

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA.

FACULTAD DE CIENCIAS.

ESCUELA DE QUIMICA.



**DISTRIBUCION Y ACUMULACION DE CARBONO EN CLASES DE TAMAÑOS
CONTRASTANTES DE PARTICULAS DE SEDIMENTOS PROVENIENTES DEL
GLACIAR COLLINS, ISLA REY JORGE, CONTINENTE ANTARTICO.**

Trabajo especial de grado presentado ante
la ilustre Universidad Central de Venezuela
por la Br. Mariana Rivas Williams, para
optar al Título de Licenciada en Química.

Caracas, Mayo 2011.

ACTA DE JURADOS

Quienes suscribimos, miembros del jurado evaluador designado por el Consejo de la Escuela de Química de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela para examinar el Trabajo Especial de Grado de la Bachiller Mariana Rivas Williams, C.I: 16677108, titulado: “Distribución y acumulación de carbono en clases de tamaños contrastantes de partículas de sedimentos provenientes del Glaciar Collins, Isla Rey Jorge, Continente Antártico”, 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. Armando Ramírez

(Tutor)

Prof. Ramón Montero

(Jurado)

Prof. Maximiliano Bezada

(Jurado)

Caracas, Mayo de 2011.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios que ha sido mi guía durante todo este tiempo y que ha puesto en mi camino a personas maravillosas que me han ayudado incondicionalmente a lo largo de la realización de mi trabajo.

A mis Padres y hermanos que me tuvieron paciencia durante todo este tiempo y que hicieron de mí todo lo bueno que soy ahora, sin ustedes esto no sería posible, además de ser mi ejemplo a seguir son lo mejor que Dios me ha dado. LOS AMO.

A mi abuela por sus consejos y por estar orgullosa de mí. Te quierooooo.

A mi novio maravilloso que siempre estuvo ahí apoyándome y alentándome cuando pensaba que ya no podía más, gracias por tu apoyo tu amor y tu comprensión. TE AMOOOO.

Al Prof. Edgardo Leal el cual a pesar de no ser mi tutor fue más que eso para mí, fue mi amigo y mi guía espiritual y siempre ha estado ahí cuando tenía una crisis y bueno gracias a él conseguí realizar este maravilloso proyecto.

Al Prof. Eduardo Carrillo que me ayudó muchísimo y siempre estuvo pendiente de que consiguiera la información que necesitaba, además de esto me puso en contacto con una persona maravillosa que sin conocerme siquiera me proporciono información vital para la realización de este trabajo el Prof. Rodolfo Del Valle o "Rudy" como me dijo que lo llamara, gracias por estar tan pendiente de mi trabajo y por facilitarme las cosas.

A Ángel, Franco y al señor Fernando que fueron de gran ayuda para mí y siempre estuvieron ahí cuando tenía alguna duda o alguna necesidad.

Al Prof. Ruthman Hurtado que me facilitó su microscopio tipo lupa para poder enriquecer más este trabajo.

A mis tutores Armando y Alonso, de no ser por su paciencia y sus palabras y más aún su compromiso conmigo no hubiese podido terminar tan pronto.

A mis amigas y compañeras por saber escuchar y por alentarme cuando me sentía mal.

Finalmente y el AGRADECIMIENTO más importante es para mi hermosa UUUCV que me abrió sus puertas y me brindó una excelente educación y me regaló los mejores años de mi vida. Siempre soñé con estar en TÚ AULA MAGNA y creo que finalmente lo lograré.

A todos ustedes les dedicó este maravilloso trabajo que hice con mi mejor esfuerzo.

RESUMEN

El presente trabajo plantea como objetivo general, estudiar la distribución y acumulación de carbono en clases de tamaños de partículas de sedimentos provenientes del glaciar Collins, Isla Rey Jorge en el continente Antártico. Para esto fueron recolectadas 12 muestras de sedimentos, separadas posteriormente en 9 clases de tamaños de partículas: grava, arena muy gruesa, arena gruesa, arena media, arena fina, arena muy fina, limo grueso, limo fino y arcilla.

Cada una de las clases de tamaños de partículas fueron sometidas a un análisis termogravimétrico (105 °, 450°, 550° y 750°) y luego se procedió a realizar la determinación de carbono orgánico mediante el método de titulación de Walkley-Black.

Los resultados obtenidos indican que existen diferencias en cuanto a la granulometría de cada una de las muestras por lo cual se observan dos tendencias claras: una con un tamaño promedio de partículas correspondiente a arenas (6 muestras) y otro con tamaño promedio de gravas (6 muestras).

Al comparar las clases de tamaños contrastantes de partículas para cada una de las muestras, se observa un mayor contenido de carbono en las fracciones más finas.

En general para la zona de estudio, se tiene una concentración máxima de carbono orgánico de 0,61%, de carbono inorgánico de 0,22% y de carbono total de 0,78%. Estos valores pertenecen a la muestra AM7, la cual fue recolectada en la parte superior de la morrena adyacente al glaciar Collins.

INDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
	2.1.- Transporte y depositación de ambientes glaciares.....	2
	2.1.1.- Morrenas.	4
	2.1.2.- Zona periglacial.....	5
	2.2.- Suelos y Sedimentos.	6
	2.2.1.- Sedimentos y Transporte.....	6
	2.2.2.- Procesos de sedimentación.....	7
	2.2.3.- Actividad biológica en la sedimentación.	8
	2.2.4. Transporte y depositación de sedimentos.	9
	2.2.5.- Suelos.....	9
	2.2.6.- Procesos de formación del suelo.....	10
	2.2.7.- La roca como factor formador del suelo.	11
	2.2.8.- Factores Biológicos en la formación del suelo.....	12
	2.3.- Carbono en suelos y sedimentos.....	12
	2.3.1.- Carbono orgánico en suelos y sedimentos.	12
	2.3.2.- Carbonato en suelos y sedimentos.....	13
	2.3.1.- Ciclo del carbono.....	13
	2.4.- Determinación de carbono en sedimentos.....	16
	2.4.1.- Determinación de carbono orgánico total en Sedimentos.	16
	2.4.2.- Determinación de Carbonatos en sedimentos.....	17
	2.5.- Descripción de la zona de estudio.	18

2.5.1.- Información general.....	18
2.5.2.- Geología local.....	20
2.6.- Antecedentes.....	22
III. OBJETIVOS.....	27
3.1.- Objetivo General.....	27
3.2.- Objetivos Específicos.....	27
IV. PARTE EXPERIMENTAL.....	28
4.1. Método de campo.....	28
4.1.1.- Muestreo.....	28
4.2.- Método de laboratorio.....	31
4.2.1.- Preparación de las muestras de sedimentos.....	31
4.2.2.- Análisis de carbono inorgánico.....	31
4.2.3.- Análisis de carbono orgánico.....	34
4.2.4.- Determinación de carbono total.....	35
4.4.- Tratamiento de las muestras.....	31
4.5.- Procesamiento de datos.....	36
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	38
5.1.- Distribución granulométrica.....	38
5.2.- Morfoscopia.....	42
5.3.- Análisis termogravimétrico.....	43
5.3.1.- Pérdida a 105.....	44
5.3.2.- Pérdida a 450°.....	48
5.3.3.- Pérdida a 550°.....	51
5.3.4.- Pérdida a 750°.....	53

5.4.- Determinación de carbono orgánico	56
5.5.- Determinación de carbono total	60
5.6.- Estimación general del contenido de carbono en el área de estudio	62
VI. CONCLUSIONES.....	64
VII. BIBLIOGRAFIA	66
IX. APÉNDICE	70

INDICE DE FIGURAS

Figura 1.- Balance entre acumulación y ablación.	3
Figura 2.- Depósitos de tills como resultado de la acumulación de sedimentos de un glaciar.	4
Figura 3.- Morrena lateral izquierda con retroceso del valle del glaciar Collins, Antártida.	5
Figura 4.- Fotografía del permafrost en el Glaciar Collins, Continente Antártico.	8
Figura 5.- Ciclo del Carbono.	15
Figura 6.- Mapa de la Isla Rey Jorge, Península de Fildes.	19
Figura 7.- Vista satelital de la zona de estudio con los puntos de muestreo.	20
Figura 8.- Mapa de la zona de estudio con información de los lagos adyacentes a la base artigas.	22
Figura 9.- Fotografía satelital de los puntos de muestreo.	29
Figura 10.- Lago periglacial donde fueron recolectadas las muestras, afluente Norte.	29
Figura 11.- Lago al norte del Lago Periglacial que origina el afluente norte. Área de colección de la muestra de F.	30
Figura 12.- Fotografía de toma de muestras en la zona 1.	30
Figura 13.- Fotografía de toma de muestras en la Estación 2.	31
Figura 14.- Tamices empleados en la separación granulométrica de las muestras.	31
Figura 15.- Separación de limos y arcillas mediante columnas de decantación.	32
Figura 16.- Cuarteado de las muestras.	33
Figura 17.- Mortero de porcelana empleado para el homogenizado de las muestras.	33
Figura 18.- Mufla empleada en el análisis termogravimétrico.	34
Figura 19.- Proceso de titulación por el método de Walkley-Black.	35
Figura 20.- Microscopio tipo lupa empleado para la morfoscopia.	36
Figura 21.- Acumulación porcentual para las muestras del grupo de arenas.	40
Figura 22.- Acumulación porcentual para las muestras del grupo de gravas.	41

Figura 23.- Morfoscopia para AM1, gravas - arena fina	42
Figura 24.- Morfometría para AM5, gravas – arena fina.....	43
Figura 25.- Regresiones lineales para las pérdidas a 450°	44
Figura 26.- Regresiones lineales para las pérdidas a 550°	45
Figura 27.- Regresiones lineales para las pérdidas a 750°	45
Figura 28.- Distribución porcentual de pérdida a 105° para el grupo arenas.....	46
Figura 29.- Distribución porcentual de pérdida a 105° para el grupo de gravas.....	47
Figura 30.- Distribución porcentual de pérdida a 450° para el grupo de arenas.....	48
Figura 31.- Distribución porcentual de pérdida a 450° para el grupo de gravas.....	49
Figura 32.- Morfometría de AM7 para arena muy gruesa y arena gruesa.....	50
Figura 33.- Distribución porcentual de pérdida a 550° para el grupo de arenas.....	51
Figura 34.- Distribución porcentual de pérdida a 550° para el grupo de gravas.....	52
Figura 35.- Distribución porcentual de pérdida a 750° para el grupo de arenas.....	54
Figura 36.- Distribución porcentual de pérdida a 750° para el grupo de gravas.	55
Figura 37.- Regresiones lineales para carbono orgánico	56
Figura 38.- Distribución porcentual de carbono orgánico para el grupo de arenas. .	57
Figura 39.- Distribución porcentual de carbono orgánico para el grupo de gravas...	58
Figura 40.- Regresiones lineales para carbono total por LECO.	60
Figura 41.- Distribución porcentual ponderada para cada uno de los análisis.	62

INDICE DE TABLAS

Tabla 1.- Clasificación de los sedimentos de acuerdo a su tamaño de grano.	7
Tabla 2.- Distribución granulométrica de las muestras de sedimentos, de acuerdo a la zona de recolección.	39
Tabla 3.- Resultados de Carbono total por el LECO y por contribución de carbono orgánico e inorgánico para algunas muestras.	61

I. INTRODUCCIÓN

Los ambientes glaciares son ambientes compuestos, donde están presentes ambientes fluviales, eólicos y lacustres. Los depósitos glaciares, a pesar de que fueron de gran importancia en el pasado geológico, solo representan una parte relativamente pequeña del registro de los conjuntos de roca. Actualmente, los glaciares cubren tan solo el 10% de la superficie terrestre de los cuales el 86% de esto se encuentra en la Antártida. Es importante resaltar que el 80% del agua dulce de todo el planeta está ligada al hielo glacial. ^[1]

El ambiente glacial está definido por aquellas zonas en las que la cantidad de hielo y nieve que se acumulan en invierno, son mayores a las cantidades de estos que se pierde por deshielo en verano. Estos ambientes son importantes puesto que representan una gran fuente de información sobre los cambios ambientales que ocurren en nuestro planeta, especialmente en la actualidad, donde el calentamiento global acelerado por la actividad del hombre, ha incrementado la tasa de deshielo en este tipo de ambientes.

Debido a la escasez de zonas libres de hielo y nieve en general, menos del 1% de la superficie antártica, poco se sabe sobre la influencia del deshielo permanente en la formación del suelo. Así mismo la presencia de hielo subterráneo afecta a la distribución de los componentes en agua y en la fase sólida de los suelos. ^[2]

Es por esto que nuestra zona de estudio es en la Antártida específicamente en la península Fildes Isla rey Jorge o 25 de Mayo. Esta zona presenta afloramientos con restos de fósiles que van desde el Cretáceo Superior al Eoceno, también se encuentran presentes relictos biológicos como los son las angiospermas, gimnospermas, helechos y esfenolitas. ^[3]

Debido a ello el objetivo principal de este trabajo, es estudiar la distribución y acumulación de carbono en clases de tamaños contrastantes de partículas de sedimentos provenientes del glaciar Collins, isla Rey Jorge en el continente Antártico.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Los ambientes glaciales pueden ser definidos como todas aquellas áreas que se encuentren en contacto directo con una masa de hielo denominada glacial. Este tipo de ambiente está definido en diferentes zonas; a saber: (1) zona basal o subglacial, influenciada por el contacto con el cauce o banco; (2) zona supraglacial, la cual es la superficie superior del glacial; (3) zona de contacto de hielo, que se encuentra en todo el margen del glacial; y (4) zona englacial, que forma parte del interior del glacial. ^[1]

La zona basal de un glaciar está caracterizada por la erosión y la recolección de la capa subyacente. Los sedimentos removidos por la erosión se incorporan en el lecho del glaciar. Estos sedimentos causan un incremento en la fricción con el banco del glaciar a medida que se mueve causando la abrasión y erosión del banco. El supraglacial y las zonas de contacto de hielo son las zonas de fusión o ablación, donde los sedimentos englaciales que son llevados por el glaciar se acumulan mientras ocurre el deshielo. ^{[1], [2]}

2.1.- Transporte y depositación de ambientes glaciares

Los glaciares pueden fluir a tasas tan altas como 80 m por día durante oleadas esporádicas; sin embargo, las tasas de flujo típicos son del orden de centímetros por día. Los glaciares avanzan si la tasa de acumulación de nieve en los tramos superiores (cabeza) del glaciar supera la tasa de ablación (fusión) de hielo en la parte baja (morro) ^[1]. En la Figura 1 se muestra el balance entre acumulación y ablación y como el hielo debe fluir desde el interior de la cabeza del glaciar para así reemplazar la pérdida por la fusión de la parte baja (morro). El flujo del hielo es laminar, y la velocidad del flujo es mayor cerca de la parte superior y central del glaciar. La velocidad disminuye hacia las paredes y el piso, aunque no necesariamente se hace cero. Los glaciares se retiran si la tasa de fusión es mayor a la tasa de acumulación. Existe un estado de equilibrio, no se retira ni avanza, cuando la tasa de fusión y acumulación es igual, aunque el movimiento interno del hielo continúa ^{[1], [4]}.

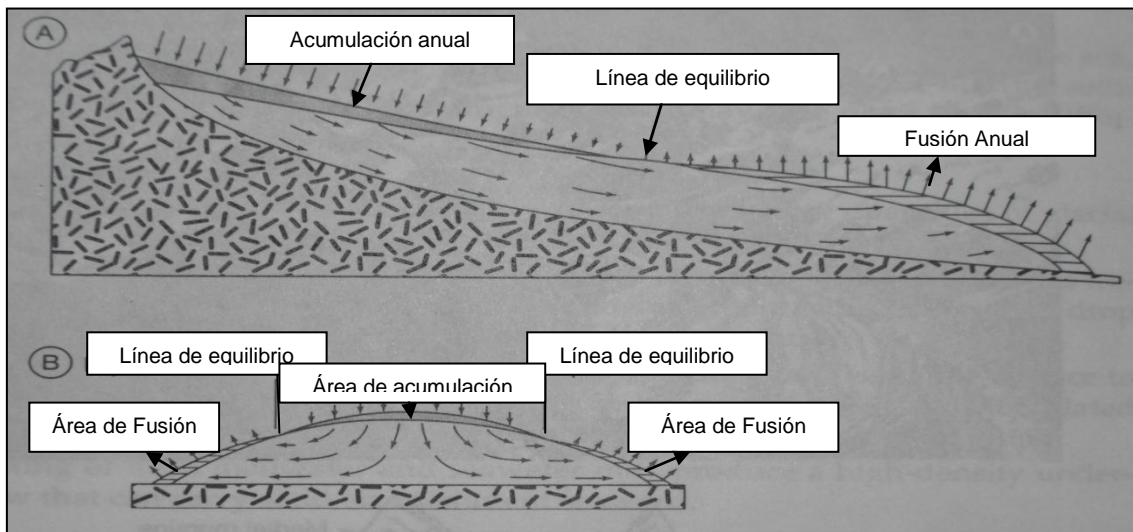


Figura 1.- Balance entre acumulación y ablación. ^[1]

El sedimento es arrastrado por los glaciares mediante la extracción y abrasión del hielo del glaciar, el cual es erosionado en el banco producto de la caída o deslizamiento del material de las paredes del valle y el piso, y es el responsable en gran parte de la abrasión. Parte de la carga restante es llevada en la superficie del glaciar y parte es llevada dentro de este. ^[1]

El término general empleado para todo lo que es directamente depositado por el hielo es till, si este no está consolidado y tillita si está litificado. Estos términos implican procesos de depositación. En la Figura 2 puede observarse los tills de acuerdo a su origen, clasificándose estos como:

- **Tills Meltout**, los cuales son depositados producto de derretimiento del hielo como la acumulación de material en un frente glaciar.
- **Tills Lodgement**, se forman por el endurecimiento de sedimentos en la base de un glaciar en movimiento, y el proceso de corte durante el movimiento del hielo puede dar lugar a clastos con orientación de flujo paralelo.
- **Tills Basal**, son el conjunto de tills lodgement y tills meltout.
- **Tills Flow**, los cuales son acumulaciones de sedimentos glaciares retrabajados por flujos de gravedad. ^[4]

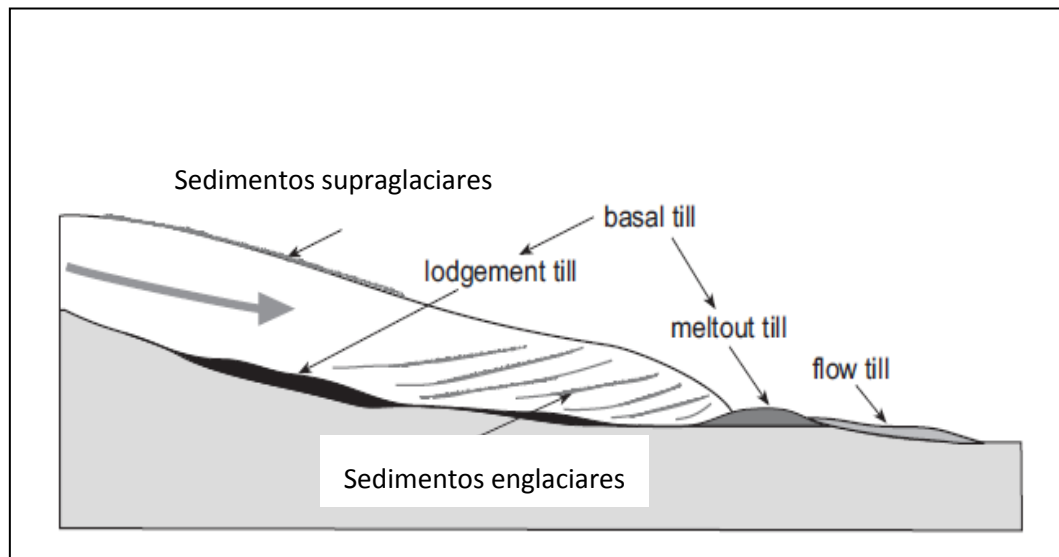


Figura 2.- Depósitos de tills como resultado de la acumulación de sedimentos de un glaciar. ^[4]

2.1.1.- Morrenas

La acumulación de till formado directamente en los márgenes del glaciar son denominados morrenas. Existen diferentes tipos de morrenas:

- **Morrenas terminales**, marcan el límite del avance de los glaciares y las crestas que se encuentran en el valle.
- **Morrenas de empuje**, formadas cuando el frente del glaciar actúa como excavadora, raspando los sedimentos del fondo del valle, posteriormente apilados en la parte alta del frente del glaciar.
- **Morrenas volcadas**, forman la parte baja del glaciar donde el deshielo mantiene el ritmo del avance de los glaciares.
- **Morrenas laterales**, se forman cuando el glaciar se retira y el deshielo libera los detritos acumulados en los laterales del glaciar. En la Figura 3 se observa una fotografía de una morrena lateral izquierda con retroceso del valle glaciar.



Figura 3.- Morrena lateral izquierda con retroceso del valle del glaciar Collins, Antártida. ^[4]

2.1.2.- Zona periglaciaria

Una zona periglaciaria es aquella que se encuentra rodeando una masa de hielo en un glaciar. En estas zonas las temperaturas son bajo cero la mayor parte del año, donde los suelos se encuentran en gran parte congelados formando una región permafrost (permanentemente congelada). Aquí solo los suelos y sedimentos que están cerca de la superficie deshielan durante el verano, no obstante a una profundidad de unas pocas decenas de centímetros por debajo del suelo este sigue estando congelado. La fina capa de material descongelado es anegada, por lo que no puede drenar debido a que la parte inferior del suelo se encuentra congelado. Esta capa superior móvil puede ser inestable en las laderas y depresiones. Una característica muy importante de estas regiones de permafrost es que están compuestas de depósitos de gravas formando ciclos repetidos de congelación y descongelación de la capa móvil superior y de las cuñas de hielo las cuales son rellenadas posteriormente por sedimentos. ^[4]

2.2.- Suelos y sedimentos

2.2.1.- Sedimentos y transporte

Un depósito sedimentario es un cuerpo sólido de materiales que se acumulan en la superficie de la tierra o cerca de esta, bajo presiones y temperaturas que caracterizan normalmente este ambiente. ^[5]

La sedimentación es conocida como un proceso de acumulación de sedimentos y se aplica sobre todo a la acumulación de partículas sólidas de un fluido. ^[6]

Los materiales disgregados producto de la meteorización (sedimentos) son transportados por los agentes geológicos (agua, hielo o viento) hasta los lugares de acumulación (cuencas sedimentarias). En las corrientes de agua existen partículas que se desplazan por el fondo de la corriente (carga de fondo) y otras que lo hacen en suspensión o disolución.

En las acumulaciones de agua (lagos, mares, océanos) pueden aparecer corrientes en las que los materiales se mueven de manera similar a como lo hacen en las corrientes de agua continentales, pero generalmente con velocidades menores. Las olas originan turbulencias y fricción sobre el fondo que remueven los sedimentos y mantienen las partículas finas en suspensión. El transporte realizado por las corrientes de aire es físicamente idéntico al de las corrientes de agua, con menor eficiencia en el transporte, por la diferencia de viscosidad y de densidad. Además, el viento no transporta materiales en disolución. Los choques de las partículas provocan un rápido redondeamiento de las partículas más gruesas.

El hielo, dada su gran viscosidad, se mueve lentamente y con ausencia de turbulencia. Los depósitos están muy mal clasificados y sólo existe desgaste de los materiales que arrastra por el suelo. ^[7]

De acuerdo al tamaño de grano los sedimentos pueden ser clasificados como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 1.- Clasificación de los sedimentos de acuerdo a su tamaño de grano. ^[8]

Clases de tamaños de partículas (μm)	Nombre tamaño textural
256000 – 2000	Grava
2000 – 1000	Arena muy gruesa
1000 – 500	Arena gruesa
500 – 250	Arena media
250 – 125	Arena fina
125 – 63	Arena muy fina
63 – 37	Limo
< 37	Arcilla

2.2.2.- Procesos de sedimentación

Los sedimentos están compuestos mayormente por partículas de rocas y minerales provenientes del rompimiento de materiales antiguos, partículas producidas por la actividad vital de plantas y animales, y cristales precipitados de soluciones saturadas en la superficie de la Tierra o cerca de esta. Los sedimentos en cualquier lugar de la Tierra pueden estar compuestos por una combinación de estos tres componentes ^[6].

Los principales procesos de sedimentación son:

- Meteorización de materiales antiguos, ocurre cuando las rocas, sedimentos, o conchas de organismos quedan expuestos en la superficie de la Tierra e interactúan con la atmósfera y la hidrósfera. Como resultado de esta interacción, las diferentes especies minerales que conforman las rocas expuestas se desestabilizan produciéndose un conjunto de cambios físicos y

químicos que se denomina meteorización. Por lo tanto, la meteorización es la disgregación de una roca en o cerca de la superficie de la Tierra.

- Erosión incluye la meteorización y el transporte del material. La meteorización al reducir la consistencia de las rocas, conlleva a la erosión. Un agente importante de fragmentación es la alternancia de congelamiento y deshielo en una fisura, lo cual puede romper una roca que esté bien consolidada ^[5], ^[6].



Figura 4.- Fotografía del permafrost en el Glaciar Collins, Continente Antártico.

2.2.3.- Actividad biológica en la sedimentación

Los sedimentos derivados de plantas y animales son llamados sedimentos biogénicos; entre estos los más abundantes son las conchas de organismos marinos. Ellas frecuentemente constituyen una gran porción de los sedimentos acumulados cerca de la costa o en el piso oceánico. El calor y claridad de aguas someras son óptimas para el crecimiento de muchos organismos que secretan carbonato de calcio (CaCO_3). El carbonato de calcio puede estar en forma de calcita o de su polimorfo aragonito.

Por su parte se puede encontrar sedimentos de tipo biogénico como la turba, el cual es formado a partir de materiales de plantas que se acumulan en pantanos. Luego que la turba es enterrada comienza una lenta transformación en carbón.

2.2.4. Transporte y depositación de sedimentos

En el transporte por viento y glaciares, la mayoría de los sedimentos son arrastrados como partículas discretas suspendidas en el flujo. En los glaciares, las partículas pueden ser llevadas en la parte superior o dentro de estos. El transporte por agua, sin embargo, envuelve una gran variedad de mecanismos físicos y químicos. Las partículas más grandes, como gravas, se deslizaran o rodaran por las pendientes del sustrato; las partículas de arena pueden rebotar por las pendientes del sustrato y los limos y arcilla estarán suspendidos dentro del flujo, son estas últimas las que hacen ver turbia el agua.

Los sedimentos transportados por agua y viento son depositados cuando la energía cinética del flujo decrece. Cuando las partículas son depositadas, se acumulan en capas en la superficie.

Las partículas transportadas por glaciares son depositadas cuando ocurre el deshielo y el material llevado dentro y sobre el glaciar se sitúa en el fondo. ^[7]

2.2.5.- Suelos

Los suelos son sistemas naturales abiertos que se forman en la superficie de la corteza terrestre donde viven plantas y gran diversidad de microorganismos, cuyas características y propiedades se desarrollan por la acción de los agentes climáticos y bióticos actuando sobre los materiales geológicos, acondicionados por el relieve y el drenaje durante un período de tiempo.

En la definición de suelo que ofrece el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 1998), este es considerado como un cuerpo natural formado por una fase sólida (minerales y materia orgánica), una fase líquida y una fase gaseosa que ocupa la superficie de la tierra, organizada en horizontes o capas de materiales distintos al material parental, como resultado de adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones de materia y energía, que tiene capacidad para servir de soporte a

las plantas con raíces en un medio natural. Los límites superiores del suelo son la atmósfera, las aguas superficiales poco profundas (es decir, que pueden soportar el crecimiento de raíces), las plantas vivas o el material orgánico que no ha comenzado a descomponerse. Los límites horizontales los constituyen áreas donde el suelo es invadido por aguas profundas (más de 2,5 m), materiales estériles, rocas o hielo. El límite inferior está constituido por la roca dura y continua. De manera arbitraria, la profundidad máxima del suelo se establece en 2m. De este modo, la visión del suelo como una intersección de atmósfera, litosfera, hidrosfera y biosfera ha dejado paso a un concepto de suelo como un subsistema de los ecosistemas terrestres.

De acuerdo a esta definición de suelos podemos descartar las muestras recolectadas como tales, ya que se ajustan más a la definición de sedimentos que de suelos, puesto que el área donde fueron recolectadas estas muestras ha sufrido de procesos como erosión, meteorización y transporte ^{[6], [9]}.

2.2.6.- Procesos de formación del suelo

Desde un punto de vista global en el suelo se pueden encontrar tres tipos de procesos generales:

- Aporte, alteración y pérdida del material litológico.
- Aporte, alteración y pérdida del material orgánico.
- Reorganización de ambos materiales por mezcla, agregación, translocación y diferenciación.

Es decir, que los complejos procesos de transformación de un suelo se reducen a adiciones, transformaciones, transferencias y pérdidas de materiales. Básicamente, se trata de sólo tres procesos: meteorización física, alteración química y translocación de sustancias. Estos procesos afectan tanto a la fase mineral como a la fase orgánica del suelo y constituyen lo que tradicionalmente se denomina como los procesos básicos o generales en la formación del suelo ya que actúan siempre en la formación de todos los suelos. ^[9]

La meteorización física conlleva sólo a la desintegración o pulverización de la roca madre. Al disminuir el tamaño de las partículas la meteorización química ocurre con

mayor rapidez y conduce a la transformación de la composición de los materiales. Los procesos de transformación física se deben a:

- La acción de las altas temperaturas.
- La acción de bajas temperaturas que provocan la congelación del suelo.
- Las variaciones de volumen al cristalizar algunas sales.
- Las presiones radicales del sistema. ^[10]

Los procesos de translocación se realizan debido a la acción del agua. Normalmente, el movimiento del agua en el perfil es descendente. En los procesos de translocación pueden distinguirse dos fases distintas:

- Eluviación. Es la fase inicial de movilización de materiales que constituyen la capa superficial del suelo.
- Iluviación. Es la fase de inmovilización o acumulación de sustancias procedentes de las capas superiores del suelo en las zonas más profundas. ^[8]

2.2.7.- La roca como factor formador del suelo

La composición mecánica, química y mineralógica de los suelos en las primeras etapas de desarrollo de los mismos, se determina por la composición de las rocas formadoras y solamente en etapas de evolución y desarrollo posteriores, cuando se forman perfiles de suelos maduros, con horizontes bien diferenciados, sobre todo en las regiones tropicales, los suelos adquieren propiedades muy diferentes a las de la roca original. No obstante, las rocas formadoras del suelo ejercen una fuerte influencia en la composición y propiedades de la masa del suelo, en la formación de diferentes regímenes hídrico, térmico y gaseoso del suelo y en la velocidad e intensidad de los procesos que en el mismo tienen lugar. ^[11]

Existen diversos trabajos que hacen referencia a suelos de la Antártida, todos están relacionados con los efectos producidos por la fauna y la actividad biológica para su formación, pero existen dudas de cómo se produjeron los importantes procesos pedogenéticos encontrados en algunos suelos de la región. ^[12]

Es importante resaltar que es difícil observar en los suelos Antárticos horizontes bien diferenciados producto de la presencia del permafrost y del deshielo.

2.2.8.- Factores Biológicos en la formación del suelo

En la naturaleza ocurre el ciclo biológico de las sustancias y transcurre como resultado de la actividad vital de las plantas superiores y de los microorganismos con el suelo.

Este ciclo se produce de manera constante y e interrumpidamente por intermedio de las plantas y los microorganismos. Las plantas se apoyan en la nutrición mineral, que conjuntamente con el CO₂ de la atmósfera y del agua utilizan la energía solar y crean la parte orgánica de los vegetales, como son: proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y otros. Los microorganismos descomponen la materia orgánica de los residuos vegetales y desperdicios de los animales, regresando al suelo los elementos minerales, creando así una constante de las sustancias. ^[11]

En el caso de los suelos Antárticos la mayor parte de la materia orgánica es producto de especies vegetales como algas, líquenes, musgos y gramíneas; así como también, de la actividad biológica de la Fauna que allí habita.

2.3.- Carbono en suelos y sedimentos

2.3.1.- Carbono orgánico en suelos y sedimentos

El contenido de carbono orgánico en suelos y sedimentos es el resultado neto de las tasas de entrada de carbono (tasa neta de fotosíntesis) y la descomposición orgánica. El contenido de materia orgánica de los suelos arenosos tiene un rango de 0,5% o menos en la superficie de los suelos desérticos, y 5% en el horizonte de superficie mineral. El contenido de materia orgánica disminuye drásticamente con la profundidad.

En suelos pantanosos, el contenido de carbono tiende a ser independiente del clima. El principal factor que limita la velocidad de desintegración de materia orgánica es la tasa de difusión de oxígeno por el llenado de agua a través de los poros del suelo.

[13]

La importancia de la cuantificación del carbono orgánico de los suelos y sedimentos, e indirectamente de la materia orgánica, se fundamenta en la influencia que ésta tiene sobre muchas de las características del mismo, como son: el color, formación de agregados, plasticidad, cohesión, capacidad de retención de humedad, intercambio catiónico y aniónico, disponibilidad de N, P y S, producción de sustancias inhibitoras y activadoras del crecimiento de microorganismos del suelo, participación en los procesos pedogenéticos, por sus propiedades de peptización, coagulación y formación de quelatos .^{[10]. [14]}

2.3.2.- Carbonato en suelos y sedimentos

En el suelo, la disolución de los carbonatos y su movilización se ve favorecida por aquellos procesos metabólicos microbianos que producen ácidos orgánicos o inorgánicos.

La precipitación biológica del carbonato de calcio es la más común en los suelos y esta junto con su solubilización como bicarbonato de calcio es de gran importancia, ya que la precipitación de carbonatos está ligada a fenómenos como la formación de exoesqueletos de muchos microorganismos y de algunos vertebrados.^[15]

Los sedimentos carbonaticos dominan extremadamente el registro sedimentario de la tierra. Los carbonatos precipitan continuamente en la tierra bajo cualquier condición climática. La comprensión de los controles termodinámicos es de gran ayuda para el modelado de las condiciones en las cuales estos precipitaron en el pasado. La fotosíntesis biótica, la respiración y otros aspectos del metabolismo celular pueden alterar con frecuencia el estado termodinámico de microambientes mejorando la precipitación de carbonatos.^[16]

2.3.1.- Ciclo del carbono

El ciclo del carbono es un mecanismo regulador complejo debido a la enorme cantidad de transformaciones que sufre el carbono en nuestro planeta. Se han identificado numerosos procesos naturales que suministran cantidades importantes de dióxido de carbono en la atmósfera (CO₂), mayores que las debidas a la quema de combustibles fósiles o a la deforestación.

El ciclo del carbono puede descomponerse a su vez en dos ciclos acoplados que ocurren a diferentes velocidades. El ciclo más rápido es el biológico, dominado por la

actividad fotosintética de las plantas y el fitoplancton marino. El más lento es el biogeoquímico, encargado de regular la transferencia entre los suelos y la atmósfera. ^[17]

La última fuente de carbono es el dióxido de carbono, el cual se transforma en compuestos orgánicos por la fotosíntesis. En la naturaleza, el movimiento del carbono es de la reserva de dióxido de carbono atmosférico a las plantas verdes y de ahí a los consumidores, y continúa a los organismos microbianos que descomponen la materia orgánica. Las algas y las bacterias autótrofas también incorporan carbono del CO₂ atmosférico para producir carbohidratos y otras sustancias orgánicas complejas. Estas se distribuyen a través de la cadena alimenticia y constituyen los tejidos de la materia viva. Los combustibles fósiles, las rocas de carbonatos y el dióxido de carbono disuelto en los océanos son importantes reservas adicionales de carbono, aunque los dos primeros no son accesibles para las plantas y animales. Estas fuentes de carbono quedan disponibles cuando el CO₂ se libera durante la quema de combustible fósiles y por la acción de CO₂, producto de la descomposición microbiana.

El componente geológico del ciclo del carbono comprende:

- 1.- Acumulación, descomposición lenta y compactación del material vegetal para formar turba, carbón y petróleo.
- 2.- Acumulación y compactación de cochas de animales y esqueletos microscópicos de diatomeas para formar rocas carbonatadas. El carbonato de calcio también se precipita en aguas dulces cuando las algas extraen CO₂ del agua, con lo que aumenta el pH.

Los puntos más importantes de este ciclo son:

- 1.- Las plantas terrestres obtienen el carbono del dióxido de carbono gaseoso.
- 2.- Las plantas acuáticas obtienen el carbono de bicarbonatos.
- 3.- Los complejos de carbono que se forman en los puntos anteriores son devueltos a sus formas originales por actividad microbiana. ^[18]

En la Figura 5 se muestra un esquema con el ciclo del carbono de manera resumida en donde observamos dos procesos principales uno de fijación, en donde se fija el

CO₂ en las bacterias autótrofas, y un proceso de combustión en donde se libera el CO₂ en los fósiles.

Este ciclo implica también el proceso de fotosíntesis, por medio del cual el CO₂ se transforma en compuestos orgánicos.

Cabe destacar que los restos de animales, los microorganismos y las bacterias son los principales contribuyentes en el ciclo general del carbono

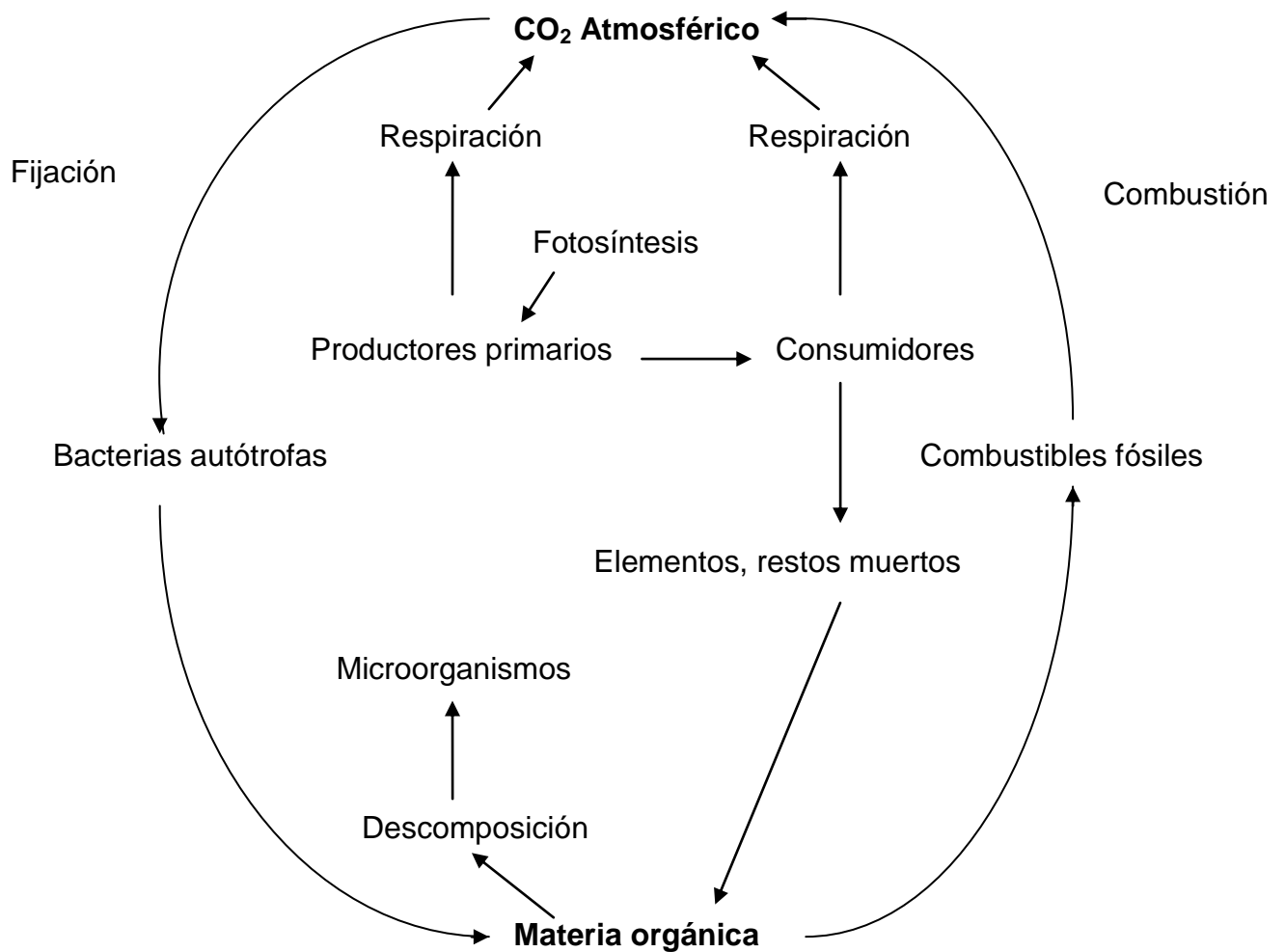


Figura 5.- Ciclo del Carbono.

2.4.- Determinación de carbono en sedimentos

2.4.1.- Determinación de carbono orgánico total en sedimentos

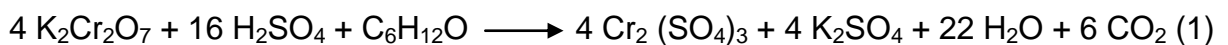
Conociendo el contenido de carbono orgánico total se puede determinar la cantidad de materia orgánica, multiplicando este contenido por el factor convencional de Vammelen (1,724), el cual ha sido obtenido de la consideración de que la materia orgánica de los suelos contiene 58% de carbono. ^[14]

En la estimación del carbono orgánico total se utilizan principalmente dos métodos:

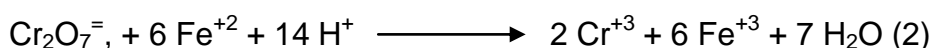
1.- Combustión seca de carbono, en el cual una muestra de suelo se calienta gradualmente en una corriente de oxígeno purificado a 900°. El carbono orgánico e inorgánico del suelo se convierte en CO₂. El CO₂ desprendido se analiza por volumetría, cromatografía de gases, espectrometría infrarroja o gravimetría. ^[19]

2.- Combustión húmeda del carbono basada en la reducción del anión dicromato (Cr₂O₇²⁻) y la posterior evaluación de dicromato no reducido.

El método más ampliamente utilizado, es el de combustión húmeda de Walkley - Black, el cual se fundamenta en la siguiente ecuación de óxido reducción:



La determinación consiste en la oxidación del carbono orgánico por una mezcla oxidante de dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇) y ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄), acelerada por el calor de disolución del H₂SO₄ en agua. El carbono orgánico reduce los iones Cr⁺⁶ amarillo - naranja a iones Cr⁺³ de color verde. Walkley y Black (1934) encontraron que por este método, sólo el 75% del carbono orgánico es oxidado. Estequiométricamente, en la ecuación (1), puede determinarse la cantidad de dicromato en exceso que no interviene en la reacción, mediante la técnica de valoración. Normalmente, con esta técnica se utiliza una solución de sulfato ferroso (FeSO₄ o Sal de Mohr), de concentración conocida, y la difenilamina como sustancia indicadora del punto de equivalencia o punto final, esto de acuerdo a la reacción de óxido reducción siguiente:



El método de Walkley-Black, por su parte, ha sufrido diversas modificaciones, con la finalidad de mejorar la precisión de los valores obtenidos. Graham (1948), fue el primero en sustituir la valoración por la técnica colorimétrica para los análisis rutinarios, usando el verde del ion Cr^{+3} reducido como una medida directa de la cantidad de carbono oxidado. ^[14]

2.4.2.- Determinación de carbonatos en sedimentos.

Varios métodos son empleados para la determinación de carbonatos en sedimentos entre los más resaltantes se tienen:

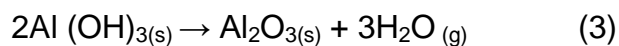
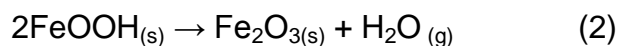
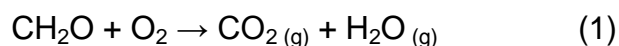
1.- Método de destilación al vacío y titulación, en el cual el CO_2 se libera al vacío, empleando HCl de baja concentración y a bajas temperaturas (50 a 55°) en presencia de SnCl_2 como agente anti-oxidante. Estas condiciones disminuyen la tendencia del carbono orgánico de desprenderse como CO_2 . El CO_2 es recogido por medio de vapor de agua en un recipiente que contiene $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Finalmente el $\text{Ba}(\text{OH})_2$ no precipitado se titula como BaCO_3 . ^[20]

2.- Método gravimétrico, el CO_2 se desprende al tratar la muestra de sedimento con H_2SO_4 2N conteniendo FeSO_4 como agente anti-oxidante para prevenir la producción de CO_2 proveniente del carbono orgánico. La corriente de aire que contiene el CO_2 desprendido se purifica haciéndola pasar a través de de unas trampas que permitan remover el agua y finalmente el CO_2 es absorbido en un bulbo de absorción Nesbitt. El contenido de CO_2 se obtiene por la diferencia de pesada del bulbo antes y después de la absorción. ^[20]

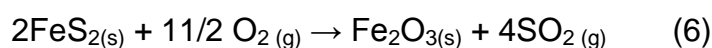
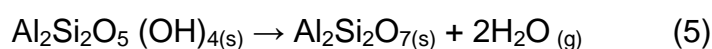
3.- Método termogravimétrico, consiste en la determinación de los cambios de masa en función de la temperatura ^[21]. Según esta técnica se pueden caracterizar materiales, ya que a cada temperatura se promueven distintas reacciones, teniendo establecido que:

- A 105°C hay pérdida del agua de humedad. ^[21]
- Entre 105°C y 450°C en presencia de oxígeno tiene lugar la combustión de la materia orgánica y son deshidratadas fases minerales como los oxihidróxidos de hierro y aluminio y el yeso como se muestra en las ecuaciones 1, 2, 3 y 4.

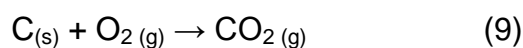
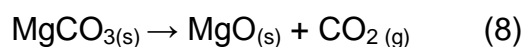
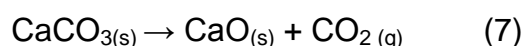
^{[21],[22]}



- Entre 450°C y 550°C ocurre la descomposición de las arcillas y de sulfuros de hierro según las reacciones 5 y 6 ^{[23], [24]}:



- Entre 550°C y 750°C se da la descomposición térmica de los carbonatos de calcio y magnesio, además de la combustión del grafito, como es mostrado en las ecuaciones 7, 8 y 9: ^{[25], [26]}



Previamente las muestras son tratadas con ácido clorhídrico, se calienta gradualmente en una corriente de oxígeno purificado a 900°. El carbonato se convierte en CO₂. El CO₂ desprendido se analiza por volumetría, cromatografía de gases, espectrometría infrarroja o gravimetría. ^[19]

2.5.- Descripción de la zona de estudio

2.5.1.- Información general

La Base Científica Antártica Artigas, es una base uruguaya dedicada a la investigación científica. Fue fundada el 22 de diciembre de 1984, estando abierto todo el año. Proporciona el apoyo logístico necesario para la realización de actividades científicas de diversa índole tanto de los programas antárticos nacionales como de los programas antárticos que requieren su cooperación. Se encuentra ubicada en la Isla Rey Jorge, Archipiélago de las islas Shetland del Sur, en las coordenadas 62° 11' 4'' de latitud Sur y 58° 51' 7'' de longitud Oeste a unos

100 Km. de la Península Antártica, a 3012 Km de la ciudad de Montevideo y a 3104 Km del Polo Sur (Figuras 6 y 7) [3].

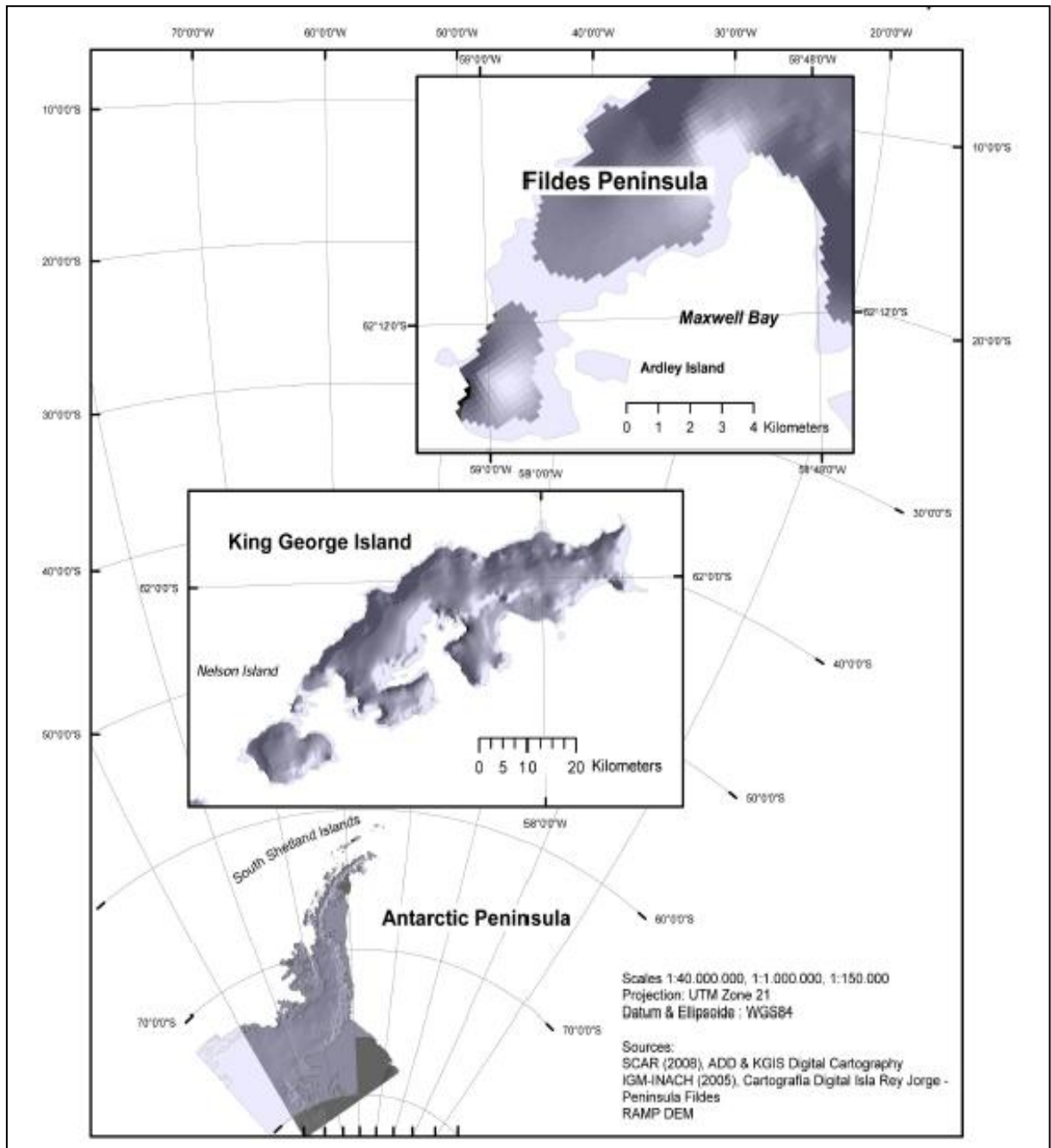


Figura 6.- Mapa de la Isla Rey Jorge, Península de Fildes. [3]

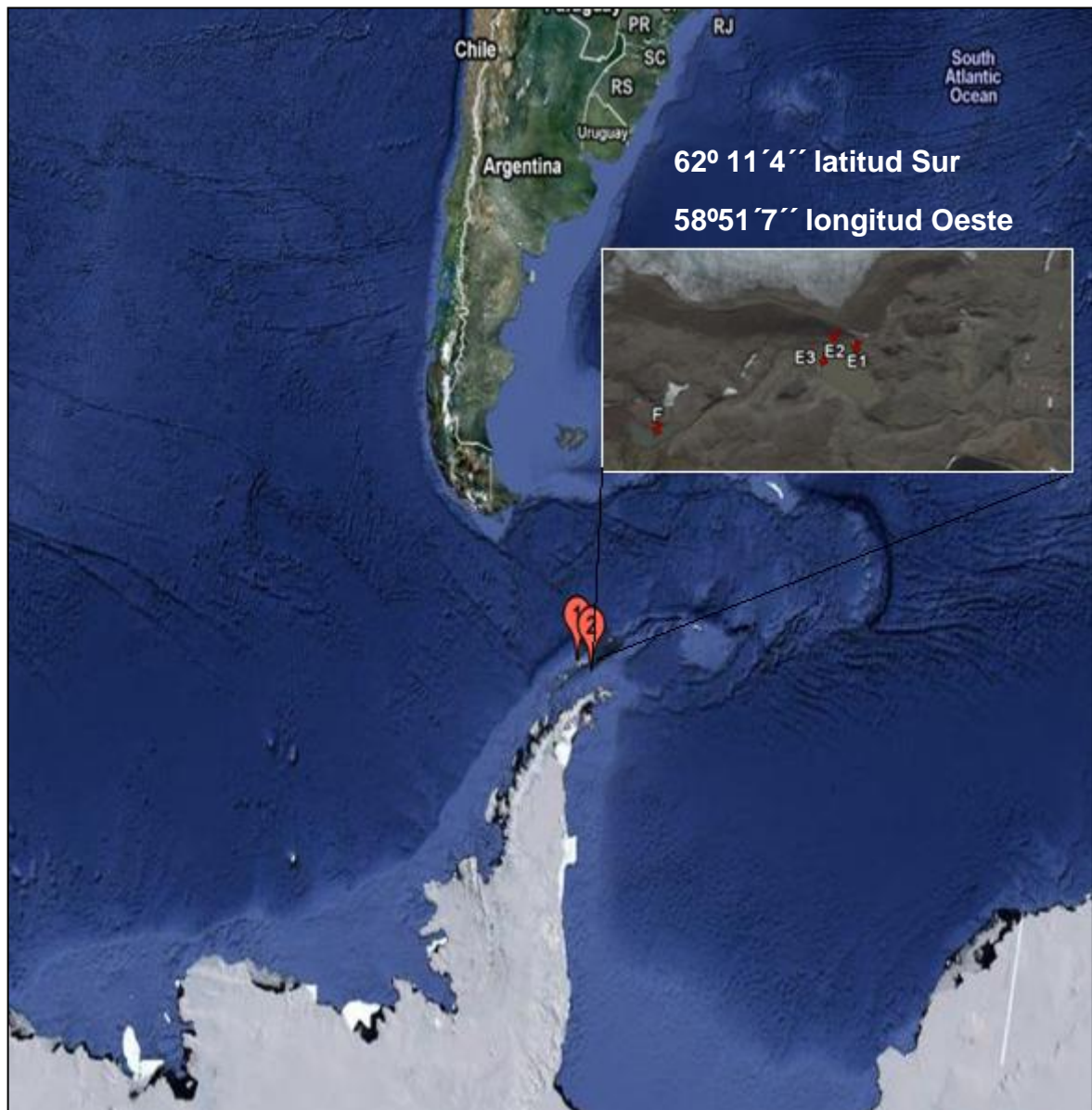


Figura 7.- Vista satelital de la zona de estudio con los puntos de muestreo.

2.5.2.- Geología local

En la Figura 8 se observa un mapa de la península Fildes, isla Rey Jorge (isla 25 de Mayo) la cual presenta afloramientos con restos fósiles de una variedad de organismos, entre ellos icnitas de vertebrados e invertebrados y una abundante flora con improntas de hojas y frondas, troncos y granos de polen y esporas, que van desde el Cretáceo Superior al Eoceno. El Cretácico constituye un periodo crucial de

cambios en la vegetación, debidos en gran medida a la distribución geográfica y evolutiva de las angiospermas. Durante la última parte del Cretácico, las angiospermas se infiltraron progresivamente en la vegetación existente, aunque las gimnospermas, los helechos y las esfenofitas predominaron en la biomasa vegetal terrestre hasta el Cenozoico. Asimismo, el Eoceno representa el periodo más cálido desde las extinciones en masa de fines del Cretácico.

Se ha definido al Grupo Península Fildes, como la unidad estratigráfica constituida en su unidad basal por afloramientos asignados al Cretácico Superior con sedimentos volcanoclásticos en intercalaciones finas, entre rocas andesíticas, y con limolitas, conglomerados tufáceos, areniscas y arcillas suprayacentes, asignados al Eoceno Inferior-Medio). La secuencia representa ambientes continentales en los que predomina vegetación que exhibe elementos boscosos cálidos a templados, con importantes vestigios de la rápida expansión de las angiospermas en la región y el comienzo del predominio de las notofagáceas en los elementos boscosos de la flora antártica.

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

Hay dos zonas extensas con importantes depósitos fosilíferos: el cerro Fósil (62°12'22"S; 58°59'03"O) y el glaciar Dome Bellingshausen (glaciar Collins) (62°10'11"S; 58°55'18"O). Ambos representan secuencias estratigráficas correlacionables, donde la secuencia media del glaciar Dome Bellingshausen (glaciar Collins) correspondería a la porción central de la secuencia de cerro Fósil, en lo que se ha denominado Formación Cerro Fósil. Esta formación consiste en una alternancia de brecha volcánica, lavas, tufitas, areniscas tufáceas y lentes carbonosos, sumando en total unos 13 metros de potencia.

La flora del glaciar Dome Bellingshausen (glaciar Collins) consiste en abundantes restos silicatados 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. ^[3]

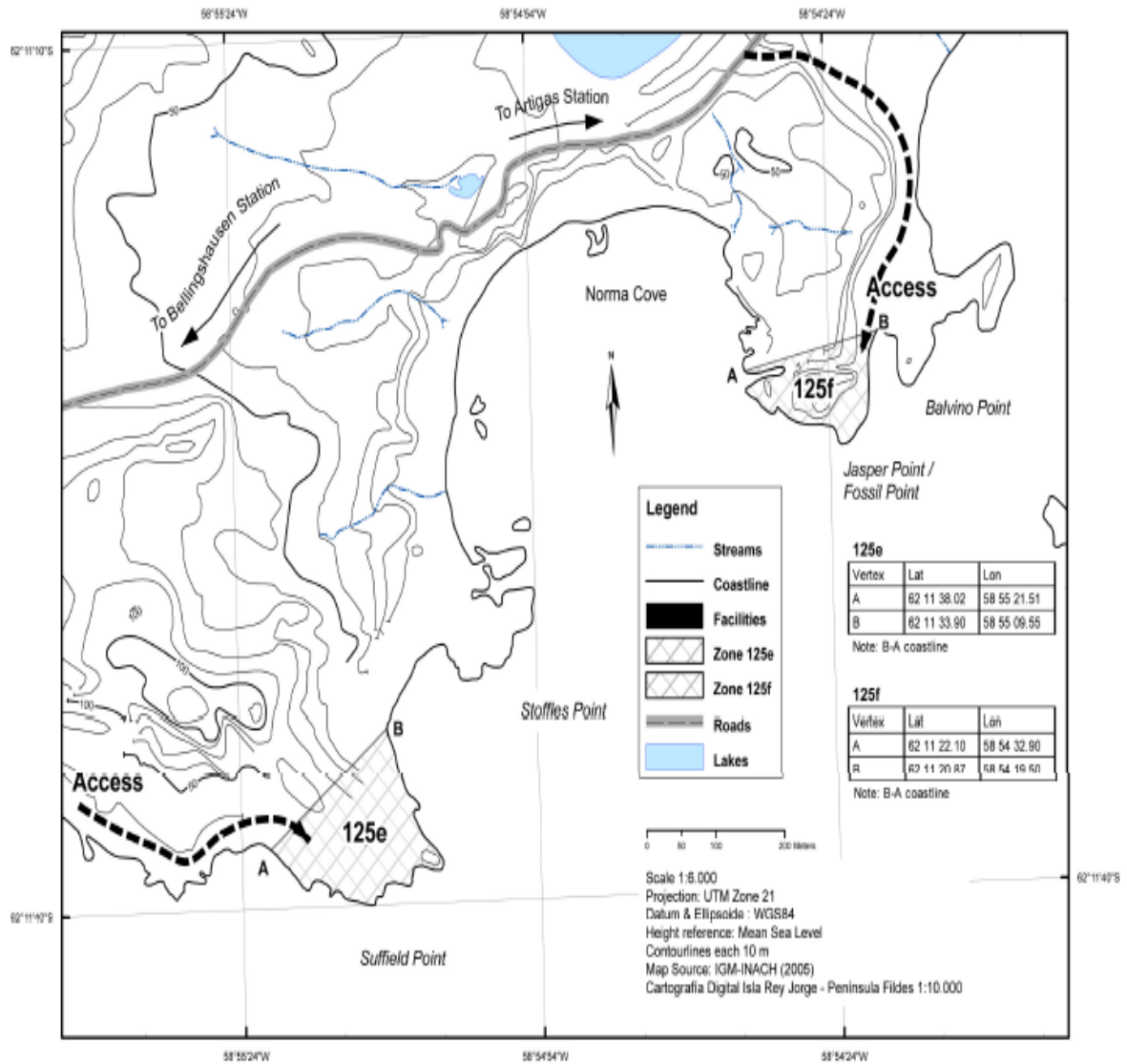


Figura 8.- Mapa de la zona de estudio con información de los lagos adyacentes a la base artigas. [3]

2.6.- Antecedentes.

En la Antártida se han realizado diversos estudios que incluyen análisis de carbono y de otros elementos químicos a continuación se explicará un poco acerca de estos estudios:

Evans y otros (2010) estudiaron la concentración de carbono total en suelos en una ladera y en una cuenca en Tin Camp Creek catchment al norte de Australia. La

cuenca presenta muy poca alteración producto de la agricultura y los resultados mostraron que la concentración de carbono a lo largo de la ladera se ha mantenido constante con el pasar de los años y este contenido está relacionado con la ubicación de la ladera y los factores topográficos. Una evaluación realizada de la relación entre el carbono y la erosión del suelo utilizando ^{137}Cs demostró que el transporte de sedimentos y la deposición no juegan un papel importante en la distribución del carbono en este entorno. La biomasa vegetal parece ser el principal contribuyente a la concentración de carbono siendo fuertemente controlada por factores topográficos. La concentración de carbono fue constante en el periodo de muestre por lo que llegaron a la conclusión de que se requieren más estudios a largo plazo para evaluar una posible variación ^[27].

Burkins y otros (2001) estudiaron los reservorios de carbono orgánico y las tasas de respiración en los suelos para la mayoría de las principales biomásas de la Tierra revelando patrones relacionados con la temperatura, precipitación, y la localización. En su trabajo presentaron los primeros cálculos regionales de los depósitos de carbono orgánico del suelo en los ecosistemas de valle seco (valle de Taylor) y las mediciones del flujo de CO_2 de los suelos antárticos. Estos análisis indican que, a pesar de la ausencia de acumulaciones visibles de materia orgánica en la mayoría de los suelos áridos del valle de Taylor, este ambiente del suelo contiene un porcentaje significativo (hasta un 72%) del depósito de carbono orgánico estacional no congelado en los ecosistemas terrestres. Por último, un cálculo de estado estacionario del tiempo medio de residencia para el carbono orgánico en los suelos del valle Taylor dio 23 años. Debido a que este valor contradice todo lo que se sabe actualmente sobre las tasas de ciclo del carbono en los valles secos, no sugieren la dinámica en el estado estacionario. En su lugar, sugieren que la dinámica es compleja, con al menos dos depósitos de carbono orgánico. También sugieren que el carbono orgánico en el ambiente seco de suelo del valle puede ser más importante, y desempeñar un papel más activo en los procesos del ecosistema a largo plazo ^[28].

Deniss y otros (2008) realizaron investigaciones en donde observaron que a pesar de las condiciones extremas de frío en la Antártida, los valles contienen pequeñas

comunidades de microorganismos que contribuyen a las transformaciones bio-geoquímicas de los bioelementos, aunque a un ritmo lento. Determinaron la deshidrogenasa, las actividades de la fosfatasa alcalina y de la arilsulfatasa y las tasas de producción de CO_2 en el laboratorio análisis de suelos. El objetivo del experimento era poner a prueba las respuestas de la comunidad microbiana del suelo a la adición del Carbono y Nitrógeno de manera simple (glucosamina y NH_4Cl) y de forma compleja (glicina y detritos lacustres del lago adyacente). Las muestras de suelo fueron tomadas tres años después de los tratamientos experimentales que se habían aplicado. En el suelo sin modificaciones, todas las actividades de la enzima y la producción de CO_2 se detectaron lo que indica la capacidad enzimática para mineralizar carbono orgánico, y compuestos de azufre y de fósforo, a pesar del contenido de materia orgánica muy bajo ^[29].

Gajananda (2007) realizó un estudio donde se determinaron los parámetros bio-físicoquímicos del carbono orgánico en el suelo y la actividad microbiana en el oasis Schirmacher al este de la Antártida. Para ello se recolectaron muestras en 14 sitios con escasa vegetación. En su estudio Gajananda encontró que la actividad de deshidrogenasa en el oasis es baja lo que sugiere que la oxidación anaeróbica de carbono orgánico es pobre, también encontró que la correlación del carbono orgánico y la deshidrogenasa con la biomasa vegetal es negativa. El carbono orgánico y las actividades microbianas dependen de la cantidad de productividad de autótrofos y la abundancia. de carbono orgánico total, las cuales se correlacionaron significativamente con deshidrogenasa, lo que indica que el Carbono orgánico es un factor importante en el control del desarrollo de deshydrogenasa en el oasis. De acuerdo a los datos obtenidos en su estudio Gajananda concluyó que el promedio de los datos bio-físicoquímicos en el oasis no se apartan mucho de los respectivos valores promedio donde el carbono orgánico total permanece en el rango del 1-2%, sin embargo, un pequeño cambio en la actividad humana puede provocar impactos a largo plazo en este ecosistema ^[30].

Egli y otros (2010) estudiaron una cronosecuencia de suelos muy jóvenes de la zona proglacial Morteratsch (Alpes suizos), para obtener las tendencias de la acumulación de materia orgánica del suelo y su evolución a través del tiempo. El

contenido de carbono orgánico total, de Nitrógeno y de materia orgánica de diversas fracciones de densidad lábiles (oxidado por H_2O_2) y estables (resistente al H_2O_2) fueron medidos. Realizaron adicionalmente una caracterización de materia orgánica en diversas fracciones mediante la reflexión difusa de infrarrojos por transformada de Fourier (DRIFT). La materia orgánica estable (resistente al tratamiento H_2O_2) representó cerca del 6% del carbono orgánico total y el 10% del nitrógeno total. Concluyeron que al inicio de la formación del suelo, una proporción muy alta de materia orgánica del suelo estuvo presente en las fracciones de densidad $<1,6 \text{ g / cm}^3$ y que luego de aproximadamente 140 años, el 15% del carbono orgánico del suelo y del 35-40% del nitrógeno ya estaba presente en la fracción densidad más alta (más de 2 g / cm^3)^[31].

Elberling y otros (2010) estudiaron la abundancia natural de carbono y la estabilidad de isótopos de nitrógeno de la materia orgánica en los valles secos indicando una procedencia mixta de la materia orgánica del suelo con diferentes proporciones de las contribuciones de los líquenes, musgos, algas derivadas de lagos y cianobacterias. Emplearon dos técnicas complementarias de análisis, las mediciones de biomarcadores por cromatografía de gases / espectrometría de masas y el estado de espectroscopia - disolución ^1H de resonancia magnética nuclear, para proporcionar más información a nivel molecular sobre la composición y la posible fuente de materia orgánica en los suelos del Valle de Garwood, en la Antártida. El predominio de los alcanos ramificados y los lípidos de cadena corta en los extractos de disolvente indicaron que la principal contribución a la materia orgánica es derivada de la actividad microbiana. Por otra parte, la materia orgánica en los suelos de los Valles altos de Garwood contenían compuestos que eran diferentes de los provenientes de las cianobacterias, lo cuales eran dominados por un lago cercano. Esta observación sugiere que las fuentes de carbono fácilmente degradables en el lago cercano no dominan el contenido de materia orgánica, que es consistente con una rápida acumulación de la materia orgánica derivada de la estera que se encuentra en el valle. Este estudio muestra el importante papel de los microorganismos del suelo en la transformación del carbono y en la biogeoquímica terrestre de la Antártida^[32].

Andreas y otros (2011) estudiaron la especiación de carbono y el nivel de carbono orgánico total (COT) mediante análisis termogravimétrico (TGA) y pruebas de degradación química. Para los procedimientos de medición realizaron el estudio en tres tipos de residuos (cenizas de fondo, los desechos residuales y suelos contaminados), encontrando que más del 50% del carbono total en todos los materiales estudiados (72% en cenizas y desechos residuales, y el 59% en el suelo) eran biológicamente no reactivos según lo determinado por el análisis termogravimétrico. La especiación del carbono orgánico total por la degradación química también mostró la presencia de una fracción carbono no degradable en todos los materiales (60% del carbono orgánico total en las cenizas, el 30% de los residuos restantes y el 13% en el suelo), aunque en cantidades inferiores a las determinadas por termogravimetría. Concluyeron, que el método de degradación química puede dar una indicación de la presencia de carbono potencialmente inerte en diversos materiales de desecho, mientras que la termogravimetría es una técnica más precisa para la especiación carbono, dado a que se realizan los ajustes de método específico ^[33].

III. OBJETIVOS

3.1.- Objetivo general

- Estudiar la distribución y acumulación de carbono en clases de tamaños contrastantes de partículas de sedimentos provenientes del glaciar Collins, isla Rey Jorge en el continente Antártico.

3.2.- Objetivos específicos

- Separar y cuantificar los sedimentos en arena muy gruesa (2000-1000), arena gruesa (1000-500 μm), arena media (500-250 μm), arena fina (250-125 μm), arena muy fina (125-63 μm), limo (63-37 μm) y arcilla (<37 μm).
- Determinar el patrón de distribución y acumulación de carbono orgánico en clases de tamaños contrastantes provenientes de sedimentos del glaciar Collins.
- Determinar el patrón de distribución y acumulación de carbono inorgánico en clases de tamaños contrastantes provenientes de sedimentos del glaciar Collins.
- Determinar el patrón de distribución de acumulación de carbono total en clases de tamaños contrastantes provenientes de sedimentos del glaciar Collins.

IV. PARTE EXPERIMENTAL

4.1. Método de campo

4.1.1.- Muestreo

Las muestras fueron recolectadas en Febrero del 2009. La Figura 9 muestra una imagen satelital tomada de Google Earth de la zona de estudio en donde se observan los puntos de muestreo: costa del Lago Periglaciario y áreas en pendiente adyacentes al glaciar Collins. Para este muestreo se establecieron las estaciones 1, 2 y 3, en las que se tomaron un total de 11 muestras

Para la estación 1 fueron recolectadas las muestras AM1 y AM2, para la estación 2 corresponden AM3, AM4, AM5, AM6 y AM7 y para la estación 4 corresponden AM8, AM9, AM10 y AM11, estas se pueden observar en la Figura 10. Posterior a esto fue tomada una muestra en un punto F perteneciente al lago ubicado al norte del lago Periglaciario, la cual se muestra en la Figura 11 y corresponde a AM12, que forma parte de la misma micro-cuenca cuyo afluente drena a la bahía Collins.

El muestreo fue realizado en la II Expedición Científica Venezolana al continente Antártico, por el profesor Alonso D. Ojeda del Laboratorio de Estudios Ambientales, perteneciente al Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET) de la Facultad de Ciencias, UCV.



Figura 9.- Fotografía satelital de los puntos de muestreo.



Figura 10.- Lago periglacial donde fueron recolectadas las muestras, afluente Norte.



Figura 11.- Lago al norte del Lago Periglaciar que origina el afluente norte. Área de colección de la muestra de F.

Las Figuras 12 y 13 muestran las fotografías del proceso de recolección de las muestras de sedimentos



Figura 12.- Fotografía de toma de muestras en la zona 1.



Figura 13.- Fotografía de toma de muestras en la Estación 2.

4.2.- Método de laboratorio

4.2.1.- Tratamiento de las muestras

El procedimiento general llevado a cabo para el tratamiento de las muestras es explicado a continuación:

- Separación granulométrica de las muestras por medio del tamizado en húmedo, empleando tamices de 10, 18, 35, 60, 120, 230 y 325 mallas de acero inoxidable (Figura 14).



Figura 14.- Tamices empleados en la separación granulométrica de las muestras.

- Posterior a esto fue realizada la separación de limos y arcillas mediante columnas de decantación (Figura 15). Este proceso fue llevado a cabo colocando la fracción que pasó el tamiz de 325 en las columnas y dejarlas reposar por aproximadamente 2 horas, luego fue sacada la fracción más densa correspondiente a limo y la capa sobrante fue dejada por aproximadamente 12 horas y fue sacada la fracción correspondiente a arcilla.

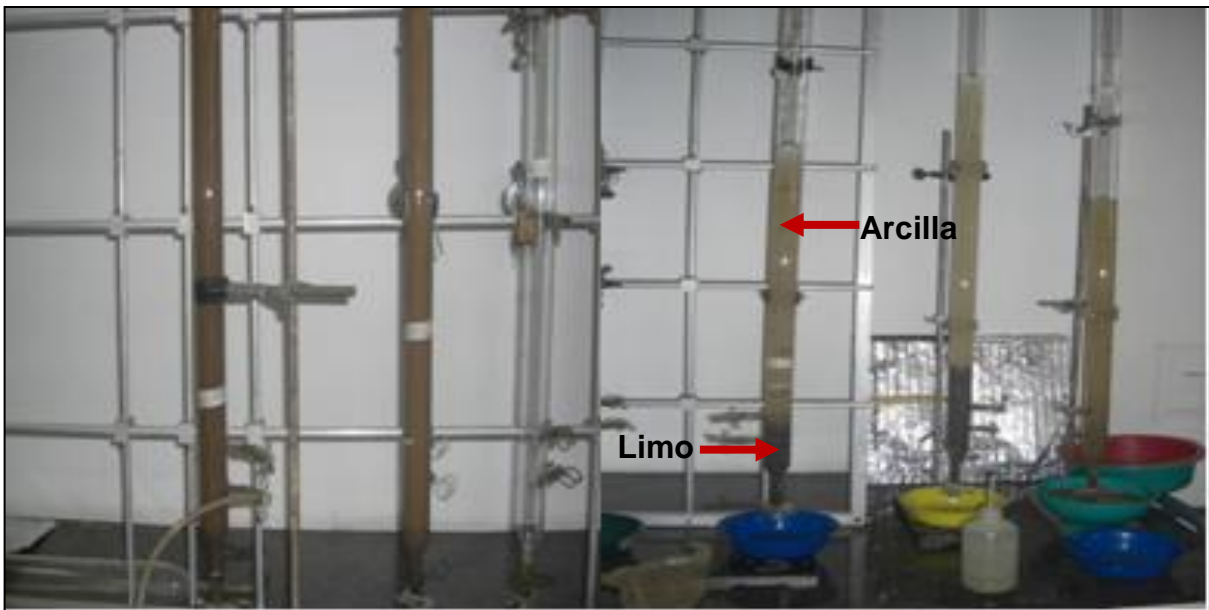


Figura 155.- Separación de limos y arcillas mediante columnas de decantación.

Los intervalos de tamaños de partículas que se obtuvieron mediante el método de separación por tamizado y decantación son los siguientes:

- F9: 4000-2000 μm
- F8: 2000-1000 μm
- F7: 1000-500 μm
- F6: 500-250 μm
- F5: 250-125 μm
- F4: 125-63 μm
- F3: 63-45 μm
- F2: 45-2 μm
- F1: <2 μm

- Secado de las muestras en una estufa a 50° por un período de 4 a 5 horas aproximadamente.
- Pesada y almacenamiento de las muestras en bolsas plásticas previamente rotuladas.

- Realización del cuarteado de las muestras con diámetro de partículas mayores a $125\ \mu\text{m}$ (Figura 16), con la finalidad de obtener una parte representativa de esta.



Figura 16.- Cuarteado de las muestras.

- Homogenizado de las muestras, empleando un mortero de porcelana como el mostrado en la Figura 17.



Figura 177.- Mortero de porcelana empleado para el homogenizado de las muestras.

4.2.2.- Análisis termogravimétrico

El análisis termogravimétrico fue realizado colocando aproximadamente 2 gramos de muestra en crisoles de porcelana previamente pesados, posterior a esto fueron colocados dentro de una mufla por aproximadamente 2 horas, sacándose de la misma y dejándose enfriar para pesar.

Para el análisis termogravimétrico se obtuvieron las pérdidas para cada una de las temperaturas correspondientes, teniendo en cuenta que a 105° la pérdida es del agua de humedad en base a la cual se obtuvieron los porcentajes de pérdida en seco para las pérdidas entre 105°- 450°, 450°- 550° y 550°- 750°.

La mufla donde fue realizada la termogravimetría puede observarse en la Figura 18, en este caso el calentamiento de la misma fue realizado de manera progresiva, y la temperatura es controlada por el dispositivo que se encuentra en la parte derecha de la mufla.



Figura 18.- Mufla empleada en el análisis termogravimétrico.

4.2.3.- Análisis de carbono orgánico

El análisis de Carbono orgánico para cada una de las clases de tamaños contrastantes de partículas antes mencionados se realizó por el método de titulación de Walkley – Black, para lo cual se emplearon 5 ml de una solución de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N, 10 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado, ferroína como indicador, y una solución de sulfato ferroso 0,5 N como titulante. La cantidad de muestra empleada dependió de la cantidad de pérdida obtenida a 450° en el método termogravimétrico.

Una vez obtenidos los mililitros de titulante gastados hasta el punto de equivalencia se obtienen los gramos de carbono orgánico que están reaccionando.

La Figura 19 muestra como fue realizado el proceso de titulación y como es la coloración antes y luego de alcanzado el punto final de la titulación.

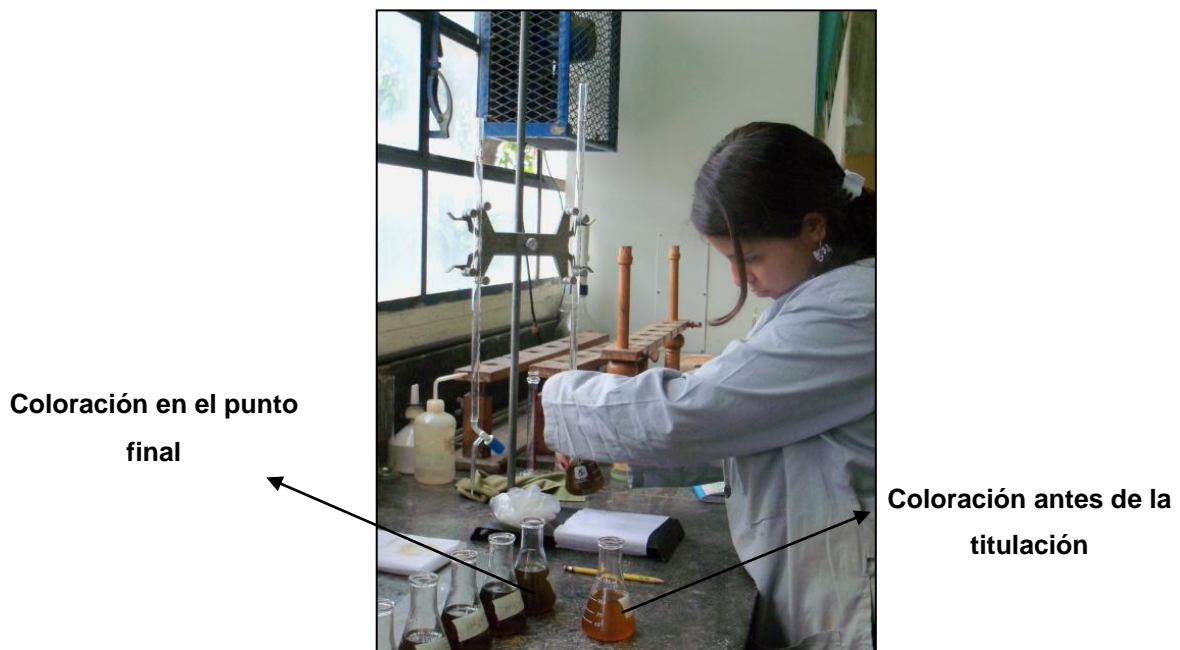


Figura 19.- Proceso de titulación por el método de Walkley-Black.

4.2.4.- Determinación de carbono total

La determinación de carbono total fue realizada para 10 muestras previamente seleccionadas tomando en cuenta que estas incluyeran todo el rango de carbono determinado, esto se realizó mediante el equipo LECO.

4.2.5.- Morfometría

El análisis morfométrico fue realizado para las arenas y para las gravas. Este análisis consiste en observar mediante un microscopio tipo lupa las muestras de tipo arenas y gravas con la finalidad de determinar cualitativamente el grado de desgaste de los sedimentos, su angularidad y sus características físicas, para así poder asociarlos a la energía de transporte.

En la Figura 20 puede observarse el microscopio empleado, al cual se le colocó en el lente una cámara fotográfica para poder tomar las imágenes de los sedimentos. El microscopio consta de dos linternas las cuales inciden luz sobre los minerales y hacen que estos se puedan ver con mayor exactitud, adicional a esto en la parte inferior del mismo se colocó un papel milimetrado el cual nos facilitó la escala de las fotografías tomadas.



Figura 20.- Microscopio tipo lupa empleado para la morfoscopia

4.5.- Procesamiento de datos

Los pesos obtenidos para cada una de las diferentes fracciones de tamaño granulométrico fueron sumados y con esto fueron calculados los porcentajes para cada una de las fracciones granulométricas. Luego utilizando el tamaño promedio para cada fracción granulométrica y su porcentaje correspondiente fueron determinados los porcentajes ponderados para cada uno de los puntos de muestreo obteniendo así el tamaño promedio de partícula para cada muestra.

Usando las pérdidas de peso obtenidas a 105°, entre 105° y 450°, entre 450° y 550°, entre 550° y 750°, y total y el peso de muestra se determinó la cantidad de material que se está perdiendo por medio de la ecuación 10.

$$\%Pérdida = (\text{gramos finales} / \text{gramos iniciales}) * 100 \quad (10)$$

Posterior a esto en base al porcentaje de pérdida de humedad se procedió a determinar el porcentaje de pérdida en base seca para 450°, 550° y 750° respectivamente.

La concentración de carbono orgánico por titulación, fue determinada mediante el volumen de titulante consumido en la reacción y fue determinado por la ecuación 11.

$$\%C_{org} = (5\text{meq} - (V \text{ titulante (mL)} / V \text{ blanco (mL)}) * 0,3) / \text{Peso muestra (g)} \quad (11)$$

El % de carbono inorgánico fue determinado con la pérdida obtenida entre 550°-750°, tomando en cuenta que a este intervalo de temperatura ocurre la descomposición térmica de los carbonatos de calcio y magnesio, además de la combustión del grafito, con desprendimiento de CO₂, por lo cual se realiza el cálculo correspondiente, por medio de la estequiometría (ecuación 12).

$$\% \text{ carbono inorgánico} = (\text{pérdida (550°-750) (g)} * 0,27) / \text{peso muestra (g)} * 100 \quad (12)$$

Con los datos de porcentaje de carbono orgánico e inorgánico obtenidos fueron calculados los valores de carbono total para cada una de las muestras, mediante la sumatoria de estos porcentajes (ecuación 13)

$$\% \text{ carbono total} = \% \text{ carbono orgánico} + \% \text{ carbono inorgánico} \quad (13)$$

Adicionalmente fueron realizadas las regresiones lineales para cada una de las replicas para así corroborar la eficacia del método empleado. Posterior a esto fueron realizados dos análisis de comparación de medias para cada uno de los análisis realizados, mediante un ANOVA de una vía ($p < 0,05$) para establecer las diferencias estadísticas entre las medias de las muestras provenientes de las distintas estaciones para una misma clase de tamaño, y el siguiente fue realizado para establecer las diferencias estadísticas entre las medias para cada una de las fracciones previamente separadas para una muestra en específico.

Finalmente fueron realizados los gráficos de dispersión para poder correlacionar los valores de carbono orgánico y de carbono total para la totalidad de las muestras.

V. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Los resultados obtenidos en el presente trabajo comprenden la distribución granulométrica de las muestras de sedimentos para cada uno de los 12 puntos de muestreo en el área de estudio, el análisis termogravimétrico el cual incluye las pérdidas de material a 105°, 450°, 550° y 750°, los valores de concentración de carbono orgánico e inorgánico, los de carbono total obtenido, y la morfometría para cada una de las muestras correspondientes para las diferentes fracciones granulométricas, la cual permite realizar la estimación de la energía de transporte de los sedimentos y de su posible fuente.

5.1.- Distribución granulométrica

En el apéndice A se muestra la tabla con los resultados de porcentajes de fracción obtenidos para las diferentes muestras recolectadas, así como también el porcentaje acumulado de cada una de las muestras lo que permitió la realización de los gráficos de distribución granulométrica por tamaño de partícula.

A partir de estos resultados se determinó el promedio ponderado de partícula, el cual permitió realizar la estimación del nombre textural predominante correspondiente para cada una de las muestras, permitiendo separar estas en dos grupos predominantes en el área de estudio. Un grupo con tendencia hacia los granos más finos denominado grupo de arenas y un grupo con tendencia hacia los granos más gruesos denominado grupo de gravas.

La Tabla 2 presenta un cuadro resumen donde se presentan las muestras recolectadas, la zona de recolección de las mismas, su tamaño promedio de partícula y su respectivo tamaño textural, el cual permitió realizar la diferenciación de las muestras en los grupos mencionados anteriormente.

Tabla 2.- Distribución granulométrica de las muestras de sedimentos, de acuerdo a la zona de recolección.

Muestra	Zona de recolección	Tamaño promedio (μm)	Tamaño textural
AM1	Lago Perimetral. E1	216	Arena fina
AM2	Lago Periglaciár. E1	290	Arena media
AM3	Lago Periglaciár. Entrada del afluente. E2	106	Arena muy fina
AM4	Lago Periglaciár. E2	1749	Arena muy gruesa
AM5	Lago Periglaciár. Parte superior Morrena. E2	3038	Grava fina
AM6	Lago Periglaciár. Parte superior Morrena. E2	4351	Grava media
AM7	Lago Periglaciár. Parte superior Morrena. E2	759	Arena gruesa
AM8	Lago Periglaciár. Costa Nor-Oeste. E3	5443	Grava media
AM9	Lago Periglaciár. Costa Nor-Oeste. E3	3953	Grava fina
AM10	Lago Periglaciár. 12 mts de altura de la Costa. E3	2316	Grava fina
AM11	Lago Periglaciár. 6 mts de altura de la Costa. E3	4026	Grava media
AM12	Lago llano de aguas someras distante Periglaciár. Punto F	120	Arena muy fina

La Figura 21 presenta las muestras que fueron ubicadas en el grupo de las arenas, y van de arena muy gruesa a arcilla, en el cual se ubican AM1, AM2, AM3, AM4, AM7 y AM12. Estas muestras fueron recolectadas en lo que corresponde al lago periglacial en diferentes estaciones de muestreo y al lago adyacente al periglacial.

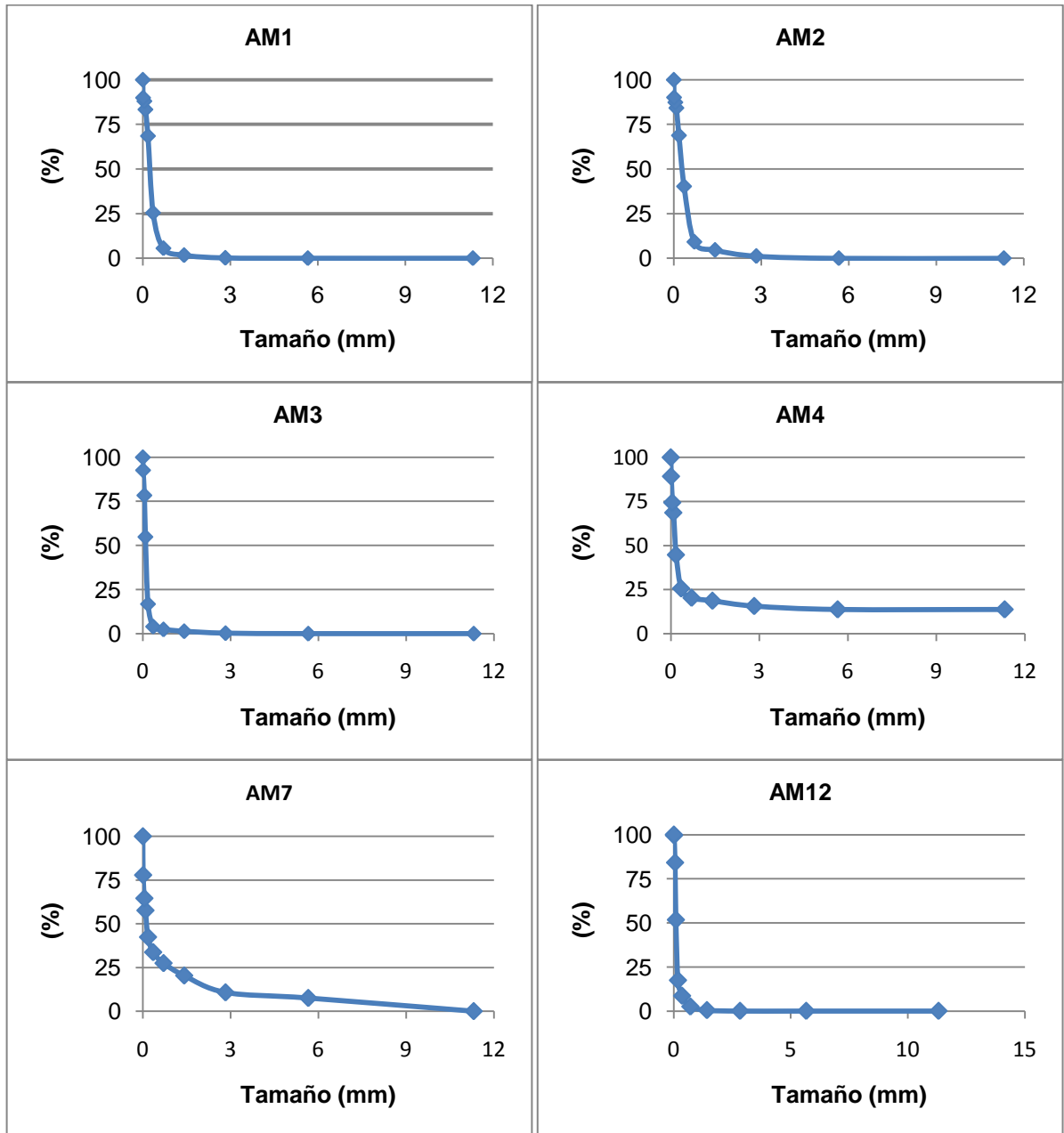


Figura 21.- Acumulación porcentual para las muestras del grupo de arenas.

La Figura 22 presenta las muestras con tendencia hacia las gravas, en el cual se ubican las muestras AM5, AM6, AM8, AM9, AM10 Y AM11. En su totalidad estas muestras fueron recolectadas en la parte correspondiente a la costa Nor-Oeste.

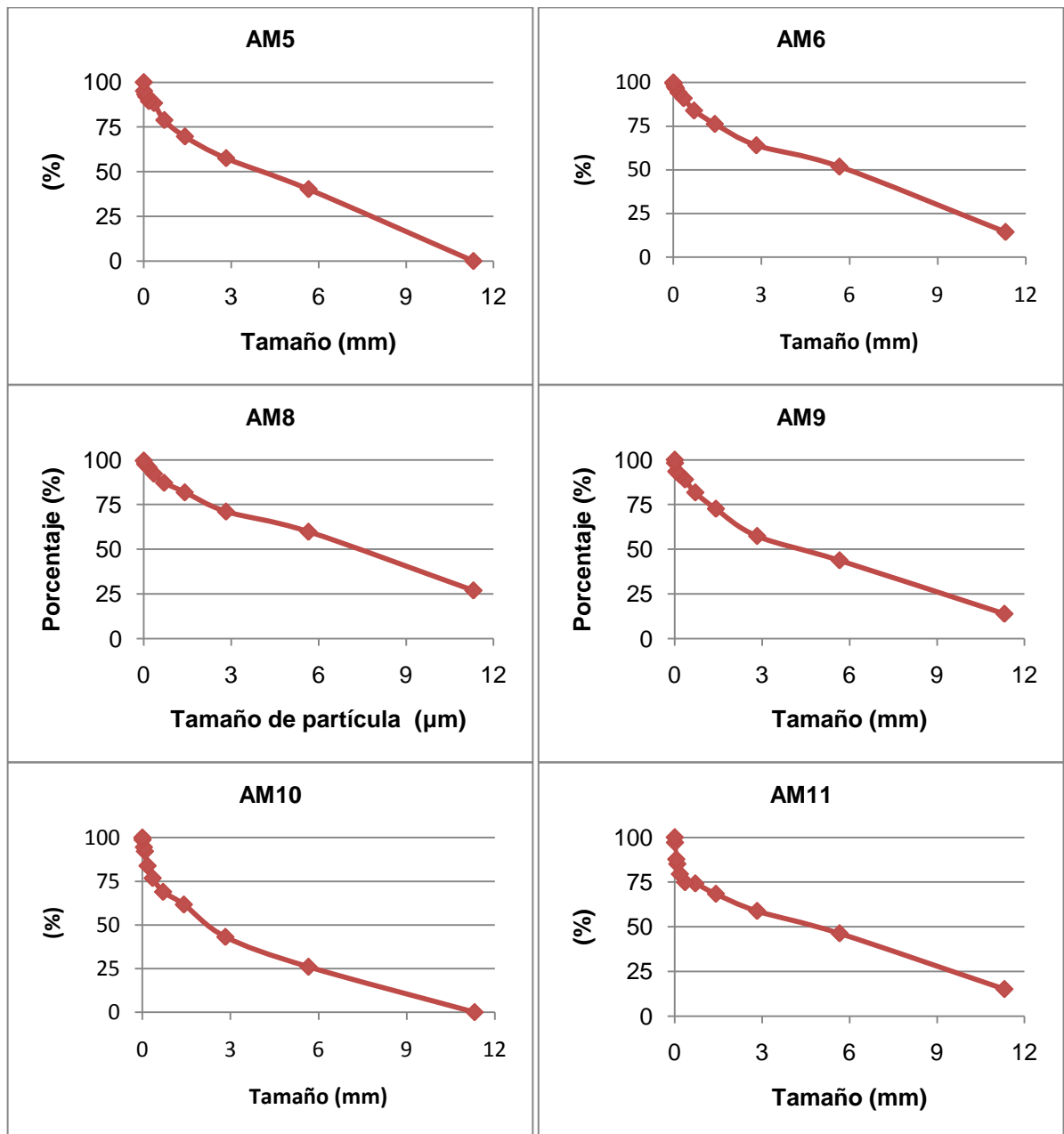


Figura 22.- Acumulación porcentual para las muestras del grupo de gravas.

De acuerdo a los resultados obtenidos encontramos que para el grupo de las arenas tenemos en mayor proporción sedimentos tipo Tills en su mayoría Flow Tills ya que se encuentran más expuestos al flujo del agua proveniente del lago, mientras que para el grupo de las gravas se asocian sedimentos de tipo Basal Till, esto es consistente con lo explicado en la literatura, puesto que en los ambientes glaciares se encuentran diferentes tipos de Tills. [4]

5.2.- Morfometría

A continuación son presentadas algunas de las fotografías tomadas para las muestras, en esta parte del trabajo serán mostradas solo las tomadas para 1 muestra de cada grupo con su variación de tamaño textural.

La Figura 23 presenta las fotografías tomadas para AM1, la cual corresponde al grupo de arenas, comenzando por la fracción tipo grava y terminando con la de arena fina.

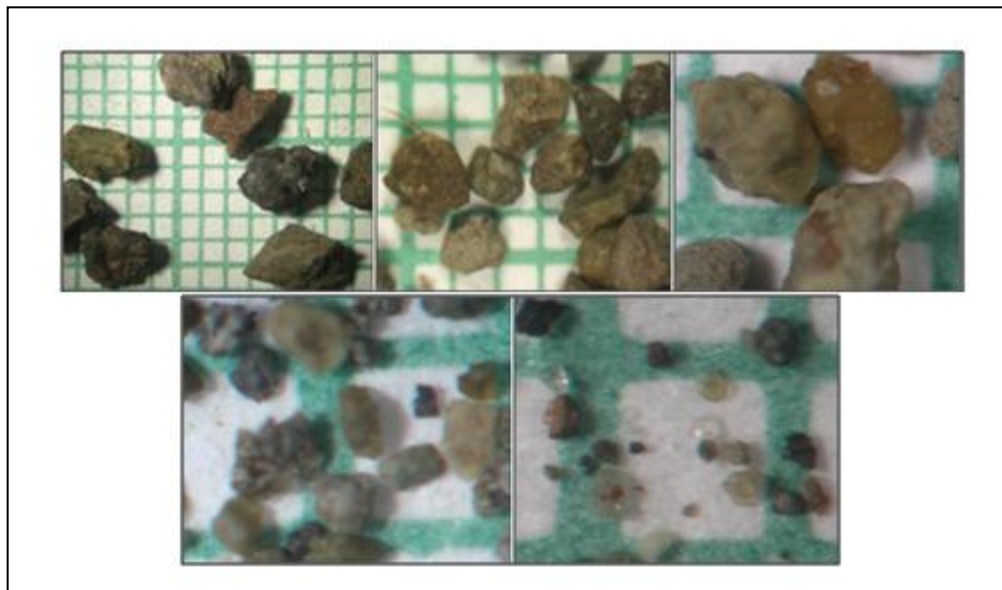


Figura 23.- Morfometría para AM1, gravas - arena fina.

La Figura 24 muestra las fotografías correspondientes a AM5, la cual pertenece al grupo de gravas, de igual manera que en la Figura 25 en este caso se ordenan las fotografías por tamaño desde grava hasta arena fina.

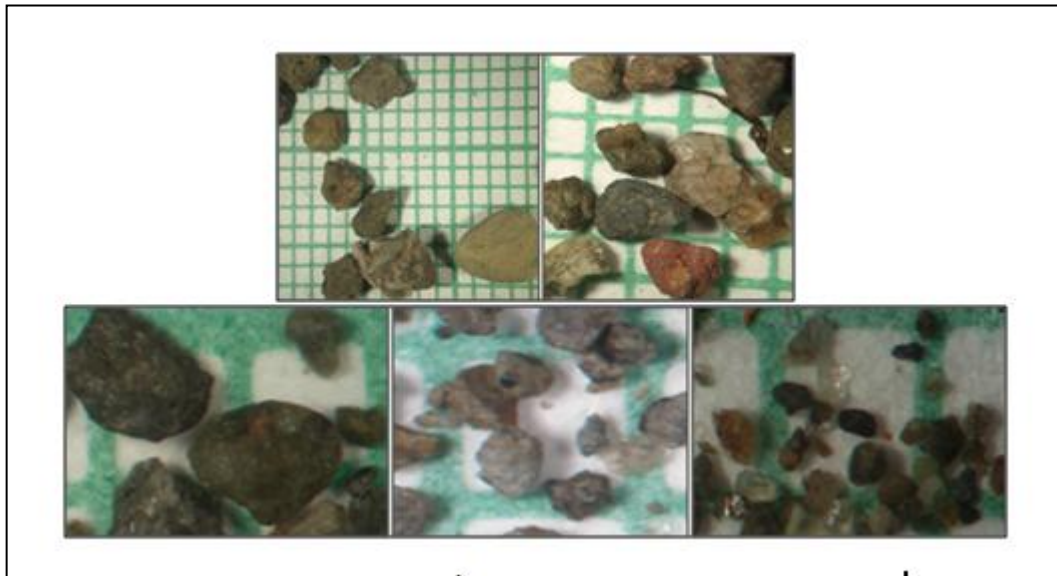


Figura 24.- Morfometría para AM5, gravas – arena fina.

En la Figura 23 y 24 puede observarse que las muestras presentan granos angulosos lo que sugiere una energía de transporte asociada como baja, lo cual indica que independientemente del tamaño promedio de grano que tengan estos sedimentos y de la zona donde fueron recolectados, estos tienen una misma fuente de sedimentos y una energía de transporte muy similar. ^[34]

De acuerdo a la zona de estudio, la principal fuente de estos sedimentos es la morrena, la cual influenciada por el retroceso del glaciar sufre procesos de meteorización, erosión y transporte, que permiten que sean trasladados a los lugares de recolección de la misma.

Esta mala clasificación de los sedimentos es debido a que el principal agente de transporte en este tipo de ambientes es el hielo, el cual debido a su gran viscosidad, se mueve lentamente y con ausencia de turbulencia, por lo cual el desgaste existirá solo en la parte superficial de la zona. ^[7]

5.3.- Análisis termogravimétrico

Los resultados obtenidos por este análisis se presentan en el apéndice B. La Figura 25 presenta las regresiones lineales para las pérdidas a 450°, en las cuales es constatado como el R^2 de las distintas rectas es muy cercano a 1, siendo el más

alejado el correspondiente a la fracción más fina de las arcillas de la muestra AM7 la cual fue recolectada en la parte superior de la morrena, presentando un coeficiente de correlación de 0,9996, el cual es bastante alto y muestra una buena reproducibilidad de los datos obtenidos para las réplicas. De esta forma puede afirmarse que para la pérdida a 450°C hay poca dispersión en los valores de los resultados obtenidos.

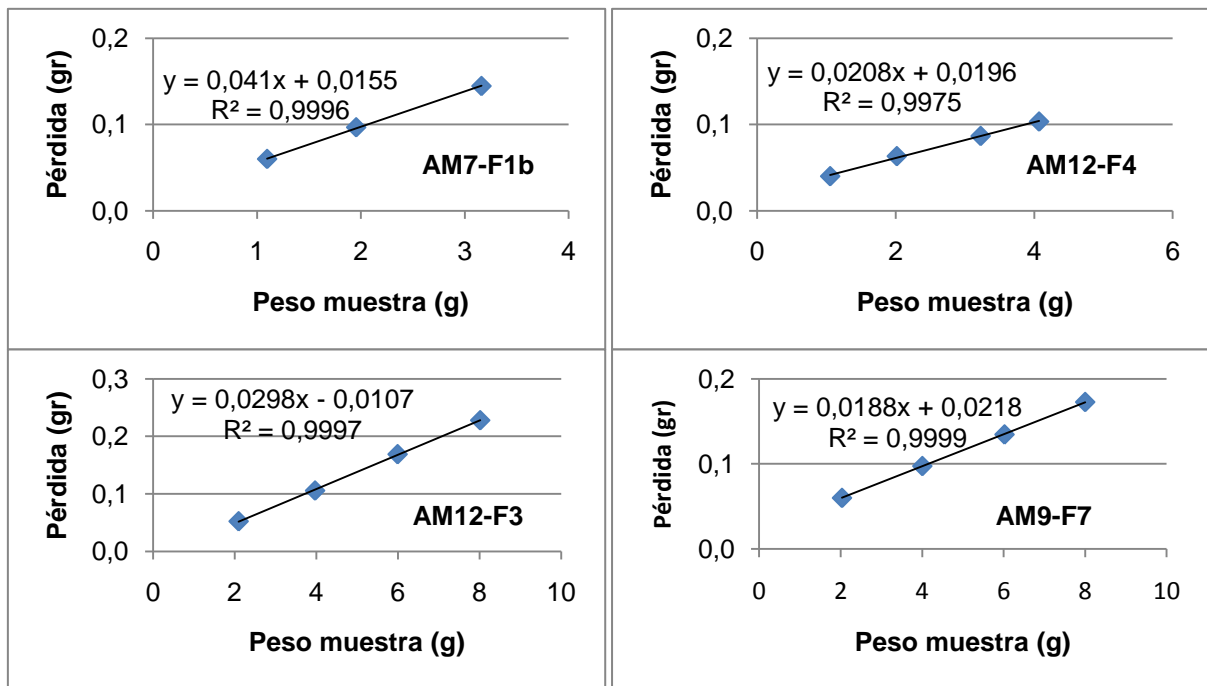


Figura 25.- Regresiones lineales para las pérdidas a 450°.

La Figura 26 muestra las regresiones para las pérdidas a 550° de las réplicas, observando que tienen coeficientes de correlación con valores de 0,9950 a 0,9999. Esto es consistente con lo descrito anteriormente, mostrando la reproducibilidad del método evaluado por la poca dispersión de los datos.

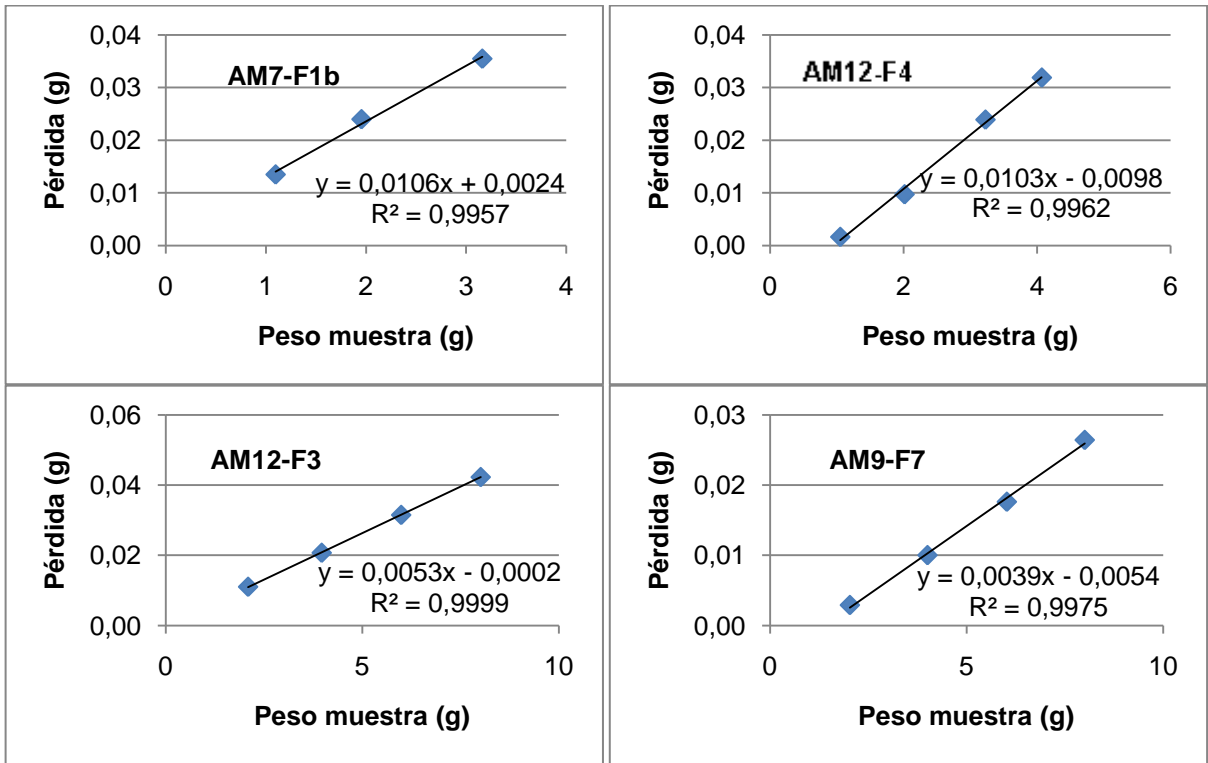


Figura 26.- Regresiones lineales para las pérdidas a 550°.

Por su parte en la Figura 27 se presentan las regresiones de las pérdidas a 750°, observando que los R^2 obtenidos se encuentran entre 0,9924 y 0,9998.

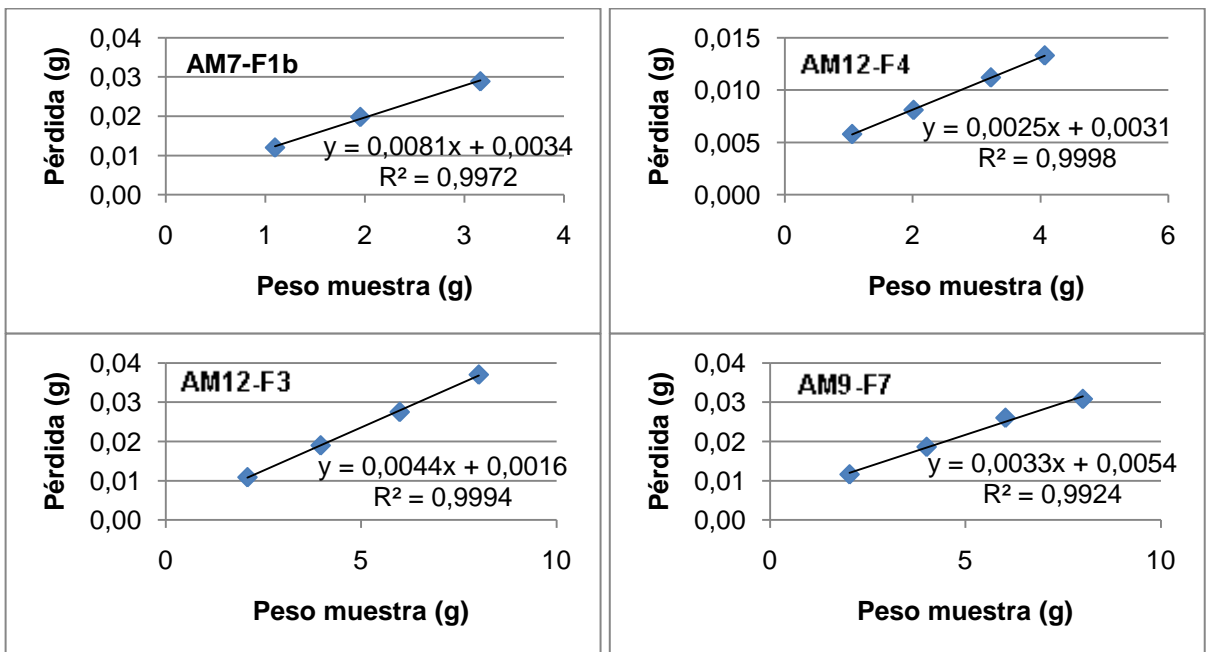


Figura 27.- Regresiones lineales para las pérdidas a 750°.

La nomenclatura empleada para los tamaños de partícula en los gráficos es la siguiente: grava (G), arena muy gruesa (AMG), arena gruesa (AG), arena media (AM), arena fina (AF), arena muy fina (AMF), limo grueso (LG), limo fino (LF) y arcilla (AR); y en algunos casos arcilla gruesa (ARG) y arcilla fina (ARF).

5.3.1.- Pérdida a 105°

A 105° la pérdida es debido al agua de humedad, en este trabajo se encontraron valores de hasta 17% para el grupo de las arenas y de hasta 8% en el grupo de gravas.

La Figura 28 presenta los gráficos de porcentaje de pérdida de humedad por fracción granulométrica para las muestras que son consideradas como grupo de arenas.

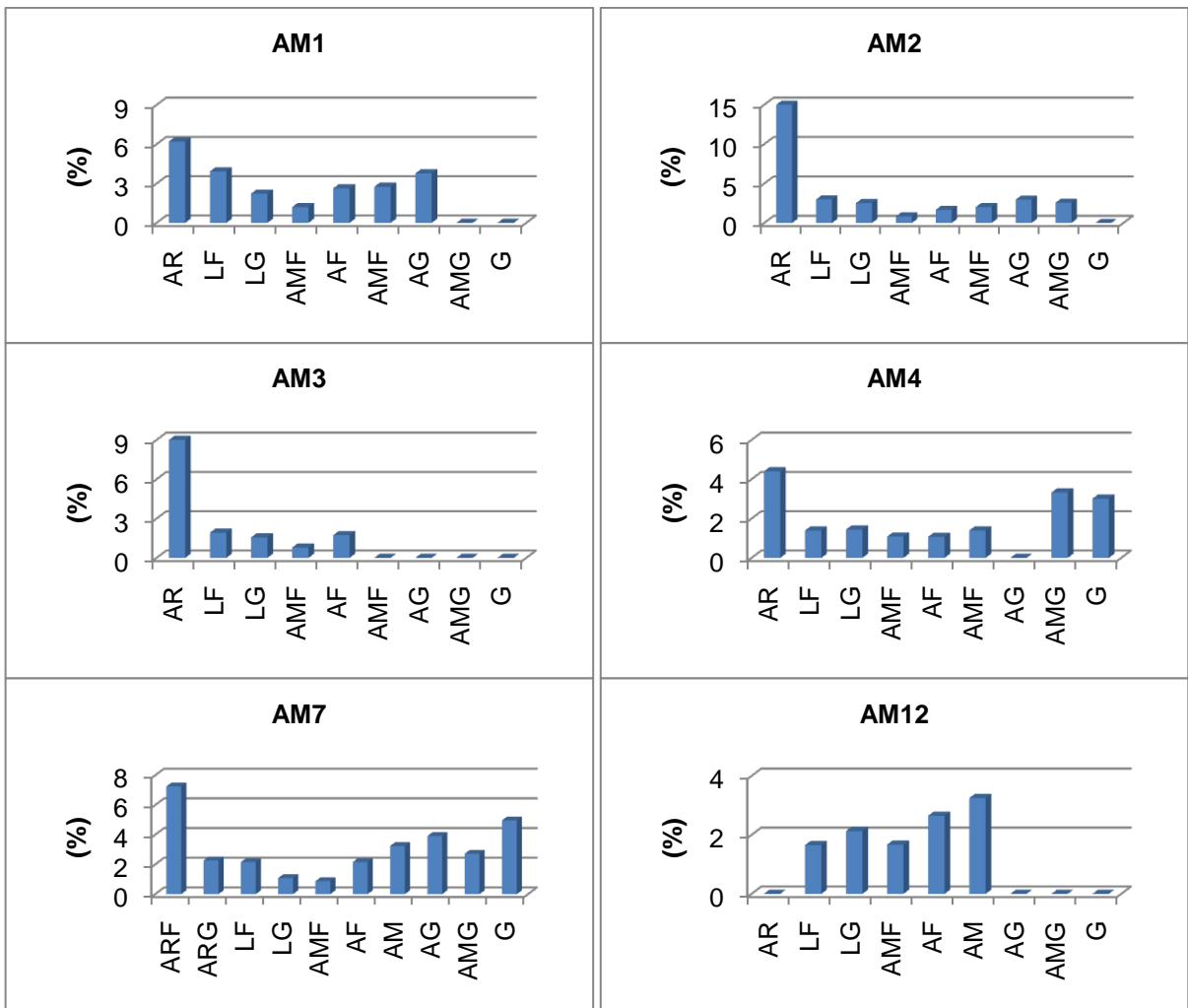


Figura 28.- Distribución porcentual de pérdida a 105° para el grupo arenas.

En general para el grupo de las arenas puede observarse que el mayor porcentaje de pérdida de humedad es para la fracción tipo arcilla, esto puede ser debido a que las muestras no se dejaron secar suficiente tiempo luego del tamizado.

La Figura 29 muestra los gráficos de distribución porcentual por fracción granulométrica para las muestras del grupo de gravas.

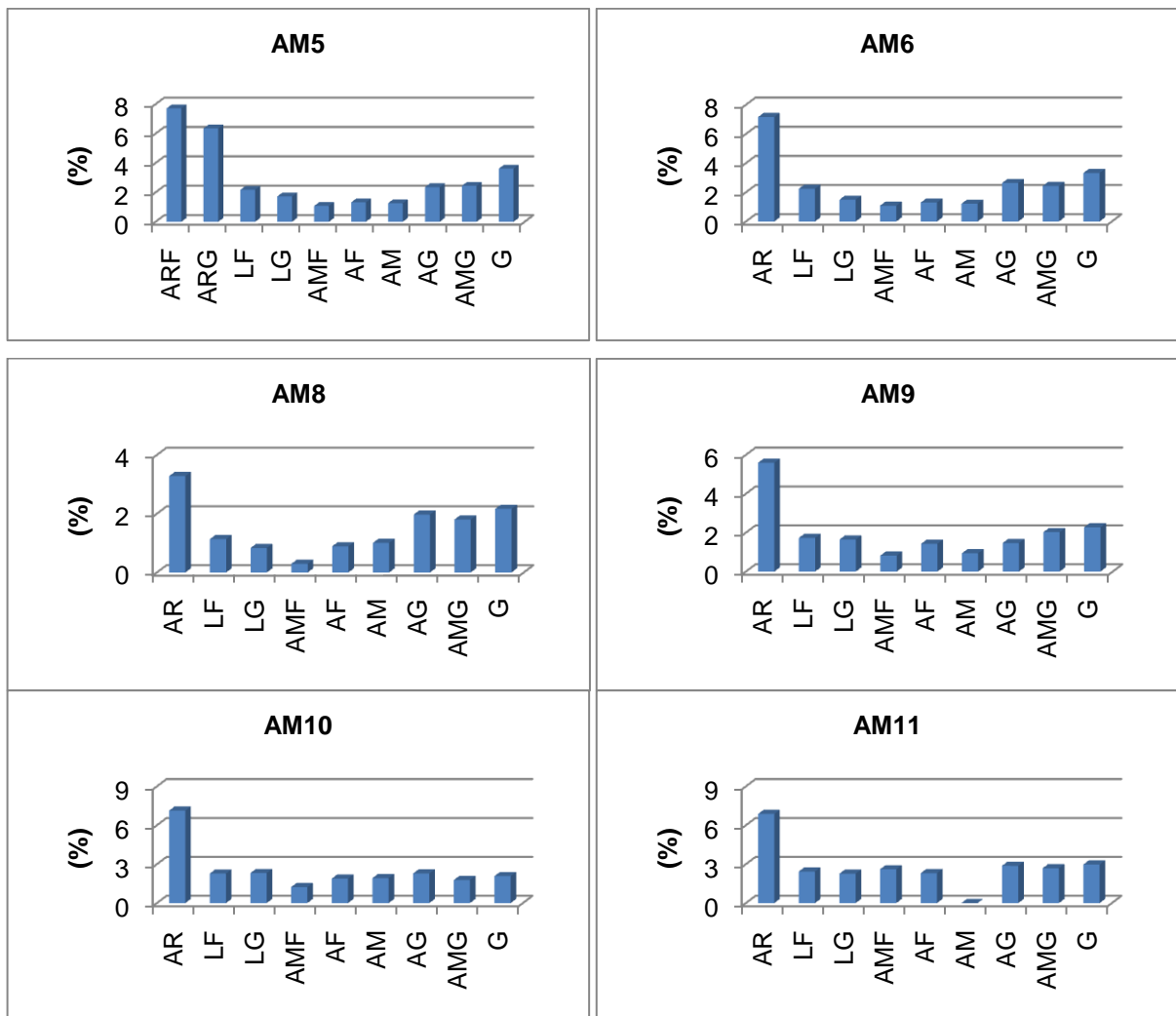


Figura 29.- Distribución porcentual de pérdida a 105° para el grupo de gravas.

5.3.2.- Pérdida a 450°.-

A partir de los resultados de porcentaje de pérdida obtenidos a 450° fueron realizados los gráficos de distribución porcentual granulométrica para cada una de las muestras.

Las Figuras 30 y 31 muestran los gráficos de distribución porcentual de pérdida a 450° para cada una de las fracciones obtenidas en cada muestra, para el grupo de las arenas y de las gravas respectivamente.

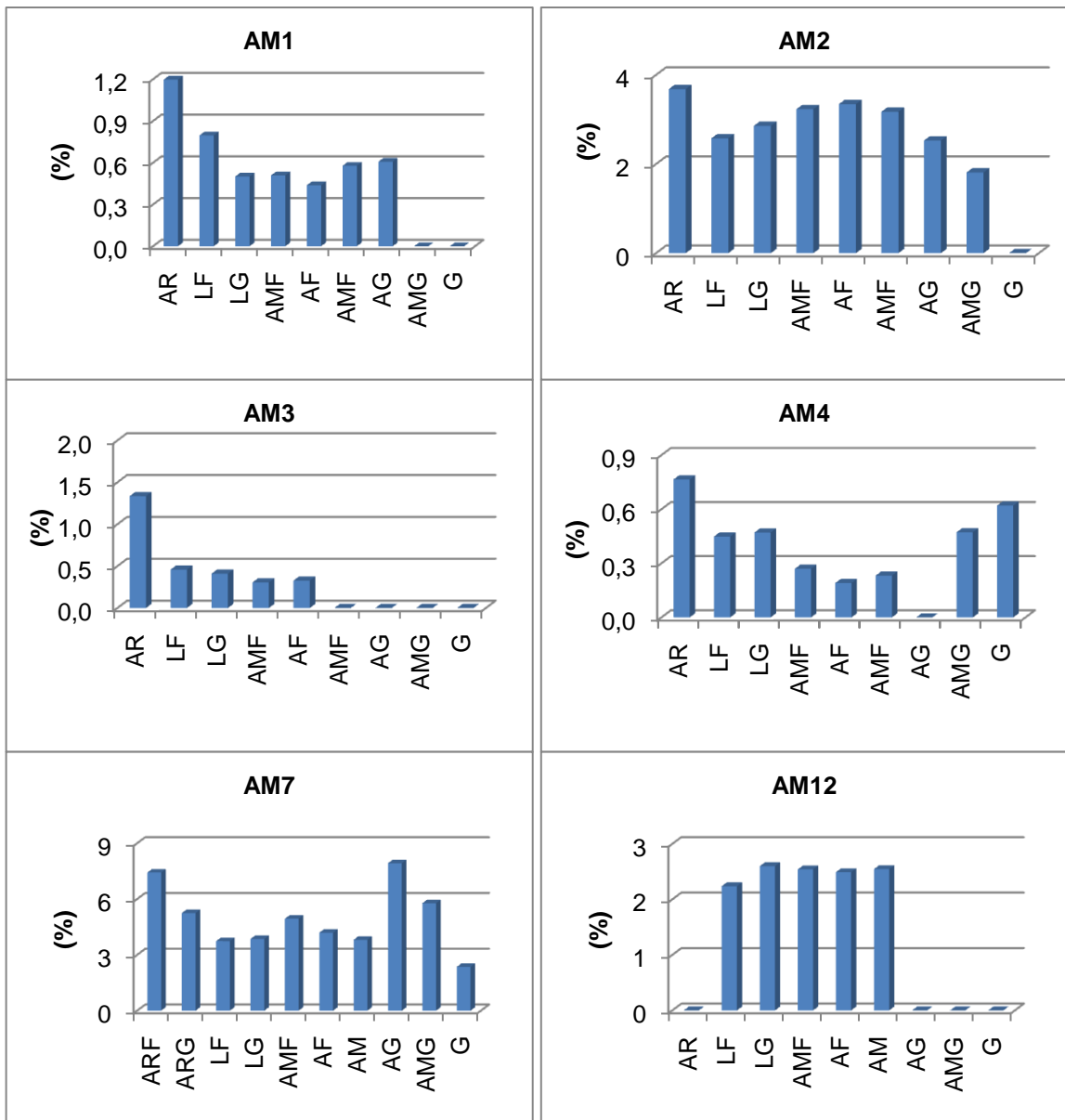


Figura 30.- Distribución porcentual de pérdida a 450° para el grupo de arenas.

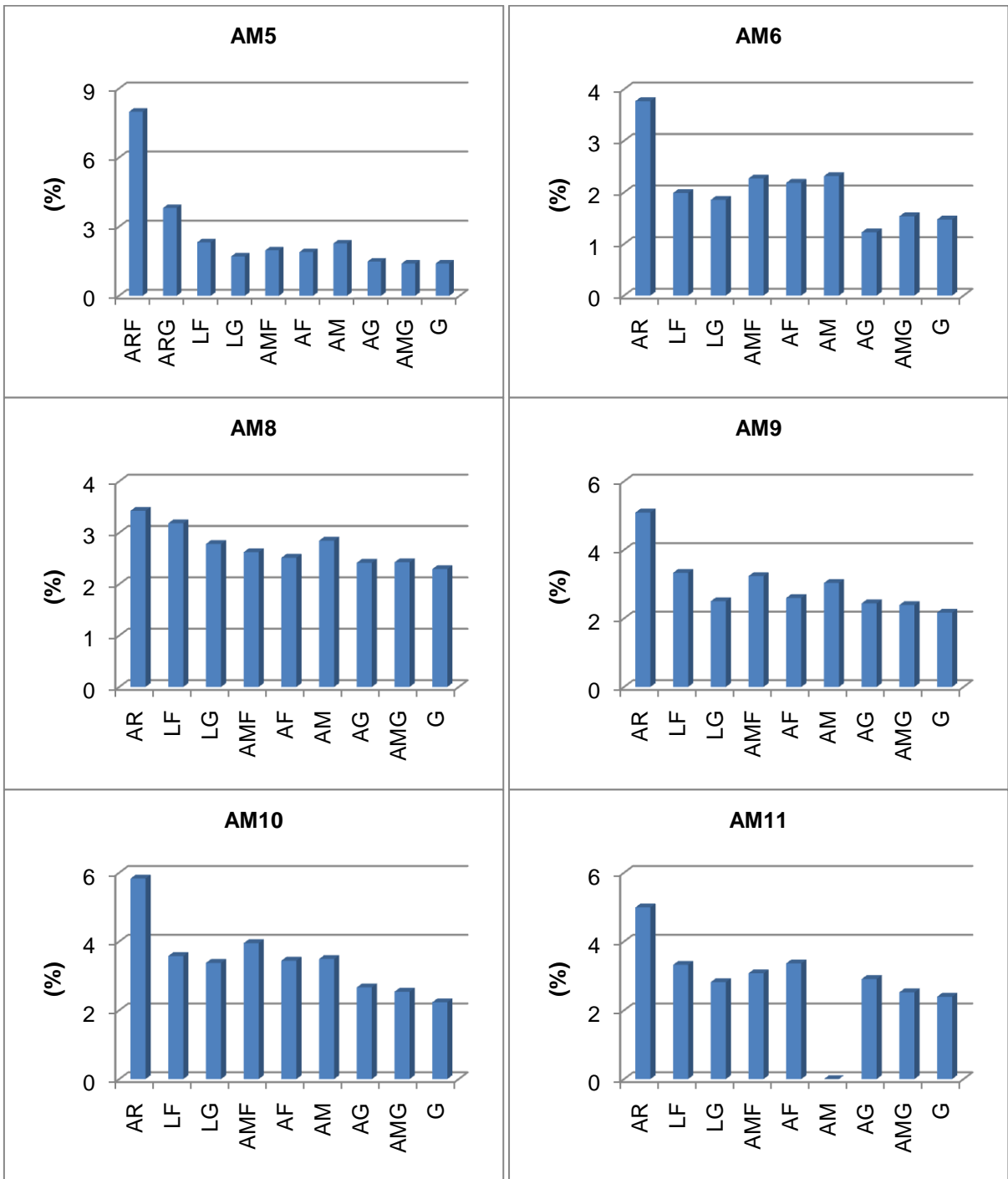


Figura 31.- Distribución porcentual de pérdida a 450° para el grupo de gravas.

De acuerdo a los gráficos obtenidos, en general puede observarse que existe un mayor porcentaje de pérdida para la fracción más fina (arcilla) denominada F1, en este caso alcanzando hasta un 6% en esta fracción, este comportamiento no es observado en la muestra AM7 ya que en este caso el mayor porcentaje de pérdida lo presenta para la fracción de arena gruesa denominada F7, esto puede ser debido a que esta muestra fue tomada en la parte superior de la morrena, por lo cual está menos propensa a procesos de meteorización y erosión.

Adicional a esto esta muestra presenta en esta fracción una gran cantidad de relictos orgánicos los cuales podrían ser la fuente del incremento de este porcentaje, ya que pueden considerarse como aporte de materia orgánica.

La Figura 32 muestra una fotografía de la fracción 7 y 8 correspondiente a arena gruesa y muy gruesa respectivamente, para la muestra 7 en donde se pueden observar claramente los restos orgánicos conservados.

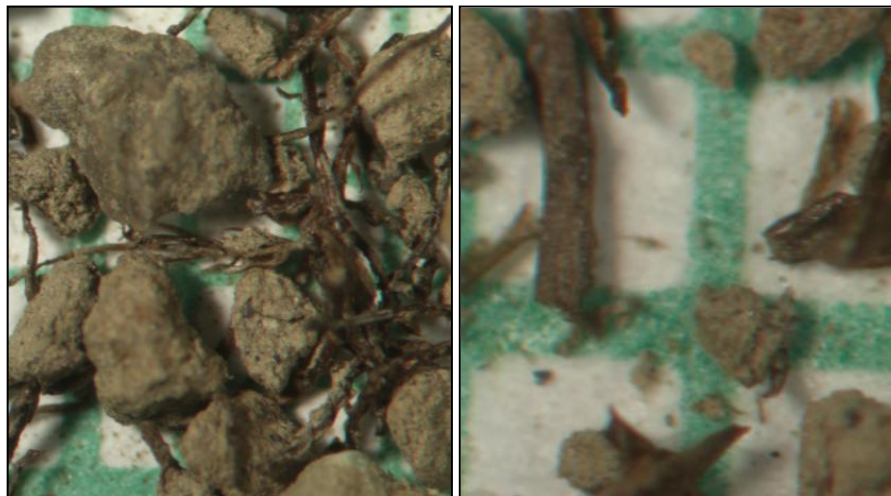


Figura 32.- Morfometría de AM7 para arena muy gruesa y arena gruesa.

Los datos representados indican que la mayor acumulación de materia orgánica y agua de hidratación de oxihidróxidos de hierro y aluminio y de yeso está presente en la fracción más fina y de acuerdo a el ANOVA realizado para establecer si existían diferencias significativas entre las muestras en cuanto al porcentaje de pérdida a 450° se observa que si existen diferencias significativas entre ellas. De igual modo fue realizado el ANOVA para cada una de las fracciones obtenidas, y en este caso

también se encuentra que existen diferencias significativas entre las pérdida a 450° para cada una de ellas.

5.3.2.- Pérdida a 550°.-

A 550° ocurre la pérdida del agua estructural de las arcillas y la descomposición de los sulfuros de hierro.

Las Figuras 33 y 34 presentan los gráficos de distribución porcentual para la pérdida a 550° para cada una de las fracciones de las muestras obtenidas para los grupos de arenas y gravas respectivamente.

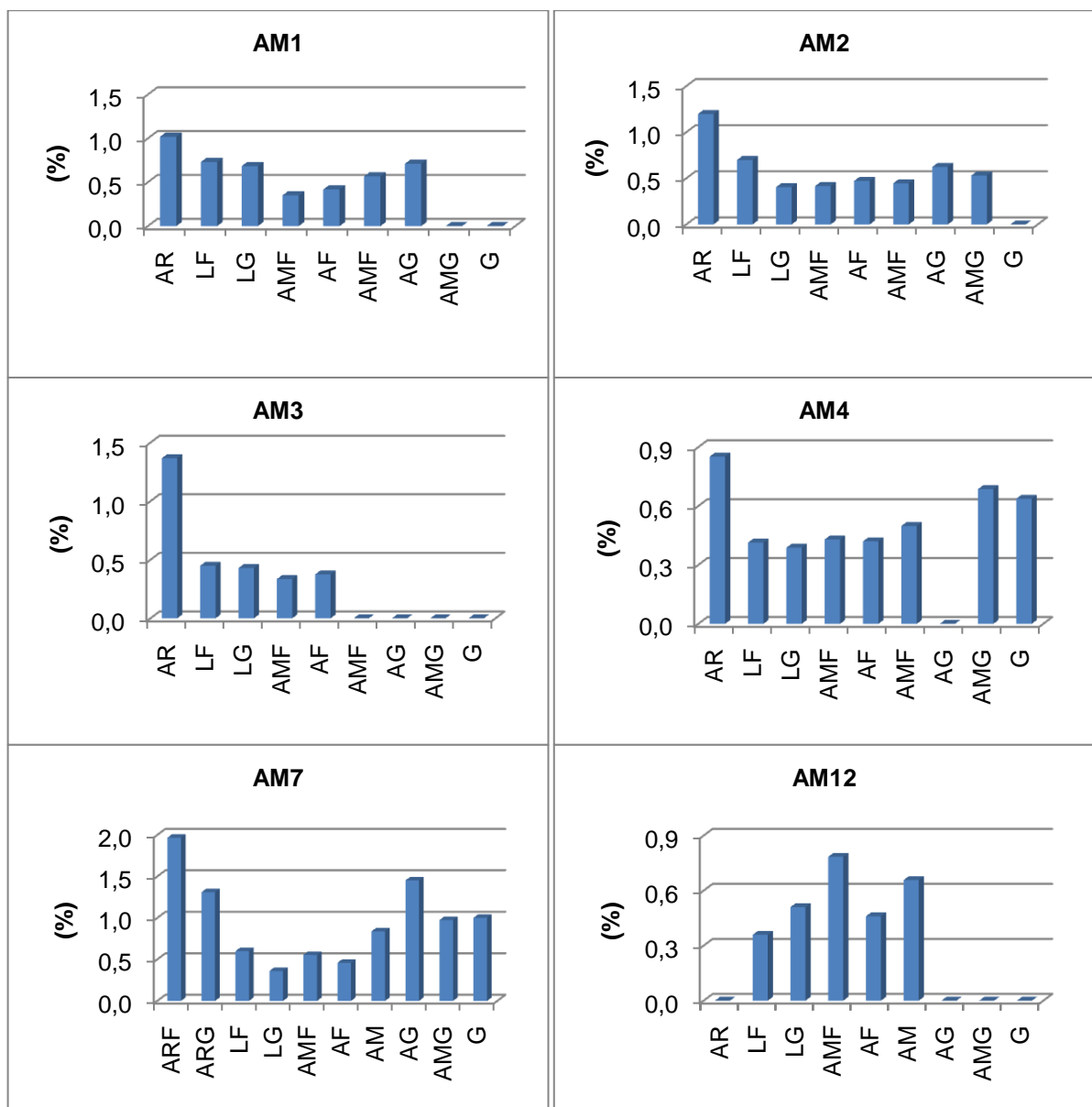


Figura 33.- Distribución porcentual de pérdida a 550° para el grupo de arenas.

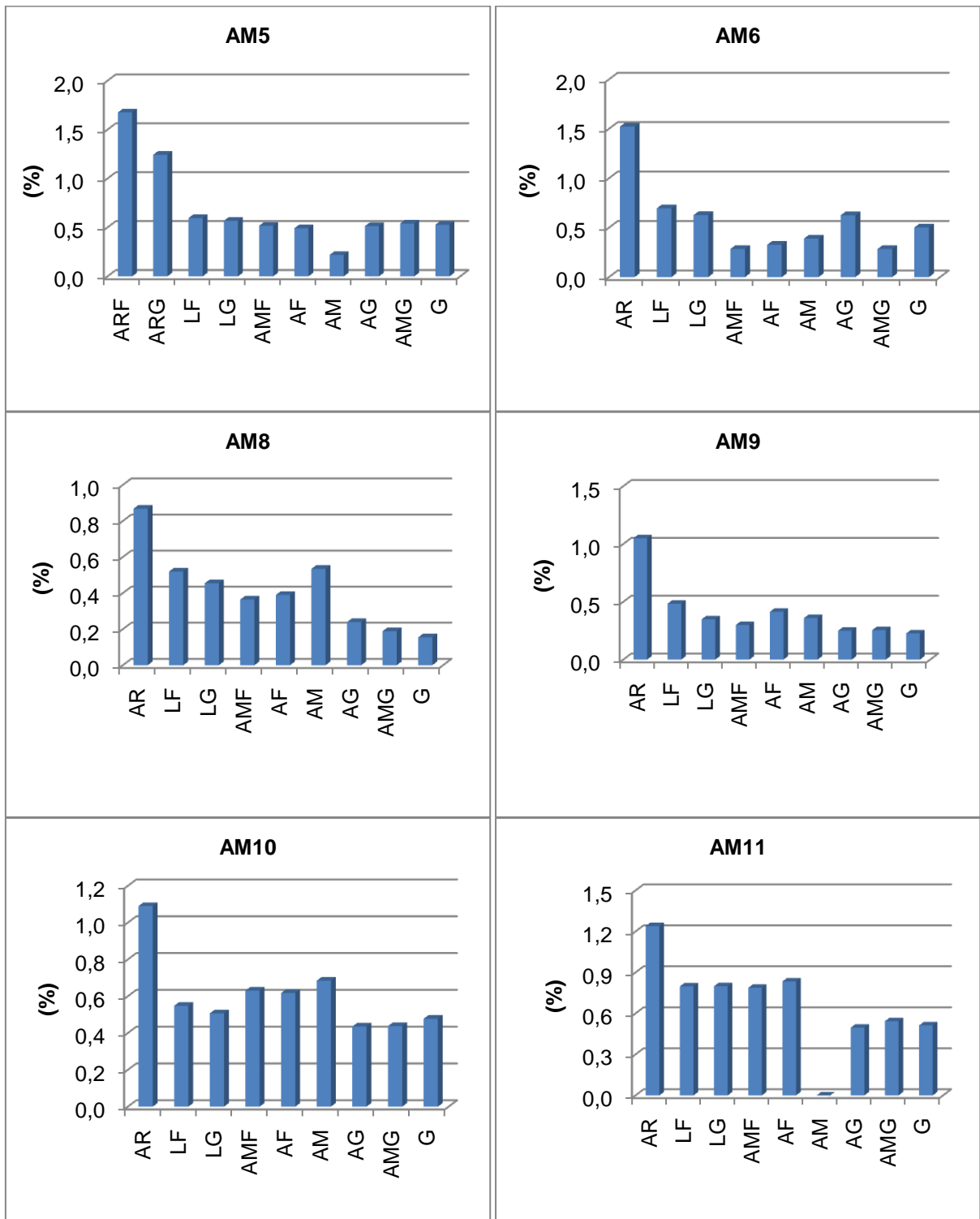


Figura 34.- Distribución porcentual de pérdida a 550° para el grupo de gravas.

En el caso de pérdida para 550° el ANOVA de una vía para los puntos de muestreo, dio como resultado que no existen diferencias significativas entre los puntos de muestreo. De igual modo el ANOVA de una vía para establecer si existen diferencias significativas entre las fracciones, dio como resultado que si existen diferencias significativas entre estas.

A pesar de observar en este caso un mayor porcentaje de pérdida para la fracción tipo arcilla en la mayoría de los casos, se observa que al igual que para la pérdida a 450° la muestra AM7 tiene el mayor porcentaje de pérdida para la fracción 7 correspondiente a arena gruesa, el cual se asemeja al porcentaje encontrado para la fracción 1.

5.3.4.- Pérdida a 750°.-

La pérdida a 750° indica el porcentaje de pérdida producto de la descomposición de los carbonatos de calcio y magnesio y la combustión del grafito, como se indicó anteriormente en la revisión bibliográfica.

En este caso la pérdida es ocasionada por el CO₂ que es desprendido en forma gaseosa, por lo cual fue necesario realizar una conversión mediante la estequiometría para poder determinar cuánto es el porcentaje estimado de carbono de tipo inorgánico presente en las muestras. ^[25]

De igual forma fueron realizadas las gráficas respectivas a la pérdida de CO₂ producto de las reacciones que ocurren a 750°.

Las Figuras 35 Y 36 muestran la tendencia de pérdida de material por fracción granulométrica para las muestras pertenecientes al grupo de las arenas y gravas respectivamente.

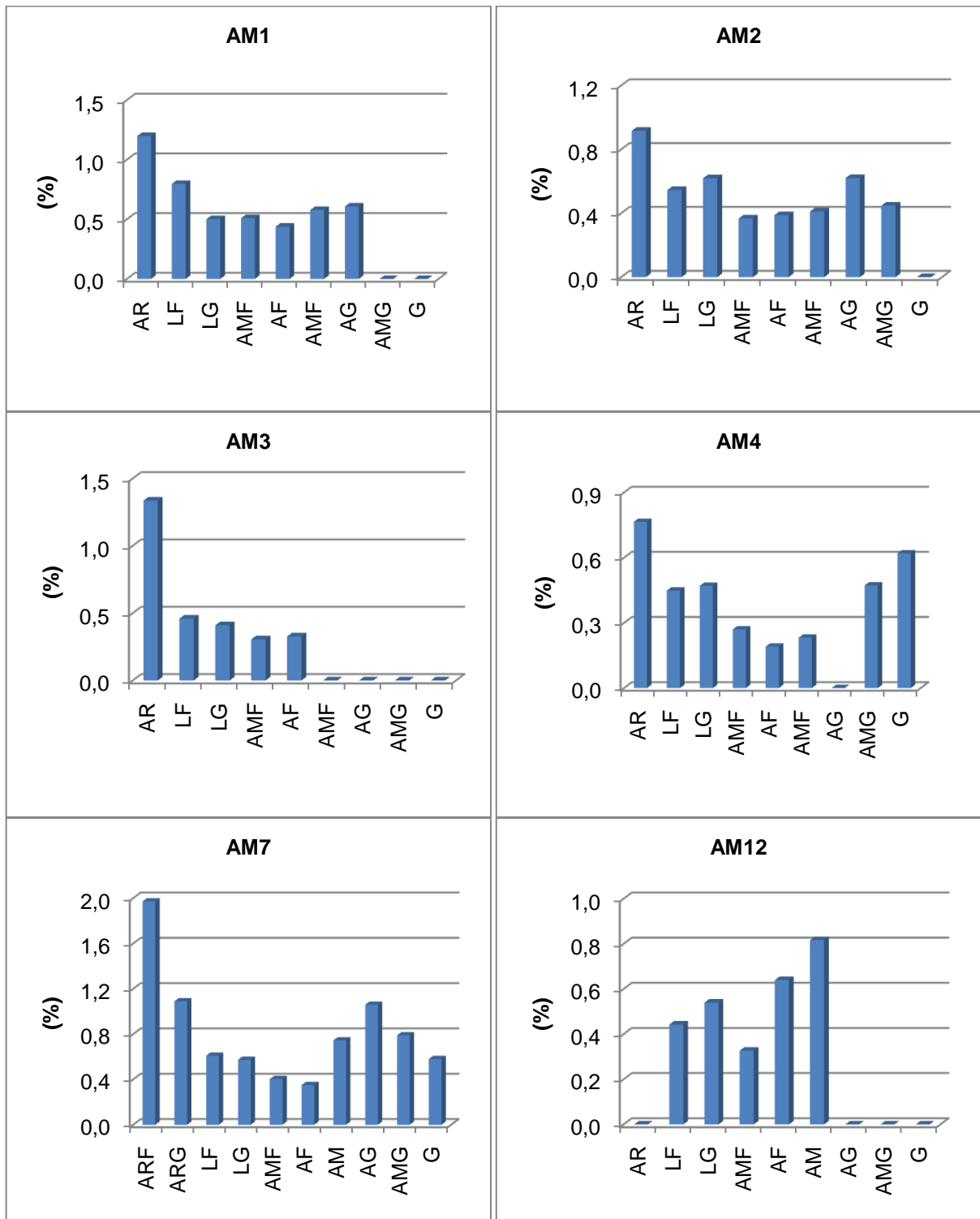


Figura 35.- Distribución porcentual de pérdida a 750° para el grupo de arenas.

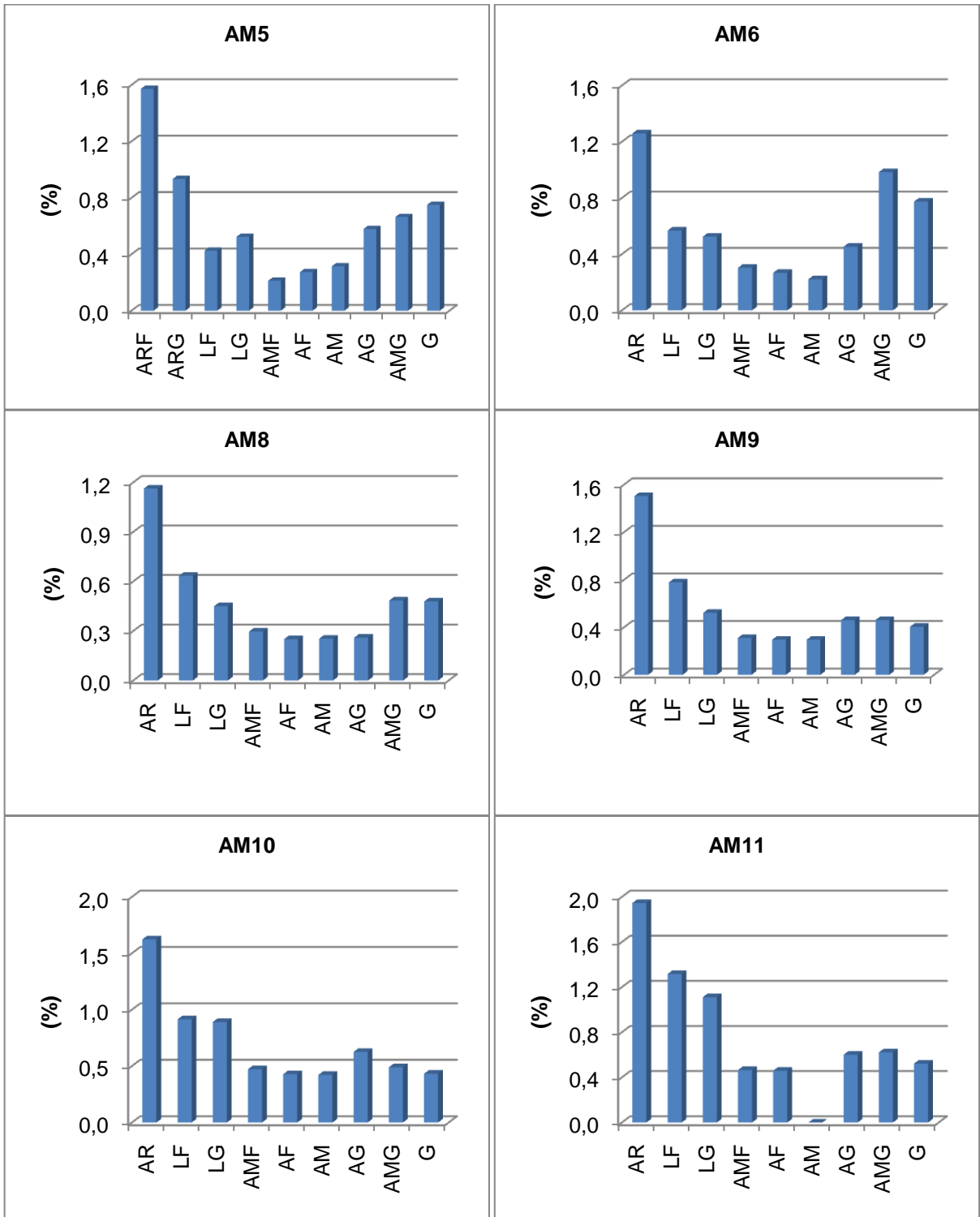


Figura 36.- Distribución porcentual de pérdida a 750° para el grupo de gravas.

En los gráficos puede observarse que las muestras presentan porcentajes de pérdida que van desde 0,20 hasta 2,09%, al realizar el cálculo de carbono inorgánico encontramos valores que van desde 0,05 hasta 0,57%, los cuales son bastante bajos. Estos resultados son consistentes con los trabajos anteriormente realizados en la zona de estudio, donde fue encontrado un máximo valor de 0,6%, proponiéndose que el origen de estos sedimentos es litogenico y no biogenico. ^[35]

De igual modo al observar los gráficos, se observa un mayor porcentaje de pérdida para la fracción más fina, pero no presenta una tendencia específica, es decir que la acumulación de carbonatos pudiera no estar relacionada con el tamaño de partícula. De acuerdo al ANOVA realizado para esta pérdida en cuanto a los puntos de muestreo se encontró que no hay diferencias significativas, mientras que para el realizado para el tamaño de partícula si existen diferencias significativas como era de esperarse.

5.4.- Determinación de carbono orgánico

De igual forma fueron realizadas las regresiones para el contenido de carbono orgánico encontrándose una buena reproducibilidad, teniendo valores de R^2 entre 0,9986 y 1, estos gráficos se presentan en la Figura 37.

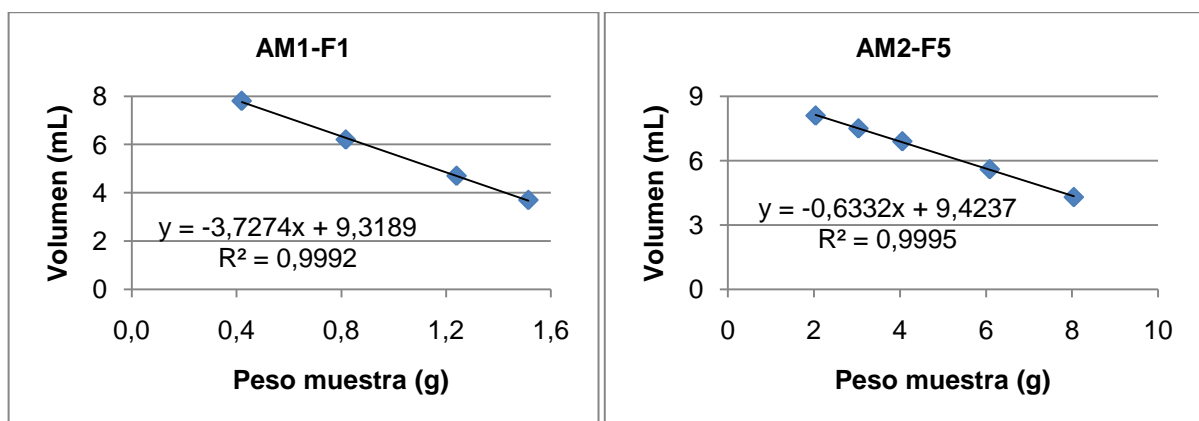


Figura 37.- Regresiones lineales para carbono orgánico.

Una vez determinado el porcentaje de carbono orgánico en cada una de las muestras se procedió a realizar los gráficos de distribución porcentual para cada una

de las fracciones obtenidas para cada muestra, estos gráficos se muestran en la Figuras 38 para el grupo de las arenas.

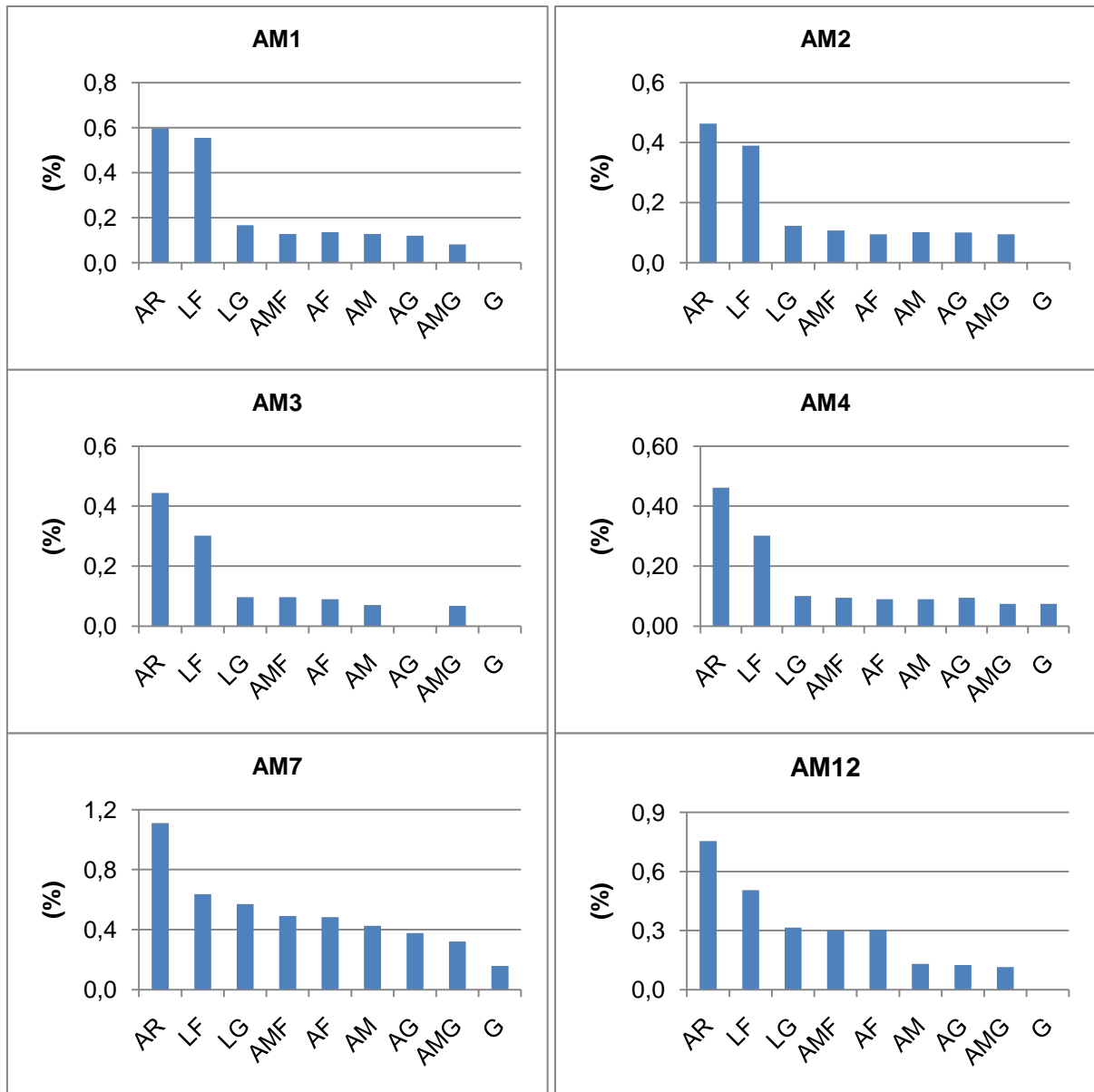


Figura 38.- Distribución porcentual de carbono orgánico para el grupo de arenas.

Como muestran los gráficos de la Figura 38 el mayor contenido de carbono orgánico se encuentra en las fracciones tipo arcilla y limo, y luego para las fracciones inferiores se observan valores muy similares, teniendo para este grupo un porcentaje

de acumulación de carbono orgánico máximo de 1,10% el cual corresponde a la muestra AM7.

Por su parte la Figura 39 muestra los gráficos de acumulación porcentual de carbono orgánico para el grupo de las gravas.

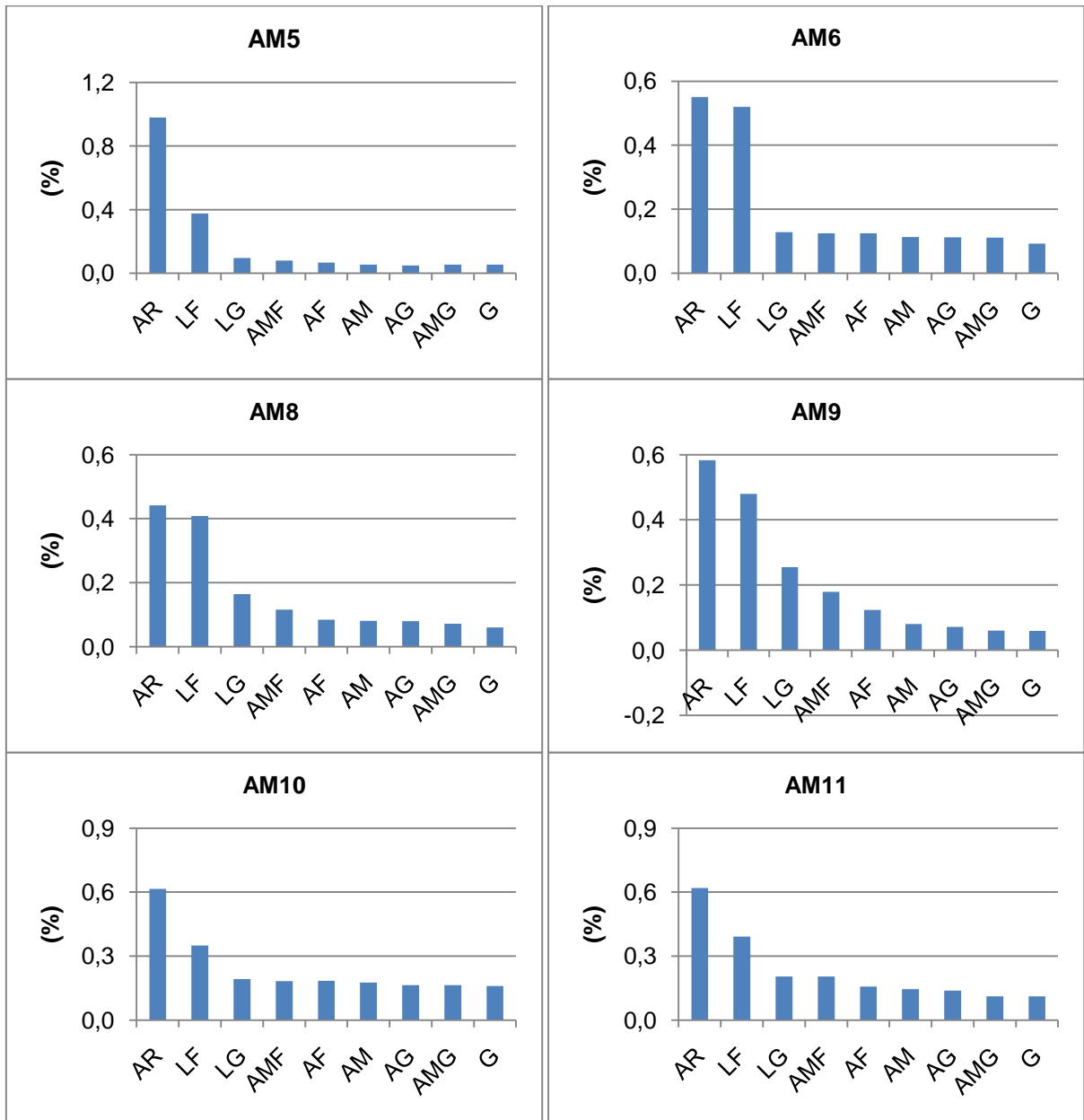


Figura 39.- Distribución porcentual de carbono orgánico para el grupo de gravas.

En la Figura 39 se observa que el mayor contenido de carbono orgánico para el grupo de las gravas se encuentra en la fracción más fina como para cada una de las

muestra y disminuye permaneciendo prácticamente constante para las fracciones posteriores a limo.

En las muestras de este grupo con tendencia hacia las gravas encontramos un contenido de carbono orgánico que va de 0,98% el cual corresponde a la muestra AM5, la cual al igual que AM7 fue recolectada en la parte superior de la morrena, por lo que se observa que existe una mayor preservación del contenido de carbono orgánico en esta zona de muestreo

El apéndice A muestra los resultados de carbono orgánico para cada una de las muestras analizadas, cabe destacar que la tabla presenta los valores sin promediar para las dos fracciones tipo arcilla que pudieron separarse tanto para AM5, como para AM7, siendo ambas muestras las que poseen los porcentajes más elevados de carbono orgánico. Los porcentajes presentados en estas tablas son los normalizados en base seca.

De acuerdo a otros trabajos realizados en la zona de estudio se han encontrado valores de carbono orgánico de hasta 1% el cual se ve favorecido por el crecimiento de comunidades biológicas como líquenes y musgos ^[35], por lo cual los valores encontrados en el presente trabajo son coincidentes con los presentados en otras investigaciones.

El ANOVA realizado para los datos obtenidos de carbono orgánico de acuerdo a los puntos de muestreo indica que no existen diferencias significativas entre los mismos, por lo cual podemos asumir que las diferencias significativas encontradas en el análisis termogravimétrico a 450° entre los puntos de muestreo es debido a los oxihidróxidos de hierro y aluminio.

Por otra parte el ANOVA realizado para las fracciones granulométricas indica que si existen diferencias significativas en cuanto al contenido de carbono orgánico de los mismos, lo cual es consistente con los realizados para las pérdidas por termogravimetría.

5.5.- Determinación de carbono total

Por último fueron realizadas las regresiones para el porcentaje de carbono total para la muestra AM1-F4 y para los patrones P1.26, P1.27 y P1.28, los cuales fueron realizados por triplicado y se presentan en la Figura 43. Estos resultados soportan la precisión de los valores obtenidos mediante este método y se muestran a continuación en la Figura 40.

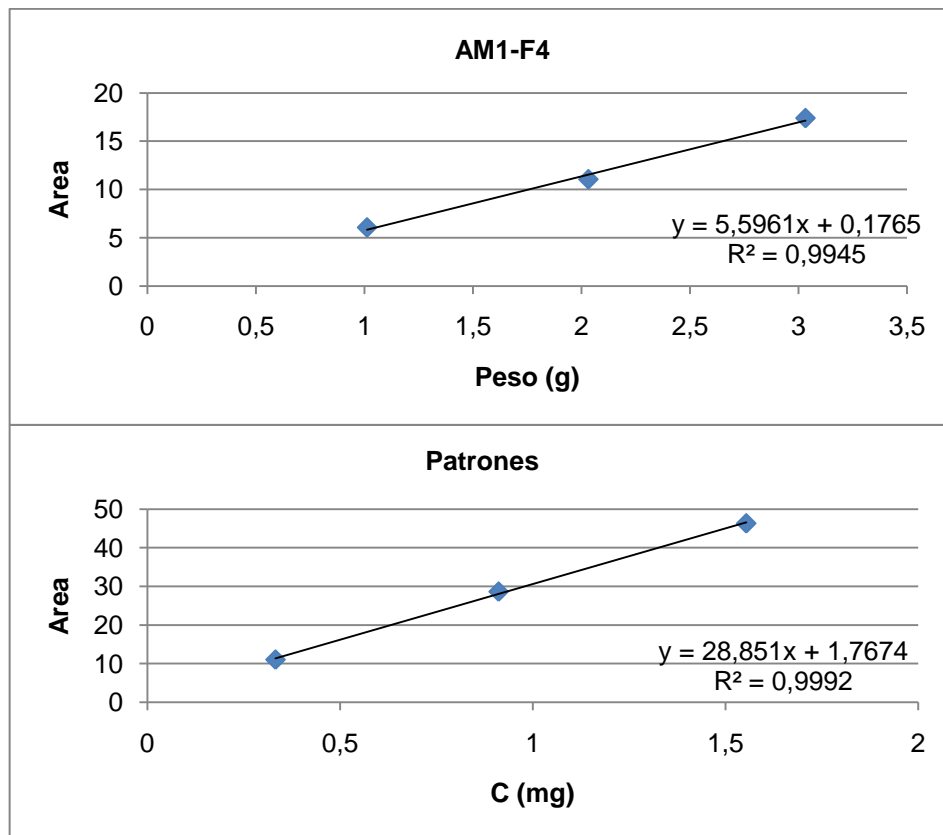


Figura 40.- Regresiones lineales para carbono total por LECO.

La Tabla 3 presenta los resultados obtenidos de carbono total mediante el análisis por el LECO y los respectivos valores de carbono total obtenido por la contribución del carbono orgánico e inorgánico respectivamente. Las muestras fueron seleccionadas de acuerdo a su contenido de carbono total obtenido mediante la contribución de carbono orgánico e inorgánico con un rango de aproximadamente 0,20% para poder así tener todo el rango de carbono total determinado.

Tabla 3.- Resultados de Carbono total por el LECO y por contribución de carbono orgánico e inorgánico para algunas muestras.

Muestra	Peso (g)	%C Total (LECO)	Area	%Corg	%Cinorg	%C Total
AM9-F9	1,0179	0,01	2,1224	0,06	0,11	0,17
AM10-F7	1,0310	0,05	3,1867	0,17	0,18	0,35
AM11-F4	1,0053	0,27	9,5194	0,21	0,13	0,34
AM12-F5	1,0089	0,31	10,7300	0,31	0,18	0,49
AM2-F1	1,0581	0,79	25,9970	0,56	0,30	0,86
AM6-F2	1,0618	0,13	5,81828	0,53	0,16	0,69
AM11-F1	1,0101	0,92	28,4310	0,66	0,57	1,23
AM7-F1a	1,0348	2,52	77,0920	1,52	0,54	2,06
AM7-F1b	1,0269	1,49	45,9680	0,70	0,30	1,00
AM5-F1a	1,0406	0,29	10,5670	1,55	0,43	1,98
AM1-F4	1,0118	0,15	6,0786	0,13	0,14	0,27

De acuerdo a la tabla se encuentra que en todos los casos el valor de carbono total obtenido por contribución de carbono orgánico e inorgánico es mayor que el obtenido por el LECO, por lo cual podrían existir interferencias de otros elementos y que no sea únicamente el carbono orgánico el que reacciona con el dicromato, esto se observa en mayor proporción en las muestras AM9-F9, AM10-F7 y AM6-F2.

Por su parte los valores de carbono total obtenidos por el LECO para las muestras AM7-F1a y AM7-F1b son mayores a los obtenidos por contribución de carbono orgánico e inorgánico, por lo que parte de este porcentaje que falta puede ser

producto de que no ocurrió la reacción completa en la titulación, puesto que por el método de Walkley-Black solo el 75% del carbono orgánico reacciona. ^[14]

5.6.- Estimación general del contenido de carbono en el área de estudio

Posterior a todos los análisis realizados se procedió a determinar el promedio ponderado del contenido de carbono orgánico inorgánico y total para cada una de las muestras, evaluando la contribución que tiene cada tamaño de partícula en las mismas.

La Figura 41 muestra los diagramas de distribución porcentual ponderada para cada uno de los análisis realizados por muestras.

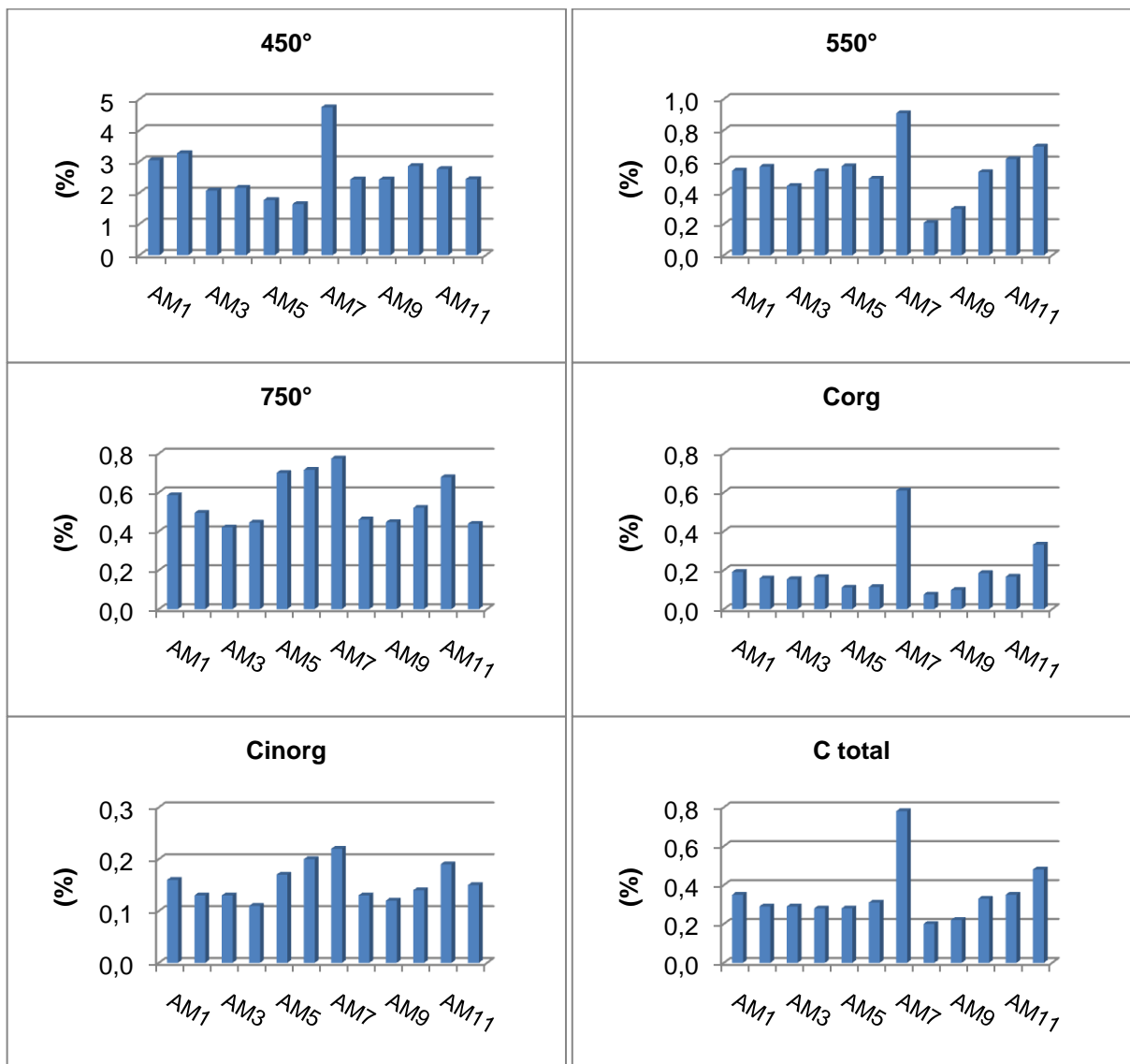


Figura 41.- Distribución porcentual ponderada para cada uno de los análisis.

La Figura 41 muestra que el mayor contenido de carbono orgánico, inorgánico y total se encuentra en la muestra AM7, al igual que los mayores porcentajes de pérdida por termogravimetría se atribuyen a esta muestra, sin embargo para el contenido de pérdida de 750° y para el contenido de carbono inorgánico se observa que tanto AM5, AM6 y AM7 tienen valores elevados en comparación con el resto de las muestras.

Las muestras AM5, AM6 y AM7 como mencionamos anteriormente fueron recolectadas en la parte superior de la morrena, esto nos indica que la mayor acumulación de sedimentos litogénicos se da en la morrena y es por esto que presenta estos valores que a pesar de ser bajos son mayores que los encontrados para el resto de las muestras.

De igual forma puede observarse que en estas muestras es acumulado en mayor proporción el carbono orgánico, el cual presenta un valor de 0,60%, a pesar de que estas tres muestras fueron tomadas en la parte superior de la morrena no presentan los mismos porcentajes de acumulación, y de acuerdo a los resultados obtenidos se observa que la muestra AM7 es la que se encuentra menos expuesta a los procesos de erosión y meteorización.

La Tabla 10 del apéndice refleja los resultados del contenido de carbono orgánico, inorgánico y total ponderados para cada uno de los puntos de muestreo, en donde se observa que en general para la zona de estudio, el contenido de acumulación de carbono orgánico es menor a 0,60% y el inorgánico menor a 0,30%, los cuales son valores consistentes con el ambiente de sedimentación asociado al muestreo, puesto que las condiciones climáticas que existen ahí no permiten una acumulación mucho mayor.

VI. CONCLUSIONES

- Los sedimentos provenientes de la Isla Rey Jorge o 25 de Mayo presentan dos tendencias de granulometría: una tendencia hacia las arenas y la otra hacia las gravas.
- Únicamente las muestras AM5 y AM7 recolectadas en la parte superior de la morrena pudieron ser separadas en dos tipos de arcillas.
- El patrón de distribución y acumulación de carbono orgánico fue principalmente en las fracciones tipo arcilla con valores de hasta 1,55%.
- La zona de mayor acumulación de carbono orgánico e inorgánico es en la parte superior de la morrena.
- El patrón de distribución y acumulación de carbono inorgánico fue principalmente en la fracción tipo arcilla con valores de hasta 0,60%.
- El contenido de carbono orgánico ponderado en la zona de estudio se encuentra entre 0,07 y 0,61%
- El contenido de carbono inorgánico en el área de estudio se encuentra entre 0,11 y 0,22%
- El patrón de distribución y acumulación de carbono total fue principalmente en las fracciones tipo arcilla de la muestra AM7, presentando valores entre 1,5 y 2,5%
- El análisis termogravimétrico es un método bastante completo, el cual permitió hacer una estimación muy precisa del contenido de carbono inorgánico en las muestras de sedimentos.
- La principal fuente de sedimentos en el Glaciar Collins es la morrena lateral que se encuentra adyacente al mismo.

VII. RECOMENDACIONES

- Analizar los relictos biológicos encontrados en AM7.
- Estudiar el contenido de Nitrógeno en las muestras, y poder estudiar así la relación C/N.
- Para futuras recolecciones de muestras en campo se sugiere ampliar el área de estudio, y tomar las muestras con una separación continua entre cada una de ellas.
- Realizar un estudio completo de la cristalografía de las muestras, así como también evaluar las fases minerales por medio de la técnica de Difracción de Rayos X.
- Realizar una caracterización Geoquímica de las muestras completa, evaluando así elementos mayoritarios y traza en la zona de estudio.

VII. BIBLIOGRAFIA

- [1] Boggs, S. 1995. "Principles of sedimentology stratigraphy". Editorial Prentice Hall. New Jersey. Capítulo 8.
- [2] Casas, J., Cuchí, J.A., Durán J.J., López-Martínez, J., Machín, J., Mink, S., Navas, A., y Serrano, E. 2008. Soil characteristics on varying lithological substrates in the South Shetland Islands, maritime Antarctica. *Geoderma* 144 123-129.
- [3] Plan de gestión revisado de la Zona Antártica Especialmente Protegida No 125 Península Fildes, isla Rey Jorge (isla 25 de Mayo). 2009.
- [4] Nichols, G. 2009. "Sedimentology and stratigraphy". Editorial Wiley-Blackwell. United Kingdom. Capítulo 7.
- [5] Pettijohn, F.J.1975. "Sedimentary rocks". Editorial Harper & Row. New York. Capítulo 1.
- [6] "Edafología, génesis del suelo".2006. Facultad de ciencias. Uruguay. Disponible en:
<http://edafologia.fcien.edu.uy/archivos/Genesis%20del%20suelo%20y%20caracteristicas%20generales.pdf>
- [7] Rebolledo, S. y Vargas, G. Introducción a la descripción de rocas sedimentarias. Departamento de Geología. Universidad de Chile. 2007. Disponible en:
http://mct.dgf.uchile.cl/AREAS/mine_mod230.pdf
- [8] Méndez, J. "Geología Física". 2006. Editado por: PDVSA, INTEVEP. Caracas, Venezuela.
- [9] Jordán, A. "Manual de edafología". Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola de la Universidad de Sevilla. Profesor asociado a la E.U.I.T.A. CURSO 2005-2006.
- [10] Fassbender, H. 1975. "Química de suelos". Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Costa Rica. Capítulo 1.

- [11] Ascanio, M., Bojórquez, J., García N., García, J., Hernández, A. y Morales, M. 2006. "El suelo: fundamentos sobre su formación, los cambios globales y su manejo". Universidad autónoma de Nayarit.
- [12] Beyer, L., Pingpank, K., Wriedt, G. y Bölter, M. 1995. Soil formation in coastal continental Antarctica (Wilkes Land). *Geoderma* 95, pp 283-304.
- [13] Mac Neal, B. y Connor, O. "Soil chemistry". Editorial Wiley Interscience. 1979. Capítulo 10.
- [14] Arrieche, I. y Pacheco, Y. Determinación de carbono orgánico en muestras de suelos mediante dos procedimientos analíticos. *Revista VENESUELOS*. (1 y 2): 9-13.
- [15] Blasco, R., Caballero, F., Castillo, F., Huertas, M., Martínez, M. y Roldán, M. "Biotecnología ambiental". 2005. Editorial Tébar, S.L. Madrid. Capítulo 6.
- [16] Deocampo, D. "The Geochemistry of Continental Carbonates". 2010. *Developments in sedimentology*. Volumen 62. Pag. 1-59
- [17] Viñas, J.M. "¿Estamos cambiando el clima?". 2007. Editorial Equipo Sirius. Madrid. Capítulo 3.
- [18] Glynn Henry J. y Heinke G.W. 1999. "Ingeniería ambiental". Editorial Prentice Hall. México. Capítulo 9.
- [19] Margesin, R., y Schinner, F. 2005. "Manual of soil analysis". Editorial Springer. Germany. Capítulo 2.
- [20] Seminario internacional sobre la enseñanza de ecología y suelos en las facultades de agronomía de América Central. Centro de enseñanza e investigación Turrialba. Universidad de Costa Rica. Facultad de Agronomía. Costa Rica. 1967.
- [21] Skoog, D., Holler, F. y Nieman, T. 2001. *Principios de Análisis Instrumental*. Editorial McGraw and Hill Interamericana de España. Quinta Edición. Madrid, España. Pág. 1028.
- [22] Alguacil, F., Alonso, M., López, A., López, F., Pons, J. y Ramírez, M. 2006. Estudio cinético de la descomposición térmica de escombros lateríticos. *X Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales*, La Habana, Cuba.

- [23] Gibbs, H., O'Garro, L., Newton, A. 2001. Thermogravimetry: a means of estimating the relative fertility of the mineral soils of Barbados. *Thermochemica Acta*, 374, 137-143.
- [24] Awaja, F. y Bhargava, S. 2005. Prediction of clay content in oil shale using DRIFTS and TGA data facilitated by multivariate calibration. *Fuel*, 85, 1396-1402.
- [25] Bohé, A., Fouga, G., Gaviría, J., Pasquevich, D. y Quattrini, D. 2003. Estudio cinético de la descomposición del carbonato de calcio por cromatografía gaseosa. *Jornadas SAM/CONAMET/Simposio Materia 2003*, Bariloche, Argentina. Pág 4.
- [26] Marcano, E. Distribución espacial de fósforo en sedimentos superficiales del Lago de Valencia. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Caracas. 2010. Pág. 8 y 9.
- [27] Evans, K.G., Hancock, G.R., y Murphy, D. Hillslope and catchment scale soil organic carbon concentration: An assessment of the role of geomorphology and soil erosion in an undisturbed environment. *Geoderma*. Volume 155, Issues 1-2, 15 February 2010, Pages 36-45.
- [28] Burkins, M.B., Virginia, R.a., y Wall, D.H. 2001. Organic carbon cycling in Taylor Valley, Antarctica: quantifying soil reservoirs and soil respiration. *Global Change Biology* 7, 113-125.
- [29] Deniss, P.G., Elberling, B., English L.C., Gregorich, E.G., Greenfield, L.G., Hopkins, D.W., Sparrow, A.D., Shillam, L.L., y Novis, P. 2008. Enzymatic activities and microbial communities in an Antarctic dry valley soil: Responses to C and N supplementation. *Soil Biology and Biochemistry* 40 2130-2136.
- [30] Gajananda, K. 2007. Soil organic carbon and microbial activity: east Antarctica. *European journal of soil science* 58, 704-713.
- [31] Egli, M., Giaccai, D., Mavris, C., y Mirabella, A. 2010. Soil organic matter formation along a chronosequence in the Morteratsch proglacial area (Upper Engadine, Switzerland). *CATENA*. Volume 82, Issue 2. Pages 61-69.
- [32] Elberling, B., Feng, X., Gregorich, E., Greenfield, L., Hopkins, D., Novis, P., Simpson, A., Simpson, M., y Sparrow, A. 2010. Chemical characterization of microbial-dominated soil organic matter in the Garwood Valley, Antarctica. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. Volume 74, Issue 22. Pages 6485-6498.

- [33] Andreas, L., Bjurström, H., Brännvall, E., Holger, E., Kumpiene, J., Lagerkvist, A., Nordmark, D., y Robinson, R. 2011. Carbon speciation in ash, residual waste and contaminated soil by thermal and chemical analyses. *Waste Management*. Volume 31, Issue 1. Pages 18-25
- [34] Roa, P. y Berthois, L. 1975. *Manual de sedimentología*. Primera edición. Caracas, Venezuela. Págs. 57,133.
- [35] Jang, Y.H., Kang, Y.C., Khim, B.K., Shim, J., y Yoon, H.I. 2007. Lithogenic and biogenic particle deposition in an Antarctic coastal environment (Marian Cove, King George Island): Seasonal patterns from a sediment trap study. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 73 111e122.

IX. APÉNDICE

APÉNDICE A

Porcentaje de tamaños de partícula para cada muestra, con su tamaño de grano predominante respectiva.

	Nombre textural	Grava gruesa	Grava media	Grava fina	Arena muy gruesa	Arena gruesa	Arena media	Arena fina	Arena muy fina	Limo grueso	Limo fino	Arcilla	Tamaño promedio (µm)
Muestra	Tamaño promedio (µm)	11314	5657	2828	1414	707	353	177	88,7	53,2	9,49	1	
	Porcentaje												
AM1	%	0,00	0,00	0,18	1,52	3,86	19,86	43,08	14,86	4,67	1,90	10,06	216
AM2	%	0,00	0,00	1,20	3,42	4,53	31,13	28,55	15,40	3,15	2,75	9,89	290
AM3	%	0,00	0,00	0,27	1,10	1,04	1,62	12,78	38,07	23,55	14,25	7,34	106
AM4	%	13,81	0,00	1,91	3,00	1,67	5,30	19,07	23,89	5,76	14,83	10,75	1749
AM5	%	0,00	40,19	17,32	12,16	9,16	9,49	1,10	2,56	1,21	1,92	4,902	3038
AM6	%	14,41	37,40	12,21	12,23	7,69	7,04	3,25	2,42	0,97	1,87	0,53	4351
AM7	%	0,00	7,53	3,21	9,63	7,11	6,25	8,66	15,25	6,93	13,29	22,16	759
AM8	%	26,97	32,83	11,28	10,77	5,36	5,07	3,45	1,48	0,62	1,81	0,37	5443
AM9	%	13,83	29,91	13,62	15,23	9,12	7,23	2,63	1,43	0,49	4,66	1,85	3953
AM10	%	0,00	25,97	17,12	18,55	7,27	7,85	7,09	8,28	2,38	4,24	1,24	2316
AM11	%	15,16	31,15	12,52	9,58	5,82	0,67	4,57	5,65	2,64	9,34	2,91	4026
AM12	%	0,12	0,00	0,00	0,44	2,04	6,06	8,82	34,27	32,41	15,41	0,44	120

Resultados de pérdidas (g) en el análisis termogravimétrico para las réplicas.

Muestra	Peso Muestra (g)	Perdida 105° (g)	Perdida 450° (g)	Perdida 550° (g)	Perdida 750° (g)	Total (g)
AM7-F1b	3,1604	0,0889	0,1447	0,0355	0,0289	0,2980
AM7-F1b	1,9543	0,0445	0,0967	0,0240	0,0198	0,1850
AM7-F1b	1,0969	0,0175	0,0599	0,0135	0,0120	0,1029
AM12-F4	4,0687	0,0726	0,1034	0,0319	0,0133	0,2212
AM12-F4	3,2249	0,0538	0,0867	0,0239	0,0112	0,1756
AM12-F4	2,0135	0,0198	0,0633	0,0097	0,0081	0,1009
AM12-F4	1,0506	0,0012	0,0401	0,0016	0,0058	0,0487
AM12-F3	2,0926	0,0855	0,0524	0,0110	0,0109	0,1598
AM12-F3	3,9667	0,1469	0,1057	0,0207	0,0190	0,2923
AM12-F3	5,9900	0,2081	0,1688	0,0315	0,0275	0,4359
AM12-F3	8,0149	0,2823	0,2277	0,0423	0,0370	0,5893
AM9-F7	2,0318	0,0298	0,0600	0,0029	0,0116	0,1043
AM9-F7	4,0052	0,0812	0,0974	0,0100	0,0186	0,2072
AM9-F7	6,0240	0,1373	0,1345	0,0176	0,0260	0,3154
AM9-F7	8,0049	0,1905	0,1726	0,0264	0,0308	0,4203

Datos obtenidos para las réplicas por el método de titulación de Walkley-Black.

Muestra	Peso (g)	V (ml)	%C
AM1-F1	0,4198	7,8	0,58
AM1-F1	0,8171	6,2	0,61
AM1-F1	1,2399	4,7	0,60
AM1-F1	1,5140	3,7	0,60
AM2-F5	2,0360	8,1	0,10
AM2-F5	3,0325	7,5	0,10
AM2-F5	4,0532	6,9	0,10
AM2-F5	6,0849	5,6	0,10
AM2-F5	8,0399	4,3	0,10
AM3-F3	3,0076	7,5	0,10
AM3-F3	4,0187	6,8	0,10
AM3-F3	5,0079	6,2	0,10
AM5-F1a	0,9080	0,6	1,55
AM5-F1a	0,5027	4,5	1,54
AM5-F1a	0,2587	6,8	1,56
AM5-F5	3,0294	8,1	0,06
AM5-F5	4,1776	7,6	0,07
AM5-F5	5,0981	7,2	0,07
AM7-F1a	0,2139	7,3	1,51
AM7-F1a	0,4089	5,4	1,54
AM7-F1a	0,6165	3,5	1,52
AM7-F1a	0,8053	1,7	1,52

Resultados obtenidos, normalizados en base seca

Muestra	% Fracción	% 105°	% 450° N	% 550° N	% 750° N	%Corg N	%Cinorg	C Total
AM1-F1	10,43	6,21	4,62	1,09	1,28	0,64	0,35	0,99
AM1-F2	1,90	3,93	3,02	0,76	0,83	0,58	0,23	0,80
AM1-F3	4,67	2,22	2,70	0,70	0,51	0,17	0,14	0,31
AM1-F4	14,56	1,20	2,97	0,35	0,52	0,13	0,14	0,27
AM1-F5	43,08	2,63	2,65	0,43	0,45	0,13	0,12	0,25
AM1-F6	19,83	2,75	3,47	0,58	0,60	0,12	0,16	0,29
AM1-F7	3,83	3,77	3,21	0,74	0,63	0,13	0,17	0,30
AM1-F8	1,52	-----	-----	-----	-----	0,09	-----	-----
AM1-F9	0,18	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
AM2-F1	9,87	17,01	4,44	1,44	1,11	0,56	0,30	0,86
AM2-F2	2,75	2,98	2,65	0,72	0,56	0,40	0,15	0,55
AM2-F3	3,15	2,52	2,93	0,42	0,64	0,13	0,17	0,30
AM2-F4	15,40	0,83	3,26	0,42	0,38	0,11	0,10	0,21
AM2-F5	28,55	1,67	3,40	0,48	0,40	0,11	0,11	0,22
AM2-F6	31,13	2,01	3,24	0,46	0,43	0,10	0,11	0,22
AM2-F7	4,53	2,95	2,60	0,64	0,64	0,10	0,17	0,28
AM2-F8	3,42	2,56	1,86	0,54	0,46	0,10	0,13	0,22
AM2-F9	1,20	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
AM3-F1	7,32	9,70	4,48	1,37	1,34	0,49	0,40	0,89
AM3-F2	14,25	1,93	1,93	0,45	0,46	0,31	0,13	0,44
AM3-F3	23,55	1,49	1,72	0,44	0,42	0,10	0,11	0,21
AM3-F4	38,07	0,79	2,14	0,34	0,31	0,10	0,12	0,22
AM3-F5	12,78	1,73	1,92	0,38	0,33	0,09	0,08	0,18
AM3-F6	1,62	-----	-----	-----	-----	0,08	0,09	0,17
AM3-F7	1,04	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
AM3-F8	1,10	-----	-----	-----	-----	0,08	-----	-----
AM3-F9	0,27	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
AM4-F1	10,75	4,40	2,82	0,89	0,80	0,48	0,22	0,70
AM4-F2	14,83	1,39	1,79	0,42	0,46	0,31	0,12	0,43
AM4-F3	5,76	1,44	1,87	0,39	0,48	0,10	0,13	0,23
AM4-F4	23,89	1,17	2,18	0,52	0,42	0,10	0,07	0,17
AM4-F5	19,07	1,07	2,24	0,43	0,20	0,09	0,05	0,14
AM4-F6	5,30	1,39	2,40	0,51	0,24	0,09	0,06	0,16
AM4-F7	1,68	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
AM4-F8	3,00	3,32	2,15	0,71	0,48	0,08	0,13	0,21
AM4-F9	15,72	3,01	2,18	0,66	0,63	0,08	0,17	0,25

Muestra	% Fracción	% 105°	% 450° N	% 550° N	% 750° N	%Corg N	%Cinorg	C Total
AM5-F1a	3,23	7,72	8,00	1,68	1,57	1,55	0,43	1,98
AM5-F1b	1,67	6,35	3,82	1,24	0,93	0,41	0,25	0,66
AM5-F2	1,92	2,18	2,38	0,61	0,44	0,38	0,12	0,50
AM5-F3	1,21	1,73	1,74	0,58	0,53	0,10	0,14	0,24
AM5-F4	2,56	1,08	2,00	0,52	0,22	0,08	0,06	0,14
AM5-F5	1,10	1,32	1,93	0,50	0,28	0,06	0,07	0,13
AM5-F6	9,48	1,26	2,31	0,22	0,32	0,05	0,09	0,14
AM5-F7	9,16	2,36	1,53	0,53	0,59	0,05	0,16	0,21
AM5-F8	12,16	2,45	1,44	0,55	0,67	0,05	0,18	0,24
AM5-F9	57,51	3,61	1,46	0,55	0,76	0,06	0,20	0,26
AM6-F1	0,53	7,16	4,06	1,64	1,36	0,60	0,37	0,97
AM6-F2	1,87	2,24	2,03	0,71	0,58	0,53	0,16	0,69
AM6-F3	0,97	1,49	1,88	0,64	0,53	0,13	0,15	0,28
AM6-F4	2,42	1,08	2,30	0,29	0,31	0,13	0,08	0,21
AM6-F5	3,25	1,30	2,21	0,33	0,27	0,13	0,07	0,20
AM6-F6	7,04	1,22	2,34	0,39	0,23	0,11	0,06	0,18
AM6-F7	7,68	2,64	1,26	0,64	0,46	0,12	0,13	0,24
AM6-F8	12,23	2,44	1,58	0,29	1,00	0,11	0,27	0,39
AM6-F9	64,01	3,33	1,53	0,52	0,79	0,10	0,22	0,31
AM7-F1a	14,12	7,25	7,43	1,97	1,97	1,52	0,54	2,06
AM7-F1b	8,04	3,20	4,10	1,06	0,81	0,70	0,30	1,00
AM7-F2	13,28	1,99	3,82	0,54	0,61	0,65	0,19	0,84
AM7-F3	6,93	1,09	3,90	0,37	0,58	0,58	0,14	0,72
AM7-F4	15,25	0,87	4,99	0,56	0,42	0,50	0,16	0,65
AM7-F5	8,65	2,16	4,29	0,47	0,37	0,49	0,11	0,60
AM7-F6	6,25	3,24	3,94	0,87	0,78	0,44	0,10	0,54
AM7-F7	7,11	3,91	8,26	1,51	1,16	0,39	0,20	0,60
AM7-F8	9,63	2,72	5,94	1,00	0,84	0,33	0,29	0,62
AM7-F9	10,74	4,96	2,48	1,05	0,60	0,17	0,22	0,38
AM8-F1	0,35	3,28	3,54	0,90	1,20	0,46	0,33	0,78
AM8-F2	1,81	1,13	3,22	0,53	0,64	0,41	0,17	0,59
AM8-F3	0,62	0,83	2,80	0,46	0,45	0,17	0,12	0,29
AM8-F4	1,49	0,30	2,63	0,37	0,30	0,12	0,08	0,20
AM8-F5	3,45	0,89	2,54	0,39	0,26	0,09	0,07	0,15
AM8-F6	5,07	1,01	2,88	0,54	0,26	0,08	0,07	0,15
AM8-F7	5,36	1,97	2,46	0,24	0,27	0,08	0,07	0,15
AM8-F8	10,78	1,80	2,47	0,19	0,50	0,07	0,13	0,21
AM8-F9	71,07	2,17	2,34	0,16	0,49	0,06	0,13	0,19

Resultados con promedios ponderados.

Muestra	450°	550°	750°	Corg	Cinorg	C total
AM1	3,05	0,54	0,59	0,19	0,16	0,35
AM2	3,27	0,57	0,49	0,16	0,13	0,29
AM3	2,07	0,44	0,42	0,15	0,13	0,29
AM4	2,16	0,54	0,45	0,16	0,11	0,28
AM5	1,77	0,57	0,70	0,11	0,17	0,28
AM6	1,64	0,49	0,72	0,11	0,20	0,31
AM7	4,74	0,91	0,77	0,61	0,22	0,78
AM8	2,42	0,21	0,46	0,07	0,13	0,20
AM9	2,42	0,30	0,45	0,10	0,12	0,22
AM10	2,85	0,53	0,52	0,19	0,14	0,33
AM11	2,76	0,62	0,68	0,17	0,19	0,35
AM12	2,44	0,70	0,44	0,33	0,15	0,48

APÉNDICE B

ANÁLISIS DE VARIANZA: muestras a 450°

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	52,3878	11	4,7625	5,1415	4,2319E-06	1,9060
Dentro de los grupos	76,8824	83	0,9263			
Total	129,2702	94				

ANÁLISIS DE VARIANZA: muestras a 550°

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,4514	11	0,1319	1,3148	0,2310	1,9060
Dentro de los grupos	8,3297	83	0,1004			
Total	9,7812	94				

ANÁLISIS DE VARIANZA: muestras para 750°

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	1,4033	11	0,1276	0,9613	0,4877	1,9060
Dentro de los grupos	11,0145	83	0,1327			
Total	12,4178	94				

ANÁLISIS DE VARIANZA: muestras para Corg

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	0,9477	11	0,0862	1,9348	0,0447	1,8955
Dentro de los grupos	4,0519	91	0,0445			
Total	4,9996	102				

ANÁLISIS DE VARIANZA: fracciones a 450°

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	41,3982	8	5,1748	5,0645	3,5724E-05	2,0480
Dentro de los grupos	87,8721	86	1,0218			
Total	129,2702	94				

ANÁLISIS DE VARIANZA: fracciones a 550°

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	5,4397	8	0,6800	13,4693	1,8717E-12	2,0480
Dentro de los grupos	4,3415	86	0,0505			
Total	9,7812	94				

ANÁLISIS DE VARIANZA: fracciones a 750°

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	8,3184	8	1,0398	21,8137	9,4824E-18	2,0480
Dentro de los grupos	4,0994	86	0,0477			
Total	12,4178	94				

ANÁLISIS DE VARIANZA: fracciones Corg

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Entre grupos	3,5324	8	0,4416	28,2901	6,6912E-22	2,0384
Dentro de los grupos	1,4672	94	0,0156			
Total	4,9996	102				