portamuestras utilizados en difracción de rayos X.	48
Figura 17. Equipo de difracción de rayos X utilizado para el análisis de los sedimentos Marca PW-3830.	49
Figura 18. Equipo de absorción y emisión atómica utilizado para la determinación de la concentración de Al, Ca, Mg, Na y K.	50
Figura 19. Esquema del procedimiento de análisis para aluminio, calcio y magnesio, en el cual se presentan las diferentes diluciones realizadas para cada elemento. ...	51
Figura 20. Esquema del procedimiento de análisis para Sodio y Potasio.	52
Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICPOES).52	
Figura 21. Equipo ICPOES utilizado para la determinación de la concentración de estroncio.....	53
Figura 22. Esquema del procedimiento de análisis de estroncio.....	53
Figura 23. Difractograma de la muestra AM5-F1(a), donde las líneas amarillas representan la montmorilonita, las azules la albita y las verdes la andesina.....	55
Figura 24. Difractograma correspondiente a la muestra AM5-F1(a), en la cual se encontraron minerales como montmorilonita, albita y andesina.	57
Figura 25. Difractograma correspondiente a la muestra AM12-F6, en la cual se encontraron minerales como montmorilonita, albita, andesina y cuarzo.	58

Figura 26. Variación de la concentración de aluminio en función del peso de muestra disuelto.....	59
Figura 27. Difractograma del residuo de la muestra AM12-F6, en el cual las líneas azules corresponden a la especie ralstonita y las líneas verdes al fluoruro de calcio y aluminio.....	60
Figura 28. Concentración de aluminio de acuerdo al peso de muestra disuelto para todas las muestras analizadas.	61
Figura 29. Concentración de aluminio ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$) de acuerdo al tamaño del sedimento, para los puntos de muestreo AM1-AM6.....	63
Figura 30. Concentración de aluminio ($\text{mg}\cdot\text{Kg}^{-1}$) de acuerdo al tamaño del sedimento, para los puntos de muestreo AM7-AM12.....	64
Figura 31. Curvas de calibración para aluminio, magnesio, calcio, sodio y potasio. .	71
Figura 32. Curvas de calibración para el estroncio.	72
Figura 33. Difractograma correspondiente a la muestra AM5-F9, en el cual las líneas rojas corresponden a la montmorilonita, las líneas azules a la anortoclasea y las líneas verdes a la albita.....	93
Figura 34. Difractograma correspondiente a la muestra AM7-F1 (a), en el cual las líneas amarillas corresponden a la montmorilonita, las líneas azules a la barretita, las verdes a la albita desordenada, las grises a la clinoptilolita y las vinotinto a la heulandita.....	93
Figura 35. Difractograma correspondiente a la muestra AM7-F1(a), en el cual las líneas amarillas corresponden a la montmorilonita, las líneas azules a la ferrosilita y las líneas verdes a la andesina.	94

Figura 36. Difractograma correspondiente a la muestra AM7-F6, en el cual las líneas amarillas corresponden a la montmorilonita, las líneas azules a la albita y las verdes a la anortita.....	95
Figura 37. Difractograma correspondiente a la muestra AM12-F2, en la cual las líneas amarillas corresponden a la montmorilonita, las líneas azules a la albita desordenada y las líneas verdes a la heulandita.....	95
Figura 38. Difractograma correspondiente al residuo de la muestra AM3-F2, en la cual las líneas verdes corresponden a fluoruro de hierro y rubidio y las líneas azules al cloruro de cobre.....	96
Figura 39. Difractograma del residuo correspondiente a la muestra AM7-F1(a), en el cual las líneas verdes corresponden al fluoruro de calcio y aluminio y las líneas azules corresponden a la ralstonita.....	96
Figura 40. Difractograma del residuo correspondiente a la muestra AM9-F9, en el cual las líneas azules corresponden a la ralstonita y las líneas verdes al fluoruro de calcio y aluminio.	97
Figura 41. Variación de la concentración de Mg, Na, Ca y K de acuerdo con la cantidad de muestra disuelta.....	98
Figura 42. Variación de la concentración de Mg, Na, K, Ca y Sr de acuerdo con la cantidad de muestra disuelta.....	99
Figura 43. Variación de la concentración de magnesio de acuerdo con el tamaño del sedimento, para los puntos de muestreo AM1-AM8.....	100
Figura 44. Variación de la concentración de magnesio de acuerdo con el tamaño del sedimento, para los puntos de muestreo AM9-AM12.....	101

Figura 45. Variación de la concentración de calcio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM1-AM8.	102
Figura 46. Variación de la concentración de calcio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM9-AM12.	103
Figura 47. Variación de la concentración de sodio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM1-AM8.	104
Figura 48. Variación de la concentración de sodio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM9-AM12.	105
Figura 49. Variación de la concentración de potasio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM1-AM8.	106
Figura 50. Variación de la concentración de potasio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM9-AM12.	107
Figura 51. Variación de la concentración de estroncio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM1-AM8.	108
Figura 52. Variación de la concentración de estroncio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM9-AM12.	109

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación del tamaño de sedimentos.	19
Tabla 2. Composición promedio de una andesita.	40
Tabla 3. Composición mineralógica de las andesitas.....	54
Tabla 4. Composición mineralógica de las muestras de sedimentos analizadas.	55
Tabla 5. Peso de muestra utilizada para el procedimiento de digestión y cantidad de muestra disuelta.	59
Tabla 6. Valores de concentración reportados para los elementos analizados en este trabajo y por otros autores.....	62
Tabla 7. Relación entre las concentraciones de aluminio, sodio y potasio de los diferentes puntos de muestreo.	65
Tabla 8. Relación entre las concentraciones de magnesio, calcio y estroncio de los diferentes puntos de muestreo.	66
Tabla 9. Datos de absorbancia y concentración de los patrones utilizados para la construcción de las curvas de calibración.	74
Tabla 10. Concentración de Aluminio determinada mediante Espectrometría de Absorción Atómica.	75
Tabla 11. Concentración de Calcio determinada mediante Espectrometría de Absorción Atómica.	77
Tabla 12. Concentración de Potasio determinada mediante Espectrometría de Emisión Atómica.....	81
Tabla 13. Concentración de Magnesio determinada mediante Espectrometría de Absorción Atómica.	84

Tabla 14. Concentración de Sodio determinada mediante Espectrometría de Emisión Atómica.	87
Tabla 15. Concentración de Estroncio determinada mediante Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado.	90

Introducción

Desde el año 2008 Venezuela inició el Programa Antártico Venezolano a través de 5 expediciones realizadas durante el verano austral. Estas iniciativas de investigación son necesarias para que nuestro país pase de su condición de país adherente a miembro pleno del Tratado de Madrid, que regula la participación de los países en iniciativas de paz y de investigación en el continente antártico. Los acelerados cambios climáticos en nuestro planeta han despertado el interés de la comunidad científica internacional, que coincide en identificar los glaciares como ventanas de observación que sirven de sistemas de alerta temprano sobre el impacto de cambio climático y sus consecuencias ambientales.

Los glaciares se definen como grandes masa de hielo que se forman como consecuencia de bajas temperaturas, en zonas donde la acumulación de nieve o hielo es mayor a la pérdida de la misma por fusión.

Los glaciares cubren aproximadamente el 10% de la superficie de la Tierra y representan alrededor del 80% del agua dulce del planeta, encontrándose aproximadamente el 80% de estos en la Antártida. Los glaciares se encuentran en zonas de elevada altitud como en Los Andes o El Himalaya, así como en zonas de baja altitud como Groenlandia y la Antártida. Por ello, dependiendo de la zona donde se encuentran presentan ciertas características. [1]

El hielo de los glaciares es un importante agente de alteración para el material que se encuentra debajo de él, ya que debido al gran tamaño de la masa de hielo, ésta es capaz de fracturar fragmentos de roca y movilizarlos produciendo diferentes formas en el terreno. [2]

Asociado a los glaciares se encuentran importantes depósitos sedimentarios como son los lagos glaciares, en estos, los sedimentos que se depositan son una fuente de valiosa información paleoclimática y paleoecológica, ya que los sedimentos lacustres poseen un conjunto de datos y evidencias sobre los cambios climáticos. Los glaciares son ambientes de gran importancia ya que estos aportan información acerca de la zona donde se encuentran, tanto de su geología como del clima en determinado momento. [3]

La importancia de este trabajo se encuentra en que permitirá establecer una línea base de concentraciones de Na, Mg, Al, K, Ca, Rb y Sr en áreas adyacentes al glaciar Collins, en el continente Antártico, con lo cual se conocerá la concentración presente en forma natural de estos elementos en la zona.

Revisión bibliográfica

Glaciares.

Los glaciares son masas de hielo que se desplazan lentamente desde una zona de acumulación hacia niveles inferiores, transportando sedimentos de diferentes tamaños a medida que avanzan [1].

Tipos de glaciares.

Los glaciares pueden clasificarse de manera general en dos tipos principales, los casquetes polares y los glaciares de montaña.

- Los **glaciares de montaña o alpinos**, se asocian a climas fríos y topografías abruptas propias de altas montañas, estos se forman en cualquier latitud y normalmente tienen decenas de metros de espesor y longitudes entre cientos de metros y varios kilómetros. [3]
- Los **casquetes polares o glaciares continentales**, estos pueden encontrarse principalmente en los polos norte y sur de la Tierra. En estas zonas la precipitación de nieve cada año es muy baja, pero aún así es posible la acumulación de hielo, debido a que las temperaturas se mantienen bajo cero permitiendo que la fusión de la nieve sea prácticamente inexistente [1]
- También se encuentran las **capas o láminas de hielo**, las cuales presentan extensiones mayores a 50.000 Km², en estos, la zona debajo del hielo suele ser más caliente que la parte superior, produciendo en algunos casos la fusión del mismo. La naturaleza del material rocoso debajo del hielo determina su velocidad de movimiento. [4]

Acumulación de material en ambientes glaciares

La sedimentación en los glaciares tiene lugar generalmente en el frente del mismo. Cuando el glaciar avanza o retrocede en la misma zona durante mucho tiempo, acumula material heterogéneo en dicha zona. Tanto si el glaciar avanza como si retrocede, grandes cantidades de agua de fusión vierten hacia el frente arrastrando arenas, limos, arcillas e incluso piedras de gran tamaño.

El agua es un medio físico que permite el transporte y la clasificación de los sedimentos de acuerdo con la Ley de Stokes, la cual relaciona el tamaño del material con su resistencia al movimiento, es decir, a medida que disminuye el tamaño del sedimento disminuye también su velocidad de depositación. [5]

La Ley de Stokes, permite determinar si el material es transportado por el medio o es arrastrado. Por lo tanto, el agua, puede transportar sedimentos de tamaño menor a 0,062 mm, lo que corresponde con el limo y la arcilla, mientras que tamaños superiores a este son depositados y arrastrados. [6]

El material de mayor tamaño es depositado a lo largo del lecho por el cual pasa el agua, mientras que el material transportado, es decir, limo y arcilla es depositado finalmente en el fondo de los lagos glaciares [7]

En general, el material no consolidado que se deposita directamente durante el movimiento de la masa de hielo es denominado **Till**, mientras que el material consolidado se denomina **Tillita**.

Como se ilustra en la Figura 1, es posible dividir los till de acuerdo a su origen y zonas de acumulación.

- **Till Meltout**, son depósitos en el frente del glaciar que se forman como consecuencia de la fusión del hielo.
- **Till Lodgement**, se forman debido al movimiento del glaciar al pasar sobre el material endurecido, el cual es cortado produciendo clastos¹ con orientación paralela al flujo.
- **Till Basal**, son un conjunto de till meltout y de till lodgement.
- **Till Flow**, son acumulaciones de sedimentos glaciares re TRABAJADOS por flujos de gravedad. [8]

¹Clastos: Se define como el trozo de roca que procede de la ruptura o fragmentación de otra roca. Este término involucra todo tipo de fragmentos, incluyendo desde tamaño grava, hasta limo. [9]

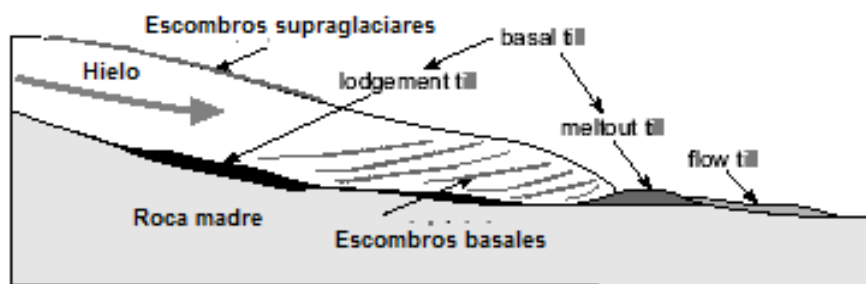


Figura 1. Depósitos de tills encima, debajo y en el frente del glaciar.

Debido al transporte que puede realizar la masa de hielo, los sedimentos no poseen una granulometría definida. Una característica muy importante, es que en los depósitos de sedimentos no se encuentra abundancia de minerales arcillosos en las fracciones finas, ya que estas provienen exclusivamente de procesos físicos de meteorización y erosión y las arcillas son formadas por procesos de meteorización química principalmente. [2]

Características de los sedimentos transportados por los glaciares.

La erosión en ambientes glaciares da como resultado una gran variedad de tamaños de sedimentos. El movimiento del glaciar no permite la mezcla de los sedimentos, ni tampoco proporciona un medio para su distribución de acuerdo al tamaño de los granos, es por ello que los sedimentos que son transportados por los glaciares presentan una mala selección. Los fragmentos de roca que son fracturados y movilizados durante el movimiento del glaciar no presentan mayor abrasión² ni desgaste, como lo muestra el material que se encuentra en la parte superior del mismo.

Por lo tanto, los sedimentos glaciares en general, no presentan buena selección, tienen formas angulares y poca madurez textural. [10]

² Abrasión: Se define como la erosión debido al frotamiento de partículas suspendidas en otro medio, como el agua, viento o hielo [8]

El material que conforma el till y la tillita es producto de la meteorización que tiene lugar en ambientes fríos, donde predomina la meteorización física, siendo el hielo el principal responsable de dicho proceso, debido a su capacidad de romper las rocas en pequeños fragmentos y movilizarlos a medida que avanza.

La meteorización química no juega un papel tan importante en estos ambientes ya que el material no se encuentra expuesto a la superficie suficientemente como para ser alterado en gran medida; por lo tanto, los componentes del till y la tillita son básicamente los mismos que los constituyentes de la roca madre de donde proviene tal material. Contrario al caso que se presenta en los ambientes tropicales, los cuales se caracterizan por altas temperaturas y gran humedad, que permite el predominio de la meteorización química. [11], [12]

En la tabla 1 se presenta la clasificación de los sedimentos de acuerdo al tamaño del mismo.

Tabla 1. Clasificación del tamaño de sedimentos.

Tamaño de Partículas (mm)	Nombre
256-2,00	Gravas
2,00- 1,00	Arena muy gruesa
1,00- 0,50	Arena Gruesa
0,50- 0,25	Arena Media
0,25- 0,125	Arena Fina
0,125- 0,0625	Arena muy Fina
0,0625- 0,0039	Limo
0,0039- 0,00006	Arcilla

Morrenas

Las **morrenas** pueden definirse como depósitos rocosos formados por el material transportado y depositado por un glaciar. [14]

Estas pueden clasificarse en varios tipos de acuerdo a los procesos que las generan y de acuerdo a la posición que presentan respecto al glaciar. [8]

Existe una diferencia entre las morrenas formadas en la superficie del hielo y las generadas en la superficie bajo el margen del glaciar. [14]

Tipos de morrenas:

- **Morrenas terminales**, aquellas que marcan el límite de avance del glaciar.
- **Morrenas de empuje**, se acumulan en la parte delantera del glaciar, como consecuencia del movimiento del mismo al fracturar y movilizar fragmentos de roca de la superficie a medida que avanza.
- **Morrenas de descarga**, se forman en la base del glaciar, donde el deshielo mantiene el ritmo de avance del mismo.
- **Morrenas laterales**, están conformadas por el material acumulado a los lados del glaciar, y que queda expuesto una vez que el glaciar se ha retirado. Estas pueden formar crestas a lo largo del valle glaciar y en forma paralela al mismo.
- **Morrenas mediales**, se forman cuando dos valles glaciares tienen diferentes tributarios de sedimentos y estos se acumulan en el centro del mismo con el paso del glaciar. Luego del paso del glaciar, el depósito de sedimentos resultante es lo que se denomina morrena medial. [8]

Zona Periglaciar

La zona periglaciar es aquella que se encuentra adyacente a la masa de hielo en un glaciar. Estas se caracterizan por poseer temperaturas medias anuales que oscilan entre -4 C° y 4 C° , por lo que se producen procesos de fusión y congelación del agua constantemente. [8], [15]

Dentro de los sedimentos, en los poros de los mismos, el punto de congelación del agua puede llegar hasta -22C° , esto ocurre principalmente en sedimentos de grano fino (arcilla y limo) y aunque la mayor parte del terreno se encuentra congelado puede producirse movimiento de agua a través de estos sedimentos. [11]

Los sedimentos presentes en esta zona se caracterizan por ser muy poco maduros texturalmente, debido a que el transporte es casi inexistente y por lo tanto los sedimentos presentan sus formas originales, generalmente aplanados y angulosos,

como se muestra en la figura 2, en la cual pueden observarse estas características.[15]



Figura 2. Permafrost del Glaciar Collins, continente Antártico, donde se observa los clastos y la poca abrasión de los fragmentos.

Transporte de sedimentos provenientes de ambientes glaciares.

El transporte de sedimentos por el hielo depende de la topografía, de la forma de la cuenca y del régimen glaciar, es decir, del balance entre la acumulación y la pérdida de hielo por ablación³. Los sedimentos transportados por el glaciar son originados por la acción erosiva del mismo, al arrastrar material del lecho de roca, producto de la fricción cuando la masa de hielo se desplaza sobre este. También transporta material que se acumula en la parte superior del glaciar, producto de avalanchas, y material que se acumula en los lados del mismo proveniente de las laderas de las montañas. [2]

³ Ablación: Este término se refiere a procesos tales como fusión o evaporación del hielo [2]

De acuerdo a la forma en que el material disgregado es incorporado a la masa de hielo en movimiento, este puede clasificarse de dos maneras:

- Escombros supraglaciares, son los que se acumulan en la superficie del glaciar como consecuencia de la caída de los mismos desde las laderas de las montañas al valle. Generalmente, los sedimentos que se acumulan mediante este mecanismo son de grano grueso.
- Escombros basales, son aquellos que provienen del lecho de roca y son fracturados y movilizados debido al movimiento del glaciar. Los sedimentos acumulados por medio de este mecanismo son de tamaño variado, incluyendo los tamaños más finos que se obtienen por abrasión.

Durante el movimiento del glaciar, la masa de hielo sufre deformación, generándose pliegues y en algunos casos fallas, lo cual puede permitir que ocurra la mezcla de material supraglaciario con material basal. [8]

Meteorización en ambientes glaciares

Es el conjunto de procesos que ocurren cuando algún material es expuesto a la superficie y sobre él actúan diferentes agentes atmosféricos. Como resultado de ello se producen una serie de cambios tanto físicos como químicos en el material, debido a la interacción en la zona de contacto entre las rocas, el aire, el agua y los organismos. Por lo tanto, la meteorización puede entenderse como aquellos cambios tanto físicos como químicos que sufren las rocas expuestas a la superficie. [16]

El tamaño de las partículas, su dureza y el grado de compactación son algunas características físicas que influyen en el grado de meteorización de las rocas. [17]

La meteorización física es un proceso mecánico que produce la desintegración de la roca mediante la acción de fuerza suficientemente fuertes como para fracturarla sin variar su composición. En la figura 3, se puede observar las características del material en ambientes glaciares, encontrándose que en general éste presenta aspecto hojoso. [16]

Entre los factores que producen meteorización física en estos ambientes, destacan los procesos de congelación y descongelación del agua en las fisuras de las rocas, debido a que ésta al congelarse en el interior de las mismas aumenta su volumen produciendo la fragmentación de la fisura en pedazos, esto se debe a que el hielo ocupa mayor volumen que el agua, por lo tanto al congelarse ésta en el interior de las fisuras produce la fragmentación de las paredes de la misma. [18]



Figura 3. Fotografía de material transportado por el glaciar, presentando aspecto hojoso.

Por otra parte se tiene la **meteorización química**, la cual se produce luego de la disgregación de la roca original debido a la acción mecánica que produce fragmentos más pequeños, con un área superficial elevada (relación área-volumen). Este hecho, propicia que en la superficie de estas partículas tengan lugar procesos químicos que transforman los minerales principales de la roca en minerales diferentes, con propiedades físicas, químicas y fisicoquímicas distintas. [19]

Este tipo de meteorización ocurre en dos pasos: en primer lugar la descomposición de los minerales primarios de las rocas en tamaños relativamente grandes y posteriormente la formación de minerales secundarios de menor tamaño.

- ✓ El proceso de descomposición de los minerales primarios ocurre debido a procesos como: disolución de sales, hidrólisis, oxidación e hidratación. [17]
- ✓ La **disolución de sales** por acción del agua, consiste principalmente en la disolución de sales de metales alcalinos y alcalinotérreos, tales como cloruros, sulfatos y carbonatos. [17]
- ✓ La **hidrólisis** de los silicatos es otra reacción importante que puede ocurrir, en este caso con los iones H^+ y OH^- del agua. La síntesis de nuevos minerales depende de los procesos como:
 - Lavado de los iones alcalinos liberados durante el proceso de descomposición.
 - Formación de productos poco solubles de hidrólisis.
 - Formación de complejos organominerales de hierro y aluminio.[17]
- ✓ La **oxidación**, que consiste en la combinación del oxígeno con cualquier otro elemento, presentándose principalmente en suelos bien aireados y drenados. [12]
- ✓ La **hidratación**, que ocurre al combinarse los minerales con moléculas de agua. Tal asociación puede ocurrir en la superficie del mineral (proceso denominado adsorción), o puede ocurrir que el agua sea absorbida por la roca cambiando las propiedades de la roca. [12]

Dentro del proceso de meteorización se destruyen minerales pero también se sintetizan nuevos compuestos, los minerales secundarios, los cuales provienen de los primeros pero presentan composición distinta y además de un menor tamaño.

Los minerales primarios son constituyentes generalmente de las fracciones más gruesas de los sedimentos, mientras que en suelos meteorizados predominan las arcillas así como los óxidos e hidróxidos.

Entre los minerales secundarios se encuentran los pertenecientes al grupo de los aluminosilicatos y los pertenecientes al grupo de los hidróxidos.

Los minerales de arcilla son una parte muy importante en los productos de meteorización y síntesis. Estos minerales son filosilicatos laminares, con estructura atómica tridimensional que poseen la propiedad de intercambiar iones adsorbidos en su superficie.

Otro tipo de meteorización importante es la **meteorización biológica**, la cual consiste en la descomposición de las rocas debido a la acción de diversos organismos sobre las mismas. Los procesos por los cuales actúan dichos organismos pueden ser tanto físicos como químicos. [17]

Lagos glaciares

El avance del hielo sobre la superficie puede encontrarse con obstáculos que provocan su retención, originando así un **lago glaciar** como el mostrado en la figura 4. [20]

Los lagos glaciares representan alrededor del 48% de la superficie y el 22% del volumen de todos los lagos de la Tierra. [21]

Los lagos glaciares se forman de diferentes maneras, en contacto directo con la masa de hielo, dentro de una cuenca erosionada por la última glaciación y en las estructuras producidas por la última glaciación. Los lagos glaciares se forman también por procesos asociados con los ciclos de hielo y deshielo del permafrost y no necesariamente asociados a procesos glaciares. [21]

Los lagos en contacto con el hielo, incluyen aquellos que se forman en la superficie del hielo, así como los que se forman debajo de este y los que se encuentran adyacentes a la masa de hielo. Este tipo de lagos está altamente influenciado por la actividad tectónica del glaciar, del gradiente geotérmico subglaciar y del clima. Este tipo de depósitos glaciares permanecen intactos después de la ablación glacial. [21]



Figura 4. Lago periglacial, adyacente al Glaciar Collins.

Preparación de las muestras

Los análisis espectroscópicos para muestras sólidas como suelos y sedimentos requieren de un proceso de digestión antes de ser introducidos en el instrumento en el cual se realizará el análisis, lo cual significa que la muestra debe transformarse de la fase sólida a fase líquida, proceso que se conoce como **digestión**. Este proceso consiste básicamente en liberar los metales de la matriz por medio de una extracción ácida. [22]

Fundamento teórico de las técnicas analíticas utilizadas.

Las técnicas de espectroscopía atómica se basan en la descomposición de una muestra en átomos mediante una llama o un plasma. [21]

Mediante estas técnicas, la cantidad de cada elemento es determinada por la radiación visible o ultravioleta que absorben o emiten los átomos en estado gaseoso. [23]

Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES).

La técnica de Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICP-OES), es una técnica analítica que permite la determinación

simultánea y con buena precisión y exactitud de la mayoría de los elementos de la tabla periódica a niveles traza y ultratrazo.

En la espectrometría de emisión óptica, la muestra es sometida a altas temperaturas, lo que permite la disociación de los átomos así como la ionización de los mismos. Estos átomos excitados, al relajarse a niveles inferiores de energía emiten radiación característica con longitudes de onda específicas que permiten el reconocimiento del elemento. [24]

Fundamento de la técnica

La muestra es introducida dentro del instrumento en forma líquida y una vez dentro de él, es transportada por medio de un sistema de bombas hasta el nebulizador donde es transformada en aerosol. El aerosol se transporta hasta el plasma en donde es desolvatado, vaporizado, atomizado y excitado/ionizado por las altas temperaturas del plasma. La relajación de los átomos o iones emite una radiación característica cuya intensidad está relacionada con la concentración de la especie en la muestra. [24]

Espectrometría de absorción y emisión atómica con llama (EAA, EEA).

Espectrometría de absorción atómica con llama.

La espectrometría de absorción atómica con llama se basa en la medida de la radiación absorbida por los átomos cuando sobre ellos incide una radiación electromagnética. [25]

En la Figura 5, puede observarse un diagrama que representa el proceso de la espectrometría de absorción atómica.

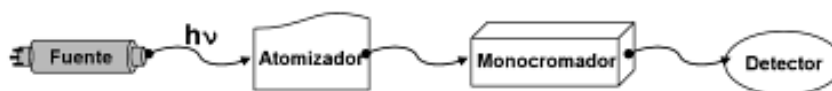


Figura 5. Diagrama de espectrometría de absorción atómica con llama.

Fuente de atomización

En esta técnica, generalmente se utiliza un mechero de premezcla, en el cual, el oxidante, el combustible y la muestra se mezclan antes de ser introducidos en la llama. La combinación más frecuente de combustible-oxidante es acetileno y aire, que producen llamas con temperaturas de 2400-2700 K. En caso de necesitarse llamas más calientes, para atomizar elementos de alto punto de ebullición (elementos refractarios), se utilizan mezclas de acetileno y óxido nitroso. [23]

Espectrometría de emisión atómica con llama.

Esta técnica se basa en la emisión de radiación por un átomo al regresar a su estado fundamental después de haber sido excitado con energía térmica.

La emisión consiste en la liberación de energía previamente absorbida. La emisión se produce cuando al menos un electrón cae de una orbita de mayor energía a otra de menor energía. [26]

Calibración del instrumento.

Antes de realizar los análisis en una muestra es necesario realizar la calibración del instrumento. La calibración se hace mediante la construcción de curvas de calibrado, las cuales permiten relacionar la señal analítica con la concentración del analito.

• Curvas de calibración.

Para realizar la curva de calibración se introducen en el instrumento varios patrones que contengan concentraciones exactamente conocidas del analito y se registra su señal. Dicha señal debe ser corregida a su vez con la señal del blanco. Los datos obtenidos se representan para obtener una gráfica de la señal corregida del instrumento en función de la concentración del analito, esta representación se denomina **curva de calibración**. Generalmente, estas representaciones son lineales en un amplio intervalo de concentración, lo que disminuye los errores en comparación con aquellas representaciones que obtienen curvas no lineales. Una vez que se tiene la representación gráfica se obtiene la ecuación de la curva de calibrado por el método de mínimos cuadrados, la cual permite calcular la concentración de las muestras.

El éxito de las curvas de calibración depende en gran medida de la exactitud que tenga la concentración de los patrones y de su parecido con la matriz de la muestra que se analiza. En muestras complejas es muy difícil reproducir la matriz y generalmente se producen errores debido a las interferencias. Por ello para minimizar estas interferencias es necesario separar el analito de esas interferencias antes de medir su señal en el instrumento. [27]

Difracción de Rayos X.

La difracción de rayos X es una característica de la estructura cristalina de las moléculas, es un fenómeno molecular. En esta, cada especie cristalina tiene constantes los espacios entre sus planos de reflexión, por lo que el conocimiento de estas distancias permite identificar de manera inequívoca la sustancia. [28]

Los rayos X se obtienen generalmente, por bombardeo sobre una lámina (ánodo) metálica de molibdeno, wolframio, platino, plata o cobre, con un haz de electrones a gran velocidad, procedentes de un cátodo, que generalmente está hecho de wolframio incandescente. En el choque de los electrones con el ánodo, éste absorbe la energía de los electrones, emitiendo una energía que tiene dos componentes: una radiación continua o de frenado y otra, llamada “radiación característica” o “espectro característico” de rayos X. [28]

Tal espectro característico se debe a que los electrones suficientemente energéticos son capaces de arrancar electrones internos de los átomos del ánodo; el vacío dejado por un electrón es ocupado rápidamente por otro que cae de una orbita o nivel superior. La diferencia de energía entre los niveles de partida y de llegada es emitida en forma de Rayos X. [28]

El fenómeno de difracción de rayos X se basa en la dispersión, en la cual, una parte de la radiación incidente, es desviada de su dirección original por la interacción con el material irradiado. [29]

El fundamento del método radica en que un cristal es una distribución regular en el espacio de sus átomos o iones constituyentes y que las distancias interplanares entre ellos, es del mismo orden de magnitud que la longitud de onda de los Rayos X, por lo que los cristales, de acuerdo con las leyes ópticas, pueden producir

fenómenos de difracción, es decir, reforzamiento o anulación de la intensidad de la radiación característica. [28]

Cuando un haz monocromático de rayos X llega a un cristal con un ángulo de incidencia θ , para que la radiación reflejada esté en concordancia de fase es necesario que la diferencia de recorrido de dos rayos sea múltiplo de la longitud de onda. [28]

$$AB = d \sin \theta$$

$$ABC = 2 d \sin \theta$$

Por lo que, para que haya concordancia de fase entre los rayos reflejados

$$2 d \sin \theta = n \lambda \text{ (Ley de Bragg)}$$

Donde, d es la distancia interplanar y n el número entero y representa el orden de difracción, como se observa en la figura 6.

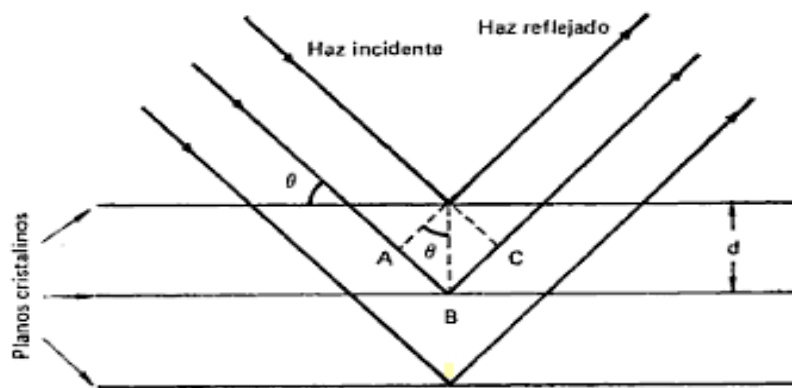


Figura 6. Difracción de rayos X en sucesivos planos cristalinos.

Para encontrar los distintos ángulos de incidencia en que la radiación reflejada está en fase, se gira lentamente el cristal. Posteriormente se registra la radiación obtenida, en un diagrama de difracción o “difractograma”. [28]

Antecedentes

Acosta y colaboradores (2011) estudiaron el contenido de elementos mayoritarios y trazas de 21 muestras de suelos recolectados en áreas prístinas. Dichas muestras fueron separadas de acuerdo a su granulometría en tres tamaños, arena, arcilla y limo. Cada fracción fue disuelta con ácido nítrico, ácido fluorhídrico y ácido bórico, usando un horno microondas. El análisis elemental fue realizado por espectrometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP-AES), determinándose Al, Mg, Si, Ti, Na, K, Fe, Pb, Cu, Zn, Cd, Ni, Cr, Mn y Co. Los elementos como Ca, Si, Al, Fe y Mg se encuentran en mayor cantidad (>20000 mg / Kg de suelo), luego Mn, Ti, K y Na se encuentran en menor cantidad (200-20000 mg / Kg de suelo). El contenido de Al, Ca, Fe y Mg es similar para todas las fracciones de tamaños de partículas, mientras que el Si se acumula mayormente en la fracción arena. El contenido de K, Na, Mn y Ti no refleja tendencia de acumulación en ninguna fracción. Los elementos traza Pb, Ni, Cr, Zn, Cd, Cu y Co se encuentran entre 0,1 y 700 mg / Kg acumulándose mayormente en la fracción arcilla. Se determinó la composición mineralógica mediante difracción de Rayos X, encontrándose los siguientes minerales, en mayor cantidad cuarzo, feldespatos, mica, piroxenos y en menor cantidad hematita, olivino, anfíboles, apatito, carbonatos y goetita. Finalmente, pudieron concluir que la composición del material parental tiene gran influencia en la composición de los sedimentos tanto en elementos mayoritarios como trazas. [30]

Bai y colaboradores (2011) estudiaron el contenido de metales pesados en 31 muestras de sedimentos lacustrinos. Dichos sedimentos fueron tamizados en húmedo, luego secados y pasados nuevamente por un tamiz de menor tamaño. La digestión de los sedimentos se realizó en envases de teflón, utilizando una mezcla de HClO_4 - HNO_3 - HF. Luego se realizó el análisis elemental mediante espectrometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP-AES), determinándose los siguientes elementos: As, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn. La concentración de As, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn se encuentra entre 10-100 ppm, por lo

que son considerados trazas mientras que la concentración de Cd se encuentra por debajo de 1 ppm por lo que se considera ultratrazas. [31]

Guerra y colaboradores (2011) determinaron la concentración de elementos traza en sedimentos provenientes de las Islas Pingüino y Decepción, ubicadas en el Continente Antártico, con la finalidad de establecer niveles de contaminación por estos metales en dicha zona. Para llevar a cabo el estudio se recolectaron muestras de sedimentos en diferentes puntos de cada isla. Las muestras fueron sometidas a un procedimiento de digestión ácida en horno microondas y posteriormente fue determinada la concentración de los elementos Cr, Cu, Mn, Ni, V y Zn, utilizando la técnica analítica de ICPOES. Ellos encontraron una alta concentración de Cu presente en los sedimentos, la cual puede deberse a la litología, formada principalmente por rocas volcánicas, como basaltos andesíticos. También concluyeron que la composición de la roca original tiene una gran importancia en la geoquímica de los sedimentos no contaminados. Estos resultados demostraron que la fuente principal de estos elementos es la litología, así como los procesos hidrotermales y el transporte de sedimentos más que la actividad antropogénica. [32]

Dantas y otros (2011). Realizaron estudios sobre el análisis elemental utilizando Espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo utilizando ablación láser (LA-ICP-MS). El propósito de dicho trabajo, era mejorar el procedimiento de calibración en el método para el análisis de rocas en general y particularmente para el análisis de basaltos y esquistos. Para llevar a cabo dicha calibración, se emplearon lentes de borato como objetivos y se emplearon diversos materiales geológicos de referencia. Se comparó la precisión de los métodos convencionales de nebulización de la muestra con el método LA-ICP-MS, encontrándose que los métodos convencionales como ICP-MS o ICP-OES tienen mayor precisión. Los análisis geoquímicos involucran generalmente un gran número de muestras, por lo que se requiere que los métodos de caracterización sean rápidos, simples y efectivos. El desarrollo de un método de

calibración más eficaz permite actualizar continuamente los factores de respuesta del LA-ICP-MS, logrando de esta manera que el tiempo invertido en calibración se reduzca, lo que hace más eficaz dicho método [33]

Rivas (2011) estudió la distribución y acumulación de carbono en diferentes tamaños de sedimentos provenientes del Glaciar Collins en la Isla Rey Jorge en el continente Antártico. Con este estudio se comprobó que la principal fuente de sedimentos de dicho Glaciar es la morrena lateral que se encuentra adyacente al mismo. Los sedimentos recolectados fueron tratados en el laboratorio y separados de acuerdo a su tamaño, encontrándose desde tamaño grava hasta tamaño arcilla. En la parte superior de la morrena se recolectaron muestras que fueron separadas en dos tamaños de arcilla adicionalmente. Para el análisis de carbono orgánico en dichos sedimentos fue utilizado el método de titulación Walkley- Black y para la determinación de carbono inorgánico se empleó el análisis termogravimétrico. Basándose en estos análisis pudo concluirse que la mayor cantidad de carbono tanto orgánico como inorgánico se encuentra en las fracciones tipo arcilla [10]

Malandrino y otros (2009) estudiaron el contenido de elementos mayoritarios y trazas en 9 muestras de suelos y sedimentos de lagos del continente Antártico. Las muestras fueron separadas de acuerdo a su granulometría en tamaños arena, arcilla y limo, cada una de las cuales se disolvió por digestión ácida en un horno microondas. Se realizó el análisis elemental empleando espectrometría de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP- AES) y espectrometría de absorción atómica con horno de grafito (GF-AAS) dependiendo del nivel de concentración del metal y determinaron los siguientes elementos: Al, As, Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, K, Mn, Na, Ni, P, Pb, Ti y Zn. Para Al, Ca, Fe, K y Na se encontró la mayor concentración (por encima de 10000 ppm), al igual que para Mg, sólo que este se encuentra en algunas fracciones por debajo de 10000 ppm. Entre los elementos minoritarios se encontró Ti, P y Mn, mientras

que los trazas determinados fueron As, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn y finalmente el Cd, cuya concentración fue menos a 1 ppm, por lo que se consideró ultratrazas [34]

Santos y colaboradores (2005) realizaron un estudio en sedimentos de la Bahía Admirante en la Isla Rey Jorge, con la finalidad de conocer los procesos tanto naturales como antropogénicos que determinan la química de estos sedimentos. Para llevar a cabo el estudio, recolectaron muestras de suelos y sedimentos de la zona, los cuales fueron sometidos a procedimientos de digestión ácida para determinar posteriormente la concentración de los siguientes elementos Al, B, Ba, Ca, Cr, Cu, Fe, Mg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Ti, V y Zn, mediante la técnica de ICPOES. Ellos encontraron una mayor acumulación de elementos como B, Mo, Pb, V, Zn, Ni. Cu, Mg y Mn, lo cual se encuentra asociado a la Base Científica ubicada en esa zona. Aún cuando existe un incremento en la concentración de estos elementos en dicha zona, lo que comprueba que existe cierto grado de contaminación, su nivel de concentración no representa un riesgo ambiental [35]

Lee y colaboradores (2004) estudiaron la composición de los suelos provenientes de la Península Barton, de la Isla Rey Jorge. Para ello, separaron dichas muestras de acuerdo al tamaño de grano y las analizaron mediante la técnica de Fluorescencia de Rayos X, al igual que mediante Espectrometría de Absorción Atómica con plasma inductivamente acoplado (ICP-AES) y Espectrometría de Masas con plasma inductivamente acoplado (ICP-MS) para la determinación de metales trazas y tierras raras. Con los resultados obtenidos, concluyeron que los suelos de la zona estudiada provienen de rocas volcánicas, además concluyeron que la meteorización química sobre los elementos presentes es insignificante, encontrándose que no hay evidencia de enriquecimiento de los elementos mayoritarios en comparación con la roca madre, por otra parte, encontraron que la influencia de las adiciones eólicas sobre estos sedimentos es muy importante, lo cual se evidencia por la presencia de una gran cantidad de tierras raras en la composición de los sedimentos[36]

Navas y colaboradores (2004) estudiaron la composición química de diferentes suelos en la Península Antártica. Para ello, recolectaron muestras de suelo que separaron de acuerdo al tamaño de grano para realizar los diferentes análisis. Entre los análisis realizados se encuentran, análisis granulométrico, pH, determinación de materia orgánica, así como la concentración de 17 elementos, entre los que se encuentran: Li, K, Na, Mg, Ca, Sr, Ba, Al, Cr, Cu, etc, mediante la técnica de ICPOES, igualmente realizaron estudios mineralógicos mediante DRX. De acuerdo a los análisis realizados, encontraron que la composición mineralógica de dichos suelos está altamente relacionada con la de la roca madre, lo que confirma a su vez, que la meteorización química es muy poco importante en esta zona. [37]

Objetivos

Objetivo General

Determinar la concentración de Na, Mg, Al, K, Ca, Rb y Sr en diferentes fracciones granulométricas de sedimentos provenientes del glaciar Collins, Isla Rey Jorge, continente Antártico.

Objetivos Específicos

- Determinar la composición mineralógica de los sedimentos por medio de Difracción de rayos X.
- Establecer la relación entre la concentración de dichos metales en las diferentes fracciones y en las diferentes estaciones de muestreo.

Materiales y métodos

Descripción de la zona de estudio

Geología Local.

El área de estudio se encuentra ubicada en la península Fildes, Isla Rey Jorge, continente Antártico, esta presenta afloramientos con restos fósiles de gran variedad de organismos, como icnitas de vertebrados e invertebrados, abundante flora, troncos y granos de polen.

El grupo península Fildes se define como una unidad estratigráfica constituida en su unidad basal por afloramientos asignados al Cretáceo Superior, con sedimentos volcanoclásticos en intercalaciones finas, entre rocas andesíticas y con limolitas, conglomerados tufáceos, areniscas y arcillolitas suprayacentes, asignadas al Eoceno Inferior-Medio. La secuencia demuestra relictos asociados a vegetación predominantemente boscosa, de climas cálidos a templados.

En la península Fildes, al menos tres lugares exhiben rocas continentales volcanosedimentarias del Cretáceo Superior (punta Halfthree, caleta Skúa y caleta Gradzinski).

La caleta Gradzinski (o bahía Cormoranes, 62°09'12" S; 58°56'16"O), que se encuentra al oeste del margen sudoeste del glaciar Collins, consta de pequeños afloramientos formados por rocas sedimentarias tufáceas, principalmente arcillolitas, lutitas y areniscas.

Hay dos zonas extensas con importantes depósitos fosilíferos: el cerro Fósil (62°12'12"S; 58°59'03"O) y el glaciar Bellingshausen (glaciar Collins) (62°10'11"S; 58°55'18"O).

Ambos representan secuencias estratigráficas correlacionables, donde la secuencia media del glaciar Bellingshausen (glaciar Collins) correspondería a la porción central de la secuencia de cerro Fósil, lo que se ha denominado Formación Cerro Fósil. Dicha formación consiste en una alternancia de brecha volcánica, lavas tufitas, areniscas tufáceas y lentes carbonosos.

La flora del glaciar Dome Bellingshausen (glaciar Collins), consiste en abundantes restos silicificados de troncos que van quedando liberados en el frente de retroceso del glaciar Dome Bellingshausen (glaciar Collins), que confina a la península Fildes por el norte. [38]

La isla Rey Jorge posee aproximadamente un 8% de superficie libre de hielo. En esa área, el sustrato proviene principalmente de rocas volcánicas (basaltos andesíticos y piroxenos). [3]

Por otra parte, afirman que la composición de las rocas presentes en la península Fildes son basálticas y volcanoclásticas. [39]

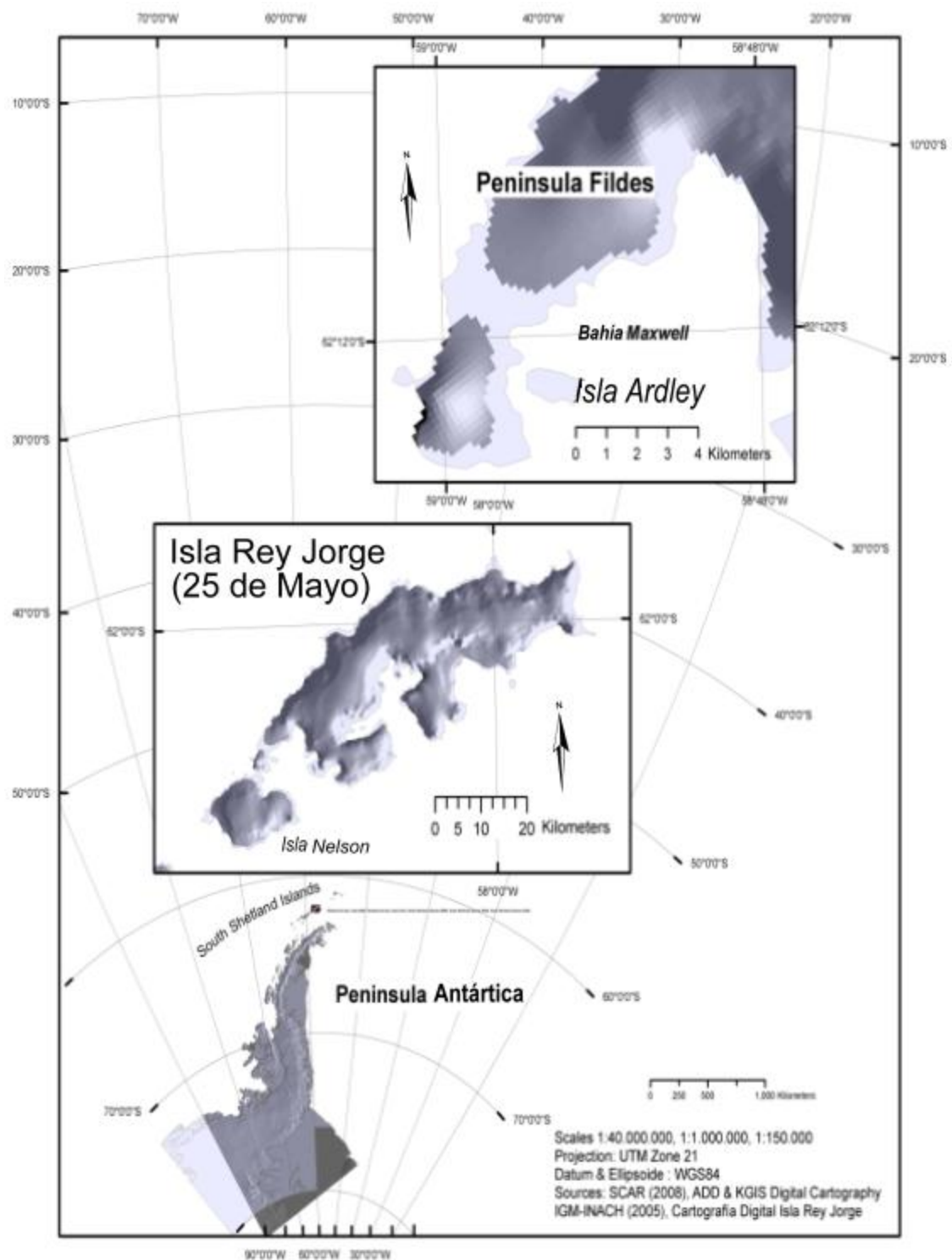


Figura 7. Mapa de la zona de estudio en el cual se presenta una vista de la Isla Rey Jorge.

A continuación, en la tabla 2 se presenta la composición promedio de una roca andesita. [40]

Tabla 2. Composición promedio de una andesita. [40]

	Concentración (mg*Kg ⁻¹)
Si	271506
Ti	4794
Al	94416
Fe	53614
Mg	19538
Ca	49528
Na	23814
K	13365
P	916

Parte Experimental.

Etapa de campo.

Muestreo.

Las muestras de este trabajo fueron recolectadas en febrero de 2009, por el Profesor Alonso David Ojeda Falcón, del Laboratorio de Estudios Ambientales del Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET) de la Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, durante la II Expedición Científica Venezolana al Continente Antártico.

Las muestras colectadas consisten en sedimentos superficiales provenientes de 3 pendientes de alteración y de la línea de costa de un lago periglacial adyacente al glaciar Collins.

Durante el muestreo se recolectaron un total de 12 muestras distribuidas en 4 estaciones las cuales se muestran en la figura 8.

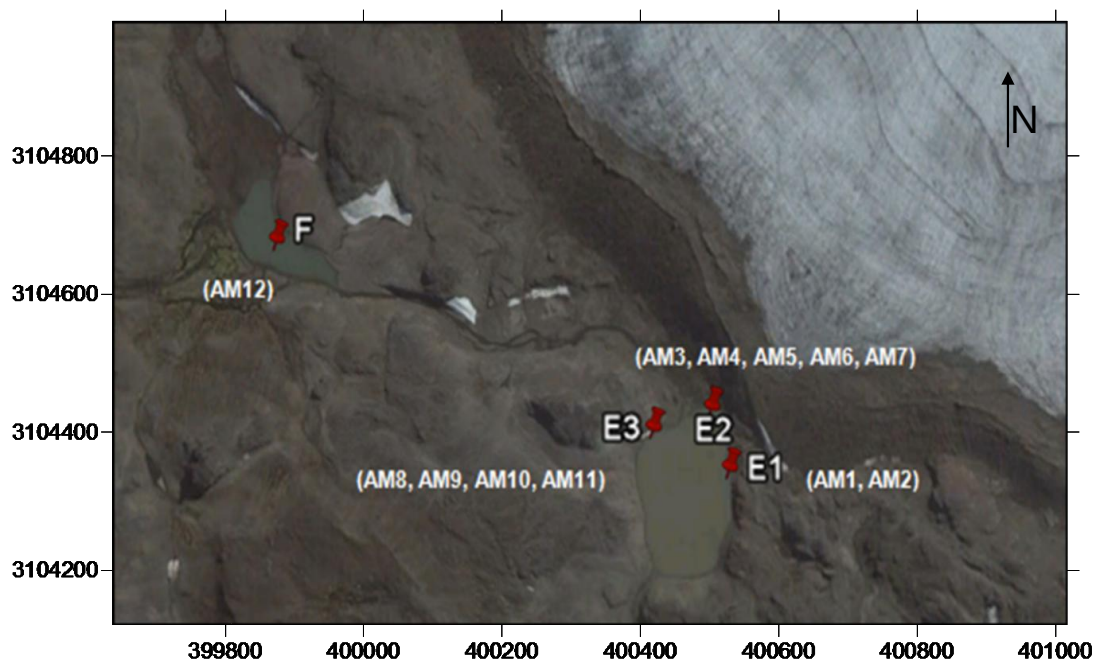


Figura 8. Imagen google earth de la zona de muestreo en la cual pueden observarse los puntos y estaciones de recolección de muestras.

En la estación 1 fueron recolectadas las muestras AM1 y AM2; en la estación 2, las muestras AM3, AM4, AM5, AM6 y AM7; en la estación 3, las muestras AM8, AM9 AM10 y AM11. En el punto F, fue recolectada la muestra AM12 (Figuras 9 y 10).



Figura 9. Fotografía del Lago Periglacial afluyente Norte, en la cual es posible observar las estaciones de muestreo 1,2 y 3, así como la morfología predominante en la zona y las características del material presente.

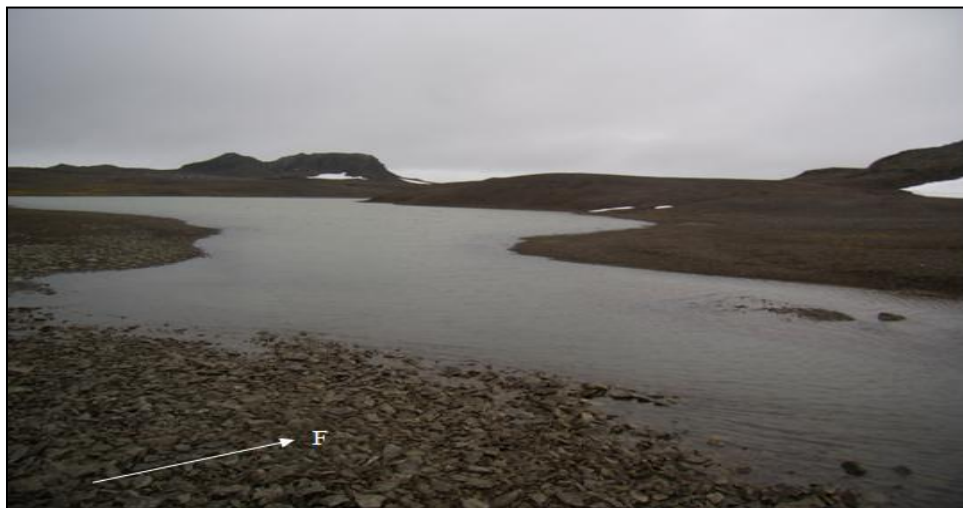


Figura 10. Fotografía del Lago al norte del Lago Periglacial, en la cual puede observarse el punto de muestreo F, así como la morfología predominante en la zona y las características del material.

Etapas de laboratorio.

Preparación de las muestras de sedimentos.

La separación de las muestras de acuerdo al tamaño de partículas fue realizado en húmedo utilizando tamices de 10, 18, 35, 60, 120, 230 y 325 mallas de acero inoxidable, como los mostrados en la figura 11.



Figura 11. Tamices empleados para la separación granulométrica de las muestras de sedimentos.

Para la separación de limos y arcillas fueron utilizadas columnas de decantación como las mostradas en la figura 12, para ello, la fracción que pasó por el tamiz de 325 mallas fue colocada en la columna y se dejó reposar por aproximadamente 2 horas, luego la fracción más densa, correspondiente al limo fue extraída y la capa sobrante fue dejada en reposo por 12 horas y se obtuvo la fracción arcilla.

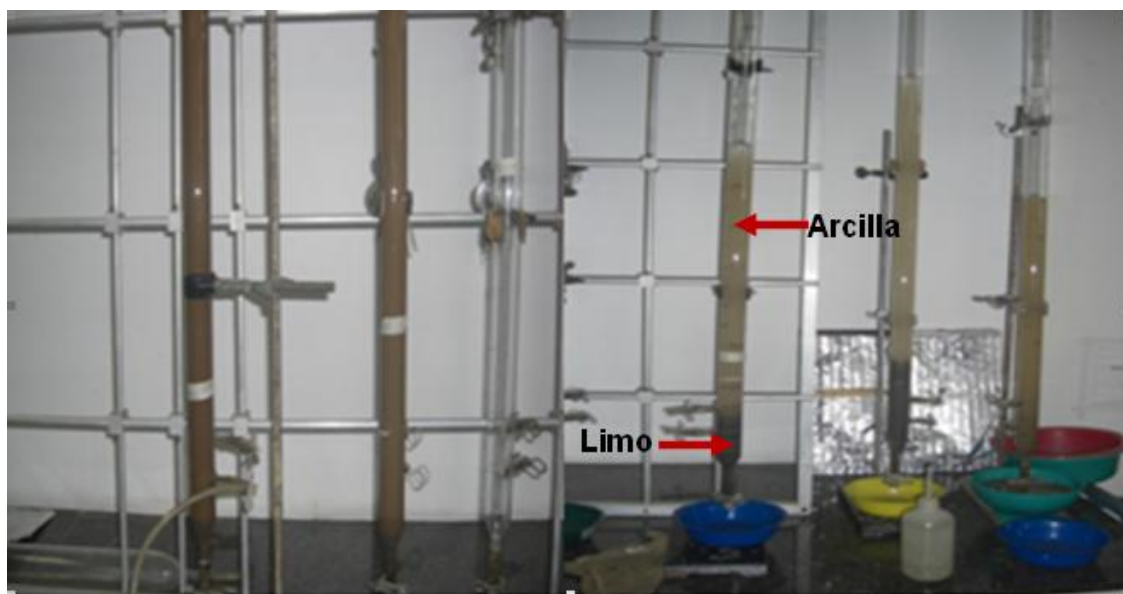


Figura 12. Columnas de decantación para la separación de limos y arcillas.

Una vez que se obtuvieron las muestras separadas de acuerdo al tamaño, fue realizado el cuarteado y el homogeneizado de las mismas.

En la figura 13 se muestra un esquema del procedimiento de preparación de muestras realizado.

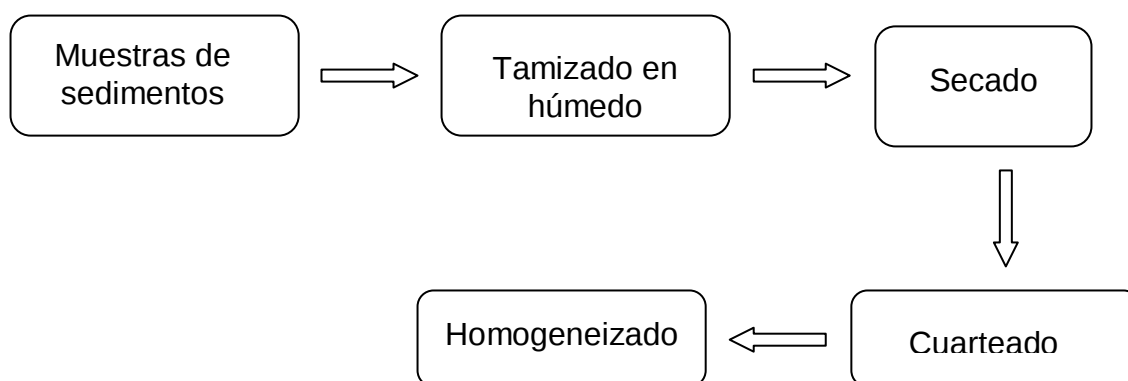


Figura 13. Esquema del procedimiento de preparación de muestras.

Análisis Elemental.

Para la determinación de los elementos presentes en muestras de suelos y sedimentos es necesario que dicha muestra se encuentre en estado líquido, para lo cual el método más conveniente de disolución es la **digestión ácida**, la cual involucra el uso de ácidos minerales y se lleva a cabo en recipientes de teflón ya que dicho material no ofrece contaminación. Los ácidos más utilizados son el HCl, para disolver sales inorgánicas y algunos óxidos, el agua regia (HNO_3 - HCl) para la descomposición de metales, el HNO_3 para la oxidación de la materia orgánica y el HF para la descomposición de silicatos. [41]

Los procedimientos convencionales de digestión, en los que se utilizan fuentes de calor como baños de arena o bloques de aluminio y ácidos o mezclas de ácidos para la extracción del material se consideran sistemas abiertos. Los procedimientos de digestión ácida con microondas y bombas de presión se consideran sistemas cerrados, que involucran altas temperaturas y presiones ya que se llevan a cabo en recipientes cerrados. Los parámetros críticos en estos procedimientos son: La temperatura de digestión, el tiempo de digestión y el poder químico del reactivo empleado. [22]

Para la disolución de las muestras analizadas en este trabajo se pesó aproximadamente 2,5 g de cada una, en una balanza analítica. Las muestras se colocaron en envases de teflón como los mostrados en la Figura 14.



Figura 14. Envases de teflón utilizados para la digestión de las muestras.

En cada recipiente fue colocada la muestra y se le añadió 5,0 mL de $\text{HCl}_{(c)}$ (marca Riedel- de- Haën) y 35,0 mL de HF (Marca Aldrich Chemical Company, Inc., pureza 48%). El $\text{HCl}_{(c)}$ se añadió y se dejó reaccionar por unos minutos, posteriormente se añadió el HF. Una vez que fueron añadidos ambos ácidos, los envases se colocaron tapados en baño de arena sobre una plancha de calentamiento durante 4 horas, con agitación frecuente. Luego de transcurridas las 4 horas, se destaparon los envases y se mantuvieron en calentamiento hasta que el sólido se secó totalmente. Una vez que el sólido se secó totalmente se añadieron 4,0 mL de $\text{HCl}_{(c)}$ y el líquido obtenido fue filtrado con embudos de tallo largo, utilizando papel de filtro (Marca Advantec, 125mm). La solución resultante fue aforada a 50 mL utilizando agua desionizada y se preservó en envases plásticos. El sólido resultante se dejó secar y posteriormente fue pesado en una balanza analítica, luego de pesarlos se preservaron en bolsas plásticas.

El procedimiento realizado para el análisis elemental se muestras en la Figura 15.

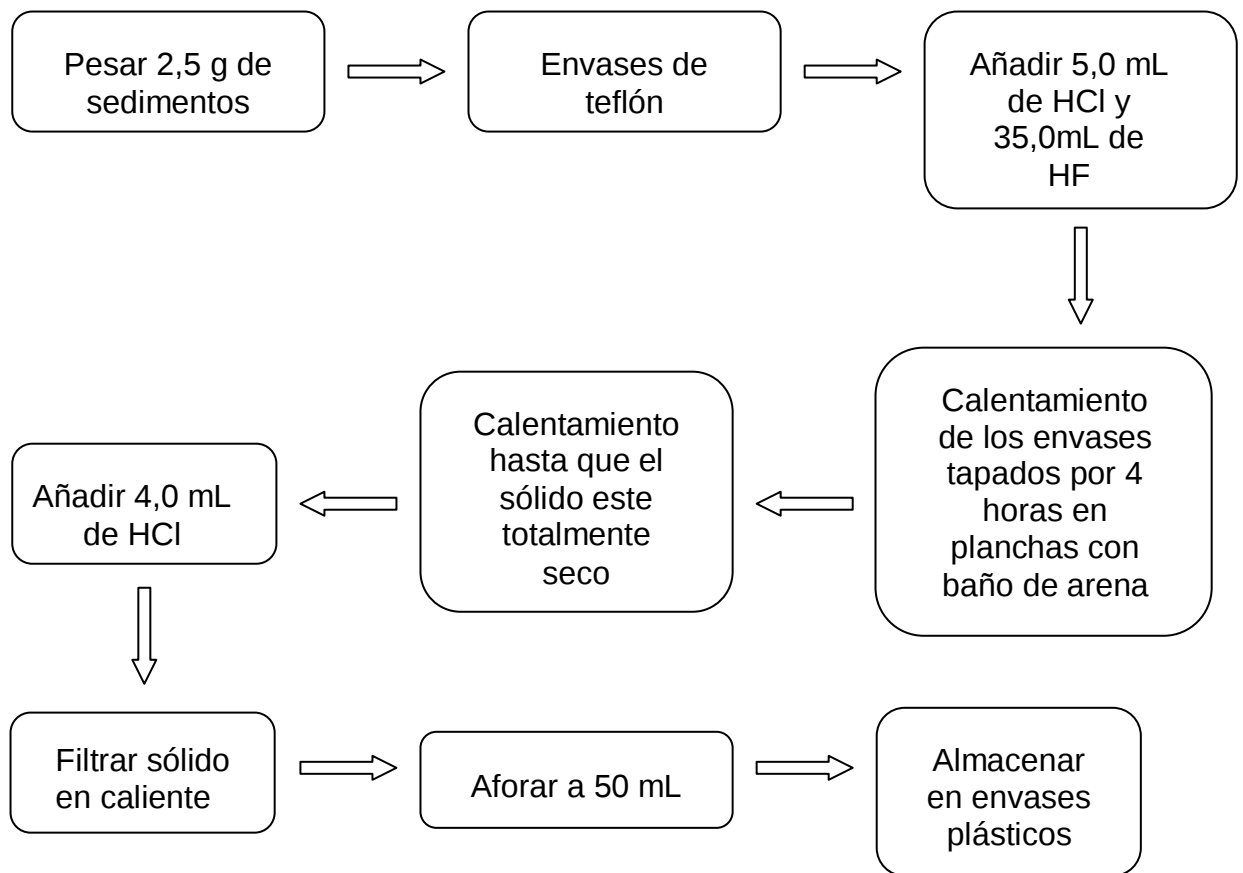


Figura 15. Esquema del procedimiento realizado para la disolución de las muestras de sedimentos.

Determinación de la composición mineralógica.

La determinación de la composición mineralógica de las muestras fue realizada mediante la técnica de Difracción de Rayos X, dicho análisis se llevó a cabo en el Laboratorio de Geofísica y Geoquímica de la Facultad de Ingeniería, UCV, por el Prof. David Mendi.

Para dicho análisis cada muestra sólida fue pulverizada y colocada en un portamuestras como el mostrado en la Figura 16.



Figura 16. Portamuestras utilizados en difracción de rayos X.

Posteriormente, las muestras fueron llevadas al equipo (PW-3830 X-ray generator, Figura 17) en el cual fueron analizadas.

Figura 16. Portamuestras utilizados en difracción de rayos X.



Figura 17. Equipo de difracción de rayos X utilizado para el análisis de los sedimentos Marca PW-3830.

Determinación de la concentración de cada elemento.

La determinación de la concentración de los componentes de cada muestra se realizó mediante tres técnicas analíticas:

- Espectrometría de absorción atómica con llama (AAE).
- Espectrometría de emisión atómica con llama (EAE).
- Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICPOES).

Para realizar estos análisis fue necesario preparar soluciones patrón para la calibración de los instrumentos.

Los patrones realizados fueron multielementales y se procedió a la calibración de cada instrumento.

- **Espectrometría de absorción atómica con llama (AAE).**

Los elementos determinados por ésta técnica fueron los siguientes: Al, Ca y Mg empleando un equipo Perkin Elmer, modelo AAnalyst 200, (Figura 18) y utilizando lámparas específicas para cada elemento.



Figura 18. Equipo de absorción y emisión atómica utilizado para la determinación de la concentración de Al, Ca, Mg, Na y K.

En la Figura 19, se presenta un esquema del procedimiento de análisis de estos elementos, en el cual se muestra que para el caso del aluminio, se realizó una dilución de 10 veces, mientras que para el magnesio y el calcio se realizaron diluciones de 50 veces.

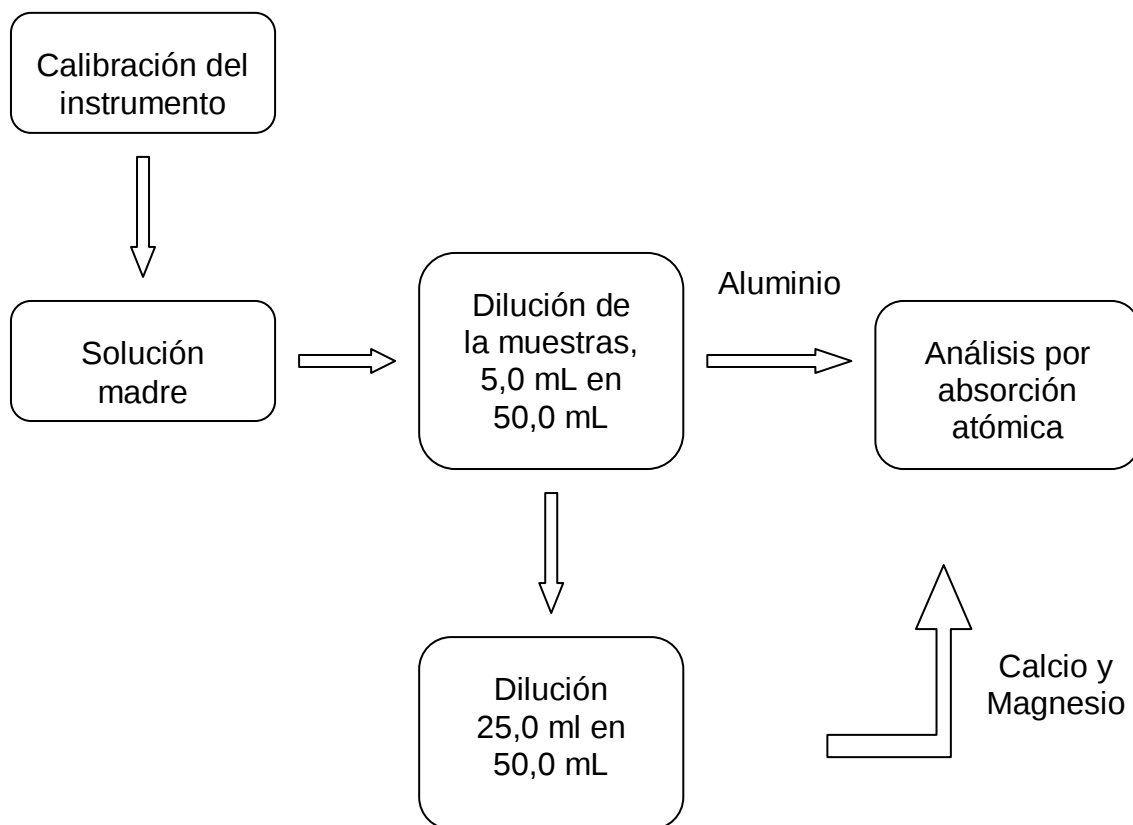


Figura 19. Esquema del procedimiento de análisis para aluminio, calcio y magnesio, en el cual se presentan las diferentes diluciones realizadas para cada elemento.

Espectrometría de emisión atómica con llama (EAE).

Por otra parte, la determinación de Na y K fue llevada a cabo mediante Espectrometría de Emisión Atómica con Llama (EAE), utilizando el mismo equipo que en el caso de los elementos mencionados anteriormente.

En la Figura 20 se muestra un esquema del procedimiento llevado a cabo para la determinación de Na y K por emisión atómica, en el cual se indica la dilución realizada para ambos elementos.

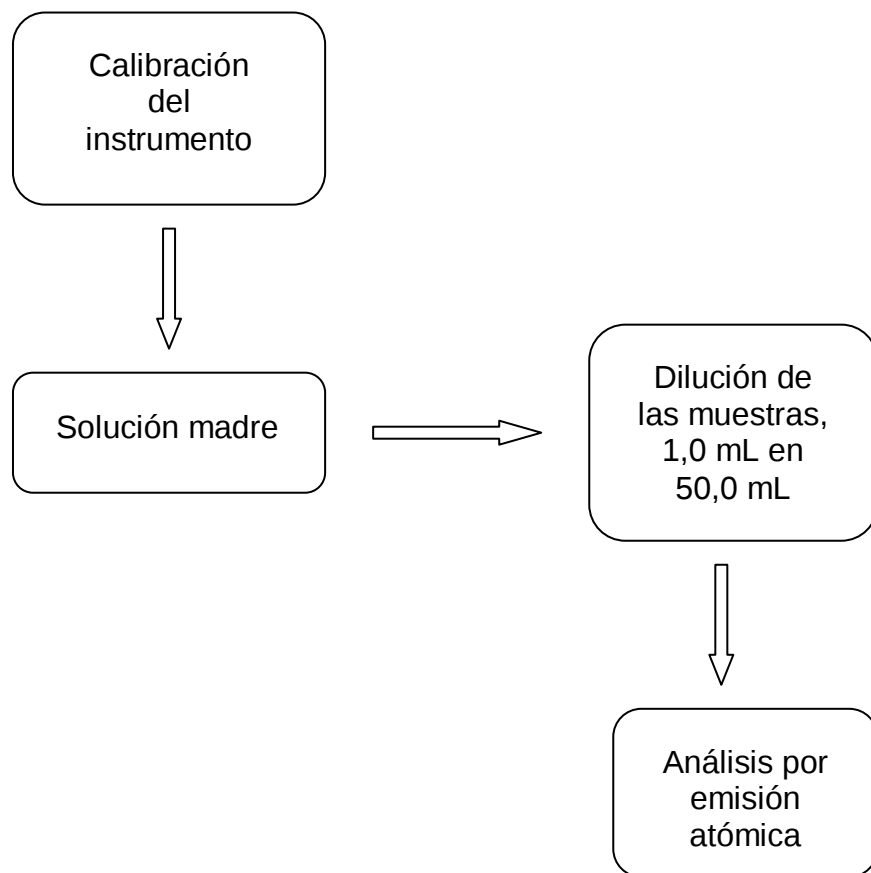


Figura 20. Esquema del procedimiento de análisis para Sodio y Potasio.

Espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado (ICPOES).

Mediante esta técnica fue determinada la concentración de estroncio. Para ello se utilizó un equipo Ultima2 Horiba Jobin Yvon (Figura 21).



Figura 21. Equipo ICPOES utilizado para la determinación de la concentración de estroncio.

La determinación de la concentración de estroncio en las muestras se realizó con la solución original y el procedimiento se muestra en el esquema de la Figura 22.

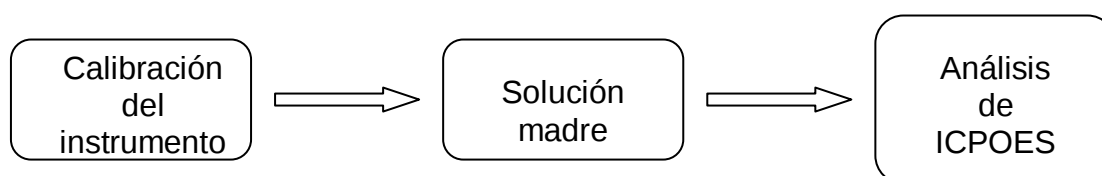


Figura 22. Esquema del procedimiento de análisis de estroncio.

Resultados y discusión

En la siguiente sección se presentarán los resultados obtenidos en este trabajo así como una discusión acerca de los mismos. En primer lugar, los aspectos relacionados con la composición mineralógica de los sedimentos y posteriormente, los aspectos relacionados con la composición química de los mismos.

- **Composición mineralógica de los sedimentos**

De acuerdo con la literatura consultada, la litología de la zona estudiada corresponde principalmente con rocas **andesíticas**. En estas rocas se encuentran principalmente los minerales presentados en la Tabla 3.

Tabla 3. Composición mineralógica de las andesitas.

Mineral	Fórmula
Plagioclasas	$(\text{Na}, \text{Ca}) (\text{Si}, \text{Al})_3 \text{O}_8$
Piroxenos	$(\text{Ca}, \text{Mg}, \text{Fe}) \text{SiO}_3$
Anfiboles	$(\text{Ca}, \text{Na}, \text{K})_{0-1} (\text{Ca}, \text{Fe}^{+2}, \text{Li}, \text{Mg}, \text{Na})_2 (\text{Al}, \text{Fe}^{+2}, \text{Fe}^{+3})_5 (\text{Al}, \text{Ti}, \text{Si})_8 \text{O}_{22} (\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$
Cuarzo	SiO_2

Fue realizado el análisis de difracción de rayos X, con la finalidad de conocer la composición mineralógica de los sedimentos y de esta manera determinar si estos provienen en efecto de rocas ígneas volcánicas. Los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 4, en la cual se presentan los minerales encontrados así como su distribución en las diferentes muestras.

Tabla 4. Composición mineralógica de las muestras de sedimentos analizadas.

Mineral	AM5-F1(a)	AM5-F9	AM7-F1(a)	AM7-F2	AM7-F6	AM12-F2	AM12-F6
Albita	+	+	+	+	+	+	+
Andesina	+	-	-	-	-	-	+
Anortoclasa	-	+	-	-	-	-	-
Anortita	-	-	-	-	+	-	-
Barretita	-	-	+	-	-	-	-
Clinoptilolita	-	-	+	-	-	-	-
Cuarzo	-	-	-	-	-	-	+
Ferrosilita	-	-	-	+	-	-	-
Heulandita	-	-	+	-	-	+	-
Montmorilonita	+	+	+	+	+	+	+

En la Figura 23 se presenta el difractograma correspondiente a la muestra AM5-F1(a), en el cual se encontraron los minerales: albita, montmorilonita y andesina.

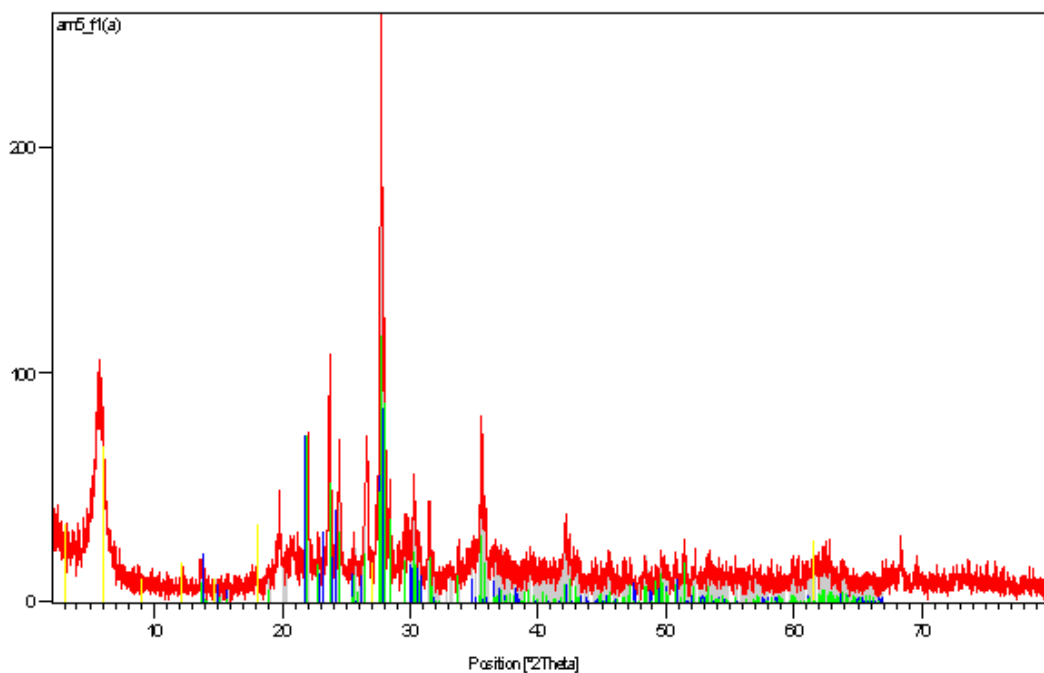


Figura 23. Difractograma de la muestra AM5-F1(a), donde las líneas amarillas representan la montmorilonita, las azules la albita y las verdes la andesina.

Entre los minerales presentes en dichos sedimentos se encontró la arcilla montmorillonita; esta arcilla es característica de procesos de meteorización química bajos, es decir, donde la meteorización química actúa muy poco.

Del análisis mineralógico puede concluirse que el grado de meteorización química en la zona de estudio es medio, lo cual se demuestra por la presencia de la **montmorillonita** en todos los sedimentos analizados. La montmorillonita es una arcilla que se forma principalmente en zonas donde predominan las bajas temperaturas y la pluviosidad es escasa, como ocurre en la zona de origen de dichos sedimentos.

Se encontró también que la composición mineralógica de los sedimentos analizados es la misma para los diferentes tamaños de granos, es decir, que las fracciones de mayor tamaño y las de menor tamaño tienen la misma composición, lo que demuestra que la meteorización física predomina en estos ambientes en relación a la meteorización química, ya que, al encontrarse la misma composición mineralógica para todos los tamaños de granos se puede comprobar que dichos sedimentos no han sido afectados en gran medida por acción química y que su alteración sólo ha sido de origen físico, al disminuir su tamaño producto de agentes físicos.

Por otra parte, la meteorización física es muy importante en esta zona, lo cual se comprueba con los resultados de concentración obtenidos para los elementos estudiados, ya que se encontró poca variación de dichos elementos tanto en las fracciones de mayor tamaño como en las de menor tamaño, lo que indica que la composición de estos sedimentos se mantiene constante y no es alterada a medida que el material es disgregado. Entonces, al encontrar la misma composición en los diferentes tamaños de grano, es posible asegurar que la meteorización física es la que afecta principalmente a estos sedimentos, disgregándolos o fragmentándolos sin alterar su composición.

De los resultados obtenidos de composición mineralógica se puede afirmar que los sedimentos analizados provienen principalmente de rocas **andesíticas**, ya que el mineral andesina se encuentra presente en varias de las muestras analizadas. Pero por otra parte, se encontró que en las fracciones de mayor tamaño, este mineral no

está presente, lo que podría deberse a que los sedimentos no sólo provienen de este tipo de rocas, sino que existen otras rocas de origen.

También era necesario establecer en este trabajo, la existencia de alguna diferencia en la composición mineralógica de los sedimentos provenientes del punto de muestreo F y los sedimentos provenientes del lago adyacente a este, donde fueron recolectadas las demás muestras. Con los análisis de difracción de rayos x, pudo comprobarse que la composición mineralógica de los sedimentos de ambas lagunas es la misma, es decir, hay muy poca diferencia en la composición de estos, encontrándose los minerales primarios y que conforman principalmente estos sedimentos en ambas lagunas. Lo descrito anteriormente puede observarse en las Figuras 24 y 25, en las cuales se presentan los difractogramas correspondientes a los puntos AM5-F1(a) y AM12-F6 respectivamente y en los cuales se encontraron minerales como andesina, albita, montmorilonita y cuarzo.

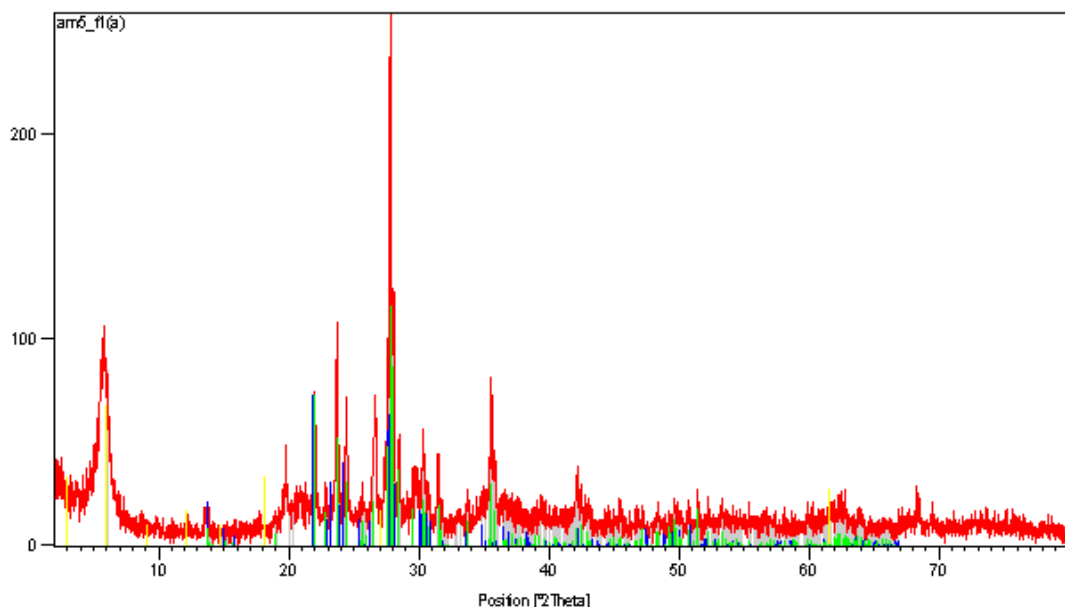


Figura 24. Difractograma correspondiente a la muestra AM5-F1(a), en la cual se encontraron minerales como montmorilonita, albita y andesina.

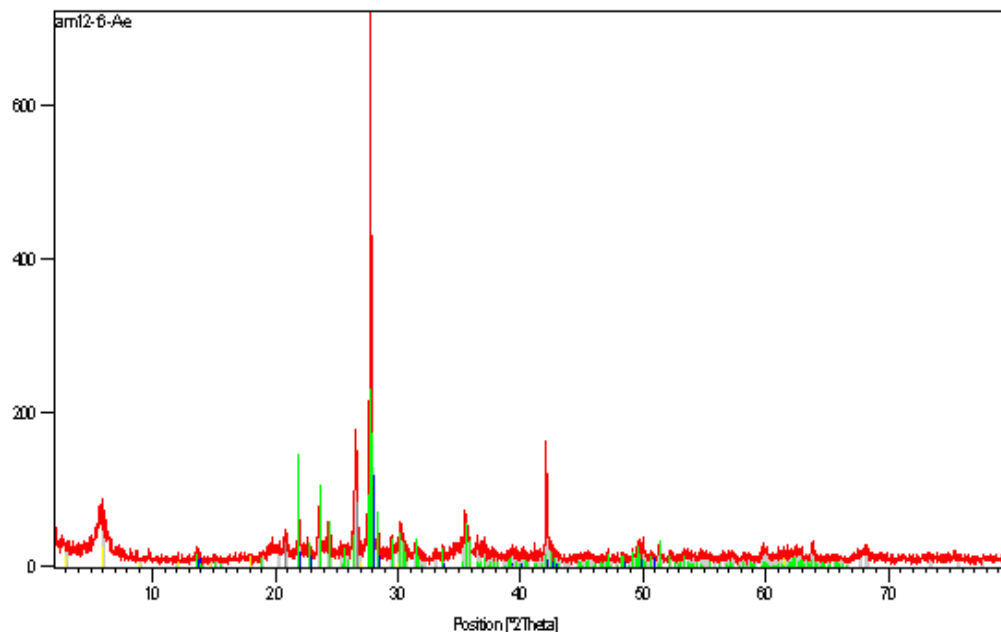


Figura 25. Difractograma correspondiente a la muestra AM12-F6, en la cual se encontraron minerales como montmorilonita, albita, andesina y cuarzo.

- **Composición química de los sedimentos**

Entre los objetivos de este trabajo se encontraba determinar la composición química de los sedimentos, para lo cual, se determinó la concentración de Al, Ca, K, Mg, Na, Rb y Sr, mediante las técnicas de espectrometría de absorción y emisión atómica y espectrometría de emisión óptica con plasma inductivamente acoplado.

En primer lugar, fue necesario determinar la cantidad de muestra que debía emplearse en los procesos de digestión. Para evaluar el comportamiento de los diferentes elementos en las muestras, se realizó el procedimiento de digestión descrito anteriormente, para la muestra AM12-F4, utilizando diferentes pesos de la misma y los resultados obtenidos se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Peso de muestra utilizada para el procedimiento de digestión y cantidad de muestra disuelta.

Muestra	Peso muestra (g)	Peso disuelto (g)
A	2,5069	1,6473
B	5,0194	3,2651
C	7,5043	4,0256
D	10,0265	7,0240
E	1,0255	0,1283

En el caso del aluminio, la concentración de este en función del peso de muestra disuelta se representa en la Figura 26, en la cual puede observarse como a medida que aumenta la cantidad de muestra disuelta, disminuye la concentración del elemento.

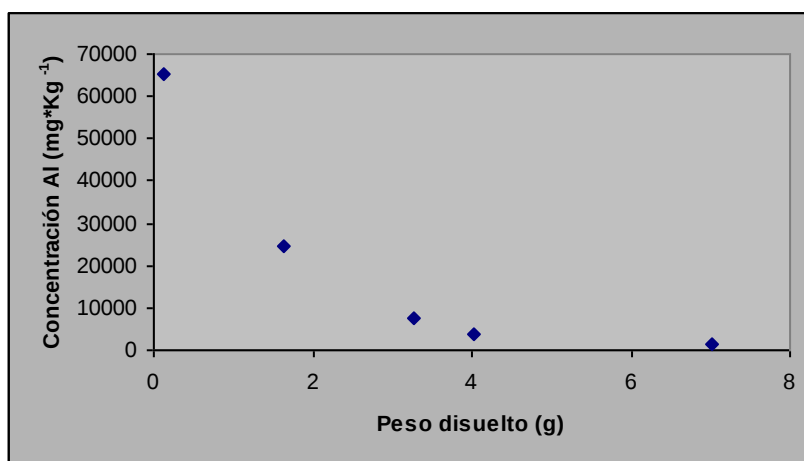


Figura 26. Variación de la concentración de aluminio en función del peso de muestra disuelto.

Este comportamiento no es el esperado, ya que si la disolución de la muestra fue completa para los diferentes pesos, la concentración de aluminio debería mantenerse constante. En el caso contrario, en el cual, la disolución de la muestra no fue completa, debería encontrarse menor concentración de aluminio, a medida que aumenta la cantidad de residuo. El comportamiento observado, puede deberse

a que, a medida que una mayor cantidad de muestra fue disuelta, mayor cantidad de aluminio se encontraba inicialmente en solución, no obstante, según el método de digestión empleado, el aluminio se encontraba en un medio con exceso de HF y por lo tanto, los iones F^- que se encontraban libres en solución precipitaron con los iones Al^{3+} .

Esta hipótesis fue parcialmente comprobada mediante los análisis de difracción de rayos X, ya que en los sólidos obtenidos después del tratamiento químico se encontraron sales inorgánicas, como fluoruros de calcio y aluminio ($Ca Al F_5$), como puede observarse en la Figura 27, en la cual se presenta el difractograma del sólido obtenido luego del proceso de digestión para la muestra AM12-F6, en el cual se encontraron dos especies que contienen los elementos Na, K, Al y Ca, las cuales son ralstonita ($Na Mg Al (F, OH)_6 \cdot XH_2O$) y fluoruro de calcio y aluminio ($Ca Al F_5$).

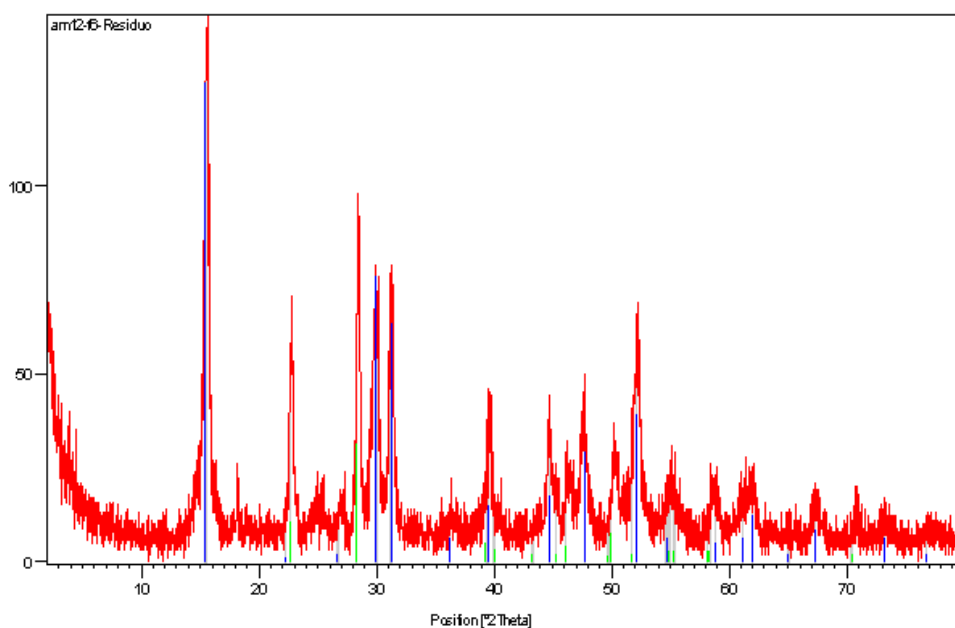


Figura 27. Difractograma del residuo de la muestra AM12-F6, en el cual las líneas azules corresponden a la especie ralstonita y las líneas verdes al fluoruro de calcio y aluminio.

De los análisis de difracción de rayos x puede concluirse que siguiendo el método de digestión mencionado en la metodología experimental, los sedimentos fueron disueltos totalmente, es decir, todos los elementos que conformaban los minerales pasaron a solución, pero debido al exceso de ácido fluorhídrico y clorhídrico utilizado se produjo la precipitación de productos inorgánicos.

En la Figura 28 se representa la concentración de aluminio de acuerdo al peso de muestra disuelto, en este caso para todas las muestras analizadas, encontrándose el mismo comportamiento mostrado en la Figura 26, en las mayores cantidades de residuos se encontró presente la mayor concentración de aluminio.

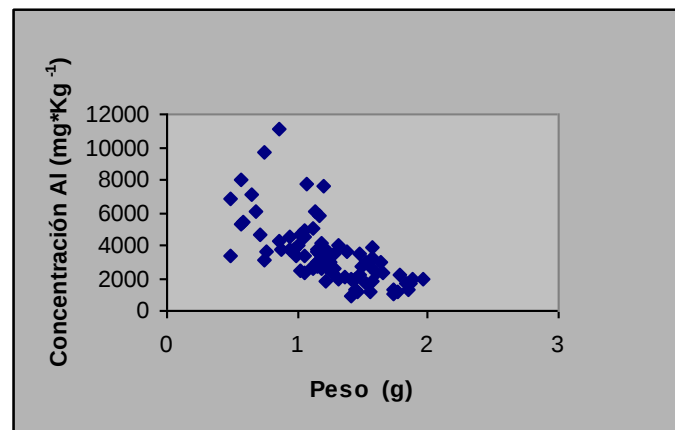


Figura 28. Concentración de aluminio de acuerdo al peso de muestra disuelto para todas las muestras analizadas.

En la tabla 6, se presentan los valores más altos de porcentaje de cada uno de los elementos analizados en este trabajo así como los valores reportados en la literatura.

Tabla 6. Valores de concentración reportados para los elementos analizados en este trabajo y por otros autores.

	1	2	3	4	5	6
Al	-	-	66559	41792	31600	70184
Ca	-	-	19926	29172	5800	8071
Mg	-	-	15240	6496	1400	2487
Fe	-	-	39540	48196	65000	-
K	-	-	30457	5078,5	-	21988
Na	-	-	24371	21081	-	10116
Sr				189	63	510
Ti	-	-	4749	-	5800	-
Mn	-	819	830	928	624	-
Cr	86,73	15	24	5,4	31	-
Cu	31,4	27	14	4	92	-
Ni	35,99	2	12	2,3	10,1	-
Pb	53,19	-	27	412,5	10,5	-

1. Bai y col (2011).
2. Guerra y col (2011).
3. Malandrino y col (2009).
4. Navas y col (2008).
5. Santos y col (2005).
6. En este trabajo.

Tomando en cuenta esta información, se tiene que la concentración de, Ca, K, Mg y Na se encuentra por debajo de los valores promedio reportados. Esto debido a que el procedimiento de disolución no fue del todo adecuado, ya que, si bien las muestras fueron totalmente disueltas (lo cual se demostró con los análisis de difracción de rayos X realizados a los residuos estudiados), se produjo una precipitación posterior de estos elementos lo que se reflejó en una disminución de la concentración de estos en solución.

En el caso del rubidio, la concentración de este elemento no pudo ser determinada mediante las técnicas analíticas empleadas, ya que de encontrarse presente en las

muestras, su concentración se encuentra por debajo del límite de detección de las mismas.

Para estudiar la distribución de aluminio en las diferentes fracciones en las que fueron separadas las muestras, se realizaron gráficos de concentración de aluminio en función de la fracción, para un mismo punto de muestreo, como se observa en la Figura 29.

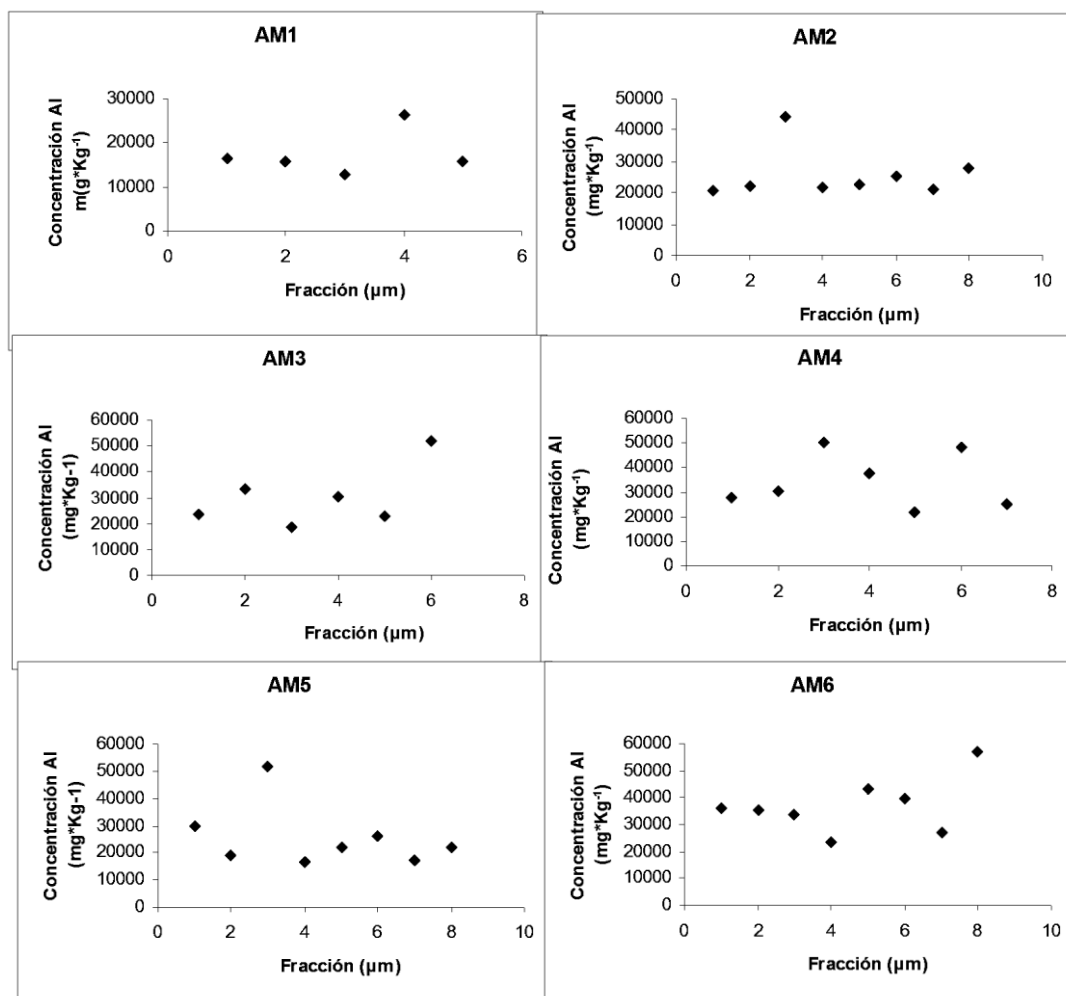


Figura 29. Concentración de aluminio ($\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$) de acuerdo al tamaño del sedimento, para los puntos de muestreo AM1-AM6.

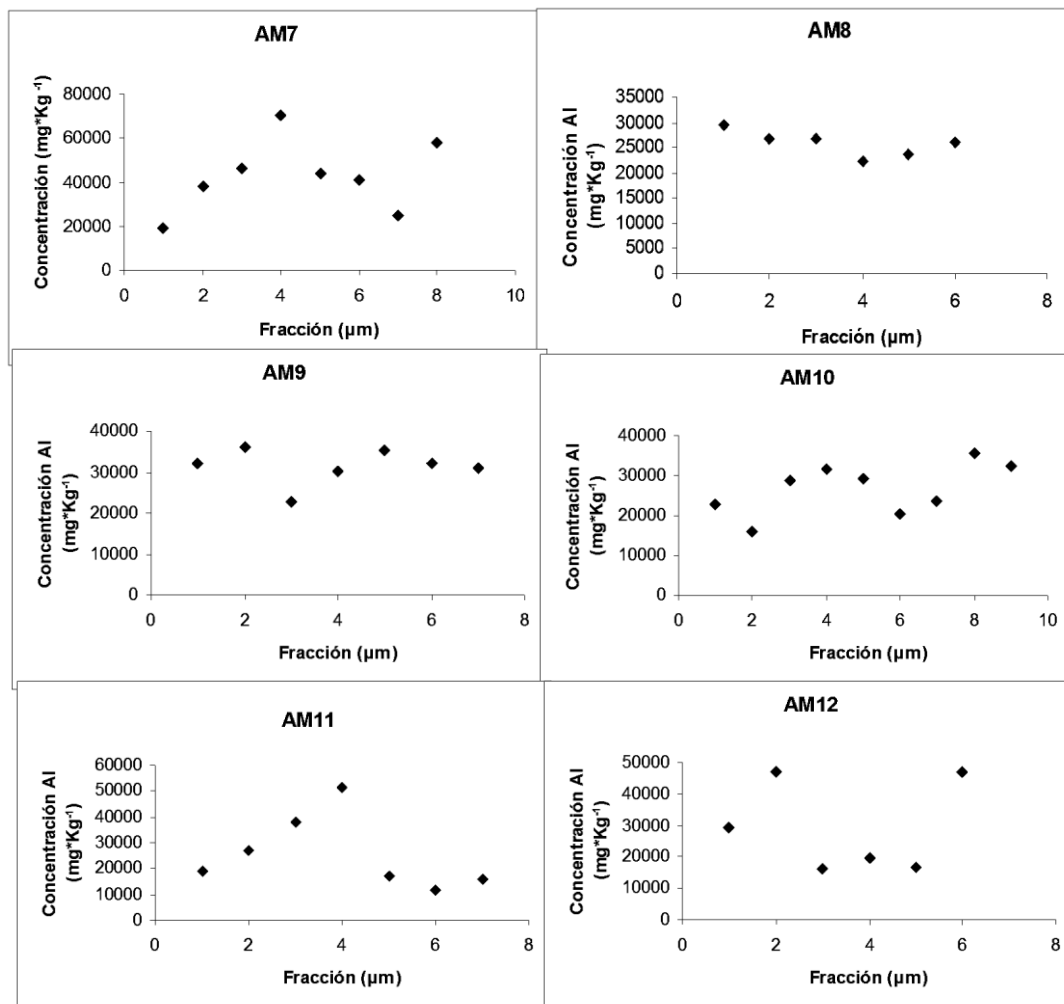


Figura 30. Concentración de aluminio (mg*Kg⁻¹) de acuerdo al tamaño del sedimento, para los puntos de muestreo AM7-AM12.

En las figuras 29 y 30 puede observarse que la mayor acumulación de aluminio se encuentra en las fracciones F3 y F7 (limo y arena gruesa respectivamente), presentando valores hasta 70000 mg/Kg, mientras que para las demás fracciones, la concentración de aluminio está comprendida entre 15000 y 40000 mg/Kg, encontrándose esta tendencia de manera constante.

En general, la tendencia de acumulación en las fracciones limo y arena gruesa se mantiene para todos los elementos.

Por otra parte es muy importante destacar en este trabajo, la relación que existe entre la composición de los sedimentos tomados en las estaciones E1, E2, E3 y el punto F, ya que esto permite establecer la influencia del glaciar sobre estos sedimentos.

La relación de las concentraciones de cada elemento se obtuvo dividiendo la concentración promedio de cada estación (E1, E2 y E3), entre la concentración obtenida en el punto F.

En el caso del aluminio, sodio y potasio, la relación obtenida de las concentraciones presenta valores bastante cercanos a 1, como se muestra en la Tabla 7 lo que significa que las concentraciones de estos elementos en ambos lagos son bastante similares.

Tabla 7. Relación entre las concentraciones de aluminio, sodio y potasio de los diferentes puntos de muestreo.

	Estaciones	Relación
Aluminio	E1-F	0,85
	E2-F	0,93
	E3-F	1,30
Sodio	E1-F	0,66
	E2-F	0,70
	E3-F	0,59
Potasio	E1-F	0,75
	E2-F	0,69
	E3-F	0,89

Por otra parte, en el caso de calcio, magnesio y estroncio, se encontró que las relaciones entre las concentraciones presentan mayor variación en algunos casos, pero en general, tienden a 1.

Tabla 8. Relación entre las concentraciones de magnesio, calcio y estroncio de los diferentes puntos de muestreo.

	Estaciones	Relación
Magnesio	E1-F	2,52
	E2-F	1,04
	E3-F	0,74
Calcio	E1-F	0,30
	E2-F	0,80
	E3-F	0,59
Estroncio	E1-F	0,44
	E2-F	0,49
	E3-F	0,58

Con los resultados obtenidos del proceso de digestión no es posible asegurar las concentraciones y relaciones existentes entre los elementos, ya que al obtenerse una disolución parcial no es posible cuantificar la concentración de tales elementos en los sedimentos.

Conclusiones

- Se determinó la concentración de los elementos Al, Na, K, Ca, Mg y Sr, obteniéndose los siguientes valores de concentración promedio, para Al 29.383 mg/Kg; para Na 5.019 mg /kg; para K 7.892 mg/Kg; para Ca 1.921 mg/Kg; para Mg 702 mg/Kg y para Sr 181 mg/Kg. Estos valores concuerdan con los reportados para rocas ígneas intermedias.
- La concentración de Rb en las muestras se encuentra por debajo del límite de detección de la técnica analítica utilizada para su determinación.
- Se determinó la composición mineralógica de las muestras y se encontraron principalmente los siguientes minerales: montmorillonita, albita, anortita, andesina y heulandita en ambos lagos. Esta asociación mineral en conjunción con los valores de concentración de elementos mayoritarios encontrados, es cónsona con la postulación de rocas andesíticas como fuente de los sedimentos para ambos lagos, Sin embargo, no se descarta la existencia de más de una fuente para estos sedimentos, ya que se observó la ausencia de andesina en algunas muestras
- Las mayores concentraciones de todos los elementos se encontraron en las fracciones de mayor tamaño y de menor tamaño (F3 y F7), este hecho, unido a la composición mineralógica determinada para las distintas fracciones, indica que el proceso dominante es la meteorización física. No obstante, la presencia de montmorillonita en estos sedimentos indica al menos dos posibilidades: a) que la meteorización química ha actuado de manera apreciable en la región b) que existan procesos de hidrotermalismo que han afectado al material parental (esto apoyado también por la presencia de Heulandita)

- Las mayores acumulaciones de los elementos se encontraron en las estaciones de muestreo E2 y E3

Bibliografía

- [1] Boggs, S. (1995). *Principles of sedimentology stratigraphy*. New Jersey: Prentice Hall.
- [2] Iriondo, M. (2007). *Introducción a la Geología*. Argentina: Editorial Brujas.
- [3] Martínez J., Fernández, A. (2004) *Cambio climático: una visión desde México*. México: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología.
- [4] Huggett, R. (2007). *Fundamentals of geomorphology*. New York: Routledge.
- [5] Figueruelo, J., Dávila, M. (2004). *Química Física del Ambiente y de los Procesos Medioambientales*. Barcelona: Editorial Reverte.
- [6] Sotelo, G. (2002). *Hidráulica de canales*. México: UNAM
- [7] Thompson, L., Troeh, F. (2002). *Los suelos y su fertilidad*. Barcelona: Editorial Reverte.
- [8] Nichols, G. (2009). *Sedimentology and Stratigraphy*. (2da. Edición). Reino Unido: Editorial Wiley-Blackwell.
- [9] Tejada, G. (1994). *Vocabulario geomorfológico*. España: Ediciones Akal.
- [10] Rivas, M. (2011). Distribución y acumulación de carbono en clases de tamaños contrastantes de partículas de sedimentos provenientes del glaciar Collins, Isla Rey Jorge, Continente Antártico. Trabajo Especial de Grado. Licenciatura en Química.
- [11] Goudie, A. (2004). *Encyclopedia of geomorphology*. New York. Routledge.
- [12] Arias, A. (2001). *Suelos tropicales*. Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a Distancia.
- [13] Méndez, J. (2006). *Petrología- Ambientes sedimentarios*. Caracas: PDVSA. INTEVEP.
- [14] Fraume, N. (2007). *Diccionario Ambiental*. ECOE Ediciones.

- [15] García, P., Sour, F., Montellano, M. (1997). *Paleontología*. Mexico: Coordinación de Servicios Editoriales Facultad de Ciencias, UNAM.
- [16] Aguilar, H. (2002). *Naturaleza y Sociedad: una introducción a la geografía*. Perú: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad de Perú.
- [17] Fassbender, H. (1975). *Química de Suelos*. Costa Rica: Editorial Ilica.
- [18] Rebolledo, S., Vargas, G. *Introducción a la descripción de rocas sedimentarias*. Departamento de Geología. Chile: Universidad de Chile.
- [19] Domenech, X., Peral, J. (2006). *Química ambiental de sistemas terrestres*. España: Editorial Reverte.
- [20] Garanger, J. (2002). *La prehistoria en el mundo*. Francia. Ediciones Akal.
- [21] Cohen, A. (2003). *Paleolimnology: The history and Evolution of Lake Systems*. USA: Oxford University Press.
- [22] Güven, D., Akinci, G. (2011). *Comparison of acid techniques to determine heavy metals in sediment and soil samples*. Gazi University Journal of Science. 24.29-34.
- [23] Harris, D. (2003). *Análisis Químico cuantitativo*. España: Editorial Reverte.
- [24] Boss, C., Fredeen, K. (1997). *Concepts, Instrumentation and techniques in Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry*. U.S.A.: Perkin Elmer.
- [25] Mauri, A., Llobat, M., Herráez, R. (2010). *Laboratorio de Análisis Instrumental*. España: JPM Ediciones.
- [26] Villegas, W., Acereto, P., Vargas, M. (2006). *Análisis Ultravioleta- Visible: la teoría y la práctica en el ejercicio profesional*. México: Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán.
- [27] Skoog, D., Holler, F., Nieman, T. (2001). *Principios de Análisis Instrumental*. España: McGraw – Hill.
- [28] Burriel, M., Lucena, F., Arribas, S., Hernández, J. (2008). *Química Analítica Cualitativa*. España: Thomson Editores.
- [29] Albella, J., Cintas, A., Miranda, T., Serratona, J. (1993). *Introducción a la ciencia de materiales: Técnicas de preparación y caracterización*. España: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

- [30] Acosta, J.A., Martinez- Martinez, S., Faz, A., Arocena, J. (2011). Accumulations of major and trace elements in particle size fractions of soils on eight different parent material. *Geoderma*. 161. 30-42.
- [31] Bai, J., Lui, B., Chen, B., Zhang, K., Deng, W., Gao, H., Xiau, R. (2011). Spatial distribution and ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments from a typical plateau lake Wetland, China. *Ecological Modelling*. 222.301-306.
- [32] Guerra, R., Fetter, E., Ceschim, L., Martins, C. (2011). Trace metals in sediments cores from Deception and Penguin Islands (South Shetland Islands, Antarctica). *Marine Pollution Bulletin*. (62). 2571-2575.
- [33] Dantas, T., Escalfoni, R., Da Fonseca, T., Miekeley, N. (2011). Determination of major, minor and trace elements in rock samples by laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry: Progress in the utilization of borate glasses as targets. *Spectrochimica Acta Part B*. 66.314-320.
- [34] Malandrino, M., Abollino, O., Buoso, S., Casalino, C., Gasparon, M., Giacomino, A., La Gioia, C., Mentasti, E. (2009). Geochemical characterisation of Antarctic soils and lacustrine sediments from Terra Nova Bay. *Geoderma*. 92. 21-31.
- [35] Santos, I., Silva-Filho, E., Schaefer, C., Albuquerque- Filho, M., Campos, L. (2005). Heavy metal contamination in coastal sediments and soils near the Brazilian Antarctic Station, King George Island. *Marine Pollution Bulletin*. (50),185-194.
- [36] Lee, Y., Lim, H., Yoon, H. (2004). Geochemistry of soils of King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica: Implications for pedogenesis in cold polar regions. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68 (21), 4319-4333.
- [37] Navas, A., López- Martínez, J., Casas, J., Machín, J., Durán, J., Serrano, E., Cuchi, J., Mink, S. (2008). Soil characteristics on varying lithological substrates in the South Shetland Islands, maritime Antarctica. *Geoderma*. (144) 123-239.
- [38] Plan de gestión revisado de la Zona Antártica Especialmente Protegida N° 125 Península Fildes, isla Rey Jorge (isla 25 de mayo). 2009.
- [39] Isla, F., Spagnuolo, J., Gelós, E. (2000) *Sedimentología y mineralogía de playas de Tierra del Fuego y Sector Antártico Argentino (Arco de Scotia e islas asociadas)*. Revista de la Asociación Geológica Argentina. 55.

[40] Hyndman, D. (1972). *Petrology of igneous and metamorphic Rocks*. USA. Mc Graw Hill.

[41] Sogorg, M., Vilanova, E. (2004). *Técnicas analíticas de contaminantes químicos*. España: Ediciones Díaz de Santos.

Arias, F. (2006). *El Proyecto de Investigación. Introducción a la metodología científica*. (5ta. Edición). Caracas: Editorial Episteme.

Anexos

Curvas de calibración para cada elemento.

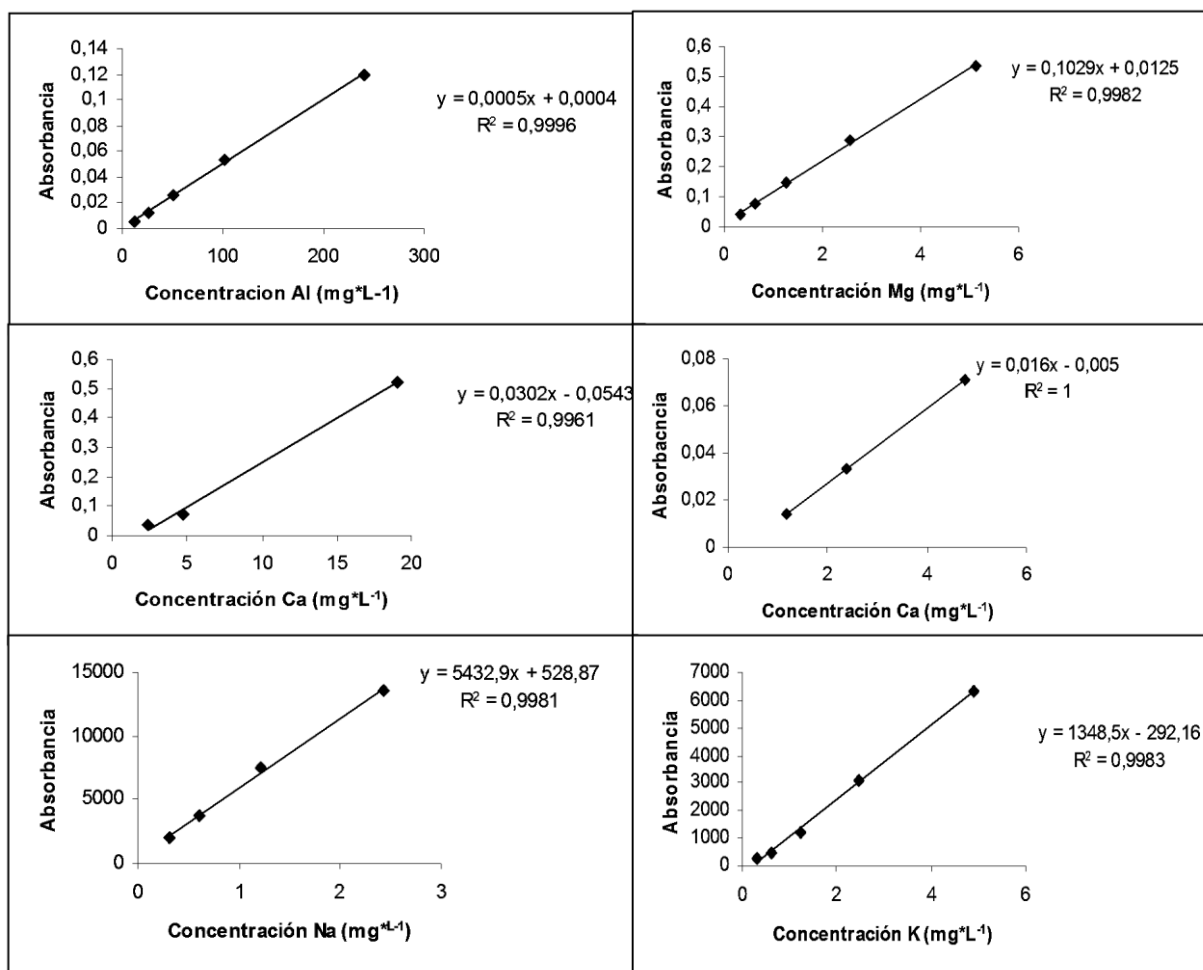


Figura 31. Curvas de calibración para aluminio, magnesio, calcio, sodio y potasio.

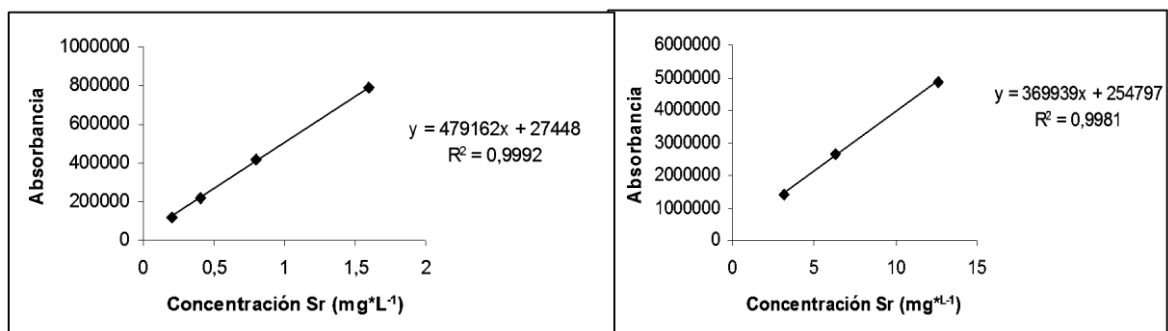


Figura 32. Curvas de calibración para el estroncio.

Datos de absorbancia y concentraciones de los patrones utilizados para la construcción de las curvas de calibración.

Tabla 9. Datos de absorbancia y concentración de los patrones utilizados para la construcción de las curvas de calibración.

	Absorbancia	Concentración (mg/L)
Aluminio	0,006	12,7319
	0,013	25,4638
	0,026	50,927
	0,053	101,855
	0,120	239,73
Magnesio	0,533	5,124
	0,289	2,5623
	0,149	1,2811
	0,074	0,6405
	0,039	0,3202
Calcio	0,014	1,1875
	0,033	2,375
	0,071	4,75
	0,033	2,375
Calcio	0,071	4,75
	0,522	19
Potasio	6340	4,917
	3089	2,458
	1216	1,229
	497	0,614
	242	0,307
Estroncio	788986	1,6
	422512	0,8
	21750	0,4
	116029	0,2
Estroncio	1380214	3,2
	2672534	6,3
	4887301	12,6

Valores de concentración para cada elemento.

Aluminio.

Tabla 10. Concentración de Aluminio determinada mediante Espectrometría de Absorción Atómica.

Estación	Fracción	Concentración Al (mg/Kg)	% Al
AM1	F1	16436	1,6
AM1	F2	15577	1,6
AM1	F3	12909	1,3
AM1	F4	26307	2,6
AM1	F6	15569	1,6
AM2	F1	20869	2,1
AM2	F2	21995	2,2
AM2	F3	44191	4,4
AM2	F4	21725	2,2
AM2	F5	22759	2,3
AM2	F6	25024	2,5
AM2	F7	21037	2,1
AM2	F8	27658	2,8
AM3	F1	23607	2,4
AM3	F2	33255	3,3
AM3	F3	18558	1,9
AM3	F4	30005	3,0
AM3	F5	22647	2,3
AM3	F7	51890	5,2
AM4	F1	27714	2,8
AM4	F2	30391	3,0
AM4	F3	49968	5,0
AM4	F4	37585	3,8
AM4	F6	21522	2,2
AM4	F7	47854	4,8
AM4	F8	24805	2,5
AM5	F1 (a)	29808	3,0
AM5	F1 (b)	19175	1,9
AM5	F3	51552	5,2
AM5	F4	16489	1,6
Estación	Fracción	Concentración Al (mg/Kg)	% Al
AM5	F5	22191	2,2
AM5	F6	26034	2,6
AM5	F8	16996	1,7
AM5	F9	22271	2,2

AM6	F2	36083	3,6
AM6	F3	35186	3,5
AM6	F4	33311	3,3
AM6	F5	23236	2,3
AM6	F6	43470	4,3
AM6	F7	39735	4,0
AM6	F8	26909	2,7
AM6	F9	57094	5,7
AM7	F1 (a)	19264	1,9
AM7	F1 (b)	38216	3,8
AM7	F2	46135	4,6
AM7	F3	70184	7,0
AM7	F6	44125	4,4
AM7	F7	40844	4,1
AM7	F8	24963	2,5
AM7	F9	57736	5,8
AM8	F1	29593	3,0
AM8	F4	26594	2,7
AM8	F5	26936	2,7
AM8	F6	22334	2,2
AM8	F7	23569	2,4
AM8	F8	26216	2,6
AM9	F1	32191	3,2
AM9	F4	36183	3,6
AM9	F5	22671	2,3
AM9	F6	30169	3,0
AM9	F7	35258	3,5
AM9	F8	32067	3,2
AM9	F9	30845	3,1
AM10	F1	22630	2,3
AM10	F2	16174	1,6
AM10	F3	28643	2,9
AM10	F4	31628	3,2
AM10	F5	29140	2,9
Estación	Fracción	Concentración Al (mg/Kg)	% Al
AM10	F6	20368	2,0
AM10	F7	23504	2,4
AM10	F8	35460	3,5
AM10	F9	32491	3,2

AM11	F1	18715	1,9
AM11	F2	27197	2,7
AM11	F3	37704	3,8
AM11	F4	51288	5,1
AM11	F5	16944	1,7
AM11	F8	11743	1,2
AM11	F9	16083	1,6
AM12	F2	29400	2,9
AM12	F3	46742	4,7
AM12	F4	16105	1,6
AM12	F5	19767	2,0
AM12	F6	16696	1,7
AM12	F7	47070	4,7

Tabla 11. Concentración de Calcio determinada mediante Espectrometría de Absorción Atómica.

Estación	Fracción	Concentración Ca $\pm$ 35	% Ca
----------	----------	---------------------------	------

		(mg/Kg)	
AM1	F1	85	0,01
AM1	F2	790	0,08
AM1	F3	2506	0,25
AM1	F4	3299	0,33
AM1	F6	1567	0,16
AM2	F1	1095	0,11
AM2	F2	622	0,06
AM2	F3	2317	0,23
AM2	F4	1765	0,18
AM2	F5	2390	0,24
AM2	F6	2263	0,23
AM2	F7	4909	0,49
AM2	F8	4406	0,44
AM3	F1	332	0,03
AM3	F2	547	0,05
AM3	F3	1324	0,13
AM3	F4	651	0,07
AM3	F5	967	0,10
AM3	F7	1007	0,10
AM4	F1	518	0,05
AM4	F2	818	0,08
AM4	F3	3277	0,33
AM4	F4	2346	0,23
AM4	F6	1274	0,13
AM4	F7	4927	0,49
AM4	F8	1314	0,13
AM5	F1 (a)	683	0,07
AM5	F1 (b)	384	0,04
AM5	F3	509	0,05
AM5	F4	2751	0,28
AM5	F5	1798	0,18
AM5	F6	4501	0,45
AM5	F8	1214	0,12
AM5	F9	1924	0,19
AM6	F2	754	0,08
AM6	F3	1294	0,13
Estación	Fracción	Concentración Ca $\pm$ 35 (mg/Kg)	% Ca
AM6	F5	3084	0,31
AM6	F6	8071	0,81

AM6	F7	2582	0,26
AM6	F8	4740	0,47
AM6	F9	2116	0,21
AM7	F1 (a)	1028	0,10
AM7	F1 (b)	1485	0,15
AM7	F2	1262	0,13
AM7	F3	6541	0,65
AM7	F6	1426	0,14
AM7	F7	1879	0,19
AM7	F8	1010	0,10
AM7	F9	1951	0,20
AM8	F1	807	0,08
AM8	F4	2562	0,26
AM8	F5	871	0,09
AM8	F6	1789	0,18
AM8	F7	1019	0,10
AM8	F8	2995	0,30
AM9	F1	1619	0,16
AM9	F4	1055	0,11
AM9	F5	3009	0,30
AM9	F6	4339	0,43
AM9	F7	2876	0,29
AM9	F8	1833	0,18
AM9	F9	2318	0,23
AM10	F1	196	0,02
AM10	F2	1167	0,12
AM10	F3	536	0,05
AM10	F4	2257	0,23
AM10	F5	1695	0,17
AM10	F6	3295	0,33
AM10	F7	377	0,04
AM10	F8	913	0,09
AM10	F9	1794	0,18
AM11	F1	68	0,01
AM11	F2	1298	0,13
AM11	F3	1001	0,10
AM11	F4	1182	0,12
Estación	Fracción	Concentración Ca $\pm$ 35 (mg/Kg)	% Ca
AM11	F5	627	0,06
AM11	F8	282	0,03

AM11	F9	1722	0,17
AM12	F2	1119	0,11
AM12	F3	4505	0,45
AM12	F4	2038	0,20
AM12	F5	771	0,08
AM12	F6	1514	0,15
AM12	F7	1433	0,14

Tabla 12. Concentración de Potasio determinada mediante Espectrometría de Emisión Atómica.

Estación	Fracción	Concentración K $\pm$ 58 (mg/Kg)	% K
AM1	F1	4296	0,43
AM1	F2	5190	0,52
AM1	F3	5250	0,53
AM1	F4	8977	0,90
AM1	F6	7719	0,77
AM2	F1	5477	0,55
AM2	F2	7241	0,72
AM2	F3	12078	1,21
AM2	F4	5907	0,59
AM2	F5	6818	0,68
AM2	F6	7588	0,76
AM2	F7	6847	0,68
AM2	F8	4893	0,49
AM3	F1	3033	0,30
AM3	F2	3936	0,39
AM3	F3	2672	0,27
AM3	F4	7659	0,77
AM3	F5	5801	0,58
AM3	F7	13158	1,32
AM4	F1	5958	0,60
AM4	F2	7582	0,76
AM4	F3	12885	1,29
AM4	F4	9521	0,95
AM4	F6	9210	0,92
AM4	F7	21988	2,20
AM4	F8	11695	1,17
AM5	F1 (a)	3166	0,32
AM5	F1 (b)	2048	0,20
AM5	F3	10435	1,04
AM5	F4	10211	1,02
AM5	F5	6231	0,62
AM5	F6	6434	0,64
AM5	F8	9241	0,92
AM5	F9	5685	0,57
AM6	F2	10785	1,08

Concentración K ± 58			
Estación	Fracción	(mg/Kg)	% K
AM6	F3	10813	1,08
AM6	F7	12543	1,25
AM6	F8	6483	0,65
AM6	F9	10328	1,03
AM7	F1 (a)	2187	0,22
AM7	F1 (b)	2618	0,26
AM7	F2	7945	0,79
AM7	F3	8982	0,90
AM7	F6	7813	0,78
AM7	F7	5437	0,54
AM7	F8	4358	0,44
AM7	F9	9989	1,00
AM8	F1	6626	0,66
AM8	F4	10770	1,08
AM8	F5	11412	1,14
AM8	F6	11390	1,14
AM8	F7	10540	1,05
AM8	F8	13637	1,36
AM9	F1	6128	0,61
AM9	F4	11196	1,12
AM9	F5	9197	0,92
AM9	F6	11886	1,19
AM9	F7	14380	1,44
AM9	F8	14549	1,45
AM9	F9	14324	1,43
AM10	F1	5378	0,54
AM10	F2	3965	0,40
AM10	F3	9381	0,94
AM10	F4	7947	0,79
AM10	F5	9916	0,99
AM10	F6	4510	0,45
AM10	F7	8499	0,85
AM10	F8	12435	1,24
AM10	F9	11915	1,19
AM11	F1	4276	0,43
AM11	F2	7268	0,73
AM11	F3	9864	0,99
AM11	F4	12251	1,23
AM11	F5	4860	0,49

Concentración K ± 58			
Estación	Fracción	(mg/Kg)	% K
AM11	F8	3903	0,39
AM11	F9	4752	0,48
AM12	F2	7024	0,70
AM12	F3	12718	1,27
AM12	F4	7425	0,74
AM12	F5	7914	0,79
AM12	F6	9653	0,97
AM12	F7	16637	1,66

Tabla 13. Concentración de Magnesio determinada mediante Espectrometría de Absorción Atómica.

Estación	Fracción	Concentración Mg $\pm$ 3 (mg/Kg)	% Mg
AM1	F1	1166	0,12
AM1	F2	948	0,09
AM1	F3	648	0,06
AM1	F4	1014	0,10
AM1	F6	511	0,05
AM2	F1	1188	0,12
AM2	F2	730	0,07
AM2	F3	1424	0,14
AM2	F4	1049	0,10
AM2	F5	821	0,08
AM2	F6	964	0,10
AM2	F7	1078	0,11
AM2	F8	1076	0,11
AM3	F1	1834	0,18
AM3	F2	542	0,05
AM3	F3	390	0,04
AM3	F4	303	0,03
AM3	F5	760	0,08
AM3	F7	621	0,06
AM4	F1	273	0,03
AM4	F2	236	0,02
AM4	F3	920	0,09
AM4	F4	363	0,04
AM4	F6	274	0,03
AM4	F7	625	0,06
AM4	F8	489	0,05
AM5	F1 (a)	1792	0,18
AM5	F1 (b)	1813	0,18
AM5	F3	405	0,04
AM5	F4	445	0,04
AM5	F5	443	0,04
AM5	F6	429	0,04
AM5	F8	397	0,04
AM5	F9	437	0,04

Estación	Fracción	Concentración Mg $\pm$ 3	
		(mg/Kg)	% Mg
AM6	F2	176	0,02
AM6	F3	425	0,04
AM6	F4	722	0,07
AM6	F5	476	0,05
AM6	F6	940	0,09
AM6	F7	538	0,05
AM6	F8	683	0,07
AM6	F9	656	0,07
AM7	F1 (a)	313	0,03
AM7	F1 (b)	2338	0,23
AM7	F2	396	0,04
AM7	F3	2054	0,21
AM7	F6	841	0,08
AM7	F7	956	0,10
AM7	F8	626	0,06
AM7	F9	774	0,08
AM8	F1	324	0,03
AM8	F4	892	0,09
AM8	F5	199	0,02
AM8	F6	515	0,05
AM8	F7	215	0,02
AM8	F8	563	0,06
AM9	F1	2487	0,25
AM9	F4	732	0,07
AM9	F5	1323	0,13
AM9	F6	2111	0,21
AM9	F7	1475	0,15
AM9	F8	1345	0,13
AM9	F9	1521	0,15
AM10	F1	1061	0,11
AM10	F2	1001	0,10
AM10	F3	490	0,05
AM10	F4	1275	0,13
AM10	F5	1513	0,15
AM10	F6	1270	0,13
AM10	F7	1140	0,11
AM10	F8	1378	0,14

Estación	Fracción	Concentración Mg $\pm$ 3 (mg/Kg)	% Mg
AM10	F9	607	0,06
AM11	F1	650	0,06
AM11	F2	1039	0,10
AM11	F3	1701	0,17
AM11	F4	1141	0,11
AM11	F5	798	0,08
AM11	F8	594	0,06
AM11	F9	757	0,08
AM12	F2	522	0,05
AM12	F3	1078	0,11
AM12	F4	498	0,05
AM12	F5	947	0,09
AM12	F6	804	0,08
AM12	F7	1189	0,12

Tabla 14. Concentración de Sodio determinada mediante Espectrometría de Emisión Atómica.

Estación	Fracción	Concentración Na $\pm$ 68 (mg/Kg)	% Na
AM1	F1	1509	0,15
AM1	F2	2684	0,27
AM1	F3	4802	0,48
AM1	F4	5103	0,51
AM1	F6	2992	0,30
AM2	F1	1596	0,16
AM2	F2	4329	0,43
AM2	F3	9395	0,94
AM2	F4	4718	0,47
AM2	F5	4438	0,44
AM2	F6	4730	0,47
AM2	F7	3799	0,38
AM2	F8	5949	0,59
AM3	F1	711	0,07
AM3	F2	4645	0,46
AM3	F3	2878	0,29
AM3	F4	7347	0,73
AM3	F5	4584	0,46
AM3	F7	9696	0,97
AM4	F1	4250	0,43
AM4	F2	6621	0,66
AM4	F3	8205	0,82
AM4	F4	9876	0,99
AM4	F6	6174	0,62
AM4	F7	8690	0,87
AM4	F8	5466	0,55
AM5	F1 (a)	848	0,08
AM5	F1 (b)	442	0,04
AM5	F3	7141	0,71
AM5	F4	4380	0,44
AM5	F5	4305	0,43
AM5	F6	5696	0,57
AM5	F8	6543	0,65
AM5	F9	3777	0,38
AM6	F2	5885	0,59

Estación	Fracción	Concentración Na $\pm$ 68 (mg/Kg)	% Na
AM6	F3	5558	0,56
AM6	F4	6071	0,61
AM6	F5	2882	0,29
AM6	F6	6204	0,62
AM6	F7	6357	0,64
AM6	F8	4123	0,41
AM6	F9	5619	0,56
AM7	F1 (a)	2280	0,23
AM7	F1 (b)	908	0,09
AM7	F2	9491	0,95
AM7	F3	10116	1,01
AM7	F6	5144	0,51
AM7	F7	3202	0,32
AM7	F8	3420	0,34
AM7	F9	7542	0,75
AM8	F1	5572	0,56
AM8	F4	7388	0,74
AM8	F5	6973	0,70
AM8	F6	7125	0,71
AM8	F7	5358	0,54
AM8	F8	6863	0,69
AM9	F1	2033	0,20
AM9	F4	7746	0,77
AM9	F5	6101	0,61
AM9	F6	8842	0,88
AM9	F7	6464	0,65
AM9	F8	9203	0,92
AM9	F9	8435	0,84
AM10	F1	960	0,10
AM10	F2	2717	0,27
AM10	F3	5047	0,50
AM10	F4	6174	0,62
AM10	F5	5542	0,55
AM10	F6	4011	0,40
AM10	F7	5836	0,58
AM10	F8	8659	0,87
AM10	F9	5106	0,51
AM11	F1	1004	0,10
AM11	F2	5851	0,59

Estación	Fracción	Concentración Na ±	
		68 (mg/Kg)	% Na
AM11	F3	6159	0,62
AM11	F4	6748	0,67
AM11	F5	3516	0,35
AM11	F8	3056	0,31
AM11	F9	2684	0,27
AM12	F2	6865	0,69
AM12	F3	9860	0,99
AM12	F4	5814	0,58
AM12	F5	4405	0,44
AM12	F6	3685	0,37
AM12	F7	9312	0,93

Tabla 15. Concentración de Estroncio determinada mediante Espectrometría de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado.

Estación	Fracción	Concentración Sr (mg/Kg)	% Sr
AM1	F1	114	0,011
AM1	F2	145	0,015
AM1	F3	96	0,010
AM1	F4	374	0,037
AM1	F6	242	0,024
AM2	F1	138	0,014
AM2	F2	212	0,021
AM2	F3	393	0,039
AM2	F4	115	0,012
AM2	F5	306	0,031
AM2	F6	232	0,023
AM2	F7	191	0,019
AM2	F8	78	0,008
AM3	F1	49	0,005
AM3	F2	72	0,007
AM3	F3	102	0,010
AM3	F4	248	0,025
AM3	F5	133	0,013
AM3	F7	351	0,035
AM4	F1	132	0,013
AM4	F2	228	0,023
AM4	F3	286	0,029
AM4	F4	370	0,037
AM4	F6	200	0,020
AM4	F7	272	0,027
AM4	F8	137	0,014
AM5	F1 (a)	62	0,006
AM5	F1 (b)	58	0,006
AM5	F3	177	0,018
AM5	F4	128	0,013
AM5	F5	126	0,013
AM5	F6	105	0,011
AM5	F8	84	0,008
AM5	F9	64	0,006
AM6	F2	188	0,019

Estación	Fracción	Concentración Sr (mg/Kg)	% Sr
AM6	F3	166	0,017
AM6	F4	112	0,011
AM6	F5	55	0,005
AM6	F6	152	0,015
AM6	F7	163	0,016
AM6	F8	61	0,006
AM6	F9	183	0,018
AM7	F1 (a)	128	0,013
AM7	F1 (b)	71	0,007
AM7	F2	288	0,029
AM7	F3	1637	0,164
AM7	F6	231	0,023
AM7	F7	147	0,015
AM7	F8	97	0,010
AM7	F9	317	0,032
AM8	F1	306	0,031
AM8	F4	303	0,030
AM8	F5	360	0,036
AM8	F6	261	0,026
AM8	F7	153	0,015
AM8	F8	305	0,031
AM9	F1	117	0,012
AM9	F4	248	0,025
AM9	F5	201	0,020
AM9	F6	293	0,029
AM9	F7	264	0,026
AM9	F8	214	0,021
AM9	F9	200	0,020
AM10	F1	42	0,004
AM10	F2	69	0,007
AM10	F3	170	0,017
AM10	F4	255	0,025
AM10	F5	221	0,022
AM10	F6	106	0,011
AM10	F7	85	0,009
AM10	F8	149	0,015
AM10	F9	150	0,015
AM11	F1	40	0,004
AM11	F2	195	0,020
AM11	F3	122	0,012

Estación	Fracción	Concentración Sr (mg/Kg)	% Sr
AM11	F4	117	0,012
AM11	F5	287	0,029
AM11	F8	15	0,001
AM11	F9	131	0,013
AM12	F2	256	0,026
AM12	F3	510	0,051
AM12	F4	164	0,016
AM12	F5	144	0,014
AM12	F6	124	0,012
AM12	F7	409	0,041

Difractogramas de las muestras analizadas.

Muestras sin tratamiento químico.

- **AM5-F9**

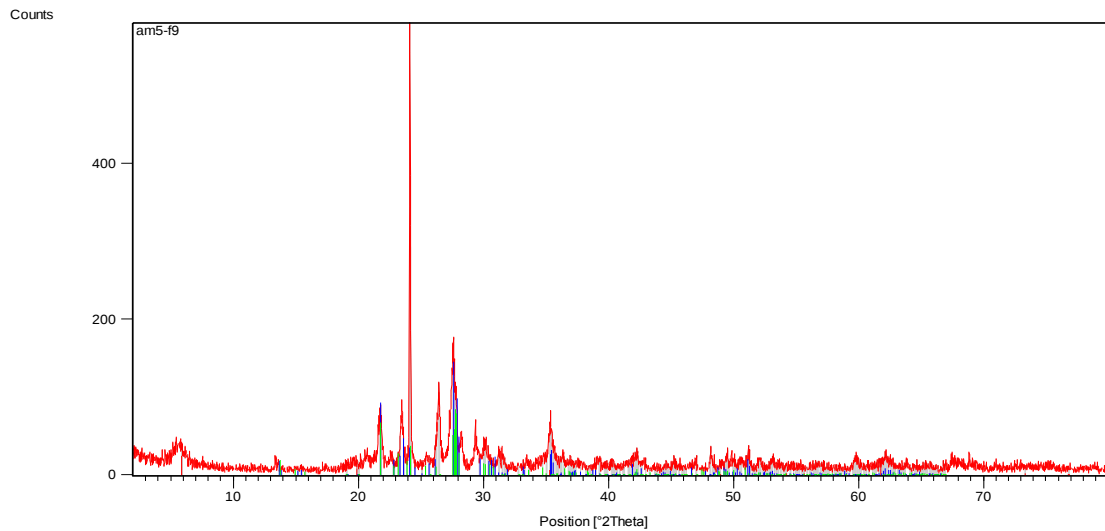


Figura 33. Difractograma correspondiente a la muestra AM5-F9, en el cual las líneas rojas corresponden a la montmorillonita, las líneas azules a la anortoclasea y las líneas verdes a la albite.

- **AM7-F1 (a)**

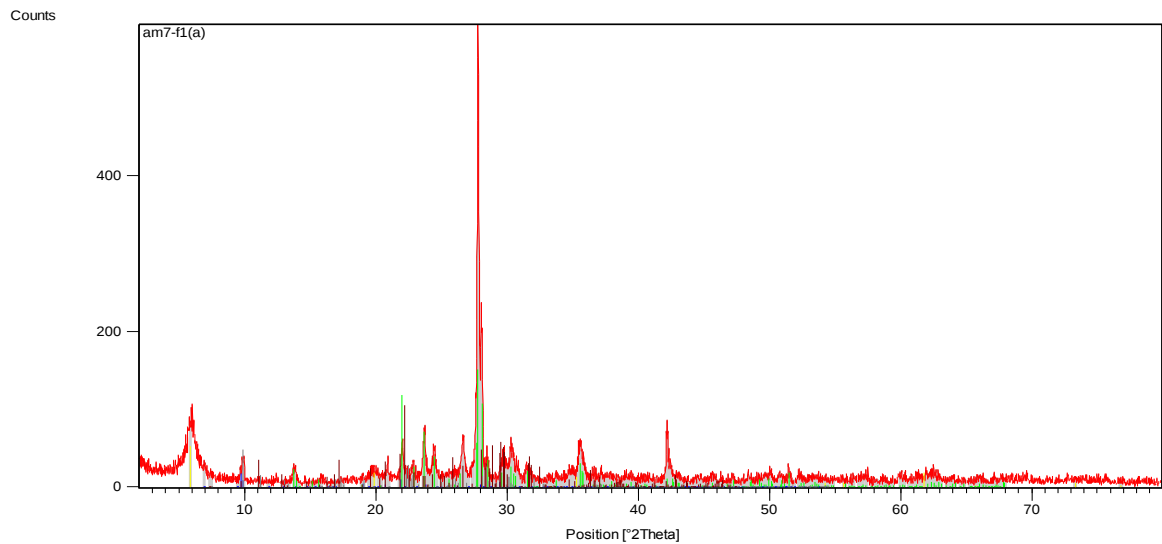


Figura 34. Difractograma correspondiente a la muestra AM7-F1 (a), en el cual las líneas amarillas corresponden a la montmorillonita, las líneas azules a la barretita, las

verdes a la albita desordenada, las grises a la clinoptilolita y las vinotinto a la heulandita.

- **AM7-F2**

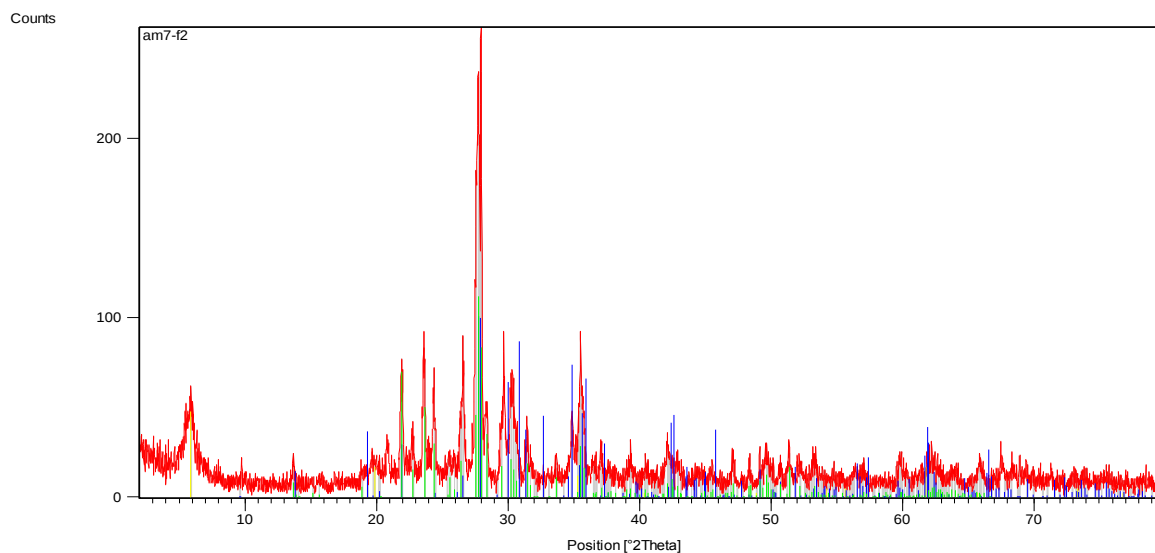


Figura 35. Difractograma correspondiente a la muestra AM7-F1(a), en el cual las líneas amarillas corresponden a la montmorilonita, las líneas azules a la ferrosilita y las líneas verdes a la andesina.

- **AM7-F6**

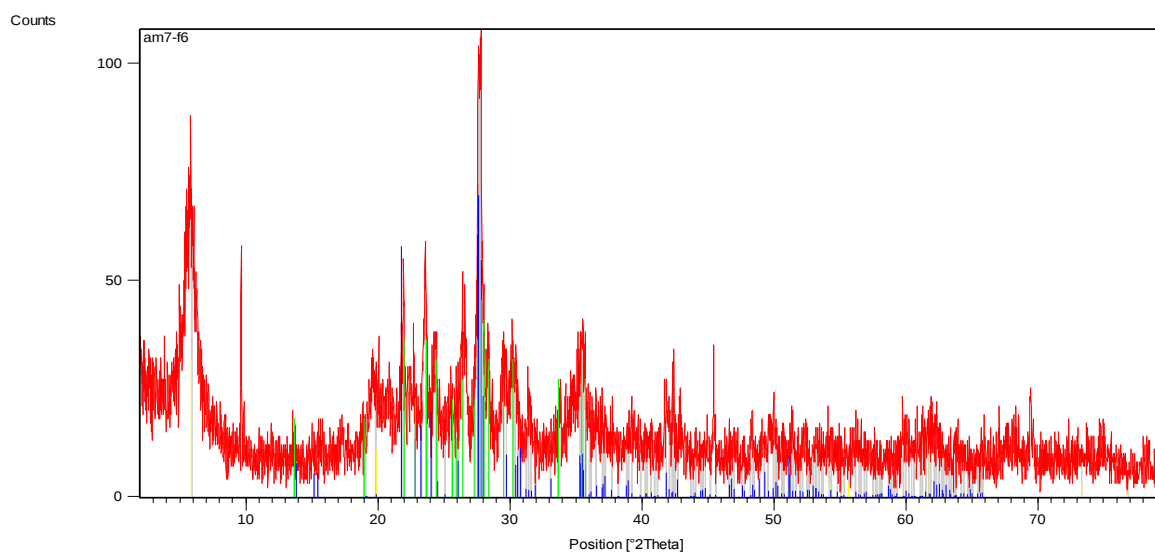


Figura 36. Difractograma correspondiente a la muestra AM7-F6, en el cual las líneas amarillas corresponden a la montmorilonita, las líneas azules a la albita y las verdes a la anortita.

- **AM12-F2**

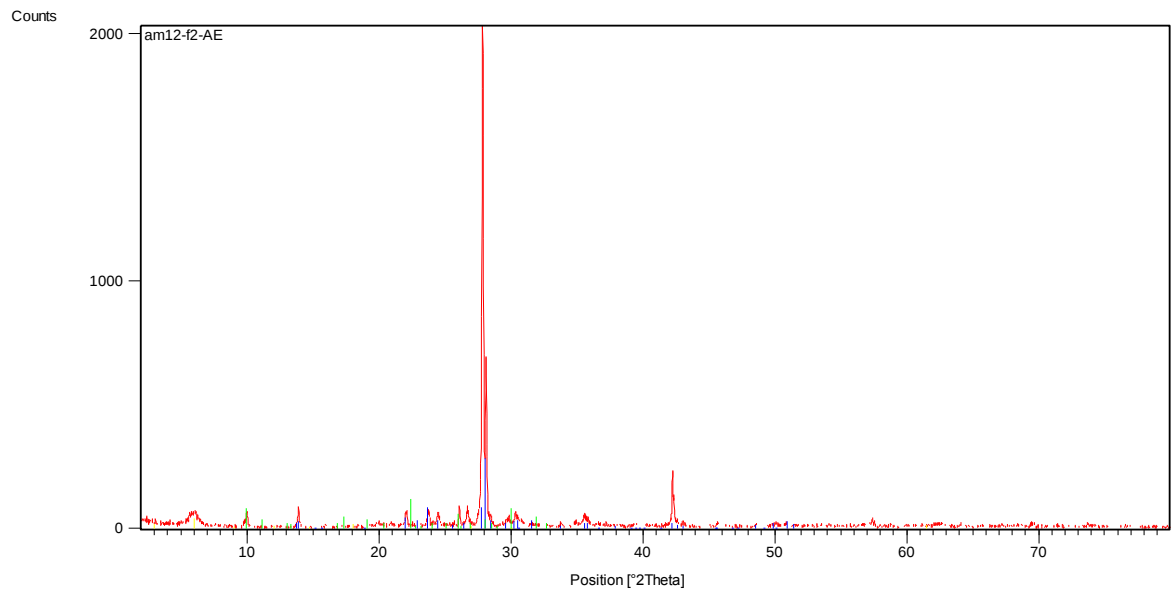


Figura 37. Difractograma correspondiente a la muestra AM12-F2, en la cual las líneas amarillas corresponden a la montmorillonita, las líneas azules a la albita desordenada y las líneas verdes a la heulandita.

Residuos

- **AM3-F2**

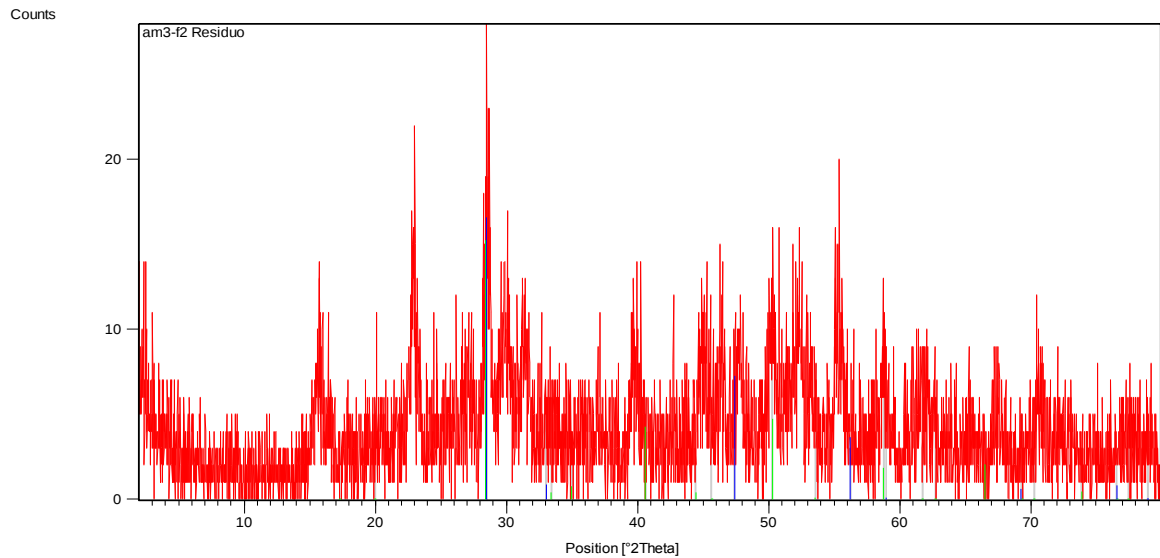


Figura 38. Difractograma correspondiente al residuo de la muestra AM3-F2, en la cual las líneas verdes corresponden a fluoruro de hierro y rubidio y las líneas azules al cloruro de cobre.

- **AM7-F1(a)**

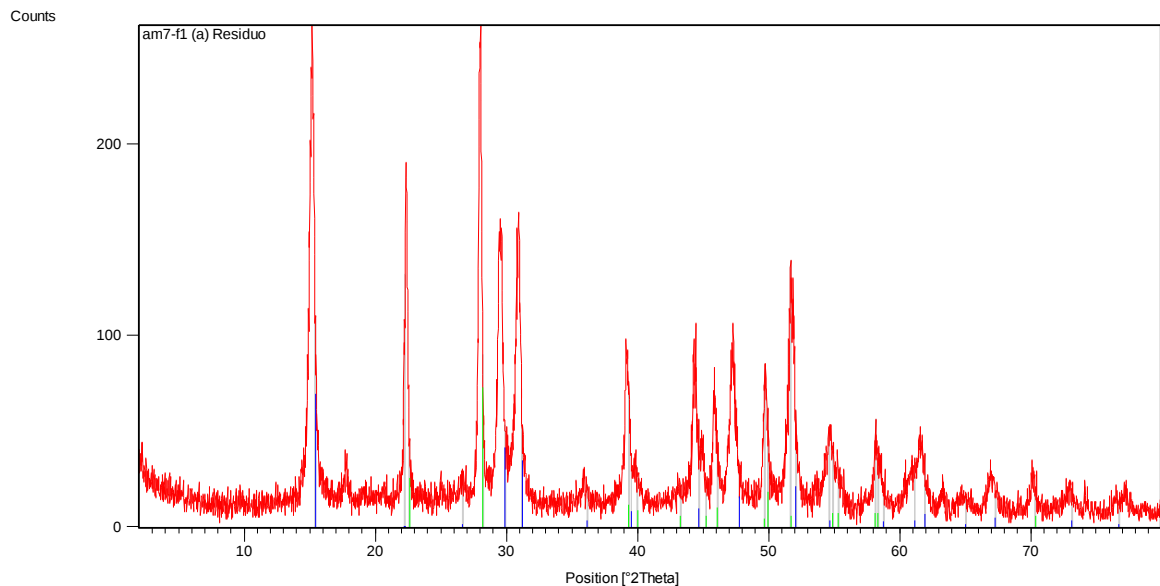


Figura 39. Difractograma del residuo correspondiente a la muestra AM7-F1(a), en el cual las líneas verdes corresponden al fluoruro de calcio y aluminio y las líneas azules corresponden a la ralstonita.

- **AM9-F9**

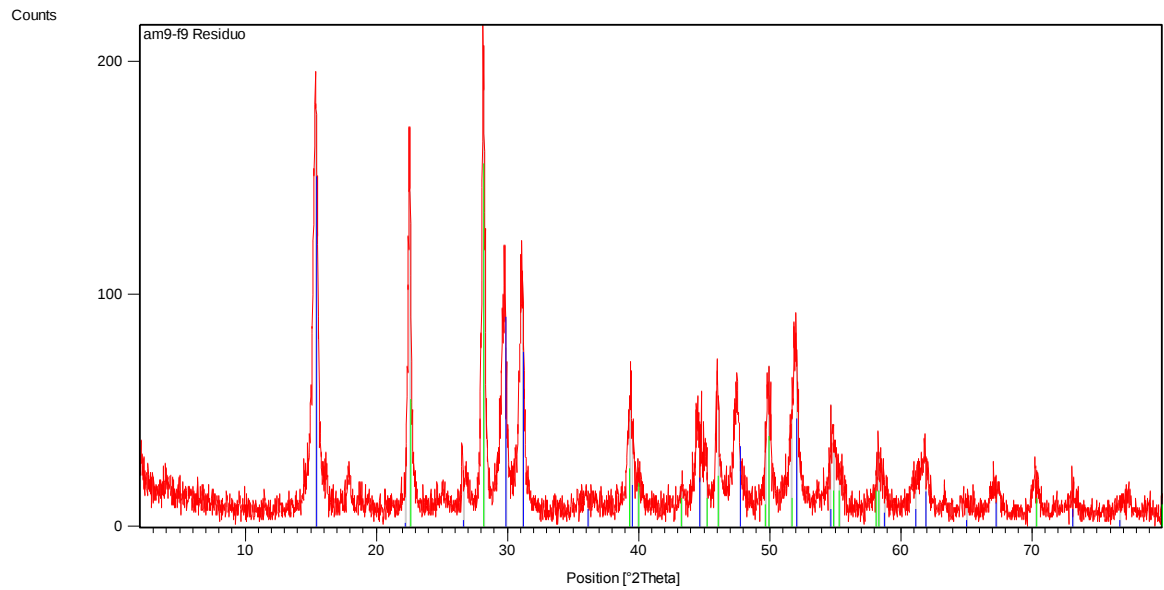


Figura 40. Difractograma del residuo correspondiente a la muestra AM9-F9, en el cual las líneas azules corresponden a la ralstonita y las líneas verdes al fluoruro de calcio y aluminio.

Gráficos de variación de concentración de acuerdo al peso de muestra disuelto.

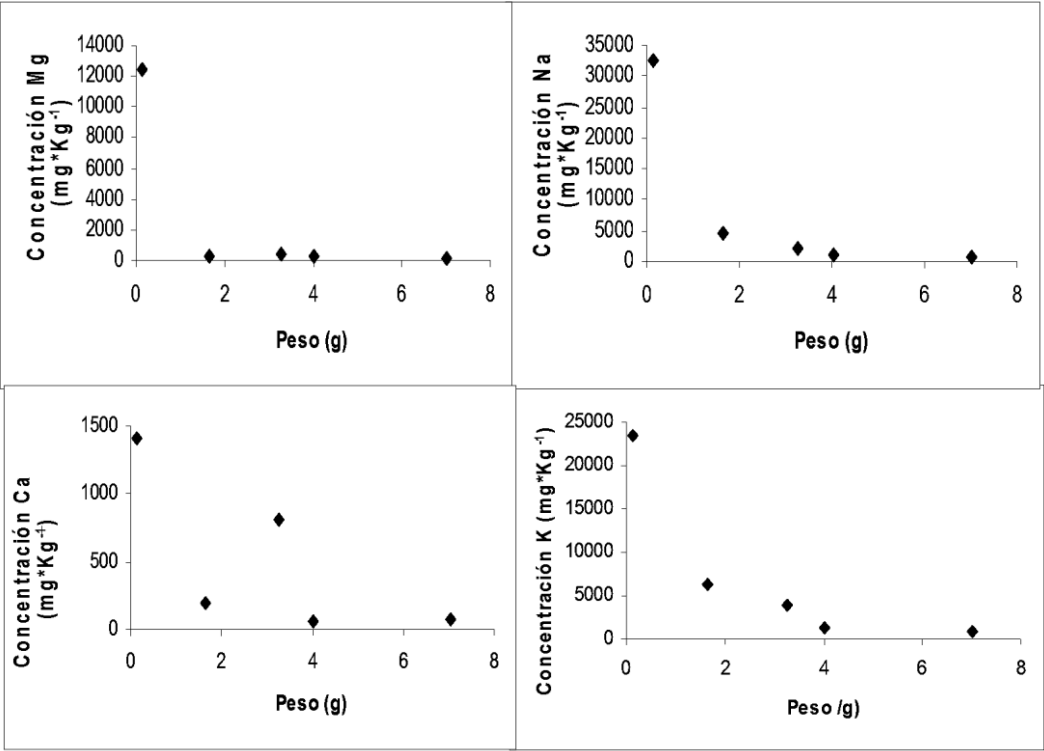


Figura 41. Variación de la concentración de Mg, Na, Ca y K de acuerdo con la cantidad de muestra disuelta.

Gráficos de variación de concentración de acuerdo al peso de muestra disuelto para todas las muestras analizadas.

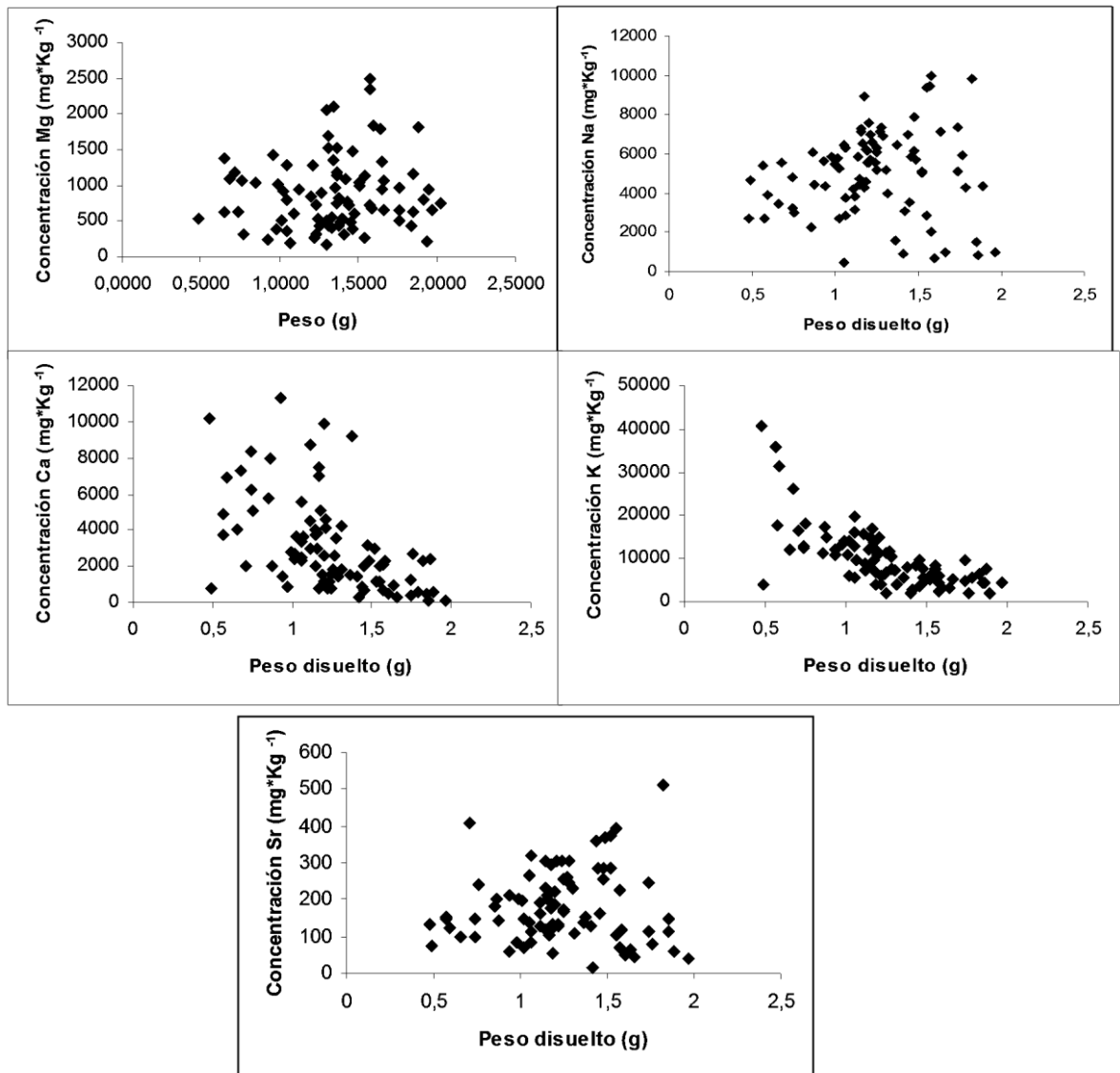


Figura 42. Variación de la concentración de Mg, Na, K, Ca y Sr de acuerdo con la cantidad de muestra disuelta.

Gráficos de variación de la concentración de cada elemento de acuerdo con el tamaño del sedimento.

- Magnesio

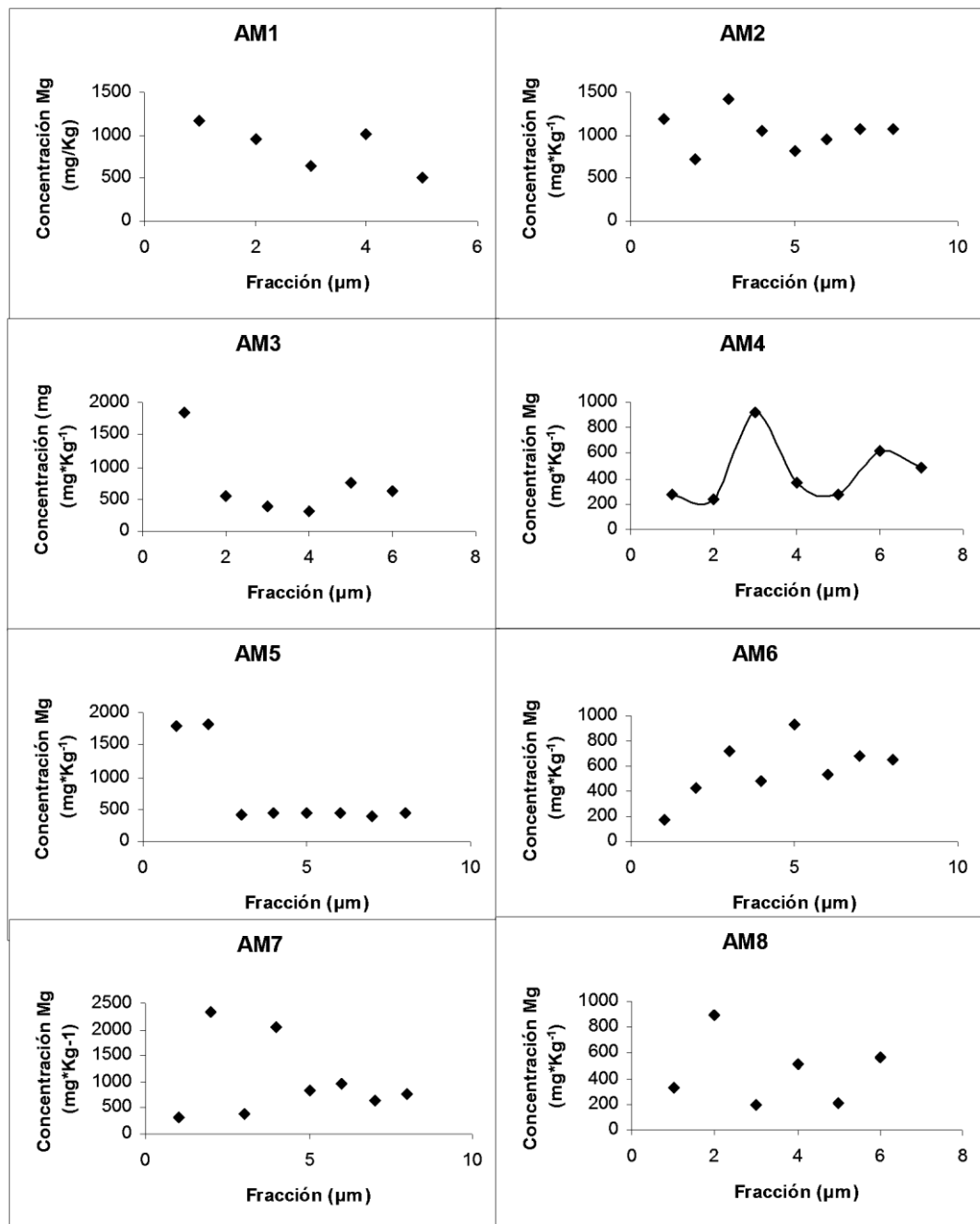


Figura 43. Variación de la concentración de magnesio de acuerdo con el tamaño del sedimento, para los puntos de muestreo AM1-AM8.

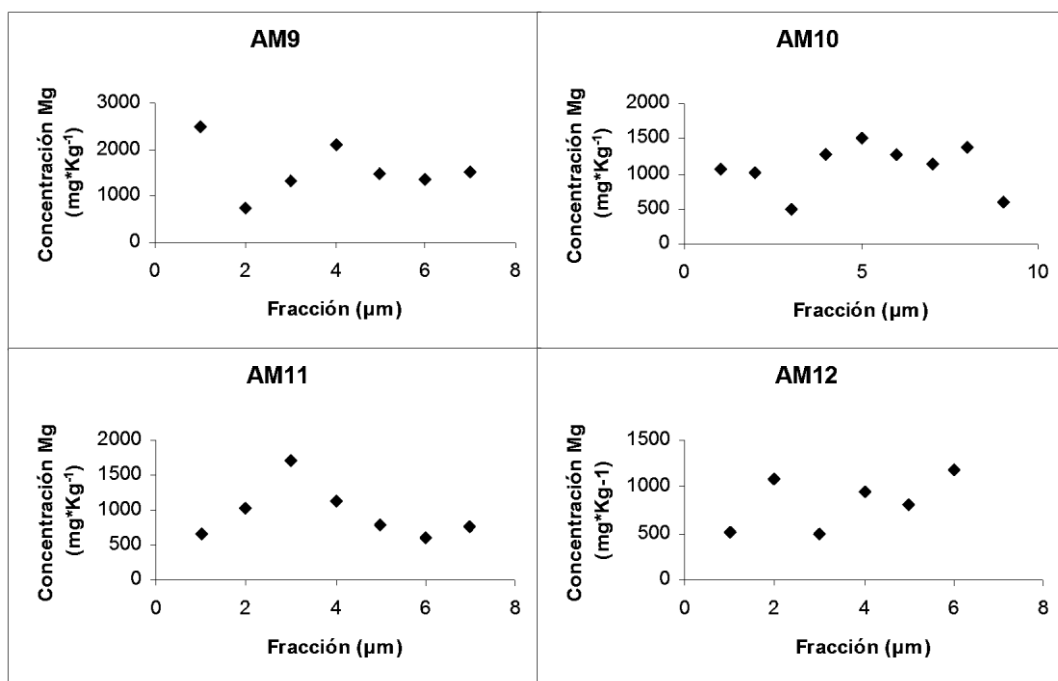


Figura 44. Variación de la concentración de magnesio de acuerdo con el tamaño del sedimento, para los puntos de muestreo AM9-AM12.

- Calcio

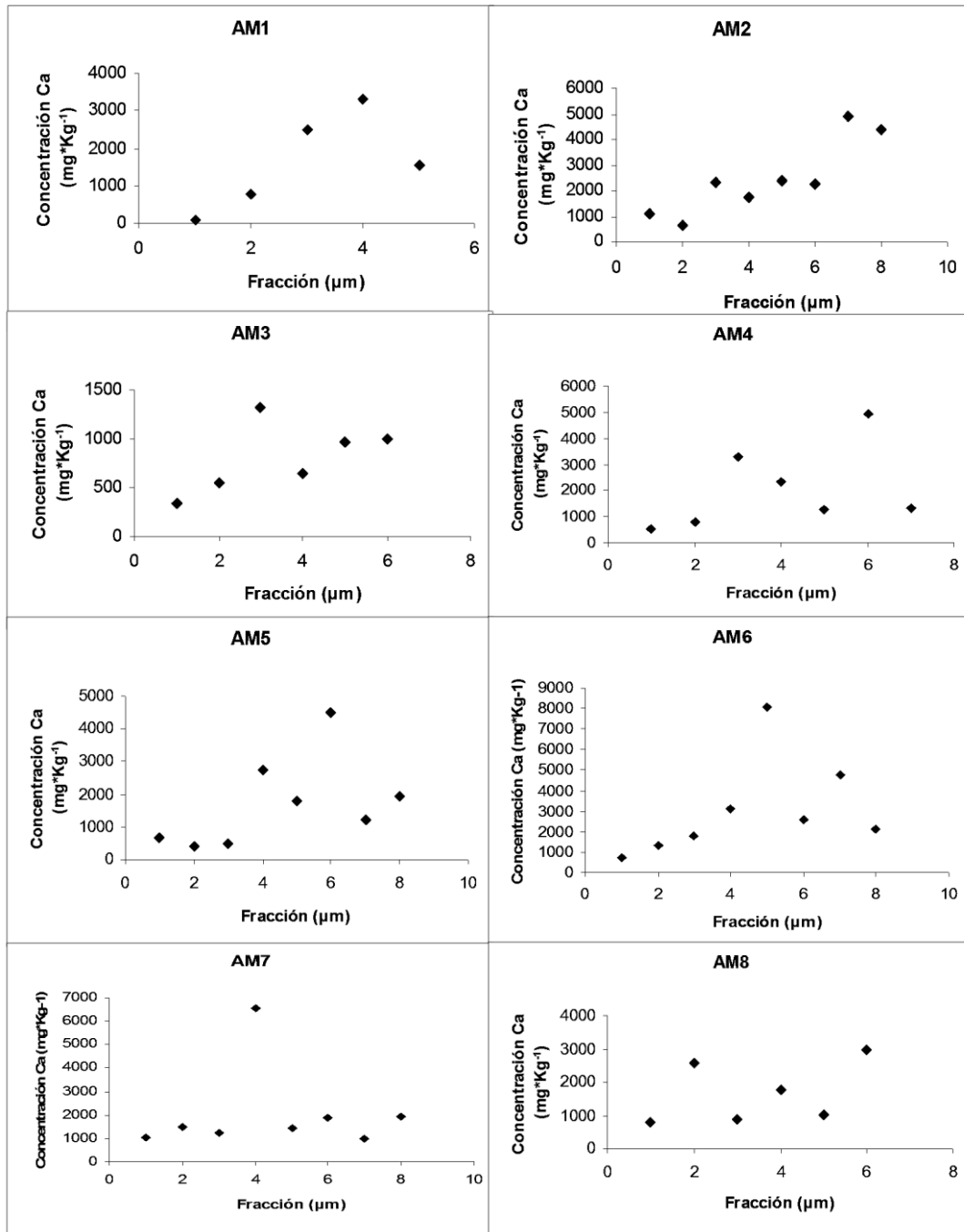


Figura 45. Variación de la concentración de calcio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM1-AM8.

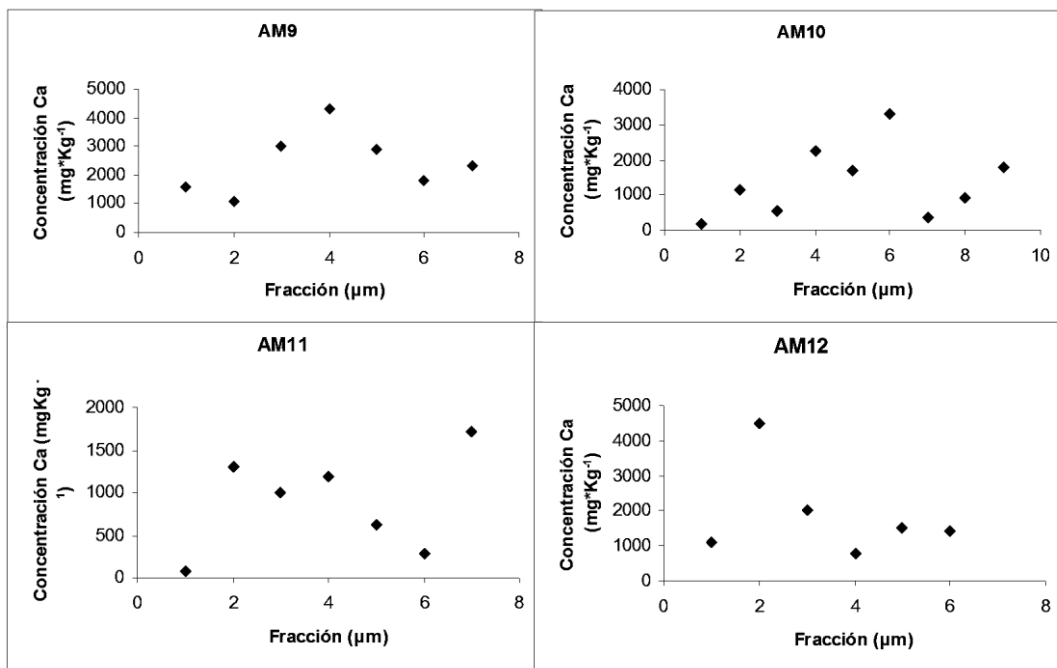


Figura 46. Variación de la concentración de calcio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM9-AM12.

- Sodio

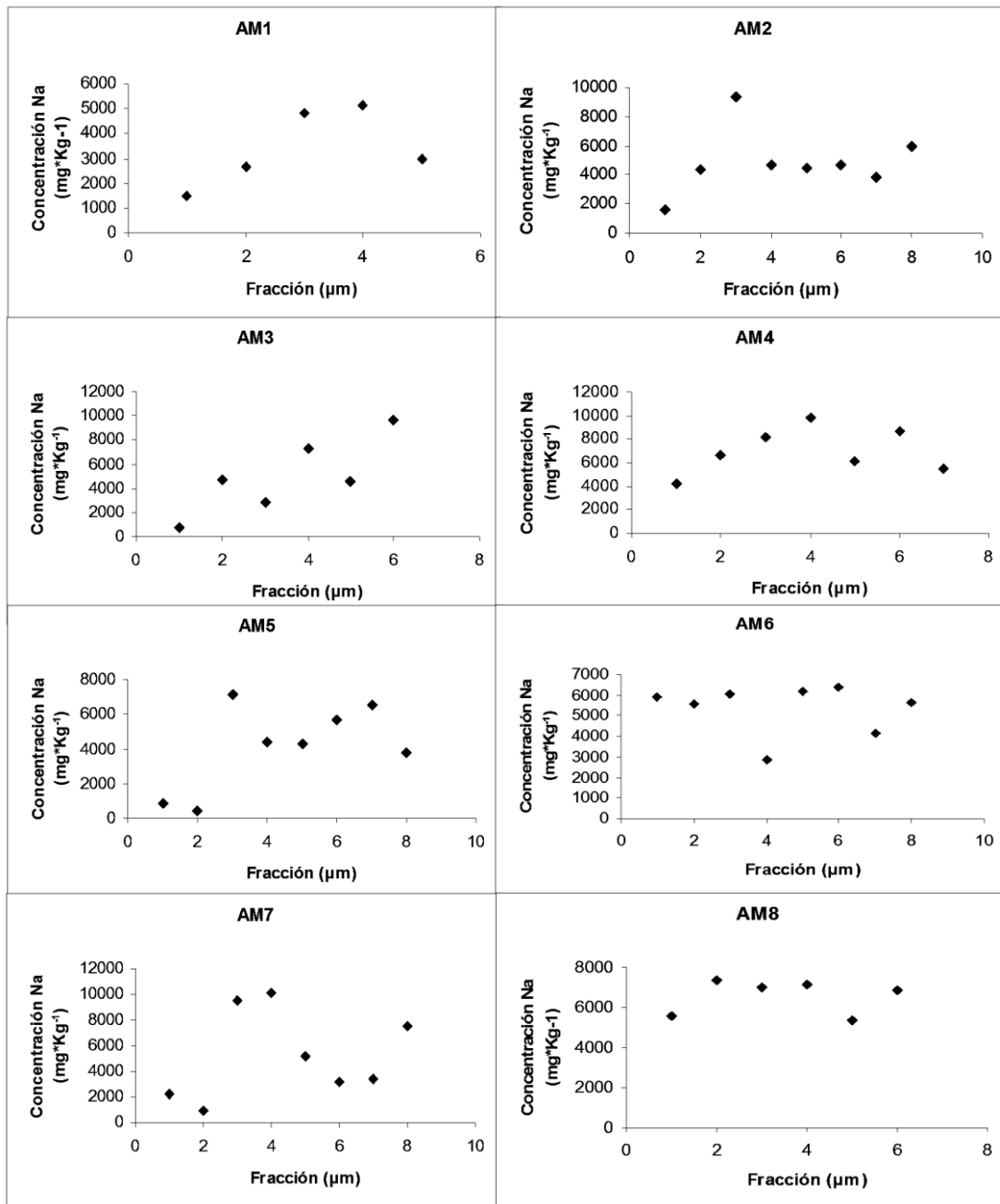


Figura 47. Variación de la concentración de sodio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM1-AM8.

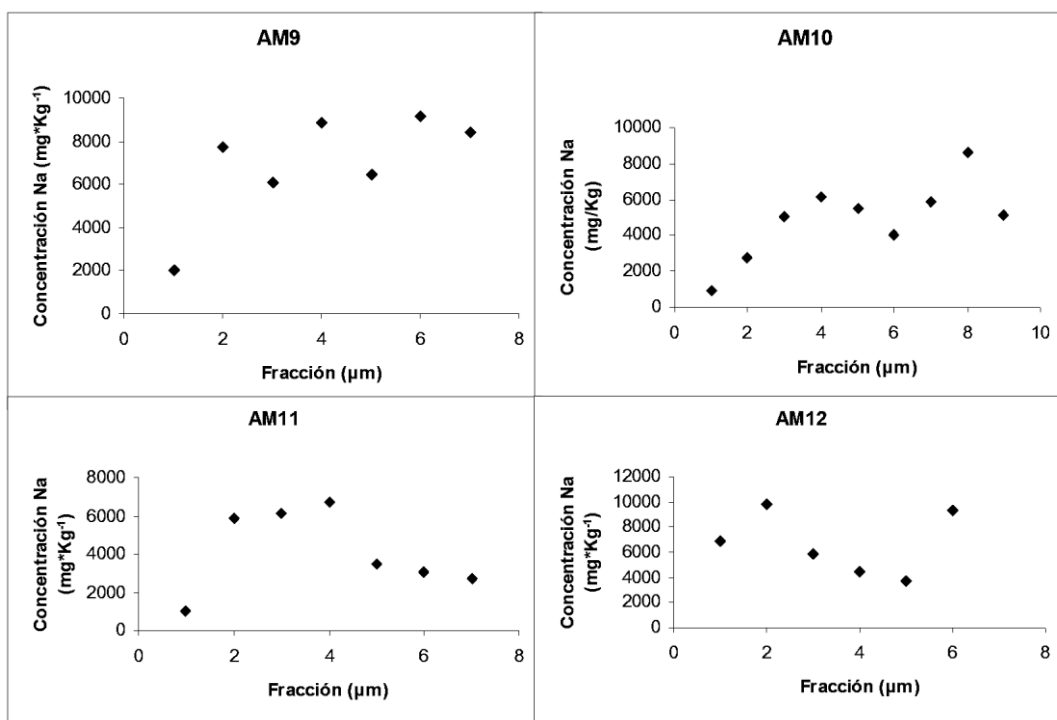


Figura 48. Variación de la concentración de sodio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM9-AM12.

- **Potasio**

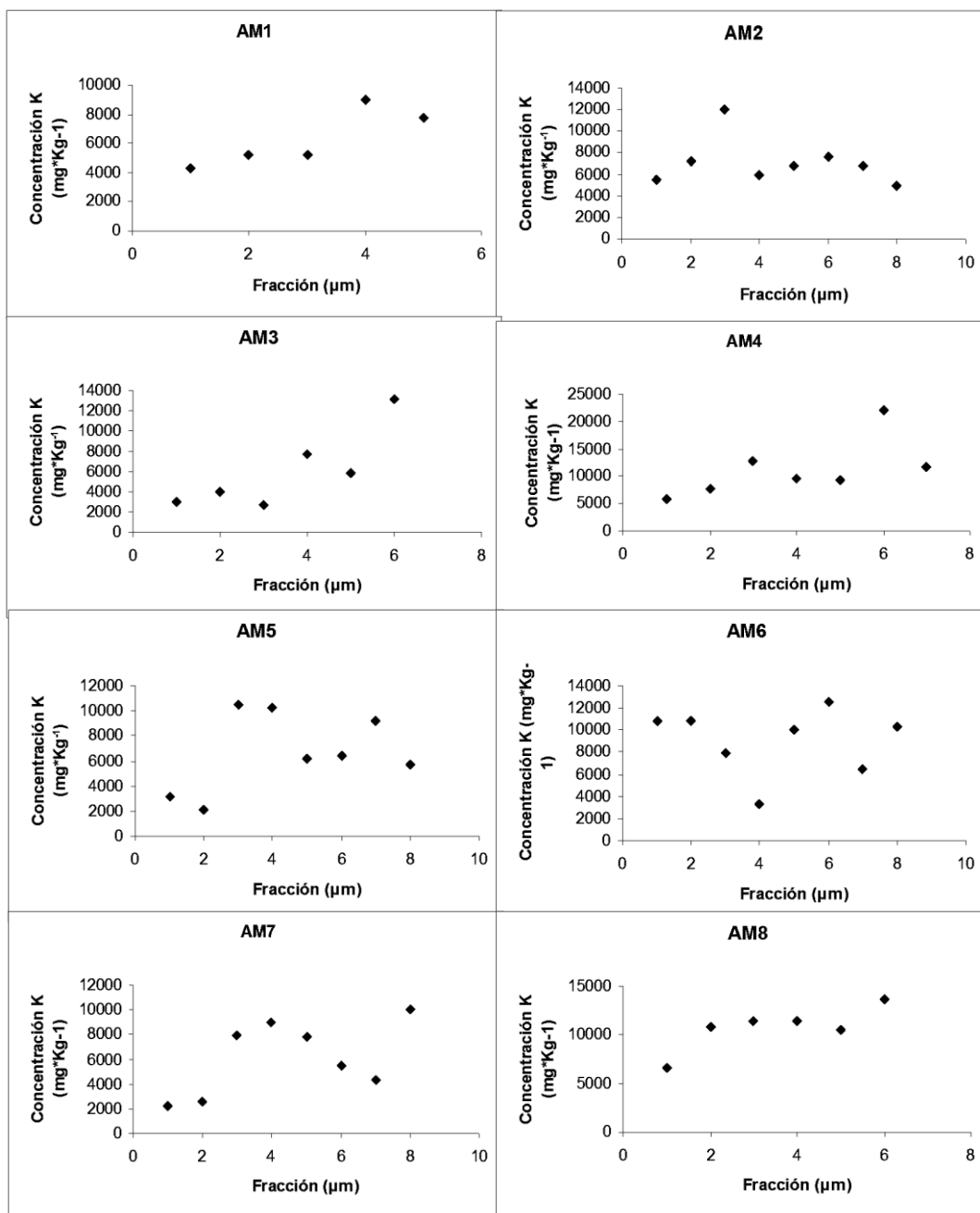


Figura 49. Variación de la concentración de potasio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM1-AM8.

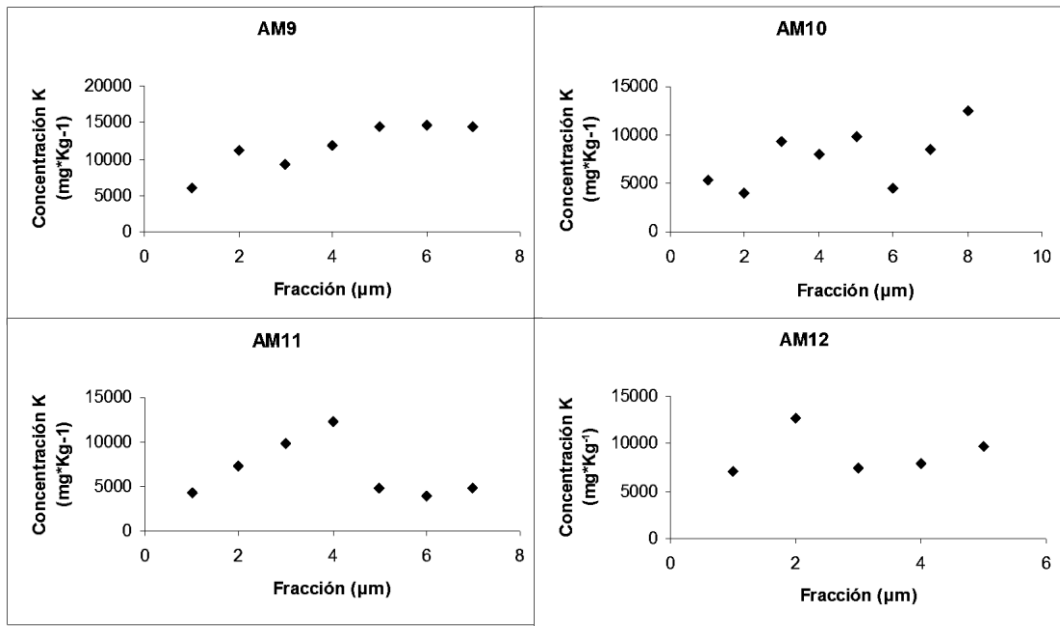


Figura 50. Variación de la concentración de potasio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM9-AM12.

- Estroncio

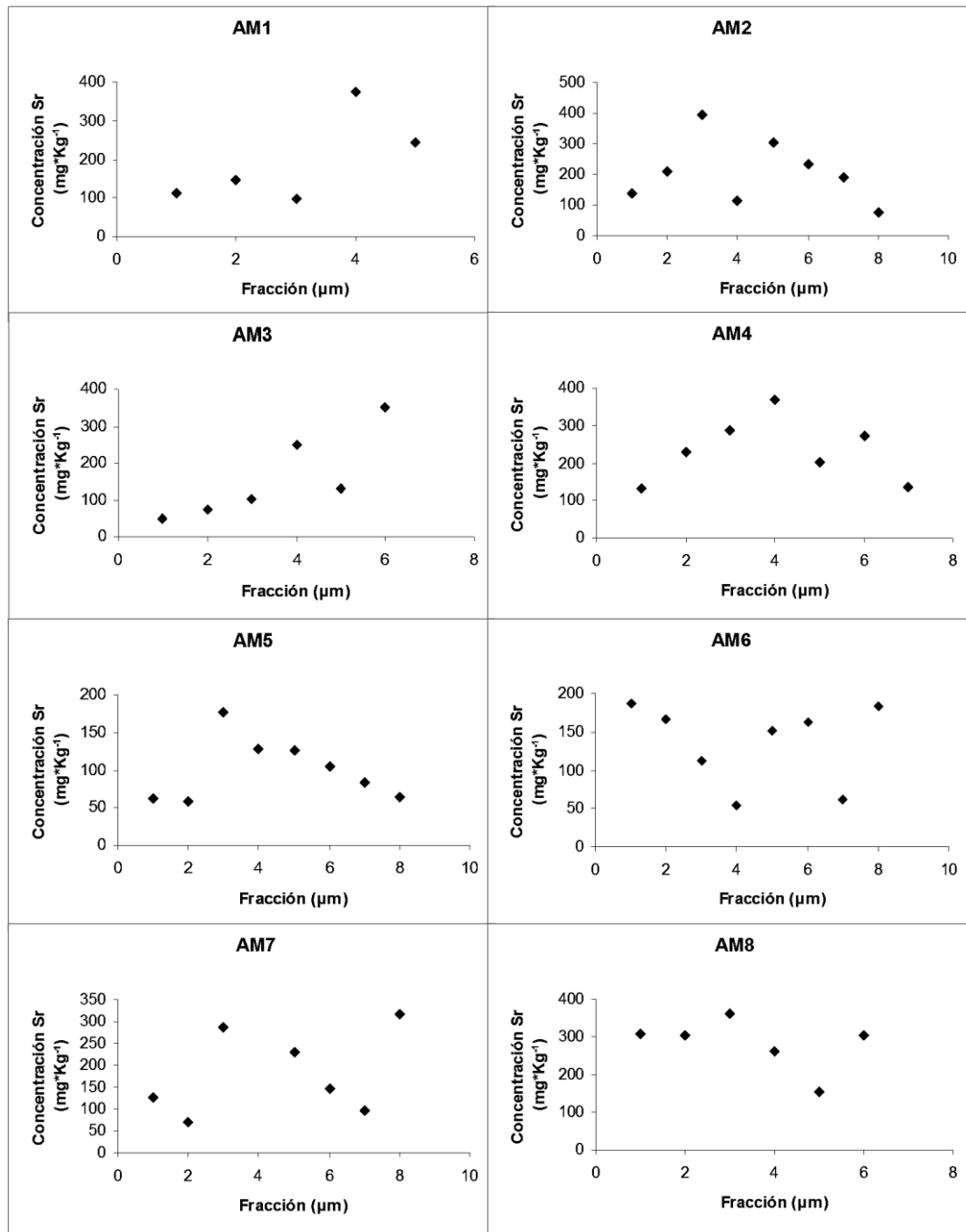


Figura 51. Variación de la concentración de estroncio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM1-AM8.

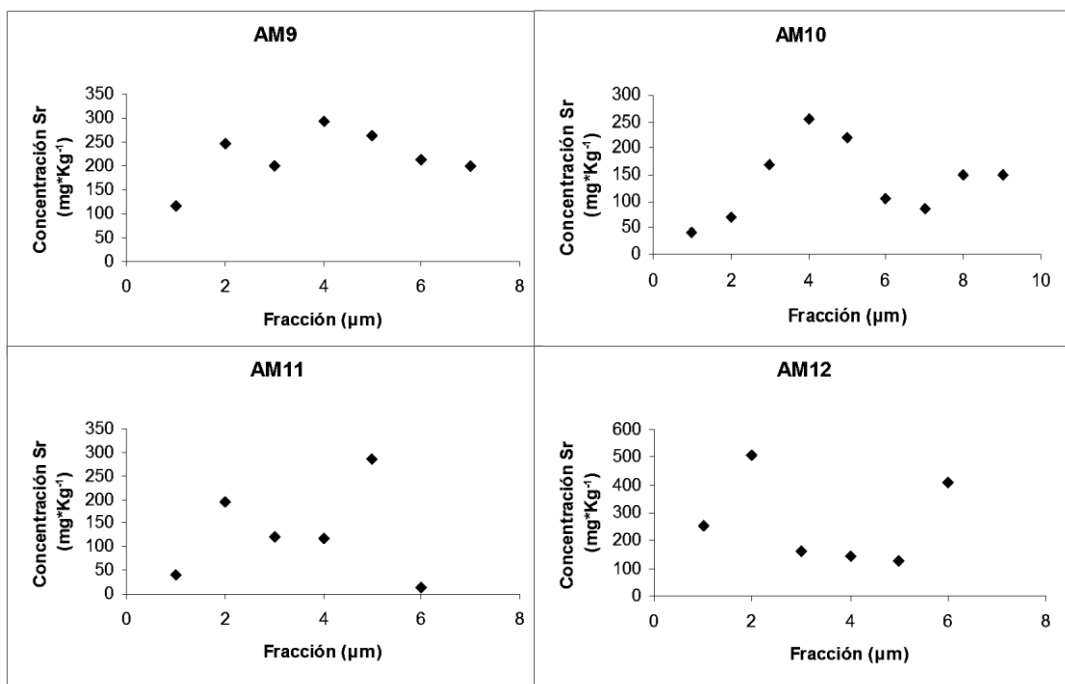


Figura 52. Variación de la concentración de estroncio de acuerdo con el tamaño del sedimento para las estaciones AM9-AM12.