

UNIVERSIDAD CENTRAL DE VENEZUELA
FACULTAD DE CIENCIAS
ESCUELA DE QUÍMICA
DEPARTAMENTO DE GEOQUÍMICA



**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE CARBONO Y NITRÓGENO EN LOS
SEDIMENTOS SUPERFICIALES DEL LAGO DE VALENCIA, VENEZUELA**

Trabajo Especial de Grado
presentado ante la ilustre
Universidad Central de Venezuela
por la **Br. Albani Daniela Burbano
Anatoa** como requisito para aprobar
la asignatura Proyecto Geoquímico
II y optar al Título de Licenciada en
Geoquímica.

Caracas, Mayo de 2011.

ACTA

Aprobado en nombre de la Universidad Central de Venezuela por los miembros del Jurado Examinador.

PROF. ARMANDO RAMÍREZ

TUTOR

PROF. SALVADOR LO MÓNACO

JURADO

PROF. RAMÓN MONTERO

JURADO

DEDICATORIA

A DIOS,

A MI PADRE,

A MI MADRE,

A MIS HERMANAS

Y MI SOBRINA ANÍ

AGRADECIMIENTOS

En esta parte quiero dar gracias a todos los que de una u otra forma contribuyeron con el alcance de esta meta, a ellos ¡muchas Gracias!!

Agradezco:

A dios, por todo lo que somos día a día.

A la Universidad Central de Venezuela, por la formación profesional brindada.

Al Instituto de Ciencias de la Tierra, por la prestación de sus instalaciones, materiales e instrumental para la realización de este proyecto.

A mi tutor, el Dr. Armando Ramírez, por su orientación, consejos, regaños, paciencia y por demostrarme que no hay que darse por vencido, que todo tiene un tiempo estipulado, sin sus exigencias no hubiera continuado, a él gracias!!

A los profesores, personal técnico y empleados del instituto de Ciencias de la tierra por su ayuda y consejos.

A mi madre y hermanas, que siempre me brindaron apoyo, tanto en los desvelos para la realización de este proyecto como en los miles durante todo el estudio de esta carrera.

A mi compañero Junior, por quien siempre me sentí retada a continuar y seguir siendo mejor.

A todos los compañeros que de una u otra forma me brindaron su ayuda desinteresada en los momentos difíciles, especialmente a: Jhonny Quevedo, Erika Gonzales, Mariela Hernández, Katty Velásquez, Ana Karina Faraco, Alexmar Córdova, Khelymey Uzcategui, Nadeztha Hernández, Richar Henríquez, Luisa Blanco y sobre todo a Edgar Marcano, quien siempre colaboro abiertamente conmigo ante cualquier duda en la realización de este proyecto.

RESUMEN

En el siguiente trabajo fueron establecidas las distribuciones espaciales del carbono orgánico, inorgánico, carbono total y nitrógeno en 41 puntos de muestreo de sedimentos superficiales del Lago de Valencia, recolectadas durante la campaña de mayo de 2008. Por otro lado fue establecida la diferenciación de estas variables en función de su granulometría, utilizando la escala Udden Wentworth para la separación granulométrica. La concentración de nitrógeno fue determinada a través del método Kjeldahl modificado de Jackson (1976), mientras que el carbono orgánico fue determinado mediante el método de titulación por retroceso propuesto por walkley-Black (1934), así mismo el carbono inorgánico fue calculado a través de su relación con la pérdida a 750°C y el carbono total fue calculado por la adición de estos dos últimos. Se estableció que la pérdida a 450°C está relacionada con la concentración de carbono orgánico en un porcentaje aproximado de 50%, este carbono orgánico a su vez está relacionado con la concentración de nitrógeno en un porcentaje aproximado de 10%. Seguidamente se estimó el contenido de materia orgánica (450°C) y carbonatos (750°C) en los distintos sedimentos estudiados por medio de termogravimetría, obteniéndose que la materia orgánica, carbono orgánico y nitrógeno están distribuidos hacia el centro del lago asociándose a las fracciones de grano fino; mientras que el carbono inorgánico se encuentra hacia la periferia del mismo, asociado a las fracciones de grano grueso.

ÍNDICE GENERAL

<i>Contenido</i>	<i>página</i>
1. Introducción.....	1
1.1) Objetivos.....	3
1.1.1) Objetivo general.....	3
1.1.2) Objetivos específicos.....	3
2. Revisión bibliográfica.....	4
2.1) Marco teórico.....	4
2.1.1) Lagos.....	4
2.1.1.1) Mecanismos de sedimentación.....	4
2.1.1.2) Mineralogía de los sedimentos.....	6
2.1.1.3) Importancia del estudio de sedimentos lacustres.....	6
2.1.2) Ciclos biogeoquímicos en lagos.....	7
2.1.2.1) Carbono.....	7
2.1.2.1.1) Ciclo del Carbono.....	8
2.1.2.2) Nitrógeno.....	10
2.1.2.2.1) Ciclo del Nitrógeno.....	11
2.1.2.3) Relación C/N.....	13
2.1.3) Método termogravimétrico.....	13
2.2) Zona de estudio.....	14
2.2.1) Características del área de estudio.....	14
2.2.1.1) Ubicación geográfica.....	14
2.2.1.2) Clima.....	15
2.2.1.3) Precipitación.....	15
2.2.1.4) Flora y Fauna.....	15
2.2.1.5) Hidrografía.....	15
2.2.1.6) Geomorfología y Topografía.....	17
2.2.1.7) Problemas ambientales de la cuenca.....	17
2.2.2) Geología regional y local.....	18
2.3) Antecedentes.....	22

3. Metodología experimental.....	28
3.1) Etapa de oficina.....	28
3.2) Etapa de campo.....	29
3.3) Etapa de laboratorio.....	29
3.3.1) Determinación de Carbono	32
3.3.2) Determinación de Nitrógeno.....	33
3.4) Tratamientos de los datos.....	35
4. Presentación y discusión de resultados.....	36
4.1) Análisis termogravimétrico.....	36
4.2) Carbono orgánico.....	40
4.3) Carbono inorgánico y Carbono total.....	46
4.4) Nitrógeno.....	50
4.5) Distribución espacial de carbono y Nitrógeno en el lago de Valencia, Venezuela.....	54
5. Conclusiones.....	59
6. Recomendaciones.....	61
7. Bibliografía.....	62
8. Apéndices.....	68
8.1) AI. Valoración de Sulfato Ferroso (~0.5N).....	68
8.2) AII. Valoración de HCl (0,0119M).....	69
8.3) AIII. Análisis de la varianza para las regresiones (Anova).....	70
8.4) AIV. Continuación... Análisis de la varianza para las regresiones (Anova).....	71
8.5) AV. Tabla de resultados obtenidos por estación (% Ponderados).....	72

ÍNDICE DE TABLAS

<i>Contenido</i>	<i>página</i>
Tabla. 1 Estados de oxidación de compuestos de nitrógeno en la biosfera.....	10
Tabla. 2 Relación C/N con la materia orgánica.....	13
Tabla. 3 Principales tributarios. Longitudes y áreas.....	17
Tabla. 4 Condiciones del bloque digestor kjeldahl.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Contenido</i>	<i>página</i>
Fig.1 Ciclo del Carbono.....	8
Fig.2 Ciclo del Nitrógeno.....	12
Fig.3 Cuenca del Lago de Valencia y sus principales tributarios.....	16
Fig.4 Mapa Geológico de la Cuenca del Lago de Valencia.....	20
Fig.5 Ubicación de las estaciones de muestreo.....	28
Fig.6 Esquema de la Etapa de tratamiento físico de las muestras.....	30
Fig.7 Esquema de la Etapa de Caracterización	
Termogravimétrica de los sedimentos.....	31
Fig.8 Pérdida a 450°C, 550°C, 750°C y P_{total} Vs	
Peso de muestra para LV21-F3.....	37
Fig.9 Pérdida a 750°C Vs pérdida a 450°C por (a)	
fracción granulométrica y por (b) estación.....	39
Fig.10 Volumen de sulfato ferroso (0.5M) Vs	
Peso de muestra (a) LV16C-F3 y (b) LV39A-F1.....	41
Fig.11 Carbono orgánico (%) Vs pérdida a 450°C (%),	
para F3, F2, F1, LG, LV15 y LV25.....	43
Fig.12 Distribución de Carbono orgánico (%),	
para las (a) F3, (b) F1 y (c) muestra total.....	45
Fig. 13 Distribución de Carbono inorgánico (%),	
para (a) F3, (b) F1 y (c) muestra total.....	47
Fig.14 Carbono total Leco (%) Vs carbono total calculado.....	48
Fig. 15 (a) Carbono total leco (%) y (b) área Vs	
peso de muestra para LV16B (1:35pm)-F3.....	49
Fig.16 Titulaciones (a) Sol NH_4Cl (0,009M), (b) Sol NH_4Cl (0,010M)	
y (c) Volumen de HCl (0.01M) Vs peso de muestra (a) LV14-F3.....	51
Fig. 17 Nitrógeno (%) Vs carbono orgánico (%),	
para (a) F3, F2, F1, LG, (b) LV15 y (c) LV25.....	53

Fig. 18 Mapa de distribucion de carbono inorganico	
en el Lago de Valencia.....	55
Fig. 19 Mapa de distribucion de carbono organico	
en el Lago de Valencia.....	56
Fig. 20 Mapa de distribucion de carbono total	
en el Lago de Valencia.....	56
Fig. 21 Mapa de distribucion de nitrógeno	
en el Lago de Valencia.....	57

1. INTRODUCCIÓN

Los lagos se pueden definir como sistemas abiertos y continuos por la interacción constante con su entorno, ya que estos forman parte de una unidad mayor que incluye su cuenca de drenaje y el intercambio con la atmosfera (Roldán, 2008). Ellos representan aproximadamente el 2% de la superficie de la tierra pero solo contienen cerca del 0,01% del agua del mundo (Wetzel, 2001). De dichos cuerpos de agua depende el desarrollo económico de los pueblos y ciudades, ya sea porque son fuente de abastecimiento directo de agua potable o bien porque es utilizada para el riego de zonas agrícolas. La actividad turística también ocupa un lugar importante, así como lo es la pesca de la cual dependen (si bien cada vez menos) miles de personas. Por otra parte, son sustento de la vida de una biodiversidad de especies animales, vegetales y forestales. Sin embargo, a través del tiempo y de manera constante, estos ecosistemas se han visto degradados por el hombre directamente a través la introducción de aguas residuales urbanas contaminadas. Esto ha ocasionado severos daños tales como: incrementos de nutrientes, particularmente fosfatos, olores fétidos, morbilidad y mortalidad de peces y sedimentación acelerada (Ávila, 2003).

En Venezuela, existen dos lagos muy importantes: el Lago de Valencia y el Lago de Maracaibo, los cuales han venido sufriendo procesos de contaminación y eutrofización (Lozada, 1984). El Lago de Maracaibo está ubicado en la región occidental del país, su cuenca abarca una extensión superficial de 12.380 km² (ICLAM, 2010); mientras que el Lago de Valencia, está localizado en la parte Centro Norte del país, entre las Serranías Litoral e Interior pertenecientes al Sistema de la Costa, ocupando una extensión superficial de aproximadamente 350 km² (MARN, 2005). El crecimiento urbano e industrial ha producido un impacto significativo sobre la ecología de este lago, afectando sus recursos hidráulicos. Adicionalmente debido a la característica endorreica de la cuenca, existe la tendencia a la contaminación de sus aguas, lo cual ha ido incrementando por la acción del hombre (Sociedad Venezolana de Ingeniería Hidráulica, 2006).

El Lago de Valencia recibe aporte de tipo natural, constituido por sedimentos predominantemente arenosos de las planicies circundantes y aportes de tipo antrópico entre los que destacan las actividades domestico-industriales, que mediante las descargas directas e indirectas aportan

grandes cantidades de material biogénico causando contaminación (González de Juana y Colaboradores, 1980; Mogollón, 1990). Por otro lado es necesario destacar que el lago posee 16 tributarios de los cuales 4 están contaminados (MARNR, 1995). Estas cargas externas contribuyen con un gran aporte de poluentes al Lago de Valencia y en conjunto con las cargas internas de nutrientes a través del ciclo de los organismos y la regeneración por los sedimentos, es probablemente una fuente importante del suministro de estos en el Lago (MARNR, 1980). En este sentido, el contenido de material biogénico en el sedimento (expresado como materia orgánica, carbono o nitrógeno orgánico), puede ser utilizado como un indicador de la productividad media de un lugar, y la acumulación de este en el fondo, permitiendo obtener una idea de la biomasa generada en el cuerpo de agua (Ahumada y colaboradores, 1996). Además de este hecho, la composición de estos sedimentos indica las condiciones del sistema acuático y refleja las características biogeoquímicas del área. Debido a lo anteriormente mencionado los sedimentos han sido ampliamente utilizados para determinar áreas contaminadas, los patrones de dispersión de los contaminantes y para reconocer cambios producidos por la sedimentación (enriquecimiento), el cual puede ser natural o antrópico y a su vez debido a su dinámica permite tener una visión en el tiempo de los procesos que controlan dicha dinámica (Mogollón, 1990; Hakanson y Jansson, 1983; Ahumada, 2008).

Sobre la base de lo anterior, es definida como propuesta: estudiar la distribución espacial de los elementos Carbono y Nitrógeno en los sedimentos superficiales del Lago de Valencia, planteándose los siguientes objetivos:

1.1) Objetivos

1.1.1) Objetivo general

Establecer la distribución espacial y granulométrica de carbono y nitrógeno en los sedimentos superficiales del Lago de Valencia.

1.1.2) Objetivos específicos

- Determinar las concentraciones de carbono y nitrógeno en las fracciones granulométricas de arenas, limos y arcillas de los sedimentos superficiales del Lago de Valencia.
- Determinar las concentraciones de carbono orgánico en las fracciones granulométricas de arenas, limos y arcillas de los sedimentos superficiales del Lago de Valencia.
- Establecer la distribución espacial de C y N en los sedimentos superficiales del Lago de Valencia.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1) Marco teórico

2.1.1) Lagos

Ordinariamente es dado el nombre de lagos a las masas de agua que alcanzan o rebasan cierta profundidad mínima, suficiente para el establecimiento de una termoclina durante el periodo de estratificación. Los lagos admiten muchas clasificaciones, locales o regionales. Su origen determina algunas de sus propiedades generales y puede ser un buen criterio de clasificación. Este origen influye sobre las características del ecosistema a través de la forma y dimensiones de su cuenca y de la calidad del agua. Así cada lago o cada grupo de lagos tienen su propia individualidad, lo cual ha marcado grandes diferencias entre ellos y de esta forma ha surgido la necesidad de clasificarlos empleando diversos criterios como son el origen de su cuenca, la salinidad de las aguas y el contenido de nutrientes según sea el motivo del estudio (Margalef, 1983; Wetzel, 1983; Goudie, 2004).

2.1.1.1) Mecanismos de sedimentación en sistemas lacustres

Los lagos modernos ocurren en una variedad de ambientes, incluyendo llanuras glaciadas y valles de montañas, llanuras no glaciales y regiones montañosas, desiertos y llanuras costeras. Estos existen bajo un rango de condiciones climáticas que varían desde muy caliente a muy frío y de muy árido a muy húmedo. La mayoría de los lagos están llenos de agua dulce, pero otros lagos de regiones áridas son altamente salinos. Muchos lagos están asociados a otros tipos de sistemas depositacionales como glacial, fluvial, eólicos y sistemas deltaicos. Los mecanismos o procesos de depositación que ocurren en los lagos están influenciados por condiciones climáticas y por una variedad de factores físicos, químicos y biológicos (Boogs, 1995).

➤ Influencia del clima: el nivel del agua en los lagos es mantenido por el balance entre la evaporación y la precipitación. La sedimentación química en los lagos refleja las condiciones climáticas, por ejemplo, en las regiones áridas la sedimentación química está dominada por la precipitación de yeso, halita y otras sales, pero en los climas húmedos está dominada por la precipitación de carbonatos (Boogs, 1995).

➤ Procesos físicos: incluyen el viento, afluencia de ríos, calentamientos atmosféricos, presión barométrica de la superficie y gravedad. El viento es el de mayor importancia porque genera corrientes. La afluencia de los ríos puede generar surgencias de sedimento fino que son extendidos en la superficie del agua, o flujos profundos que llevan sedimentos a lo largo del fondo del lago hacia el centro de la cuenca. El calentamiento atmosférico es responsable de la diferencia de densidad en el agua del lago, la cual pueden causar estratificación del agua o, bajo ciertas condiciones la generación de corrientes de densidad que producen la mezcla del lago (Boogs, 1995).

➤ Procesos fisicoquímicos: la composición química de las aguas de los lagos varían de un lago a otro, pero en general está dominado por la presencia de los iones Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} y Cl^- , lo cual determina que los sedimentos más comunes en los lagos son carbonatos, sulfatos y cloruros. El pH de las aguas del lago comúnmente está entre 6 y 9; sin embargo, puede variar desde menos de 2 en lagos volcánicos, hasta más de 12 en lagos desérticos cerrados (Boogs, 1995).

➤ Procesos orgánicos: muchos organismos viven en lagos y contribuyen con sus partes esqueléticas y no esqueléticas a los sedimentos del lago. Bajo las condiciones reductoras y la alta tasa de sedimentación que existen en algunos lagos, los sedimentos de plantas superiores pueden ser preservados para formar turba y carbón (Boogs, 1995).

Los sedimentos en los lagos varían desde gruesos a finos. En los lagos pequeños los sedimentos son de grano fino, con excepción de una línea angosta de playa donde es depositado sedimentos de tamaño arena. En los lagos grandes los depósitos de arena son más grandes y más extensos en la zona de playa y van gradando hacia sedimentos tipo limo y arcilla en las zonas más profundas. Un tipo de mecanismo de sedimentación que parece ser particularmente característico de lagos es la formación de varvas, representadas por una alternancia de capas finas de sedimentos claras y oscuras. Esto es generado principalmente en lagos glaciares ya que durante el verano (desglaciación), estos transportan más sedimentos de color claro y grano grueso y durante el invierno la entrada de sedimento es más restringida, de tamaño más fino y colores derivados de la

materia orgánica mantenida en suspensión. Aunque la formación de varvas puede ocurrir también en lagos no glaciares (Méndez, 2006).

Las arenas pueden ser transportadas por corrientes turbidíticas al centro de los lagos, sin embargo las partes más profundas de los lagos están caracterizadas particularmente por la presencia de limo y arcilla. Algunos sedimentos lodosos pueden también ser transportados como corrientes intermedias (Boogs, 1995).

2.1.1.2) Mineralogía de los sedimentos

Según Hakanson y Jansson (1983), los minerales de los sedimentos lacustres pueden ser separados en tres clases dependiendo de su fuente de procedencia. Los minerales detríticos formados en el exterior del lago e ingresan a este a través de corrientes superficiales, por escurrimiento de suelos, erosión de la línea de costa y actividades antropogénicas. Los minerales endogénicos derivados de los cambios físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en la columna de agua y que promueven la formación de precipitados o flóculos que sedimentan en el fondo. Finalmente, los minerales autigénicos originados en el interior de los sedimentos, por procesos de diagénesis.

La mayoría de los sedimentos que llegan a los lagos son transportados por ríos, por lo que son encontrados minerales resistentes como el cuarzo, minerales neoformados del grupo de las arcillas como illita y smectita. En los someros pueden formarse durante la estación seca evaporitas tales como yeso, anhidrita, halita, silvita, bórax, trona, epsomita y bloedita. (Méndez, 2006 y Reineck, 1973).

2.1.1.3) Importancia del estudio de sedimentos lacustres

Los sedimentos lacustres reflejan ciclos estacionales y ciclos climáticos a gran escala por lo que son una importante herramienta paleoclimática. Los sedimentos lacustres poseen una importancia económica, ya que contienen minerales evaporíticos valiosos y lutitas bituminosas y además proveen sitios para la fijación de uranio. Ellos además sirven como rocas madres para hidrocarburos. Adicionalmente, algunos de los mayores cuerpos de menas de hierro,

particularmente las formaciones de hierro bandeado, pueden ocurrir en rocas lacustres (Prothero y Schwab, 1996 y Reading, 1986).

2.1.2) Ciclos biogeoquímicos

Los elementos químicos, incluyendo todos los esenciales para la vida, circulan en la biosfera a través de diferentes vías que van desde el medio ambiente a los organismos y de regreso otra vez al medio ambiente. Estas vías pueden ser consideradas más o menos cíclicas y se denominan ciclos biogeoquímicos (Eugene y Gary, 2006).

Por otra parte, Castells y Cadavid (2005) consideran los ciclos biogeoquímicos como el movimiento o migración de cantidades masivas de elementos químicos como el carbono, nitrógeno, oxígeno, hidrógeno, calcio, sodio, azufre, fósforo, y otros elementos, entre los componentes del ambiente, atmósfera y sistemas acuáticos, mediante una serie de procesos de producción y descomposición.

Los ciclos biogeoquímicos, no ocurren como fenómenos aislados, tienen una estrecha relación con el ciclo del agua, indispensable para el intercambio de elementos en la dinámica que se da en los distintos ciclos con los que interactúa la tierra. Estos se pueden dividir en dos tipos básicos: los ciclos de nutrientes gaseosos o atmosféricos (ciclo del agua, ciclo del carbono y ciclo del nitrógeno) y los ciclos de los nutrientes sedimentarios (ciclo del fósforo y ciclo del azufre) en los primeros, el depósito donde se colecta el nutriente corresponde a la atmósfera y se distribuye de manera amplia en la misma; en los sedimentarios, el depósito de nutrientes está representado por las rocas sedimentarias (Flores y colaboradores, 2006).

2.1.2.1) Carbono:

El carbono es un elemento ampliamente distribuido en la naturaleza, aunque sólo constituye un 0,094% de la corteza terrestre (Mason y Moore, 1982). La mayor parte del carbono en la tierra está concentrada en las rocas sedimentarias. Una pequeña proporción se encuentra como carbono orgánico, mientras que la mayor proporción está como carbonato. Se ha estimado que el 18% del

carbono total en las rocas sedimentarias, corresponde a carbono orgánico y el 82% restante se encuentra como carbonato (Tissot y Welte, 1984). En el ambiente terrestre, existen tres reservas principales de carbono. Sobre la base de su masa, la mayor de ellas está en las rocas carbonáticas, las calizas y dolomitas. El segundo depósito de carbono se compone del material enterrado en forma de combustibles fósiles como el petróleo, el carbón y gas natural. La tercera gran reserva terrestre de carbono es la materia orgánica en varias etapas de descomposición química en el suelo. (Vanloon y Duffy, 2000).

2.1.2.1.1) Ciclo del carbono

El ciclo del carbono mostrado en Fig.1 es uno de los grandes ciclos que determinan las formas de vida y sus interacciones con el ambiente. Las especies que contienen carbono orgánico e inorgánico existen en el agua, en la tierra y en la atmósfera (Vanloon y Duffy, 2000). Una de las formas en que se encuentra el carbono en la naturaleza es como anhídrido carbónico o dióxido de carbono CO_2 , en la litósfera se encuentra como carbonatos, principalmente como CaCO_3 y en la hidrósfera como CO_3^{2-} y HCO_3^- (Limusa, 2002; Castells y Cadavid, 2005).

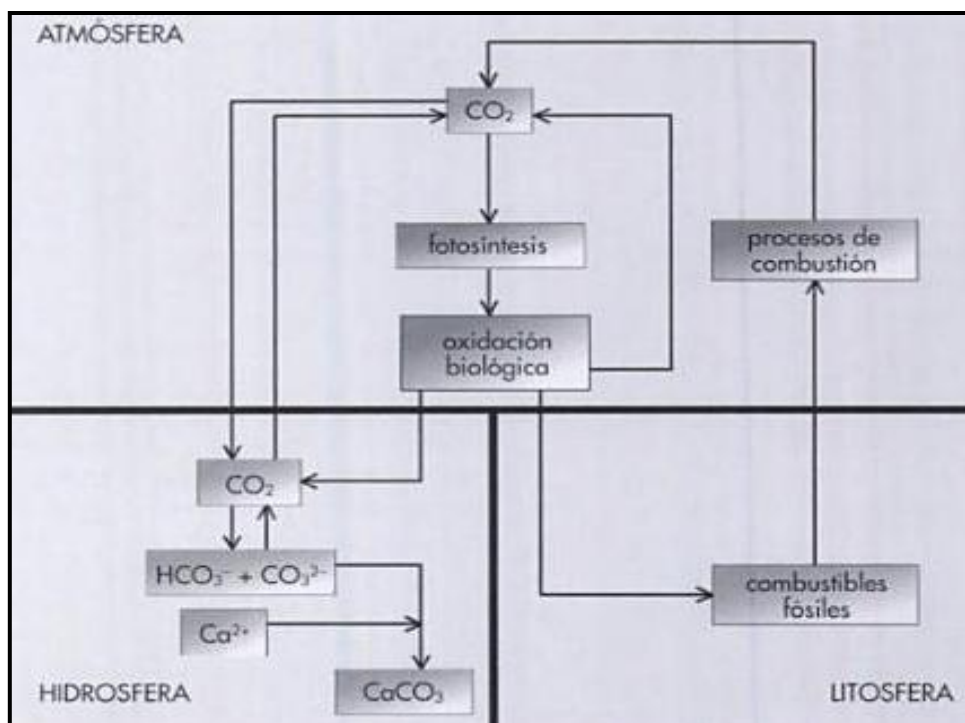


Fig.1 Ciclo del carbono (Castells y Cadavid, 2005).

El ciclo del carbono, no se da en forma de carbono elemental sino como dióxido de carbono (CO_2). Este gas vital se encuentra libre en la atmósfera en una proporción normal de 0,03 %, que ha aumentado en los últimos años a niveles alarmantes debido al uso excesivo de combustibles fósiles e innumerables e incontrolables incendios (De la Lata, 2003).

El ciclo del carbono en la naturaleza consta de las siguientes etapas según De la Lata, (2003):

1. Fotosíntesis. Las plantas (productores o autótrofos) toman el CO_2 de la atmósfera para efectuar la fotosíntesis.
2. Respiración. Función de todos los seres vivos: plantas, animales, etc., que regresan CO_2 a la atmósfera.
3. Acción de microorganismos. Algunas de las bacterias que participan en este ciclo degradando la celulosa son: Bacillus, Chlostridium, Pseudosomas; entre los hongos se encuentran: Aspergillus, Penicillum, Rhizopus y entre las levaduras o actinomicetos están: Neocardia, Streptomices, entre otros.
4. Combustión de carbón o hidrocarburos. El CO_2 , producto de la combustión de estos combustibles fósiles o de incendios, pasa directamente a la atmósfera, de donde lo vuelven a tomar las plantas verdes.

El dióxido de carbono es utilizado directamente por lo vegetales a través del proceso de la fotosíntesis, cuyo producto son los carbohidratos, que pasan a los animales herbívoros cuando estos consumen las plantas. Por medio de la respiración de los organismos, el dióxido de carbono regresa de nuevo a la atmósfera. Debido a los crecientes procesos antropogénicos de oxidación y combustión, la producción de dióxido de carbono suele disiparse de manera inmediata por la circulación que se genera en el aire; entonces, el incremento de CO_2 se ve compensado en la producción de un aumento en su absorción por lo vegetales y la formación de carbonatos en el océano (Flores y colaboradores, 2006).

2.1.2.2) Nitrógeno

El Nitrógeno constituye 78% del volumen de la atmósfera terrestre, donde se encuentra en forma de moléculas de N_2 . Aunque el nitrógeno es un elemento clave en los organismos vivos, los compuestos de nitrógeno no abundan en la corteza terrestre. En la naturaleza, la mayor parte del nitrógeno disponible se encuentra en forma inorgánica, como (NH_3) , nitratos (NO_3^-) , o dinitrógeno (N_2) y como nitrógeno orgánico, siendo además el principal constituyente de las proteínas. El N_2 es el más abundante en la atmósfera (78% del total, equivalente a $3,8 \times 10^{15}$ toneladas), sin embargo son muy pocos los organismos capaces de usarlo como fuente de nitrógeno. Otro reservorio importante de nitrógeno lo constituyen la rocas ígneas ($1,4 \times 10^{16}$ toneladas) y las sedimentarias ($4,0 \times 10^{15}$ toneladas), aunque aquí se encuentra en forma de nitrógeno fijado, no intercambiable, por lo que no está directamente disponible (Brown y colaboradores, 2004; Castillo y Roldán, 2008).

Los estados de oxidación de los compuestos de nitrógeno en la biosfera según Castillo y Roldán (2005), se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 1. Estados de oxidación de compuestos de nitrógeno en la biosfera (Castillo y Roldán, 2005).

Compuesto		Número de oxidación
N Orgánico	$R-NH_3$	-3
Amoniaco	NH_3	-3
Di nitrógeno	N_2	0
Oxido nitroso	N_2O	+1
Oxido nítrico	NO	+2
Nitrito	NO_2^-	+3
Dióxido de nitrógeno	NO_2	+4
Nitrato	NO_3^-	+5

2.1.2.2.1) Ciclo del Nitrógeno

El nitrógeno (N_2) es un gas inerte, debido que su molécula es muy estable por lo que su ruptura en átomos que puedan ser incorporados a formas químicas inorgánicas y orgánicas es un paso limitante en el ciclo del nitrógeno (Manahan, 2007). La mayoría de los organismos no lo pueden emplear de forma directa, sino que necesitan encontrarlo en forma de nitratos o de compuestos de amonio en el sustrato, para que los productores puedan transformarlo en proteínas y así seguir la cadena trófica (De la Llata, 2003).

Los procesos principales que componen el ciclo del nitrógeno, que pasan por la biosfera, la atmósfera y la geósfera son cinco, la fijación del nitrógeno, la toma de nitrógeno (crecimiento de organismos), la mineralización del nitrógeno (desintegración), la nitrificación y la desnitrificación. Las cuales se explican a continuación y se muestran en la Fig.2:

1. Fijación del nitrógeno. ($N_2 \rightarrow NH_4^+$). Es un proceso en el cual el nitrógeno se convierte en amonio. Éste es esencial porque es la única manera en la que los organismos pueden obtener nitrógeno directamente de la atmósfera. Algunas bacterias fijan el nitrógeno a través de procesos metabólicos (Harrison, 2003).

2. Toma del nitrógeno involucra el crecimiento de organismos. ($NH_4^+ \rightarrow N$ orgánico). El amonio producido por el nitrógeno que fija la bacteria es usualmente incorporado en la proteína y otros compuestos de nitrógeno orgánico (Harrison, 2003).

3. Mineralización del nitrógeno, desintegración. (El N orgánico $\rightarrow NH_4^+$). Después que el nitrógeno se incorpora a la materia orgánica, frecuentemente se vuelve a convertir en nitrógeno inorgánico. Cuando los organismos mueren, la materia de descomposición como las bacterias y los hongos consumen la materia orgánica y llevan al proceso de descomposición. Durante este proceso, una cantidad significativa del nitrógeno contenido dentro del organismo muerto se convierte en amonio. Una vez que el nitrógeno está en forma de amonio, también está disponible para ser usado por las plantas o para transformaciones posteriores en nitrato (NO_3^-), a través del proceso llamado nitrificación (Harrison, 2003).

4. Nitrificación. ($\text{NH}_4^+ \rightarrow \text{NO}_3^-$). Parte del amonio producido por la descomposición se convierte en nitrato. Las bacterias que llevan a cabo esta reacción obtienen energía de sí misma. La nitrificación puede suceder solamente en ambientes ricos en oxígeno, como las aguas que circulan y las capas superficiales de los suelos y sedimentos. El ión amonio tiene carga positiva y por consiguiente se enlaza a partícula y materia orgánica del suelo que tienen carga negativa. La carga positiva previene que el nitrógeno de amonio sea lixiviado del suelo por las lluvias. Por otro lado, el ión nitrato con carga negativa no se mantiene en las partículas del suelo y puede ser lixiviado del perfil de suelo. Esto lleva a una disminución de la fertilidad del suelo y a un enriquecimiento de nitrato de las aguas de la superficie y del subsuelo (Harrison, 2003).

5. Desnitrificación. ($\text{NO}_3^- \rightarrow \text{N}_2 + \text{N}_2\text{O}$). A través de la desnitrificación, las formas oxidadas de nitrógeno como el nitrato y el nitrito (NO_2^-) se convierten en dinitrógeno (N_2) y, en menor medida, en gas óxido nitroso. La desnitrificación es un proceso anaeróbico llevado a cabo por la bacteria que desnitrifica, que convierte el nitrato en dinitrógeno en la siguiente secuencia: $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{NO} \rightarrow \text{N}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2$. El óxido nítrico y el óxido nitroso son gases importantes para el ambiente (Harrison, 2003).

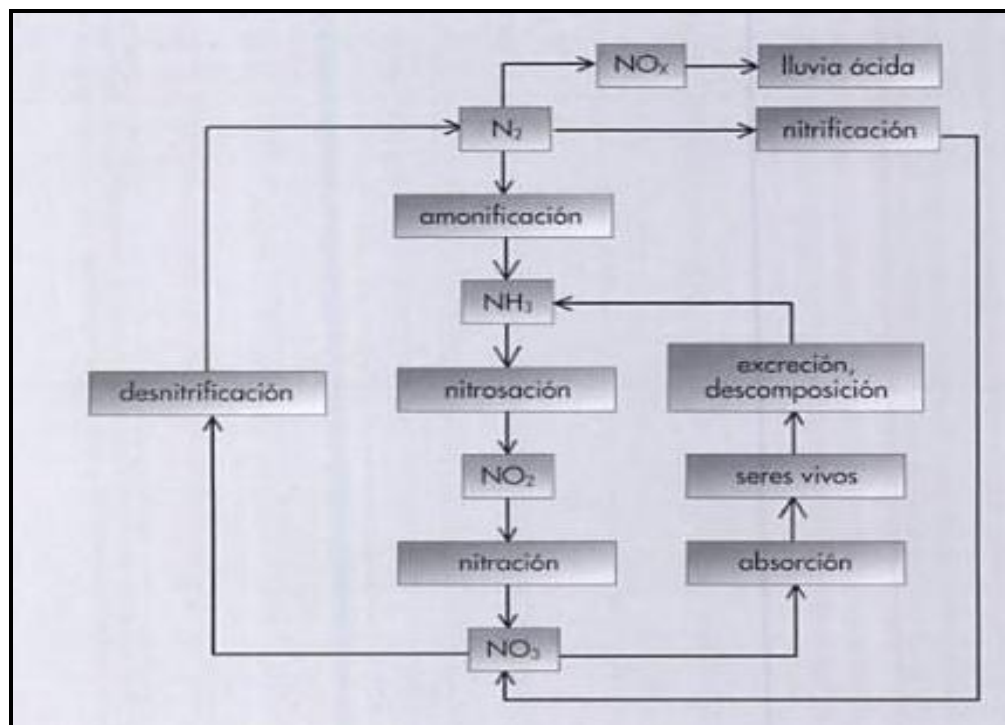


Fig.2 Ciclo del nitrógeno (Castells y Cadavid, 2005).

2.1.2.3) Relación C/N

La relación C/N es un parámetro utilizado en la caracterización del nitrógeno y su relación con la materia orgánica del suelo. Para su cálculo se considera, por lo general, los valores de N total, que están constituidos hasta en un 98% por la fracción orgánica (Fassbender y Burnemisza, 1987).

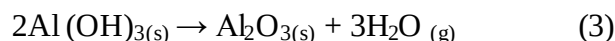
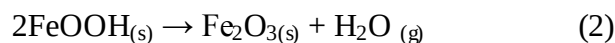
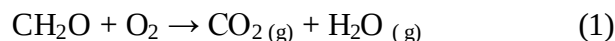
Los valores de C/N sirven para clasificar el origen de la materia orgánica (ver Tabla 2). Estos valores son presentados por Ogrinc y colaboradores (2008), en su trabajo sobre el río Sava y el río Danubio.

Tabla 2. Relación C/N con la materia orgánica (Ogrinc y colaboradores, 2008).

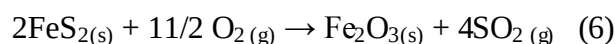
Fuente de materia orgánica	C/N
Fitoplancton	5-8
Micrófitas	10-30
Plantas terrestres	>50

2.1.3) Análisis térmico

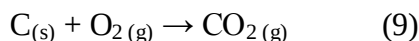
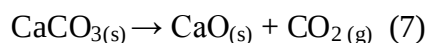
El análisis térmico abarca un grupo de técnicas en las que se mide una propiedad física de una sustancia o material en función de la temperatura. Entre estas técnicas existe el Análisis Termogravimétrico, el cual consiste en la determinación de los cambios de masa en función de la temperatura (Skoog, 2001). Según esta técnica se puede caracterizar materiales, ya que a cada temperatura se promueven distintas reacciones, teniendo establecido que a los 105°C se pierde el agua de humedad (Skoog, 2001); entre 105°C y 450°C en presencia de oxígeno tiene lugar la combustión de la materia orgánica y se deshidratan fases minerales como los oxihidróxidos de hierro y aluminio y el yeso como se muestra en las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 (Skoog, 2001; López et al., 2006).



Entre 450°C y 550°C ocurre la deshidratación de las arcillas y combustión de sulfuros de hierro según las reacciones 5 y 6 (Gibbs, 2001; Awaja y Bhargava, 2005):



Mientras que 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 (Gaviría et al., 2003)



2.2) Zona de estudio

2.2.1) Características del área de estudio

2.2.1.1) Ubicación geográfica. La depresión del Lago de Valencia está localizada en la parte Centro-Norte del país, limitada por las siguientes coordenadas geográficas: 67°30'-68°30' de longitud Oeste y 10°00'-10°20' de latitud Norte, ubicada administrativamente en la región Central, compartida por los estados Carabobo y Aragua. Está ubicada entre las Serranías Litoral e Interior pertenecientes al Sistema de la Costa y ocupa una superficie aproximada de 3000 Km², lo que representa menos del 1% del área total del país (Sociedad Venezolana de Ingeniería Hidráulica, 2006).

2.2.1.2) Clima. El clima de la zona de estudio es tropical. Según Álvarez (1976), de acuerdo a la clasificación de Koppen, corresponde a un clima tipo AWIG caracterizado por ser un clima tropical lluvioso, de sabana, isotérmico, con lluvia periódica e invierno seco. La temperatura media anual es alrededor de 24.6°C. Las máximas temperaturas ocurren en abril, la media para este mes supera con frecuencia los 26°C. Las mínimas ocurren en enero. Existen diferencias pronunciadas de temperatura entre zonas bajas y altas de la cuenca (Convit, 1968).

2.2.1.3) Precipitación. La precipitación media anual en la cuenca, incluido el lago, es del orden de 1024mm. Y sin incluir el lago es de 1050mm. En términos generales, la precipitación decrece desde los límites de la cuenca hacia el lago donde ocurre la mínima precipitación estimada entre 800 y 750mm. Distinguiéndose dos centros de alta precipitación: en la ladera de la serranía del litoral (Rancho grande) donde alcanza 1700mm y en la ladera de la serranía del interior (Dos bocas) 1600mm (Convit, 1968).

2.2.1.4) Flora y Fauna. De acuerdo a Jelambi (1995), para la fecha era conocida más de 37 especies de peces propios del lago, además de las introducidas; entre las conocidas señala, las guavinas, telapias, bagres, anguilas y sardinas. Respecto a la flora señala que hasta el siglo pasado, la cordillera de la costa Norte y la serranía del interior al Sur, estaban cubiertas por un tupido bosque donde podían encontrarse samanes, bucares, camorucos, lecheritos y el indio desnudo, en sus laderas para seguir mas alto el jabillo, el yagrumo y el araguaney, pero que poco queda de aquella exuberante vegetación de las zonas bajas, que dio paso, primero a la agricultura extensiva, para seguir con una urbanización residencial- industrial mal planificada.

2.2.1.5) Hidrografía. Existen innumerables cursos de aguas superficiales que drenan hacia el lago, entre estos los 16 tributarios distribuidos a través de la cuenca, observados en Fig.3 Las longitudes de la mayoría de los tributarios son de menos de 30 Km y tienen su origen en las montañas muy pendientes del Norte. La mayoría de los ríos llevan una considerable cantidad de sedimentos, producto del escurrimiento superficial durante la estación lluviosa y llevan asimismo poca agua durante la época seca. Solo algunos ríos como Los Guayos, Guey, Turmero y Caño Central los cuales drenan aguas residuales domésticas e industriales, tienen flujos continuos a través de todo el año (MARNR, 1980).

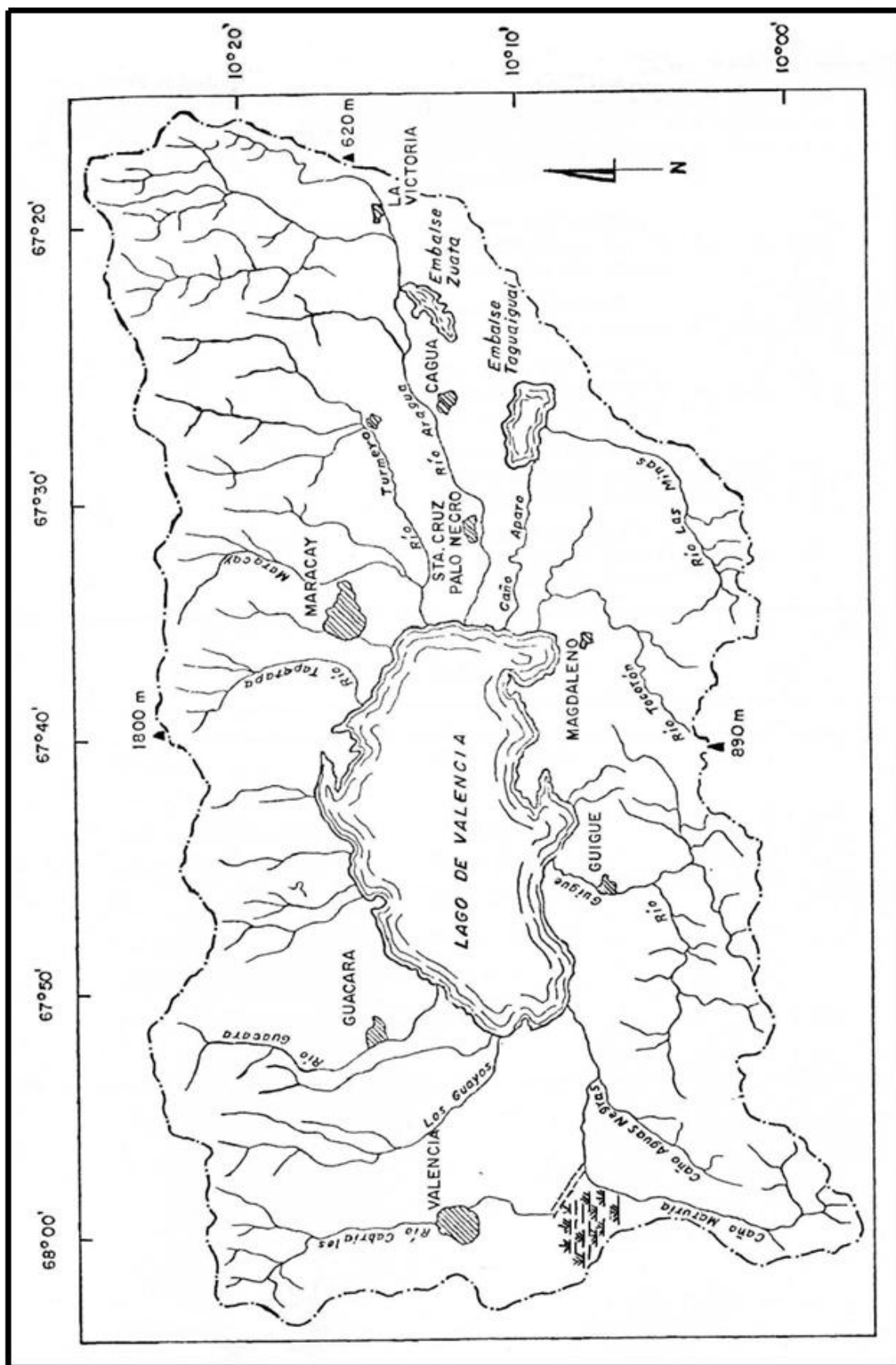


Fig. 3 Cuenca del Lago de Valencia y sus principales tributarios (MARNR, 1980)

Tabla 3. Principales tributarios. Longitudes y áreas (MARNR, 1980).

Tributarios	Longitudes(Km)	Área (Km²)
Aragua	58,7	360,0
Turmero	41,2	245,1
Guigue	22,5	119,3
Paya	21,25	77,0
Guayabita	17,7	54,1
Limón	21,2	78,6
Maracay	27,7	126,6
Guey	14,5	33,0
Tocorón	23,5	140,1
Noguera	28,0	118,0
Guácara	30,5	111,2
Guaica	7,5	15,1
Los Guayos	31,5	102,9
San Joaquín	10,5	17,7
Mariara	10,0	14,5
Cura	14,0	41,6

2.2.1.6) Geomorfología y topografía. El Lago de Valencia está ubicado en una cuenca de 3000 Km² en la parte centro norte de Venezuela sobre rocas metamórficas basales y fue formada por un graben entre dos fallas que van desde el Oeste- Suroeste al Este-Noreste (Peters, 1968). La parte central de la depresión está rodeada de depósitos lacustrinos y fluviales, presentando una topografía sin variaciones notables, así como también algunas terrazas, marcando retrocesos sucesivos del lago. En la periferia del valle y en los márgenes de la depresión es encontrado un cinturón de Glasís de piedemonte. En algunas partes de la zona existen algunas prolongaciones de las filas de las montañas, lo cual rompe con la monotonía del paisaje (Bueno, 1979). Los procesos geomorfológicos más relevantes en la deposición de sedimentos detríticos en el valle según el mismo autor son:

El proceso Fluvial. El proceso Fluvio-deltaico, El proceso Lacustrino El proceso Coluvio-aluvial

2.2.1.7) Problemas ambientales de la cuenca. Según la Sociedad Venezolana de Ingeniería Hidráulica (2006), la problemática actual del área, particularmente en lo que aspectos relacionados con el recurso agua, pueden ser resumida como sigue:

- Deterioro grave de la calidad del agua, entre los que destacan la mineralización.
- Sobre explotación de buena parte de los acuíferos adyacentes, sin una definición clara de su magnitud y ubicación, existiendo infiltración parcial de aguas salobres, cuñas salinas, del lago hacia esos acuíferos.
- Ocupación incontrolada de una buena parte del área, particularmente en las poblaciones, cuyo crecimiento genera presiones sobre las aéreas de uso agrícola.
- El proceso de urbanización sin planificación ha originado problemas sanitarios y de ocupación inadecuadas de las tierras, en virtud de que la tendencia del crecimiento en los niveles del lago por la incorporación de fuentes de abastecimiento extracuenca, origina la elevación de los niveles freáticos y en consecuencia la imposibilidad de funcionamiento de redes de cloacas y drenajes. Esta situación es presentada en la zona y tiende agravarse.

2.2.2) Geología regional y local

Según Schubert (1979) la Cuenca del Lago de Valencia tiene su origen al final del Terciario y principios del Cuaternario, en una fosa tectónica localizada entre la cordillera de la Costa y la Serranía del Interior. Sin embargo, estudios como los de Peeters (1968) proponen varias etapas para el origen del Lago de Valencia y su Cuenca, expuestos a continuación:

1. El origen del Lago de Valencia I: En el graben de Valencia fue desarrollado un sistema hidrográfico que drenaba toda la cuenca que sería ocupada por el lago, lo que ocasiona la acumulación de conos aluviales y sedimentos fluviales, los cuales condicionaron el represamiento de aguas dando origen al Lago de Valencia I, en un periodo pluvial del Pleistoceno.
2. El origen del Lago de Valencia II: Posteriormente el clima evolucionó hacia condiciones subáridas, desecando el Lago de Valencia I con reducción de su superficie. El avance de los conos de deyección de los ríos importantes cubrieron las áreas desecadas con sedimentos gruesos, peñones, grava y arena gruesa. El cuerpo de agua fue sensiblemente reducido, conociéndose como Lago de Valencia II, considerado de edad Pleistoceno.
3. El origen del Lago de Valencia III: De nuevo cambiaron las condiciones climáticas de áridas a pluviales y el nivel del lago subió notablemente, con fluctuaciones menores, para formar el Lago de Valencia III.

En Fig.4 es observado el mapa geológico de la Cuenca del Lago de Valencia, disponible en el léxico estratigráfico de Venezuela (Urbani, 1997). Las principales formaciones que afloran en el área norte de la zona de estudio son las Brisas, Las Mercedes y Peña de Mora, de edades Mesozoicas, que constituyen gran parte de la litología de la cordillera de la costa (Gonzales de Juana y colaboradores, 1980).

En la Formación Las Mercedes las litologías más abundantes son los esquistos cuarzo-moscovíticos-grafitosos-calcáreos con intercalaciones de mármol grafitoso, en forma de lentes. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, moscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto presentado en capas delgadas usualmente centimétricas a decimétricas, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, moscovita, grafito, pirita y óxidos de hierro.

La Formación Peña de Mora, caracterizada según Wehrmann (1997) por ser una especie de complejo ígneo - metamórfico equivalente lateral, por lo menos en parte, de la Formación Las Brisas que prácticamente forma el núcleo de la Cordillera de la Costa, incluyendo augengneises gruesos y bandeados, gneises de grano fino a medio, algunas cuarcitas delgadas, esquistos cuarzo-moscovíticos y ocasionalmente anfibolitas, mármoles delgados, así mismo dentro de esa secuencia identifica cuerpos dispersos de roca ultramáficas, máficas y félsicas.

En la Formación Las Mercedes las litologías más abundantes son los esquistos cuarzo-moscovíticos-grafitosos-calcáreos con intercalaciones de mármol grafitoso, en forma de lentes. La mineralogía promedio consiste en cuarzo (40%) en cristales dispuestos en bandas con la mica, moscovita (20%) en bandas lepidoblásticas a veces con clivaje crenulado, calcita (23%) en cristales con maclas polisintéticas, grafito (5%), y cantidades menores de clorita, óxidos de hierro, epidoto y ocasionalmente plagioclasa sódica. El mármol intercalado con esquisto, son de color gris azulado, cuya mineralogía es casi en su totalidad calcita, escasa dolomita y cantidades accesorias de cuarzo, moscovita, grafito, pirita y óxidos de hierro.

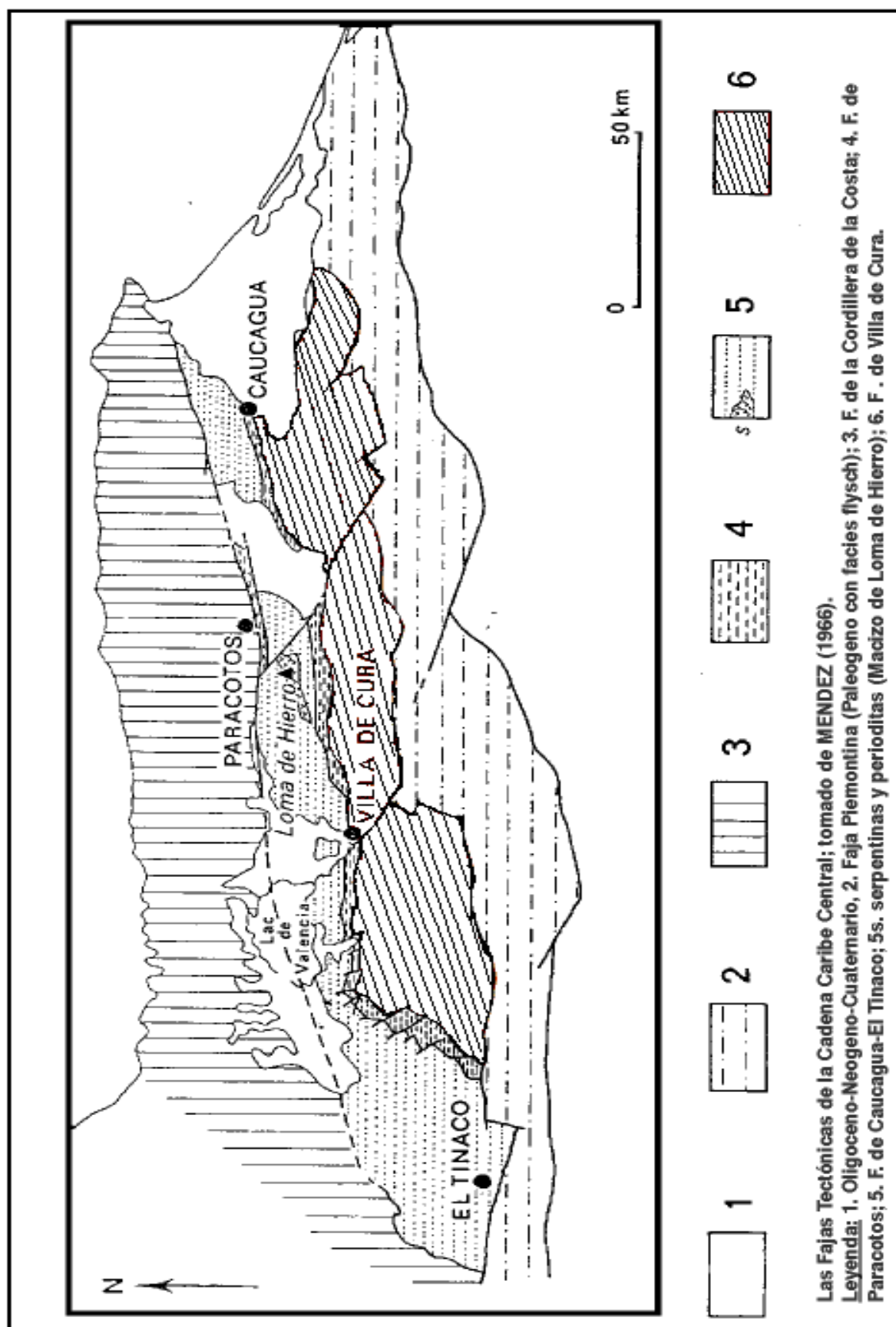


Fig. 4 Mapa geológico de la Cuenca del Lago de Valencia. Tomado de Léxico estratigráfico de Venezuela (1997)

La Formación Las Brisas según Wehrmann (1997), está constituida en un 90% de esquistos cuarzo-feldespáticos-moscovíticos; el 10% restante lo constituye en orden de abundancia, esquistos cuarzo-feldespáticos, epidóticos o cloríticos, calizas, cuarcitas, y metaconglomerados. Menciona igualmente, mineralizaciones pobres de cobre en algunas calizas, en forma de sulfuros y sulfatos.

En el área Sur afloran las Formaciones Tucutunemo, Paracoto y el complejo El Tinaco. La Formación de Tucutunemo descrita por Gonzales de Juana y colaboradores, (1980), caracterizada por presentar filitas son azules, carbonáceas y comúnmente variaciones a facies arenosas; presentan mica blanca de origen metamórfico y gran desarrollo de texturas y estructuras metamórficas. Los mármoles son de color gris oscuro a negro, microcristalinos, con aspecto moteado, impuros, con cristales de cuarzo y albita de bordes reentrantes, que constituyen hasta el 30% de la roca y escasos fragmentos de fósiles y desarrollan fuerte foliación metamórfica; los metaconglomerados son de color blanco a gris oscuro, con mal escogimiento, con guijarros de cuarzo de veta, plagioclasa y menor cantidad de ftanita, presentando desarrollo de texturas y estructuras metamórficas. El aumento de elementos volcánicos es producido hacia la base de la Formación Tucutunemo, al oeste de la localidad tipo, permitió la introducción del término Miembro Los Naranjos, para su designación.

Shagam (1960) describe la Formación Paracotos como una asociación de filita, mármol, metaconglomerado, con metalimolita y metarenisca en menor proporción. La filita constituye el 60% de la Formación. Dentro de la secuencia anterior es encontrada capas delgadas de una roca metalimolítica, maciza y color negro con cubos visibles de pirita. Igualmente presenta capas delgadas de varios tipos de metarenisca de color gris oscuro, que clasifica como arenisca calcárea micácea y waca lítica cuarcífera. Los cuerpos de mármol son microcristalinos de color verde muy claro a gris azulado, en capas lenticulares usualmente con menos de 500 m de largo, los espesores son usualmente de 5 a 10 m, pero el cuerpo mayor conocido alcanza unos 130 m de espesor.

Menéndez (1965) reconoció dos unidades metasedimentarias en el Complejo Tinaco: la inferior, denominada Gneis de La Aguadita, consiste de gneises hornabléndicos y biotíticos, gneises cuarzo-plagioclásicos y en menor escala, anfibolitas y mármoles, la superior, designada con el nombre de Esquisto de Tinapú, suprayace concordantemente a la primera y consiste de esquistos moscovíticos, esquistos cloríticos y esquistos conglomeráticos. El gneis de La Aguadita está intrusionado por cuatro plutones de trondhjemitita envueltos por una ancha zona de inyección o zona migmatítica. Al norte de la falla de Tinapú, pequeños cuerpos de hornablendita y de diorita hornabléndica intrusionan ambas unidades del complejo.

2.3) Antecedentes

A través del tiempo, han sido realizados trabajos importantes relacionados al estado de nutrientes en sedimentos en diferentes partes del mundo, entre estos tenemos los siguientes:

Osuna y colaboradores (1991) estudiaron la distribución de fósforo y carbono en los sedimentos del complejo lagunar de Altata-Ensenada el Pabellón de Sinaloa (México) y determinó que la distribución de la concentración de fósforo revela diferencias muy marcadas entre lagunas, incluso en las algunas supera los 650 ppm de fósforo y el 8% de pérdidas por ignición y que esta anomalía se debe a que las lagunas reciben los escurrimientos de los suelos agrícolas de la zona.

Ram y Zingde (2000) determinaron el flujo de nutrientes de los sedimentos tropicales obtenidos en el arroyo de Gorai, al Nor-Oeste de Mumbai (Bombay). Concluyendo que las altas concentraciones de NO_3^- son debido a la alta actividad microbiana que conlleva al proceso de nitrificación. Los productos inorgánicos como NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ y PO_4^{3-} fueron consecuencia de la oxidación de la materia orgánica en los primeros centímetros (0 - 4 cm) del sedimento.

Rojas y Silva (2003) determinaron la distribución espacial de la textura, contenido de carbono (orgánico e inorgánico) y nitrógeno (orgánico) de los 30 cm superiores de la columna de sedimentos en el golfo de elefantes y golfo corcovado en México. Además en base a la relación C:N estimaron aproximadamente, la procedencia de la materia orgánica del sedimento. Logrando segregar la zona en tres partes de acuerdo a las concentraciones de carbono (orgánico e

inorgánico) y nitrógeno, y basado en las variaciones de las relaciones C:N para las zonas fue determinado que desde las zonas oceánicas hacia las continentales esta aumenta, lo cual fue atribuido a la presencia de materia orgánica de origen autóctono en el sedimento con cantidades crecientes de material alóctono edáfico.

Montalvo (2006) evaluó los parámetros orgánicos e inorgánicos (carbón, nitrógeno, fósforo, carbonatos, sulfuro de hidrógeno y consumo de oxidante químico) en sedimentos superficiales de las bahías de Cárdena y Santa Clara. Reportando valores de carbón orgánico notables y concentraciones de nitrógeno inferiores a 0,2 %, evidenciando que la fuente principal de la materia orgánica en estos cuerpos de agua es la vegetación periférica y acuática, rica en carbono y pobre en nitrógeno.

Ogrinc y colaboradores (2008) estudiaron la fuente y transporte del carbono y nitrógeno en el río Sava junto a un tributario el río Danube. Estos autores concluyen al realizar la relación C/N que la principal fuente de materia orgánica es el fitoplancton. Por otra parte, la materia orgánica terrestre dominó en pequeños arroyos donde las plantas acuáticas y algas de crecimiento tienden a ser limitadas.

Limin y colaboradores (2009) determinaron la distribución de las principales fuentes de materia orgánica y de hidrocarburos alifáticos mediante el estudio de sedimentos del mar de Bonai n China, determinando que la distribución de carbono orgánico se correlacionaba bien con el tamaño de grano más finos de los sedimentos teniendo mayor concentración, lo que sugiere la influencia de la hidrodinámica en la acumulación de materia orgánica sedimentaria.

En Venezuela, han sido realizados diversos trabajos de investigación hacia esta área de estudio, entre estos se pueden nombrar:

Zuloaga (2002) estudió la distribución de carbono orgánico, carbonático y azufre en la fracción limo-arcilla de los sedimentos superficiales marinos de la Fachada Atlántica. La concentración de carbono carbonático en la región, aumenta con el incremento de la profundidad debido a la disminución del efecto de dilución, como consecuencia de los sedimentos clásticos; así mismo la

concentración de carbono orgánico disminuyó con el incremento de la batimetría, producto de la disminución del aporte de las facies siliciclásticas del Orinoco y del Amazonas, además de la obtención de los resultados de la ubicación de una zona con mayor proporción de sedimentos hemipelágicos.

Yáñez y colaboradores (2006) realizaron una evaluación geoquímica en el Lago Leopoldo, del Grupo Roraima, Guayana (Venezuela) analizando la composición de textura, química y mineralógica, incluyendo el contenido de los elementos de tierras raras (REE). Además de la % de Carbono orgánico total (%TOC), $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$ y la relación elemental de C/N, determinando que el lago posee característica de tipo oligotrófico y que en los sedimentos la materia orgánica, presenta un afromador origen vegetal.

Millán (2008) realizó un estudio geoquímico de los suelos asociados a diferentes unidades de vegetación en un bosque de manglar, ubicado al norte del Golfete de Cuare. La captación de las muestras fue realizada de tres formas distintas: la primera se trató de una muestra compuesta, la cual estuvo conformada por 5 núcleos de suelo; la segunda fue una muestra tomada en el punto central; y la tercera, fue un núcleo tomado en el punto central. Millán (2008) determinó la concentración de carbono total por el equipo Leco, la concentración de carbono orgánico por el método Walkley –Black, la concentración de nitrógeno por la técnica Kjeldahl y los elementos Al, Na, K, Ca, Mg, P, Fe y Zn por absorción y emisión atómica. Encontrando que los suelos presentaron mayor concentración de carbono y nitrógeno en las zonas asociadas a los bosques con respecto a los herbazales; evidenció además, que la presencia de oxihidróxido de Fe y elementos como Ca y Mg suelen acumularse en los suelos asociados a vegetación seca.

En lo que se refiere al Lago de Valencia, en años recientes han sido realizados algunos trabajos como el propuesto por Lozada (1984) acerca de la distribución de metales potencialmente contaminantes (Pb, Hg, Zn, Cu, Cd, Co, Ni, Mn y Ti) en la fracción fina (Tamaño menor a 180 μm) de los sedimentos del Lago de Valencia, a través de la toma de 35 muestras obtuvo que los valores de la concentración de Plomo y mercurio representan los valores más altos de concentración promedio con respecto a los valores escogidos como línea base, atribuyéndolo a

fuentes de origen antropogénicos, debido a que no se conocen depósitos de los mismos en la cuenca.

Mogollón (1990) estudió el comportamiento geoquímico de los elementos metálicos (Na, K, Mg, Ca, Al, Fe, Mn, Pb, Zn, Ni, Cu, Cr, Co y Cd) en el Lago de Valencia encontrando, que la distribución granulométrica de los sedimentos superficiales es bastante homogénea, y que los metales pesados presentes no manifiestan tendencia a la acumulación hacia las fracciones granulométricas finas de los sedimentos del lago.

Mogollón y Bifano (1993; 1994) estudiaron metales pesados en los sedimentos del lago, tanto en muestras superficiales como en núcleos y comprueban que las actividades antrópicas han elevado las concentraciones en sedimentos de los elementos Pb, Ni, Zn, Cu, y Cr entre 5 y 16 veces con respecto a los valores de fondo y un aumento de entre 13% a 17% de la fracción lábil, sugiriendo que las reacciones químicas, junto con el transporte de los sedimentos de las zonas montañosas a las tierras bajas, producen: (1) un aumento en la concentración de metal y el porcentaje de la fracción lábil, lo cual es concomitante con el efecto de la contaminación, y (2) la redistribución de metales hacia las fracciones de tamaño de grano fino.

Bifano y Mogollón (1995) en su trabajo titulado Perfiles metálicos contaminantes en los sedimentos del Lago de Valencia, determinaron las concentraciones totales extraíbles de Al, Fe, Mn, Pb, Cu, Zn, Hg y el carbono orgánico (Corg) a lo largo de cuatro núcleos de sedimento del Lago de Valencia. Concluyendo que los patrones de distribución de la concentración en función de la profundidad reflejan las concentraciones originales de los sedimentos. Así mismo Mogollón y colaboradores el mismo año, reportan los resultados de Al, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb y Zn en las distintas fracciones de tamaño de grano de los suelos, notando un aumento hacia el tamaño de las partículas más finas.

Infante (1998) realiza estudios sobre la materia orgánica sedimentada en el Lago de Valencia, pero haciendo énfasis en las interacciones de esta con los sedimentos y metales pesados llegando a concluir que existe un gran riesgo de liberación tanto de contaminantes orgánicos como

inorgánicos de los sedimentos si se cambian las condiciones de pH de las aguas ya sea, por descargas ácidas o básicas que pudieran provenir de industrias.

Mogollón y Bifano (2000) realizaron un seguimiento de la distribución de metales en la cuenca del Lago de Valencia encontrando que el Cr, Fe, Mn, Ni, Na y Zn, seguían las tendencias esperadas de litología carbonática predominantes en la zona.

Por último Xu y Jaffé (2008) estudiaron la materia orgánica y diversos biomarcadores en núcleos de sedimentos extraídos del lago, realizando así una caracterización de la materia orgánica que se ha depositado junto a los sedimentos en los últimos 200 años, encontrando que este reservorio de agua ha sufrido cambios inducidos por la actividad humana desde alrededor de 1840, con dos cambios importantes en 1910 y luego en 1960 asociados a deterioros importantes en las condiciones ambientales del Lago de Valencia.

En cuanto a la aplicación del método de análisis termogravimétrico en la caracterización de especies químicas, se pueden nombrar los trabajos de:

Silva y Astorga (2010) Estudiaron la distribución horizontal de la textura, concentración de materia orgánica cuya determinación fue realizada usando análisis termogravimétrico arrojando resultados con buena precisión, fue determinado además la concentración de carbono orgánico e inorgánico y nitrógeno orgánico en muestras de sedimentos superficiales, recolectadas entre Puerto Montt y Boca del Guafo, al norte de la Patagonia Chilena. El análisis de estas variables permitió diferenciar el área de estudio en dos zonas debido las condiciones oceanográficas y aporte de material terrígeno de la zona adyacente.

Kumpiene y colaboradores (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 trataron tres tipos de residuos (cenizas de fondo, los desechos residuales y suelos contaminados), donde 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 TGA. El COT 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 TGA. Concluyen 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.

3. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología experimental, estuvo estructurada en tres etapas, estas fueron: una etapa de oficina, la cual consistió en la revisión cartográfica principalmente; una etapa de campo, que conllevó básicamente la captación de las muestras de sedimentos; y la tercera, que fue la etapa de laboratorio, que involucró el tratamiento físico y químico de las muestras.

3.1) Etapa de oficina

Fue realizada una revisión bibliográfica con la finalidad de hacer una planificación de la etapa de campo, empleando información del programa de recuperación del Lago de Valencia llevado a cabo por el Ministerio del Ambiente. A partir de la misma, fue elaborado un esquema de muestreo similar al llevado a cabo en este programa. El mismo mantiene las características de un muestreo de tipo sistemático, en el cual las muestras fueron tomadas trazando una malla de 1km x 2 km aproximadamente, lo que representó la distancia de separación entre cada una de las 41 estaciones planificadas para la recolección de las muestras de sedimentos (Fig.5).

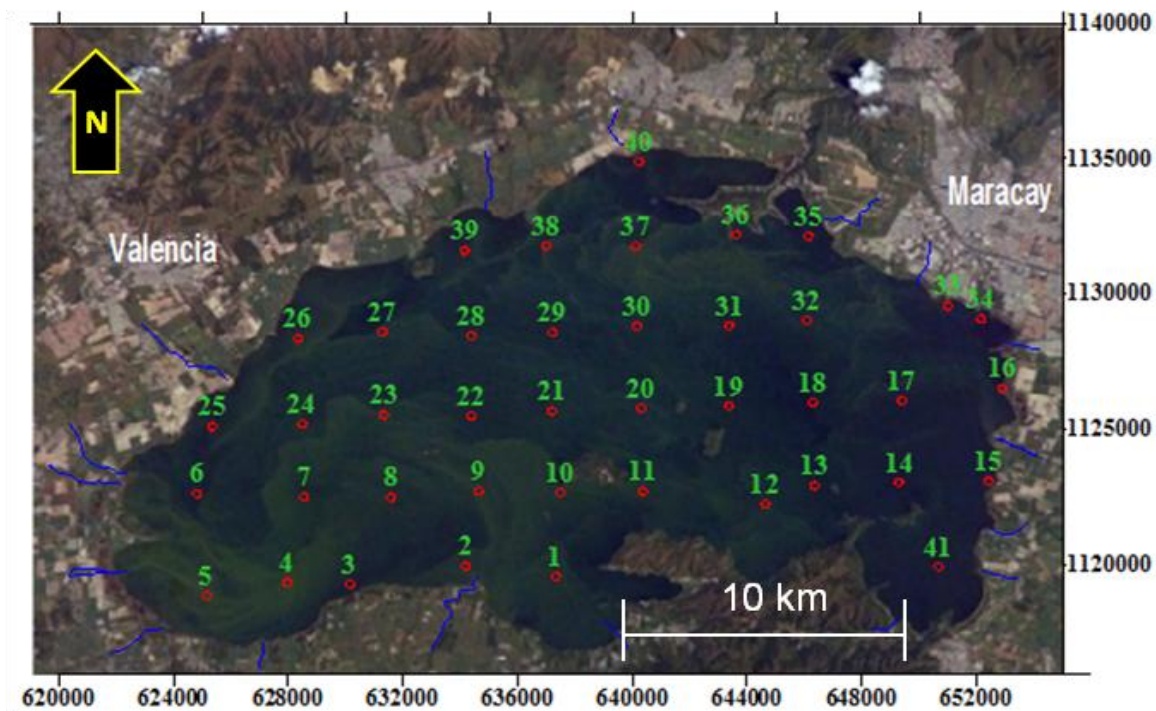


Fig.5 Ubicación de estaciones de muestreo.

3.2) Etapa de campo

Esta etapa fue realizada en la campaña de mayo del 2009, específicamente entre los días 11 y 20 de ese mes, durante la misma se llegó a las estaciones de muestreo mediante el uso de un bote y fueron ubicados geográficamente los puntos mediante el uso de un GPS. En cada estación fueron tomadas las muestras de sedimento con uso de una draga tipo Box-core, colectando entre 100 a 1000 g de material, luego fueron almacenadas en bolsas plásticas y refrigeradas en hielo y luego a -4°C en una nevera para inhibir los procesos biológicos que pudieran alterar la distribución entre los sedimentos de los elementos a estudiar. Así mismo en cada estación fue realizada una breve descripción de la muestra colectada y estimada la profundidad a la cual fue tomada la muestra.

3.3) Etapa de laboratorio

Esta constó de dos sub-etapas, la primera correspondiente al tratamiento físico de la muestra y la segunda que correspondió al tratamiento químico.

La etapa de tratamiento físico es mostrada en Fig.6. En esta, las muestras fueron descongeladas y secadas a temperatura ambiente, pesadas en una balanza analítica y disgregadas, luego fueron tamizadas en húmedo empleado tamices de acero inoxidable de apertura de malla de 0,045mm; 0,0625mm; 0,125mm; 0,25mm; 0,50mm, 1mm y 2mm. La fracción menor a 0,045mm que permaneció en suspensión en el agua destilada, fue separada siguiendo una metodología similar a la empleada por Tosiani y colaboradores (2005), mediante un proceso de decantación llevado a cabo en tubos de vidrio de aproximadamente 1,5m de alto y 7,5 cm de diámetro, colocando esta fracción en la columna de sedimentación, agitando con varilla de vidrio para lograr la dispersión de los granos y sometiéndola a un proceso de asentamiento por distintos periodos de tiempo. Obteniendo finalmente, 2 fracciones adicionales denominadas F1 y F3, las cuales representan el material sedimentable en el transcurso de $t_1=1$ hora y luego de $t_3=14$ horas, siendo la fracción F1 un equivalente a limo fino, mientras que F3 corresponde principalmente a tamaño arcilla. Además se realizó en 38 muestras, la separación de una fracción denominada F2 ubicada en el fondo de la columna transcurrido un $t_2=14$ horas y que corresponde a una mezcla de limo fino y arcilla. Cada una de las fracciones granulométricas obtenidas fue secada en estufa a una

temperatura no mayor a (50°C), disgregadas y aquellas fracciones menores a 0,125mm fueron pulverizadas con la finalidad de homogenizar la muestra a analizar.

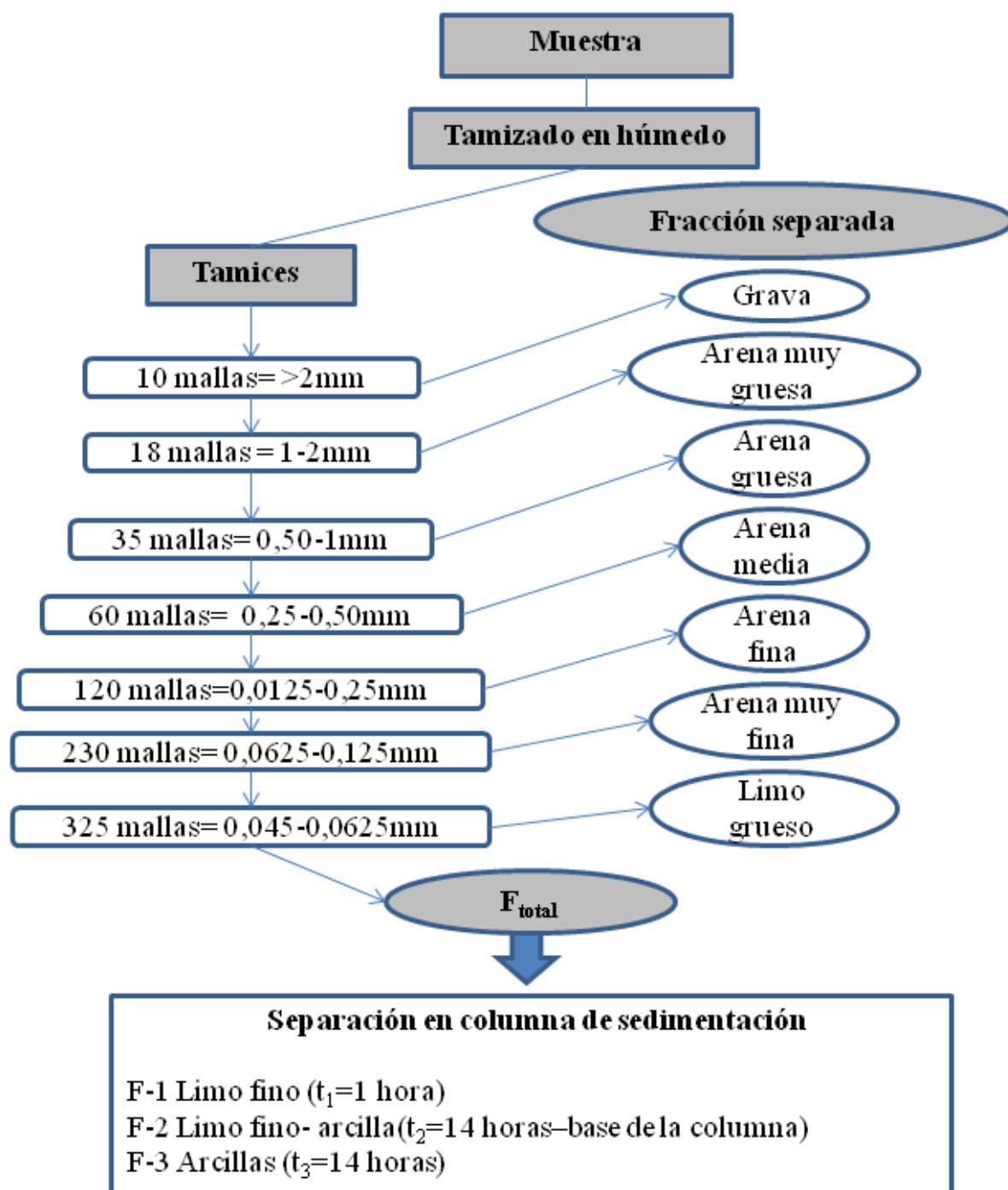


Fig. 6 Esquema de la etapa de tratamiento físico de las muestras.

La caracterización termogravimétrica, consistió en pesar de 1 a 2g de cada una de las fracciones granulométricas en un crisol de porcelana previamente pesado. Sometiéndolas a un calcinado secuencial en una mufla a diferentes temperaturas (105°C, 450°C, 550°C, y 750°C) por intervalos de 2 horas, de esta forma fue estimado por gravimetría la pérdida de masa a cada una de éstas temperaturas a través de la diferencia de masa entre cada intervalo (Fig. 7).

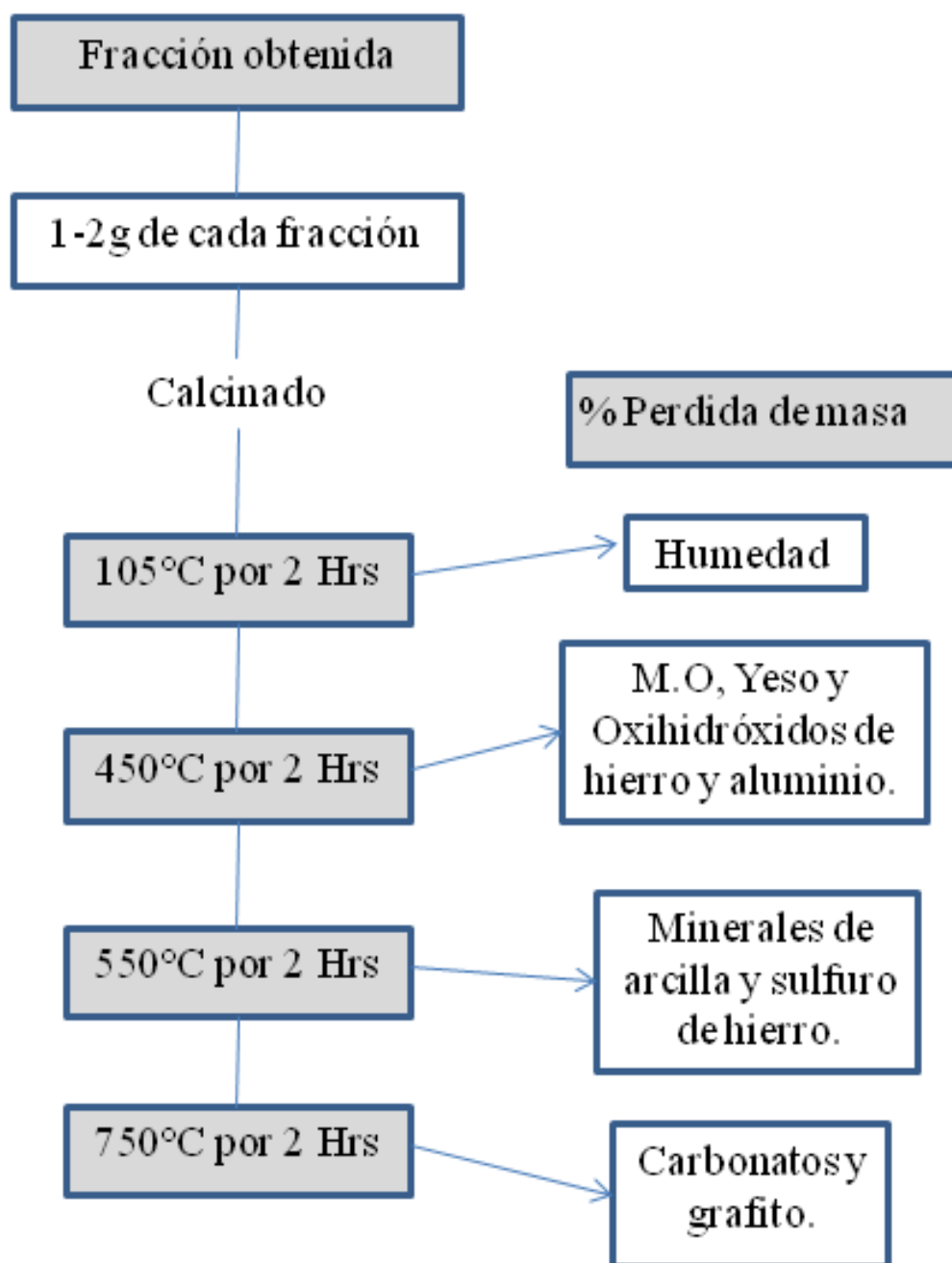


Fig. 7 Esquema de la etapa de caracterización termogravimétrica de los sedimentos.

3.3.1) Determinación de carbono

La concentración de carbono orgánico fue determinado por el método de Walkley-Black (1934), fundamentado en la oxidación del carbono orgánico con dicromato en presencia de ácido sulfúrico concentrado (Bashour, 2007). La concentración de carbono inorgánico fue determinada haciendo uso de los datos obtenidos en la etapa de caracterización termogravimétrica de los sedimentos, específicamente los de pérdida a 750°C, asumiendo que el total de esta pérdida corresponde a la descomposición térmica de carbonatos de calcio y magnesio (Skoog y colaboradores, 2007). Por último, la concentración de carbono total fue determinada por la adición de los dos anteriores mediante la siguiente relación:

$$\% \text{Carbono total} = \% \text{Carbono inorgánico} + \% \text{Carbono orgánico}$$

Para la determinación de carbono orgánico, fue estimado el peso de muestra a utilizar, aprovechando los datos de porcentaje de pérdida a 450°C correspondiente a la combustión de la materia orgánica, asumiendo que aproximadamente un 50 % de esta pérdida de peso, corresponde al peso de carbono orgánico. Fue pesada la cantidad de muestra estimada para cada análisis, considerando la estimación de carbono orgánico en la muestra, así como las cantidades y concentraciones de los reactivos a usar, seguidamente se agregó 5 mL de dicromato de potasio (1N) y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado produciendo la oxidación de la muestra, esta solución fue dejada en reposo por 30 minutos, luego enrasada a 100mL con agua destilada y dejada nuevamente en reposo hasta su enfriamiento. Posteriormente la solución de cada muestra fue valorada por retroceso con sulfato ferroso (~0.5N), previamente estandarizado (ver Apéndice I), utilizando como indicador gotas de ferroína.

Finalmente, fue aplicada la ecuación siguiente para calcular el porcentaje de carbono orgánico de cada muestra (Bashour, 2007):

$$\% \text{ Carbono orgánico} = \frac{(\text{meq de K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{meq de FeSO}_4) \times 0,3}{\text{Muestra (g)}}$$

3.3.2) Determinación del nitrógeno

La determinación de nitrógeno fue realizada por el método Kjeldahl, modificado de Jackson (1976), este método se dividió en tres etapas, a saber:

- 1.- Digestión de la muestra
- 2.- Destilación
- 3.- Titulación

Para la primera etapa fue estimado el peso de muestra a usar, aprovechando los datos de carbono orgánico obtenidos, asumiendo que aproximadamente el 10% del carbono orgánico corresponde al porcentaje de nitrógeno estimado para la muestra utilizando la estequiometría de las reacciones involucradas así como las cantidades y concentraciones de los reactivos a usar. Una vez estimado el peso de muestra, fue pesada y agregada en los tubos de digestión Kjeldahl, procediendo luego a agregar 3ml de ácido sulfúrico concentrado.

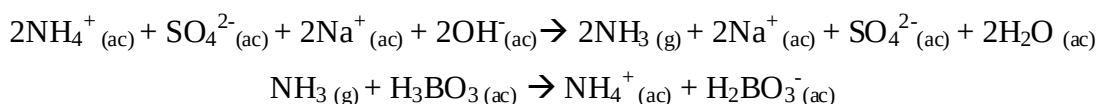
Los tubos de digestión fueron colocados con la trampa para humos en el bloque para digestión marca *TECATOR digestión system 40*, ubicándolo en una campana de extracción, el mismo fue programado a “0” con las condiciones mostradas en la tabla 4:

Tabla 4. Condiciones del bloque para digestión (tomado de Ramírez, 2008)

Etapas	Temperatura (°C)	Tiempo de mantenimiento de la temperatura máxima(min)
1	90	30
2	180	30
3	270	30
4	360	90

Este bloque aumentaba la temperatura gradualmente hasta alcanzar la temperatura máxima de cada etapa, culminado el proceso (aproximadamente 5 horas), fueron dejados a temperatura ambiente hasta enfriar, agregando agua destilada y filtrando cuantitativamente sin sobrepasar los 50 ml de solución, finalmente se almacenaron en envases plásticos y luego se procedió con la etapa de destilación.

La segunda etapa consistió en una destilación, la cual fue llevada a cabo en el Laboratorio de Estudios Ambientales (LEA) del Instituto de Zoología y Ecología Tropical (IZET) de la Facultad de Ciencias de la Universidad Central de Venezuela. La metodología para la destilación se realizó de forma automática, ya que el laboratorio cuenta con un aparato de destilación diseñado para disminuir el tiempo de la misma. De esta forma fue tomada toda la solución obtenida en la primera etapa, colocándola en el tubo Kjeldahl de destilación, agregando 15mL de NaOH al 40%; inmediatamente, se insertó en el aparato de destilación sobre la manta de calentamiento, previniendo la fuga del amoniaco, el cual fue destilado y recolectado sobre una solución con exceso de ácido bórico al 2% y 3 gotas de indicador mixto (rojo de metilo y azul de metileno en una relación 2:1) finalizando la destilación cuando la solución del matraz cambio de verde amarillento a azul, separando inmediatamente para realizar la titulación. Las reacciones involucradas en el proceso son (Skoog y colaboradores, 2007):



La tercera etapa constó de una titulación acido-base, empleando ácido clorhídrico estandarizado de concentración 0,0119M (Ver apéndice II), en la que el ión borato fue neutralizado con los protones del medio, formándose ácido bórico y cloruro de amonio. Esta titulación permitió determinar la cantidad de nitrógeno de la muestra, calculando directamente los moles de ácido clorhídrico consumido durante la titulación y relacionándolo con la masa inicial de muestra utilizada, esta relación es mostrada en la siguiente ecuación:

$$\%N = V(\text{L}) \times M(\text{mol/L}) \times 14,007(\text{g/mol}) \times 100(\%) / \text{Muestras}(\text{g})$$

Donde:

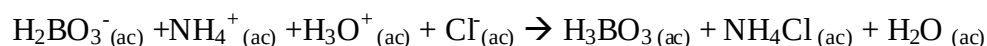
V: Volumen de ácido consumido en la valoración en L

M: Concentración de ácido clorhídrico en mol/L

14,0007 g/mol: es el peso molecular del Nitrógeno

Muestra: Masa en gramos.

La reacción que se llevo a cabo en esta etapa fue:



3.4) Tratamiento estadístico de los datos

Una vez obtenidos los valores de la pérdida de volátiles a las distintas temperaturas, la concentración de carbono orgánico, carbono inorgánico, carbono total y la concentración de nitrógeno fueron ponderadas cada una de estas variables para cada una de las fracciones granulométricas en base a su porcentaje dentro de la muestra, obteniendo así los valores totales para cada estación de muestreo. Además, fue realizado un tratamiento estadístico de regresión lineal simple, con uso del programa Microsoft Office Excel 2007, el cual mediante el método de mínimos cuadrados permitió definir el parámetro R^2 , con la finalidad de apreciar la tendencia y la reproducibilidad de las mediciones. Por otro lado, bajo el mismo método se realizó un análisis de la varianza (ver apéndice III), se estimaron los coeficientes para la pendiente (a) y para el intercepto (b) de la recta de regresión lineal y se calculó la relación del error típico de cada uno de estos coeficientes entre el valor del mismo (CVa y CVb) (ver apéndice IV), permitiendo definir la presencia de errores sistemáticos o aleatorios y estimar la magnitud de dichos errores (Miller y Miller, 2002; Skoog y colaboradores, 2007).

Para finalizar, mediante el uso del Software Golden Surfer versión 8.0, fue procesada la información espacial, partiendo de un mapa digital de la zona de estudio del año 1965 de escala 1:100.000 realizado por la Dirección de Cartografía Nacional. Inicialmente, fueron representadas las estaciones de muestreo con base en ello fueron elaborados diferentes mapas digitales de iso-líneas de concentración representando los resultados obtenidos de cada una de las variables de estudio con la finalidad de definir la distribución espacial de carbono orgánico, carbono inorgánico, carbono total y nitrógeno en el lago y a su vez identificar las posibles relaciones entre estas variables para las muestras de sedimentos.

4. PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos para las diferentes variables de estudio con su respectiva interpretación son presentados en esta sección. Estos están estructurados de la siguiente manera: análisis termogravimétrico, carbono orgánico, carbono total e inorgánico y nitrógeno, finalizando con la distribución espacial de cada una de estas variables en el Lago de Valencia.

4.1) Análisis termogravimétrico.

En la etapa de caracterización termogravimétrica de los sedimentos fue seleccionada la muestra LV21-F3, con la finalidad de estimar la reproducibilidad de las medidas. Se realizaron gráficas de dispersión de la pérdida a 450°C, 550° C, 750°C y pérdida total en función del peso de muestra inicial (Fig.8). Los parámetros estadístico de las regresiones lineales permitieron concluir que los valores de las pendientes proporcionan directamente los siguientes porcentajes 21,75; 22,24; 7,7 y 34,31, para la pérdida a 450°C, 550°C, 750°C y total respectivamente. Así, los errores obtenidos para cada pendiente permiten calcular el coeficiente de variación para cada una de ellas, evidenciando poca dispersión de las medidas y una buena precisión.

Skoog y colaboradores (2007) señalan que el método termogravimétrico está limitado en su mayor parte, a las reacciones de descomposición y de oxidación de la especie bajo estudio, de esta forma puede ser empleado como una técnica para la caracterización química de sedimentos. Así, Gaviria y colaboradores (2003) reportan que a una temperatura de 750°C, ocurre la descomposición de carbonatos y grafito, esta última especie según Wehrmann (1997), se puede encontrar en lugares muy localizados, por lo cual poco sería el aporte de éste en las muestras de sedimentos de este lago, por esta razón se puede estimar que la mayor parte de la pérdida a 750°C corresponde a la descomposición de carbonatos. Por otro lado, basándose en la pérdida de peso por combustión de la materia orgánica a 450°C, se puede estimar la concentración de la misma en las muestras de sedimentos.

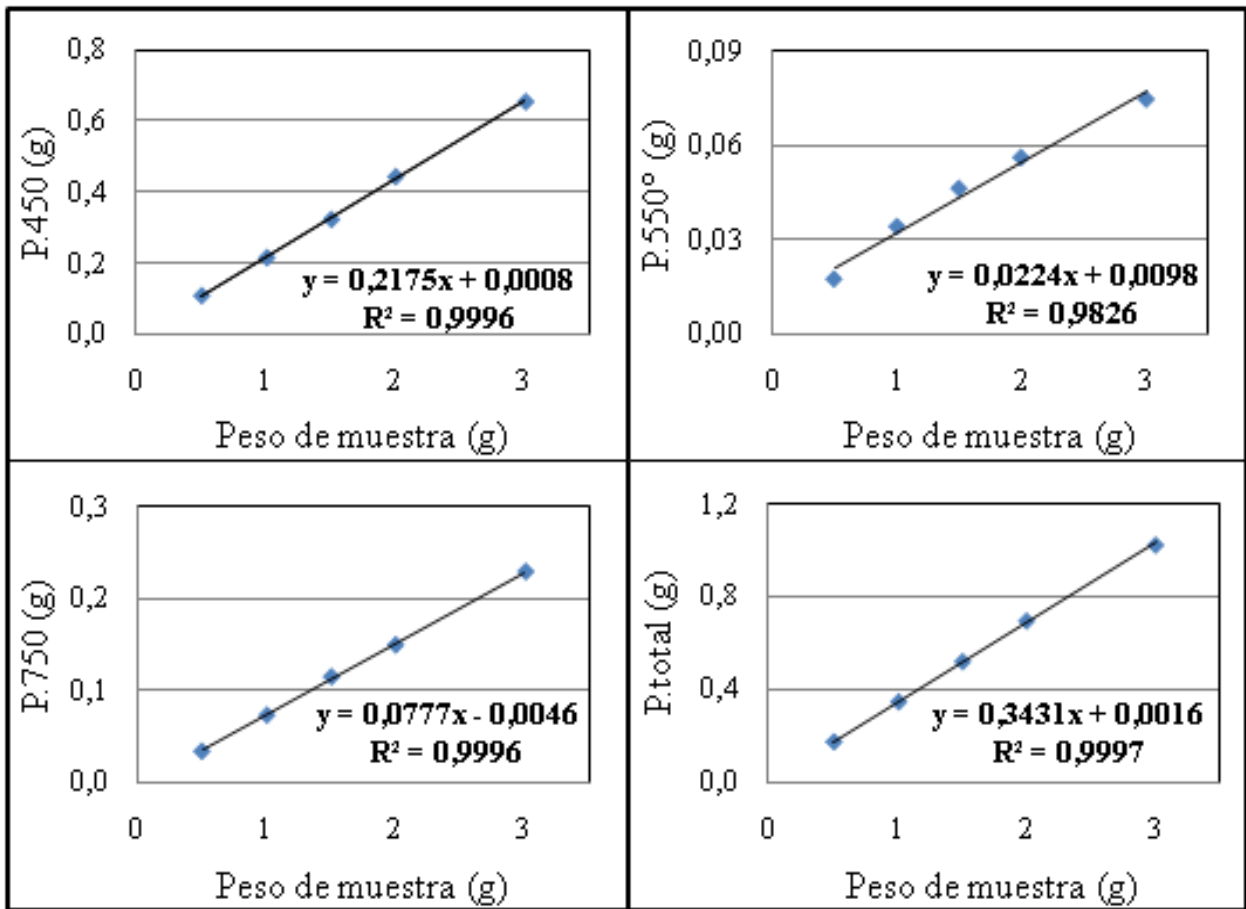


Fig. 8 Pérdida a 450°C, 550°C, 750°C en función de P_{total} vs peso de muestra para LV21-F3

Fueron realizados gráficos de dispersión para determinar la relación entre la pérdida a 750°C y la pérdida a 450°C mostrados en la Fig.9, fue trazada además una línea (color rojo) a 45° con respecto al eje horizontal. La Fig.9a muestra la dispersión para cada una de las fracciones obtenidas, de esta forma se observa que las fracciones F3, F2, F1 y parte de LG, AMF y AF, se ubican en su mayoría por debajo de esta línea, mostrando una relación de $P_{750°C}/P_{450°C}$ baja, con pérdidas a 750°C que no superan el 13%; mientras que para las pérdidas a 450°C, estas fracciones toman los valores más altos alcanzando un 36%. Lo anterior resulta razonable, ya que estas fracciones se asocian a bajos niveles de energía de sedimentación, propiciando la preservación y conservación de la materia orgánica al impedir la circulación de oxígeno en la interface agua-sedimento (Tissot y Welte, 1984).

Por otra parte, se puede observar que las fracciones de AM, AG, AMG, así como la totalidad de las muestras en donde se obtuvo gravas, en su mayoría presentan una relación de $P_{750^{\circ}\text{C}}/P_{450^{\circ}\text{C}}$ alta, ubicándose por encima de la línea de color rojo, con pérdidas a 750°C que alcanzan valores de 34% y pérdidas a 450°C menores a 13%, esto es un comportamiento esperado para estas fracciones debido, a la naturaleza de las mismas las cuales en su mayoría presentaron alta cantidad de conchas de organismos calcáreos.

Para culminar con los datos para termogravimetría, fueron realizados gráficos de dispersión para relacionar la pérdida a 750°C con la pérdida a 450°C , en esta ocasión para cada estación de muestreo, usando los valores en muestra total calculada mediante el promedio ponderado. Esta relación se muestra en la Fig.9b, obsérvese que los valores máximos alcanzados para la pérdida a 450°C son cercanos a 27% mientras que para la pérdida a 750°C son cercanos a 26%; además se puede observar claramente la tendencia marcada de la mayoría de las estaciones de muestreo a presentar relaciones de $P_{750^{\circ}\text{C}}/P_{450^{\circ}\text{C}}$ bajas, ubicándose por debajo de la línea roja, a excepción de las estaciones 15, 26, 39 y 4 ubicadas por encima de esta línea presentando una tendencia contraria, mostrando altos valores de pérdida a 750°C relacionados con bajos valores de pérdida a 450°C . Según lo reportado por Marcano (2010), en un estudio realizado en estas muestras en el año 2010, este comportamiento puede ser atribuido a la poca profundidad a la que fueron tomadas estas muestras como también a la alta presencia de organismos calcáreos.

Así mismo también se puede diferenciar el comportamiento de las estaciones 15 y 25 en cuanto a que éstas son las que presentan los menores valores de pérdida a 450°C , siendo 3,50% y 0,69% respectivamente, este comportamiento es atribuido por Marcano (2010) a que ambas muestras según la granulometría reportada en su estudio, presentan alto contenido de fracciones gravas y arenas asociadas a altos niveles de energía lo cual impide la acumulación y preservación de la materia orgánica.

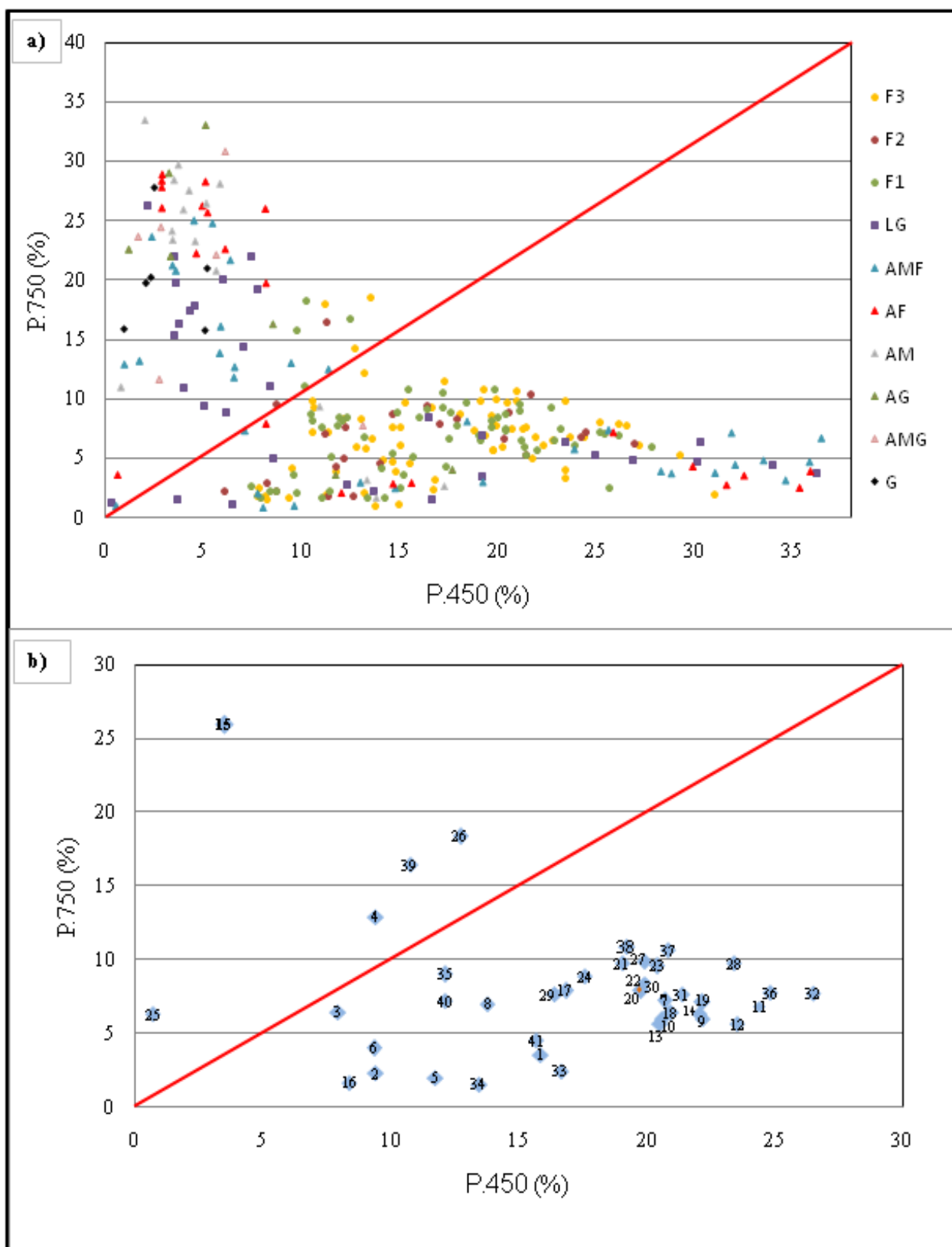


Fig.9 P.750°C en función de P.450°C por (a) fracción granulométrica y por (b) estación.

4.2) Carbono orgánico

En cuanto a las determinaciones de carbono orgánico, como se nombró anteriormente, fue realizado el método de Walkley-Black (1934). En esta ocasión fueron tomadas dos muestras (LV16-F3 y LV39A-F3) sometidas a este tratamiento químico por cuadruplicado, variando el peso de muestra a utilizar; de esta forma se construyeron ambas correlaciones mostradas en Fig.10. Los parámetros estadísticos de las regresiones lineales afirman la presencia de un error aleatorio proporcional a la variación del peso de muestra para el caso de la pendiente y para el caso del intercepto por ser significativamente distinto de cero evidencia un error sistemático constante ambos errores se pueden estimar a través de CVa y CVb los cuales para ambas muestras son menores a 2%. También se puede afirmar que existe una correlación negativa entre R^2 y la pendiente, por lo tanto las ecuaciones de las rectas tienen sentido indicando una buena reproducibilidad de las medidas así como una buena precisión y poca dispersión de los valores obtenidos mediante este método.

Conociendo el contenido de materia orgánica en los sedimentos, se puede hacer una correlación directa con el contenido de carbono orgánico de los mismos mediante el factor de aproximadamente 0,5. En busca de comprobar la existencia de esta relación, fueron seleccionadas las fracciones F3, F2, F1 y LG, así como también todas las fracciones obtenidas para la muestra LV15 y LV25 para determinar si dicha relación puede ser aceptada. La selección de F3, F2, F1 y LG, fue realizada basada en que éstas representan el mayor contenido en peso de las muestras por estación, lo cual nos permitiría obtener una visión acerca de la relación de estas fracciones con lo esperado para la muestra total. Así las muestras 15 y 25 fueron seleccionadas por su marcada diferencia granulométrica (alto % de fracciones gruesas) con respecto a todas las muestras tomadas que en general presentan bajos % de fracciones gruesas.

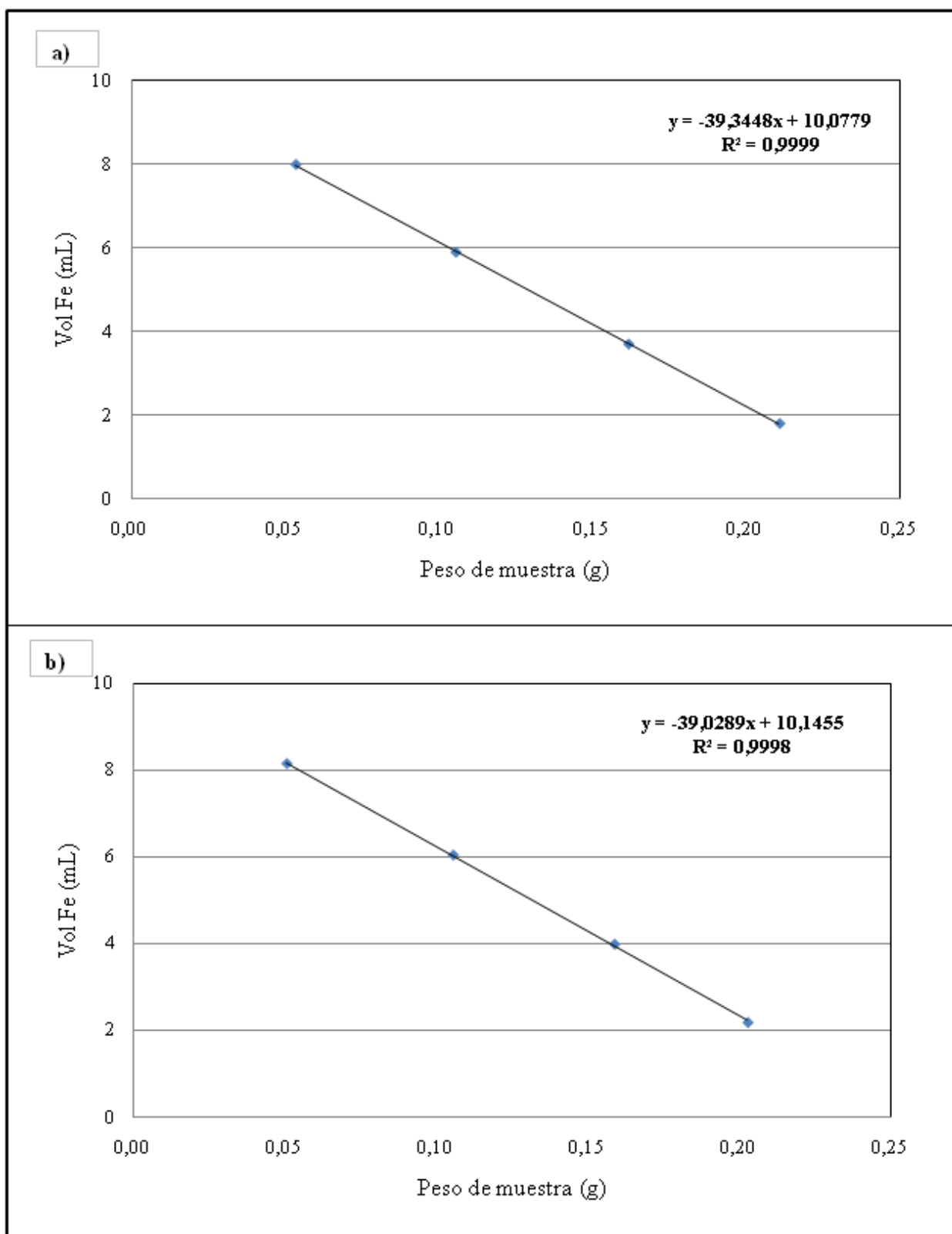


Fig.10 Volumen de sulfato ferroso (0.5M) en función de Peso de muestra (a) LV16C-F3 y (b) LV39A-F1.

Las correlaciones entre el porcentaje de carbono orgánico en función de la pérdida a 450°C para estas fracciones y muestras seleccionadas son mostradas en Fig.11. En todas las gráficas se puede observar una buena linealidad con coeficientes de correlación de entre 0,9595 hasta 0,9926, los cuales indican que la relación del porcentaje de carbono orgánico con el porcentaje de pérdida a 450°C mantiene un comportamiento lineal. Los parametros estadísticos permitieron en todos los casos, concluir que los valores de las pendientes proporcionan el porcentaje de carbono orgánico en función de la pérdida a 450°C; para el caso de F3, se observa una pendiente de 0,4855 indicando que para cada valor reportado como pérdida a 450°C un equivalente a 48,55% de este, corresponde a la concentración de carbono orgánico(%). Estos equivalentes para el caso de F2, F1, LG, LV15 y LV25 son 55,21%;54,58%; 50,23%; 55,51%; 44,07% respectivamente; además, en función de los errores obtenidos para cada una de estas pendientes se logró calcular los coeficientes de variación para las mismas evidenciando buena precisión en la medida. Para el estadístico b solo se rechazó la $H_0: b=0$ para la recta de las fracciones limo grueso, lo cual evidencia un error sistemático constante cuya magnitud es arrojada por el CV_b .

En estas gráficas, también se puede observar que los valores obtenidos para porcentaje de carbono orgánico se encuentran en el intervalo desde menos de 4% a cerca de 16%, para las fracciones F3 ,F2 y F1; mientras que para la fracción de limo grueso, va desde menos de 0,50% hasta cerca de 17% de carbono orgánico. En este mismo sentido, para la muestra 15 se observan valores de carbono orgánico desde menos de 0,61% hasta cerca de 5%, mostrando valores más bajos para las fracciones de gravas, arena muy gruesa y arena gruesa. Finalmente para la muestra 25, se observan valores bajos de carbono orgánico entre 0,35% hasta 0,70%, atribuyéndose a la presencia de fracciones que corresponden a arena media,arena gruesa, arena muy gruesa y grava, en las cuales el contenido de materia orgánica es bajo por las razones anteriormente planteadas

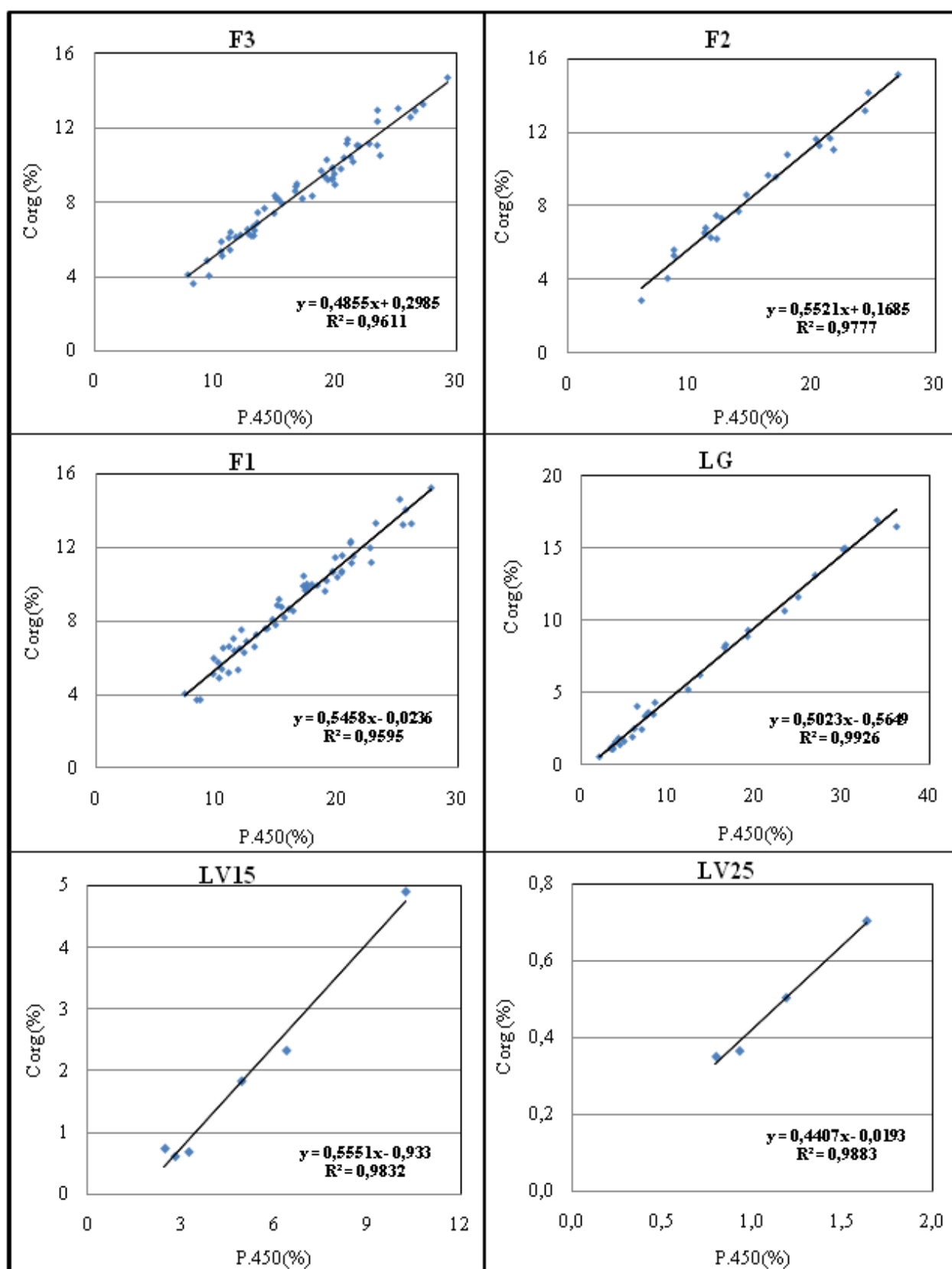


Fig.11 Carbono orgánico (%) en función P.450°C (%), para todas las fracciones obtenidas.

Con la finalidad de visualizar la distribución del contenido de carbono por fracción granulométrica en cada estación, fueron realizados gráficos de barras del porcentaje de carbono orgánico en función de la estación de muestreo, para las fracciones F3 y F1. En la Fig.12a se observa la distribución en la fracción F3 para la mayoría de las estaciones, exceptuando los valores de las estaciones 15 y 25 en las cuales no fue obtenida esta fracción. Al observar esta gráfica se puede indicar que no existe una tendencia en cuanto al contenido de carbono orgánico para esta fracción; sin embargo, de modo general los valores de porcentaje de carbono orgánico en el lago para la misma varían desde 2,58% hasta 13,07% con picos de máxima acumulación para las estaciones 32 y 36, donde al menos en 10 de estas estaciones, se observan valores mayores a 10% de carbono orgánico.

En cuanto a la fracción F1 mostrada en Fig.12b, se pueden observar los valores de porcentaje de carbono orgánico para 40 de estas estaciones. Estos valores varían desde 2,76 % hasta 14,59%, también con picos de máxima acumulación en las estaciones 32 y 36, mostrando al menos 13 estaciones con valores de carbono orgánico mayores a 10%, de las cuales 9 coinciden con los que presentan valores mayores a 10% en la fracción F3.

Se realizó también una relación del porcentaje de carbono orgánico en muestra total para cada una de estas estaciones, lo cual es mostrado en Fig.12c. En esta gráfica se observa una amplia variabilidad en cuanto al porcentaje de carbono orgánico, en el intervalo desde menos de 0,3% a 13,3%. Esta variabilidad se puede asociar a la diferencia en cuanto a la composición granulométrica de cada estación; así en estaciones como la 15 y la 25, debido a que presentan alto contenido en peso de las fracciones arenas y gravas, no pueden ser asociadas con un alto contenido de carbono orgánico. Además se puede observar, que al menos en 11 de las estaciones los valores de carbono orgánico son mayores a 10%, en este caso coinciden con la distribución mostrada en Fig.12a y 12b, específicamente en las estaciones 12, 14, 19, 28, 31, 32, 36, 37 y 38. Esto puede estar indicando que al analizar las fracciones F3 y F1 de las mismas se puede relacionar directamente con la concentración de carbono orgánico para la muestra total, mediante una correlación con el porcentaje de estas fracciones, lo cual es comprobado al consultar los datos obtenidos por Marcano (2010), en el cual se muestran valores desde 74% a 99% para la sumatoria de F3, F2, F1 y limo grueso.

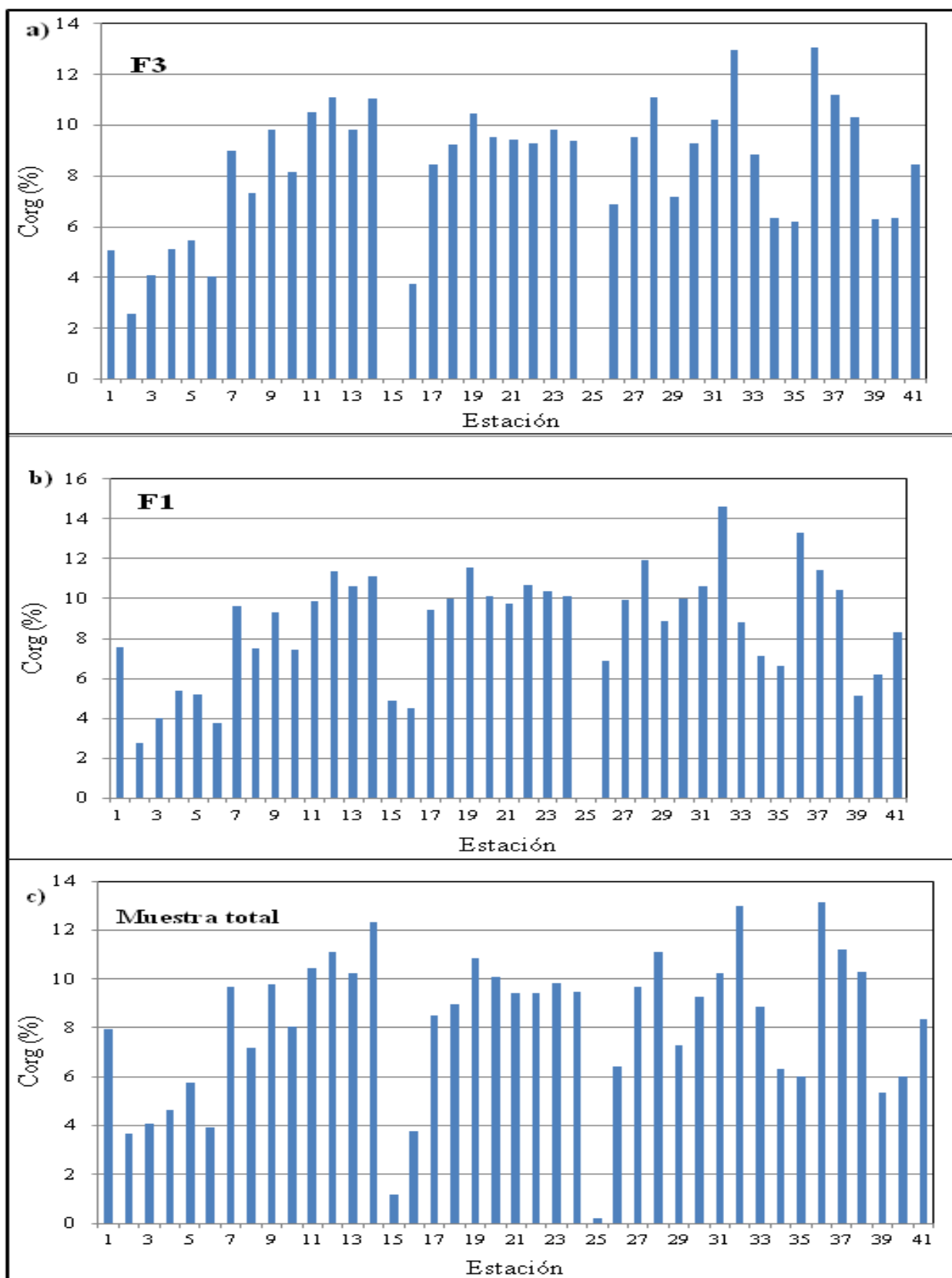


Fig.12 Distribución de carbono orgánico para las (a) F3, (b) F1 y (c) muestra total.

4.3) Carbono inorgánico y Carbono total

La determinación de carbono inorgánico se realizó a través de la relación estequiométrica de la reacción de descomposición de carbonatos en dióxido de carbono a 750°C, asumiendo que la existencia de grafito en las muestras de sedimentos en el lago de Valencia puede ser despreciada por las razones que se mencionaron anteriormente.

Una vez calculados el carbono inorgánico (%), con la finalidad de estudiar su distribución granulométrica fue realizado un gráfico en función de las estaciones para F3, F1 y muestra total; en este caso tampoco se encuentran las estaciones 15 y 25 por la razón ya mencionada. En cuanto a la distribución de carbono inorgánico para la fracción F3 mostrada en Fig13.a, se puede afirmar que la mayoría de los valores de carbono inorgánico son menores a 3% a excepción de las estaciones 26 y 39 con 5,06% y 3,92% respectivamente. Por su lado en la figura 13.b, se observa la distribución de carbono inorgánico por estación pero esta vez para la fracción F1, manteniéndose la tendencia a presentar valores de carbono inorgánico menores a 3%, a excepción de las estaciones 15, 26 y 39 con valores de carbono inorgánico mayores a 4%.

En el caso de la distribución de carbono inorgánico para cada estación en muestra total (Fig.13c), se observa que el porcentaje de carbono inorgánico en el lago, está por debajo de 3% en la mayoría de las estaciones, con un intervalo que está entre 1% y 7%, destacándose picos de máxima concentración en las estaciones 4, 15, 26 y 39. Para el caso de la estación 15, su comportamiento es razonable, ya que se puede asociar a su alto contenido de fracciones tamaño gravas y arenas las cuales dominan en muestra total. Por otro lado, para las muestras 4, 26 y 39, no se puede atribuir este comportamiento al mismo hecho, debido a que las mismas presentan bajo porcentaje en peso de las fracciones gravas y arenas.

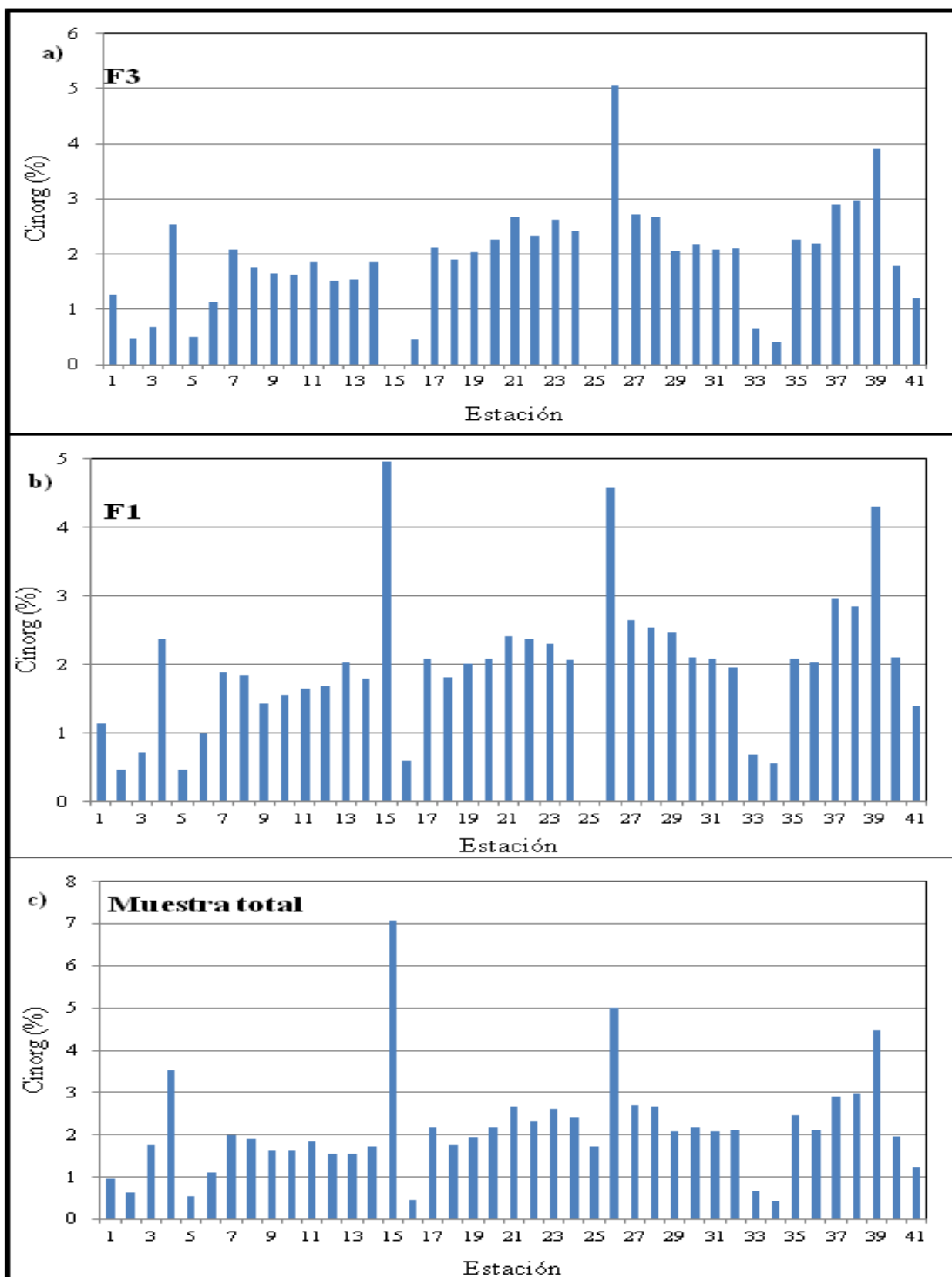


Fig. 13 Distribución de carbono inorgánico para (a) F3, (b) F1 y (c) muestra total.

Los valores de carbono total, fueron obtenidos mediante la sumatoria del carbono orgánico determinado por la titulación con sulfato ferroso y el carbono inorgánico determinado por termogravimetría, a través de la relación estequiométrica con la pérdida a 750°C. Sin embargo como una comprobación de que esta aproximación es aplicable y reproducible en estas muestras, se realizó la determinación de carbono total para 41 muestras en su mayoría conformadas por la fracción F3 y F1, para guardar la representatividad para cada estación, ya que estas representan un porcentaje de entre 74 y 99% de la muestra total.

Esta relación se muestra en la Fig.14 mediante la correlación lineal de los valores obtenidos para el porcentaje de carbono total determinado por el equipo Leco C-144, en función del calculado mediante la relación anteriormente mencionada. Los parámetros estadísticos afirman una correlación positiva lineal entre las variables, permitiendo concluir que a través del valor de la pendiente 94,05% del carbono Leco es determinado a través del cálculo, con un error aleatorio determinado a través del coeficiente de variación de esta pendiente. El intercepto distinto de cero evidencia la presencia de un error sistemático que afecta en forma constante las aproximaciones realizadas a través de esta regresión. Sin embargo al observar la magnitud de el coeficiente de variación del intercepto, se puede señalar que este no afectan en gran magnitud las estimaciones.

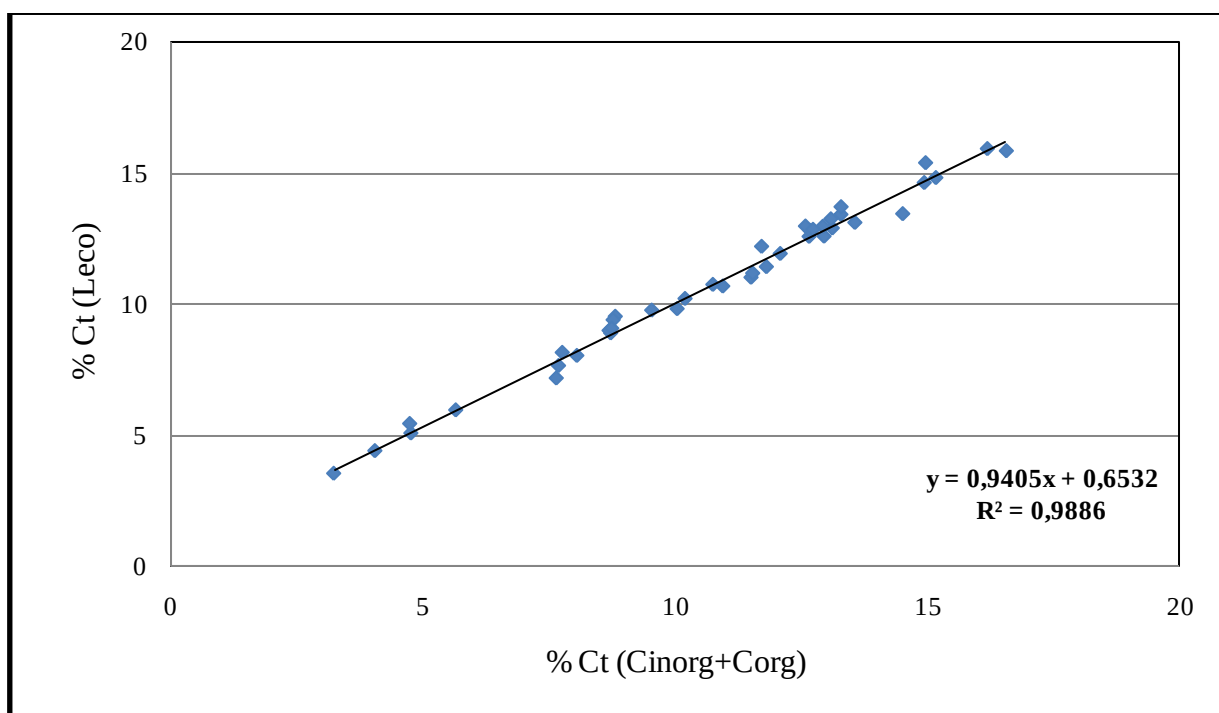


Fig.14 Carbono total Leco en función de carbono total calculado.

Por otro lado, fue tomada la muestra LV16B-F3 para someterla al método de combustión seca variando la cantidad de muestra a usar para la determinación, pesando aproximadamente 0,10; 0,20; 0,40; 0,60; 0,80 y 1,00 g realizando dos graficas de correlación las cuales son mostradas en la Fig.15. En ese sentido, la figura 15.a corresponde al porcentaje de carbono total en función del peso de muestra y en la figura 15.b es graficada el área bajo la curva obtenida por la integración en función del peso de muestra usada. En ambos casos basados en los parametros estadísticos se puede afirmar una correlación positiva entre ambas variables en un 99,99%, con pendientes que permiten calcular directamente los porcentajes de carbono total, cuyos coeficientes de variación calculados son muy bajos mostrando poca dispersión en las medidas así como una buena precisión.

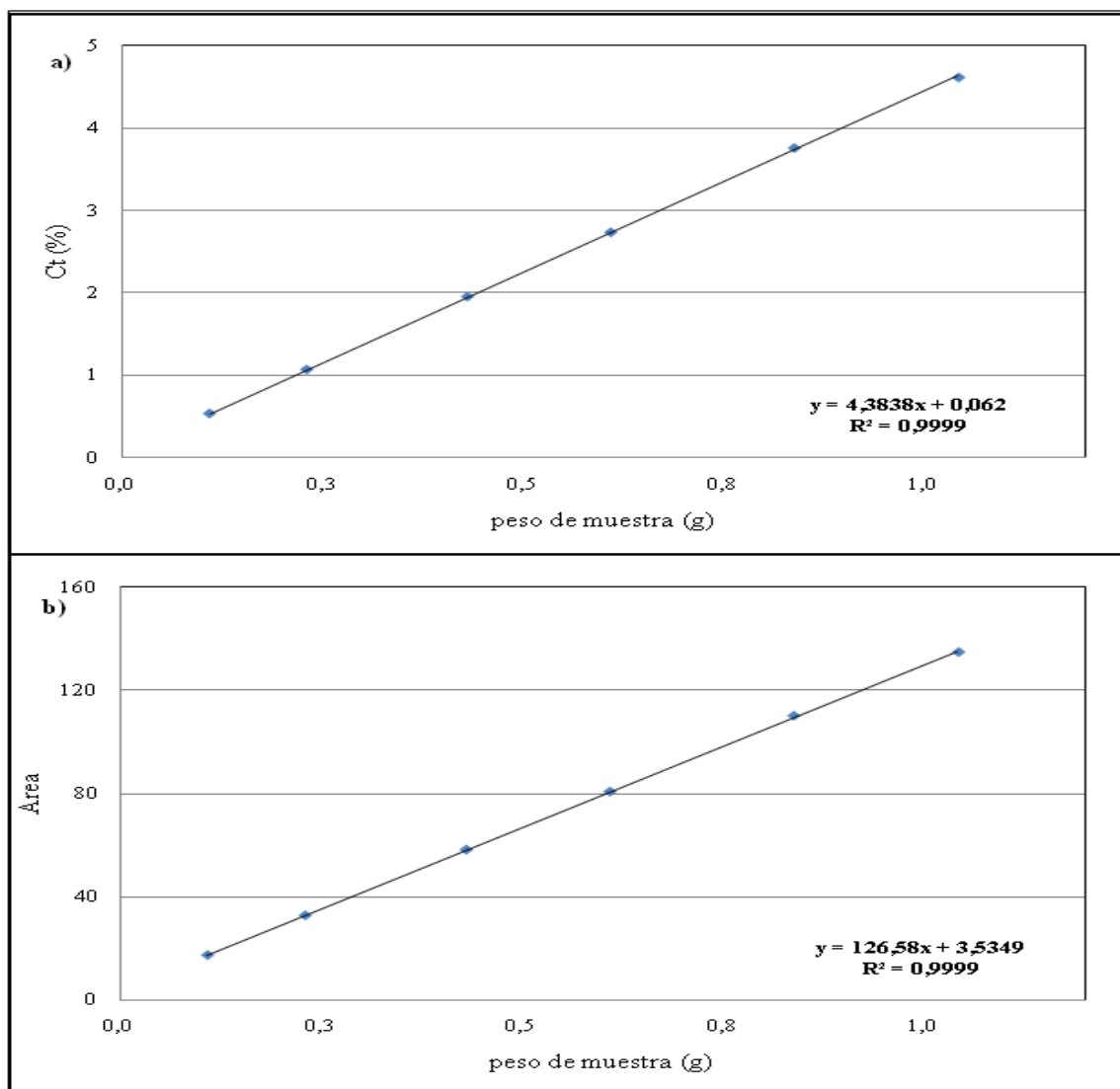


Fig. 15 (a) Carbono total leco y (b) área en función del peso de muestra para LV16B-F3.

4.4) Nitrógeno

Con la finalidad de estimar la reproducibilidad de las medidas para el método usado en la determinación de nitrógeno, específicamente en la etapa correspondiente a la destilación, fue comprobado, mediante el uso de un compuesto del cual se conoce su contenido de nitrógeno (NH_4Cl), la cantidad de nitrógeno en forma de amoníaco recuperado en el proceso de destilación. Para ello, fueron preparadas dos soluciones de NH_4Cl de concentración similar a la de HCl usado para las distintas titulaciones. Es necesario destacar que el HCl presentó una concentración de 0,0119N, el cual, fue valorado mediante el uso de una solución patrón de carbonato de sodio de concentración 0,00102N.

De la solución de NH_4Cl , preparada pesando 0,5388g de NH_4Cl en 500 mL de agua destilada, fueron tomadas alícuotas de 1,0; 4,0; 6,0; 8,0 y 10,0 mL. Los volúmenes de HCl consumidos en estas titulaciones son mostrados en la Fig.16a. También fue preparada otra solución haciendo uso de otro NH_4Cl de pureza 99,4%, pesando exactamente 0,5359g del mismo y aforando a 1000mL. De esta solución fueron tomadas alícuotas de 1,0; 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0 y 7,0 mL, seguidamente sometidas al mismo proceso de destilación, encontrándose el consumo de los volúmenes de HCl mostrados en la Fig.16b. En ambas regresiones se observa una buena linealidad en las determinaciones, evidenciado a través de los R^2 de 0,9991 y 0,9994. Esto junto con el análisis de la pendientes, permite afirmar que la correlación entre estas variables existe y es positiva, traducido como una buena reproducibilidad y precisión en las medidas, comprobado con los bajos CVa.

Fue tomada la muestra LV14-F3 para someterla a cada una de las etapas del método de determinación de nitrógeno por cuadruplicado, variando la cantidad de muestra a usar, para consumir aproximadamente 2,0; 4,0; 6,0 y 8,0 mL de HCl , basándose en que aproximadamente el 10% del carbono orgánico de esta muestra corresponde al porcentaje de nitrógeno estimado para la misma, estos resultados se muestran en Fig.16c. Los parámetros estadísticos obtenidos señalan la existencia de una buena correlación positiva para estas variables con R^2 igual a 0,9992; lo cual junto con el análisis de la pendiente, permite concluir que existe una baja dispersión de las medidas a través del cálculo de su coeficiente de variación CVa.

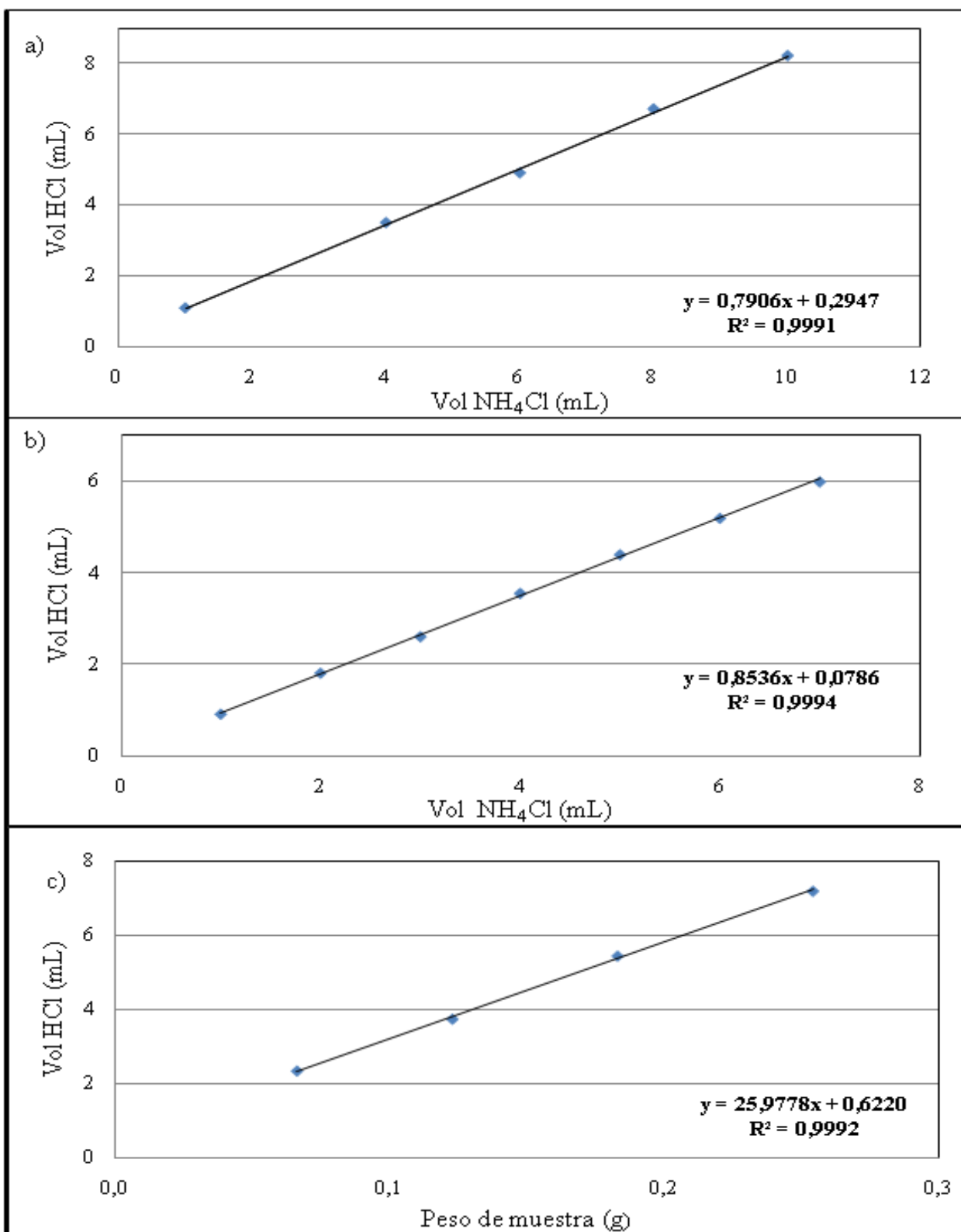


Fig.16 Titulaciones (a) Sol NH_4Cl (0,009M), (b) Sol NH_4Cl (0,010M) y (c) volumen de HCl (0,01M) en función del peso de muestra (a) LV14-F3.

La Fig.17a muestra la relación del nitrógeno determinado para varias muestras de F3, F2, F1 y limo grueso, seleccionadas a lo largo del intervalo de concentración de carbono orgánico desde cerca de 0% hasta un aproximando de 16%, encontrado para las muestras analizadas. Por otro lado, fue realizada la determinación de nitrógeno para las muestras 15 y 25 en las distintas fracciones granulométricas obtenidas, esto con el propósito de establecer si esta correlación es aplicable en las fracciones de granos gruesos como arenas y gravas, usando para ello las gráficas mostradas en las Figuras 17b y 17c.

Al evaluar los parámetros estadísticos a y b para la regresión de F3, F2, F1 y LG así como también para la muestra 15, se puede estimar a través de las pendientes que un porcentaje de 10,68 y 10,67 de carbono orgánico corresponde al porcentaje de nitrógeno para este grupo de fracciones y para la muestra 15 respectivamente. Los errores relativos de cada pendiente permitieron calcular sus coeficientes de variación indicando poca dispersión de las medidas y una buena precisión.

Por otro lado en la Fig.17c se realizó una correlación similar pero esta vez para la muestra LV25, al evaluar los parámetros a y b se pudo encontrar que a no es significativamente distinto de cero y R^2 es nulo, lo cual muestra que mediante este modelo no se puede explicar la variación de nitrógeno (%) en función del carbono orgánico (%) para esta muestra por su baja correlación.

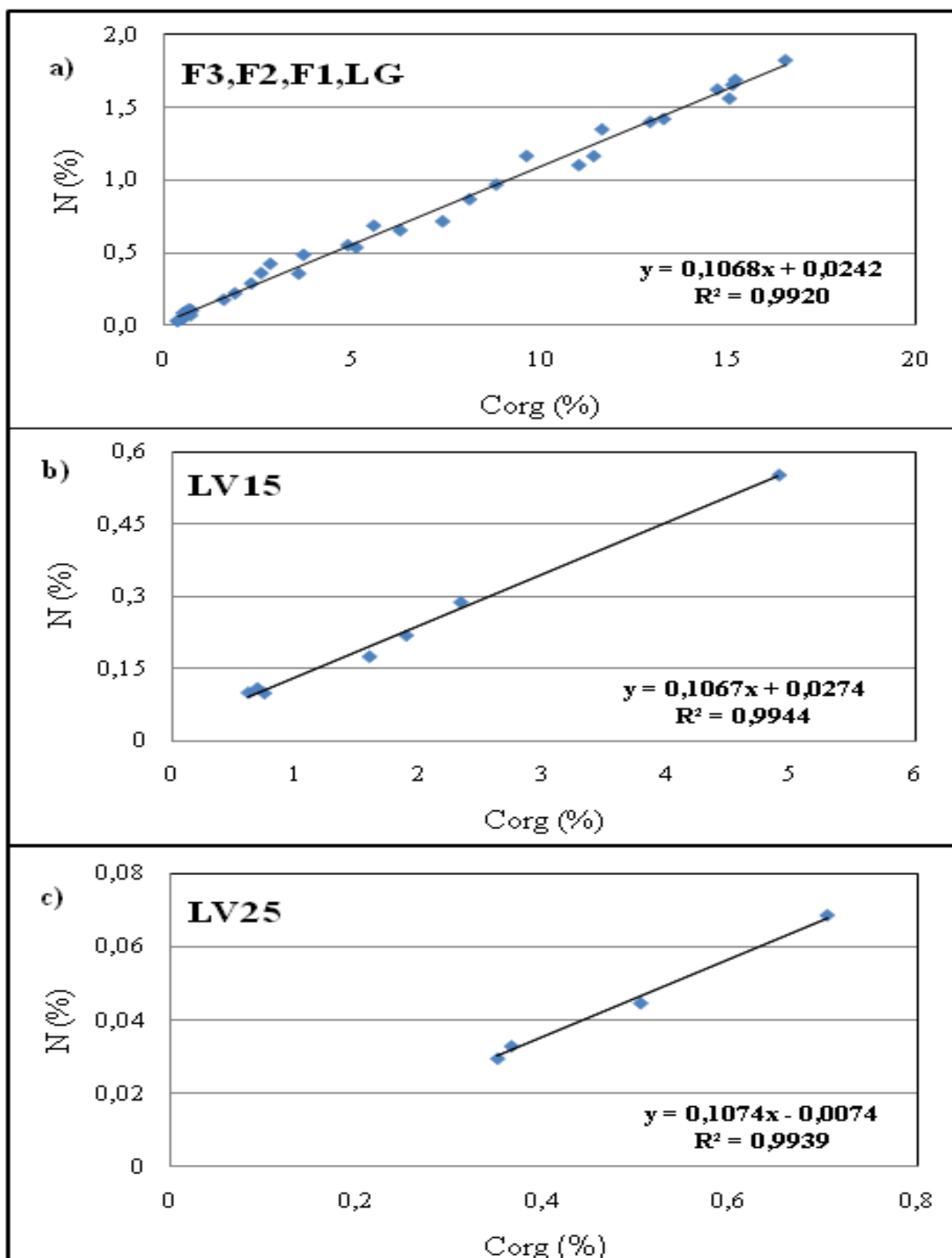


Fig. 17 Nitrógeno en función de carbono orgánico para las fracciones obtenidas.

4.5) Distribución espacial de carbono orgánico, carbono inorgánico, carbono total y nitrógeno en el lago de Valencia

En esta sección son presentados los mapas digitales de iso-líneas de concentración tanto para carbono orgánico como inorgánico y total, atendiendo a los resultados ponderados para muestra total (Apéndice I), esto con la finalidad de definir la distribución espacial de estas variables en el lago y a su vez identificar las posibles relaciones en las muestras de sedimentos.

En ese sentido en la Fig.18 es mostrada la distribución de carbono inorgánico recordando que como fue discutido anteriormente, se pueden encontrar concentraciones desde 1% a 7%, no obstante que la mayoría de los valores son menores a 3%, a excepción de las estaciones 15, 4, 26 y 39, con porcentajes de 7,08%, 3,52%, 5,02% y 4,48% respectivamente. Nótese que los máximos valores de concentración están ubicados hacia el Noroeste del lago (estaciones 25 y 39) cerca de los ríos Cura y Guácara; hacia el Este (estación 15), cerca de los ríos Aragua y Caño de amaro; finalmente hacia el Sureste (estación 4), cerca del río Caño central. Para el caso de la estación 15 se puede explicar por su asociación con los altos porcentajes de fracciones tamaño gravas y arenas, las cuales dominan en muestra total; mientras que para las muestras 4, 26 y 39, no se puede atribuir al mismo hecho, debido a que las mismas presentan bajos porcentajes en peso estas fracciones, en este caso se podrían atribuir a la presencia de organismos calcáreos que aumentan esta concentración.

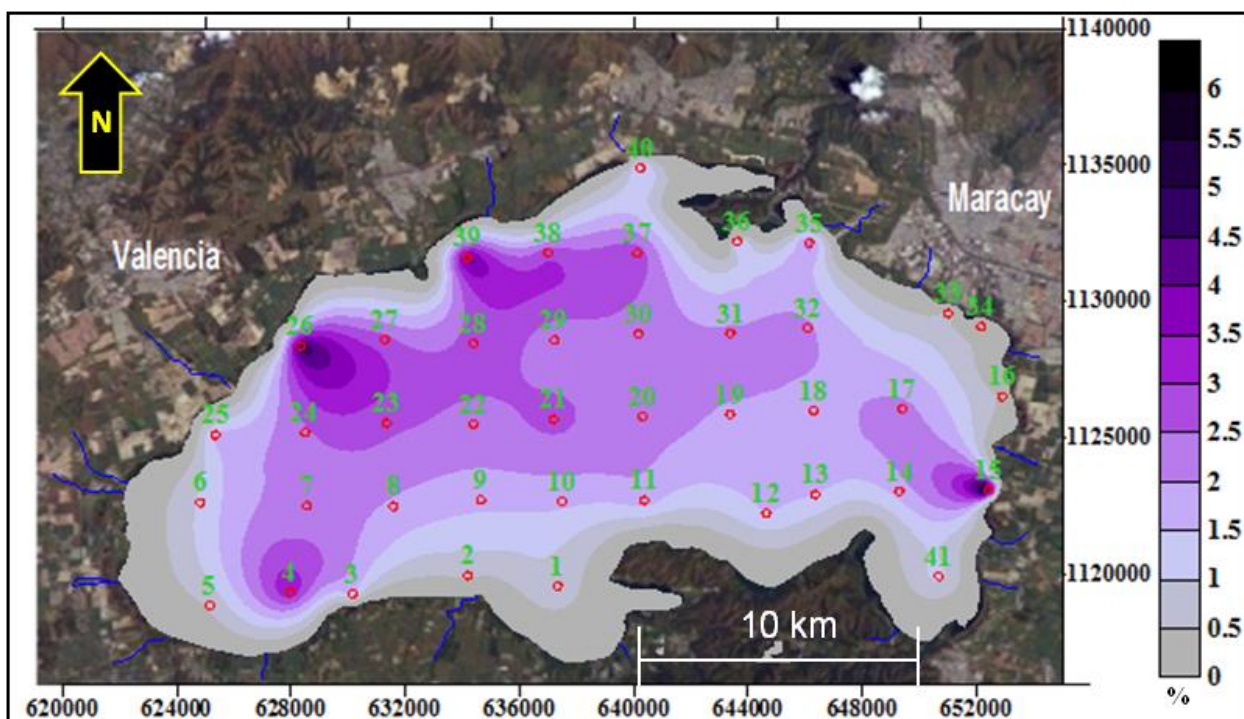


Fig. 18 Distribución de carbono inorgánico en el Lago de Valencia.

Por su parte, para la distribución de carbono orgánico observada en la Fig.19, se puede señalar la existencia de una amplia variabilidad en cuanto su porcentaje, con valores que fluctúan entre aproximadamente 0,3% a 13,3%, cuya variabilidad se asocio anteriormente a la composición granulométrica de cada estación. Destacando las estaciones 15 y la 25 con concentraciones de 1,18% y 0,22% respectivamente los cuales son los más bajos, esto se asoció a su alto contenido en peso de las fracciones arenas y gravas las cuales se caracterizan por presentar alta presencia de conchas de organismos calcáreos lo cual disminuye su concentración en forma relativa.

El carbono total por su parte se muestra en la Fig.20, también se puede observar una amplia variabilidad con valores que fluctúan entre 1,94% a 15,24%, donde al igual que para carbono orgánico se asoció la composición granulométrica de cada estación. Al igual que en carbono orgánico destaca la estación 25 por su baja concentración de carbono total (1,94%) debido a que esta muestra presenta un porcentaje en peso alto para las fracciones de grano fino a las cuales se asocia mayor contenido de carbono orgánico este resulta menor disminuyendo el contenido de carbono total de la muestra de forma relativa con respecto a el porcentaje de estas fracciones finas.

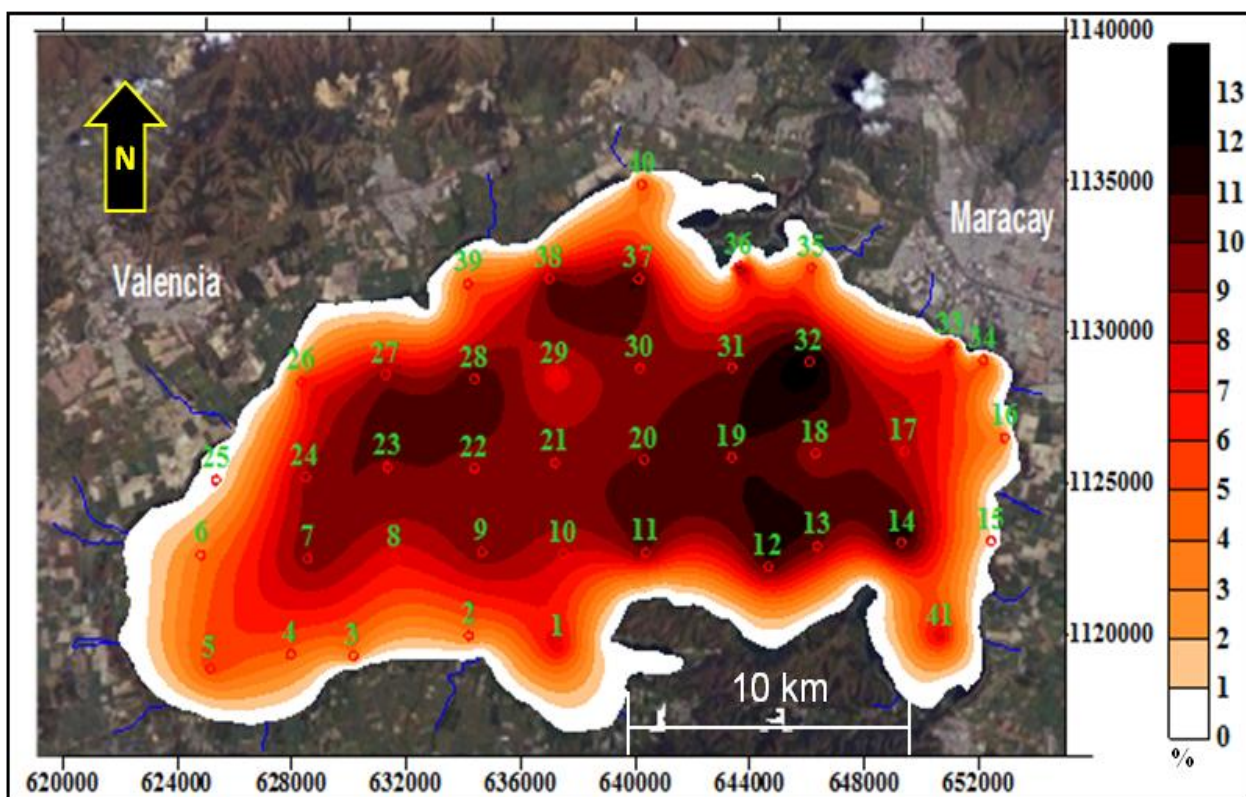


Fig. 19 Distribución de carbono organico en el Lago de Valencia.

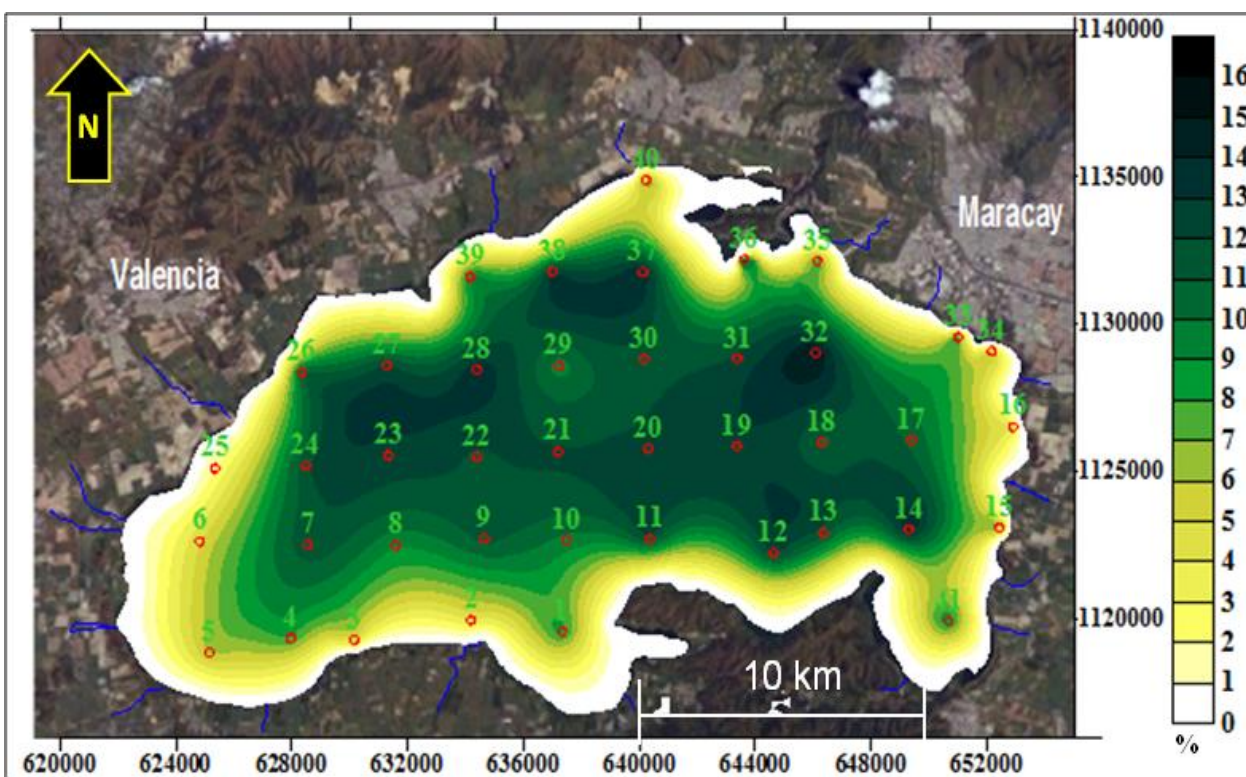


Fig. 20 Distribución de carbono total en el Lago de Valencia.

La distribución del porcentaje de nitrógeno se muestra en la Fig.21, estos varían entre 0,05% hasta 1,43%, destacando nuevamente las estaciones 15 y 25 con los menores porcentajes, lo cual nuevamente se atribuye a su bajo contenido en peso de fracciones de grano fino asociadas con alta preservación de materia orgánica, traducido en como carbono orgánico y que a su vez está relacionado con el contenido de nitrógeno

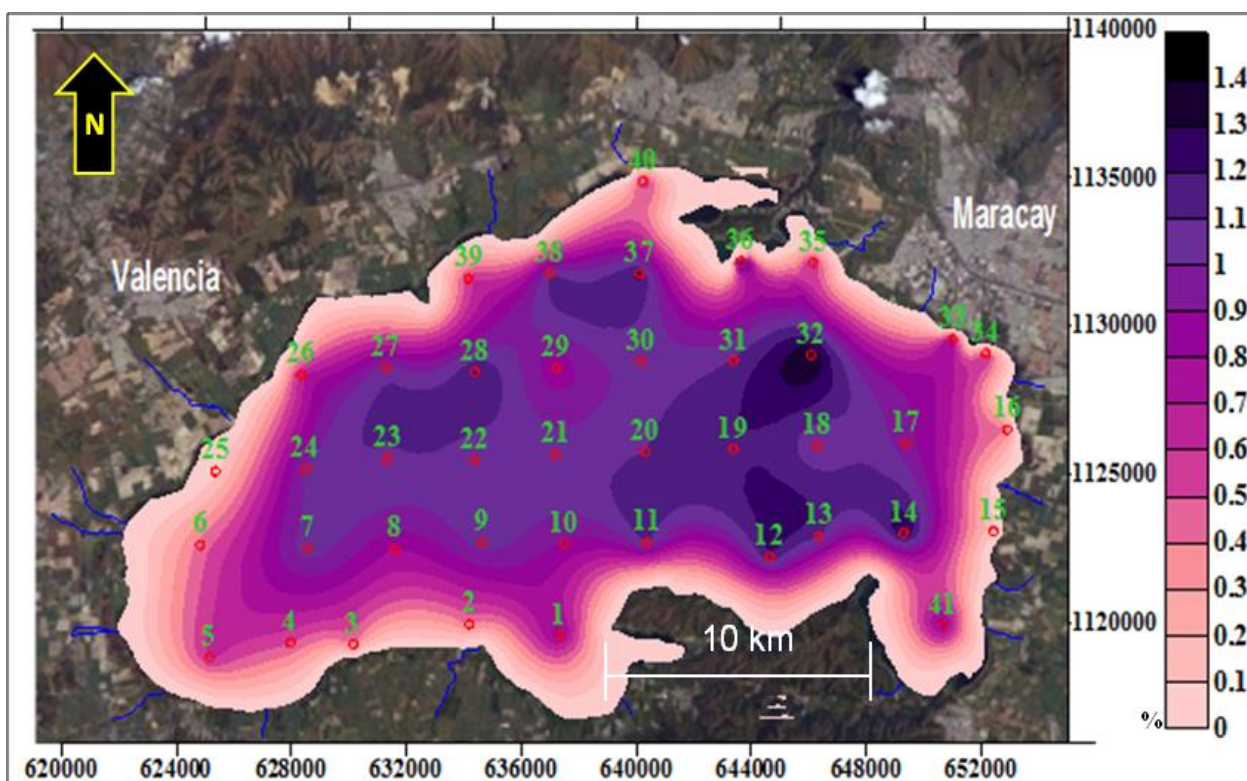


Fig. 21 Distribución de nitrógeno en el Lago de Valencia.

En líneas generales, puede observarse que existe un número apreciable de estaciones que presentan los porcentajes máximos tanto para nitrógeno como para carbono orgánico y total. Las estaciones 36 y 32 presentan siempre los máximos de concentración, destacando también las estaciones 14, 37, 12, 28, 19, 11, 38, 20, 23 y 38 que a excepción de la 36, se pueden agrupar basado en su ubicación en 3 conjuntos, pudiéndose definir un conjunto A de máximas concentraciones que incluye las estaciones 32, 19, 12, 14, 20 y 11, un conjunto B con las estaciones 37 y 38 y un conjunto C con las estaciones 28 y 23.

En general para estos conjuntos, su comportamiento se asocia a su alto contenido en peso de las fracciones de grano fino las cuales son las más adecuadas para la preservación y acumulación de la materia orgánica. Esto se traduce en un alto contenido de carbono y nitrógeno, los cuales se distribuyen hacia la parte central del lago, mientras que hacia la periferia se observa que el contenido de carbono y nitrógeno disminuye, atribuyéndose a que en estas zonas la acumulación de sedimentos es preferencialmente de grano grueso, en los cuales la posibilidad de preservación de la materia orgánica es baja.

La presencia de altas concentraciones de carbono orgánico, carbono total y nitrógeno para el conjunto *A* se puede asociar a su proximidad a la ciudad de Maracay, donde existen aproximadamente 6 tributarios, de los cuales destacan el tributario Tapatapa y Guey en términos de su caudal, además de transportar las aguas servidas y las escorrentías de las zonas agrícolas. Estos tributarios quizás aporten una cantidad considerable de nitrógeno en los sedimentos de esta zona y como es conocido al ser un importante nutriente favorece la productividad primaria y preservación de la materia orgánica. Por otro lado los conjuntos *B* y *C* se ubican hacia las zonas de valencia, aquí como tributarios importantes destaca el tributario caño central en esta zona se puede afirmar el aporte alto de nitrógeno, presentando los mismos efectos, permitiendo finalmente afirmar la existencia de contaminación antrópica de origen domestico, agrícola e industrial.

5. CONCLUSIONES

- Las fracciones tamaño arcilla (F3) y limo fino (F1) controla en su mayoría la composición total de los sedimentos en el sistema de estudio, al ser esta la granulometría dominante.
- La estimación de carbono orgánico a través la perdida a 450°C puede ser aplicada haciendo uso del factor 0,5 para estas muestras de sedimentos.
- La estimación de nitrógeno a través del carbono orgánico presente en la muestras, puede ser aplicada haciendo uso del factor 0,1 para estas muestras de sedimentos.
- La estimación de carbono total calculado por adición de carbono orgánico (W-B) y carbono inorgánico (P.750°C) para las muestras de sedimentos, puede ser aplicado para la determinación de carbono total.
- El carbono inorgánico en los sedimentos del Lago de Valencia fue acumulado en mayor proporción en los sedimentos de grano grueso, especialmente en las fracciones de arena gruesa, arena muy gruesa y gravas, encontrándose hacia las periferias del lago.
- El carbono orgánico, carbono total y nitrógeno en los sedimentos del Lago de Valencia son acumuladas en mayor proporción en los sedimentos de grano fino, especialmente en la fracción menor a 0,045mm.

6. RECOMENDACIONES

- Emplear la fracción menor a 0,045mm para estudiar la distribución espacial de elementos en el lago de valencia.
- Estudiar la relación C/N con la finalidad de identificar posibles fuentes de materia orgánica.
- Estudiar el aporte de estos elementos a través de las entradas externas (afluentes principales), con la finalidad de estimar la influencia de los mismos sobre la variación y acumulación de en los sedimentos.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Ahumada, R., Rudolph, A., Silva, N. (1996). Contenido de Carbono total, carbono orgánico, carbono inorgánico, nitrógeno orgánico y fósforo total, en los sedimentos de los fiordos de Campos de Hielo Sur. *Ciencia y Tecnología de Mar*, 19:123-132 pp.
- Ahumada, R. (2008). Procesos geoquímicos en los sedimentos, bases conceptuales para un reglamento ambiental. *Departamento de Química Ambiental, Facultad de Ciencias, UCSC. Taller de Subsecretaría de Pesca*, Depto. Acuicultura. Caupolicán, Concepción, Chile. 33p.
- Awaja, F., Bhargava, S. (2005), Prediction of clay content in oil shale using DRIFTS and TGA data facilitated by multivariate calibration, *Fuel*, 85, 1396-1402.
- Álvarez, J. (1976). Caracterización agroclimática de la cuenca del Lago de Valencia. *Ministerio de Obras Públicas. Dirección de Recursos Hidráulicos. Dirección de Información Básica*. Caracas. Venezuela.
- Ávila, P. (2003). *Agua, medio ambiente y desarrollo en el siglo XXI*. México: Instituto Mexicano de tecnología del agua. 504 p.
- Bashour, I., y Sayegh, A. (2007). Method of analysis for soils of arid and semi-arid regions. *Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome*. 118p.
- Bifano, C., y Mogollón, J. (1995). Metallic contaminant profiles in sediment cores from Lake Valencia, Venezuela. *Environmental Geochemistry and Health*. 17: 113-118 p.
- Boggs, S. (1995). *Sedimentology and Stratigraphy*, USA: Prentice Hall Inc, Second Edition, Englewood Cliffs. 774 p.
- Brown, T., Bursten B., Burdge, J. (2004). *Química, la Ciencia Central*. México: Pearson. 1152 p.
- Bueno, E. (1979). Cuenca del Lago de Valencia. Análisis Hidrogeológico e Hidrogeoquímico. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. *Dirección general de información e investigación del ambiente. Dirección de Hidrología. División de Hidrología. Serie de informes técnicos*, DGIIA/IT/28. Caracas. 34 p.
- Castillo, F., y Roldán, M. (2005). *Biotecnología ambiental*. Madrid: Tébar S.L. 616 p.
- Castells, X., y Cadavid, C. (2005). *Tratamiento y valorización energética de residuos*. Editado por la Fundación Universitaria Iberoamericana. Publicado por ediciones Díaz de Santos. 1128 p.

- Convit, R. (1968). Estudio de la Cuenca tributaria del Lago de Valencia, Hidrología, Aguas subterráneas, Aspectos sanitarios. *Instituto Nacional de Obras Sanitarias*. 62 p.
- De la Llata, María. (2003), *Ecología y medio ambiente*. Editorial Progreso, S.A. De C.V. 2da ed. 231 p.
- Eugene, P., y Gary, B. (2006). *Fundamentos de ecología*. 5ª ed. 598 p.
- Flores, R., Herrera, L., Hernández, V. (2006). *Ecología y medio ambiente*. Internacional Thomson Editores. 169 p.
- Fassbender, H. y Bornemisza E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. segunda edición. Editorial IICA. 420 p.
- Gaviría, J., Quattrini, D., Fouga, G., Bohé, A., Pasquevich, D. (2003), Estudio cinético de la descomposición del carbonato de calcio por cromatografía gaseosa, *Jornadas SAM/CONAMET/Simposio Materia 2003*, Bariloche, Argentina. 4p.
- 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.
- González de Juana, C., Iturralde de Arozena, J., Picard, X. (1980). *Geología de Venezuela y de sus cuencas petrolíferas*. Caracas, Venezuela: Editorial FONINVES, 1031 p.
- Goudi, A. (2004). *Encyclopedia of Geomorphology*. Londres, Inglaterra: Routledge. Taylor and Francis Group. 1156 p.
- Hakanson, L., Jansson, M. (1983), *Principles of lake Sedimentology*, The Blackbum Press. 332 p.
- Harrison, J. (2003). The Nitrogen Cycle of Microbes and Men. [Consulta: 2010, Mayo, 20]. http://www.visionlearning.com/library/module_viewer2.php?mid=98 &l=s&let1=Cie.
- Infante, R. (1998), Interacción entre la materia orgánica y sedimentos del Lago de Valencia, TEG, *Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Caracas, Venezuela*. 106 p.
- Instituto para el Control y la Conservación de la Cuenca del Lago de Maracaibo. (2010), [consulta en línea]. Disponible: <http://www.iclam.gov.ve>. [Consulta: 2010, Marzo, 13].
- Jackson M. L., (1976). *Análisis químico de suelos*. Edición Omega, S. A. España. 662 p.
- Jelambi, O. (1995). *Cuatrocientos cuarenta y siete años del Lago de Valencia*. Venezuela: Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. Vol. XXXII. 72 p.
- Kumpiene, J., Robinson, R., Brännvall, E., Nordmark, D., Bjurström, H., Andreas, L., Lagerkvist, A., Ecke, H. (2011), Carbon speciation in ash, residual waste and contaminated

soil by thermal and chemical analyses. *Waste Management*. Vol.31, Issue 1, January 2011, Pages 18-25.

- Limin, Hu., Zhigang, Guo., Jialiang, Feng., Zuosheng, Yang., y Ming, Fang.(2009) Distributions and sources of bulk organic matter and aliphatic hydrocarbons in surface sediments of the Bohai Sea, China. *Marine Chemistry*. 113: 197–211p.
- Limusa Editorial. (2002). *Distrito Federal Educación Ambiental. Caminos Ecológicos*. 5ta ed. 196 p.
- López, F., Ramírez, M., López-Delgado, A., Alguacil, F., Alonso, M., Pons, J. (2006), Estudio cinético de la descomposición térmica de escombros lateríticos. *X Congreso Iberoamericano de Metalurgia y Materiales*, La Habana, Cuba.
- Lozada, A. (1984), Distribución de metales potencialmente contaminantes en el sedimento del Lago de Valencia, TEG, *Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela*, Caracas, Venezuela. 121 p.
- Manahan, S. (2007). *Introducción a la química ambiental*. México: Editorial Reverte UNAM. Facultad de Química. 725 p.
- Marcano, E. (2010). Distribución espacial de Fosforo en sedimentos superficiales del Lago de Valencia. TEG, *Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela*, Caracas, Venezuela. 71 p.
- MARNR. (1980), Estudio Integral sobre contaminación del Lago de Valencia. Informe nº 1. Estudio Limnológico. 1era Etapa. *Dirección de investigación del ambiente*. 165 p.
- MARN. (1995), Estudio del Lago de Valencia: Parámetros físico-químicos y biológicos (1971-1995), *Informe del 2do Seminario Técnico del Programa de Saneamiento Ambiental Integral de la Cuenca del Lago de Valencia*, Caracas, Venezuela.
- MARN. (2005), Aumento progresivo de los niveles del Lago de Valencia, *Revista Ambiente*. 69, 21.
- Margalef López, R. (1983). *Limnología*. Madrid, España: Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas. 1010 p.
- Mason, M. and Moore, C. L. (1982). *Principles of Geochemistry*. New York: John Wiley and Sons. Fourth Edition. 344 p.
- Méndez, J. (2006). *Petrología*. Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Caracas - Venezuela. 353 p.

- Menéndez, V. (1965). Geología del área de El Tinaco, centro norte del Estado Cojedes, Venezuela. *Boletín Geológico*, 6(12): 417-543 pp.
- Millán, A., (2008). Estudio geoquímico de los suelos asociados a diferentes unidades de vegetación en un bosque de manglar, ubicado al Norte del Golfete de Cuare, estado Falcón. Trabajo especial de grado. *Universidad Central de Venezuela. Facultad de Ciencias. Escuela de Química*. 194 p
- Miller, J. and Miller, J. (2002). Estadística y quimiometría para química analítica. cuarta edición. Editorial Prentice Hall. Madrid, España. 283p.
- Mogollón, J. (1990). Comportamiento geoquímico de elementos metálicos en una cuenca tropical contaminada. Valencia, Venezuela, Tesis Doctoral, *Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela*, Caracas, Venezuela. 264 p.
- Mogollón, J., Bifano, C. (1993), Mobil metallic elements in a urbanized tropical catchment, Lake Valencia, Venezuela, *Chemical Geology*. 107, 431-434.
- Mogollón, J., Bifano, C. (1994), Topography, weather and human activity effects on the behavoir of metallic elements in a tropical catchment, *Chemical Geology*. 114, 69-82.
- Mogollón, J., Bifano, C. (2000), Tracking the metal distribution in the tropical Valencia Lake Catchment: Soil, Rivers and Lake. *Environmental Geochemistry and Health* 22: 131–153p.
- Montalvo, F. (2006). Caracterización química de los sedimentos superficiales de las bahías de Cárdenas y Santa Clara, Archipiélago Sabana-Camagüey, Cuba. *Serie Oceanológica*. No. 2: 23-33p.
- Ogrinc, N., Markovics, R., Kanduc, T., Walter, L. y Hamilton, S. (2008). Sources and transport of Carbon and Nitrogen in the River Sava watershed, a major tributary of the River Danube. *Applied Geochemistry*, 23: 3685 - 3698 p.
- Osuna, F., Bojórquez, H., y González, F. (1991). Carbono y Fósforo en sedimentos de un sistema lagunar asociado a una cuenca de drenaje agrícola. *Anales del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología*. Universidad. Nacional Autónoma. México, 19(1): 1-11
- Peters, L. (1968). *Acerca de la evolución de la Cuenca del Lago de Valencia (Venezuela) durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno*. Brusel: Geografish Institut- Verije Universiteit. 32 p.
- Prothero, D., y Schwab, F. (1996). *Sedimentary geology: an introduction to sedimentary rocks and Stratigraphy*. New York: W.H. Freeman and Company. 410 p.

- Ramirez, C. (2008). Determination de nitrógeno total en muestras de suelo, sediment, carbon y ácidos húmicos mediante la optimización del método Kjeldahl, TEG, *Escuela de Química, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela*, Caracas, Venezuela. 53 p.
- Ram, A. y Zingde M., (2000). Interstitial water chemistry and nutrients fluxes from tropical intertidal sediment. *Indian Journal of Marine Sciences*, 29: 310-318 p.
- Reading, H. (1986). *Sedimentary environments and facies*. 2da ed. Editorial Balckwell Scientific Publications. 569 p.
- Reineck, H. (1973). *Depositional sedimentary environments*. New York: Heidelberg. 439 p.
- Rojas, N., y Silva, N. (2003). Distribución especial de la textura, carbono y nitrógeno en sedimentos recientes en canales y fiordos Chilenos. Golfo Corvado (43°50' S) a Golfo Elefantes (46°30' S). *Ciencia y Tecnología del Mar*, 26(1):15-31p.
- Shagam, R. (1960). Geología de Aragua central (Venezuela). *Boletín. Geológico*, Caracas, Public. esp. 3, 2: 574-675. Versión en inglés: Geology of central Aragua, Venezuela. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 71(3):249-302.
- Schubert, C. (1979). Palolimnología del Lago de Valencia. *Boletín de la Sociedad Venezolana de Ciencia Naturales*, N° 136, Caracas. 123-155 pp.
- Silva, N y Astorga, M. (2010). Textura, materia orgánica y composición química elemental (C y N) de sedimentos marinos superficiales de la zona Puerto Montt a Boca del Guafo (Norpatoña chilena). *Latin american journal of aquatic research*. vol 38: 1-14p.
- Skoog, D., Holler, F., Nieman, T. (2001), Principios de Análisis Instrumental, Quinta Edición , Editorial McGraw and Hill Interamericana de España, S.A.U, Madrid, España. 1028 p.
- Skoog, D., Holler, F., Crouch, S. (2007), Principios de Análisis Instrumental, Séptima Edición , Editorial McGraw and Hill Interamericana de España, S.A.U, Madrid, España. 795 p.
- Sociedad Venezolana de Ingeniería Hidráulica (2006), *Revista hidráulica El Agua*. N° 47. Oct-Dic año 11. 45 p.
- Tissot, B. P y Welte, D. H. (1984). *Petroleum Formation and Occurrence*. Springer – verlag, 2da edition. 699 p.

- Tosiani, T., Yanes, C. y Ramírez, A. (2005) Sedimentos Recientes Frente al Delta del Orinoco, Venezuela. *En: Frente Atlántico Venezolano: Investigaciones Geoambientales*. Tomo Ciencias de la Tierra. Fondo Editorial MARN. Caracas. (2005) 53-61.
- Urbani, F. (1997), Léxico Estratigráfico de Venezuela, Formación Peña de Mora. [Consulta: 2010, junio, 2]. <http://www.pdvsa.com/lexico/p410w.htm>
- Urbani, F. (1997), Léxico Estratigráfico de Venezuela, Grupo Villa de Cura. [Consulta: 2010, junio, 2]. <http://www.pdvsa.com/lexico/imagen/v16-2.gif>
- Vanloon, G., Duffy, S. (2000). *Environmental Chemistry a Global Perspective*. New York: Editorial Oxford. 492 p.
- Walkley, A., y Black, I. (1934), An examination of the Degtjareff Method for Determining Soil Organic Matter, and A Proposed Modification of the Chromic Acid Titration Method. *Soil Science* (37): 29-38 p.
- Wehrmann, M. (1997), Léxico Estratigráfico de Venezuela, Formación Las Brisas[Consulta: 2010, junio, 2]. <http://www.pdvsa.com/lexico/166w.htm>
- Wehrmann, M. y Urbani, F. (1997), Léxico Estratigráfico de Venezuela, Formación Las Mercedes. [Consulta: 2010, junio, 2]. <http://www.pdvsa.com/lexico/l78w.htm>
- Wetzel, R. (1983). *Limnology*. Philadelphia, USA: Saunders College Publishing. 767 p.
- Wetzel, R.G. (2001). *Limnology: lake and river ecosystems*. Academic Press, San Diego. 1006 p.
- Xu, Y., Jaffé, R. (2008), Geochemical record of anthropogenic impacts on Lake Valencia, Venezuela. *Applied Geochemistry*, 24, 411-418p.
- Yanez, C., Alvarez, H., y Jaffé, R. (2006), Geochemistry of a tropical lake (Lake Leopoldo) on pseudo-karst topography within the Roraima Group, Guayana Shield, Venezuela. *Applied Geochemistry*, Volume 21: 870-886p.
- Zuloaga, C. (2002), Distribución de carbono orgánico, carbonático y azufre en los sedimentos superficiales marinos de la fachada atlántica, Venezuela. PG-Licenciatura en Geoquímica, *Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela*. 75 p.

APÉNDICE I

Valoración de sulfato ferroso (~0,5N)

Preparación de $K_2Cr_2O_7$ (1N)

$K_2Cr_2O_7$ secado a 103 °C por dos horas.

Disolver 98,0721 g de $K_2Cr_2O_7$ en agua destilada y aforar a 2000 mL.

Preparación de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ (~0,5N)

Diluir 139 g de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ en agua destilada y agregar 20 mL de H_2SO_4 concentrado y aforar a 1000 mL con agua destilada.

Solución indicadora de Ferroína.

Disolver 1,485 g de 1,10-fenantrolina y 0,695 g de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ en 100 mL de agua destilada.

Valoración de la solución de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$:

Colocar 5,0 mL de la solución de $K_2Cr_2O_7$ 1N en un matraz Erlenmeyer de 125 mL y agregar 3 gotas de Ferroína. Titular con solución de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$.

valoración	mL de alícuota de $K_2Cr_2O_7$	mL consumido de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Masa de $K_2Cr_2O_7$ ($\pm 0,0001$ g)	98,0721g
1	5	10,1	Volumen preparado	2000mL.
2	5	10,0	Concentración	1N
3	5	10,1	Concentración $FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0,495N

APÉNDICE II

Valoración de Ácido clorhídrico (0,0119M).

Preparación de Na_2CO_3 (0,001M)

Na_2CO_3 secado a 110 °C por dos horas.

Disolver 0,0271 g de Na_2CO_3 en agua destilada y aforar a 500 mL.

Preparación de HCl (~0,01M)

Diluir 0.83 mL. de HCl al 37 % en agua destilada y aforar a 1000 mL con agua destilada.

Azul de bromofenol (0.04%):

Disolver 0.04 gr. de azul de bromofenol en 15 mL. NaOH 0.01N y aforar a 100 mL con agua destilada.

Valoración de la solución de HCl:

Colocar 50,0 mL de la solución de Na_2CO_3 0.001M en un matraz Erlenmeyer de 125 mL. y agregar 3 gotas de azul de bromofenol. La muestra adquiere un color azul, titular con solución de HCl hasta que aparezca un color verde.

valoración	mL de alícuota de Na_2CO_3	mL consumido de HCl	Masa de Na_2CO_3 ($\pm 0,0001\text{g}$)	0,0271g
1	50	4,30	Volumen preparado	500 mL.
2	50	4,25	Concentración	0,0010 M
3	50	4,28	Concentración HCl	0,0119M

APÉNDICE III

Tabla de análisis de la varianza para las regresiones (Anova)

Muestra		R^2	PF	Ptb	Pta
LV21-F3	P.450°C Vs Pm	0.999956	3,84581E-06	0,875738435	3,84581E-06
	P.550°C Vs Pm	0.982639	0,00097593	0,051548935	0,00097593
	P.750°C Vs Pm	0.999599	3,40628E-06	0,064339893	3,40628E-06
	P.TotalVs Pm	0.999743	1,74953E-06	0,795376277	1,74953E-06
Vol FeSO ₄ .7H ₂ O Vs Pm (LV16C-F3)		0.999912	4,41644E-05	0,0000	0,0000
Vol FeSO ₄ .7H ₂ O Vs Pm (LV39A-F3)		0.999779	0,00011029	3,25917E-05	0,000110295
% Corg Vs % P.450°C	(F3)	0.961051	7,23471E-42	0,206607974	7,23741E-42
	(F2)	0.977742	7,74048E-19	0,57764	0,00000
	(F1)	0.959490	1,11178E-40	0,927462779	1,11178E-40
	(LG)	0.992589	1,941294E-32	0,000194419	1,941294E-32
	(LV15)	0.983218	0,00010621	0,01057054	0,00010621
	(LV25)	0.988338	0,005848122	0,676288145	0,005846122
% Ct Vs Pm (LV16B-F3)		0.999909	1,96935E-09	0,006312525	1,96935E-09
% Ct Vs area (LV16B-F3)		0.999926	2,01357E-09	0,0005447	2,01357E-09
% Ct Vs % Ct(cal)		0.988624	1,5769E-39	0,000930997	1,5769E-39
Vol HCl Vs Vol NH ₄ Cl(1)		0.999094	1,15806E-05	0,04734857	1,15806E-05
Vol HCl Vs Vol NH ₄ Cl(2)		0.999423	2,72042E-09	0,113676305	2,72042E-09
Vol HCl Vs Pm (LV14-F3)		0.999244	0,000377678	0,018830696	0,000377678
%N Vs % Corg	(F3,F2,F1,LG)	0.991975	4,15208E-35	0,102532987	4,15208E-35
	(LV15)	0.994370	8,08894E-07	0,020782764	8,08894E-07
	(LV25)	0.993991	0,003050148	0,130141942	0,003050148

R^2 : Coeficiente de determinación; PF: Probabilidad de que $F_{(exp)} > F_{(tab)}$; Ptb: Probabilidad de que $tb_{(exp)} > tb_{(tab)}$; Pta: Probabilidad de que $ta_{(exp)} > ta_{(tab)}$.

APÉNDICE IV

Continuación...Tabla de análisis de la varianza para las regresiones (Anova)

Muestra		a	Eta	%CVa	b	Etb	%CVb
LV21-F3	P.450°C Vs Pm	0,21748	0,00262	1,2039			
	P.550°C Vs Pm	0,02240	0,00172	7,6741			
	P.750°C Vs Pm	0,07768	0,00090	1,1561			
	P.TotalVs Pm	0,34315	0,00318	0,9258			
Vol FeSO ₄ .7H ₂ O Vs Pm (LV16C-F3)		-39,345	0.26148	-0.6646	10.078	0.03803	0.37735
Vol FeSO ₄ .7H ₂ O Vs Pm (LV39A-F3)		-39.029	0.40992	-1.0503	10.145	0.05792	0.57091
% Corg Vs % P.450°C	(F3)	0.48553	0.01295	2.6665			
	(F2)	0.55206	0.01818	3.2925			
	(F1)	0.54579	0.01499	2.7458			
	(LG)	0.50226	0.00806	1.6046	-0.56494	0.13248	-23.4510
	(LV15)	0.55509	0.03626	6.5323			
	(LV25)	0.44066	0.03385	7.6810			
% Ct Vs Pm (LV16B-F3)		4.3838	0.01866	0.4257			
% Ct Vs area (LV16B-F3)		126.58197	0.54180	0.4280			
% Ct Vs % Ct(cal)		0.94047	0.01615	1.7177			
Vol HCl Vs Vol NH ₄ Cl(1)		0.79057	0.01375	1.7388			
Vol HCl Vs Vol NH ₄ Cl(2)		0.85357	0.00918	1.0749			
Vol HCl Vs Pm (LV14-F3)		25.97784	0.50499	1.9439			
%N Vs % Corg	(F3,F2,F1,LG)	0.10683	0.00170	1.5900			
	(LV15)	0.10666	0.00359	3.3649			
	(LV25)	0.10735	0.00594	5.5355			

a: pendiente ; Eta: error típico de la pendiente; CVa: Relación Eta/ a x100; b: intercepto; Etb: error típico del intercepto; CVb: Relación Etb/ b x100

APÉNDICE V

Tabla de resultados obtenidos por estación (Ponderados)

Muestra	Prof (m)	Análisis termo-gravimétrico					Cinor (%)	Corg (%)	Ct (%)	N (%)
		105° (%)	450° (%)	550° (%)	750° (%)	P _{total} (%)				
LVM1	18	3,17	15,82	3,86	3,55	26,40	0,97	7,93	8,90	0,87
LVM2	5	2,61	9,38	2,72	2,29	17,00	0,63	3,69	4,32	0,42
LVM3	5	2,67	7,90	3,24	6,43	20,24	1,75	4,05	5,80	0,46
LVM4	6	2,73	9,38	1,80	12,90	26,82	3,52	4,61	8,13	0,52
LVM5	7	3,10	11,71	2,67	1,97	19,46	0,54	5,77	6,31	0,64
LVM6	10	2,31	9,33	2,00	4,02	17,67	1,10	3,91	5,01	0,44
LVM7	20	3,40	20,69	1,72	7,26	33,07	1,98	9,67	11,65	1,06
LVM8	21	3,49	13,76	2,34	7,00	26,60	1,91	7,18	8,99	0,79
LVM9	29	3,44	22,15	1,16	5,97	32,73	1,63	9,75	11,38	1,07
LVM10	34	12,09	20,58	1,20	5,95	39,83	1,62	8,03	9,65	0,88
LVM11	39	3,69	24,38	1,15	6,80	36,03	1,86	10,46	12,32	1,14
LVM12	42	4,54	23,54	2,31	5,63	36,02	1,54	11,11	12,65	1,21
LVM13	37	13,91	20,48	1,40	5,64	41,43	1,54	10,23	11,76	1,12
LVM14	28	3,41	22,06	2,92	6,33	34,73	1,73	12,30	14,03	1,34
LVM15	5	1,05	3,50	1,20	25,96	31,71	7,08	1,18	8,26	0,15
LVM16	6	2,50	8,37	2,57	1,66	15,10	0,45	3,78	4,23	0,43
LVM17	32	4,09	16,81	2,43	7,91	31,24	2,16	8,51	10,66	0,93
LVM18	39	3,35	20,90	1,56	6,41	32,23	1,75	8,97	10,64	0,98
LVM19	40	3,40	22,14	1,41	7,12	34,07	1,94	10,86	12,80	1,18
LVM20	40	3,16	19,74	2,69	7,90	33,50	2,15	10,06	12,21	1,10
LVM21	42,5	3,19	19,02	1,23	9,76	33,20	2,66	9,42	12,08	1,03
LVM22	37,5	10,06	19,91	1,11	8,46	39,54	2,31	9,44	11,75	1,03
LVM23	30	4,99	20,40	1,04	9,59	36,02	2,61	9,82	12,44	1,07
LVM24	23	3,14	17,57	2,88	8,83	32,42	2,41	9,46	11,86	1,03
LVM25	3,5	0,77	0,69	0,77	6,29	8,53	1,72	0,22	1,94	0,05
LVM26	9,5	2,35	12,71	1,01	18,40	34,47	5,02	6,44	11,46	0,71
LVM27	23,5	4,11	19,89	1,61	9,86	35,47	2,69	9,65	12,34	1,05
LVM28	36,5	2,36	23,40	1,29	9,76	36,82	2,66	11,10	13,76	1,21
LVM29	42	11,29	16,38	2,24	7,60	37,51	2,07	7,26	9,33	0,80
LVM30	42,5	3,94	19,69	1,48	7,95	33,06	2,17	9,29	11,46	1,02
LVM31	41,5	3,11	21,36	1,54	7,65	33,65	2,09	10,21	12,30	1,11
LVM32	40	3,38	26,49	1,13	7,70	38,69	2,10	13,01	15,10	1,41
LVM33	15	1,94	16,64	1,29	2,42	22,28	0,66	8,86	9,52	0,97
LVM34	9	2,41	13,42	2,00	1,53	19,36	0,42	6,32	6,74	0,70
LVM35	20,5	1,69	12,11	1,78	9,03	24,61	2,46	6,01	8,47	0,67
LVM36	37,5	2,52	24,81	1,41	7,73	36,47	2,11	13,13	15,24	1,43
LVM37	30	5,12	20,83	2,54	10,62	39,11	2,90	11,21	14,11	1,22
LVM38	23	2,47	19,20	2,60	10,84	35,10	2,96	10,31	13,27	1,12
LVM39	12	1,86	10,74	2,19	16,44	31,22	4,48	5,33	9,81	0,59
LVM40	7,5	2,87	12,12	2,72	7,20	24,90	1,96	6,02	7,98	0,67
LVM41	15	4,66	15,68	2,71	4,51	27,56	1,23	8,37	9,60	0,92