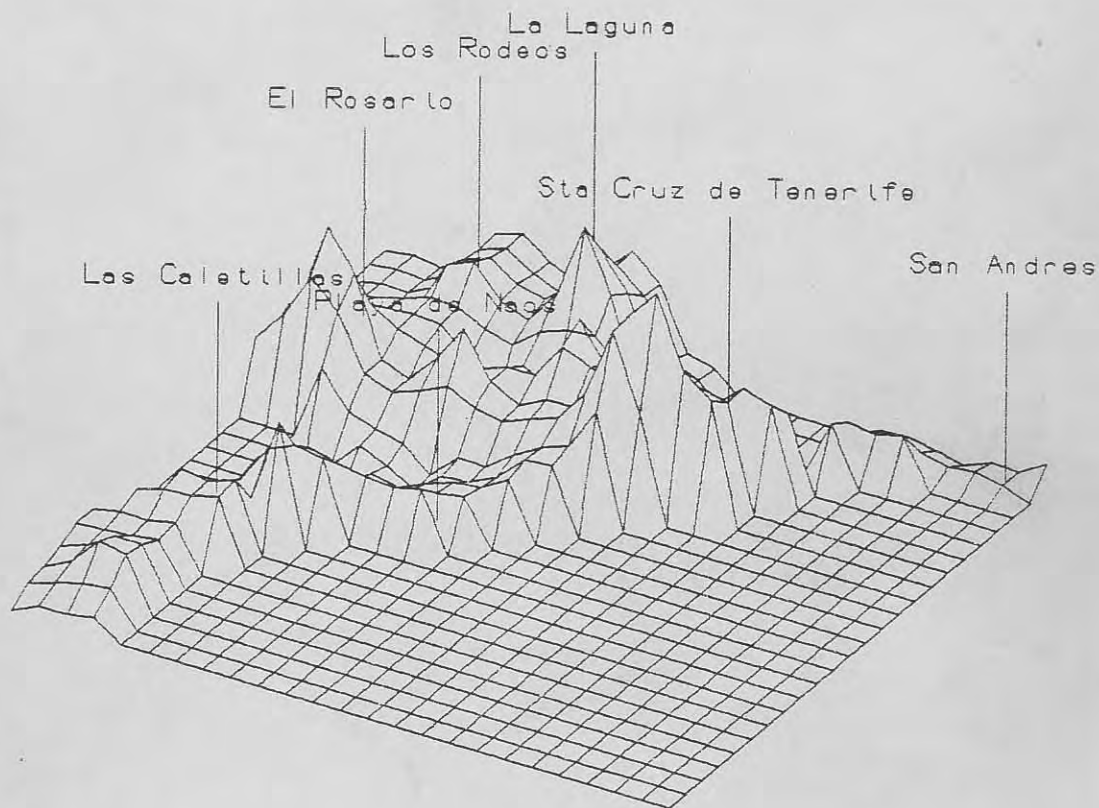


MEMORIA FINAL DEL PROYECTO

"GEOQUIMICA AMBIENTAL: DETERMINACION Y DISTRIBUCION DE METALES PESADOS Y RADIONUCLEIDOS EN EL MEDIO NATURAL DEL AREA URBANA-INDUSTRIAL DE SANTA CRUZ DE TENERIFE-LA LAGUNA-CANDELARIA, ISLA DE TENERIFE."



SUELOS TENERIFE: Pb (ppm/fondo)

INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES DE LA LAGUNA (IRNAC-CSIC)
MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES DE MADRID (CSIC)
CIEMAT

SEPTIEMBRE DE 1989

MEMORIA FINAL DEL PROYECTO

"GEOQUIMICA AMBIENTAL: DETERMINACION Y DISTRIBUCION DE METALES PESADOS Y RADIONUCLEIDOS EN EL MEDIO NATURAL DEL AREA URBANA- INDUSTRIAL DE SANTA CRUZ DE TENERIFE-LA LAGUNA-CANDELARIA, ISLA DE TENERIFE."

INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES DE LA LAGUNA (IRNAC-CSIC)
MUSEO NACIONAL DE CIENCIAS NATURALES DE MADRID (CSIC)
CIEMAT

SEPTIEMBRE DE 1989



I N D I C E

MEMORIA

1.- Antecedentes

2.- Objetivos del Proyecto de Investigación.

3.- Organización del Estudio. Participantes.

4.- Trabajos realizados.

5.- Conclusiones principales. Recomendaciones.

6.- ANEJOS

ANEJO 1.- CONTENIDO Y DISTRIBUCION DE METALES PESADOS Y OTROS CONTAMINANTES EN SUELOS DEL AREA DE SANTA CRUZ DE TENERIFE.

Introducción

1.- Plan de Trabajo y Metodología de Estudio.

- 1.1- Localización del área geográfica : San Andrés - La Laguna - Candelaria.
- 1.2- Características geológicas y edafológicas de la Zona.
- 1.3- Preparación y tratamiento de suelos.
- 1.4- Determinación de Parámetros Físico-Químicos.
- 1.5- Análisis Mineralógico mediante Difracción de Rayos X.
- 1.6- Análisis cuantitativos por vía húmeda:
Absorción Atómica y Cámara de Grafito.
- 1.7- Análisis cuantitativos de contenidos totales de elementos metálicos mediante Fluorescencia de Rayos X.

2.- Geoquímica de suelos superficiales.

- 2.1- Parámetros Físico-Químicos.

2.2- Composición mineralógica y geoquímica.

2.3- Contenido en metales pesados.

3.- Distribución de Componentes Mineralógicos y Elementos Metálicos en los suelos de la malla.

3.1- Parámetros Físico-Químicos.

3.2- Características mineralógicas.

3.3- Contenidos en elementos metálicos y metales pesados.

4.- Correlaciones entre los parámetros edafológicos y mineralógicos en relación con el contenido en elementos metálicos.

4.1 - Relaciones entre los parámetros físico-químicos y los elementos metálicos.

4.2 - Relaciones entre las composiciones mineralógicas y las concentraciones en elementos metálicos.

5.- Análisis Estadístico de los diferentes parámetros.

5.1- Análisis discriminante de los Componentes

Principales.

- 5.2- Análisis Factorial multivariable entre los parámetros Físico-Químicos y los elementos metálicos.

6.- Valoración del Potencial Tóxico de los Suelos.

- 6.1- Grado de contaminación.
- 6.2- Valores equivalentes de contaminación.
- 6.3- Contenidos límites en metales pesados.

7.- Resumen y Discusión de los Resultados Obtenidos.

8.- Referencias Bibliográficas.

APENDICES

Apéndice 1.- Matriz de Correlación de los Suelos de la Malla.

Apéndice 2.- Análisis multivariable .

ANEJO 2.- CONTENIDO DE EMETALES PESADOS Y OTROS CONTAMINANTES METALICOS EN SUSPENSION EN EL AIRE. ZONA DE SANTA CRUZ DE TENERIFE.

Introducción

1.- Plan de Trabajo.

2.- Metodología Analítica.

3.- Identificación de las Fases Minerales.

4.- Componentes Elementales Mayoritarios.

5.- Variaciones de la Relación Ca/Si.

6.- Elementos Traza contaminantes.

7.- Indicadores del grado de Polución Ambiental.

8.- Resumen y Consideraciones.

Bibliografía

Apéndices.- Difractogramas de Filtros representativos.

ANEJO 3.- EVALUACION DE NIVELES DE RADIATIVIDAD AMBIENTAL EN LA ZONA DE SANTA CRUZ DE TENERIFE.

Introducción

- 1.- Determinaciones en aire.
- 2.- Determinaciones en aguas.
- 3.- Determinaciones en suelos.
- 4.- Conclusiones.

ANEJO 4.- DETERMINACION DE NIVELES DE CONCENTRACION DE RADON EN VIVIENDAS DE LA ZONA DE SANTA CRUZ DE TENERIFE-LA LAGUNA.

Introducción

- 1.- Instalación y puesta en funcionamiento del equipo de medida del Radon.
- 2.- Toma de muestras y determinaciones analíticas.
- 3.- Análisis de los resultados y conclusiones.

Apéndice.- Publicación de la Agencia de Protección Mediambiental De EE.UU. (EPA) sobre el Radon.

ANEJO 5.- EVALUACION DE LA CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN EL AREA DE SANTA CRUZ DE TENERIFE (CENTRAL TERMICA DE LAS CALETILLAS) MEDIANTE BIOINDICADORES VEGETALES NATURALES.

1.- Introducci3n

2.- Objetivos.

3.- Material y M3todos.

4.- An3lisis y discusi3n de los resultados.

- 4.1.- Potasio
- 4.2.- Sodio
- 4.3.- Hierro
- 4.4.- Manganeso
- 4.5.- Cobre
- 4.6.- Zinc
- 4.7.- N3quel
- 4.8.- Cadmio
- 4.9.- Cromo
- 4.10.-Vanadio

5.- Conclusiones

Bibliografafa

PROYECTO: "GEOQUÍMICA AMBIENTAL. DETERMINACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS Y RADIONUCLEÍDOS EN EL MEDIO

ANEJO 6.- EVALUACION DEL CONTENIDO EN CONTAMINANTES DEL AGUA DE PRECIPITACION EN LA ZONA DE SANTA CRUZ DE TENERIFE.

Introducción

1.- Toma de muestras.

2.- Resultados y discusión.

PROYECTO: "GEOQUIMICA AMBIENTAL. DETERMINACION Y DISTRIBUCION DE METALES PESADOS Y RADIONUCLEIDOS EN EL MEDIO NATURAL DEL AREA URBANA-INDUSTRIAL DE SANTA CRUZ DE TENERIFE-LA LAGUNA-CANDELARIA, ISLA DE TENERIFE."

MEMORIA

1.- Antecedentes

En el marco del Convenio firmado en 1986 por el Gobierno de Canarias y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas para el fomento y desarrollo de la investigación científica en el ámbito de la Comunidad Autónoma de Canarias se inició un Proyecto de investigación -financiado conjuntamente por ambas Instituciones- encaminado al análisis de la incidencia en el medio natural de las actividades industriales y urbanas en el área piloto de Santa Cruz-La Laguna-Candelaria.

2.- Objetivos del Proyecto de Investigación.

Dos grandes objetivos inspiraron este proyecto:

I.- Poner a punto un equipo dotado de los medios adecuados para poder determinar cualitativa y cuantitativamente los principales elementos de contaminación derivados de tales actividades humanas, capaz asimismo de conocer las causas y posibles efectos de fenómenos

contaminantes de carácter puntual, ayudando a las áreas competentes de la Administración de esta Comunidad Autónoma en la adopción de medidas concretas de actuación.

II.- Analizar la naturaleza y entidad de los principales componentes de contaminación ambiental -específicamente metales pesados y radionucleidos-, sus fuentes y sistemas de aporte, la distribución espacial de sus concentraciones, y sus posibles efectos en la calidad de vida de los habitantes de la zona y en el medio natural.

El escaso conocimiento de estos factores en Canarias y la aguda sensibilidad de la población ante fenómenos de contaminación claramente percibidos -pero cuyos efectos reales no se conocen adecuadamente- a partir de actividades industriales (Refinería de Petróleo, Central Térmica de Las Caletillas, tráfico aéreo, urbano e interurbano, vertido de residuos sólidos y aguas residuales, etc.) aconsejaban la realización de este estudio, emprendido en 1987 por iniciativa de la Dirección General del Medio Ambiente del Gobierno de Canarias.

El estudio ha sido realizado por el Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Canarias del C.S.I.C., con la colaboración de otras instituciones como el Laboratorio de Geoquímica del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid (C.S.I.C) y el CIEMAT.

3.- Organización del Estudio. Relación de investigadores que han participado en su elaboración.

Para una aproximación sistemática al análisis de las condiciones ambientales de esta zona, se ha separado el estudio en 6 apartados, que se corresponden con los anejos que se incluyen:

I.- Contenido y distribución de metales pesados y otros contaminantes en suelos.

II.- Contenido de metales pesados y otros contaminantes metálicos en suspensión en el aire.

III.- Evaluación de niveles de radiactividad ambiental.

IV.- Determinación de niveles de concentración de Radon en viviendas.

V.- Evaluación de la contaminación por metales pesados mediante bioindicadores vegetales naturales.

VI.- Evaluación del nivel de contaminación de las aguas de lluvia.

La dirección y coordinación del Proyecto ha estado a cargo del Dr. J.C.Carracedo, del Instituto de Recursos Naturales de La Laguna (IRNAC-CSIC); el Dr. E.R.Badiola, del Museo Nal. de Ciencias Naturales de Madrid (CSIC) dirigió el estudio de la contaminación por metales pesados y otros

contaminantes en suelos (Anejo 1) y en suspensión en el aire (Anejo 2); el Dr. V. Soler (IRNAC-CSIC) dirigió el estudio de la radiactividad ambiental -en colaboración con el CIEMAT- (Anejo 3) y de las concentraciones de Radon en viviendas (Anejo 4); el Dr. C. Alvarez (IRNAC-CSIC) dirigió el estudio de la contaminación mediante bioindicadores vegetales (Anejo 5) y el Dr. V. Pérez (IRNAC-CSIC) en las aguas de lluvia (Anejo 6).

La relación completa de participantes en el Proyecto es la siguiente: J.C. Carracedo Gómez (IRNAC La Laguna), E. Rodríguez Badiola (MNCN, Madrid), V. Soler Javaloyes (IRNAC, La Laguna), C. E. Alvarez González (IRNAC, La Laguna), M. Fernández Falcón (IRNAC, La Laguna), V. Pérez García (IRNAC, La Laguna), J. Gutierrez López (CIEMAT, Madrid), J. Palomares López (CIEMAT, Madrid), M.I. Ruiz Pineda (MNCN, Madrid) y F. Matute (IRNAC, La Laguna).

Se agradece la ayuda prestada en la intercalibración del equipo de medida del Radon por el Dr. José Miguel Bolta Alandete, del I.F.I.C. de Valencia; al Centro Meteorológico de Sta. Cruz de Tenerife y al Centro de E.G.B. de Igueste de Candelaria por la colaboración prestada en la obtención de muestras de polvo en suspensión con captadores de alto volumen.

4.- Trabajos realizados.

Para la evaluación del grado de contaminación de los suelos de la zona se elaboró una malla de muestreo, recogiendo un total de 60 muestras en suelos no alterados. En la fracción inferior a 2mm. se determinaron los

parámetros físico-químicos (pH, conductividad eléctrica, análisis mecánicos, materia orgánica y cationes de cambio -Ca,Mg,Na,K-. El análisis mineralógico se realizó mediante difracción de Rayos X. El análisis cuantitativo de los elementos metálicos traza y pesados (Estroncio, Vanadio, Titanio, Cobre, Níquel, Cromo, Cinc, Plomo y Cadmio) se hizo por absorción atómica con cámara de grafito y fluorescencia de Rayos X, definiéndose a partir de los valores obtenidos el potencial tóxico de los suelos.

El aporte de contaminantes en suspensión atmosférica se ha analizado en muestras obtenidas por filtrado de flujo forzado de aire en captadores de alto volumen (50 litros/min.). Se han empleado 13 series de muestras, obtenidas en periodos prolongados, con especial atención a los cambios estacionales, periodos de calimas, etc. Los puntos de muestreo son: techo del IRNAC, Centro Meteorológico de Sta. Cruz y techo del colegio de Iguste de San Andrés. El análisis de los diversos componentes (de forma similar a los suelos) se hizo por difracción y fluorescencia de Rayos X y con un equipo de inducción de plasma (ICP/6500).

La radiactividad ambiental se ha determinado mediante el análisis de muestras representativas de suelos, aire (filtros) y aguas (de galería, residuales y de la red de abasto público). Los parámetros analizados son la actividad alfa y beta totales, Estroncio 90, Uranio natural, Ra-226 y Th-230, espectroscopía de rayos gamma de baja energía (LEPS). En las aguas se analizó además el Tritio.

Como parte importante de este Proyecto, se puso a punto un equipo de espectroscopía gamma (único al parecer en Canarias) para la determinación del Radon en viviendas. El muestreo tentativo se hizo en viviendas de diferente tipo de construcción, condiciones de asentamiento, cota, ventilación, etc. en la zona de Sta. Cruz y La Laguna.

Para la comprobación de los efectos de la contaminación ambiental en la vegetación natural de la zona se eligió como área de observación la que rodea la Central Térmica de Las Caletillas. Después de un análisis de las diferentes plantas naturales de la zona se seleccionaron como bioindicadores más adecuados el Balo (*Ploclama péndula*), Tabaiba (*Euphorbia balsamífera*) y Verode (*Kleinia neirifolia*). El muestreo se efectuó en tres puntos progresivamente alejados de la Central, con blancos de referencia en puntos fuera de su zona de influencia. Las muestras se obtuvieron a partir de diferentes partes orgánicas de las plantas y en diferentes épocas estacionales (diferentes fases de desarrollo), totalizando 120 determinaciones. Los elementos analizados son K, Na, Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Cr, Cd y V, utilizándose la espectrometría de absorción atómica con cámara de grafito y equipos de inducción de plasma (ICP).

5.- Conclusiones principales. Recomendaciones.

- Los valores de concentración de metales pesados y otros contaminantes en los suelos de la zona estudiada son, en general, superiores a los aceptados como tolerables en los países desarrollados (Ni. valor máximo observado 268 ppm, límite recomendado en la RFA 50 ppm, idem. en GB 40 ppm; Cr 600, 100,150; Cu 226, 100,40; Zn 271, 300, 75; Pb 69,100,45; Cd 0.44, 3, 0,6).

Sin embargo, los valores medios de la zona se mantienen en general dentro de los límites recomendados.

- Es importante destacar que una gran parte del contenido total de estos elementos contaminantes son de origen natural, originados por denudación y alteración de las rocas volcánicas de la zona que contienen elevadas proporciones de estos elementos. Solamente una parte poco significativa se debe a contaminación humana.

- El Plomo alcanza valores elevados en la zona de influencia del aeropuerto de Los Rodeos y de la autopista Sta. Cruz-La Laguna, donde se superan las 30 ppm, con valores pico de 69 ppm. Este hecho está en clara correlación con el tráfico aéreo y rodado. El resto de la zona presenta en cambio valores muy bajos, inferiores a las 20 ppm.

- Merece mención especial el Vanadio. Los valores promedio de este elemento en los suelos oscila alrededor de las 200 ppm, con máximos superiores a las 300 ppm. Sin

embargo, su clara asociación con el Titanio indica su procedencia natural, siendo la parte debida a contaminación antrópica poco significativa.

Los claros indicios de contaminación por Vanadio de la flora autóctona en el entorno de la Central Térmica de Las Caletillas debe tener su origen en la proyección aérea de este elemento a partir de la central. Los análisis efectuados en muestras de hollín (E. Rodriguez Badiola, 1987) emitidos el 12 de Febrero de 1987 arrojaron contenidos sorprendentemente elevados de Vanadio, con gran diferencia el elemento mayoritario (4.71 %). La explicación más factible es que estos aportes afectan a las plantas al depositarse en sus partes aéreas, especialmente en las etapas de mayor desarrollo estacional. Estos aportes no son sin embargo cuantitativamente importantes, por su carácter esporádico y relativamente reciente, como para incrementar significativamente el fondo natural inicialmente elevado en los suelos de procedencia volcánica de esta zona.

- Como conclusión se puede afirmar que el potencial tóxico de los suelos de esta zona de la isla presenta una valoración positiva, ya que aunque el contenido medio de estos elementos potencialmente tóxicos es algo elevado en relación con los niveles recomendados, se trata en su mayor parte de concentraciones de origen natural típicas de zonas volcánicas de carácter básico, siendo de menor cuantía la parte debida a contaminación de procedencia humana. Esta contaminación antrópica no alcanza los límites de tolerancia generalmente aceptados en los países desarrollados.

- Se recomienda realizar un estudio similar en la zona urbana-industrial de Lasd Palmas de Gran Canaria.

POLVO EN SUSPENSION ATMOSFERICA

- El material en suspensión atmosférica existente en la zona, analizado a partir de filtros obtenidos por flujo forzado de aire en diversas situaciones estacionales, está compuesto mayoritariamente por paragénios minerales típicas de una isla volcánica como Tenerife. Los valores anormales de la relación Ca/Si están claramente relacionados con periodos de calima asociados a vientos de procedencia sahariana.

- En lo que respecta a los elementos pesados contaminantes, el Cobre y el Hierro quedan dentro de los límites considerados como típicos de la atmósfera del Atlántico Norte (fondo), mientras que el Cromo es apenas algo mayor que este límite. Por el contrario, el Vanadio, Cinc y Cadmio superan considerablemente estos valores de fondo, con factores de enriquecimiento de 732 en Tenerife frente a 427 en el Atlántico para el Cinc, 9.488 frente a 5.534 para el Cadmio y 220 frente a 128 para el Vanadio.

- Aunque los valores determinados no suponen niveles de contaminación que pueden considerarse importantes, es evidente que existe un factor de contaminación con base en la actividad industrial, por lo que se recomienda, una vez que ya se han determinado los factores de enriquecimiento de

cada elemento, el seguimiento de su evolución mediante el análisis periódico de muestras, aspecto de fácil realización con la metodología seguida en este Proyecto.

RADIATIVIDAD AMBIENTAL

- No se ha detectado ningún valor de radioactividad ambiental que se aparte de los propios de la zona, por lo que puede afirmarse que no existe contaminación apreciable de origen radioactivo en suelos, aguas y aire de la zona estudiada.

- Cabe destacar sin embargo el sorprendentemente elevado contenido en Sr-90 de muestras de la zona de Aguamansa, que en principio se tomaron como nivel de referencia por el alejamiento de las zonas industriales (Sr-90: Aguamansa 100 Bq/Kg; Sta. Cruz 6 Bq/Kg). Este hecho tal vez tenga su explicación en la gran capacidad de retención iónica de los suelos vegetales de la zona de monte (aguamansa), lo que aconsejaría ampliar el estudio a toda la isla con objeto de dilucidar la causa de estas concentraciones de Sr-90 y determinar las zonas de mayor acumulación.

- En relación con las concentraciones de Radon en viviendas se ha observado que estas son en general bajas en la zona estudiada, aunque se han encontrado valores puntuales muy elevados (hasta 18 pCi/l) al parecer en relación con condiciones de ventilación especialmente deficientes.

- Parece existir una cierta correlación positiva con el aumento de cota o, tal vez, con la aproximación a las zonas de actividad volcánica más reciente (dorsales o ejes estructurales)

- Parece suficiente la adopción de medidas tan sencillas como la ventilación de las viviendas para hacer descender los valores de concentración hasta niveles aceptables (en la vivienda con 18 pCi/l, el radon descendió a sólo 6.3 pCi/l después de unos días con ventilación normal).

- A la vista de estas conclusiones sería muy conveniente extender el estudio de la distribución del Radon al resto de la Isla, especialmente en las áreas pobladas situadas en las zonas de volcanismo más activo, elaborando un mapa de concentraciones de Radon que permitiera tomar iniciativas similares a las propuestas por la EPA (Agencia Norteamericana de Protección Ambiental).

BIOINDICADORES DE CONTAMINACION

- Existen evidencias de afección de la Central Térmica de las Caletillas a la flora autóctona de su entorno, especialmente en lo que respecta al Vanadio, que compone el elemento mayoritario (4.7 %) del hollín que proyecta a la atmósfera esta Central.

- Se recomienda un estudio específico más detallado de la influencia que los metales pesados eliminados por esta Central -especialmente el Vanadio- puede tener en la conservación de la flora de la zona y en el desarrollo de los cultivos.

ANEXO I. USOS Y DISTRIBUCIÓN DE METALES PESADOS Y OTRAS
CONTAMINANTES EN SUELOS EN EL ÁREA DE SANTA CRUZ DE
TINDIPE

ANEJO 1.- CONTENIDO Y DISTRIBUCION DE METALES PESADOS Y OTROS
CONTAMINANTES EN SUELOS EN EL AREA DE SANTA CRUZ DE
TENERIFE

Introduccion

Existen en los suelos diversos componentes químicos que cuando se presentan en concentraciones superiores a los niveles considerados normales son normalmente considerados como elementos contaminantes, aun cuando su procedencia pueda estar relacionada con diversos orígenes.

Estos elementos, como el Niquel, Cromo, Cobre, Plomo, Cadmio y Cinc, normalmente englobados bajo el epígrafe de "metales pesados", se suponen generalmente relacionados con diversas actividades desempeñadas por el hombre, principalmente industriales, plantas generadoras de energía, vertederos urbanos, tráfico automovilístico etc., sin tomar en consideración que algunos de estos componentes son constituyentes primarios de los materiales geológicos que constituyen el entorno natural.

Los agentes de denudación y acumulación de determinadas fases minerales consideradas como resistentes al proceso de alteración, está controlada por una serie de factores físico-químicos que, en conjunción con las condiciones climáticas locales, son responsables del proceso de generación de los suelos y su contenido primario en metales pesados, en función de las características del área madre -que en el caso de materiales volcánicos son particularmente ricos-, y determinadas fases minerales como

: Olivino, Piroxenos, Oxidos metálicos, etc, que engloban en su estructura algunos de los elementos metálicos considerados como contaminantes.

En este capítulo, correspondiente al estudio y distribución de metales en suelos, se trata de cuantificar los contenidos totales en elementos pesados e intentar aplicar criterios discriminantes que nos permitan establecer cuales son los niveles de contaminación, una vez identificada su procedencia del medio natural en confrontación con el aporte del medio antrópico.

1 .- Plan de Trabajo y Metodología de Estudio

Al no existir una información suficiente sobre las características geoquímicas y rangos de concentración totales de elementos metálicos en el área de estudio, el plan de trabajo se ha desarrollado en dos fases.

- En una primera parte se ha efectuado el muestreo y análisis total de una serie de muestras de suelos superficiales, cuya localización se ha efectuado con principal incidencia en la proximidad de las áreas urbanas-industriales de Santa Cruz de Tenerife, puntos que en principio podrían contener los máximos niveles de contaminación.

Sobre este muestreo se ha efectuado un extenso estudio analítico de los principales parámetros edafológicos, composiciones mineralógicas, y componentes mayoritarios y trazas, estudio previo encaminado a establecer los criterios más apropiados para diseñar una malla de muestreo a nivel regional, que nos permitiera alcanzar la máxima información sobre la distribución de los elementos metálicos.

- La segunda fase se efectúa mediante un muestreo sistemático de muestras de suelos en coincidencia con la malla propuesta, sobre parcelas de suelos no cultivados. Sobre estas muestras se han efectuado asimismo las determinaciones geoquímicas más significativas, de acuerdo con los resultados derivados de la primera fase exploratoria.

1.1.- Localización del área geográfica :San Andres-La Laguna-Candelaria.

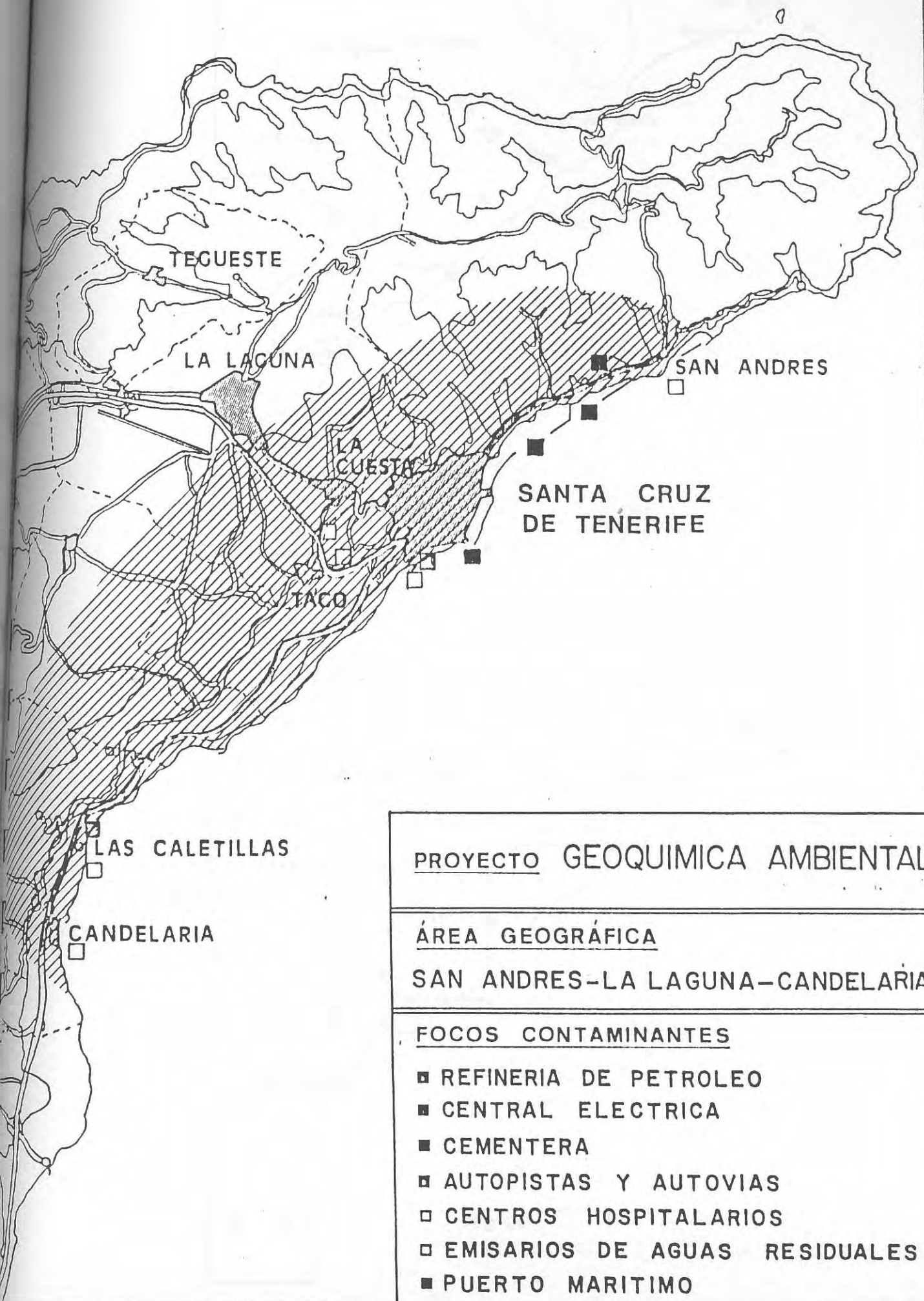
Los numerosos trabajos efectuados sobre el contenido y distribución de metales pesados y otros contaminantes metálicos en suelos, en relación con diferentes fuentes antrópicas, indican que existe una gran diversidad tanto en lo que respecta a sus valores absolutos de concentración y al modo de distribución de estos contaminantes.

Diversos autores estiman que la mayor parte de los contaminantes se derivan de la utilización de combustibles y otros derivados del petróleo en las diferentes actividades industriales, como centrales eléctricas, refinerías de petróleo etc. Por otro lado los suelos adyacentes a las autopistas y zonas urbanas de elevado nivel de circulación tienden a presentar concentraciones anómalas de plomo, que disminuyen rápidamente hasta alcanzar los niveles de fondo geoquímico.

Sobre estos agentes potencialmente causantes de la contaminación se superponen otros factores meteorológicos, vegetación, topografía, etc., que por sus diversas características de fijación y concentración selectivas son de la mayor importancia en el condicionamiento de la acumulación de determinados elementos metálicos.

En base a estas premisas, la delimitación del área de muestreo (Fig. 1) se ha hecho extensiva a la zona urbana de Santa Cruz de Tenerife, La Laguna y aeropuerto de Los Rodeos, así como a las zonas industriales situadas hacia el norte en San Andrés y las Caletillas en la zona sur.

Sobre estas zonas se ha efectuado, de acuerdo con el plan de trabajo propuesto, un muestreo de suelos superficiales (Fig. 2a) dirigido a establecer los niveles máximos de contaminación en relación con los potenciales focos de contaminación, y el planteamiento de una red



PROYECTO GEOQUIMICA AMBIENTAL

ÁREA GEOGRÁFICA

SAN ANDRES-LA LAGUNA-CANDELARIA

FOCOS CONTAMINANTES

- REFINERIA DE PETROLEO
- CENTRAL ELECTRICA
- CEMENTERA
- AUTOPISTAS Y AUTOVIAS
- CENTROS HOSPITALARIOS
- EMISARIOS DE AGUAS RESIDUALES
- PUERTO MARITIMO

MUESTRAS : Suelos Superficiales

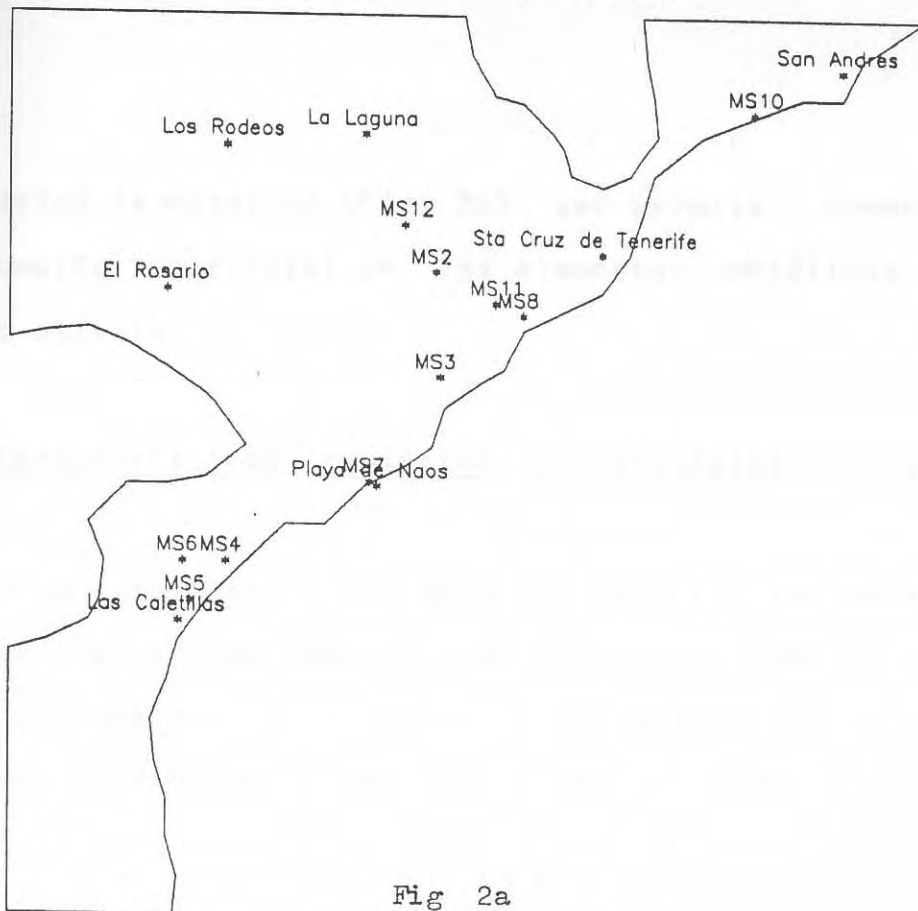


Fig 2a

MUESTRAS : Suelos de la Malla

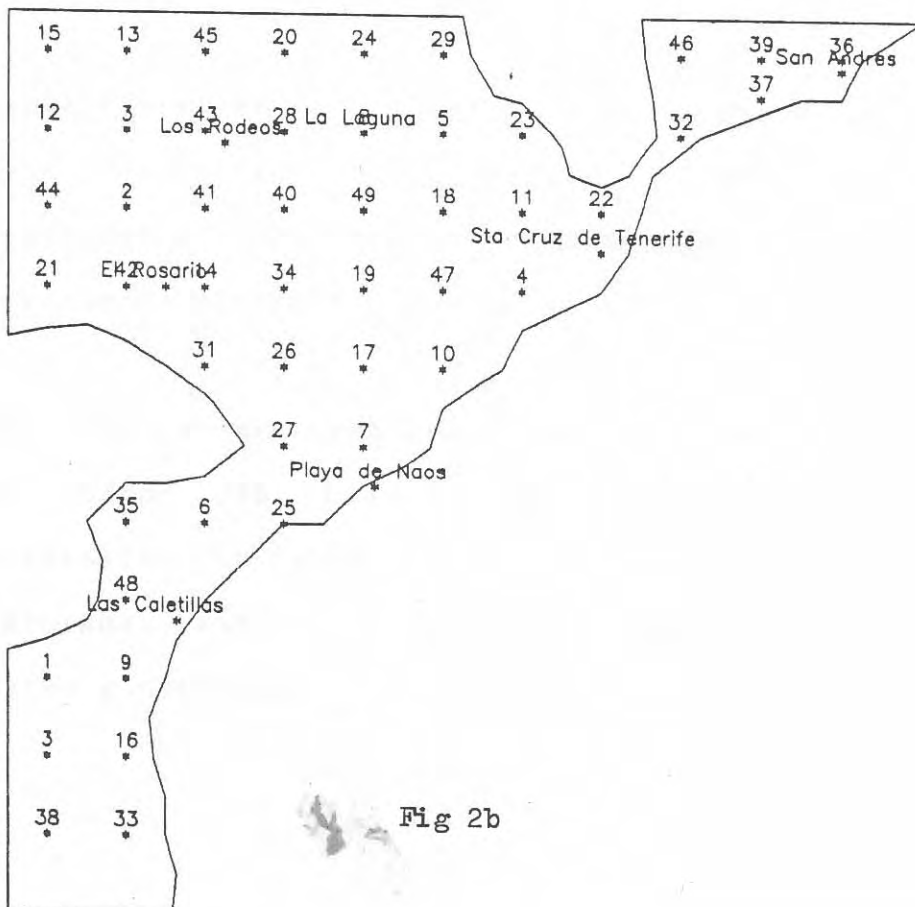


Fig 2b

sistemática de muestreo (Fig. 2b) que permita conocer la distribución superficial de los elementos metálicos en el área de estudio.

1.2.- Características geológicas y edafológicas de la Zona.

Estructuralmente la zona de estudio se encuadra en tres regiones geológicamente bien definidas, como se observa en el esquema de la Fig 3, según el Mapa Geológico de Tenerife (1:100.000) realizado por el Departamento de Petrología del C.S.I.C., con datos de Alonso et al., (1968). La zona, situada al norte de Santa Cruz y oeste de San Andrés, está constituida por los relieves antiguos correspondientes a los basaltos tabulares de las series volcánicas antiguas.

Según Fúster et al. (1968), las unidades volcanológicas de la Península de Anaga están constituidas fundamentalmente por coladas predominantemente basálticas con un grado de alteración y erosión elevados.

Petrologicamente presentan fenocristales de augita y olivino sobre una matriz que varía de vítrea a microcristalina con relativa abundancia de minerales opacos. Los términos vacuolares presentan numerosos rellenos de carbonatos y ceolitas.

ESQUEMA REGIONAL

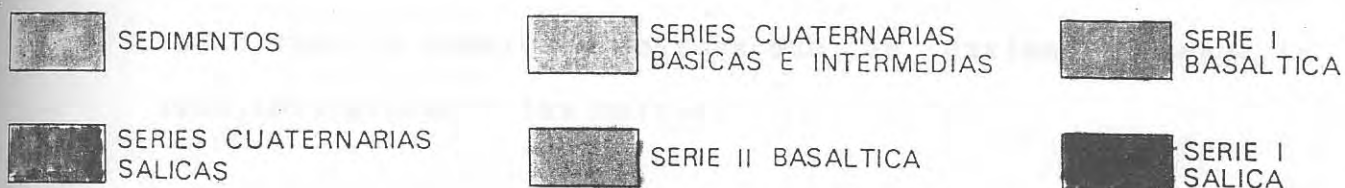
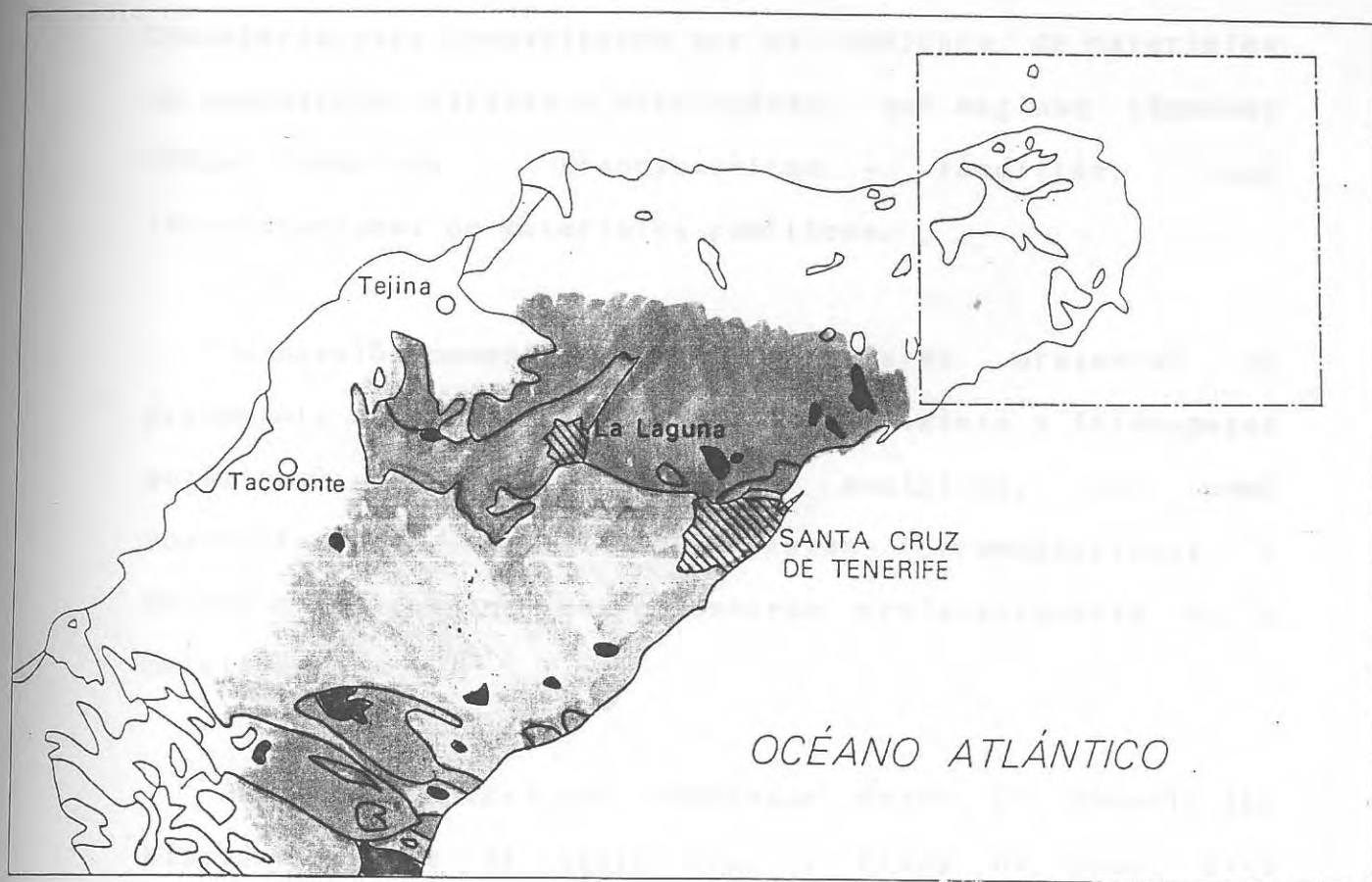


Fig. 3 ESQUEMA GEOLOGICO SIMPLIFICADO

La zona sur comprendida entre las Caletillas y zona de Candelaria esta constituida por un conjunto de materiales de composicion diversa y heterogénea, que engloba términos desde basaltos - traquibasaltos - fonolitas, con intercalaciones de materiales pumífticos.

Mineralógicamente estos materiales presentan un predominio de minerales félsicos (plagioclasa y feldespatos potásicos) y de piroxenos augífticos, asi como concentraciones varias de minerales ferromagnesianos y oxidos metálicos que se concentran preferentemente en la matriz.

La zona Central que comprende desde El Rosario (La Esperanza), sur de Santa Cruz y Playa de Naos, esta constituida por materiales basálticos de la Serie III, con una morfología conformada por centros de emision bien conservados y numerosas coladas que se extienden desde la zona central hacia las costas.

Petrológicamente estos materiales son muy homogéneos, con predominio de basaltos olivíftico-augífticos, y textura porfídica con microlitos de piroxeno y plagioclasa así como frecuentes minerales ferromagnesianos, como magnetitas titaníferas y otros óxidos. Los materiales volcánicos de la serie III fosilizan antiguos relieves correspondientes a la zona sur de Anaga y de las Series Sálicas recientes. Esta diversidad composicional conlleva composiciones elementales diferentes en cuanto al contenido en

elementos metálicos, como se pone de manifiesto en el trabajo de Brandle (1979) sobre la variabilidad de composición de elementos traza en el Archipiélago Canario. Esto supone la existencia de diversas fuentes de origen responsables de las composiciones mineralógicas y elementales de los suelos derivados de estas áreas, lo que en definitiva condicionan sus concentraciones.

En lo que respecta a formaciones geológicas de carácter no lávico, destaca en la parte central de La Laguna y Los Rodeos una zona formada por acumulación de sedimentos no diferenciados, que queda englobada en otra de mayor extensión (Fig 4), que en el Mapa Edafológico de Tenerife (1:100.000) del Departamento de Edafología de la Universidad de Laguna se definen bajo la denominación de anfisoles; estos materiales se caracterizan por presentar horizontes argílicos primarios, poco alterados, y fenómenos de lixiviación y acumulación de arcillas silicatadas, en correspondencia con valores de saturación de bases entre moderada y elevada.

Los suelos correspondientes a la zona noreste, en correspondencia con los materiales basálticos de Anaga, y los de la zona sur, coincidentes con el dominio de las series sálicas, se encuadran bajo la denominación de entisoles, por su característica de estar poco o muy pocos evolucionados, sin horizonte diagnóstico y ausencia de horizontes significativos, presentando una importante carga de componentes minerales. La zona norte presenta asimismo

ESQUEMA REGIONAL

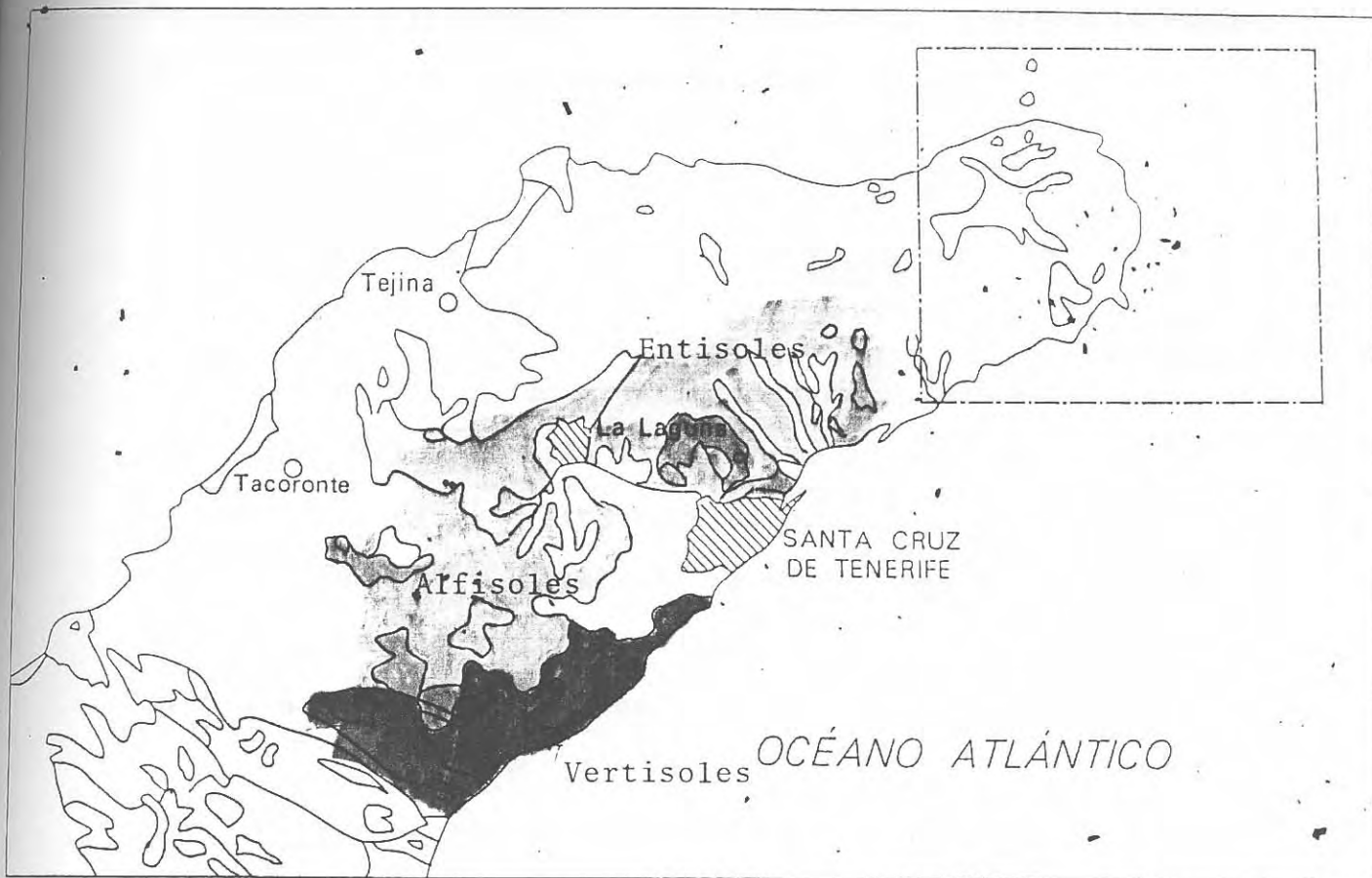


Fig 4.- Esquema Edafológico simplificado.

suelos tipificados como aridisoles, caracterizados por bajos contenidos en arcilla y cantidades reducidas de MO. Por último, la zona sureste presenta una franja costera formada por vertisoles, constituidos predominantemente por materiales arcillosos expansibles.

1.3.- Preparación y tratamiento de suelos

Las muestras han sido desecadas tamizadas, para la obtención de la fracción inferior a 2 mm., separándose los bloques de rocas, restos vegetales y fragmentos extraños al suelo. Sobre este material se ha efectuado un cuarteo para su homogenización y posterior molienda como fase previa a la realización de las determinaciones analíticas.

1.4.- Determinación de Parámetros Físico-Químicos

Estos parámetros se han determinado con objeto de establecer criterios selectivos en cuanto a las características edafológicas, que permitan la catalogación de los suelos y su posible correspondencia con sus contenidos minerales y concentraciones en elementos metálicos. Los métodos analíticos utilizados para las determinaciones de los parámetros constitutivos de suelos han sido los propuestos por el U.S. Geological Survey, (Singer y Janitzky, 1986). Su valoración se ha efectuado mediante la determinación del pH en la relación suelo-agua destilada -pH (H₂O)-, y en base a la relación suelo-solución de

cloruro potásico 1N pH (KCl); asimismo se efectuó la determinación de la conductividad eléctrica (CE) sobre relaciones de suelo-agua (1:5). Los otros parámetros, correspondientes a los contenidos en arcilla, limo y arena, se efectuaron mediante análisis mecánico (método de Boyoucos).

El contenido en materia orgánica (M.O.) y el porcentaje de carbono equivalente expresado como carbono orgánico (método de Walkey-Blanck), así como la valoración del contenido en carbonatos, se ha efectuado mediante neutralización ácida.

Las determinaciones de los cationes de cambio o bases de cambio (Ca, Mg, Na y K) se ha efectuado sobre soluciones obtenidas mediante el método del acetato amónico 1N con pH=7. El Na y K se analizaron mediante espectrometría de emisión, mientras que los contenidos en Ca y Mg se determinan por espectrometría de Absorción Atómica.

1.5.- Análisis Mineralógico mediante Difracción de Rayos

El método utilizado para la identificación de las fases minerales más significativas ha sido el de difractogramas en polvo, mediante un espectrómetro PHILIPS provisto de una unidad de control PW-1710, é irradiando las muestras mediante cátodo de Cu (40 kV y 35 mA). La identificación de las fases arcillosas se ha realizado con la preparación de agregados orientados.

El análisis semicuantitativo se ha efectuado mediante medida por digitalización de áreas de los picos de máxima intensidad relativa ($I=100$) de cada especie mineral en los espaciados más significativos, en relación con los poderes reflectantes utilizados.

1.6.- Análisis cuantitativos por vía húmeda : Absorción Atómica y Cámara de Grafito

Las determinaciones analíticas efectuadas por vía húmeda se han dirigido a la cuantificación del contenido total de elementos metálicos y a la extracción de elementos pesados susceptibles de ser asimilados por las plantas.

- La valoración del contenido total de elementos metálicos se ha efectuado mediante digestión en caliente de las muestras en polvo de suelos en medio ácido (perclórico y fluorhídrico), y estabilizado el ataque mediante la adición de una solución saturada de ácido bórico.

- La extracción de cationes asimilables se ha efectuado según la metodología de Lakamen y Ervio (1971), mediante acetato amónico y EDTA. y posterior filtrado. Las soluciones así obtenidas fueron valoradas por espectrometría de Absorción Atómica y de Cámara de Grafito, cuando las concentraciones minerales eran extremadamente bajas.

El cálculo de las concentraciones se efectuó mediante confrontación con patrones naturales de rangos de composición próximos a los de las muestras analizadas y en las condiciones instrumentales recomendadas por el fabricante del aparato de medida PERKIN-ELMER (1982).

1.7.- Análisis cuantitativos de contenidos totales de elementos metálicos mediante Fluorescencia de Rayos X

Las determinaciones analíticas de los elementos mayoritarios y trazas se ha efectuado mediante un espectrómetro automatizado de Fluorescencia de Rayos X (PHILIPS 1410/20). Las medidas de intensidad se efectuaron sobre pastillas de muestras de polvo, sometidas a molienda en mortero de ágata hasta obtener una fracción inferior a 200 micras. El cálculo de concentraciones se ha determinado por confrontación con curvas de calibración en relación con patrones internacionales de características composicionales próximas a las muestras analizadas.

Patrones de Referencia

SO-1 / SO-2 / SO-3 / SO-4 (Soils)

BCR-141 (Calcareous Loam Soil)

BCR-142 (Light Sandy Soil)

BE-N / JB-1 / JB-2 / JB-3 (Basalts)

La corrección de los efectos matrices de los óxidos mayoritarios y trazas se ha efectuado mediante la metodología desarrollada por Franzini et al (1975), y Leoni y Saitta (1976), con la aplicación de coeficientes K_{ij} concernientes a los efectos de absorción de masa interelementales. Las condiciones de medida utilizadas han sido las líneas de máxima energía para todos los elementos (tubo de Cromo y líneas K para elementos ligeros y tubo de Wolframio y líneas L para elementos de elevado radio atómico).

2.- Geoquímica de Suelos superficiales

Las muestras de suelos superficiales cubren de forma puntual dos áreas significativas en cuanto al contenido potencial de niveles más elevados en metales pesados contaminantes. Las áreas seleccionadas, de acuerdo con el plan de trabajo anteriormente indicado, fueron la zona de las Caletillas y los suelos adyacentes a las Autopistas del Sur y la que une Santa Cruz de Tenerife con La Laguna, así como la zona próxima a San Andrés.

En los diferentes Cuadros se presentan los valores numéricos correspondientes a los diferentes parámetros físico-químicos, mineralógicos y geoquímicos.

2.1.- Parametros Fisico-Químicos

De los datos analíticos contenidos en el Cuadro 1 se deduce que los valores de pH correspondientes a los suelos superficiales muestreados se caracterizan por ser sustancialmente alcalinos, fundamentalmente en lo que respecta a los valores derivados de la valoración del pH respecto al H₂O, mientras que sólo algunos de los valores de pH(CIK) reportan valores inferiores a pH=7, es decir, con tendencias ácidas. En todo caso ambos valores presentan una buena correspondencia en lo que se refiere a las valoraciones efectuadas (Fig 5a).

Los valores de conductividad eléctrica presentan fuertes variaciones, con máximos en puntos situados con preferencia en la proximidad de la costa (MS-8, MS-4, Ms-10), variaciones imputables a un mayor contenido en sales solubles.

En cuanto a los componentes sedimentológicos: arenas, arcillas y limos, destacan las elevadas proporciones de arenas (fracción comprendida entre 2.0 - 0.06 mm), que suponen el porcentaje mayoritario -entre el 80-90%- del total del material tratado. El resto de las fracciones inferiores a 0.063 mm. presentan proporciones comprendidas entre el 6-14 % para los materiales arcillosos, con valores medios en torno al 11% en la zona de Las Caletillas. La fracción limos, en contrapartida, parece ser predominante en la zona central y al sur de La Laguna.

Regression of PH2 on PH1

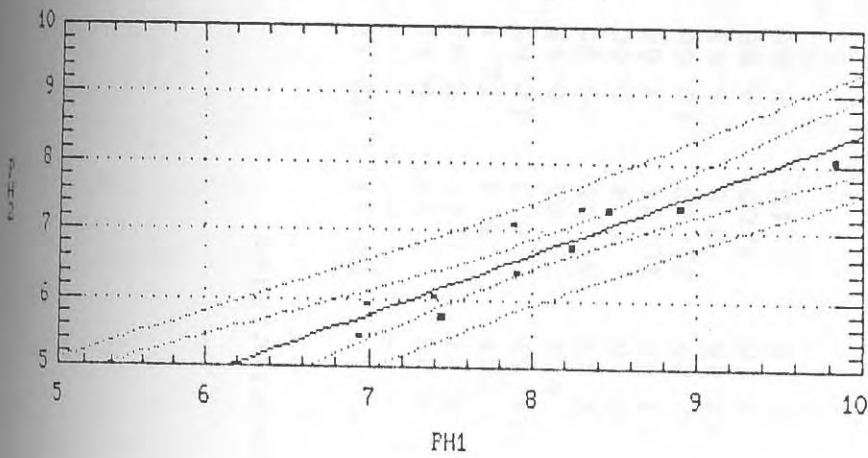


Fig 5a

Regression of PH2 on C03

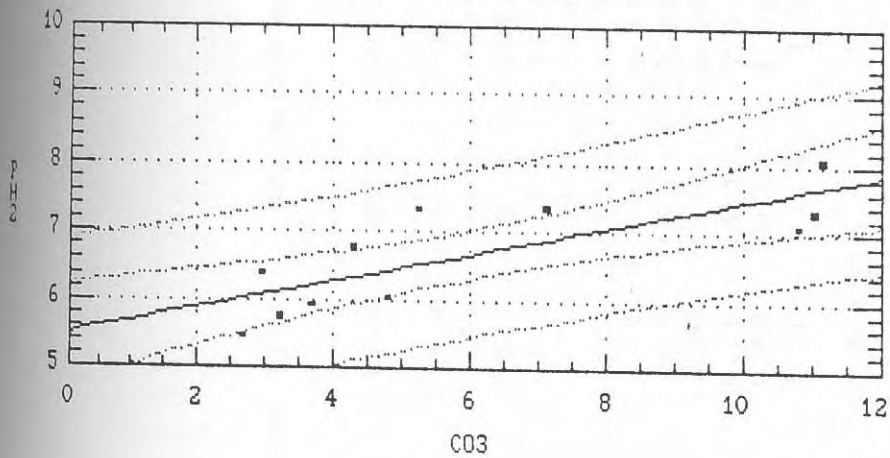


Fig 5b

Regression of Na on PH2

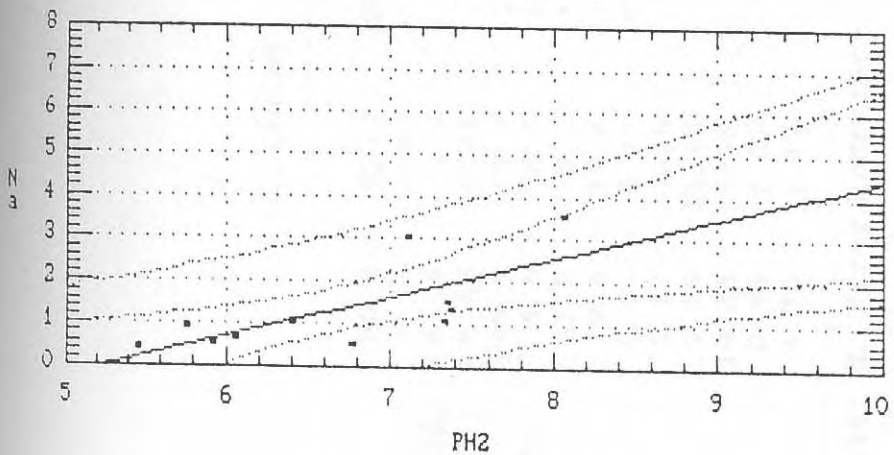


Fig 5c

CUADRO 1. Parametros Fisico - Quimicos en Suelos Superficiales

	MS-2	MS-3	MS-4	MS-5	MS-6	MS-7	MS-8	MS-9	MS-10	MS-11	MS-12
PH (H2O)	6.94	7.9	8.47	7.44	7.4	8.24	8.3	8.9	9.84	7.88	6.99
PH (KCl)	5.46	6.41	7.33	5.76	6.06	6.77	7.35	7.37	8.07	7.11	5.92
CE	146.6	119.7	300	163.6	165.9	198.6	1017	129.1	234	8.3	12.1
Arcilla	6.6	6.6	6.6	11.6	11.6	11.6	14.1	4.55	14.55	8.3	12.05
Limo	13.6	13.6	11.1	8.6	7.35	8.6	6.1	3.6	6.1	4.85	8.65
Arena	79.8	79.8	82.3	79.8	81.05	79.8	79.8	91.85	79.35	86.85	79.35
MO	0.63	0.21	0.3	0.45	0.28	0.3	0.18	0.25	0.16	0.4	0.86
CO3	2.67	2.96	11.03	3.23	4.8	4.29	5.25	7.12	11.15	10.81	3.69
Ca	9.64	15.45	6.99	11.42	13.09	24.38	4.77	28.5	2.26	21.19	10.56
Mg	10.28	15.96	22.63	5.09	8.16	14.17	19.61	1.89	13.46	8.8	8.43
Na	0.46	1.07	1.11	0.95	0.66	0.54	1.55	1.38	3.56	3.07	0.55
K	1.76	1.17	3.17	2.23	2.82	2.4	1.7	2.22	2.13	1.16	2.49

Analista: N. Perez Rodriguez. I. R. H. A. C (C. S. I. C.)

Los contenidos en Materia Orgánica son relativamente bajos, apreciándose valores sistemáticamente inferiores al 1%, aun cuando se observan valores máximos en la parte central de la zona.

El contenido en carbonatos presenta variaciones significativas que comprenden desde valores mínimos del 2% en la zona central, a valores máximos -alrededor del 11%- que se concentran en el norte de San Andrés, variaciones que parecen estar controladas por los cambios de pH (Fig 5b).

Las concentraciones de cationes de cambio en las diversas muestras presentan contenidos máximos de Ca (28%) en la parte norte de San Andrés, mientras que los de Mg se centran al sur de Santa Cruz de Tenerife y en la Playa de las Naos.

Son interesantes los contenidos en álcalis (Na y K), por sus implicaciones en el desarrollo y evolución de los suelos. El contenido en sodio varía desde valores mínimos próximos al 0.5 %, como los observados en la zona interior, que se incrementan hacia las zonas externas cercanas a la costa, con valores máximos en torno al 3.5% en los alrededores de San Andrés. Estas concentraciones están asimismo controladas en parte por las variaciones de pH (Fig 5c). El potasio presenta también fluctuaciones de contenido, aun cuando son de menor cuantía, con valores que oscilan entre 1 y 1.7%. Su distribución, de forma

aparentemente heterogénea, alcanza valores máximos comprendidos entre el 2 y 3 % en puntos dispersos de la zona de Las Caletillas, Playa de Naos, etc.

En general puede establecerse que los suelos superficiales estudiados presentan un amplio espectro de variación composicional en lo que respecta a los valores de los diferentes parámetros físico-químicos.

Para el mejor conocimiento de su distribución superficial, su estudio se hace extensible al conjunto de muestras de la malla, en base al trazado de isolíneas de concentración, con objeto de abordar de forma global la distribución del contenido en elementos metálicos.

2.2.- Composición mineralógica y geoquímica

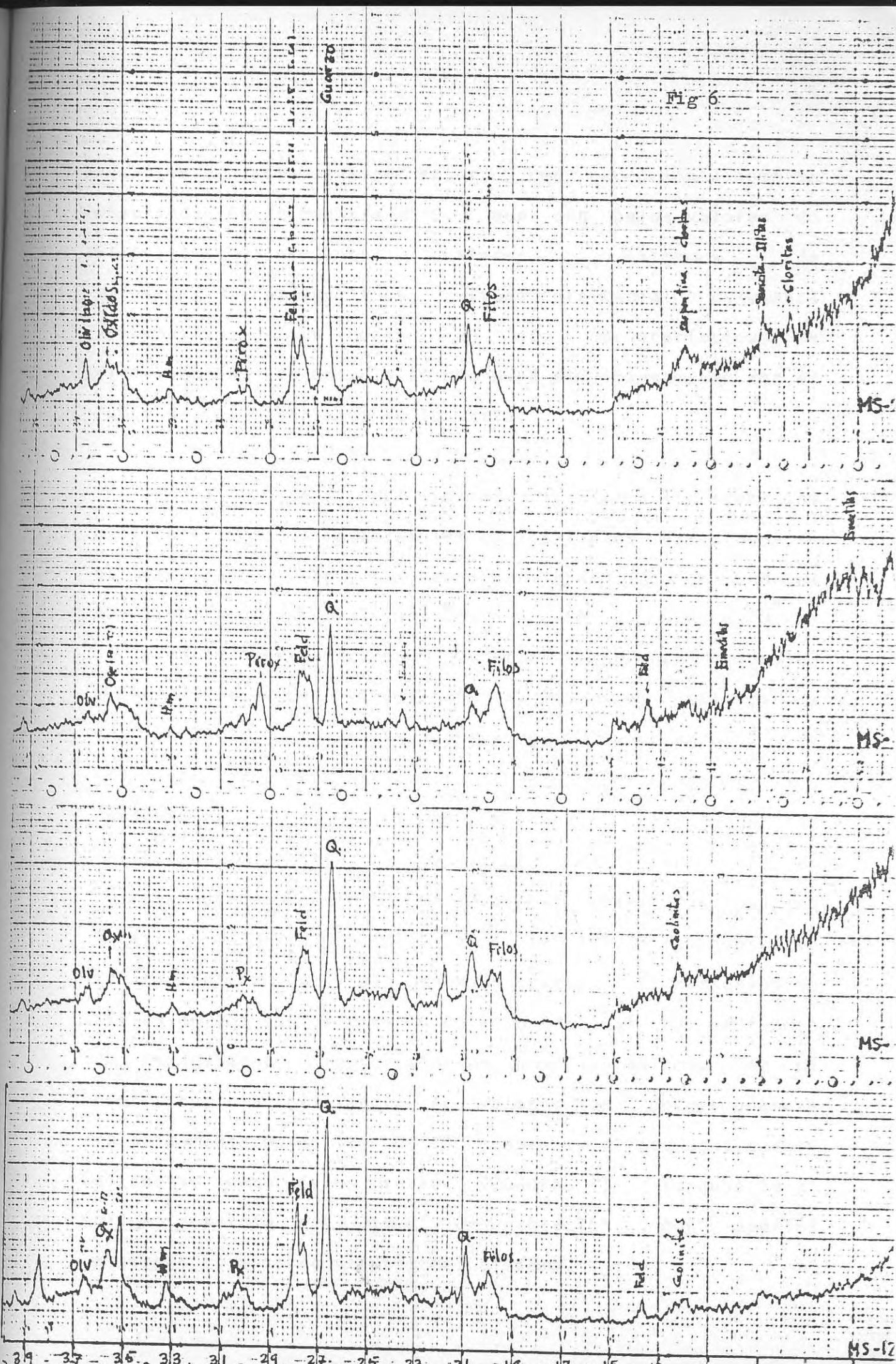
Bajo la perspectiva mineralógica se observa que los suelos estudiados presenta en su conjunto una composición sustancialmente homogénea, como se evidencia en la Fig 6 donde se observa una estrecha correspondencia entre las fases mineralógicas detectadas en los diversos difractogramas efectuados sobre muestras tipo. La primera zona de barrido señala la presencia de filosilicatos, correspondientes al grupo Esmectita, Illita-Micas y Cloritas-Serpentina, componentes minerales típicamente constituyentes de suelos.

El Cuarzo supone una fase mineralógica sistemáticamente presente en todas las muestras estudiadas, aun cuando su origen no pueda relacionarse con la mineralogía de las rocas volcánicas primarias constituyentes del entorno geológico, debido a que estos materiales carecen de esta fase mineral, por lo que su presencia debe establecerse en relación con otros procesos que podrían considerarse como superpuestos y/o de procedencia externa (polvo atmosférico, procesos de alteración, etc.).

No se ha observado en las muestras analizadas la presencia de componentes carbonatados del tipo Calcita-Dolomita, al menos en proporciones significativas. Las otras fases minerales detectadas (feldespatos, piroxenos, olivino y óxidos de hierro) son típicas de materiales volcánicos y por consiguiente estrechamente relacionados con la mineralogía del área fuente. Dentro de esta mineralogía se ha identificado la presencia de feldespatos del grupo anortoclasa y ortoclasa, piroxenos del grupo augítico, olivinos de tipo fayalítico, así como óxidos de hierro, hematites, y de hierro-titanio, como magnetita-ilmenita.

La cuantificación de estas fases minerales, indicada en el Cuadro 2, pone en evidencia estos rangos de variación, que en los filosilicatos comprende desde el 50-60 % del total de las fases minerales cuantificadas, seguido por los feldespatos que suponen el 8-16%, quedando las restantes fases minerales relegadas en torno al 5 %, aun cuando puedan presentarse variaciones más o menos

Fig 6



notables en torno a este valor, con excepciones como la observada en la muestra MS-9, que con bajos valores de filosilicatos presenta valores extremos de minerales ferromagnesianos, fundamentalmente piroxenos y hematites. En cuanto a sus características de distribución, su estudio se abordará simultáneamente con el resto de los materiales de la malla.

Con el fin de obtener una máxima información sobre las características composicionales de los suelos estudiados se ha efectuado el análisis cuantitativo de sus componentes mayoritarios expresados en óxidos. En el Cuadro 3 se incluyen los contenidos en H₂O y otros componentes volátiles (CO₂, MO, etc.) bajo el epígrafe de PC. Del análisis de los valores analíticos obtenidos se deduce la existencia de importantes variaciones composicionales; los contenidos de sílice (SiO₂) presentan un rango de variación importante (34-55 %), en gran parte en correspondencia con las variaciones observadas en los álcalis -Na₂O y K₂O- (Fig 7a y Fig 7b), lo que sería indicativo de que, al menos en parte, el contenido en sílice de los suelos estaría relacionado con la presencia de feldespatos, tanto sódicos como potásicos. Por el contrario, la existencia de valores de correspondencia relativamente bajos ($r = 0.57$) entre la sílice analizada y el cuarzo como fase mineral (Cuadro 4) se debería al origen extraño del mismo en relación con aportes externos al entorno natural del sistema.

CUADRO 2 . Composicion Mineralogica Modal en los Superficiales

	MS-2	MS-3	MS-4	MS-5	MS-6	MS-7	MS-8	MS-9	MS-10	MS-11	MS-12
Filosil.	62	59	61	62	56	62	60	49	57	64	60
Cuarzo	6	7	4	6	4	5	5	2	6	3	6
Feldesp.	11	14	13	11	14	13	13	16	15	8	10
Pirox.	4	5	8	4	7	4	7	13	7	6	4
Olivino	5	4	4	4	6	5	4	6	5	6	6
Hematit.	6	6	6	7	8	6	6	10	7	9	8
Oxidos	6	5	4	5	4	5	5	4	4	5	5

 Analisis de DRX : R. Gonzalez. Lab. de Rayos-X (MNCN). CSIC

En lo que respecta a los contenidos en otros elementos como el TiO_2 , se observa que llegan a alcanzarse concentraciones elevadas, próximas al 5%, en estricta correspondencia con los contenidos de Fe_2O_3 total (Fig 8a), fenómeno indicativo de la existencia de procesos acumulativos que afectan fundamentalmente a los minerales metálicos del grupo magnetita-ilmenita.

Las variaciones en el contenido en calcio (CaO) se establecen predominantemente en relación con el magnesio (MgO) (Fig 8b), aspecto relacionable con la mayor ó menor presencia de minerales del tipo olivino y piroxeno. Por el contrario, se observan correspondencias algo menores ($r=0.74$) entre el calcio (CaO) y el fosfato (P_2O_5) -Fig 8c-, lo cual es indicativo de que aun cuando existan en estos suelos tendencias a la formación de compuestos del tipo fosfato cálcico y/o apatito, estas no son significativas.

Desde el punto de vista de confrontaciones entre las composiciones geoquímicas y mineralógicas, son ilustrativos los diagramas de correlación que pueden establecerse a partir de las concentraciones de los óxidos y las derivadas de la cuantificación mineralógica efectuada mediante DRX (Fig 9). En efecto, las concentraciones de Al_2O_3 se corresponden con la presencia de filosilicatos (Filos) contenidos en los suelos, mientras que las variaciones de feldespatos (Fto) se corresponderían, al menos en parte, con los valores determinados de sílice y sodio.

CUADRO 3. Composicion Geoquimica y Contenido Total de Elementos en Suelos Superficiales

	MS2	MS3	MS4	MS5	MS6	MS7	MS8	MS9	MS10	MS11	MS12
SiO2	45.38	55.22	47.79	49.07	47.51	48.99	49.75	44.26	48.37	34.07	42.51
TiO2	3.74	2.65	2.20	2.66	3.20	2.57	2.37	3.81	2.26	5.29	4.15
Al2O3	22.24	18.78	17.5	22.26	18.8	19.32	18.3	13.39	17.58	25.46	21.67
Fe2O3t	13.62	9.42	8.75	10.31	11.65	10.02	9.70	14.05	9.35	18.23	14.87
MnO	0.27	0.25	0.18	0.26	0.22	0.19	0.18	0.24	0.28	0.22	0.29
MgO	1.06	2.19	4.12	1.57	3.21	2.49	3.28	5.55	2.38	1.86	1.28
CaO	0.92	1.71	5.64	1.37	4.41	2.12	5.29	9.70	5.00	3.67	1.27
Na2O	0.90	1.30	0.74	1.09	1.03	1.06	1.12	1.23	1.66	0.55	0.79
K2O	2.12	2.24	1.99	2.42	2.5	2.12	1.95	1.43	2.39	0.92	2.05
P2O5	0.16	0.1	0.25	0.14	0.42	0.12	0.24	0.65	0.28	0.55	0.25
P.C.	9.53	6.08	10.79	8.79	7.01	10.95	7.76	5.64	10.41	9.12	10.81

Analisis de FRX

	MS-2	MS-3	MS-4	MS-5	MS-6	MS-7	MS-8	MS-9	MS-10	MS-11	MS-12
Sr	207	452	363	353	657	395	440	671	837	535	224
Cu	29	16	26	27	46	24	26	70	28	38	35
Ni	47	32	44	41	48	43	37	113	27	60	48
Cr	149	110	99	90	112	105	93	476	70	136	141
V	301	231	218	241	254	234	220	310	205	349	319
Pb	31	28	41	27	17	25	32	16	26	67	57
Zn	65	81	25	99	103	78	114	113	128	104	105
Co	47	28	30	30	21	32	14	41	22	33	27

CUADRO 3 (cont).

	MS-2	MS-3	MS-4	MS-5	MS-6	MS-7	MS-8	MS-9	MS-10	MS-11	MS-12
Cu	33	32	30	32	59	25	31	106	29	52	46
Ni	47	49	46	36	55	41	40	130	30	75	62
Cr	118	87	87	77	107	89	84	500	57	105	124
V	261	216	177	192	200	189	208	294	163	272	316
Pb	21	27	49	12	12	15	33	18	31	65	47
Zn	72	92	84	98	105	67	108	128	146	112	125
Cd	0.25	0.44	0.41	0.24	0.31	0.24	0.3	0.43	0.31	0.36	0.3

(Análisis de AA.)

Lab. de Gequímica: M. Isabel Ruiz Pineda y M. A. Vallejo.

Lab. de Rayos-X : R. Gonzalez.

Museo Nacional de Ciencias. C. S. I. C.

Regression of TiO₂ on Fe₂O₃

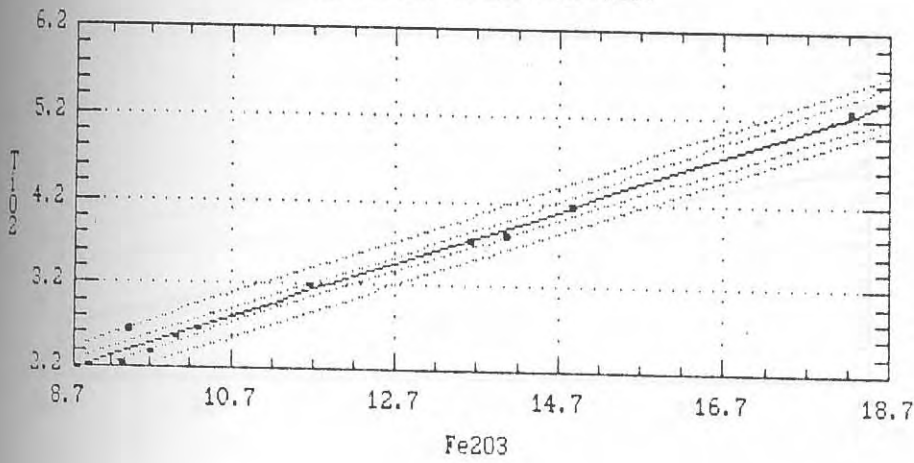


Fig 8a

Regression of MgO on CaO

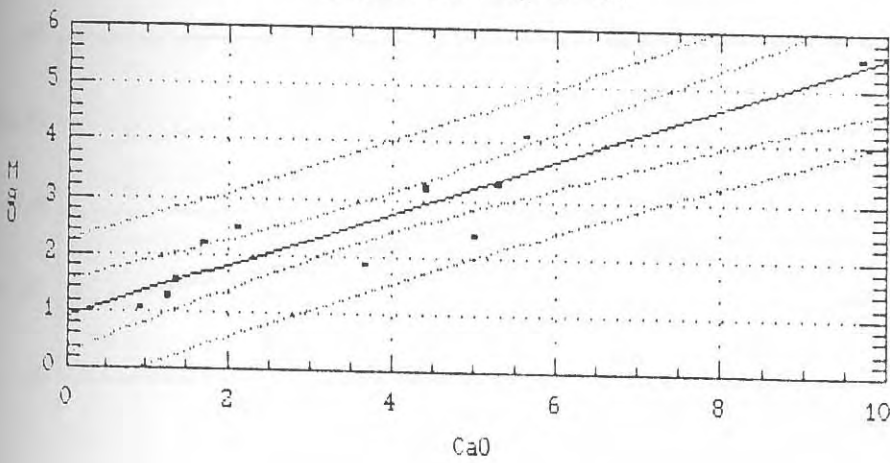


Fig 8b

Regression of F₂O₅ on CaO

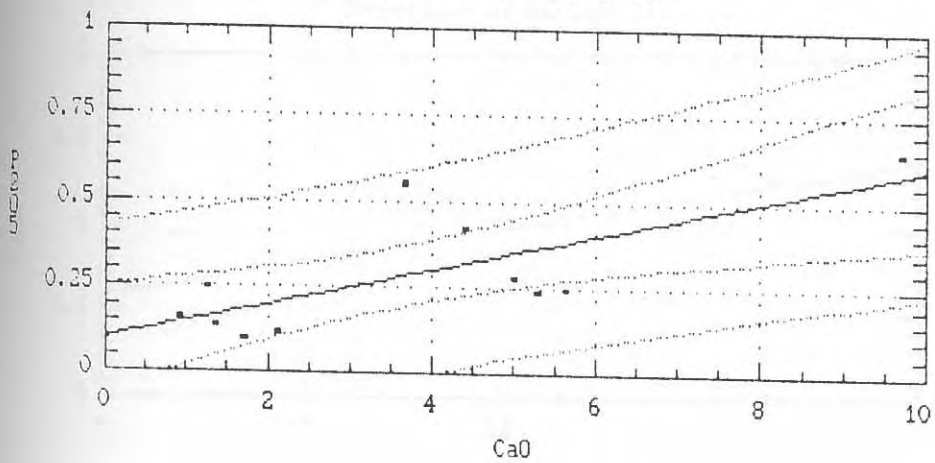


Fig 8c

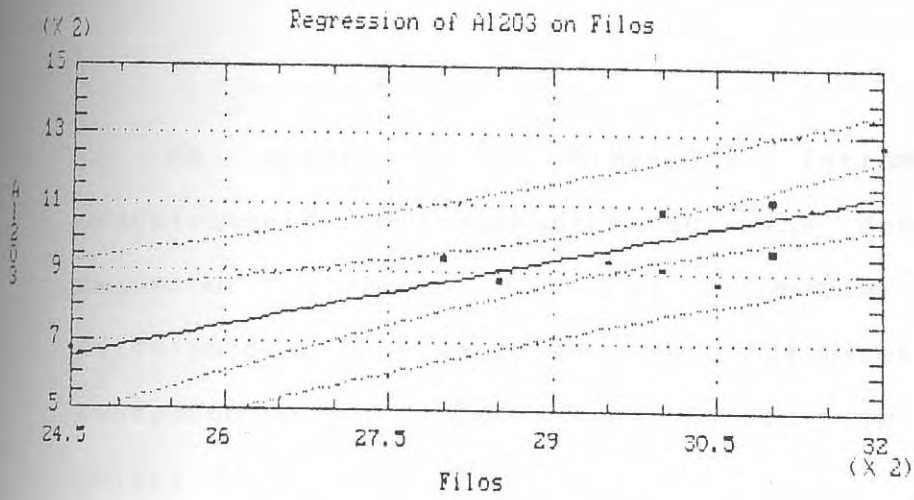


Fig 9a

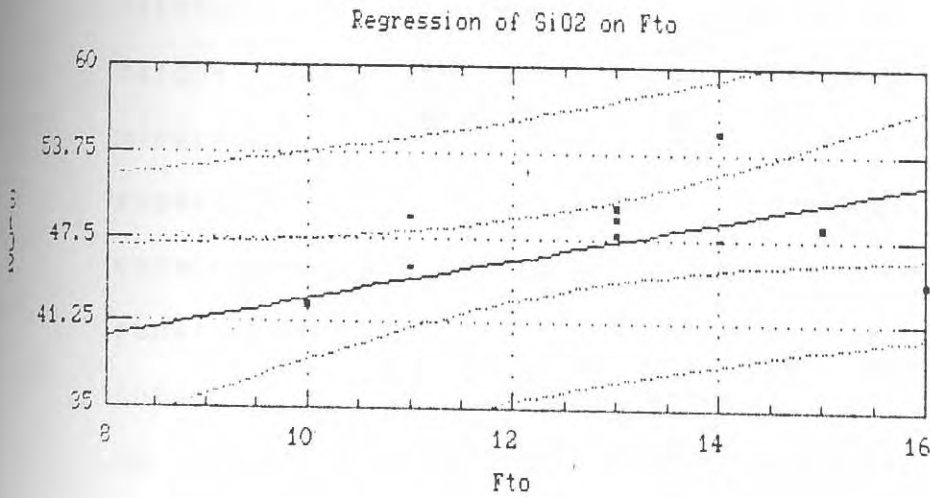


Fig 9b

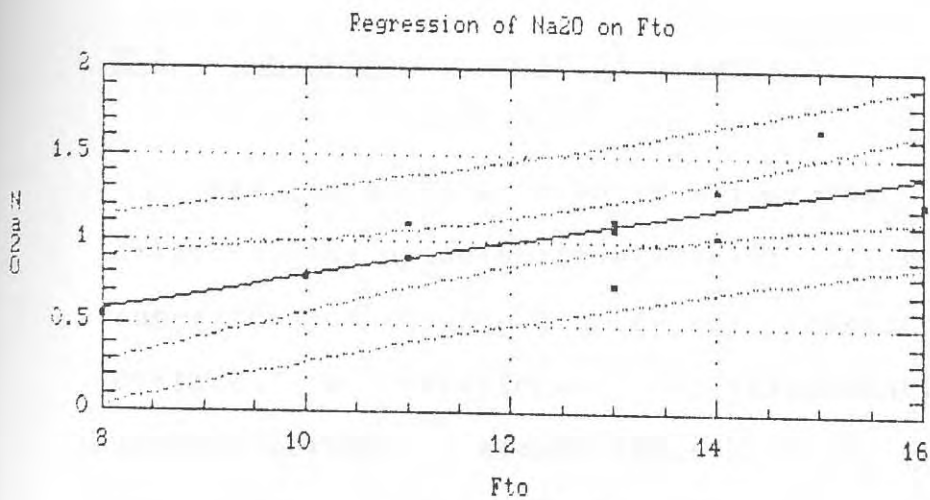


Fig 9c

En cuanto a los minerales ferromagnesianos, son prácticamente determinantes de las concentraciones de magnesio y calcio, como se evidencia por la marcada correspondencia (Cuadro 4) entre los piroxenos (Px) y el contenido de Mg y Ca, y de hierro total respecto a los óxidos (Ox) y (Hm).

En general puede establecerse que las concentraciones determinadas en elementos mayoritarios (expresados como óxidos) presentan una señalada correspondencia con la mineralogía tipo establecida para las muestras superficiales, en perfecta correspondencia con los caracteres petrográficos de los materiales volcánicos que constituyen el área de origen. De este contexto sólo puede considerarse como elemento extraño a nivel de componentes mayoritarios la presencia de fases minerales como el cuarzo.

2.3.- Contenido en metales pesados

Para identificar e individualizar las características de origen de los principales elementos contenidos en los suelos superficiales (Cuadro 3), se ha efectuado un estudio dirigido a establecer correspondencias entre las concentraciones elementales y los componentes mayoritarios más significativos, cuyas variaciones en relación con la mineralogía ha sido previamente

CUADRO 4 : MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS SUELOS SUPERFICIALES

	Parametros edafológicos										Mineralogia						
	PH2	CE	Arc	Lim	Are	MO	CO3	Ca	Mg	Na	K	Fl	Q	Ft	PXO	Hm	Ox
PH2	1.00																
CE	0.35	1.00															
Arc	0.13	0.41	1.00														
Lim	-0.56	-0.15	-0.29	1.00													
Are	0.35	-0.23	-0.61	-0.58	1.00												
MO	-0.68	-0.44	-0.05	0.28	-0.18	1.00											
CO3	0.81	0.00	-0.03	-0.47	0.41	-0.39	1.00										
Ca	-0.04	-0.44	-0.52	-0.29	0.68	-0.04	-0.10	1.00									
Mg	0.36	0.56	0.16	0.40	-0.46	-0.35	0.24	-0.52	1.00								
Na	0.74	0.05	0.22	-0.53	0.25	-0.42	0.78	-0.16	0.05	1.00							
K	-0.00	-0.04	0.13	-0.03	-0.08	0.10	0.13	-0.16	0.07	-0.37	1.00						
Fl	-0.31	0.02	0.22	0.43	-0.54	0.34	-0.08	-0.29	0.39	-0.03	-0.22	1.00					
Q	-0.40	0.04	0.38	0.67	-0.88	0.23	-0.51	-0.56	0.29	-0.19	-0.20	0.42	1.00				
Ft	0.44	0.24	-0.05	-0.11	0.13	-0.67	0.06	0.03	0.10	-0.00	0.29	-0.78	-0.10	1.00			
PXO	0.54	0.17	-0.46	-0.53	0.83	-0.43	0.40	0.35	-0.20	0.23	0.07	-0.79	-0.75	0.54	1.00		
Hm	-0.05	-0.52	-0.08	-0.51	0.49	0.34	0.13	0.47	-0.65	0.11	0.07	-0.35	-0.52	-0.14	0.25	1.00	
Ox	0.14	-0.43	-0.24	-0.72	0.80	0.11	0.28	0.55	-0.76	0.28	-0.02	-0.55	-0.70	-0.03	0.56	0.80	1.00

CUADRO 4 (cont.): MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS SUELOS SUPERFICIALES

	Composicion Geoquimica											Mineralogia					
	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	PC	F1	Q	Ft	PXO	Hm	Ox
SiO2	1.00																
TiO2	-0.87	1.00															
Al2O3	-0.49	0.52	1.00														
Fe2O3	-0.90	0.99	0.49	1.00													
MnO	-0.09	0.28	0.21	0.28	1.00												
MgO	0.10	-0.22	-0.84	-0.20	-0.51	1.00											
CaO	-0.12	-0.05	-0.75	-0.01	-0.35	0.93	1.00										
Na2O	0.64	-0.60	-0.59	-0.58	0.29	0.19	0.23	1.00									
K2O	0.76	-0.72	-0.17	-0.73	0.23	-0.24	-0.38	0.51	1.00								
P2O5	-0.66	0.59	-0.22	0.62	-0.07	0.57	0.74	-0.17	-0.68	1.00							
PC	-0.23	-0.08	0.40	-0.04	0.03	-0.45	-0.41	-0.29	0.11	-0.39	1.00						
F1	-0.15	0.06	0.83	0.04	-0.14	-0.73	-0.75	-0.53	-0.00	-0.56	0.61	1.00					
Q	0.57	-0.42	0.28	-0.45	0.46	-0.71	-0.77	0.33	0.69	-0.88	0.26	0.42	1.00				
Ft	0.63	-0.62	-0.94	-0.61	-0.12	0.69	0.60	0.77	0.37	0.09	-0.44	-0.78	-0.10	1.00			
PXO	-0.15	0.10	-0.70	0.14	-0.22	0.88	0.94	0.17	-0.47	0.76	-0.55	-0.79	-0.75	0.54	1.00		
Hm	-0.70	0.75	0.09	0.77	0.28	0.06	0.21	-0.24	-0.41	0.71	-0.05	-0.35	-0.52	-0.14	0.25	1.00	
Ox	-0.66	0.69	-0.08	0.71	0.24	0.35	0.51	-0.14	-0.58	0.90	-0.36	-0.55	-0.70	-0.03	0.56	0.80	1.00

CUADRO 4 (cont) : MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS SUELOS SUPERFICIALES

Composicion Geoquimica

Elementos Metálicos

	SiO2	TiO2	Al2O3	Fe2O3	MnO	MgO	CaO	Na2O	K2O	P2O5	PC	Sr	Pb	Co	Cu	Ni	Cr	V	Zn	Cd	
SiO2	1.00																				
TiO2	-0.87	1.00																			
Al2O3	-0.49	0.52	1.00																		
Fe2O3	-0.90	0.99	0.49	1.00																	
MnO	-0.09	0.28	0.21	0.28	1.00																
MgO	0.10	-0.22	-0.84	-0.20	-0.51	1.00															
CaO	-0.12	-0.05	-0.75	-0.01	-0.35	0.93	1.00														
Na2O	0.64	-0.60	-0.59	-0.58	0.29	0.19	0.23	1.00													
K2O	0.76	-0.72	-0.17	-0.73	0.23	-0.24	-0.38	0.51	1.00												
P2O5	-0.66	0.59	-0.22	0.62	-0.07	0.57	0.74	-0.17	-0.68	1.00											
PC	-0.23	-0.08	0.40	-0.04	0.03	-0.45	-0.41	-0.29	0.11	-0.39	1.00										
Sr	0.00	-0.11	-0.48	-0.09	-0.02	0.49	0.65	0.60	-0.06	0.55	-0.36	1.00									
Pb	-0.69	0.60	0.69	0.59	0.05	-0.43	-0.30	-0.71	-0.56	0.10	0.46	-0.38	1.00								
Co	-0.32	0.45	0.11	0.44	0.27	-0.05	-0.06	-0.28	-0.34	0.15	0.01	-0.32	0.01	1.00							
Cu	-0.39	0.50	-0.42	0.52	0.09	0.62	0.68	-0.02	-0.49	0.86	-0.60	0.39	-0.18	0.32	1.00						
Ni	-0.46	0.58	-0.35	0.59	0.04	0.58	0.63	-0.16	-0.66	0.82	-0.52	0.23	-0.01	0.46	0.95	1.00					
Cr	-0.22	0.32	-0.57	0.35	0.07	0.68	0.69	0.09	-0.45	0.69	-0.53	0.26	-0.30	0.47	0.92	0.93	1.00				
V	-0.61	0.83	0.20	0.83	0.38	-0.08	0.02	-0.44	-0.58	0.45	-0.18	-0.30	0.44	0.47	0.59	0.70	0.55	1.00			
Zn	-0.27	0.19	-0.24	0.23	0.43	0.20	0.47	0.39	-0.16	0.55	-0.17	0.64	0.09	-0.35	0.44	0.32	0.30	0.22	1.00		
Cd	0.02	0.08	-0.46	0.04	-0.15	0.60	0.56	0.03	-0.41	0.44	-0.51	0.33	0.05	0.05	0.46	0.54	0.45	0.17	0.25	1.00	

establecida. Se trata en realidad de establecer -una vez conocida la posible correspondencia mineralogía-composición geoquímica- cuales son los elementos metálicos y trazas que puedan ser imputados a la mineralogía primaria de los suelos estudiados, con objeto de aislar los aportes de elementos contaminantes.

En cuanto a sus características de distribución, su estudio se efectúa simultáneamente con el resto de los materiales correspondientes a la malla.

De los valores totales de correlación, que se presentan en el Cuadro 4, sólo se han tomado en consideración aquellos que reportan valores más significativos. Algunos elementos como el estroncio (Sr) -que por sus características geoquímicas presentan una cierta correspondencia con los contenidos de calcio, sodio y fósforo (Fig 10) dada su afinidad a incorporarse en la estructura mineralógica de feldespatos y/o posibilidad de integración en la formación de costras-, pueden utilizarse como elemento guía de procesos de precipitación y de carbonatación, responsables asimismo de la fijación de otros elementos contaminantes, como por ejemplo el cadmio (Cd), que presenta ciertas tendencias de correlación ($r=0.6-0.5$) respecto al calcio y al magnesio (Fig 11).

Otros elementos metálicos como el cobre, níquel, cromo, vanadio, presentan diversos valores de correspondencia, siendo esta selectiva. El cobre (Cu) tiende a presentar

Regression of CaO on Sr

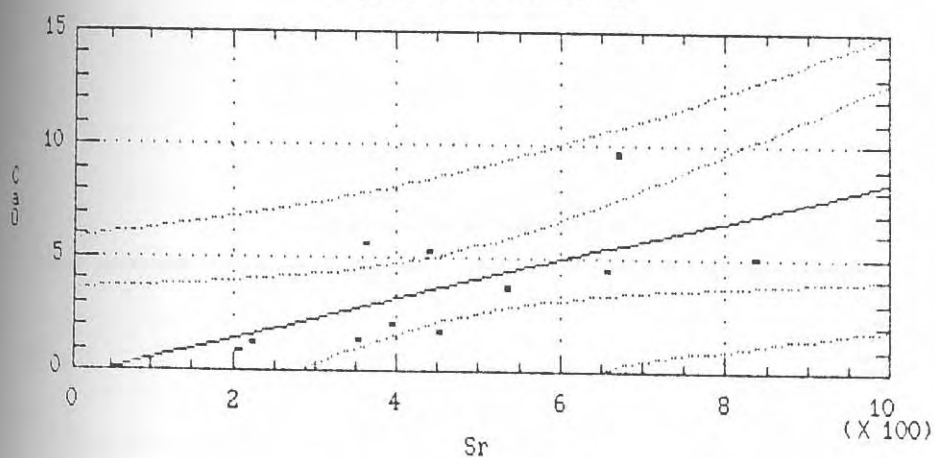


Fig 10a

Regression of Na2O on Sr

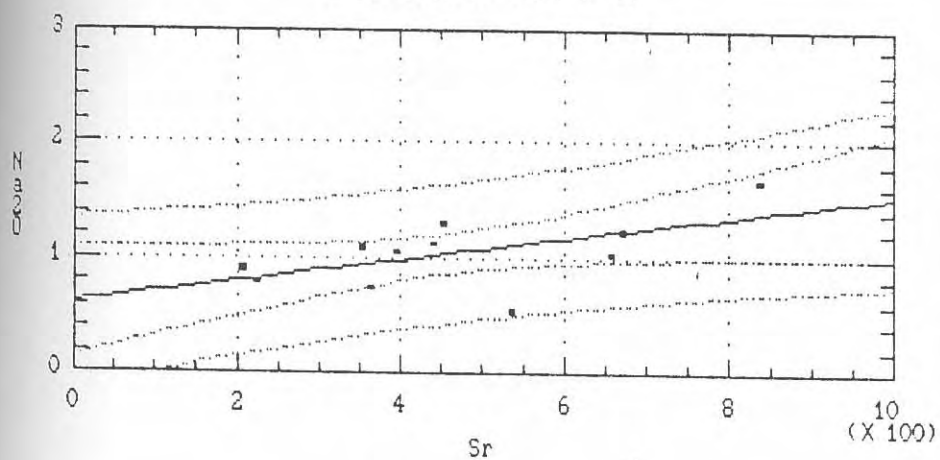


Fig 10b

Regression of P2O5 on Sr

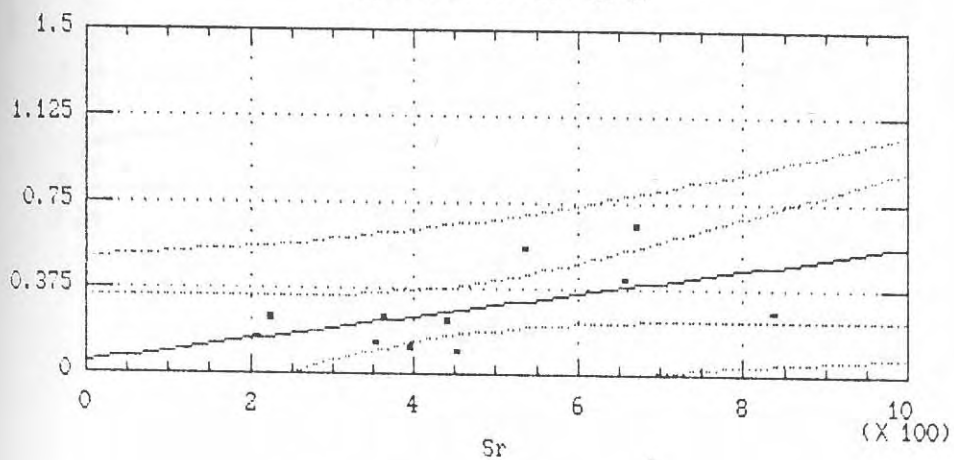


Fig 10c

Regression of MgO on Cd

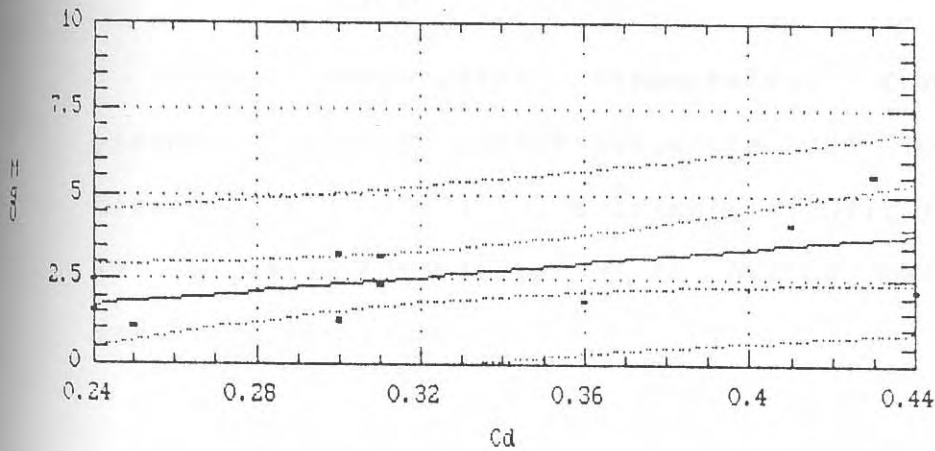


Fig 11a

Regression of CaO on Cd

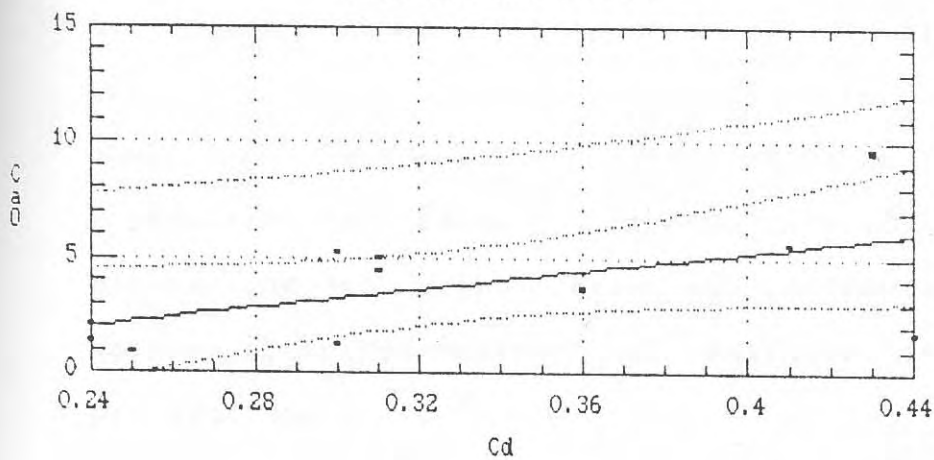


Fig 11b

relaciones colineales con el cromo (Cr) y con el níquel (Ni) y estos entre sí -como se observa en el Cuadro 4- lo cual sería indicativo de su posible origen común.

Otros componentes elementales, como el vanadio, presentan marcada correspondencia con los contenidos de hierro total (Fe_2O_3) y de titanio (TiO_2), ya que el vanadio es elemento constituyente de óxidos metálicos del tipo magnetita-ilmenita.

Elementos como el cinc, plomo y cadmio no presentan en cambio relaciones significativas imputables a composiciones asimilables a la mineralogía establecida y/o a los componentes mayoritarios.

En cuanto a los contenidos en cationes asimilables por las plantas, las determinaciones efectuadas mediante extracción han proporcionado valoraciones con concentraciones relativamente bajas (Cuadro 5), en relación con los contenidos totales determinados en los suelos. Su repercusión en cuanto al proceso de asimilación en las plantas deberá establecerse en confrontación con los valores obtenidos mediante el análisis de tallos, hojas, etc. (ver Anejo 2).

3.- Distribución de Componentes Mineralógicos y Elementos Metálicos en los Suelos de la Malla

Cuadro 5 : Cationes asimilables (ppm)

	Cu	Zn	Cr	Co
MS2	4.2	4.2	0.2	9.5
MS3	2.2	2.5	0.2	10.5
MS4	2.8	4.3	0.5	2.9
MS5	3.0	4.3	0.3	6.1
MS6	4.7	2.5	0.4	7.0
MS7	2.7	3.6	0.4	8.4
MS8	3.5	13.5	0.6	3.4
MS9	7.8	6.9	0.5	4.5
MS10	3.5	8.1	0.7	2.3
MS11	4.7	10.6	0.4	2.4
MS12	5.4	12.5	0.3	5.0

Analista: N. Perez Rodriguez. IRNAC (CSIC)

Una vez establecidas las características composicionales de los diversos tipos de suelos superficiales en base al conocimiento de sus parámetros físico-químicos, su mineralogía y características geoquímicas, y de haber establecido los niveles de concentración, se plantea el estudio sistemático de su distribución regional y de las variaciones de concentración, en particular de los elementos metálicos, en la zona de estudio correspondiente al área urbana-industrial de Santa Cruz de Tenerife.

Para una mejor visualización y rápida comprensión de la distribución de los valores determinados en la malla de muestreo, la información obtenida ha sido tratada gráficamente mediante esquemas de distribución de isoconcentraciones de los diferentes parámetros. Esta información es tratada asimismo en correspondencia con la base geológica y edafológica de la zona de estudio, lo que permite establecer y discriminar, en su caso, las posibles relaciones existentes entre las áreas fuente que aportan la mineralogía primaria y la existencia de otras posibles fuentes contaminantes (red vial, Refinería, centrales térmicas y zonas industriales).

3.1 Parámetros Físico-Químicos

Sus valores analíticos se presentan en el Cuadro 6, que contiene las determinaciones analíticas efectuadas sobre las muestras correspondientes a la malla. Estas determinaciones son equivalentes a las efectuadas sobre los suelos superficiales, lo que nos permite establecer correspondencias entre ambas valoraciones.

Valoración del pH.

Se ha efectuado en relación al H₂O y respecto a la relación suelo-solución de KCl; ambas determinaciones presentan valores perfectamente correlacionables, lo que permite utilizar ambos parámetros de forma indiferenciada al utilizarlos como término de referencia.

En cuanto a sus valores absolutos (Figs 12a y 12b) se observa un amplio rango de variación, que comprende desde valores ácidos próximos a pH=4, hasta alcanzar valores alcalinos cercanos a pH=10. Es decir, en su conjunto puede decirse que en la zona de muestreo existe una gran dispersión de valores y de distribución de frecuencias. De forma individual se observa que los valores de pH respecto al H₂O tienen cierta tendencia a proporcionar términos más básicos que los medidos respecto al KCl, predominantemente ácidos. En lo que respecta a su distribución superficial (Fig 13a) es clara una señalada tendencia al predominio de valores más ácidos hacia las zonas interiores - sur de los Rodeos y El Rosario-,

CUADRO: 6. Parametros Fisico - Quimicos de los Suelos de la Malla

	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	M-21	M-22	M-23	M-24	M-25
PH (H2O)	5.52	4.78	5.15	8.24	6.63	6.6	8.4	7.71	9.06	7.8	7.75	6.09	7.1	4.7	6.68	8.99	6.4	6.12	6.65	4.9	6.23	7.86	7.44	7.25	8.1
PH (CIK)	3.8	3.92	4.13	6.92	5.5	4.68	6.44	6.6	7.01	5.94	6.27	4.47	5.74	3.86	5.77	7.17	4.62	4.37	5.11	3.87	4.78	6.95	6.21	5.58	6.1
CE	75	97.1	68.2	35	155.5	110.2	133.4	130.4	107.3	71.4	121.1	53.8	112.2	133.1	270	229	55.1	41.4	61.4	139.9	55.6	312	58.3	144.5	82.5
Arcillo	25.9	20.9	26.6	25.45	32.5	17.4	67.55	51.55	72.05	71.5	71.15	24.1	26.6	19.9	35.6	30.8	32.4	33.66	26.15	29.1	132	33.66	66.15	61.15	73.2
Limosa	33.6	28.6	20.4	68.6	35.1	33.7	7.0	8.25	4.5	11.2	4.95	43.25	27	46.2	27	5.75	31.2	37	29.95	47	82.5	17.65	7.0	71.5	49.5
MO	0.45	0.83	1.72	0.35	1.13	0.23	0.18	0.58	0.15	0.25	0.24	0.97	0.63	0.57	0.56	0.32	0.68	0.64	0.93	0.69	1.65	1.17	0.72	0.61	0.33
CO3	3.51	2.37	2.8	7.78	3.82	5.45	4.68	5.05	4.75	4.72	5.21	2.93	5	2.57	3.2	12.33	3.47	2.95	3.45	2.45	2.81	8.45	3.6	5.29	4.75
Ca	6.45	1.29	4.81	24.24	14.45	12.31	14.78	18.25	24.4	15.59	4.24	7.67	9.8	4.64	10.78	22.11	10.58	7.65	17.34	3.68	9.29	13.98	22.95	15.65	-
Mg	3.52	0.55	1.88	7.52	8.94	11.4	5.68	3.64	11.13	15.81	11.8	4.01	10.3	1.56	4.17	6.49	7.66	3.49	10.69	3.38	3.87	6.68	2.53	17.05	-
Na	0.95	0.35	0.48	2.15	0.82	2.95	3.1	0.85	2.35	2.82	1.11	0.81	1.36	0.12	0.57	12.72	0.99	0.94	2.01	0.37	0.35	2.19	0.76	1.73	-
K	0.37	1.61	0.74	1.62	0.93	1.61	1.26	0.23	1.19	0.88	2.25	1.42	2.4	1.17	2.01	24.64	0.62	0.95	1.08	1.08	0.55	4.83	0.58	0.39	-

	M-26	M-27	M-28	M-29	M-30	M-31	M-32	M-33	M-34	M-35	M-36	M-37	M-38	M-39	M-40	M-41	M-42	M-43	M-44	M-45	M-46	M-47	M-48	M-49
PH (H2O)	7.35	7.23	4.63	6.29	6.65	6.68	7.77	8.2	8.24	5.75	8.57	8.67	8.52	8.62	6.61	4.4	5.83	4.27	4.63	8.24	7.47	6.42	6.04	5.46
PH (CIK)	5.97	5.7	3.74	5.15	5.39	5.1	6.34	7.63	6.98	3.91	7.2	6.88	6.69	7.52	5.02	3.63	4.92	3.75	3.92	7.55	5.79	4.98	4.16	4.62
CE	67.5	91.4	129.1	103.7	45.4	84.9	125.6	200	115.1	89.2	133.9	29	69.5	25	53.6	33.4	97.2	141.1	137.7	177.5	67.6	45.9	79.1	47
Arcillo	22.55	19.9	23.3	34.9	21.95	25.9	39.9	22.05	29.55	19.55	57.05	64.55	15.8	43.3	35.6	23.6	20.9	32.2	22.5	23.4	25.9	25.8	34.1	34.4
Limosa	9.5	6.2	37	21.2	13.25	33.6	4.95	7.0	28.25	52	4.5	4.5	8.25	5.75	22	23.6	13.6	27.45	33.5	23.6	26.1	35.75	40.4	23.6
MO	0.43	0.85	0.9	1.06	1.34	0.81	0.65	0.24	0.72	0.59	0.34	0.19	0.15	0.47	1.16	1.39	0.79	1.33	0.65	0.43	0.65	0.65	0.47	0.77
CO3	1.31	5.25	1.62	4.77	3.65	3.32	7.7	10.35	3.57	4.1	8.37	6.12	5.3	9.7	4.35	2.44	3.2	2.63	2.34	6.72	5.46	2.44	3.35	2.92
Ca	7.68	19.35	2.25	8.3	10.77	9.09	17.78	28.08	18.33	19.17	2.1	25.57	-	7.71	8.76	1.45	7.48	2.22	3.46	3.46	15.55	4.21	9.78	9.75
Mg	15.71	14.03	0.88	3.8	2.39	4.68	5.88	6.73	7.87	17.99	14.35	3.08	-	6.68	5.49	0.79	3.26	1.97	0.95	6.13	8.92	2.61	9.68	22.15
Na	0.49	0.81	0.74	0.53	0.43	0.41	4.53	8.03	0.92	1.2	0.69	4.41	-	1.35	0.95	0.92	0.33	1.87	0.16	0.65	1.44	0.45	1.18	0.5
K	1.67	1.57	0.55	0.85	0.99	2.88	7.89	4.44	2.07	0.29	0.45	0.55	-	2.49	1.84	0.55	0.94	0.93	1.08	2.15	1.17	2.21	0.44	2.21

Analista: N. Perez Rodriguez. (I.R.N.A.C.) C.S.I.C.

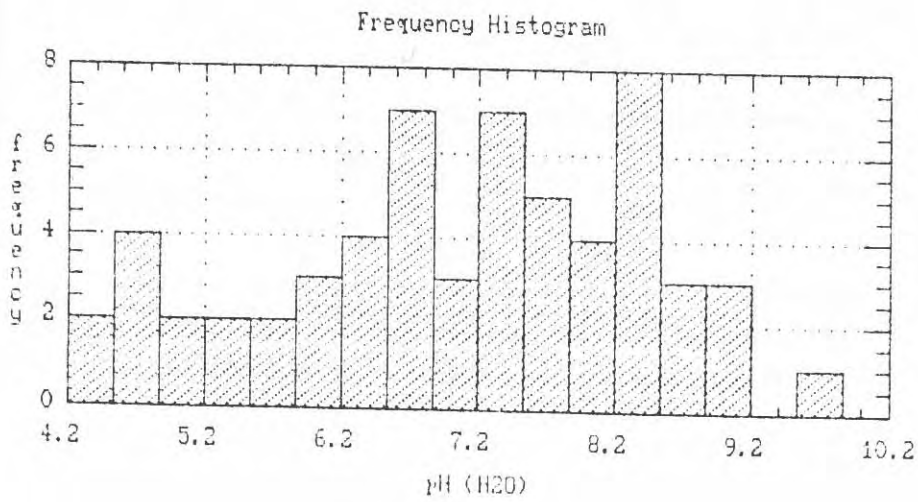


Fig 12a

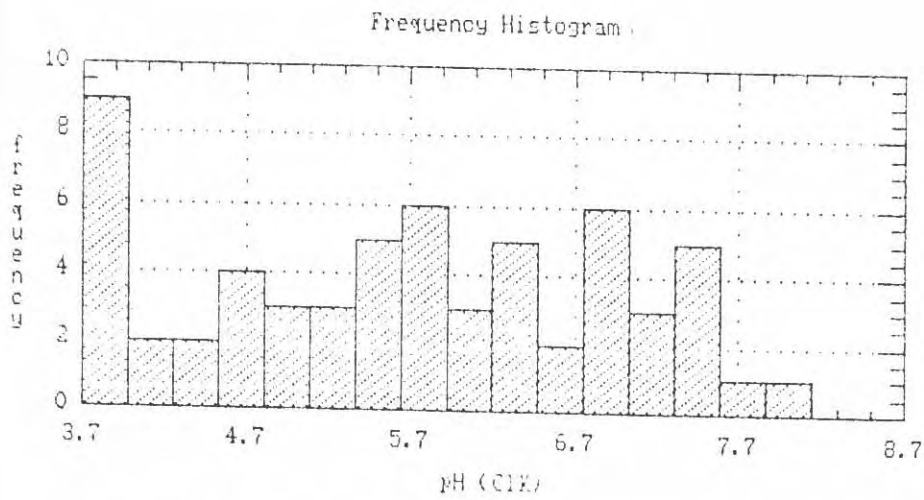


Fig 12b

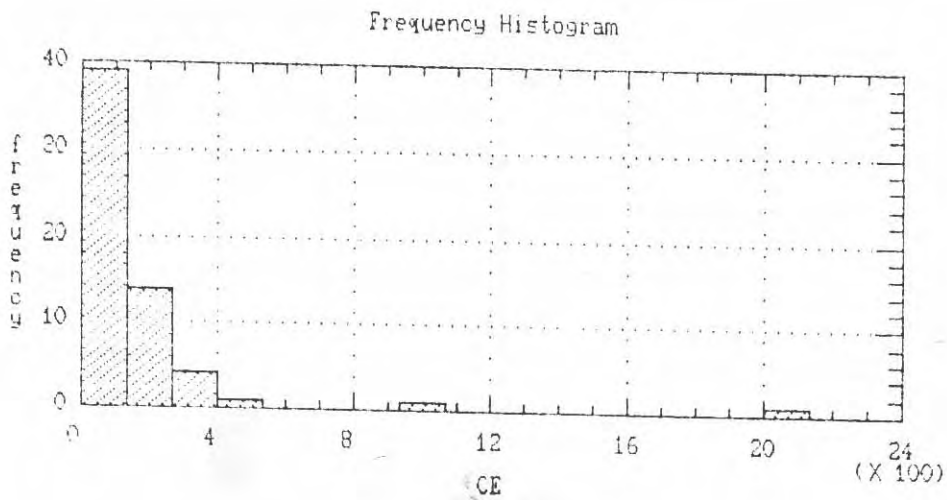


Fig 12c

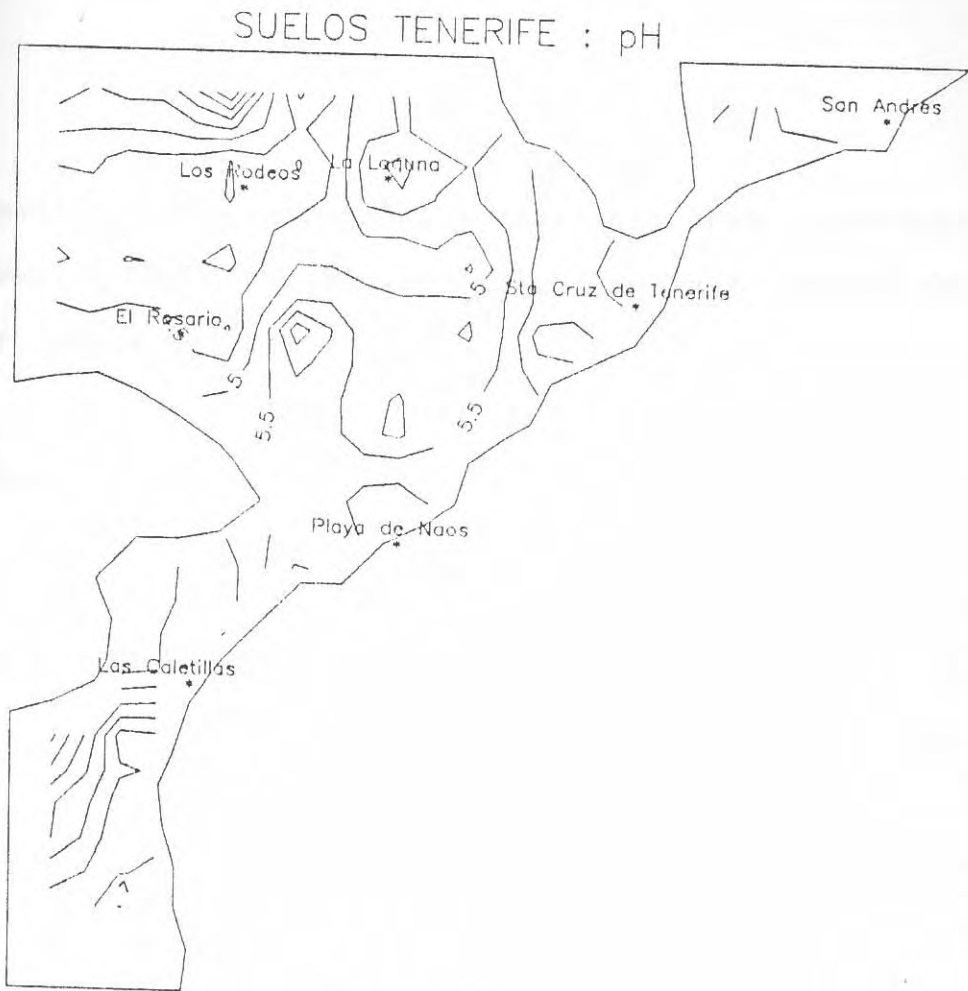


Fig 13a

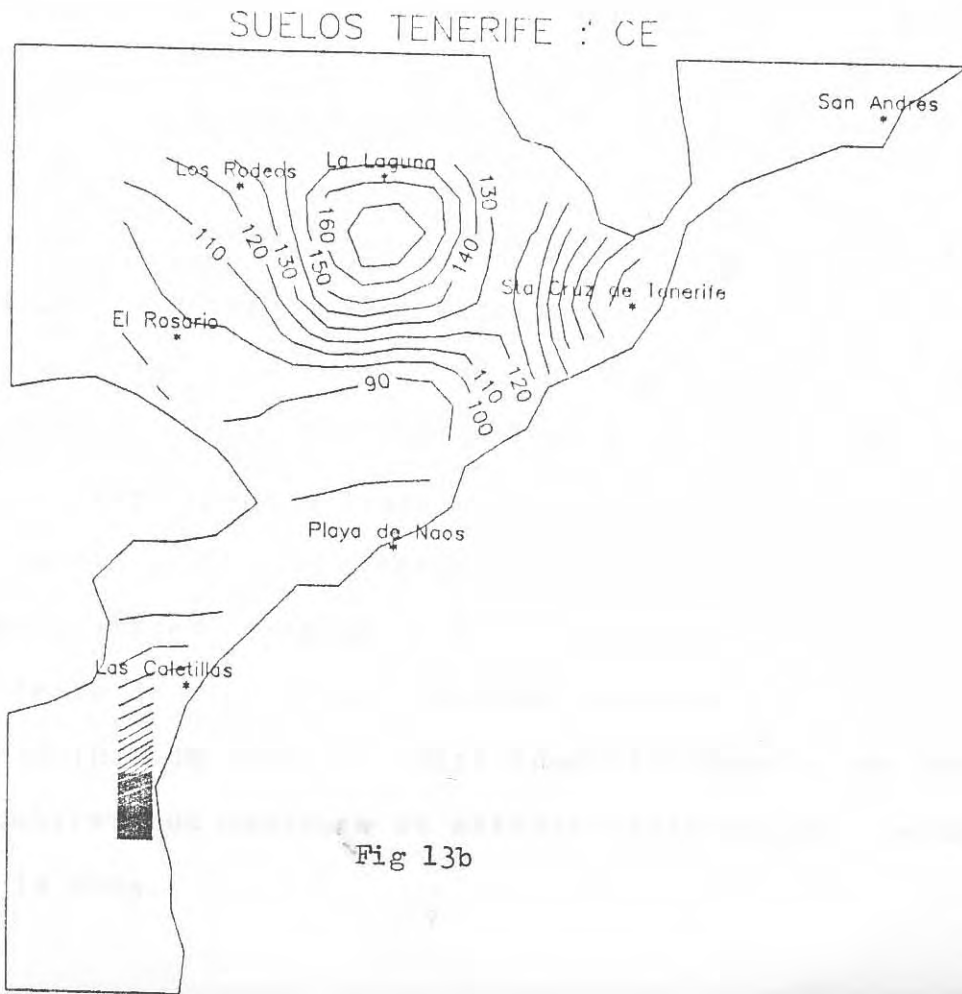


Fig 13b

mientras que hacia las zonas externas predominan los términos más básicos, aspecto que se hace patente en la zona sur de Las Caletillas.

Valores de CE

La conductividad, expresada en mhos/cm, ha sido determinada en la relación suelo-agua destilada (1:5), y sus variaciones reflejarían el contenido total de sales en los suelos. Las determinaciones efectuadas (Fig 12c) presentan valores relativamente bajos (inferiores a 200) en todas las muestras de suelos analizadas, por lo que puede establecerse de forma general que en la zona de estudio los valores de conductividad, y por consiguiente las concentraciones de sales, son relativamente bajos, aun cuando existan puntos aislados con valores extremos indicativos de elevada salinidad.

Estas características son claramente apreciables en el esquema de distribución superficial (Fig 13b), donde se hace patente la existencia de un valor extremo de 2000 mhos/cm, situado al sur de las Caletillas. Otro punto de características similares, aun cuando de menor cuantía (900 - 1000), se ha detectado en la zona sur de Santa Cruz. Ambos valores totalmente extraños a los determinados para el resto de la zona, podrían indicar posibles zonas de contaminación salobre. Esta anomalía debería ser reconocida y contrastada mediante un estudio hidrológico - edafológico de la zona.

Análisis Mecánico de los Suelos

Las tres fracciones determinadas: Arena, Limo y Arcilla, delimitan la existencia de zonas preferentes donde se alcanzan valores de concentración máximos en relación al predominio de áreas con distribuciones menos acusadas.

Arenas. Cuantitativamente suponen la fracción más importante. Su análisis de frecuencia (Fig 14a) presenta valores en torno al 80%, máximo que se individualiza claramente del resto, cuyos límites fluctúan entre el 25-55%, con un pico del 35-40% dentro de este entorno. Esta diversidad de concentraciones responde en parte a las diferencias de la profundidad de muestreo, con un marcado predominio en las concentraciones groseras (fracción arena) en los suelos superficiales, y en relación a su distribución geográfica.

En el esquema gráfico de la Fig 15, se evidencia que los suelos con mayor predominio de arenas se distribuyen de forma irregular, delimitando una serie de áreas situadas al sur de Las Caletillas, Playa de Naos, zona próxima a Santa Cruz, San Andrés y al oeste de El Rosario.

Limos. Esta fracción es claramente minoritaria (Fig 14b), con un predominio de valores en torno al 10%, aun cuando se presenten valores extremos del 70%. Su distribución

Frequency Histogram

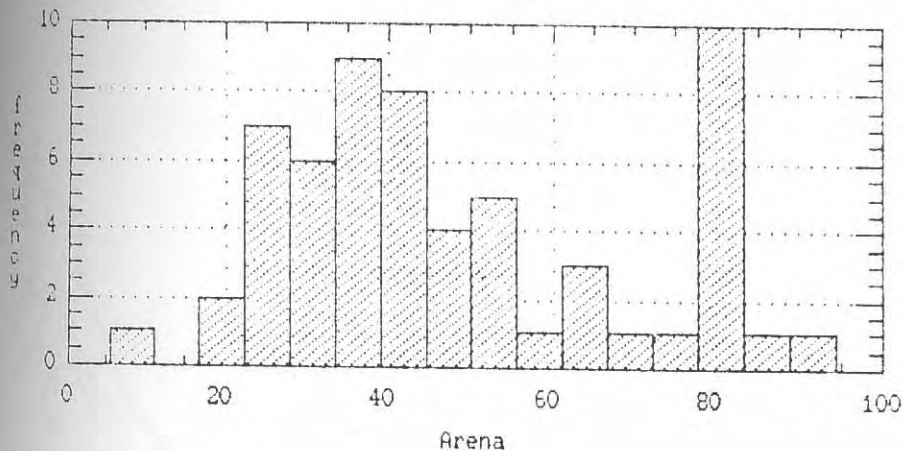


Fig 14a

Frequency Histogram

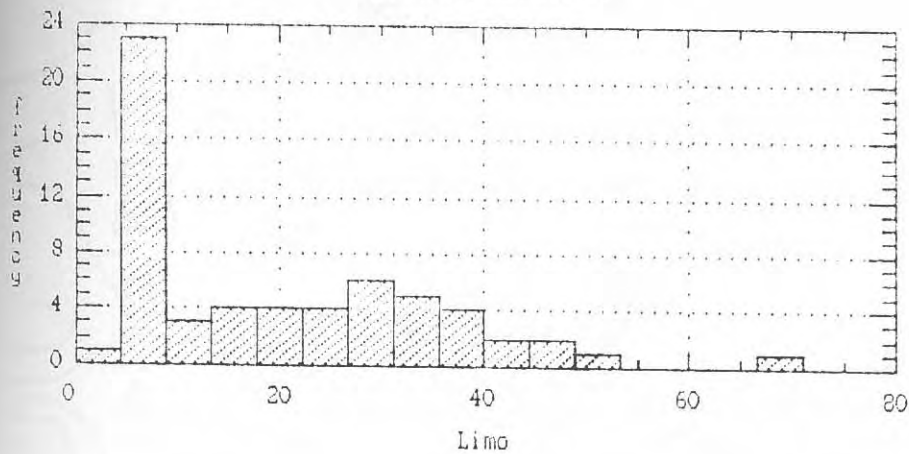


Fig 14b

Frequency Histogram

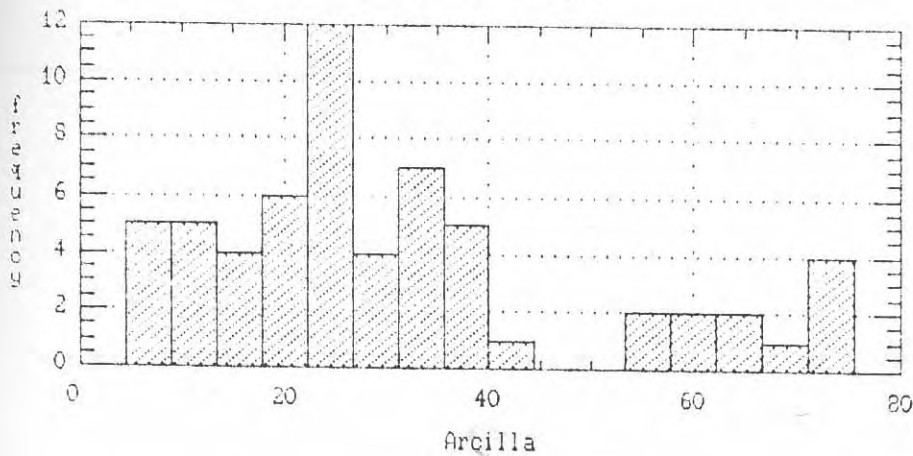


Fig 14c

SUELOS TENERIFE : Arenas (98)

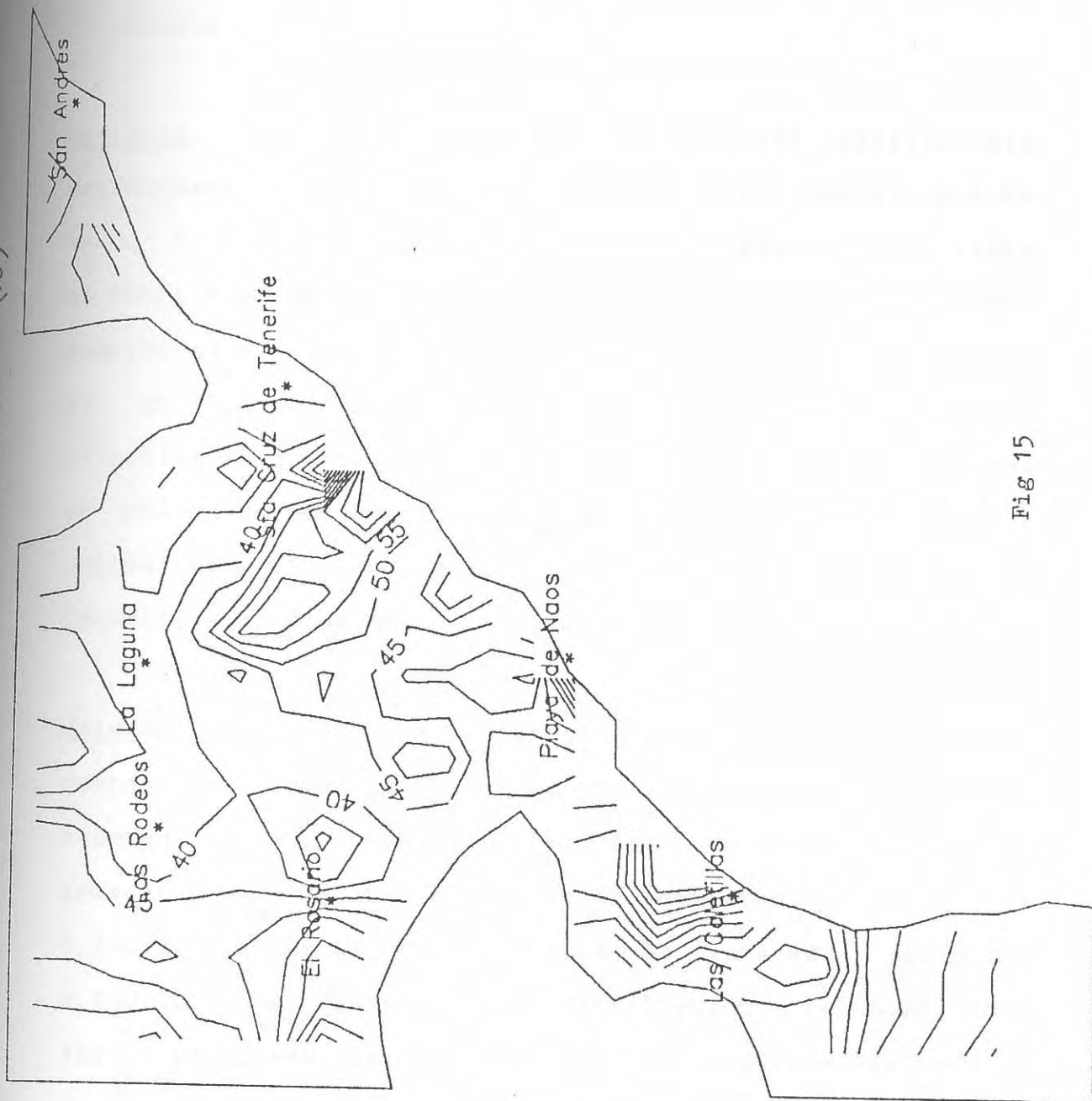


Fig 15

geográfica (Fig 16a) es bastante irregular, con valores máximos en el área de Santa Cruz y localmente en la zona de El Rosario.

Arcillas. Cuantitativamente son un material relativamente predominante, dentro de la fracción fina (menos de 0.06 mm.). El valor máximo de frecuencia lo presenta en torno al 25% (Fig 14c), quedando segregadas las concentraciones superiores al 50% a valores de frecuencia inferiores al 4%. Su distribución superficial es claramente selectiva (Fig 16b), presentando una serie de núcleos de máxima concentración al Sur de Las Caletillas, y puntualmente en la Playa de Naos, norte de Santa Cruz de Tenerife y un área más extensa al norte de La Laguna.

Materia Orgánica. Los suelos analizados son relativamente pobres en contenido orgánico, ya que su mayor parte no superan el 1%. Los términos más abundantes (Fig 17a) presentan un rango de variación comprendido entre el 0.2-0.9 %, con alguna frecuencia más señalada sobre el 0.6-0.7%. En cuanto a su distribución regional (Fig 18a), se observa la delimitación de una zona situada al oeste de La Laguna, hacia Los Rodeos, y una inflexión hacia El Rosario, zona donde los valores de concentración en materia orgánica superan el 1%. Esta zona queda prácticamente circunscrita al área de sedimentos señalados en el esquema geológico de la Fig 3, encuadrada en un área más amplia catalogada como anfisoles en el esquema edafológico de la Fig 4.

SUELOS TENERIFE : Limos (⌘)



Fig 16a

SUELOS TENERIFE : Arcilla (⌘)

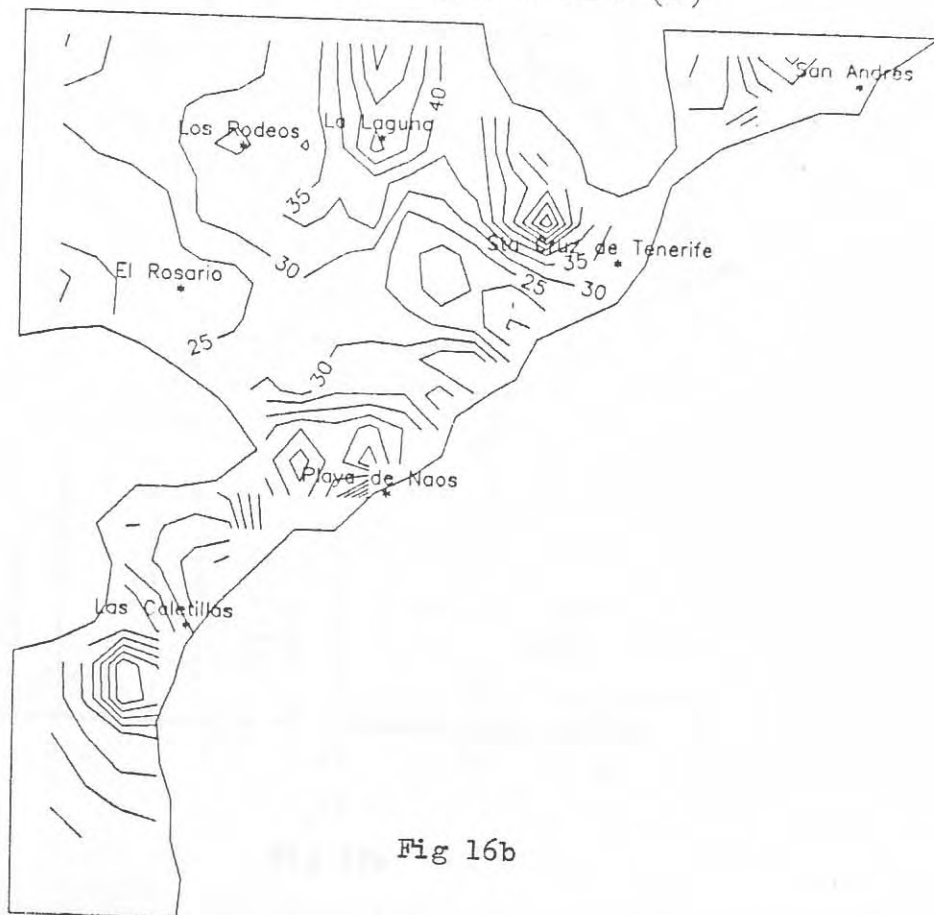


Fig 16b

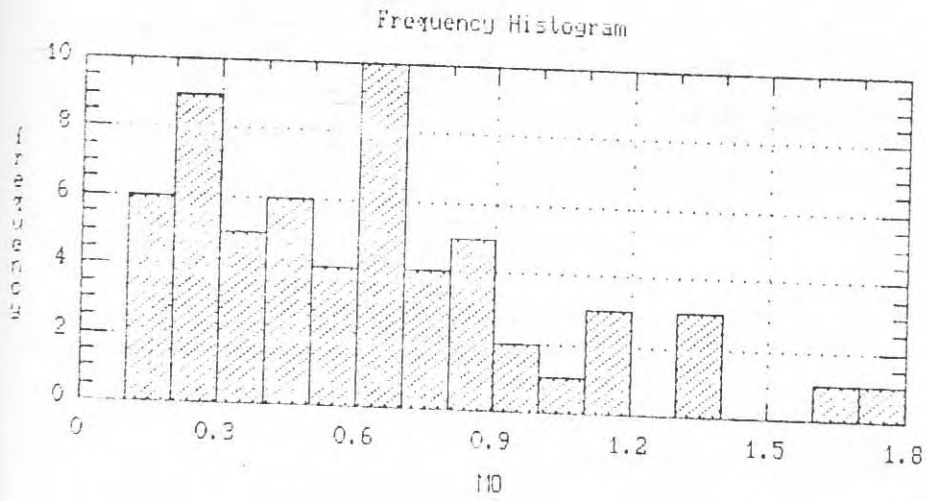


Fig 17a

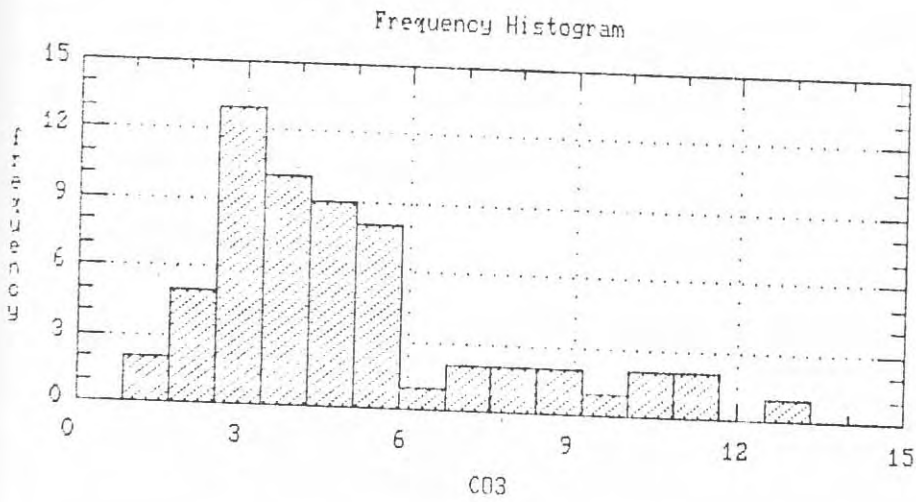


Fig 17b

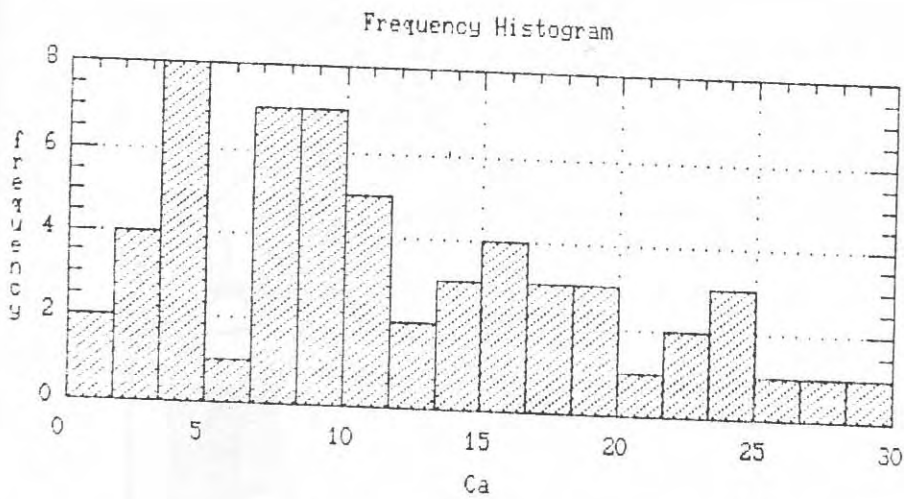


Fig 17c

SUELOS TENERIFE : Materia Organica

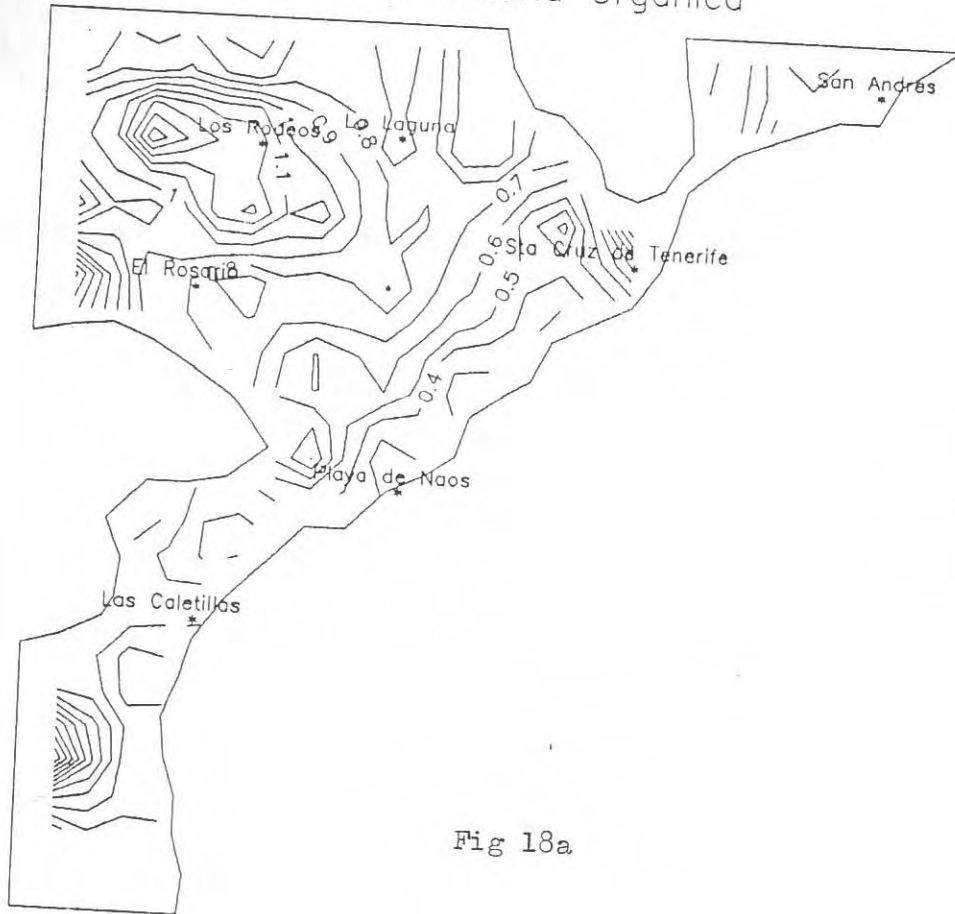


Fig 18a

SUELOS TENERIFE : Carbonatos

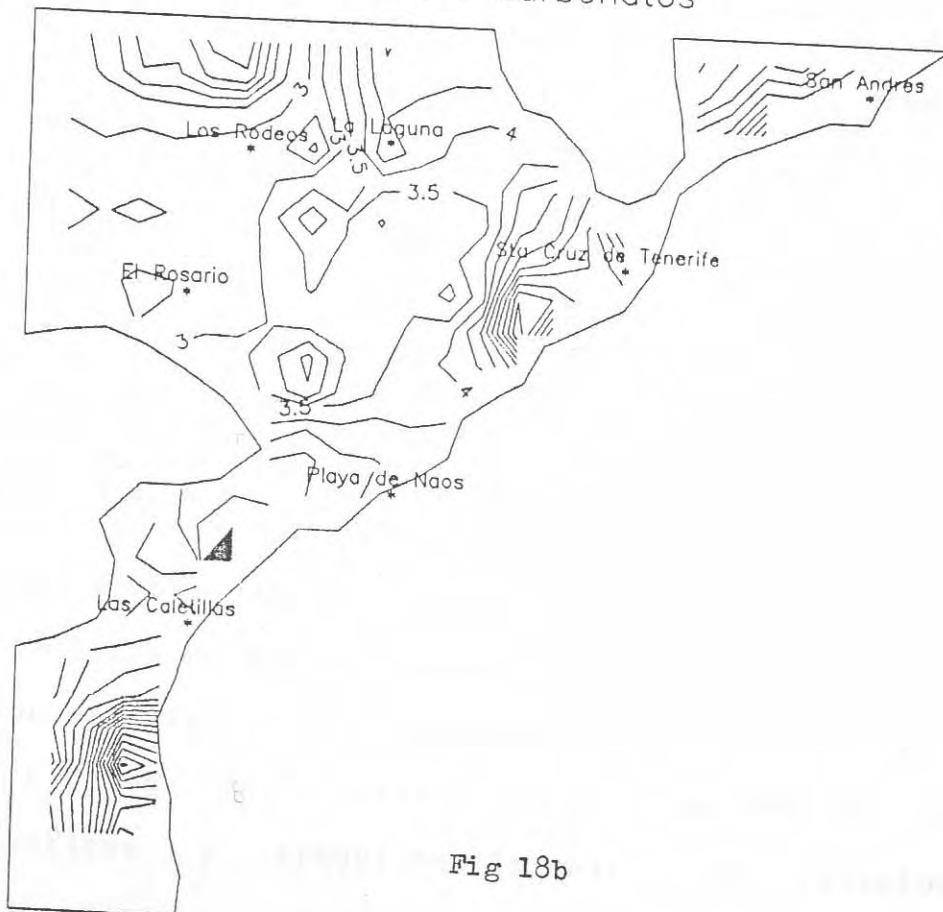


Fig 18b

Carbonatos. Sus concentraciones más frecuentes se corresponden con valores en torno al 3% de CO₃ (Fig 17b), con una pequeña dispersión hasta alcanzar concentraciones del 6%. A partir de este valor se observan picos extremos pero poco frecuentes.

La localización de zonas con concentraciones de carbonatos superiores a la media (Fig 18b), hace patente una distribución selectiva en áreas perfectamente delimitadas, fundamentalmente al norte y sur de Las Caletillas, en una extensa área que se extiende hacia Candelaria. Otra zona identificada, aun cuando con valores menos extremos, se sitúa al sur de Santa Cruz de Tenerife.

En vista de los resultados obtenidos, puede argumentarse que las mayores concentraciones de carbonatos tienden a presentarse en las zonas de costa, mientras que hacia el interior de la zona La Laguna - El Rosario se presentan valores de menor cuantía.

Cationes de Cambio. Sus concentraciones están estrechamente relacionadas con las propiedades y estructuras intrínsecas de los suelos, como su permeabilidad. Los cationes de Ca y Mg se concentran preferentemente en rocas volcánicas básicas y, por consiguiente, potencialmente representadas de forma extendida en todos los suelos de la zona de estudio; por el contrario el Na y el K, aun cuando se presentan en ciertas rocas volcánicas sálicas -traquíticas y traquifonolíticas- en relación con

determinados tipos de feldespatos, también pueden estar asociados a causas ajenas, como por ejemplo el Na, en procesos de contaminación salobre. Los valores del Ca presentan un amplio espectro de variación (Fig 17c), con un mayor predominio sobre las concentraciones de 5-10 (meq/100 g.), valores de frecuencia que disminuyen rápidamente a medida que aumentan las concentraciones.

En cuanto a su distribución superficial (Fig 19a), las máximas concentraciones se presentan hacia la zona sur de Las Caletillas, en cierta correspondencia con el predominio de Carbonatos. Hacia la zona interior: noroeste de La Laguna - El Rosario, se presentan valores relativamente bajos, en correspondencia asimismo con las zonas de mínima carbonatación. La distribución del Mg es más regular que para el Ca, siendo su máxima frecuencia de 4-8 (meq/100g) (Fig 20a), predominio que disminuye rápidamente en los valores más extremos (30 meq/100g) que son escasos y esporádicos. Esta presencia de valores anómalos queda reflejada en la parte oeste de El Rosario y al sur de La Laguna (Fig 19b), mientras que el resto de la zona presenta valores medios bajos ó medios que no superan los 10 (meq/100g).

El Na presenta en general un predominio de valores relativamente bajos, en torno a 1 meq/100g (Fig 20b), dato que permite establecer que el nivel de concentración de Na en los suelos de la zona son bajos, a excepción de un área perfectamente delimitada al sur de Las Caletillas (Fig 21a),

SUELOS TENERIFE : Ca

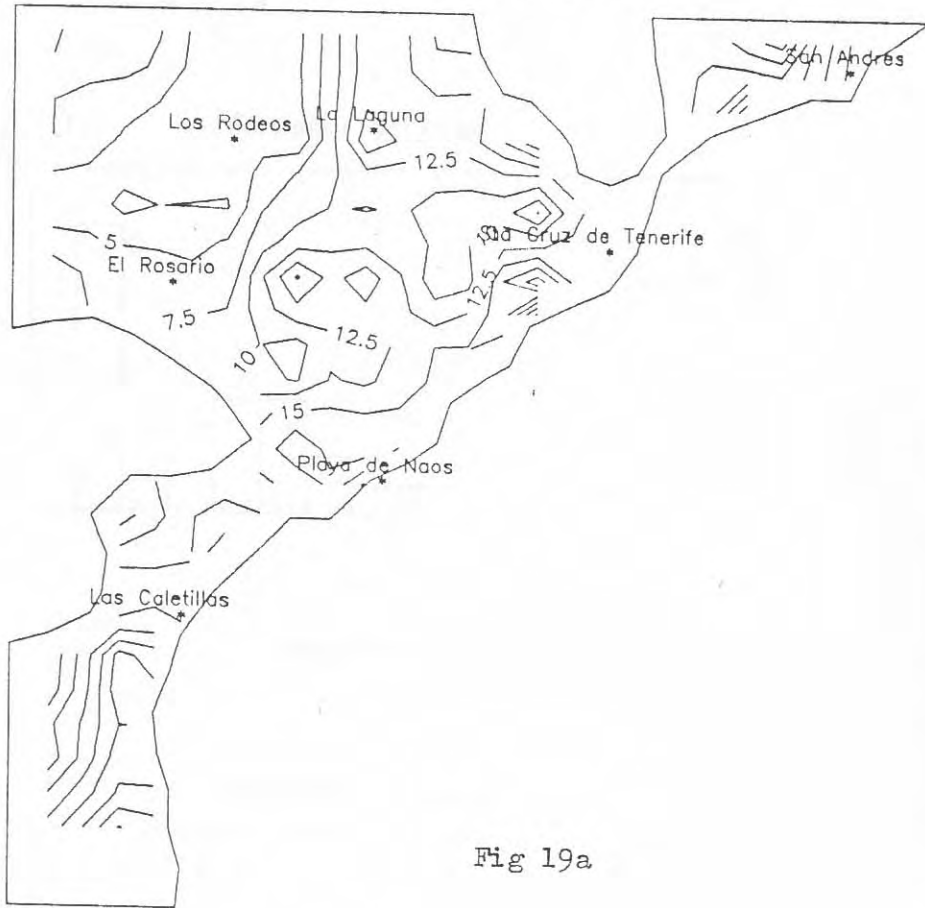


Fig 19a

SUELOS TENERIFE : Mg

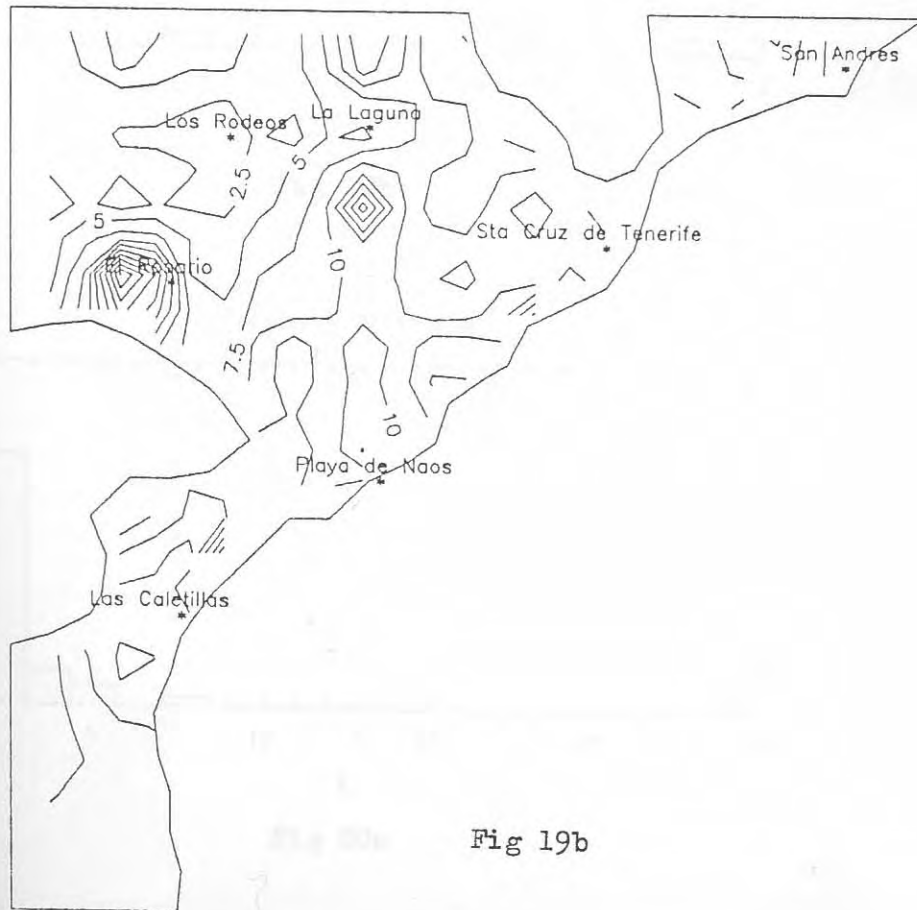


Fig 19b

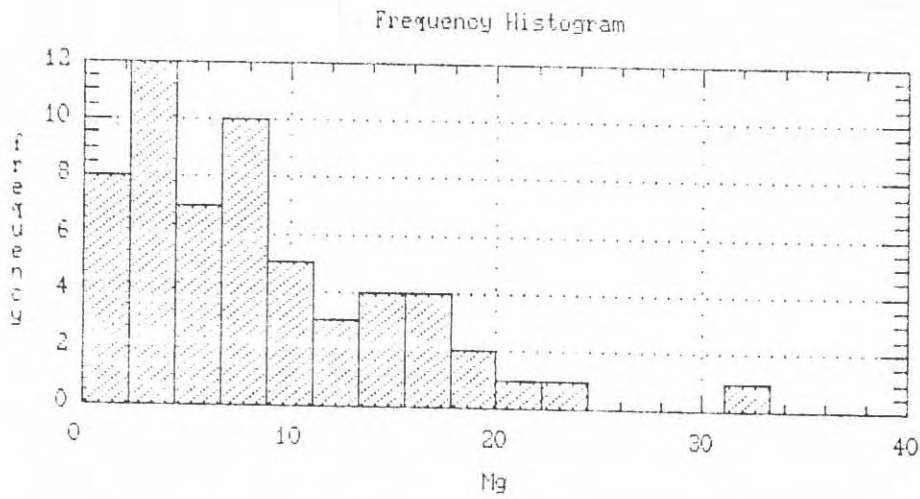


Fig 20a

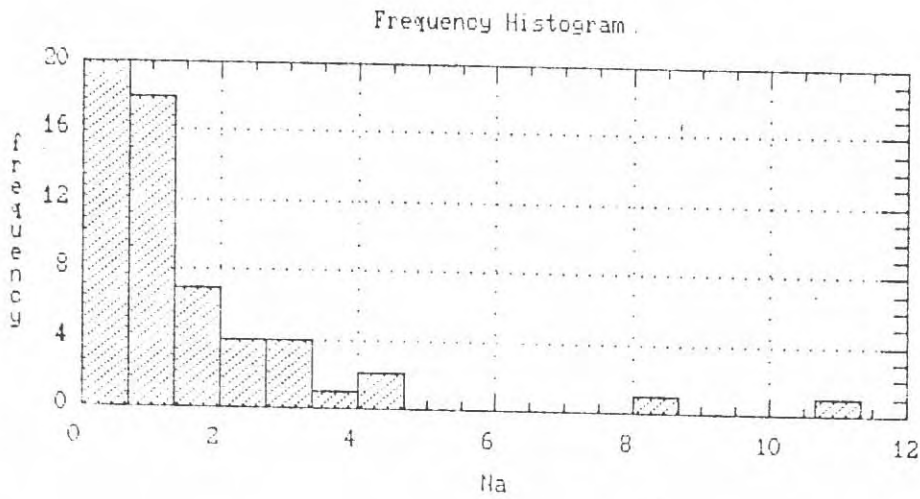


Fig 20b

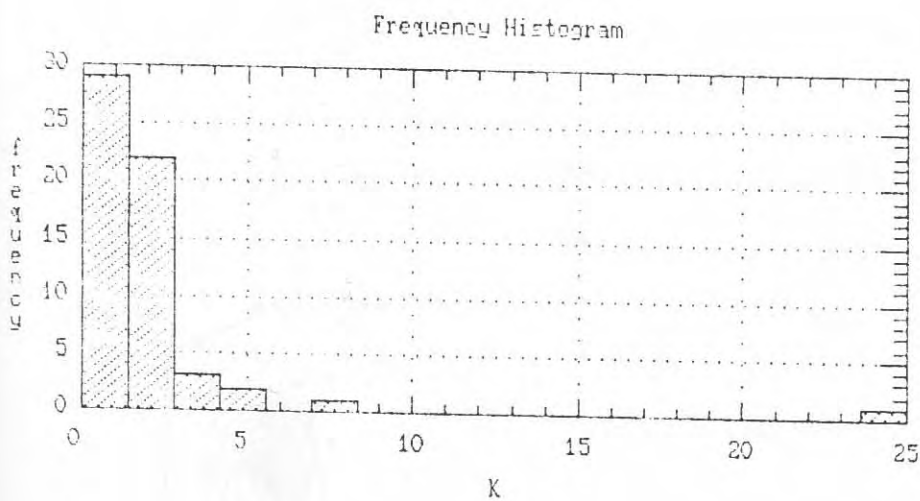


Fig 20c

SUELOS TENERIFE : Na

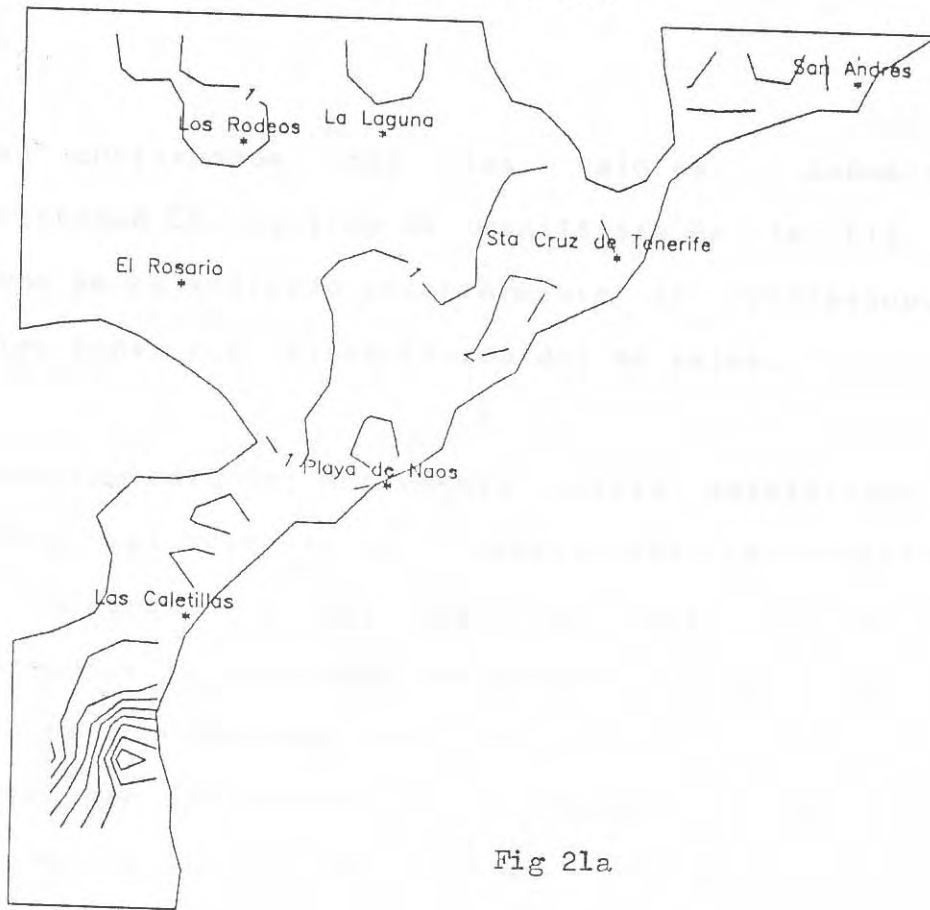


Fig 21a

SUELOS TENERIFE: K

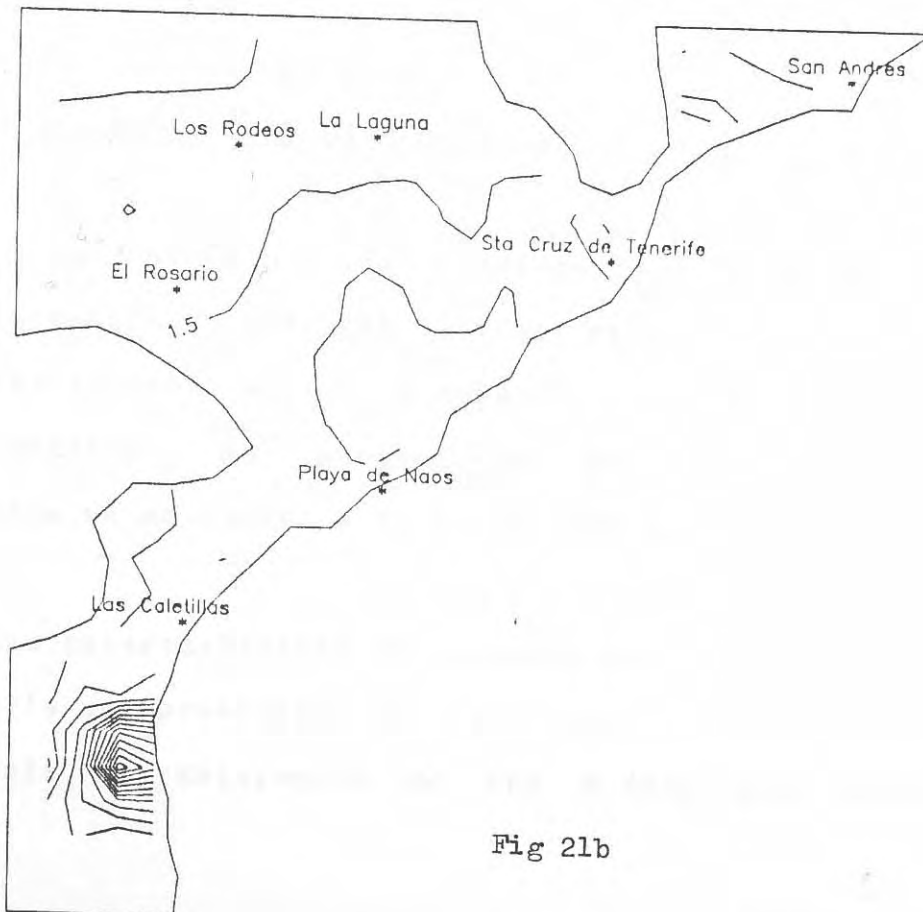


Fig 21b

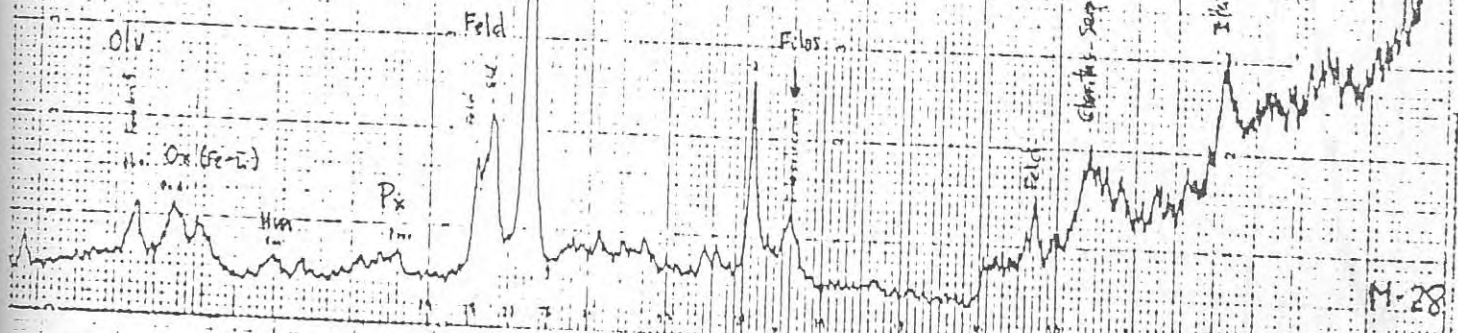
que se corresponde con los valores anómalos de conductividad CE puestos de manifiesto en la Fig 13, y que como se ha indicado anteriormente se corresponden con posibles zonas con altos contenidos en sales.

El comportamiento del K presenta cierto paralelismo con el del Na. Sus valores de concentración son relativamente bajos, menores a 3 meq/100g (Fig 20c), y que engloban prácticamente la totalidad de las muestras analizadas. Al igual que lo observado en la distribución del sodio, se hace evidente la presencia de algunos valores extremos. Esta anomalía queda señalada en la Fig 21b, donde en contraste con los valores de bajos contenidos de K normales en la zona de estudio, resaltan altas concentraciones de potasio en coincidencia con el área de acumulación de sodio.

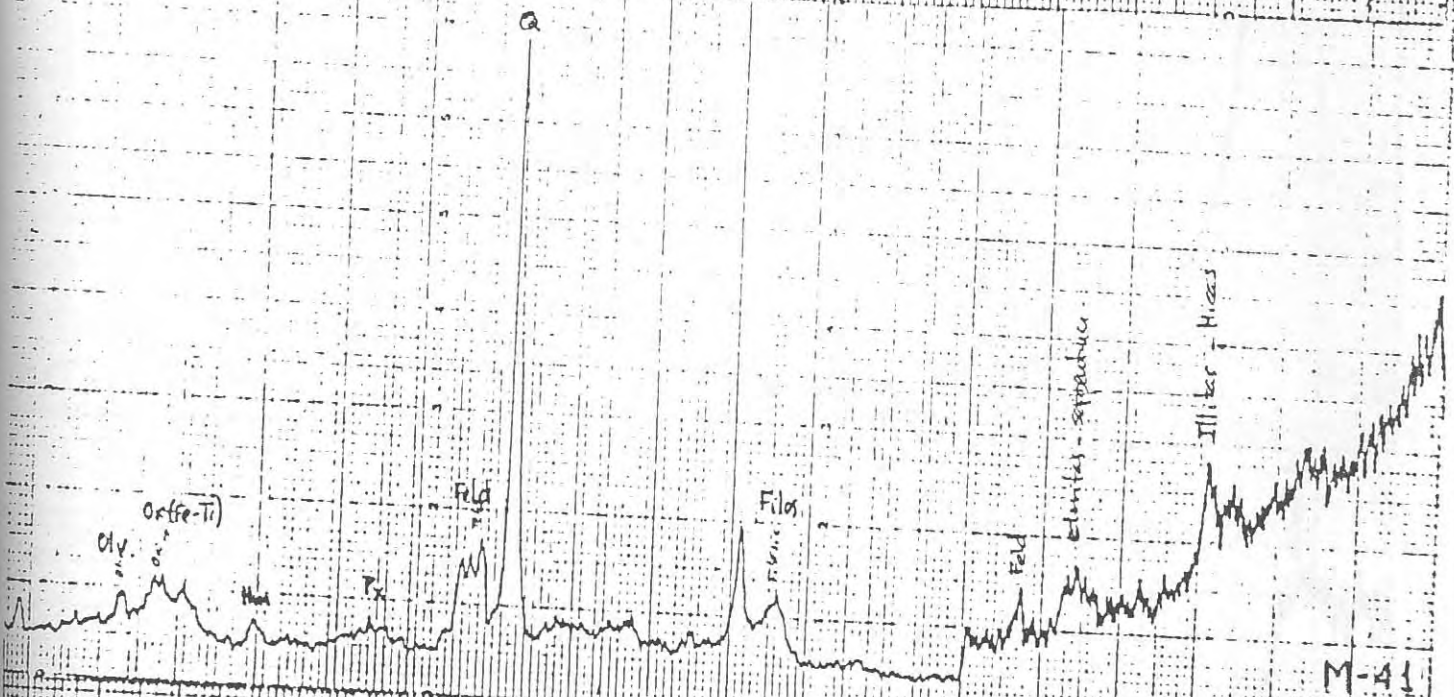
3.2.- Características mineralógicas

En su conjunto, las muestras de la malla presentan características análogas a las determinadas para las muestras superficiales. Sin embargo, el carácter más extenso del muestreo ha puesto de manifiesto diferencias sustanciales en cuanto a su valoración mineralógica.

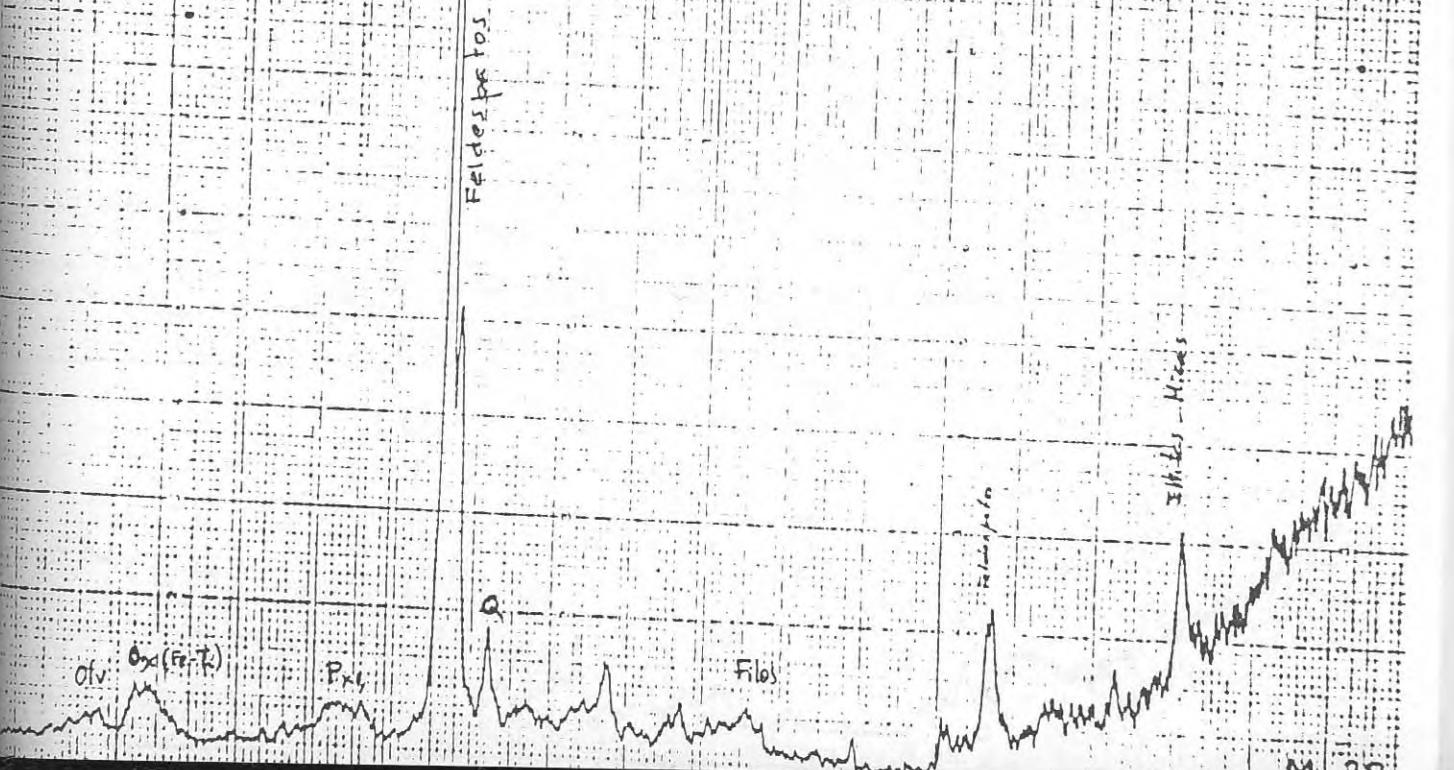
Las características de algunas de las muestra tipo de la malla se presentan en las Figs 22 y 23, donde se evidencia la existencia de una mineralogía básica bien



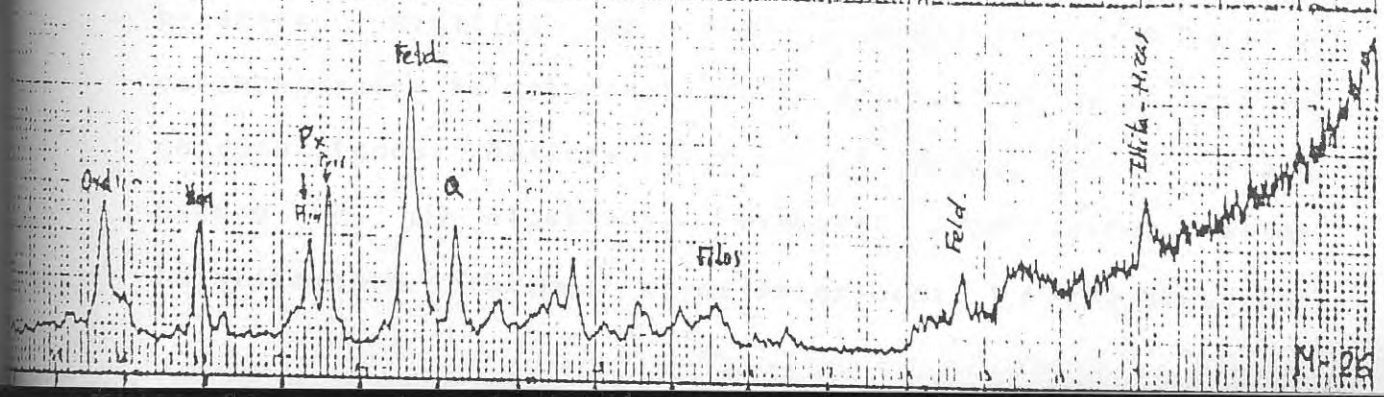
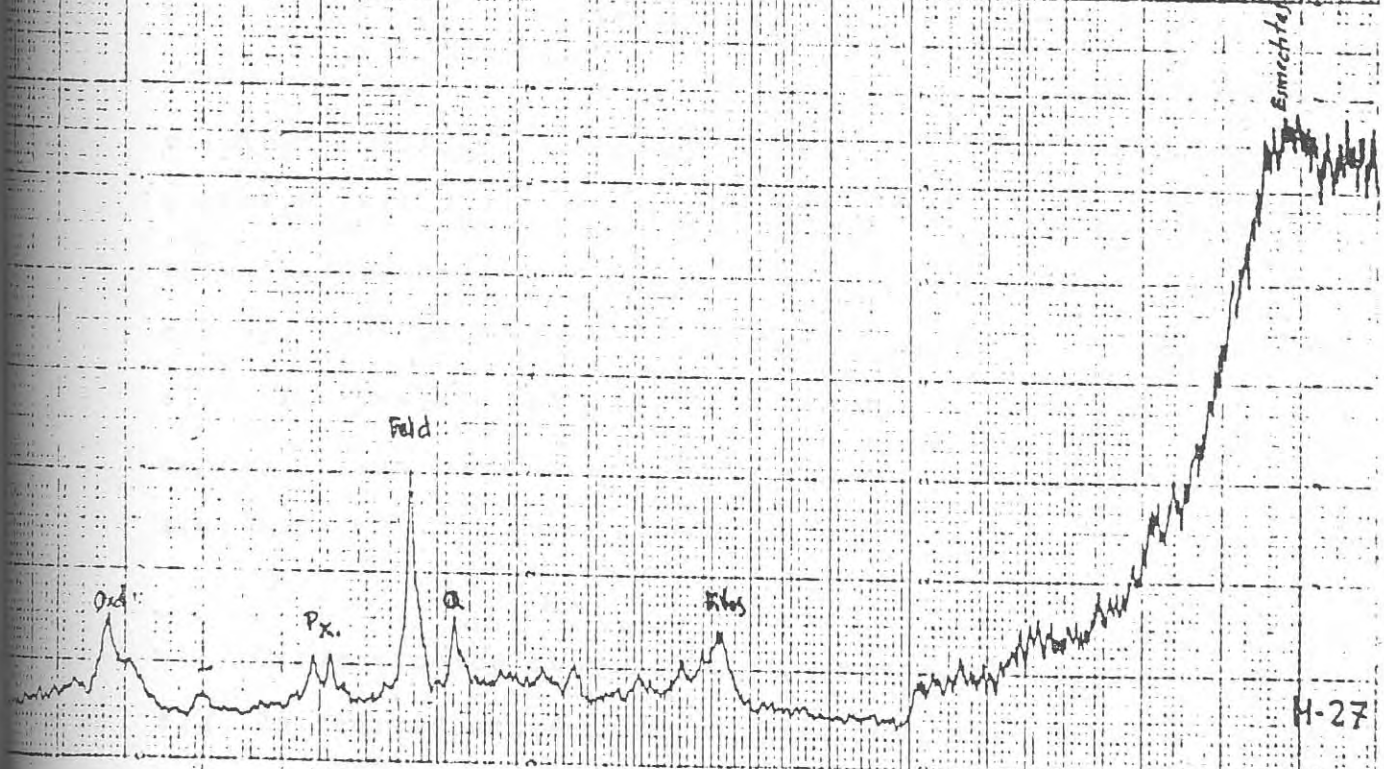
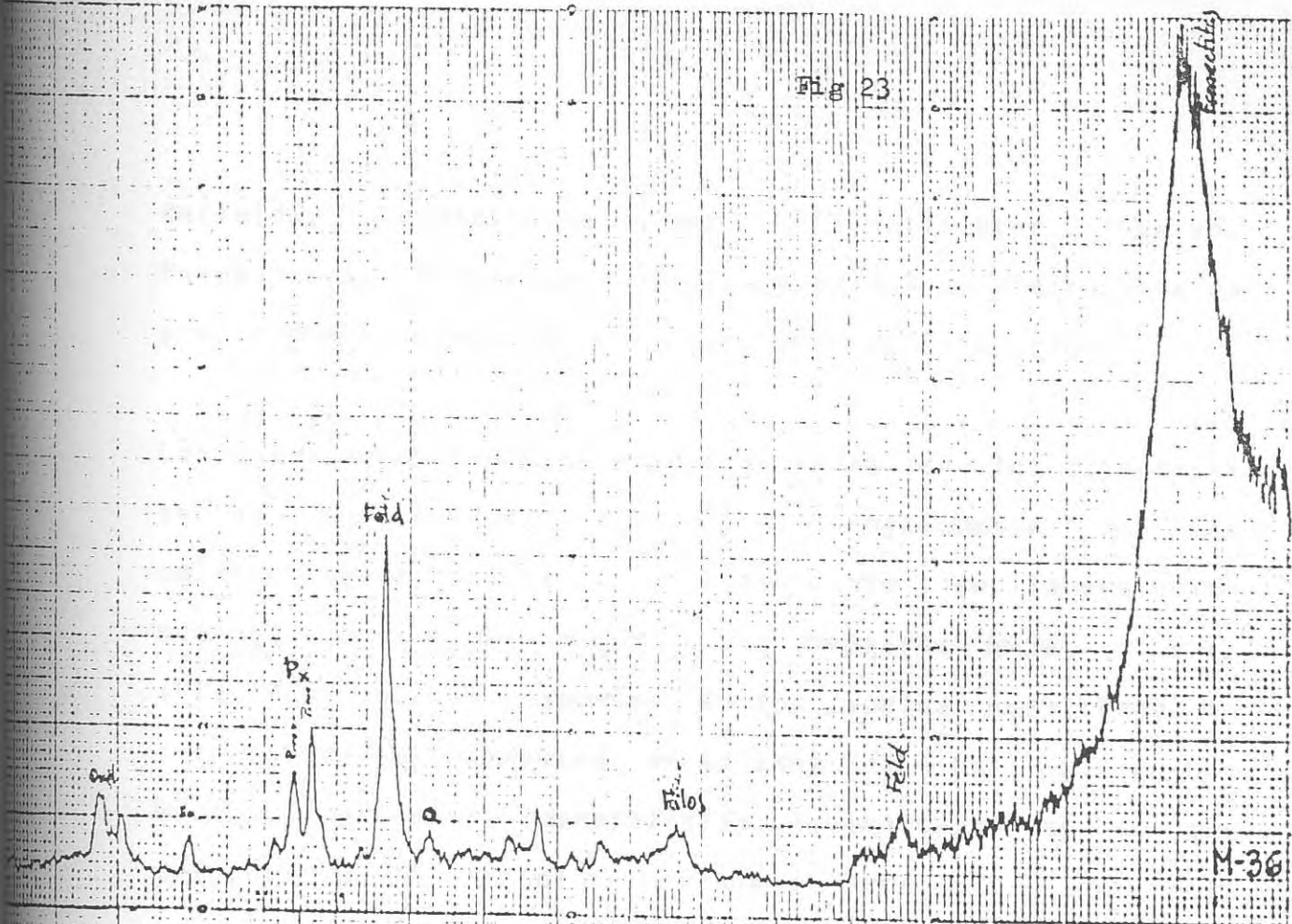
M-28



M-41



M-39



definida, constituida por Filosilicatos, Cuarzo, Feldespatos, Piroxenos, Olivino y óxidos de hierro, que es practicamente común en todas las muestras estudiadas.

Las variaciones cualitativas observadas en los diferentes suelos muestreados se deben lógicamente a las características primarias del área fuente y de la evolución edafológica de los mismos. Las muestras M-28 y M-41 (Fig 22), que corresponden a los suelos muestreados en relación a los sedimentos de la zona de La Laguna-Los Rodeos, presentan mineralogías equivalentes en lo que respecta a la fracción arcillosa (Filos) -con la presencia de illitas-micas y cloritas-serpentinias, feldespatos y minerales ferromagnesianos como piroxenos, olivinos y óxidos, así como de cuarzo en proporciones significativas-, mientras que la muestra M-38, correspondiente a la zona sur de la malla y en relación con las series sálicas recientes, presenta proporciones muy significativas de feldespatos y bajas concentraciones de cuarzo, aun cuando las restantes composiciones son similares.

Otras tipologías de suelos, como los analizados en la Fig 23 correspondientes a las muestras M-36 y M-27, presentan arcillas de tipo esmectítico, minerales estrechamente relacionadas con la alteración de materiales de rocas ígneas básicas ricas en Ca y Mg, con un lavado escaso y pH alcalinos, mientras que otros suelos relativamente próximos a los anteriores (M-26) presentan

composiciones mineralógicas próximas a las normalmente existentes en el área, sin que se observen procesos de alteración y de neoformación de arcillas.

A partir de los datos obtenidos mediante el análisis semicuantitativo efectuado en todas las muestras de la malla, se ha obtenido la composición modal de las fases mineralógicas más significativas, que previamente habían sido identificadas mediante difracción de Rayos-X. A partir de los datos numéricos (Cuadro 7) se han planteado los diversos esquemas de isoconcentraciones correspondientes a su distribución superficial. La información derivada de este planteamiento en conjunción con los diversos parámetros físico-químicos (pH, CE, análisis mecánico, cationes de cambio, etc) permitirá establecer los factores condicionantes de la distribución de elementos (traza y pesados) en la red de muestreo.

Filosicatos y Arcillas

Mineralógicamente suponen la fracción mineral más significativa de los suelos muestreados, constituyendo un valor medio del 62%, con límites de distribución de valores comprendidos entre el 55-66 % (Fig 24a). Su distribución regional no se caracteriza por la delimitación de áreas con predominio de concentraciones más ó menos señaladas (Fig 25), sino que tienden a presentar núcleos de forma individualizada.

CUADRO 7: Composición Mineralógica Modal en los Suelos de la Malla

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	M25
Fils	59	66	62	64	60	63	60	55	62	66	66	69	62	69	50	61	63	61	66	72	64	63	62	66	66
Q	3	7	5	6	5	4	6	7	4	5	6	5	3	5	8	3	5	5	3	2	5	6	5	3	7
Feld	16	8	13	12	10	14	14	17	14	11	10	7	8	6	19	15	12	12	11	3	9	10	12	10	8
Px	4	4	5	5	5	5	4	4	4	4	4	3	6	3	4	5	4	4	4	2	5	4	5	6	4
Olv	4	5	4	4	4	4	5	5	4	6	5	5	5	6	6	4	5	5	5	5	5	5	5	4	5
Hm	6	4	5	4	7	4	4	5	4	4	4	4	6	4	4	6	5	5	6	8	6	4	5	5	4
Ox	7	6	6	5	8	6	7	7	6	6	6	6	9	6	8	5	8	8	6	8	7	7	7	7	6

	M26	M27	M28	M29	M30	M31	M32	M33	M34	M35	M36	M37	M38	M39	M40	M41	M42	M43	M44	M45	M46	M47	M48	M49
Fils	62	65	60	60	53	66	55	55	59	66	58	57	55	57	64	62	64	65	64	57	64	57	69	59
Q	3	3	9	3	4	4	4	4	6	4	3	5	4	3	3	8	6	7	8	2	8	8	3	7
Feld	14	11	11	8	14	13	14	14	16	10	13	16	21	16	10	8	10	8	8	11	11	14	9	10
Px	6	5	4	7	10	9	8	5	4	4	4	6	5	8	5	5	5	4	7	7	4	4	4	5
Olv	11	4	4	11	5	6	4	4	5	8	5	5	4	5	8	7	4	4	4	4	4	4	4	5
Hm	10	8	7	9	9	7	8	6	6	6	7	7	6	8	11	7	7	7	8	4	4	4	6	9
Ox	4	4	6	4	4	4	6	4	5	5	4	4	4	4	5	6	6	5	6	8	8	7	6	6

Análisis de DEX, R. Gonzalez, Laboratorio de Rayos-X (MNCN). CSIC.

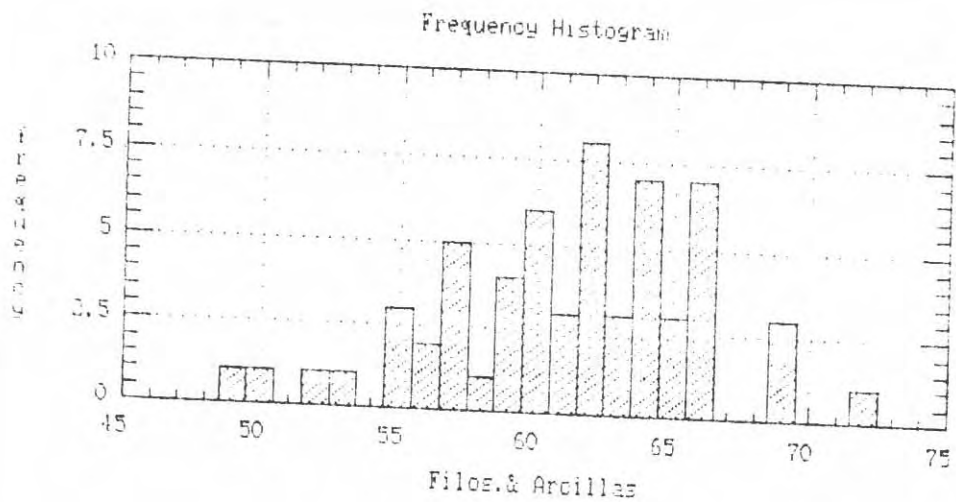


Fig 24a

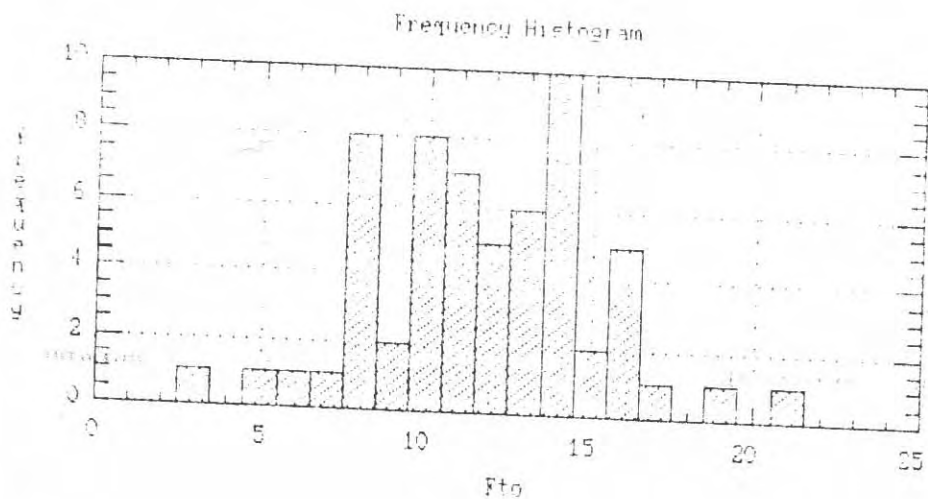


Fig 24b

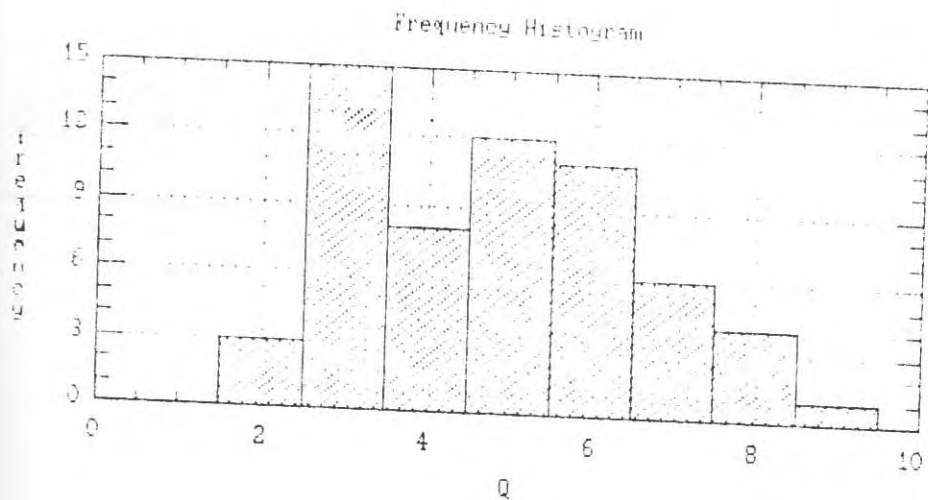


Fig 24c

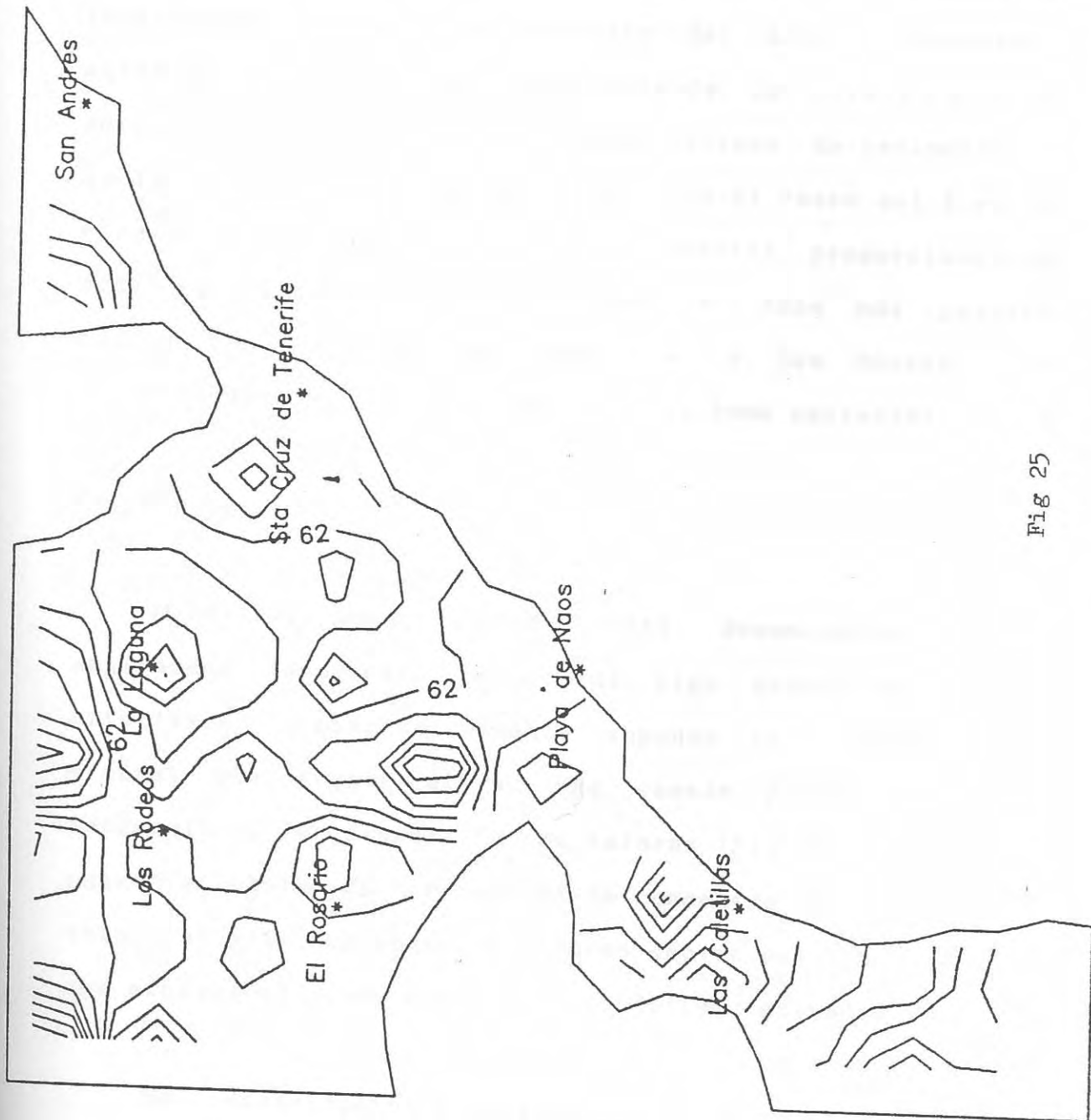


Fig 25

Los valores de máxima concentración tienden a localizarse en la zona noroeste del área de muestreo, extendiéndose desde la parte norte de La Laguna hacia el sureste de El Rosario, ocupando la zona de sedimentos y suelos clasificados como anfisoles. En el resto del área de estudio la tendencia es a presentar menores proporciones de arcillas, aspecto este último que se hace más patente en la zona sur de Las Caletillas y San Andrés, en correspondencia con suelos catalogados como entisoles.

Feldespatos

Mineralógicamente, bajo esta denominación quedan englobados feldespatos tanto de tipo anortoclásico como ortoclasas. Cuantitativamente suponen la segunda fase mineral más significativa, aun cuando presenten cierta tendencia a la dispersión de valores (Fig 24b); así, aun cuando el máximo de frecuencias de concentración se centra en torno al 14%, se observan valores dentro del rango 8-16%, con escasos términos fuera de los límites indicados.

Su distribución geográfica tiende a presentar concentraciones superiores al 12% (Fig 26a) en zonas situadas hacia el sur de Sta. Cruz de Tenerife. Estas tendencias distributivas responderían lógicamente a un mayor aporte de feldespatos en relación con las series sálicas recientes, así como el escaso grado evolutivo de estos suelos, que presentan una importante carga de componentes

SUELOS TENERIFE : Feldespatos

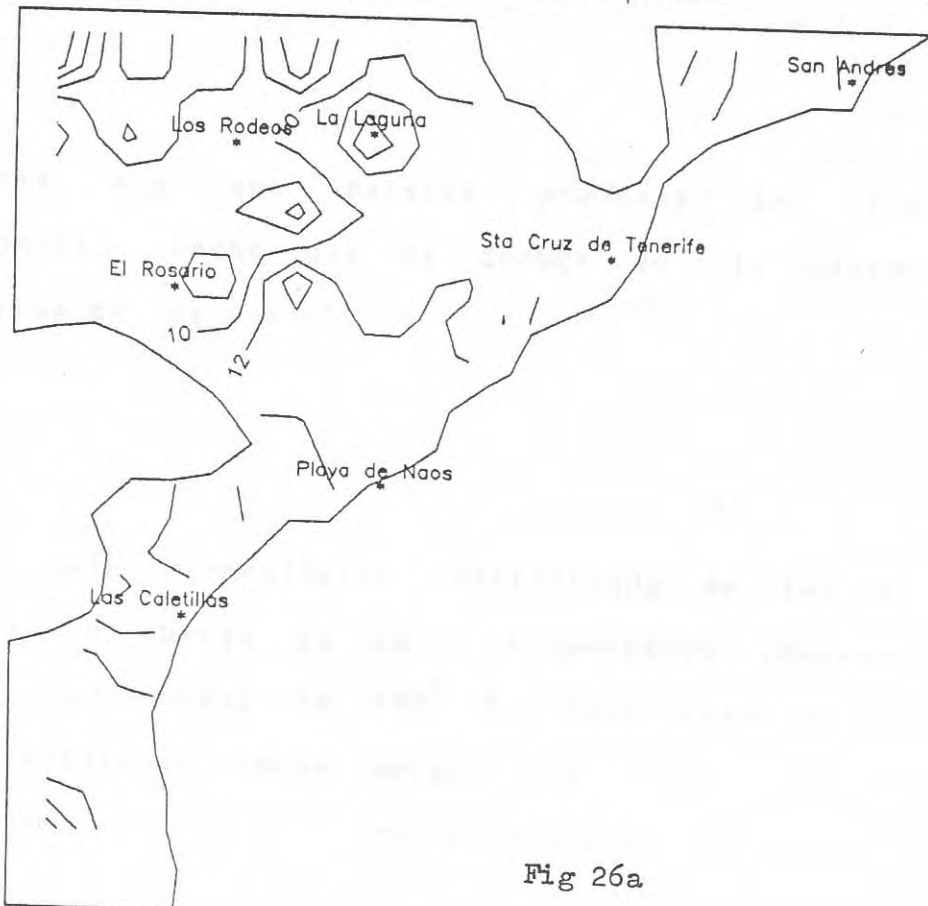


Fig 26a

SUELOS TENERIFE: CUARZO

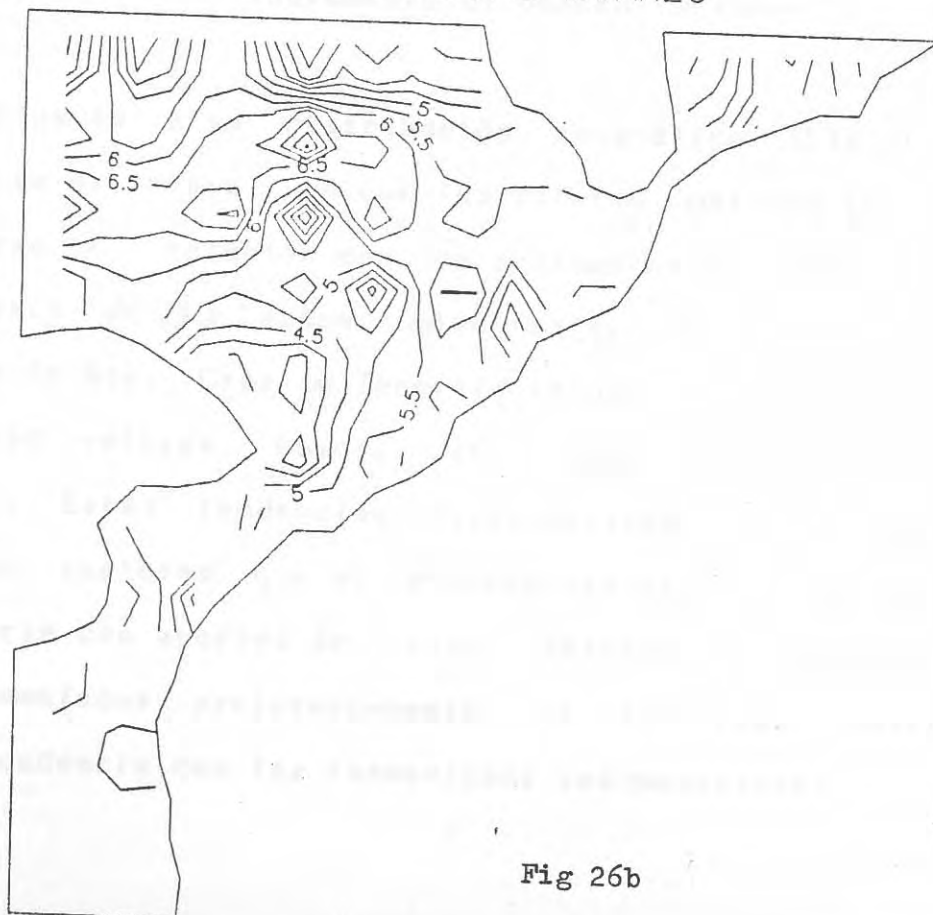


Fig 26b

minerales sin que existan procesos de alteración importantes, hecho que se deduce de la ausencia de caolinitas en los suelos.

Cuarzo

La fase mineralógica identificada es la de cuarzo ordinario o cuarzo de baja temperatura (cuarzo-beta), generado por debajo de 573° C. Este tipo de cuarzo es característico de rocas metamórficas (cuarcitas) y otras rocas magmáticas de baja temperatura como las pegmatitas.

La máxima frecuencia de concentraciones (Fig 24c) se centran sobre el 3%, aun cuando existe un segundo valor máximo en torno al 5%, valores que decrecen rápidamente en consonancia con el incremento de concentraciones.

Respecto a su distribución geográfica (Fig 26b), su tendencia es clara, ya que los valores máximos tienden a centrarse en relación con los sedimentos situados al norte y noroeste de La Laguna, mientras que en la parte sur y noreste de Sta. Cruz de Tenerife (zona de San Andrés) presentan valores bajos, inferiores a la media general. Estas tendencias distributivas y el carácter alóctono sugieren que su procedencia esté relacionada en gran parte con aportes de tipo eólico, aportes que son acumulados preferentemente en la zona norte en correspondencia con las formaciones sedimentarias.

Piroxenos

Los minerales ferromagnesianos, tales como los piroxenos, principalmente de tipo augítico, presentan concentraciones predominantes en torno al 4% (Fig 27a), que decrecen rápidamente hacia valores extremos en torno al 10-13 %. Su distribución superficial (Fig 28a) señala zonas puntuales con concentraciones más elevadas, que se sitúan preferentemente en zonas próximas a los afloramientos de basaltos miocenos de Anaga y zonas situadas al norte de Las Caletillas y suroeste de Candelaria, con zonas de menor concentración en el área central situada entre la Laguna y El Rosario.

Olivino

Corresponden predominantemente al tipo fayalítico (término férrico), sin grandes variaciones en cuanto a su composición modal (4-6%). En general el olivino experimenta procesos de alteración bastante significativos, como sugiere la existencia de serpentinas, que se han determinado en algunos de los difragtogramas efectuados.

En cuanto a su distribución superficial, las máximas concentraciones relativas (Fig 28b) tienden a centrarse en el área delimitada por La Laguna, El Rosario y Santa Cruz de Tenerife, en correspondencia con las formaciones sedimentarias.

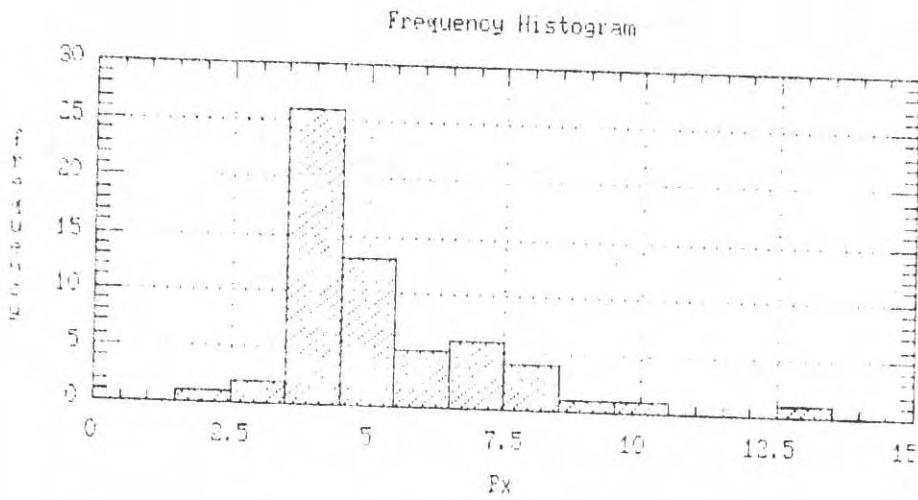


Fig 27a

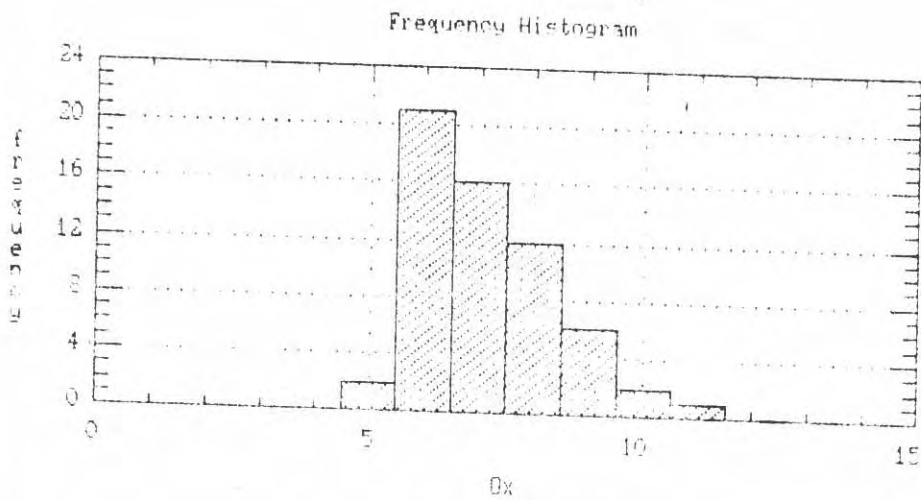


Fig 27b

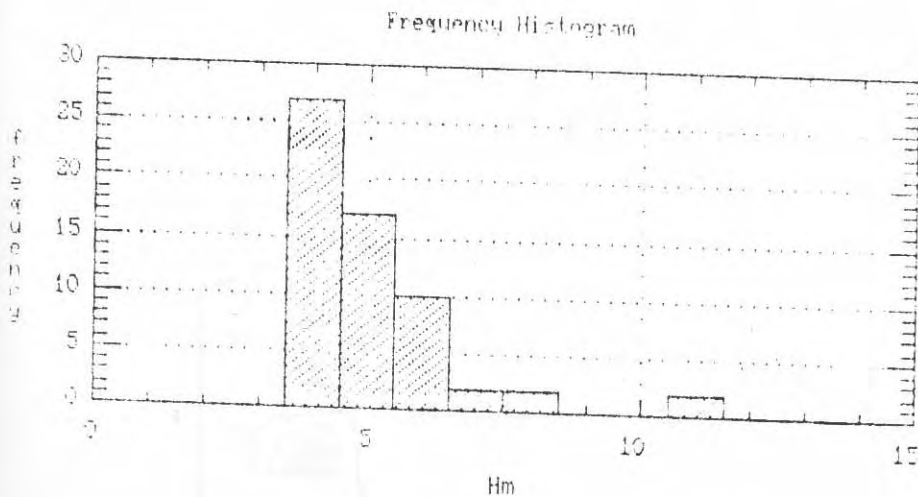


Fig 27c

SUELOS DE TENERIFE : Piroxenos

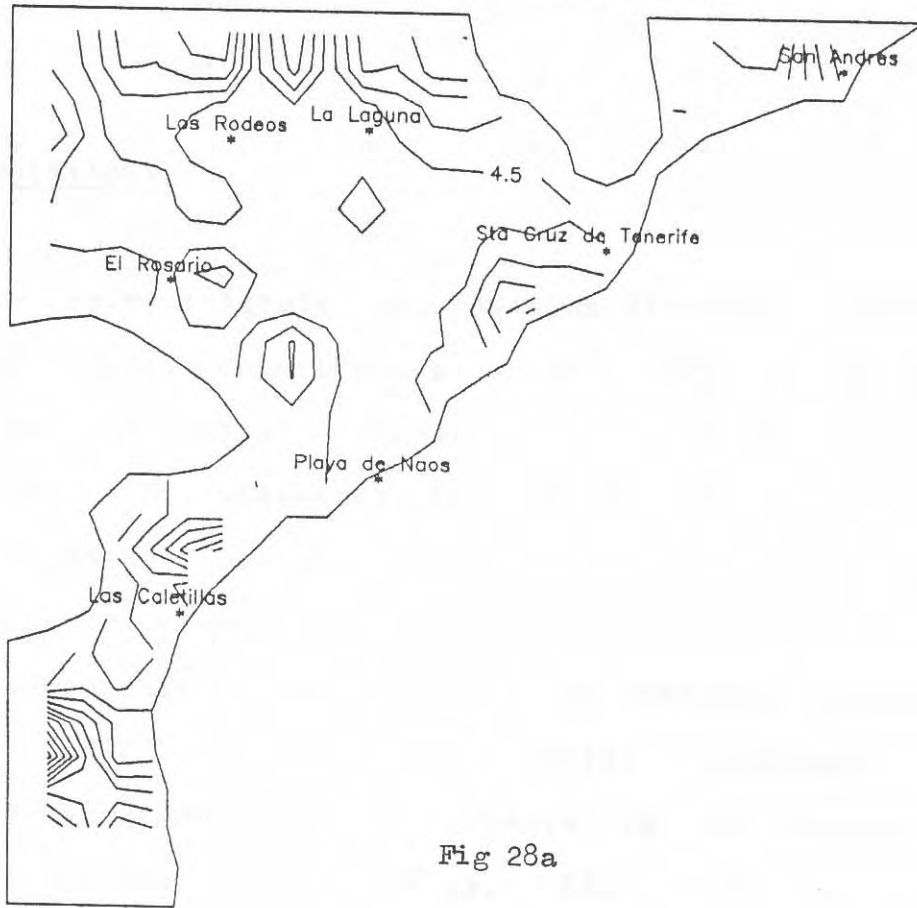


Fig 28a

SUELOS TENERIFE : Olivino

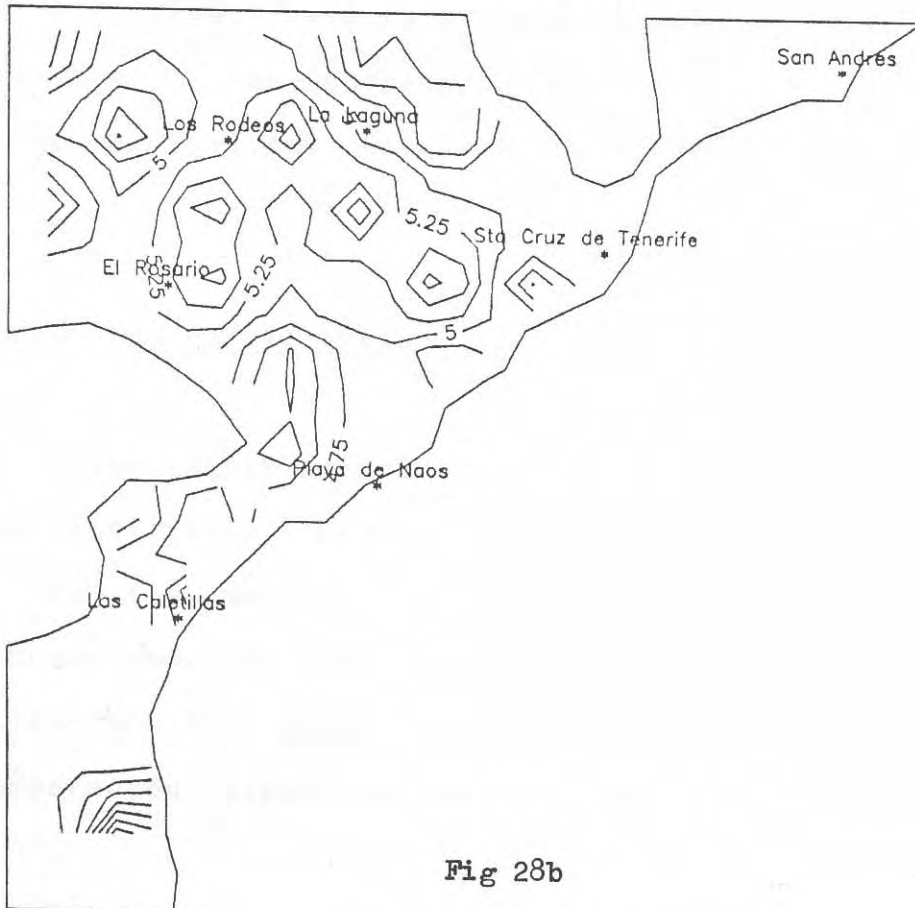


Fig 28b

Oxidos metálicos

Bajo este epígrafe se engloban diversas tipologías, que han sido cuantificadas como óxidos de Fe-Ti (magnetitas-ilmenitas) y hematites. El primer grupo de óxidos de Fe-Ti presentan sus máximas frecuencias de concentración en torno al 6%, disminuyendo escalonadamente hasta alcanzar valores en torno al 10% (Fig 27b); la hematites presenta valores medios algo menores, alrededor del 4% (Fig 27c), y tendencias similares de distribución, como se hace patente en los esquemas de concentración superficiales (Figs. 29a y b), en los que se observa la estricta correspondencia. En ambos casos las máximas concentraciones se centran en las zonas bien delimitadas por los sedimentos entre La Laguna y El Rosario, y otra situada entre El Rosario y la Playa de Naos, en correspondencia con un sustrato constituido por basaltos recientes (Serie III).

3.3.- Contenidos en elementos traza y metales pesados.

Las determinaciones de concentraciones totales de elementos minoritarios (Cuadro 8) se han hecho extensivas no sólo a los típicamente considerados como contaminantes, también conocidos como elementos pesados -Cu, Ni, Cr, Zn, Pb y Cd-, sino también a algunos otros como Sr, V y Ti, que por su incorporación significativa en la estructura de

CUADRO: 8. Contenido Total de Elementos en Suelos de la Malla

	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	M-21	M-22	M-23	M-24	M-25	
TiO ₂	3.39	2.85	2.73	2.82	5.29	2.57	3.02	3.72	2.75	2.94	3.06	3.39	4.62	3.32	3.72	1.15	4.23	4.56	2.6	6.04	3.7	2.98	—	4.49	4.82	2.61
Sr	41	14	46	32	32	24	47	163	40	275	20	104	25	92	187	463	183	13	153	42	106	255	—	54	30	178
Cu	19	47	3	50	64	26	24	77	32	24	3	244	54	27	88	3	38	50	42	26	37	54	—	37	46	79
Ni	44	11	44	63	50	50	55	89	56	45	62	117	255	76	74	67	78	75	110	53	124	90	—	49	93	55
Cr	71	153	62	102	113	87	133	154	73	75	143	153	544	102	105	46	136	133	139	19	339	15	—	102	142	150
V	29	28	209	237	37	21	24	29	216	255	237	26	34	284	222	74	344	33	206	338	337	233	—	333	347	239
Mo	0.4	0	1.8	4.3	2.9	3.3	4.5	1.6	0	2.3	0	4.9	0.6	0	4.1	0	0.2	3.7	2.5	2.3	0.6	0	—	5.4	0	0
Pb	13	23	18	69	10	3	19	60	18	19	0	18	19	21	20	26	14	13	24	25	24	36	—	12	41	30
Zn	100	194	116	102	134	106	104	124	112	125	108	179	95	144	148	106	96	107	96	90	119	189	—	109	75	236
Co	3	3	27	23	51	30	3	44	33	33	44	36	63	34	3	17	43	40	33	45	27	43	—	46	46	46

(Analisis de FRX)

	M-1	M-2	M-3	M-4	M-5	M-6	M-7	M-8	M-9	M-10	M-11	M-12	M-13	M-14	M-15	M-16	M-17	M-18	M-19	M-20	M-21	M-22	M-23	M-24	M-25	
Cu	18	5	64	47	66	24	37	80	60	19	29	255	60	22	90	29	37	49	33	27	34	44	—	36	56	3
Ni	39	67	65	51	51	44	44	73	44	36	63	109	288	53	74	43	67	65	74	23	115	72	—	43	69	30
Cr	73	113	102	101	112	93	90	131	65	60	133	137	433	71	170	61	130	125	77	30	102	110	—	104	131	55
V	160	21	174	130	35	172	187	212	150	150	199	237	287	237	239	69	255	301	144	229	229	237	—	336	317	133
Pb	19	22	32	52	7	35	26	59	21	24	16	16	16	24	23	13	9	23	15	13	17	25	—	13	33	15
Zn	118	152	212	172	146	96	93	200	112	110	93	176	103	92	104	82	91	122	72	124	120	176	—	105	65	129
Cd	0.05	0.09	0	0	0.04	0	0.01	0	0.21	0.13	0.14	0.2	0.21	0.05	0.43	0.16	0.13	0.13	0.13	0.1	0.17	0.13	—	0.17	0.18	0.11

(Analisis de A)
 Lab. de Geoquímica: M. Isabel Ruiz Pineda y M. A. Vallejo.
 Lab. de Rayos-X: R. Gonzalez.
 Museo Nacional de Ciencias, C. S. I. C.

CUADRO : 8 (cont) . Contenido Total de Elementos en Suelos de la Malla

	M-27	M-28	M-29	M-30	M-31	M-32	M-33	M-34	M-35	M-36	M-37	M-38	M-39	M-40	M-41	M-42	M-43	M-44	M-45	M-46	M-47	M-48	M-49
TiO ₂	3.35	3.07	4.55	2.45	4.01	3.4	2.39	3.61	4.43	3.61	3.59	1.98	2.39	6.93	2.75	3.0	2.76	2.7	3.45	4.35	2.89	3.25	4.89
Sr	539	425	555	575	157	1009	627	428	445	458	502	373	432	85	114	130	106	137	455	450	238	179	150
Cu	42	59	15	66	40	68	60	82	70	82	88	23	27	68	67	43	69	71	58	109	39	48	66
Ni	85	45	12	116	83	44	127	95	95	234	255	48	39	121	94	102	88	101	90	150	87	68	111
Cr	45	63	42	181	122	58	138	338	333	339	607	58	73	542	445	455	133	132	447	511	135	78	322
V	22	257	337	215	288	300	308	22	333	22	297	133	233	425	244	222	244	247	226	339	233	256	334
Mo	1.8	0	0.4	3.3	0	5.8	7	0	0	4.3	0	0.6	6.4	3.7	2.7	1.8	2.3	1.6	4.5	0	0.5	0.8	1.6
Pb	6	11	12	44	15	25	13	11	12	11	7	10	44	13	30	59	42	27	37	11	19	26	21
Zn	101	110	133	133	61	135	118	71	71	86	90	113	155	120	166	141	224	235	199	99	124	95	149
Co	41	37	3	35	41	38	35	55	55	58	56	19	3	57	44	39	41	42	41	55	38	38	48

(Análisis de FRX)

	M-27	M-28	M-29	M-30	M-31	M-32	M-33	M-34	M-35	M-36	M-37	M-38	M-40	M-41	M-42	M-43	M-44	M-45	M-46	M-47	M-48	M-49	
Cu	52	47	51	66	35	69	58	127	69	92	104	23	88	62	60	68	60	57	57	156	38	45	76
Ni	88	48	63	107	64	45	120	68	85	155	215	33	177	57	67	75	97	68	68	131	71	58	134
Cr	131	67	99	191	101	66	114	42	239	338	600	57	455	105	87	99	115	128	128	421	110	115	227
V	25	155	217	234	219	222	137	233	322	291	292	152	321	168	122	138	135	233	233	335	233	238	291
Pb	20	12	17	27	10	25	18	33	15	13	15	11	20	15	45	25	30	24	24	44	15	22	25
Zn	66	93	191	127	69	205	115	271	82	83	109	100	132	172	123	220	200	122	122	91	121	22	47
Cd	0.2	0.14	0.12	0.21	0.12	0.24	0.19	0.21	0.23	0.25	0.24	0.17	0.25	0.11	0.09	0.12	0.25	0.2	0.23	0.1	0.15	0.2	

(Análisis de A.A)

Lab. de Geoquímica: M. Isabel Ruiz Pineda y M. A. Vallejo.

Lab. de Rayos-X: R. Gonzalez.

Museo Nacional de Ciencias. C.S.I.C.

SUELOS TENERIFE : Oxidos

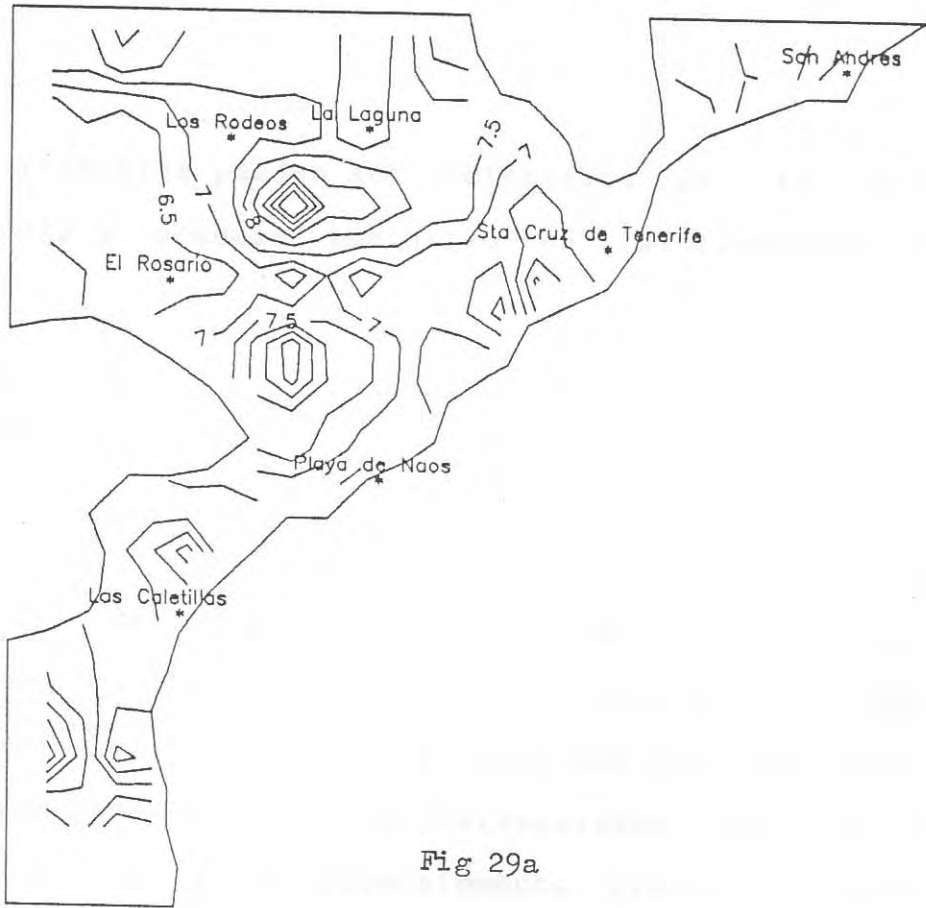


Fig 29a

SUELOS DE TENERIFE : Hematites

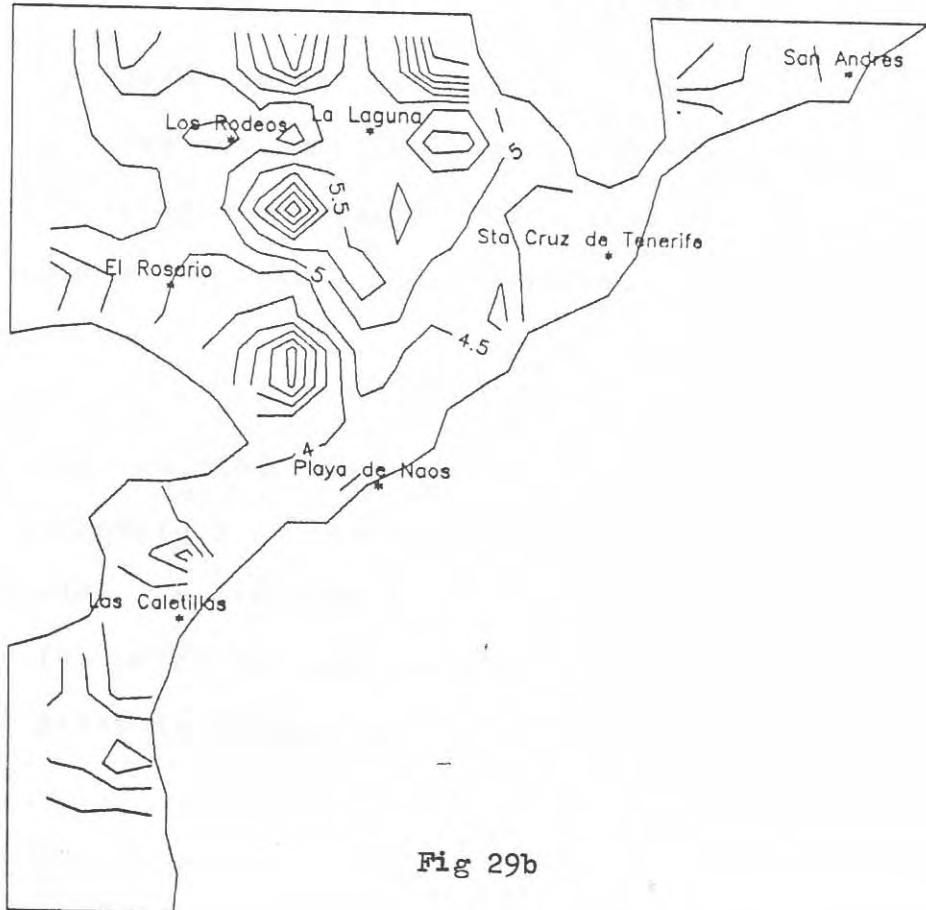


Fig 29b

ciertos minerales pueden ser indicativos de su área de procedencia y proceso evolutivo en la formación de los suelos.

Estroncio

Es un elemento que por sus características de coeficiente de reparto tiene tendencia a incorporarse preferente en relación con fases minerales, como los piroxenos, otras como las plagioclas que contienen calcio y, en general, con materiales carbonatados, por lo que las pautas de variación de este elemento pueden utilizarse en la geoquímica de suelos como elemento guía de fenómenos de alteración y/o precipitación de carbonatos (costras calcáreas, caliches etc).

Su concentración en los suelos estudiados presenta un rango relativamente amplio, como se observa en la Fig 30a, con dos valores de máxima frecuencia en torno a los 100-200 ppm y 500 ppm, y escasos valores superiores a estos límites.

Su distribución superficial (Fig 31), señala una marcada tendencia a su concentración en la zona de costa y en particular en la zona de San Andrés y sur de Sta Cruz de Tenerife, mientras que la zona interna (La Laguna-El Rosario) presenta mínimos de concentración.

Vanadio

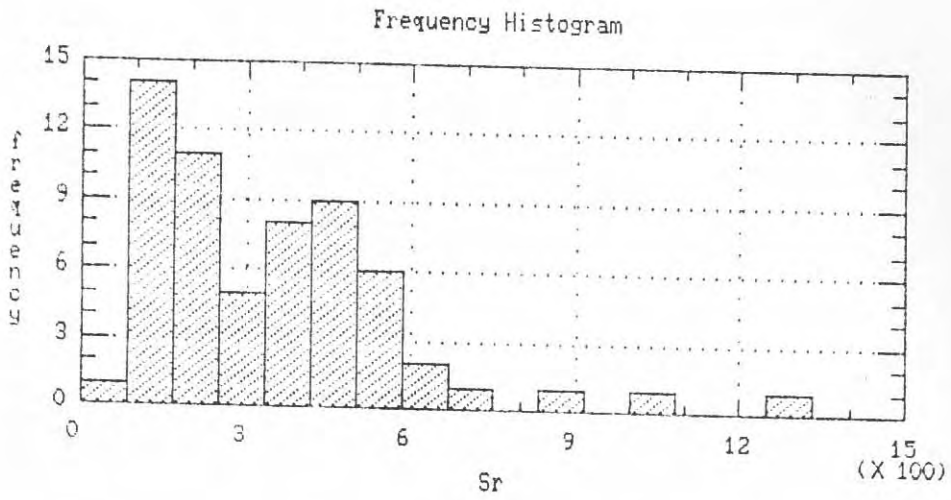


Fig 30a

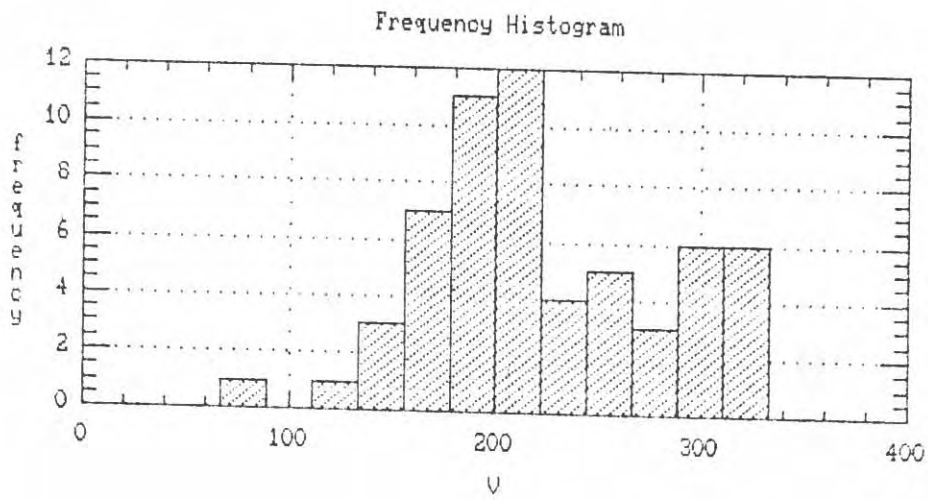


Fig 30b

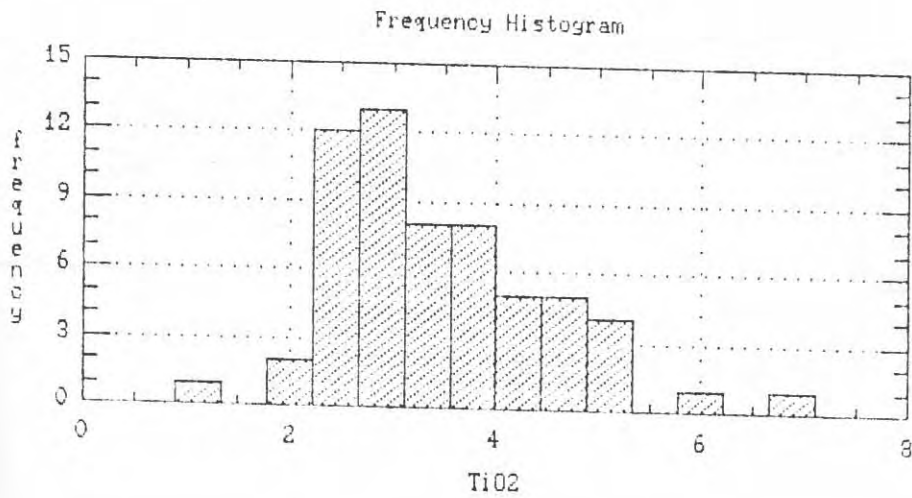


Fig 30c

SUELOS TENERIFE : SR (ppm)

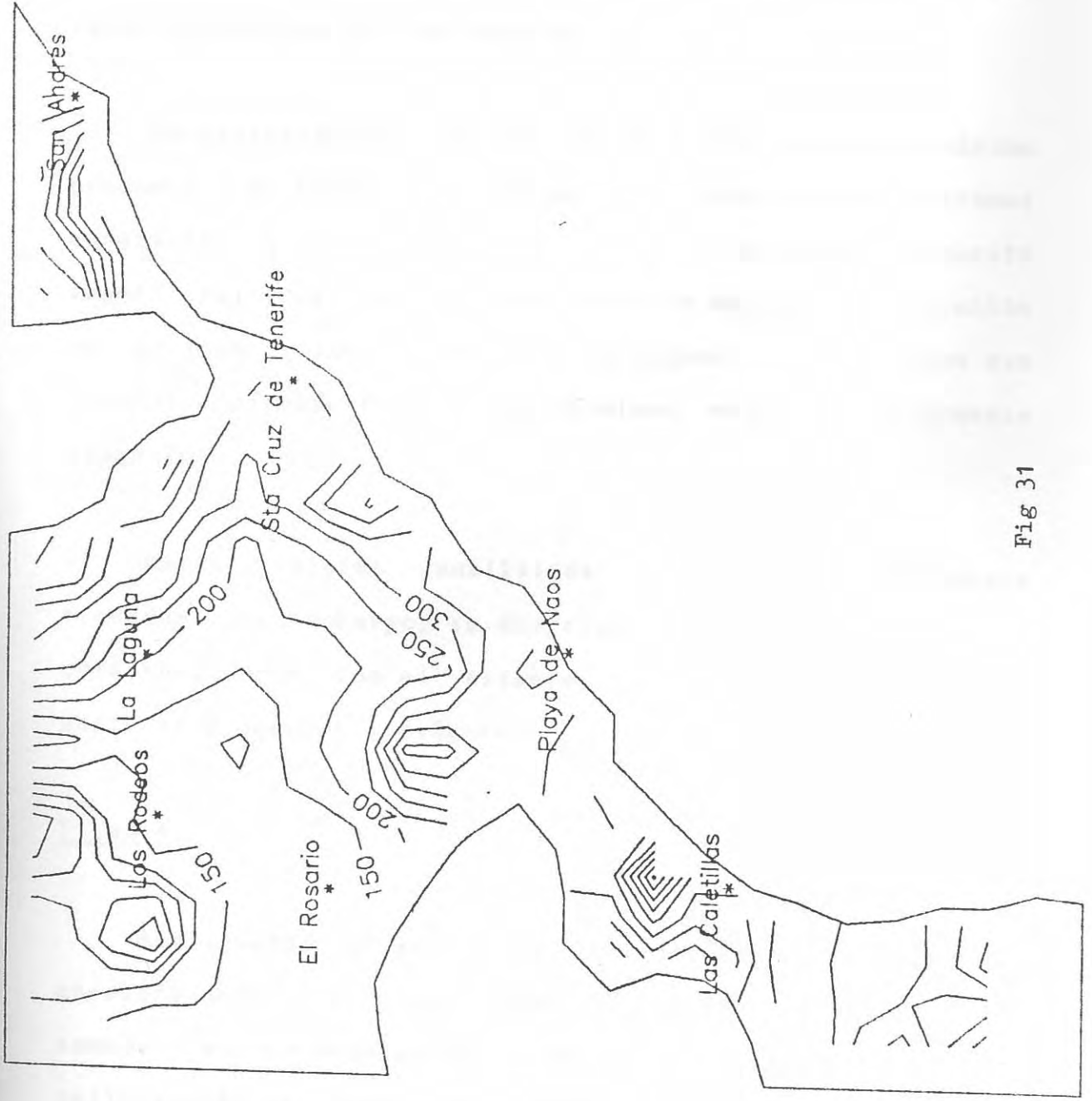


Fig 31

Su presencia esta normalmente asociada a la existencia de minerales y óxidos de hierro-titanio, frecuentes en las rocas volcánicas de tipo básico.

Su histograma de frecuencias (Fig 30b) señala un máximo predominio en torno a las 200 ppm, así como valores extremos superiores a los 300 ppm, mientras que su distribución superficial (Fig 32a) señala zonas de máxima concentración en la zona situada al sur de La Laguna, con valores que tienden a disminuir hacia los términos medios anteriormente expuestos.

Estos valores analíticos son significativamente elevados. Sin embargo, su distribución presenta una marcada correspondencia con el titanio, lo que descarta en gran parte su procedencia exógena.

Titanio

Aun cuando no supone un elemento traza y tampoco se encuadra dentro de los elementos contaminantes, ha sido tomado en consideración como elemento guía para la delimitación de áreas con predominio de óxidos minerales (magnetita-ilmenita).

Los valores de concentración observados (Fig 30c) presentan un máximo predominio en torno al 3% y valores menos frecuentes que alcanzan concentraciones extremas

SUELOS TENERIFE: V (ppm)

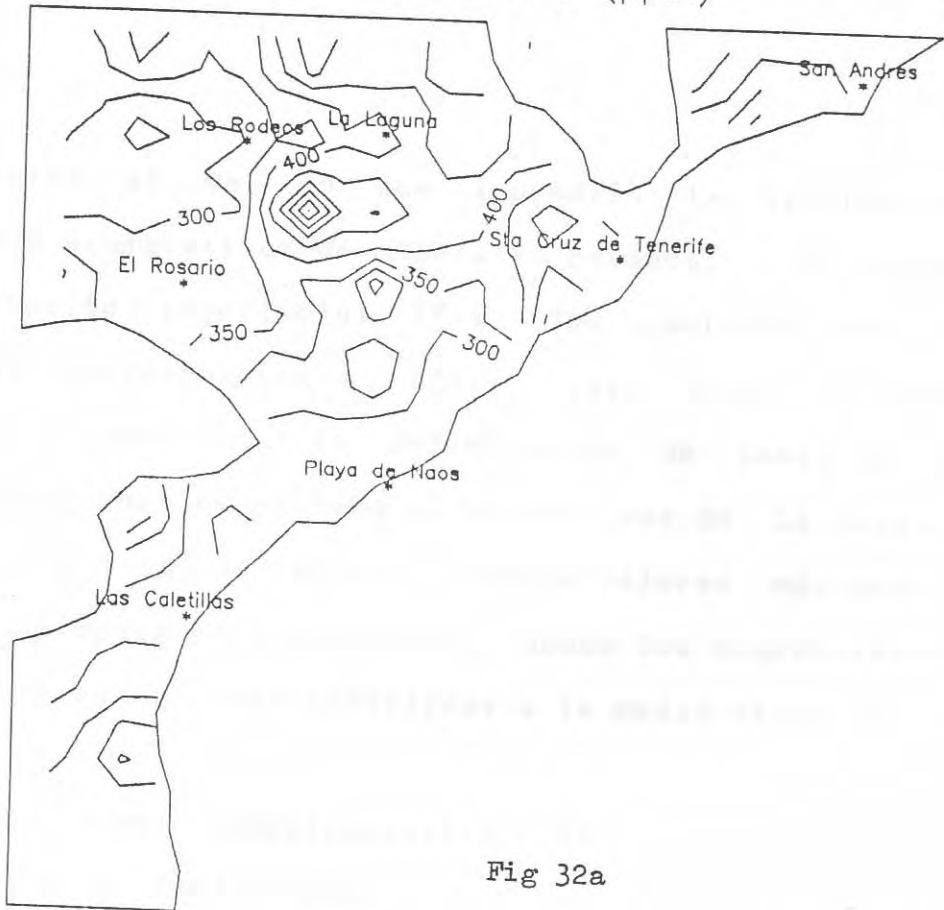


Fig 32a

SUELOS TENERIFE : TiO2 (%)

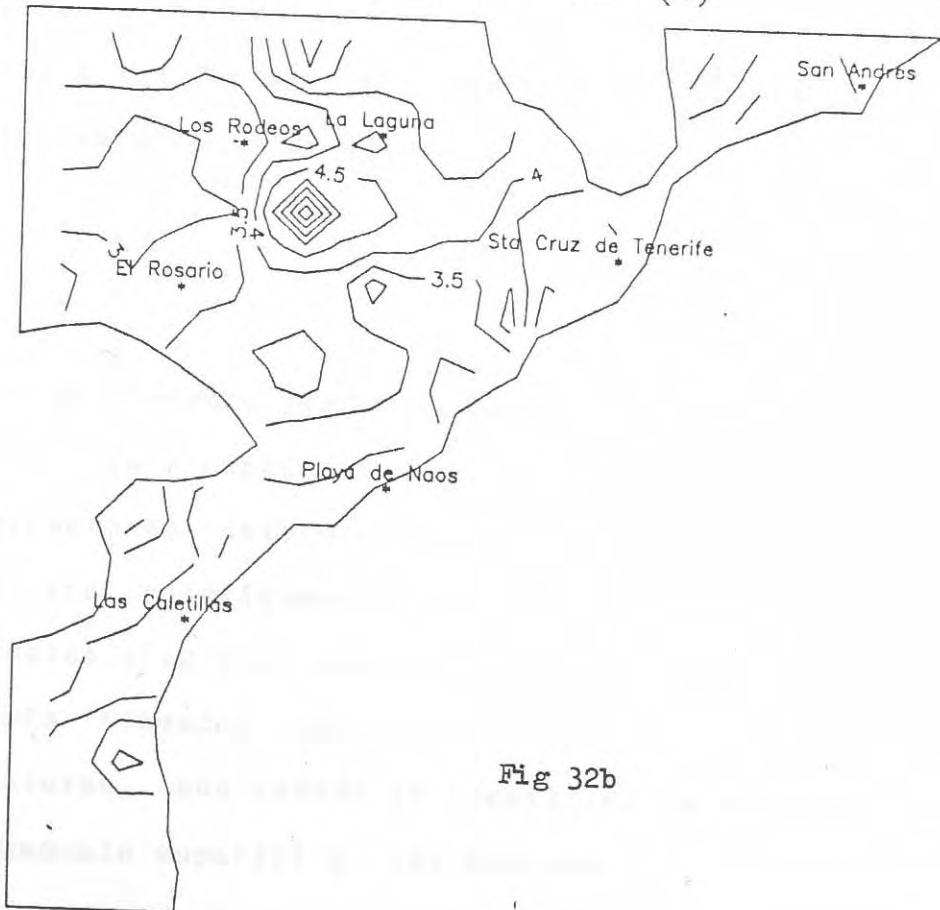


Fig 32b

superiores al 4%, lo que supondría la existencia de procesos acumulativos de minerales pesados. El esquema de distribución superficial (Fig 32b0 confirma asimismo la marcada correspondencia entre las distribuciones de titanio y vanadio con la delimitación de zonas de máximas concentraciones en el área situada al sur de La Laguna. El resto del área de estudio presenta valores más moderados, particularmente en la zona sur, donde las concentraciones de titanio y vanadio son inferiores a la media establecida.

De forma complementaria se ha efectuado la determinación de Molibdeno y de Cobalto en los suelos de la malla, con el fin de establecer sus niveles medios en relación con su origen magmático. Los diagramas de frecuencia (Fig 33 a y b) presentan valores moderados para el molibdeno, que no superan los 7 ppm, y para el cobalto, en torno a los 25-45 ppm, valores que pueden considerarse normales para rocas de tipo basáltico.

Cobre

Es un elemento preferentemente retenido por los suelos por su capacidad de cambio catiónico. Las concentraciones determinadas en las diferentes muestras de suelos son relativamente homogéneas; el histograma de frecuencias (Fig 34a) señala valores en torno a 30-40 ppm y otros más elevados -sobre los 60 ppm-, con pocos fuera de este entorno, aun cuando se identifica la existencia de un valor anómalo superior a los 200 ppm.

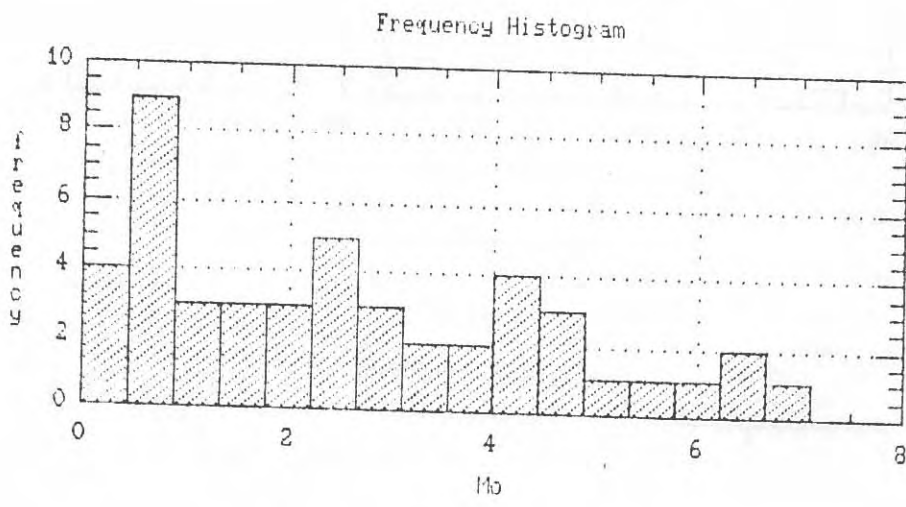


Fig 33a

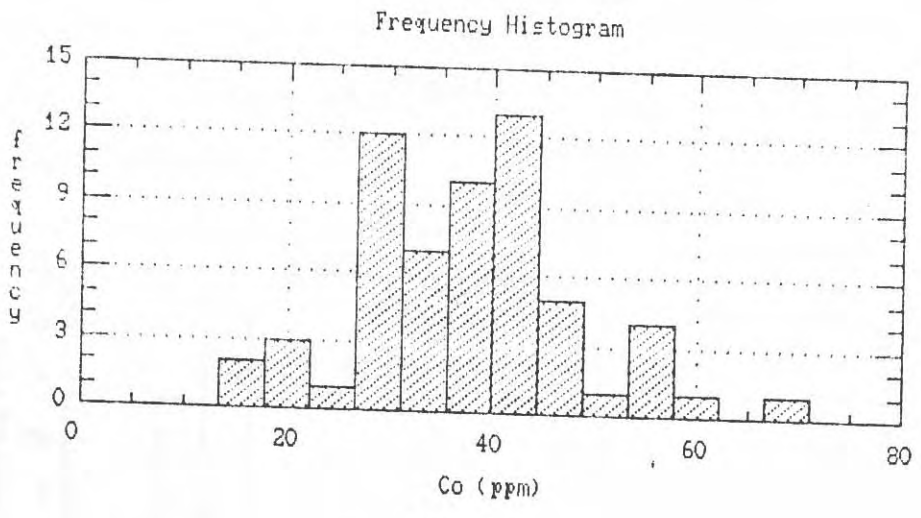


Fig 33b

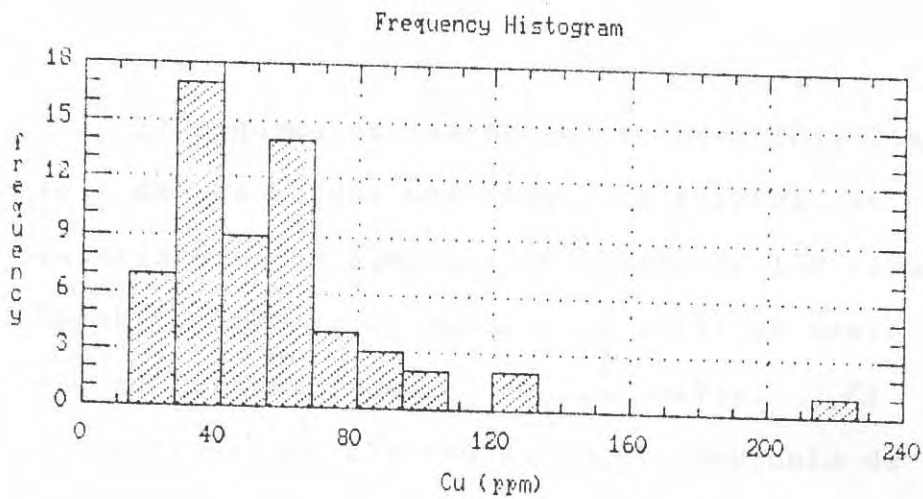


Fig 34a

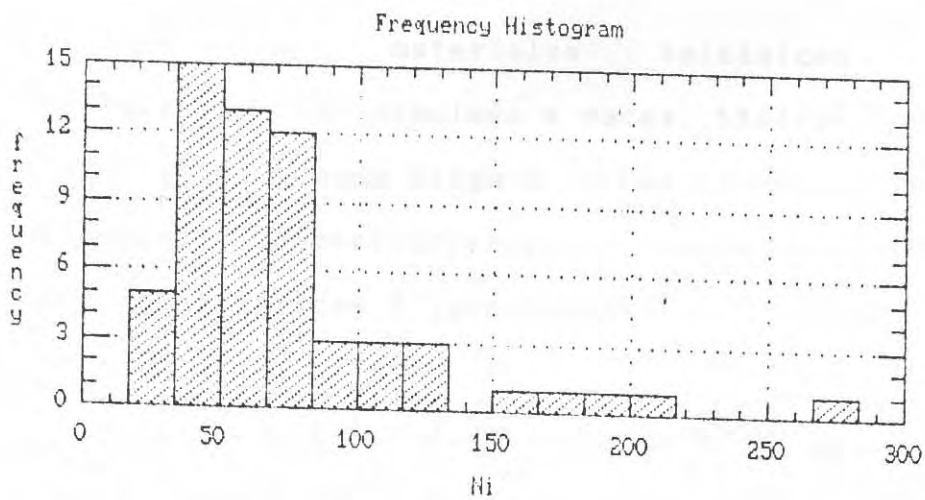


Fig 34b

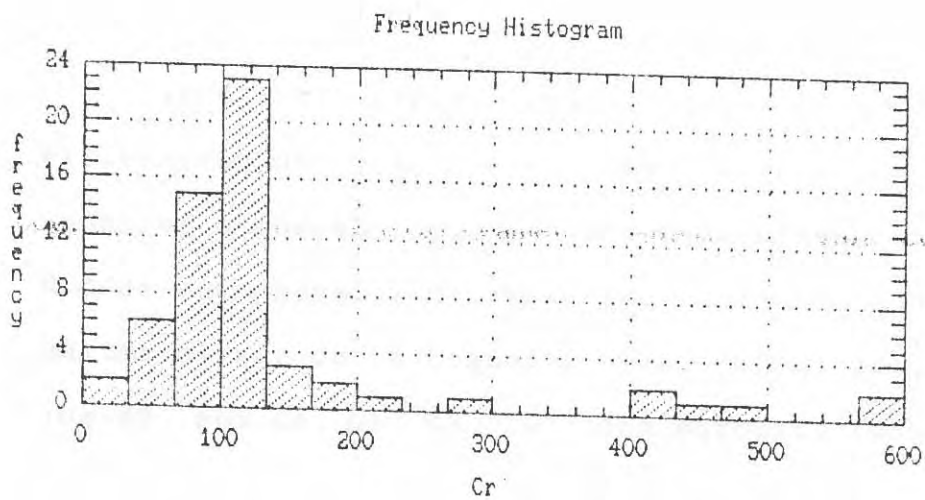


Fig 34c

El esquema de isoconcentraciones (Fig 35a), delimita al sur de La Laguna una zona con valores de concentraciones superiores a 50 ppm, con un máximo de 130 ppm al este de El Rosario. Este valor anómalo se sitúa al oeste de Los Rodeos, en el extremo oeste de la malla. El resto de las concentraciones observadas en el conjunto de la malla son claramente inferiores a los valores medios determinados.

Niquel

En los materiales volcánicos se presenta preferentemente asociado a rocas básicas con fenocristales de olivino, donde llega a alcanzar valores relativamente elevados, concentraciones que disminuyen rápidamente en las rocas sálicas é intermedias.

Las concentraciones determinadas en los suelos de la malla señalan que su máxima frecuencia (Fig 34b) se centra en torno a los 50-80 ppm, valores que decrecen rápidamente. Se observan sin embargo concentraciones límite de 150 ppm.

Las distribuciones superficiales (Fig 35b) señalan la existencia de una zona con valores de concentración superior a los 60 ppm y que conciernen al área de Los Rodeos-La Laguna y El Rosario, con una zona de anomalía máxima al sur de La Laguna y otra con valores superiores a los 80 ppm de Ni en la zona noroeste (Mña. de Guerra).

Cromo

SUELOS TENERIFE: CU (-ppm-)

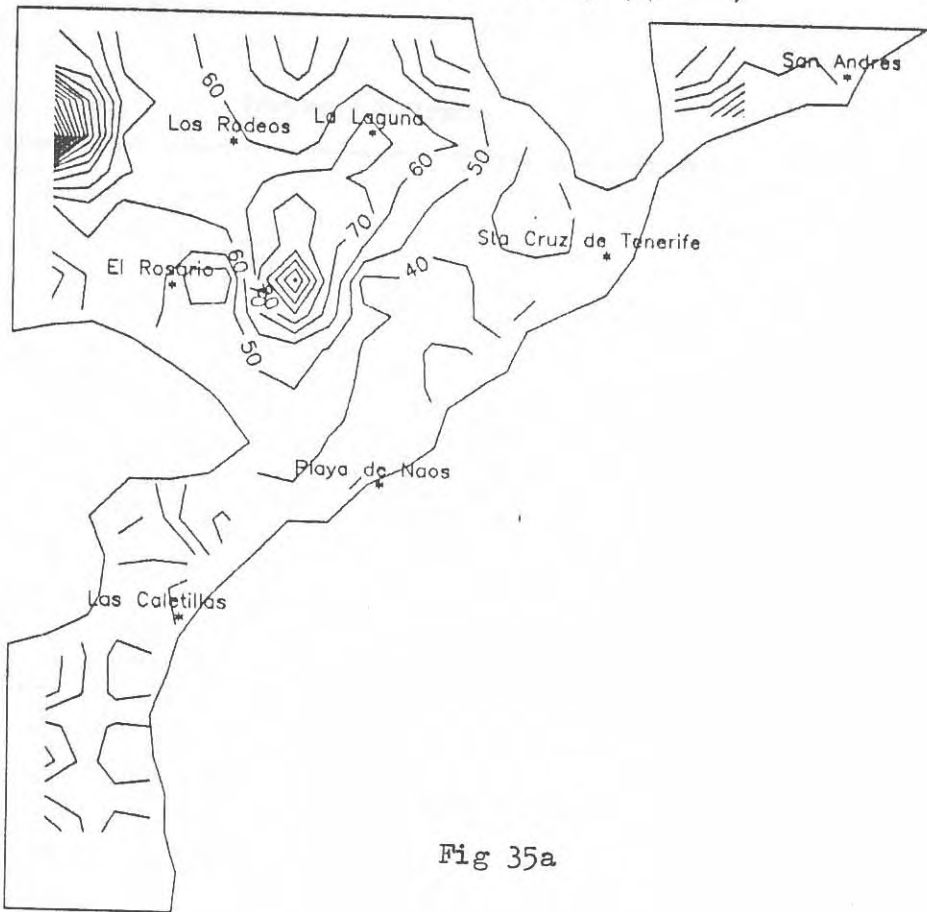


Fig 35a

SUELOS TENERIFE: Ni (-ppm-)

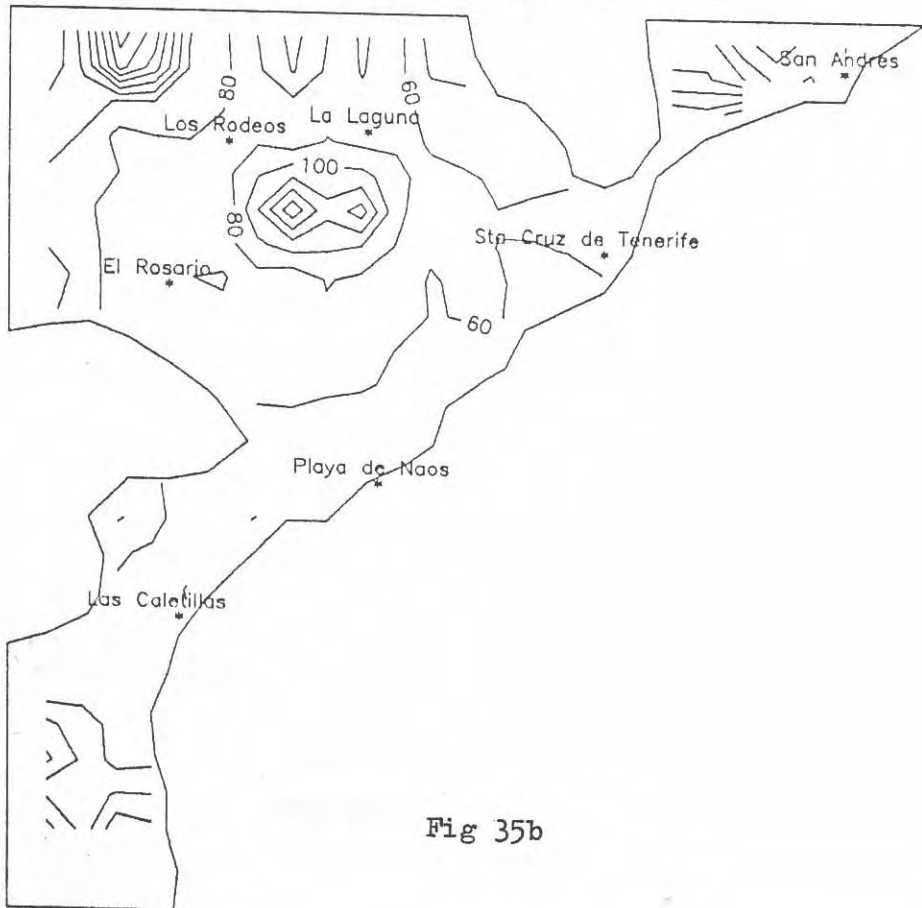


Fig 35b

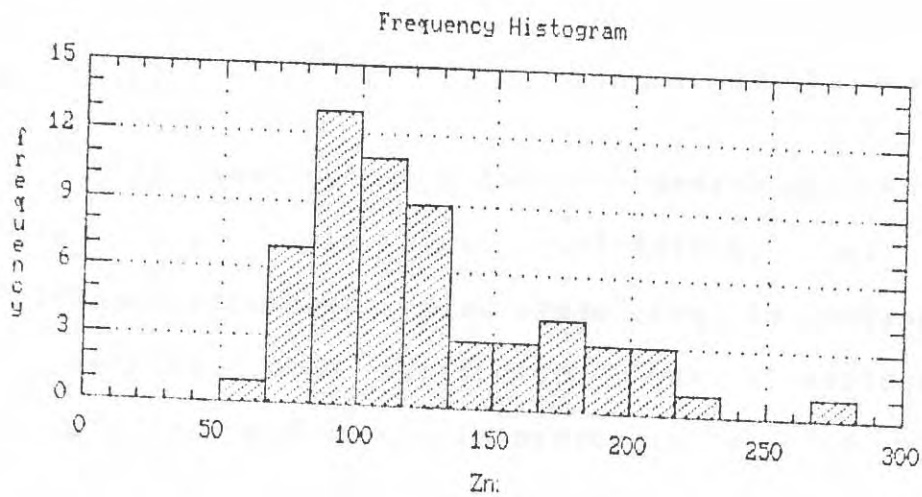


Fig 36a

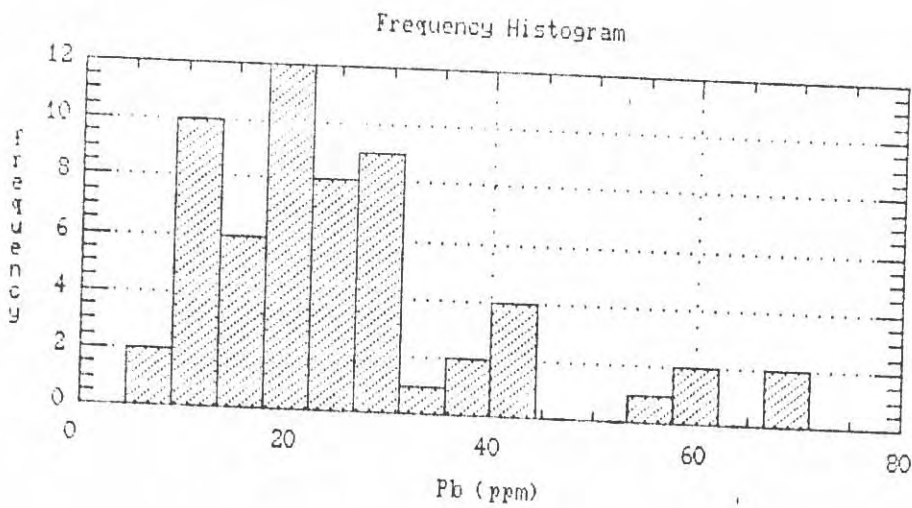


Fig 36b

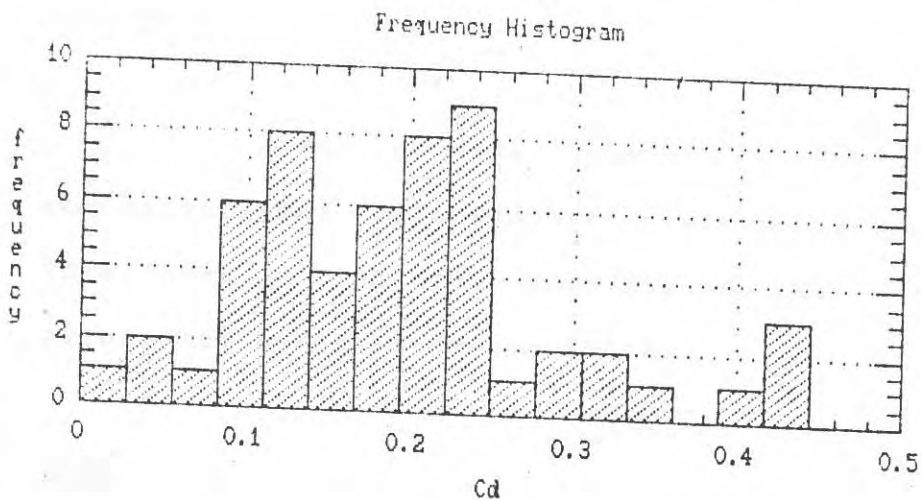


Fig 36c

Al igual que el níquel, y dentro del entorno geológico de los materiales volcánicos, es un mineral predominantemente relacionado con la presencia de fases minerales, y en particular con clinopiroxenos de tipo augítico, por lo que la presencia de este mineral -de más difícil alteración- puede condicionar su acumulación en los suelos.

Las concentraciones observadas (Fig 34c) denotan concentraciones predominantes en torno a los 100 ppm, apareciendo, aunque poco frecuentes, valores de 400-600 ppm. En base a estos valores numéricos se ha elaborado el esquema de distribución de isoconcentraciones (Fig 37a), que señala una marcada correspondencia con las observaciones referentes a los contenidos en níquel, delimitándose un área con concentraciones superiores a los 150 ppm que envuelve la zona de Los Rodeos, La Laguna y el Rosario, con un núcleo de máxima concentración (500 ppm) al sur de La Laguna.

El resto de los suelos de la malla muestra concentraciones relativamente bajas, con concentraciones inferiores a las 100 ppm, siendo una excepción la zona situada al noroeste de San Andrés.

Cinc

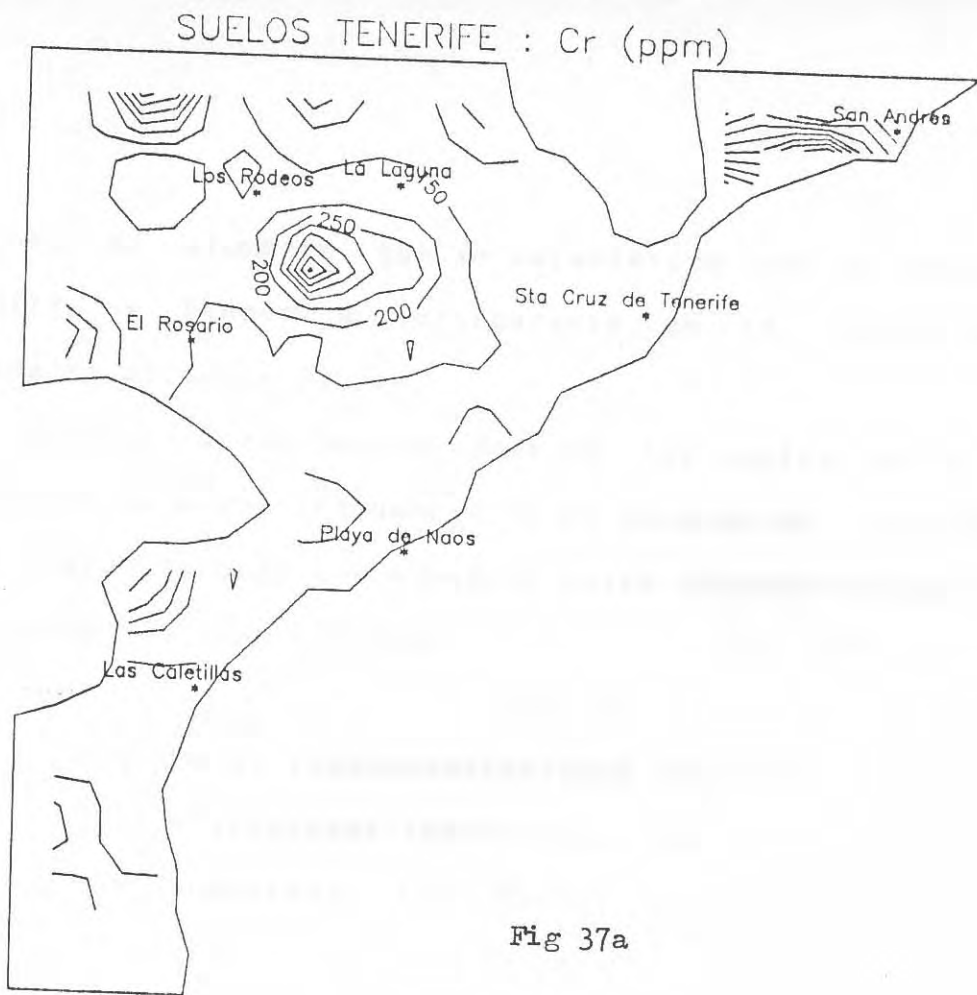


Fig 37a

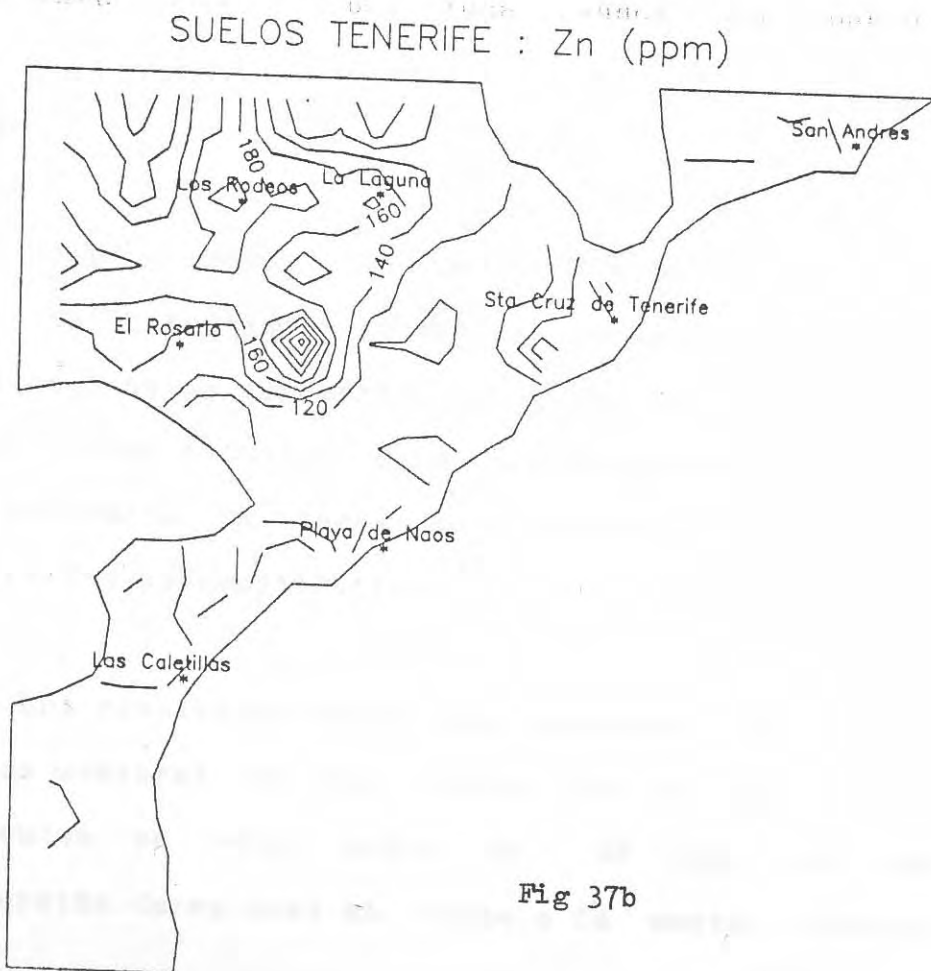


Fig 37b

Es un elemento que se caracteriza por su naturaleza litófila y tiende a incorporarse en la formación de minerales arcillosos.

Las concentraciones determinadas en los suelos de la malla presentan su mayor frecuencia en el entorno de las 100 ppm (Fig 36a), valores que aumentan hasta alcanzar un máximo en el entorno de las 270 ppm.

El esquema de isoconcentraciones (Fig 37b), delimita un área con concentraciones superiores a las 140 ppm, en la que quedan enmarcados Los Rodeos, La Laguna y el Rosario, y un núcleo de máxima concentración que se sitúa al este de El Rosario. Los niveles de concentración de este elemento en el resto de los suelos de la malla, disminuyen rápidamente hasta valores inferiores a 120 ppm.

Plomo

Es un elemento típicamente contaminante en el entorno ambiental estudiado, ya que las rocas volcánicas alcalinas contienen bajas concentraciones, por lo que su presencia en proporciones anómalas está estrictamente relacionada con la presencia de focos contaminantes, principalmente el tráfico automovilístico.

Los resultados analíticos obtenidos sobre la totalidad de las muestras de los suelos de la malla (Fig 36b), presentan un valor medio de 20 ppm, con una cierta dispersión de valores en torno a la media, con un mínimo

de 10 ppm y un máximo de 30 ppm; por encima de este límite los valores pueden considerarse anómalos y por consiguiente indicativos de procesos contaminantes.

Las isolíneas de concentración de plomo son claras a este respecto (Fig 38a), ya que los valores superiores a los 30 ppm señalan la existencia de dos corredores con contenidos anómalos. El primero de ellos se extiende desde el sur de Sta. Cruz de Tenerife hacia La Laguna, con valores máximos en torno al 60% claramente individualizados en el histograma de la Fig 36b. Lógicamente este corredor está relacionado con la contaminación originada por el tráfico rodado y su repercusión en los suelos adyacentes a la autopista. El segundo corredor señala una franja desde Los Rodeos hacia el Rosario, donde se alcanzan valores máximos de plomo que podrían estar relacionados con el tráfico aéreo del Aeropuerto de Los Rodeos y zonas próximas a su pasillo aéreo.

Cadmio

Conjuntamente con el plomo supone un elemento altamente contaminante debido a sus elevados niveles de toxicidad. Las concentraciones detectadas presentan un rango comprendido entre las 0.10 y 0.25 ppm, generando un histograma (Fig 36c) con dos máximos de frecuencia en torno al 0.12 y 0.24 ppm. Estos valores determinados están de acuerdo con los propuestos por Wedepohl (1969-1978) de 0.1 - 0.5 ppm, aun cuando las características de las rocas

SUELOS TENERIFE : Pb (ppm)



Fig 38a

SUELOS TENERIFE : Cd (ppm)

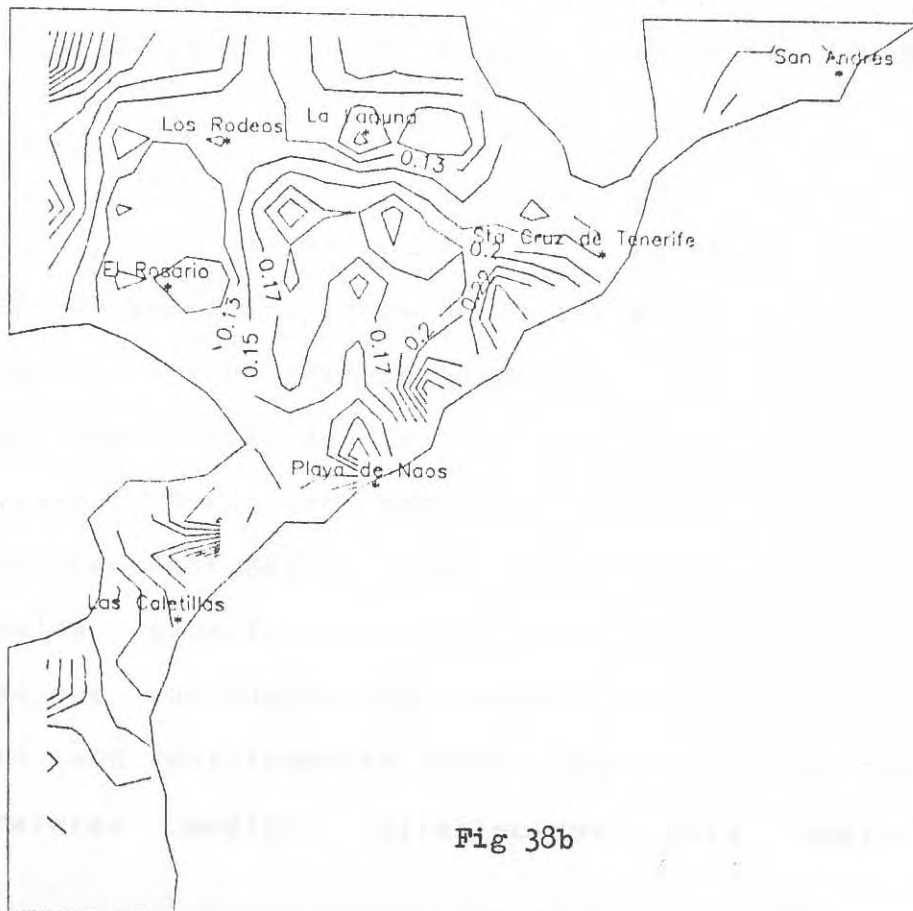


Fig 38b

primarias constituyen un factor determinante de su contenido final en los suelos. Los valores propuestos por este autor para las rocas de composición máfica y basáltica varían desde 0.2 a 0.6 ppm, con valores medios en torno a 0.34 ppm, mientras que la media determinada para los suelos de la malla es de 0.18, por lo que en general puede argumentarse que los valores de concentración de cadmio en la zona de estudio son relativamente bajos, aun cuando con concentraciones medidas (0.3 y 0.4 ppm) superiores a la media obtenida.

El esquema de distribución regional (Fig 38b) señala que las concentraciones mínimas se sitúan hacia el interior, donde los valores son ligeramente superiores a 0.17 ppm, focalizándose los puntos de máxima concentración media al sur de Sta. Cruz de Tenerife (0.30 ppm) y al norte de Las Caletillas (0.32 ppm).

Un aspecto significativo en relación a la desviación de concentraciones de la media se refleja en las Figs 39 a y b, correspondientes a los contenidos en Cd de los suelos de la malla y de los suelos superficiales, donde se aprecia claramente que las mayores concentraciones de cadmio son predominantes en los suelos superficiales. Estas observaciones ratifican que aun cuando los niveles de concentración en cadmio son relativamente bajos, en consonancia con los valores medios establecidos para suelos

relacionados con materiales volcánicos, sin embargo la concentración preferente en suelos superficiales y su tendencia a la focalización en zonas perfectamente delimitadas, aconsejan su futuro seguimiento.

4.- Correlaciones de los parámetros edafológicos y mineralógicos de los suelos respecto a sus contenidos en elementos metálicos.

Los comportamientos observados presentan gran diversidad de valores, que afectan tanto a las relaciones inter-paramétricas como a los derivados de la confrontación intermineral. Esta diversidad constituye un criterio selectivo en el planteamiento de correlaciones que definan las afinidades entre los diferentes parámetros confrontados.

El cómputo total de los valores numéricos obtenidos, se presenta en el Apéndice 1, aun cuando se ha efectuado una extracción de los valores más significativos, que se presentan en los cuadros que acompañan al texto.

4.1 Relaciones entre los parámetros físico-químicos y los elementos metálicos.

La finalidad del cálculo efectuado es establecer las posibles afinidades de comportamiento entre los diferentes parámetros edafológicos (pH, CE, fracción arcillosa, limo y arena, materia orgánica, carbonatos y cationes de cambio) confrontados a las concentraciones determinadas en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos señalan que en general predominan bajos coeficientes de correlación con los elementos metálicos, por lo que en el Cuadro 9, sólo se han tomado en consideración aquellos elementos que tengan tendencia a presentar cierta correspondencia.

De forma semejante a lo observado para los suelos superficiales, las valoraciones de pH en relación con el H₂O (PH1) y el obtenido respecto al ClK (PH2), presentan una elevada correspondencia ($r=0.94$) como se pone en evidencia en la Fig 40a. Las relaciones entre el pH y los restantes parámetros señalan que los contenidos en carbonatos (CO₃) y de calcio (Ca) están ligados a las variaciones de pH, Fig 40b. Relaciones semejantes se pueden establecer en el comportamiento del estroncio (Sr) (Fig 40c), dada la afinidad de este elemento respecto al calcio. Los restantes elementos no presentan valores de correlación significativos.

MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS SUELOS DE LA MALLA

	PH1	PH2	CE	Arc	Lim	Are	MO	CO3	Ca	Mg	Na	K	Sr	Cu	Mo	Co	Zn	Cd
PH1	1.00																	
PH2	0.94	1.00																
CE	0.18	0.33	1.00															
Arc	0.46	0.39	-0.08	1.00														
Lim	-0.55	-0.56	-0.16	-0.57	1.00													
Are	0.05	0.14	0.25	-0.55	-0.37	1.00												
MO	-0.58	-0.49	-0.20	-0.35	0.14	0.26	1.00											
CO3	0.72	0.76	0.44	0.19	-0.40	0.20	-0.40	1.00										
Ca	0.67	0.59	0.33	0.26	-0.29	0.01	-0.41	0.49	1.00									
Mg	0.23	0.16	0.02	0.19	-0.17	-0.02	-0.28	0.11	0.18	1.00								
Na	0.52	0.49	0.46	0.02	-0.35	0.34	-0.43	0.69	0.55	-0.01	1.00							
K	0.32	0.33	0.18	-0.07	-0.21	0.29	-0.16	0.62	0.24	-0.03	0.68	1.00						
Sr	0.55	0.59	0.22	0.21	-0.50	0.27	-0.23	0.60	0.30	-0.01	0.33	0.24	1.00					
Cu	0.02	0.05	0.02	-0.05	0.10	-0.03	0.16	-0.08	0.02	-0.01	-0.13	-0.10	-0.10	1.00				
Mo	0.20	0.32	0.37	-0.01	-0.05	0.09	-0.05	0.27	0.07	-0.12	0.10	-0.01	0.42	0.24	1.00			
Co	-0.07	-0.05	-0.03	0.17	0.04	-0.22	0.03	-0.14	-0.15	0.20	-0.37	-0.31	-0.16	0.34	-0.08	1.00		
Zn	-0.10	0.06	0.01	-0.05	0.08	-0.02	0.21	-0.08	-0.15	-0.23	-0.15	-0.02	-0.17	0.28	0.17	-0.08	1.00	
Cd	0.19	0.23	0.12	0.04	-0.22	0.19	-0.08	0.11	0.08	0.07	0.05	0.07	0.19	0.38	0.14	0.28	-0.04	1.00

PH1 : PH (H2O)
 PH2 : PH (ClK)

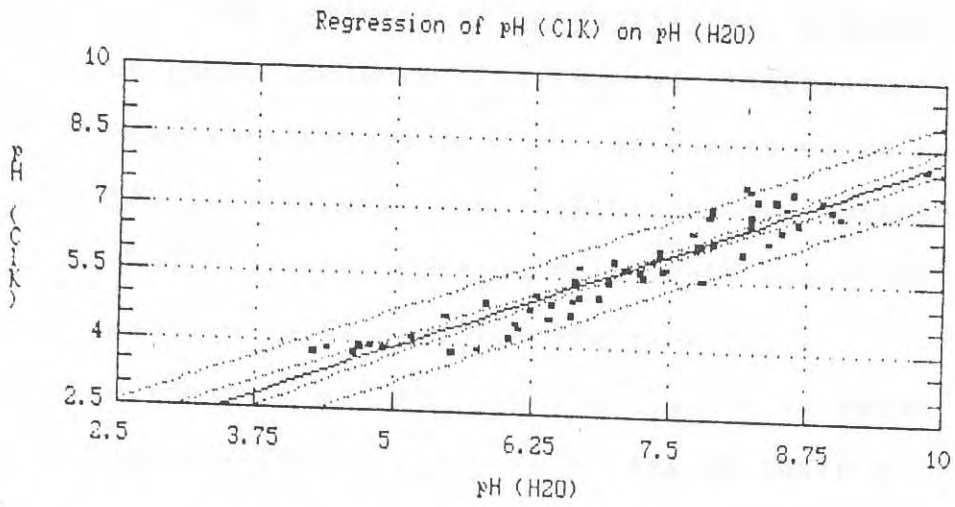


Fig 40a

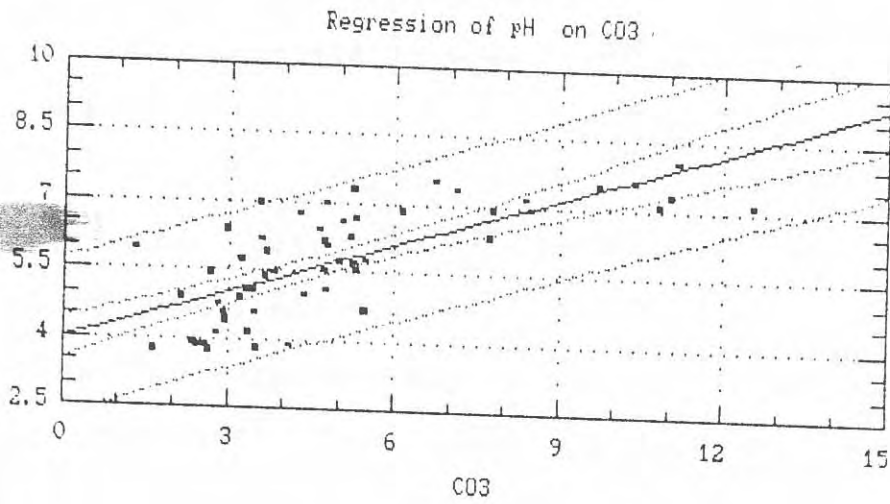


Fig 40b

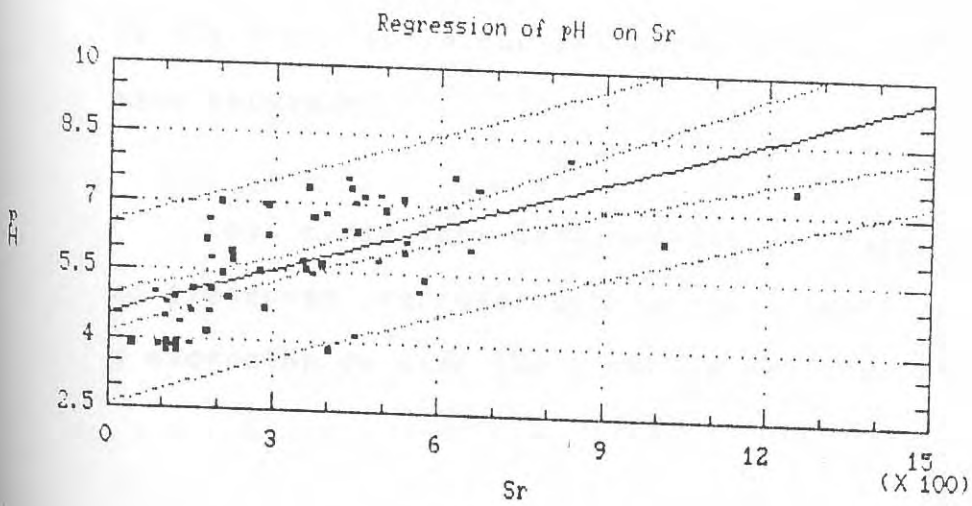


Fig 40c

Los valores de conductividad eléctrica (CE) presentan un comportamiento similar al anteriormente expuesto para las variaciones de pH, aun cuando el valor de correlación más significativo se establece en relación con el sodio (Na), aspecto este anteriormente puesto en evidencia en el estudio de su distribución superficial. Estas relaciones se evidencian en la Fig 41a, donde se puede apreciar que la comparación de los contenidos en sodio y la conductividad eléctrica presentan una progresiva correspondencia que alcanza valores extremos localizadas en la zona sur de las Caletillas. El resto de los elementos metálicos sólo presentan tendencias bajas en correspondencia con el Sr ($r=0.22$) y del molibdeno ($r=0.37$).

En cuanto a sus componentes sedimentológicos, las fracciones más finas -arcillas y limos- no presentan valores de correlación significativos frente a los restantes componentes, sólo la fracción más grosera arenas tiende a presentar cierta correspondencia (pero con bajos coeficientes) respecto a los contenidos en Na, K, Sr y en relación con el cadmio; esta última relación se presenta en la Fig 41b, en la que se aprecia que esta correlación es poco señalada.

Los contenidos determinados de materia orgánica (MO), no presentan correspondencia con ninguna de las variables, a excepción de cinc (Zn), con un valor de $r=0.21$.

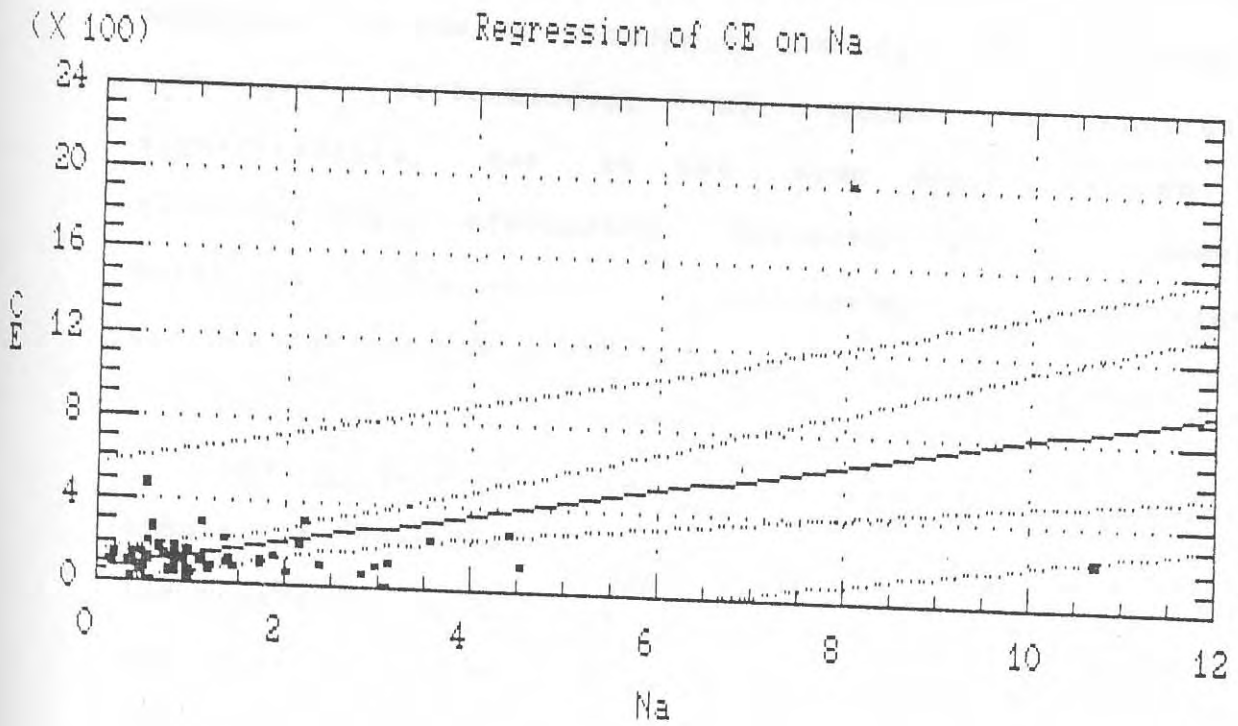


Fig 41a

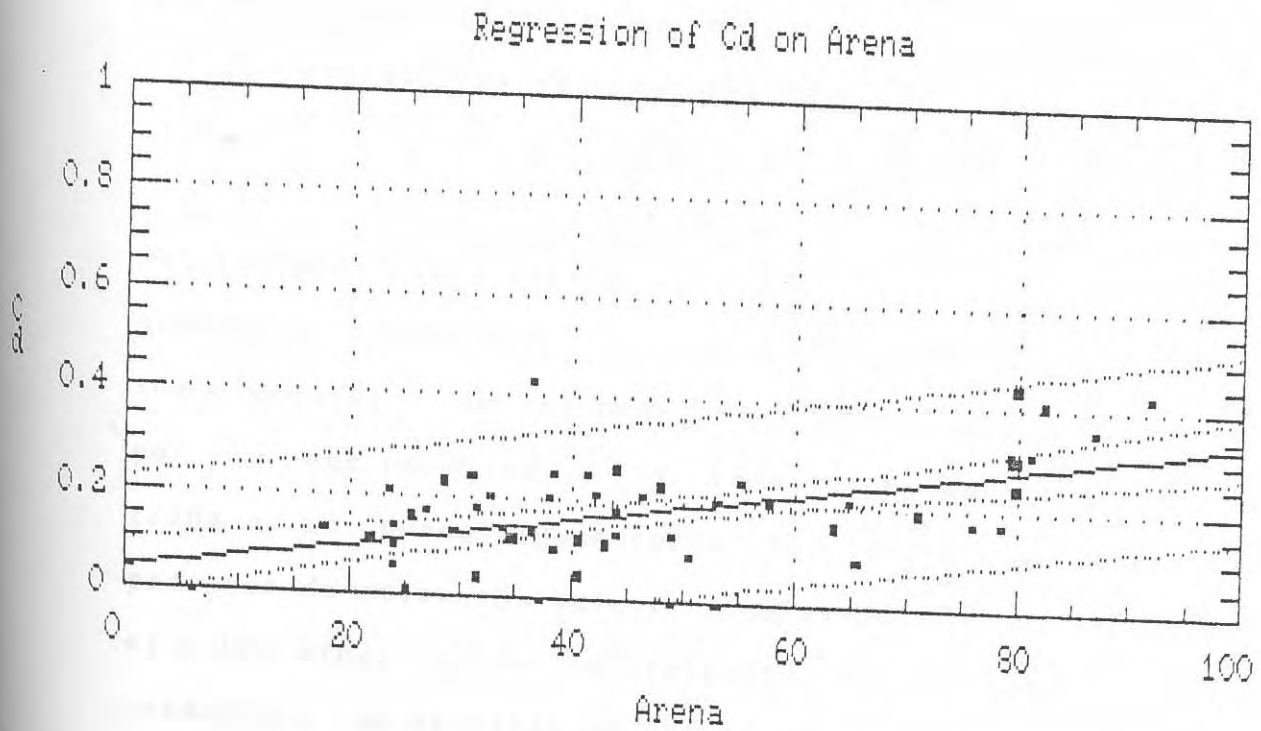


Fig 41b

Por el contrario los contenidos de carbonatos (CO₃) presentan correlaciones positivas con los elementos alcalinos (Na, K y Sr) y en menor grado respecto al calcio y magnesio, lo que se traduce en la falta de formación de compuestos carbonatados, al menos en cantidades significativas, que no han sido detectados en los difractogramas efectuados. Respecto a los elementos metálicos sólomente el molibdeno presenta cierta correspondencia con los carbonatos.

Los cationes de cambio Ca, Mg, Na y K presentan importantes correlaciones pero sólomente entre ellos, así los contenidos de calcio y sodio con ($r=0.65$) y el Na y el K con ($r=0.68$), no siendo significativos los restantes valores calculados, de los que sólomente puede citarse el del magnesio en relación con el cobalto con $r=0.20$.

4.2 Relaciones entre las composiciones mineralógicas y las concentraciones en elementos metálicos.

Las concentraciones de Filosilicatos-Arcillas determinadas para los diferentes suelos de la zona, no presentan ningún tipo de correspondencia con el resto de los elementos, como se pone en evidencia en el Cuadro 10a, por lo que en base a los resultados obtenidos en este trabajo no puede argumentarse la existencia de posibles procesos de retención selectiva de elementos metálicos -como el cobre, cinc, etc.- en relación con el mayor ó menor predominio de arcillas en el suelo. Por el contrario, el resto de las diferentes fases mineralógicas sí presentan

CUADRO : 10

MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS SUELOS DE LA MALLA

Mineralogía - Elementos metálicos

	Fl	D	Ft	PXO	Hm	Ox	TiO2	Sr	Zn	Cd
Fl	1.00									
D	-0.14	1.00								
Ft	-0.76	0.02	1.00							
PXO	-0.57	-0.05	0.21	1.00						
Hm	-0.17	-0.45	-0.18	0.10	1.00					
Ox	-0.41	-0.27	-0.09	0.44	0.60	1.00				
TiO2	0.14	-0.28	-0.42	-0.09	0.54	0.64	1.00			
Sr	-0.52	-0.42	0.48	0.53	0.22	0.27	-0.19	1.00		
Zn	-0.22	0.56	0.04	0.06	-0.12	0.01	-0.09	-0.06	1.00	
Cd	-0.32	-0.12	0.12	0.40	0.12	0.37	0.19	0.19	0.01	1.00

Correlaciones Interelementales

	Cu	Ni	Cr	V	Mo	Co	Pb	Zn	Cd
Cu	1.00								
Ni	0.46	1.00							
Cr	0.47	0.87	1.00						
V	0.36	0.47	0.58	1.00					
Mo	0.24	0.00	-0.03	0.12	1.00				
Co	0.34	0.66	0.70	0.69	-0.08	1.00			
Pb	0.01	-0.19	-0.28	-0.20	0.04	-0.16	1.00		
Zn	0.38	-0.05	-0.13	0.04	0.30	-0.05	0.44	1.00	
Cd	0.38	0.43	0.44	0.38	0.14	0.28	-0.38	0.01	1.00

correspondencia con el resto de elementos metálicos: el cuarzo presenta valores de correlación medios ($r=56$) respecto al cinc (Zn) como se observa en la Fig 42c, mientras que los feldespatos se corresponden con el estroncio Sr, por su ya citada afinidad respecto al calcio y un valor más lejano respecto al cadmio.

Los minerales ferromagnesianos -piroxenos y olivinos (PXO)- se corresponderían preferentemente con la presencia de óxidos, así como respecto al estroncio, debido a su elevado coeficiente de reparto respecto a los clinopiroxenos. Se han observado también correlaciones significativas entre estos minerales en relación con el cadmio ($r=0.40$), debido a las concentraciones medias determinadas en piroxenos (0.42-0.44 ppm) y de 0.37 ppm en los olivinos (Wedepohl, 1969-1978).

Respecto a los contenidos en Oxidos, tanto el Ox ($r=0.64$) y la Hm ($r=0.54$) presentan una clara correspondencia con el titanio (TiO_2), como se evidencia en la Fig 42 a y b, por lo que se puede establecer que los elevados contenidos de titanio en estos suelos estarían relacionado con procesos acumulativos de estos minerales, procedentes de la denudación de rocas volcánicas principalmente básicas.

4.3.-Relaciones de correlación entre los elementos metálicos.

Regression of TiO₂ on O_x

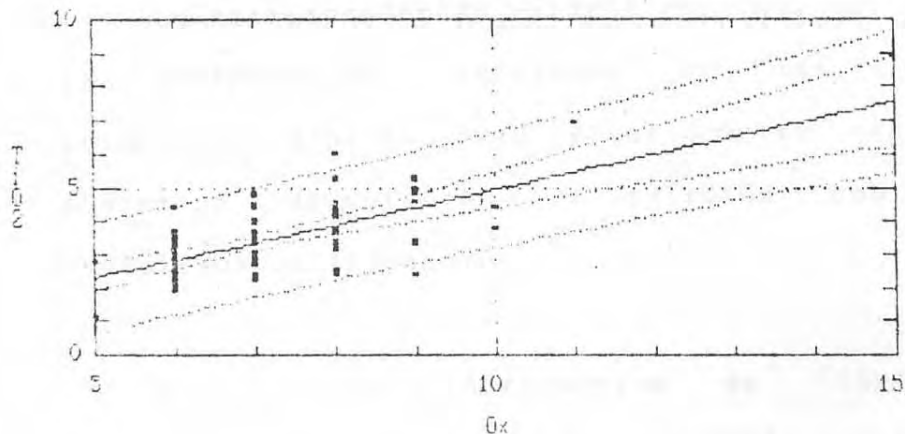


Fig 42a

Regression of Hm on O_x

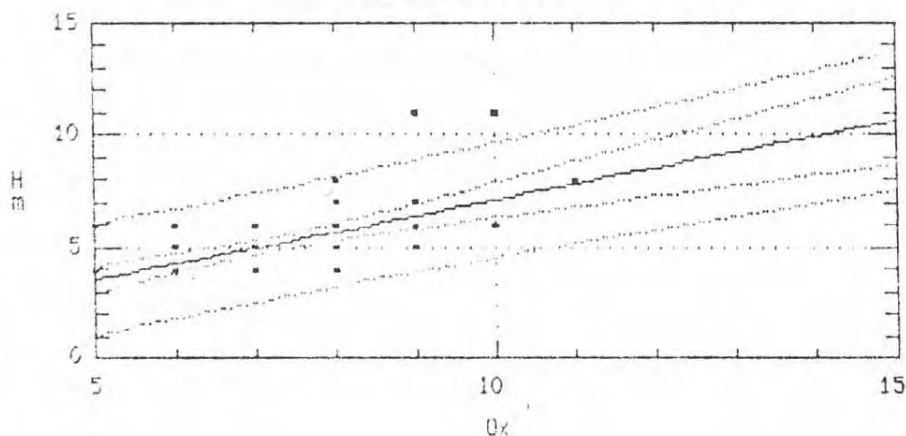


Fig 42b

Regression of Zn on Q

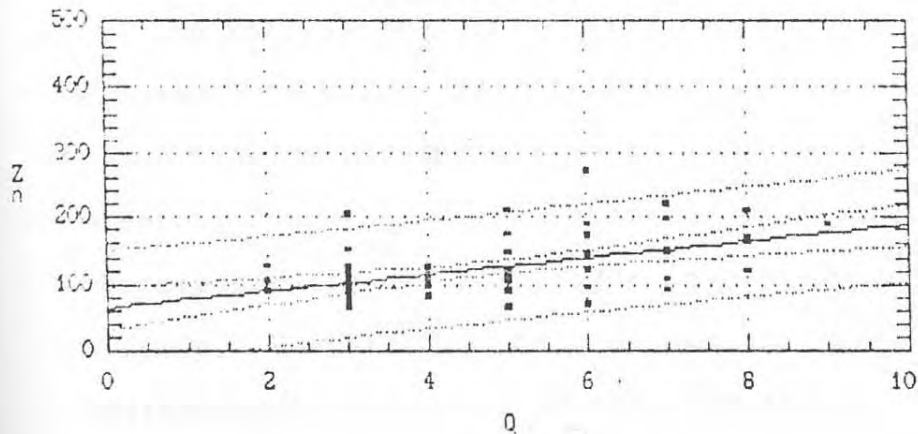


Fig 42c

Su correspondencia estaría regulada por su afinidad en la incorporación preferente en las fases minerales primarias, aspecto este anteriormente tratado, y a su posterior acumulación en relación con los procesos evolutivos de los suelos,

Bajo esta perspectiva es lógica la mutua correspondencia observada (Cuadro 10b) entre los elementos metálicos Cr y Ni ($r=0.87$), debido a un origen común. Asimismo ambos elementos presentan correlaciones, aun cuando de menor grado (0.40-0.70), en relación con otros elementos metálicos (Fig 43), como el cobalto, vanadio, etc., lo que en principio estaría de acuerdo con la hipótesis de su común origen magmático.

Sin embargo estos valores de correspondencia no son soportados por los coeficientes de correlación obtenidos para el plomo, lo que evidencia la falta de afinidad respecto a todos los restantes elementos, por lo que su origen sería imputable a agentes contaminantes externos al medio natural.

En lo que respecta a los contenidos de cinc y cadmio, el primero presenta una cierta correspondencia con el plomo y otros elementos metálicos como el cobre y el molibdeno, mientras que en el cadmio se observa una común correspondencia con casi todos los elementos metálicos (Cr, Ni, Cu, V, etc.), por lo que su carácter de elemento contaminante puede ser, al menos en parte, cuestionado.

Regression of Hi on Cr

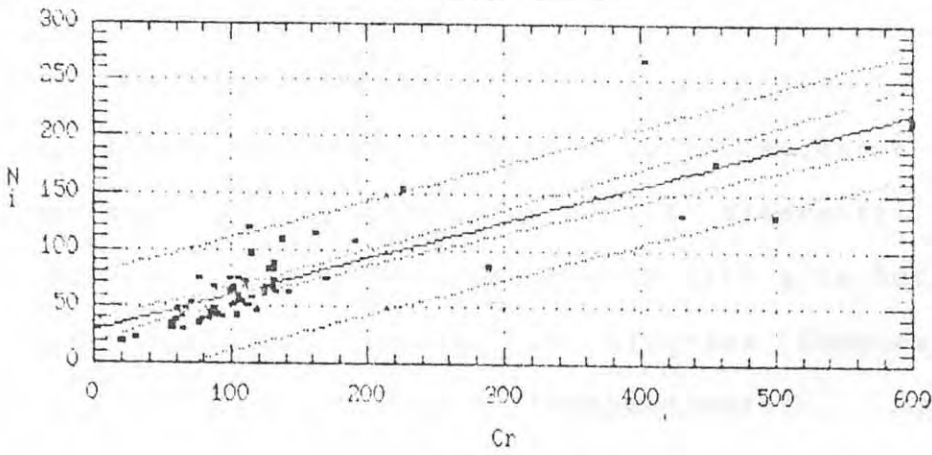


Fig 43a

Regression of Co on Cr

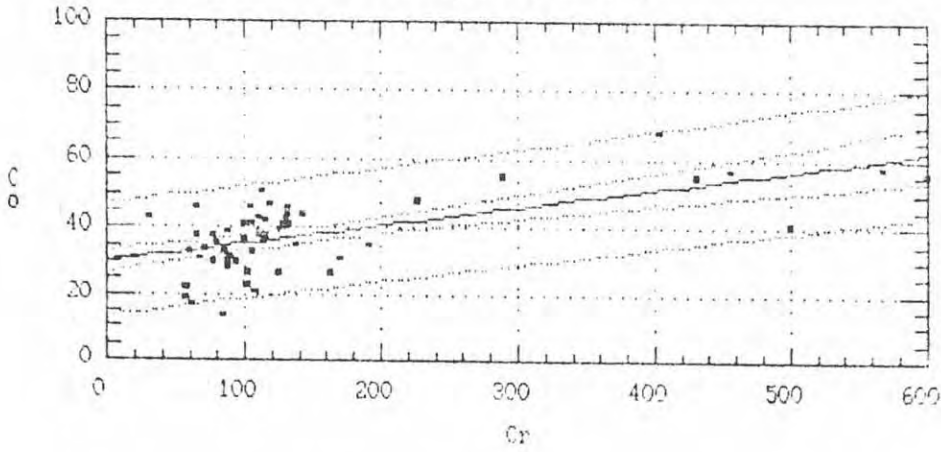


Fig 43b

Regression of V on Cr

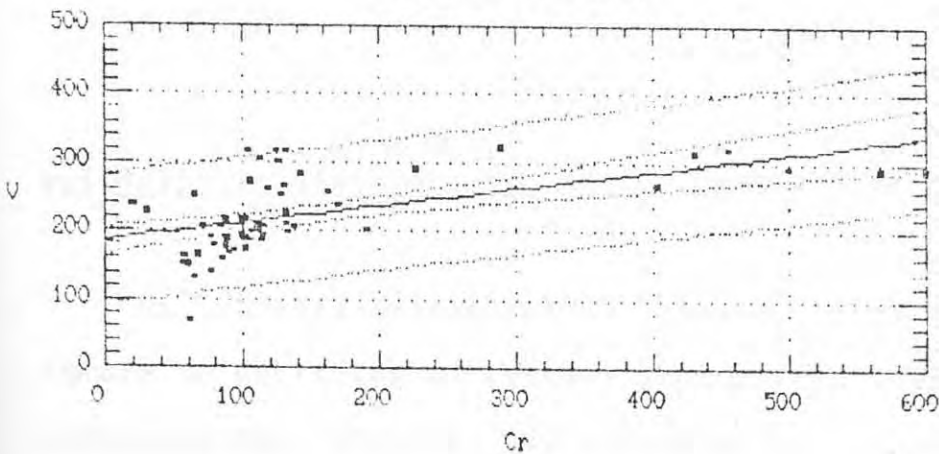


Fig 43c

5.- Análisis estadístico de los diferentes parámetros.

La utilización de metodologías de análisis multivariable para establecer comportamientos y afinidades mediante el agrupamiento de las diferentes variables en factores, es extraordinariamente útil a la hora de procesar información que procede de diversas fuentes, que además pueden ser totalmente independientes. Aun cuando su tratamiento presenta una estructura tanto teórica como operacional compleja (ver por ej. Davis, 1973), sin embargo estos métodos estadísticos proporcionan información sobre complejos problemas en los que intervienen diversos factores que no podrían ser tratados de forma individual.

En nuestro caso el análisis multivariable se ha dirigido al análisis discriminante de los Componentes Principales y al Análisis Factorial de las diferentes variables consideradas, métodos ambos que han reportado resultados equiparables. Los resultados numéricos obtenidos en el cálculo se adjuntan en el Apéndice 2, mientras que los resultados obtenidos por esta metodología se presentan gráficamente con diagramas binarios correspondientes a la proyección de los dos principales factores.

5.1 Análisis discriminante de los Componentes Principales

El análisis estadístico aplicado permite reducir el número de variables a diversos juegos de datos ajustados por combinaciones lineales. Su planteamiento se ha efectuado en dos etapas: en la primera se confrontan los parámetros

físico-químicos en relación con los diversos componentes elementales; en una segunda se confrontan los componentes minerales frente a los elementales.

Los resultados obtenidos en el primer planteamiento ponen en evidencia que los tres componentes suponen el 50 % de la totalidad de las variables. Se observa asimismo que el segundo y tercer componentes presentan contenidos porcentuales prácticamente equivalentes.

Su representación gráfica (Fig 44a) presenta cuatro campos, en los que las variables consideradas tienden a reagruparse. Así, en el sector derecho se proyectan los valores de pH y CE, en coincidencia con la fracción arena, agrupando en su entorno respectivamente al Ca, Sr y Cd, así como al Na, K, Mg, y Mo, quedando el Pb en situación menos definida. En el sector superior izquierdo se agrupan en torno al titanio (TiO_2) todos los elementos metálicos (Ni, Cr, Cu y V), mientras que en el sector inferior quedan relegados la fracción Limo conjuntamente con la Materia Orgánica (MO) y el cinc (Zn), este último permaneciendo en situación equidistante de la fracción Arcillosa.

Los resultados obtenidos en el análisis discriminante mediante la confrontación de los componentes minerológicos frente a los elementos metálicos son más restrictivos en cuanto al agrupamiento de los principales componentes. En la Fig 44b se han proyectado los valores correspondientes a los componentes 1 y 2, que representan respectivamente el 29% y 16 % de las variables (Apéndice 2). En este diagrama

Plot of First Two Component Weights

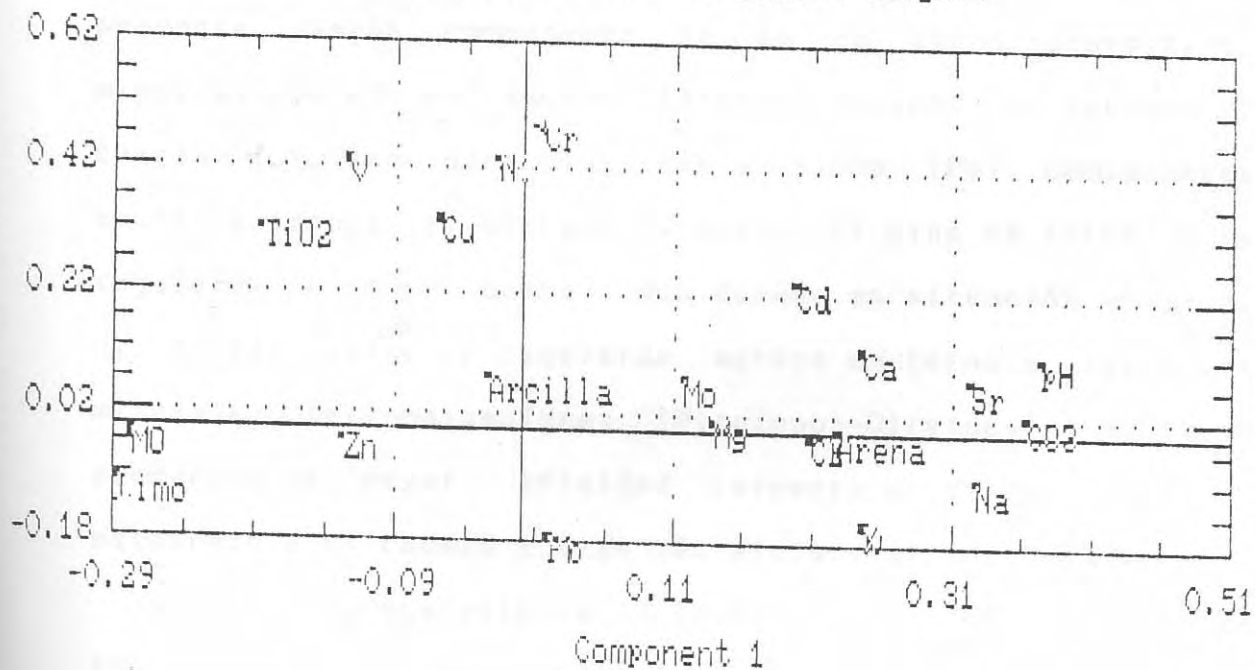


Fig 44a

Plot of First Two Component Weights

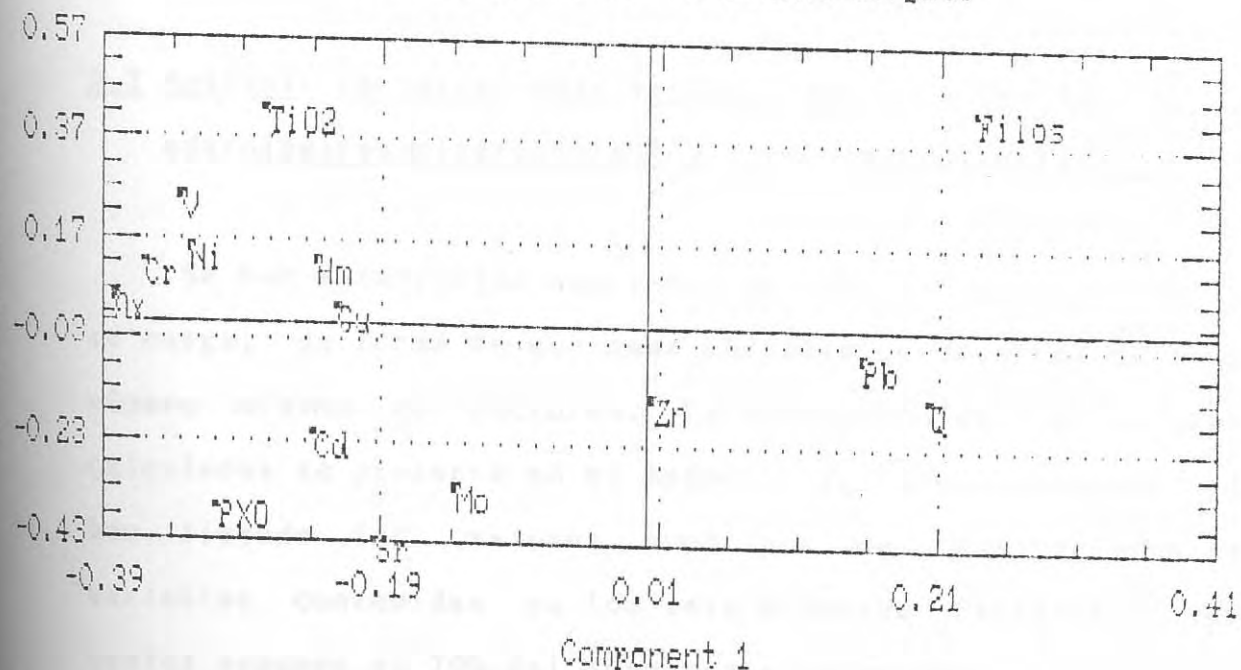


Fig 44b

se observa claramente, tal como se había indicado en el anterior capítulo, como los Filosilicatos quedan perfectamente segregados del resto de las variables, sin que presente ningún componente en su entorno proyectivo, mientras que en el sector inferior derecho se agrupan el cuarzo (Q), en proximidad con el plomo (Pb), componentes ambos extraños al sistema natural. El cinc se sitúa a la izquierda de este campo, aun cuando en situación ambigua. El sector inferior izquierdo agrupa en torno a las fases minerales ferromagnesianas (Piroxenos-Olivinos) a aquellos elementos de mayor afinidad respecto al calcio, como el estroncio y el cadmio y algo más alejado el molibdeno.

De forma equivalente a lo observado en el diagrama anterior, los elementos metálicos (Cr, Ni y V) y el titanio se agrupan en torno a los Oxidos (Ox), mientras que el Cu presenta una mayor afinidad hacia la Hematites (Hm).

5.2 Análisis Factorial multivariable entre los parámetros edafológicos-mineralógicos y los elementos metálicos.

Se han establecido una serie de factores en función de su carga, de forma de que cada variable quede asociada a un número mínimo de factores. La valoración de los factores calculados se presenta en el Apéndice 2, donde asimismo se han listado los valores numéricos de las diferentes variables contenidas en los seis primeros factores, los cuales suponen el 70% del porcentaje acumulado.

Su representación gráfica se presenta en la Fig 45a, donde se han proyectado los dos factores más significativos. El primero de ellos agrupa al 24% de las variables, mientras que el segundo supondría el 16% de las variables. El diagrama proyectivo obtenido presenta características similares a los expuestos anteriormente; así, en el sector derecho se agrupan en torno al pH los componentes carbonatados y cálcicos, conjuntamente con el estroncio y el cadmio, mientras que la conductividad eléctrica (CE) y la fracción arenosa tienden a agrupar al Na, K, Mg y al molibdeno. El plomo por su parte queda totalmente desconectado de los diferentes parámetros edafológicos.

La fracción limo y la materia orgánica definen el campo inferior izquierdo, en el que se proyecta el cinc, pero de forma intermedia respecto de las arcillas. Por su parte los elementos metálicos se agrupan en el cuadrante superior izquierdo conjuntamente con el titanio.

En el planteamiento mineralogía versus elementos metálicos, los resultados numéricos (Apéndice 2) indican que los seis primeros factores constituyen el 82% de acumulación de variables, en los que el factor 1 supone el 29%, seguido por el 2º factor que supone el 16% de las varianzas totales. Su representación gráfica (Fig 45b) es perfectamente delimitante y coincidente con el análisis discriminante de los componentes mayoritarios. Así, los filosilicatos se presentan totalmente individualizados, y el Q y el Pb se agrupan en el campo inferior derecha, mientras que el cinc

Plot of First Two Factor Weights

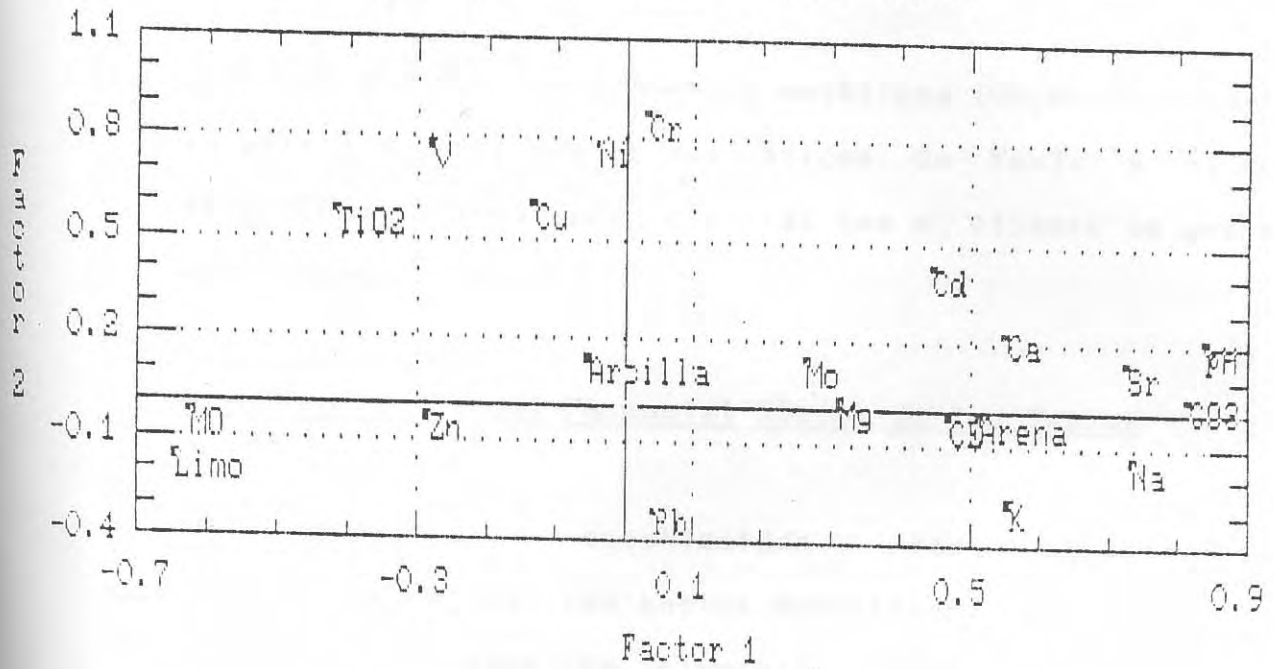


Fig 45a

Plot of First Two Factor Weights

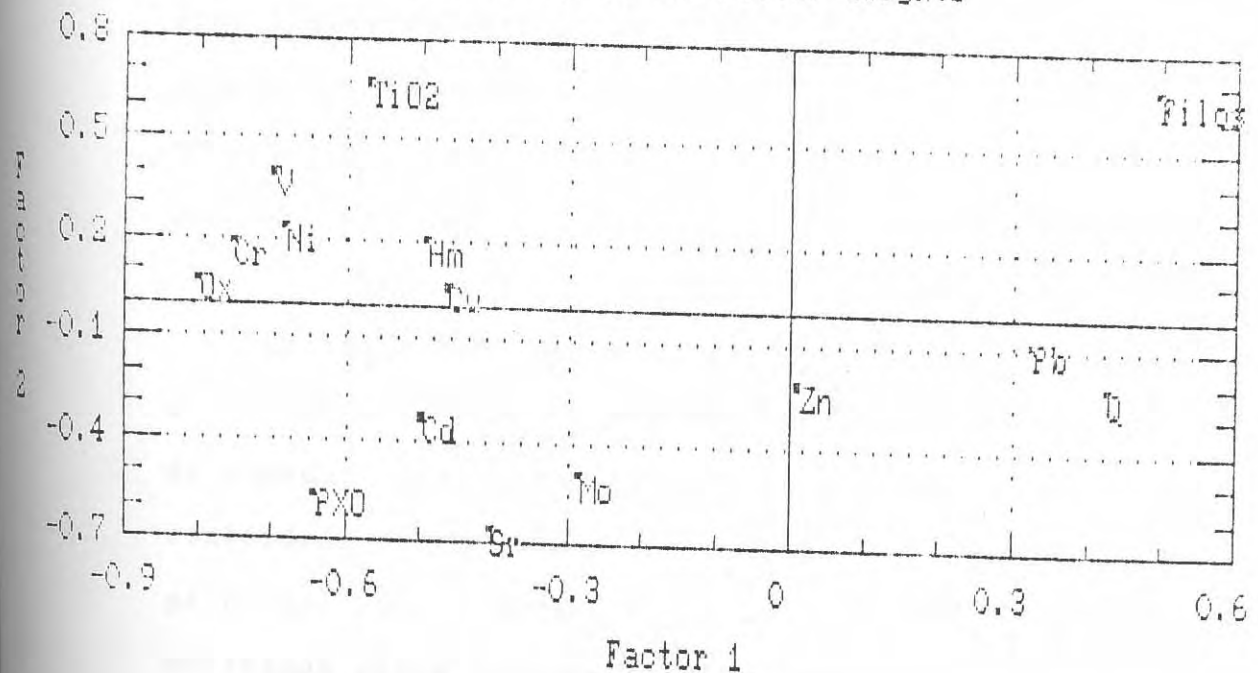


Fig 45b

repite su posición intermedia y los minerales ferro-magnesianos (piroxenos-olivino) agrupan al cadmio, estroncio y molibdeno.

Por último, los elementos metálicos (Cr, Ni, V) presentan su afinidad respecto a los óxidos de Fe-Ti y el cobre respecto a la hematites, mientras que el titanio se proyecta en el mismo campo.

6.- Valoración del Potencial Tóxico de los Suelos

Una vez establecidas las características composicionales de los suelos muestreados y sus relaciones con los contenidos en elementos metálicos, se trata de cuantificar los posibles niveles de concentración anómalos, procedentes de la contaminación de origen humano, y el potencial tóxico que presentan los diferentes suelos del área industrial-urbana de Sta. Cruz de Tenerife. Interesa además esclarecer si sus contenidos en metales pesados se encuentran dentro de los límites de tolerancia recomendados por los organismos internacionales.

La valoración de estos aspectos se ha efectuado en base a la utilización de una serie de criterios encaminados a determinar las anomalías geoquímicas y su nivel de toxicidad. Esto supone sin lugar a dudas el objetivo principal del presente estudio, pero los resultados derivados deben considerarse en consonancia con una serie de premisas. En efecto, el estudio geoquímico y el tratamiento de datos consiguiente ponen en evidencia que gran parte

de los contenidos determinados en elementos metálicos, como el Níquel, Cromo, Vanadio y Cobre, están íntimamente ligados a procesos de acumulación de suelos, en consonancia con la presencia de fases minerales como óxidos de Fe-Ti, aspecto este perfectamente demostrado por la presencia de titanio en concentraciones superiores a los niveles normales de contenido en las rocas volcánicas. Otros elementos, como el cinc y el cadmio, presentan niveles de concentración que, aun cuando sean a veces significativos, deben tratarse con cautela, mientras que el plomo se encuadra sin duda dentro de los elementos claramente contaminantes.

6.1 Grado de contaminación

Uno de los criterios normalmente utilizados es el propuesto por Rodríguez Sanchidrián y Mariño (1979), que consideran como diversos grados de contaminación las relaciones entre las concentraciones consideradas como anómalas en relación a las concentraciones de fondo. En nuestro caso se ha determinado el fondo geoquímico, calculado a partir de los datos estadísticos determinados de acuerdo con los criterios de Siegel (1974), considerándose como valores anómalos aquellos cuyas relaciones respecto al fondo geoquímico es superior a la unidad.

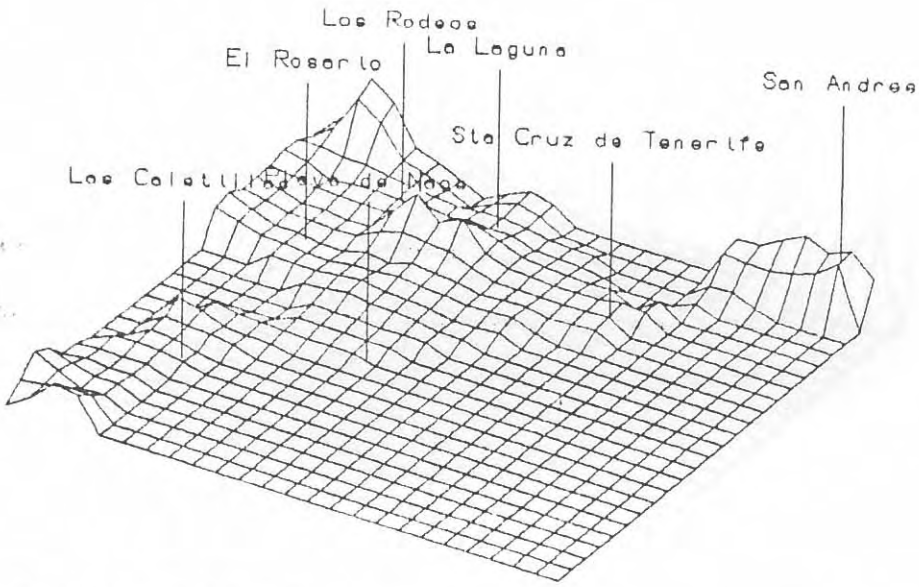
A partir de estas premisas se ha efectuado la representación gráfica de los valores de relación (pmm/fondo) de los diferentes elementos metálicos considerados como posibles contaminantes. Los resultados

obtenidos para el Níquel se reflejan en la Fig 46, donde se observan la distribución de máximos valores de relación concentración/fondo hacia la parte central y norte de la zona de estudio; los valores residuales superiores al fondo de 120 ppm delimitan claramente las zonas de anomalías en relación a la zona de sedimentos situada al sur de La Laguna, al norte de San Andrés y noroeste de los Rodeos, en relación con los basaltos de las series basálticas antiguas.

El Cromo presenta asimismo fuertes anomalías de concentración en relación al fondo de 270 ppm (Fig 47), valores con características de distribución semejantes a las obtenidas para el Níquel.

Las relaciones de concentración obtenidas para el Cobre determinan valores algo más atenuados (Fig 48), sobre un fondo geoquímico de 88 ppm, y una delimitación de áreas próxima a la señalada por el Níquel y el Cobre, pero con cierto desplazamiento hacia el sur y en áreas situadas al oeste de la zona de estudio.

El Vanadio presenta en cambio características de distribución menos acusadas, ya que aun cuando en un principio los datos analíticos muestran que inicialmente podrían considerarse como anómalos, sin embargo los resultados obtenidos mediante la relación concentración/fondo (280 ppm) (Fig 49) indican que los valores que superan



SUELOS TENERIFE : Ni (ppm/fondo)

SUELOS TENERIFE : Ni (ppm/fondo)

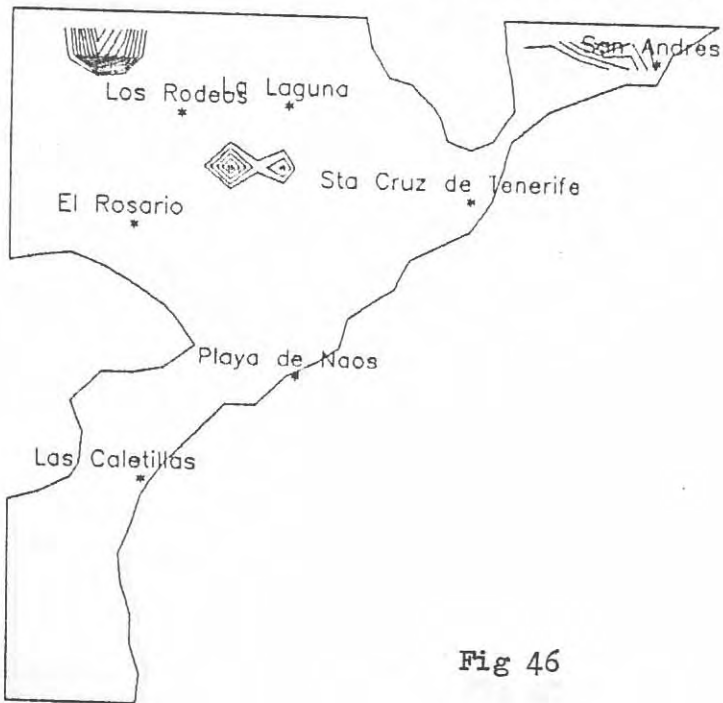
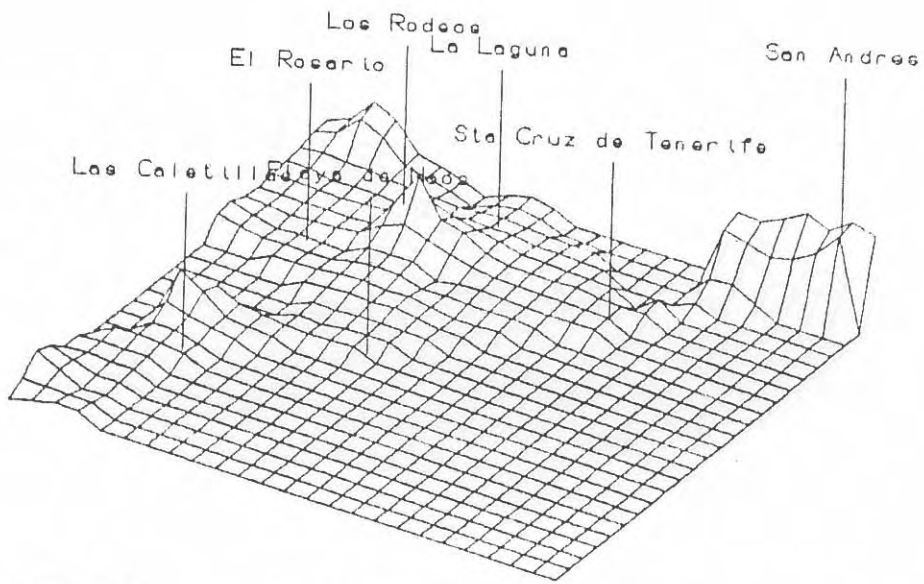


Fig 46



SUELOS TENERIFE : Cr (ppm/fondo)

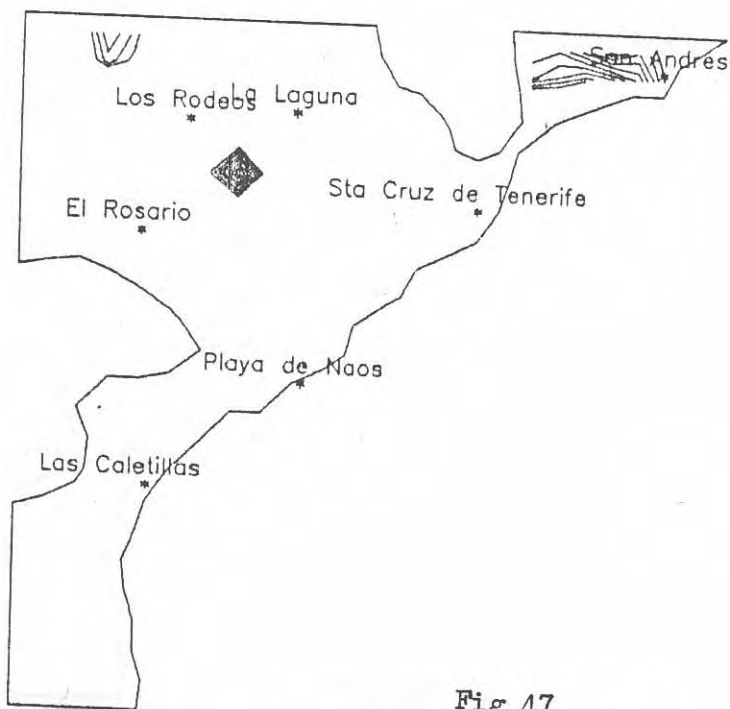
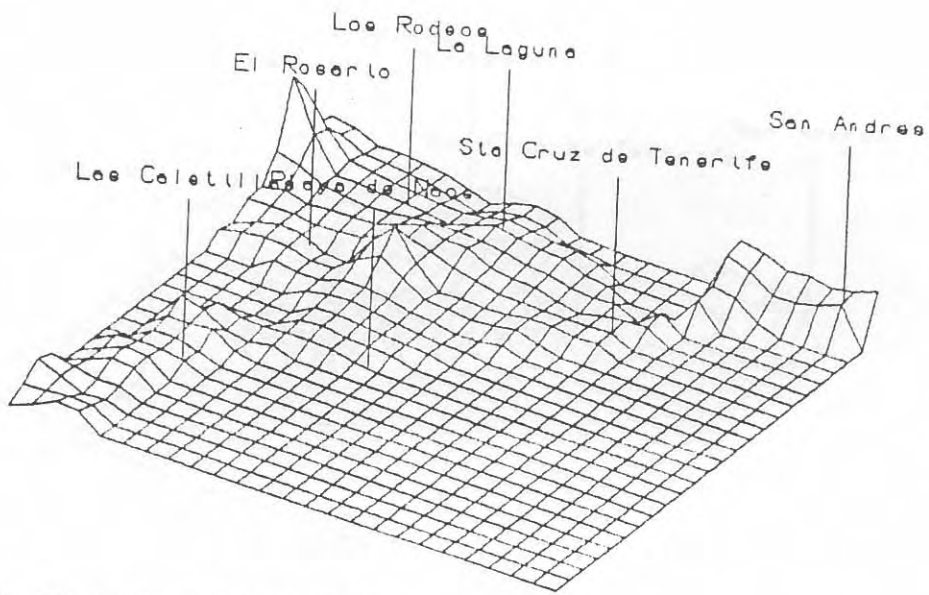


Fig 47



SUELOS TENERIFE : Cu (ppm/fondo)

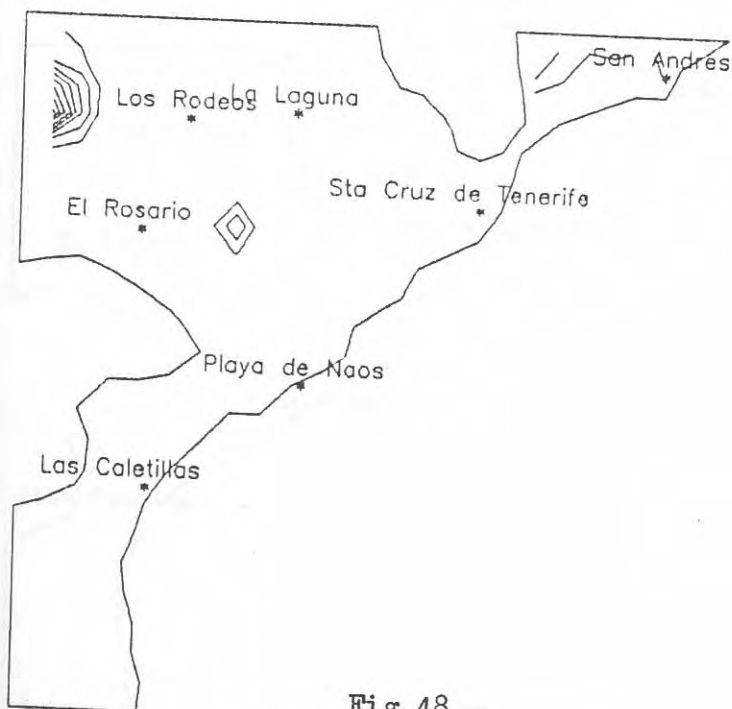
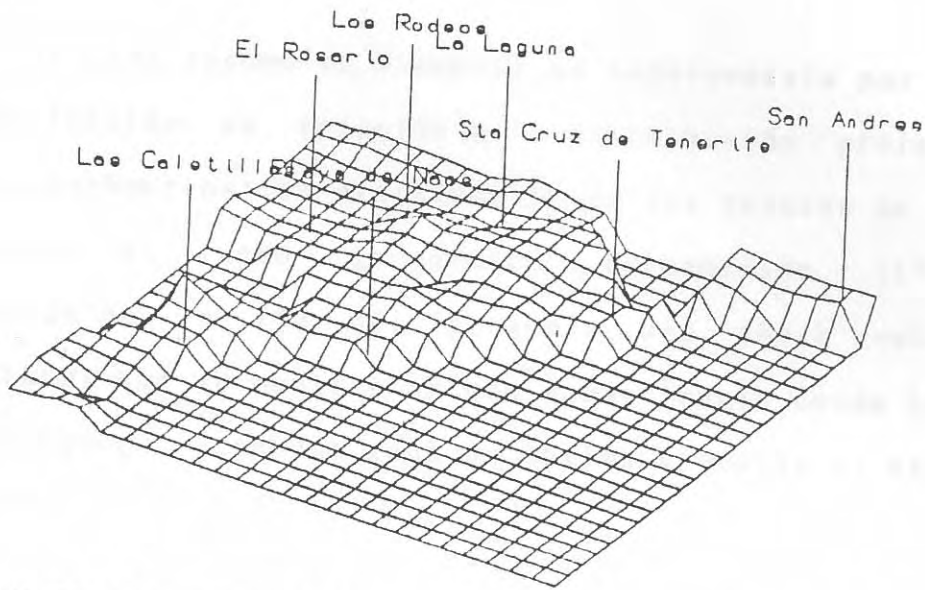


Fig 48



SUELOS TENERIFE : V (ppm/fondo)

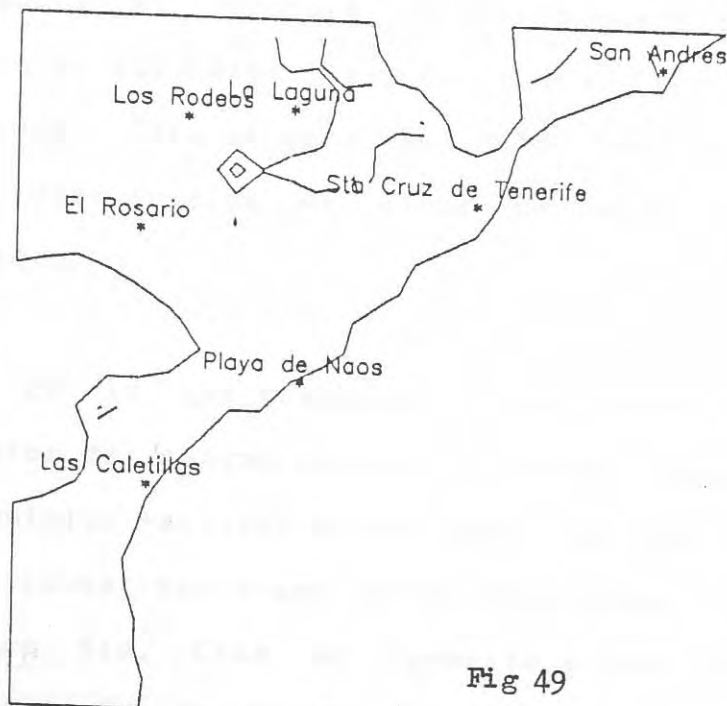


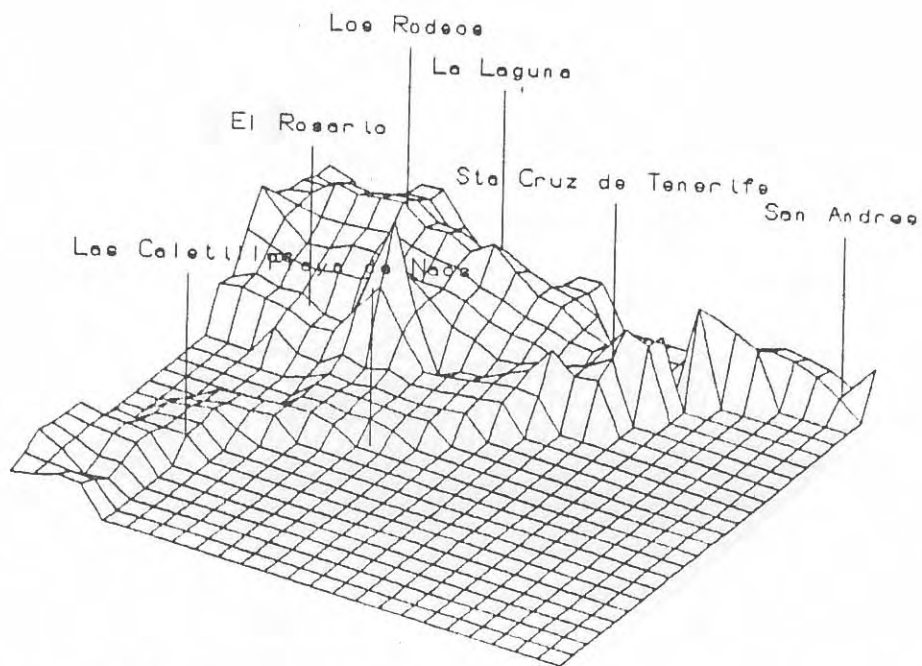
Fig 49

este nivel de fondo delimitan en realidad una pequeña zona situada al sur de La Laguna-Los Rodeos, que se extiende ligeramente hacia el noreste.

El Cinc supone un elemento en controversia por su falta de definición en relación a la distribución preferente de otros parámetros; la distribución de los valores de relación respecto al fondo geoquímico determinado (170 ppm), indicada en la fig 50, presenta una serie valores muy señalados que se centran en una ancha franja desde La Laguna a los Rodeos, con una zona de máxima anomalía al este de El Rosario.

Por el contrario, el esquema de distribución de anomalías del Cadmio es claramente selectivo, como se observa en la Fig 51 donde los valores superiores al fondo geoquímico de 0.29 ppm señalan una serie de zonas puntuales situadas al noroeste de los Rodeos y en la zona este al norte de las Caletillas, entre Sta. Cruz de Tenerife y Playa de Naos. Este aspecto había sido señalado ya en el estudio de distribución de elementos metálicos en el área de estudio.

En lo que respecta a los contenidos de Plomo, los valores de contaminación se sitúan por encima del fondo geoquímico -situado en 40 ppm-. En este caso las anomalías se circunciben a una serie de núcleos (Fig 52) situados al sur de Sta. Cruz de Tenerife y de La Laguna, y en las proximidades de El Rosario, puntos que en un principio parecen estar desconectados. Sin embargo, si se toma como



SUELOS TENERIFE: Zn (ppm/fondo)

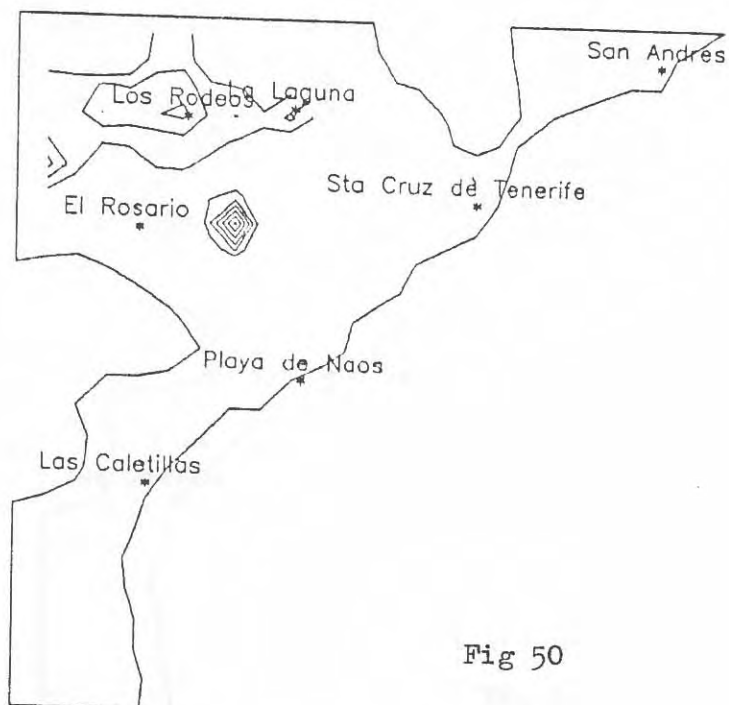
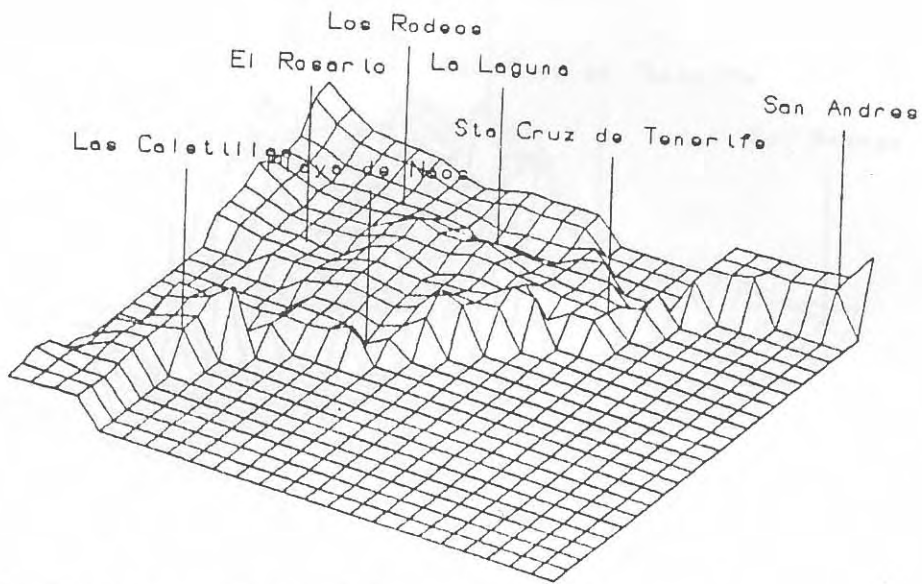


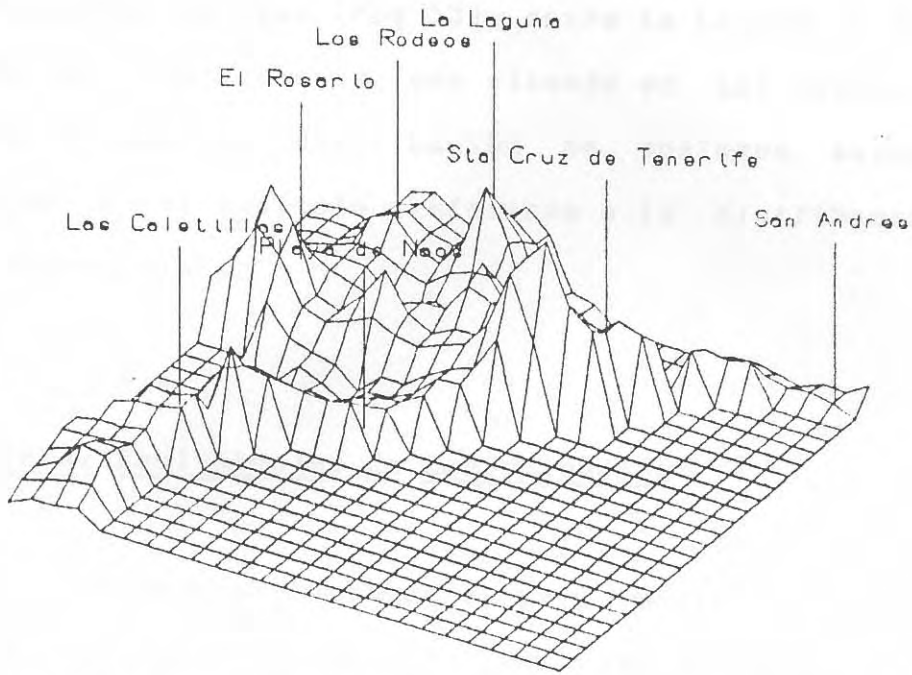
Fig 50



SUELOS TENERIFE : Cd (ppm/fondo)



Fig 51



SUELOS TENERIFE: Pb (ppm/fondo)

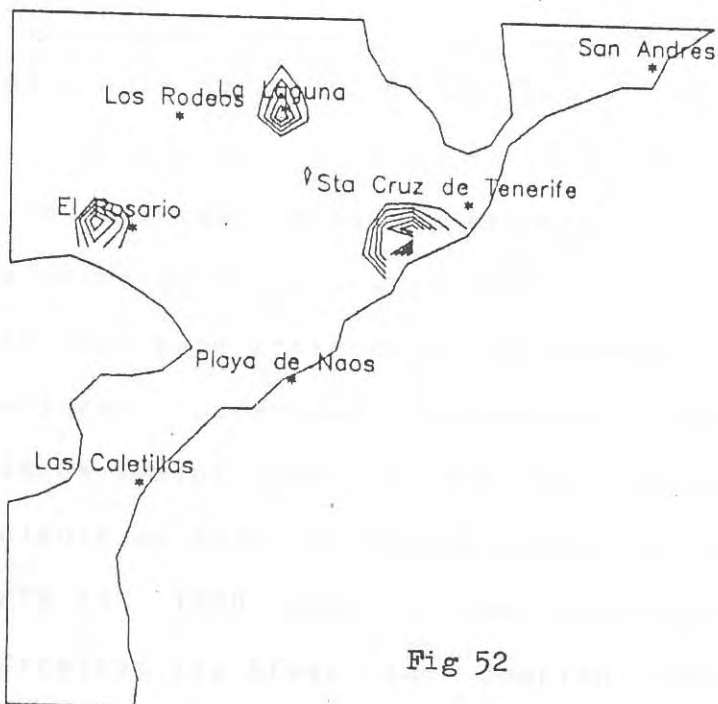


Fig 52

referencia un valor de relación concentración/fondo mayor de 0.8, se pone en evidencia la existencia de una banda de contaminación continua (Fig 53) entre La Laguna y Sta Cruz de Tenerife, así como la zona situada en Los Rodeos. Estas características de distribución se pusieron asimismo en evidencia en el capítulo referente a la distribución de plomo superficial.

6.2 Valores Equivalentes de Contaminación

Existen diversos parámetros normalmente utilizados para intentar valorar el grado de toxicidad potencial que puede contener un suelo; entre los más empleados está el de Cala Rivero et al.(1986) que destaca los denominados "Equivalente de Zn" y el de "Relaciones Cd/Zn". El primero de ellos se define mediante la ecuación empírica:

$$\text{Equivalente de Zn (ppm)} = \text{Zn (ppm)} + 2 \text{ Cu (ppm)} + 8 \text{ Ni (ppm)}$$

según la cual los suelos con valores superiores a 250 ppm de equivalentes de Zn se considerarían tóxicos. Sin embargo, en nuestro caso este criterio es totalmente inadecuado, ya que los valores obtenidos presentan niveles medios muy superiores (valor medio = 830 Eq. de Zn) y el índice de equivalente de cinc calculado sobre los valores de fondo se situaría en 1300 ppm, lo que restringiría de forma muy significativa las áreas que podrían encuadrarse bajo la denominación de potencial tóxico. En la Fig 54 se han representado los valores calculados de equivalentes de Zn,

Pb (ppm/fondo > 0.8)

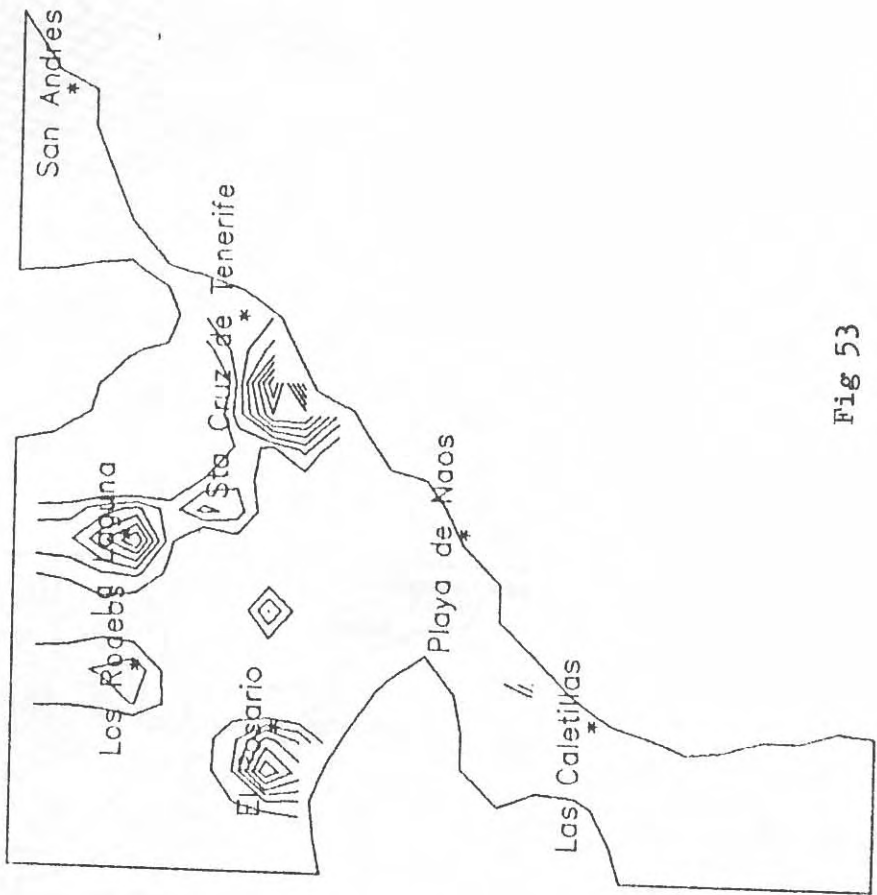
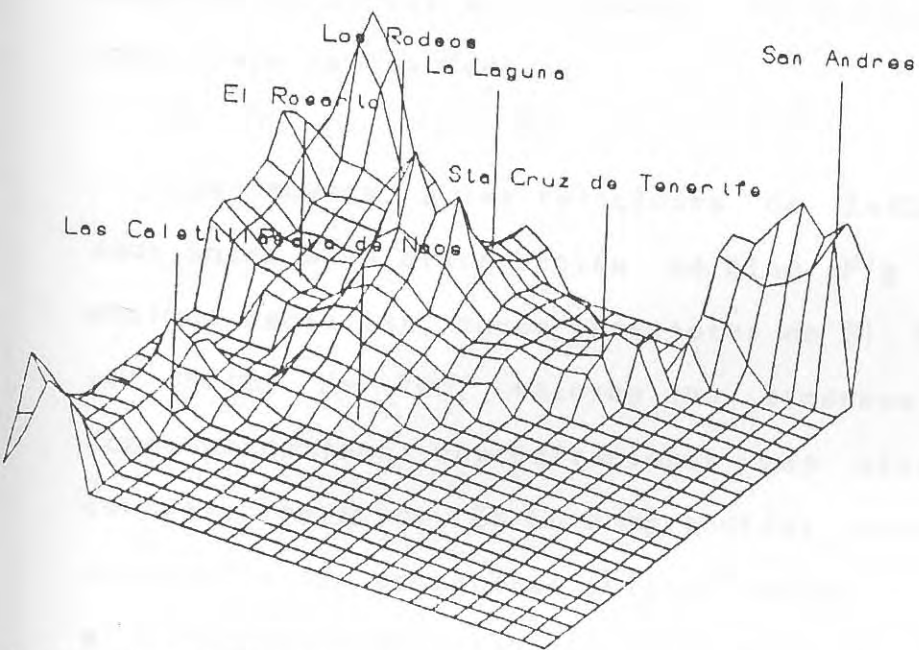


Fig 53



LOS TENERIFE: Equivalentes de Zn

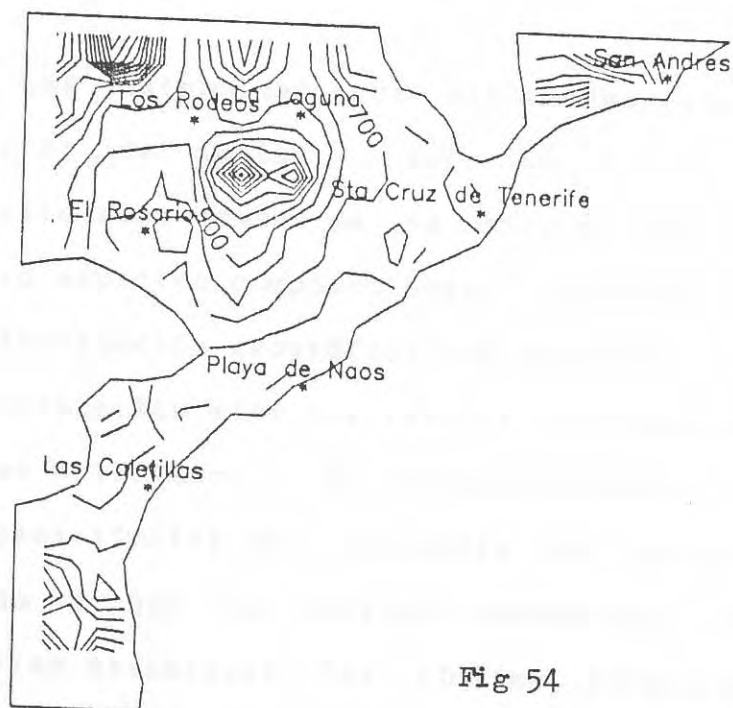


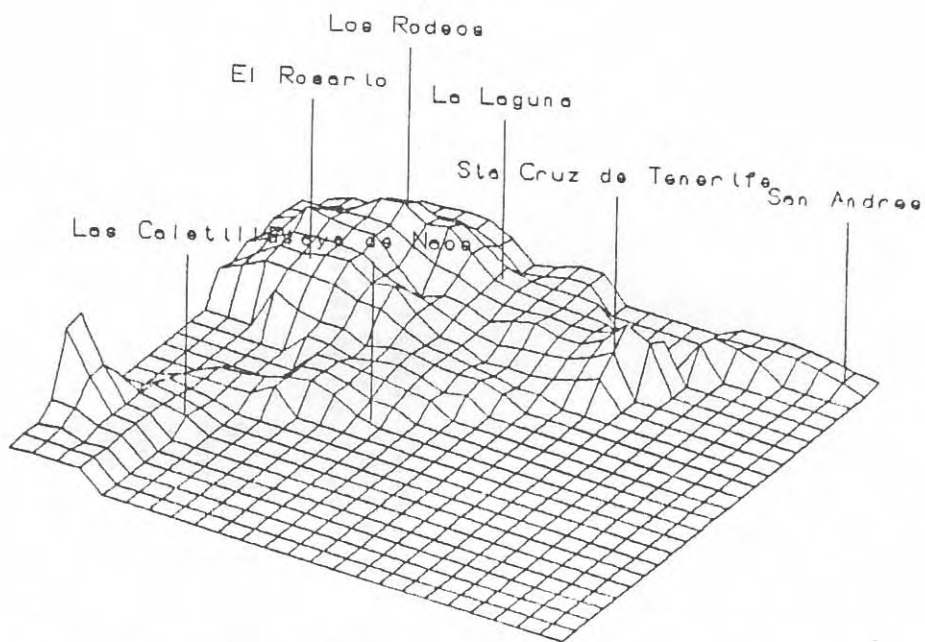
Fig 54

observándose que si se fija el valor límite límite en 1300 ppm, las áreas afectadas quedarían limitadas a la zona comprendida al sur de La Laguna y El Rosario, así como a la zona norte de Los Rodeos.

En cuanto a las relaciones de Zn/Cd, son en parte semejantes a la distribución de cinc (Fig 55), con valores máximos hacia las zonas interiores de El Rosario-La Laguna por encima de 700, valores que decrecen hacia la costa donde predominan concentraciones más elevadas de cadmio, con relaciones de Zn/Cd comprendidas entre 200-300. Estos resultados son en general suficientemente elevados para que el cinc desarrolle su efecto antagónico frente al cadmio, como sugieren algunos autores (Cala Rivero et al 1986).

6.3 Contenidos límites en metales pesados

Las determinaciones efectuadas sobre las diferentes muestras de suelos, tanto en lo referente a niveles superficiales como de la malla de muestreo, presentan un amplio espectro composicional, cuyo estudio de frecuencias y distribución geográfica fué examinada en el Capítulo 3. Se establecían allí los valores extremos que posteriormente se han observado. El establecer sobre estos valores unos posibles límites de tolerancia es relativamente complejo, debido a que no existen normativas concretas que nos permitan establecer los límites permisibles. Así, en el Cuadro 11, se confrontan los valores medios y máximos determinados en los suelos analizados frente a los límites



SUELOS TENERIFE: Relacion Zn/Cd

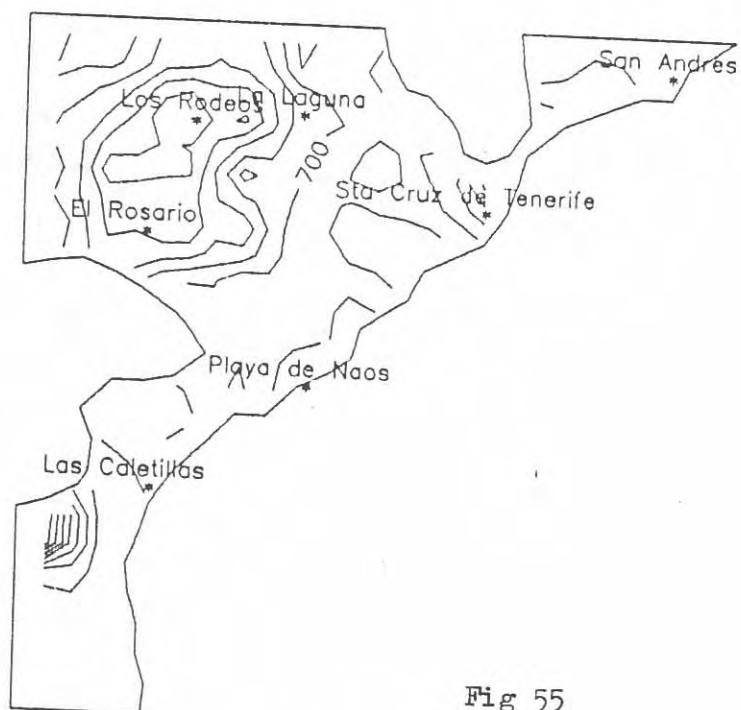


Fig 55

Cuadro 11: Contenidos en Metales Pesados (ppm)

	Suelos (1)		Límites (2)		Rocas Volcánicas (3)	
	Media	Maximo	R.F.A.	G.B.	Basalto	Basalto
Ni	75	268	50	40	170	182
Cr	145	600	100	150	381	263
Cu	55	226	100	40	64	59
Zn	125	271	300	75	-	-
V	223	322	-	-	459	421
Pb	25	69	100	45	6	3
Cd	0.19	0.44	3	0.6	-	-

(1) Valores medios de los suelos analizados (60 muestras)

(2) Contenidos límites recomendados. (Purves, 1979 ; El Bassam 1979)

(3) Basaltos recientes de Tenerife. (Brandle, 1979)

establecidos en algunos países europeos y los contenidos en elementos traza de dos tipos basálticos correspondientes a las series basálticas recientes. Una simple observación de los datos nos indica que los contenidos en los elementos típicamente contaminantes como el plomo y el cadmio, presentan concentraciones muy próximas a los valores límites recomendados en la República Federal Alemana (RFA) y en Gran Bretaña (GB) para suelos tratados con aguas residuales. Puesto que los contenidos en plomo de los basaltos son muy bajos parece deducirse claramente un efecto de contaminación provocado por el intenso tráfico en esas zonas.

Los valores determinados para los elementos pesados Ni, Cr y Cu, superan ampliamente los valores límites recomendados, incluso en lo que respecta a los valores medios obtenidos. Sin embargo, en este caso estas concentraciones guardan cierta correspondencia con el elevado contenido de estos elementos en los basaltos, aun cuando en el caso de los valores máximos del cromo y del cobre existan claros procesos acumulativos. Esta circunstancia rebaja decididamente el papel de la contaminación como causa de sus altos contenidos en los suelos de la zona estudiada.

En el caso del cinc, los valores determinados son también elevados, pero quedarían encuadrados en los límites de tolerancia recomendados.

7.- Resumen y Consideraciones sobre los Resultados Obtenidos

1. El área de estudio se ha delimitado en función de su contenido en elementos metálicos y contaminantes, en base a los resultados obtenidos mediante el análisis desarrollado sobre las muestras de suelos, tanto superficiales como de la malla, y en conjunción con las características geológicas y edafológicas de la zona, definiéndose las siguientes zonas:

- Zona interior, circunscrita al área de La Laguna-Los Rodeos y El Rosario. Se caracteriza geológicamente por la presencia de extensas formaciones de sedimentos; está limitada al norte por los Basaltos Antiguos del macizo de Anaga, mientras que al sur limita con los basaltos recientes de la Serie III.

En esta zona, y especialmente en su parte noroeste, se han determinado las anomalías más importantes de metales pesados -Níquel, Cromo, Cinc y Cobre, aun cuando este último elemento presenta la máxima anomalía hacia el borde superior izquierdo de la zona.

- Zona de costa al norte de Sta. Cruz, que comprende la parte oeste de San Andrés. Se caracteriza por suelos poco evolucionados, donde se han determinado concentraciones significativas de Níquel, Cromo y Cobre.

- Zona de costa comprendida entre Sta Cruz de Tenerife y las Caletillas, caracterizada por bajos contenidos en elementos pesados (Ni, Cr, Cu, etc). Presenta por el contrario los mayores niveles de concentración de Cadmio en la zona norte de Las Caletillas y de Plomo al sur de Sta Cruz de Tenerife.

- Zona de influencia del tráfico rodado y aéreo, restringida principalmente a los márgenes de la autopista de Sta Cruz a La Laguna y a la zona de influencia del aeropuerto de los Rodeos, con niveles de contenidos en plomo superiores a las 30 ppm.

2. Valoración de niveles de toxicidad

En cuanto a la valoración de los niveles de toxicidad debe indicarse que los determinados para los elementos pesados son superiores a los normalmente establecidos por las normativas desarrolladas en otros países. Sin embargo, los resultados que se derivan del análisis estadístico efectuado sobre los elementos metálicos y su confrontación con los parámetros edafológicos y componentes mineralógicos, evidencian claramente que los elevados contenidos de elementos como el Níquel, Cromo y Cobre están estrictamente relacionados con su acumulación por efecto de la denudación de rocas volcánicas básicas y por los procesos acumulativos consecuentes en zonas de sedimentación y desarrollo de procesos edafológicos, siendo poco significativo el papel de la contaminación antrópica.

Los niveles de concentración de Plomo y Cadmio están prácticamente por debajo de los valores de tolerancia recomendados y bastante alejados de los observados en otras zonas de España.

Como conclusión final puede indicarse, a la vista de los resultados obtenidos, que los niveles de contaminación y el potencial tóxico de los suelos del área industrial-urbana de Sta Cruz de Tenerife pueden considerarse como de bajo nivel de contaminación derivada de la actividad humana, no alcanzando sus niveles de concentración los límites de tolerancia generalmente aceptados.

Bibliografía

- Alonso U., Araña V., Brandle J.L., Bravo T., Cendreo A., Coello J., Fuster J.M., Hernandez-Pacheco, Martin M. y Navarro J.M. (1968). Mapa Geológico de Tenerife (1:100.000). Inst. Geológico y Minero y Inst. Lucas Mallada.
- Brandle J.L. (1979). Variaciones de composición en elementos traza del Archipiélago Canario. III Asamblea Nacional de Geodesia y Geofísica. Madrid. 1605 - 1631.
- Cala Rivero V., Rodriguez Sanchidrian J. y Guerra Delgado A. (1986). Contaminación por metales pesados en suelos de la Vega de Aranjuez. (I) Pb, Cd, Cu, Zn, Ni y Cr. Anal. Edaf. Agrobiol. 1595-1608.
- Davis J.C. (1973). Statistics and Data Analysis in Geology. John Wiley & Sons Inc. New York.
- El Bassam N. ; Tietjean C. (1979). Long-term studies on application of urban waste on heavy metals input and crop ecology. International Conference : "Heavy metals in the Environment". London, 521-524.
- Franzini M., Leoni L. y Saitta M. (1975). Revisión de una metodología analítica per Fluorescenza-X, basata sulla correzione completa degli effetti di matrice. Soc. Ital. Min. Petrol., 31, 365-378.
- Fuster J.M., Araña A., Brandle J.L., Navarro M., Alonso U. y Aparicio A. (1968). Geología y Volcanología de las Islas Canarias. Tenerife. Inst. Lucas Mallada, C.S.I.C. Madrid, p. 218.
- Lakanen E. y Ervio R. (1971). A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agraria Fenn., 123-232.
- Leoni L. y Saitta M. (1976). X-Ray Fluorescence analysis of 29 trace elements in rock and mineral standards. Soc. Ital. Min. Petrol., 32, 497-510.

PERKIN-ELMER (1982). Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrophotometry. The Perkin-Elmer Corporation. U.S.A.

Purves D. (1979). Trace element contamination of soils from sewage sludge applications. International Conference : "Heavy metals in the environment". London ,485-488.

Rodriguez Sanchidrian J. y Mariño M.(1979). Estudio de la contaminación de suelos y plantas por minerales pesados en los entornos de las autopistas que confluyen en Madrid. Anal. de Edaf. Agrobiol., 38, 7-8, 1377-1389.

Siegel F.R. (1974). Applied Geochemistry. A Wiley-Interscience Publication, John Wiley & Sons. New York

Singer M.J. y Janitzky P. (1986). Field and Laboratory Procedures Used in a Soil Chronosequence Study. U.S. Geological Survey Bulletin, 1648, p. 49.

Wedepohl K.H. (edit.). (1969-1978). Handbook of Geochemistry. Springer Verlag, Berlin.

Apéndice 1.- Matriz de Correlación de los Suelos de la
Malla de muestreo.

Apéndice 2.- Análisis Multivariable

Principal Components Analysis

Component Number	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	24.04423	24.04423
2	15.63976	39.68399
3	10.41358	50.09758
4	9.22939	59.32697
5	6.19749	65.52445
6	5.79976	71.32422
7	5.12789	76.45210
8	4.52736	80.97946
9	3.82193	84.80139
10	3.01949	87.82088
11	2.69696	90.51784
12	2.39671	92.91455
13	1.78796	94.70252
14	1.20162	95.90413
15	1.14491	97.04904
16	.96710	98.01614

Principal Components Analysis

Component	Percent of	Cumulative
17	.80908	98.82522
18	.50073	99.32595
19	.39419	99.72014
20	.27314	99.99328
21	.00672	100.00000

Principal Components Analysis

Component Number	Percent of Variance	Cumulative Percentage
1	29.25132	29.25132
2	16.08959	45.34090
3	14.24717	59.58807
4	10.40315	69.99122
5	6.81144	76.80267
6	5.40737	81.90993
7	4.34026	86.24930
8	3.75306	90.00236
9	2.73790	92.74026
10	3.20721	94.94747
11	1.63732	96.58479
12	1.50609	98.09089
13	.99668	99.08757
14	.62264	99.71021
15	.28979	100.00000

Variable	Communality	Factor	Eigenvalue	Percent Var	Cum Percent
Pillr	0.71115	1	4.38770	29.2	29.2
Q	0.67210	2	2.41344	16.1	45.3
PYD	0.71711	3	2.13709	14.2	59.5
Hm	0.60731	4	1.51532	10.1	69.7
Qk	0.34130	5	1.02172	6.8	76.5
TIRC	0.92209	6	.81111	5.4	81.9
Sr	0.68199	7	.65104	4.3	86.2
Qu	0.57409	8	.56296	3.8	90.0
NI	0.72591	9	.41062	2.7	92.7
Cr	0.83618	10	.33102	2.2	94.9
U	0.83023	11	.24560	1.6	96.5
Mo	0.31238	12	.22591	1.5	98.1
Pb	0.30639	13	.14950	1.0	99.1
Zn	0.60415	14	.09340	.6	99.7
Cd	0.39430	15	.04347	.3	100.0

Factor Matrix

Variable/Factor	1	2	3	4
Files	0.49426	0.68042	0.01155	0.41250
Q	0.42614	-0.21178	-0.63563	-0.18884
PVQ	-0.64131	-0.58007	-0.00711	0.14502
Hm	-0.42056	0.20129	0.47165	-0.51209
Q	-0.80047	0.07609	0.14590	-0.37545
T102	-0.57254	0.66700	0.03039	-0.39653
Sr	-0.40490	-0.65925	0.42651	-0.03824
Cu	-0.46424	0.05715	-0.63324	0.10932
Ni	-0.68880	0.23796	-0.34499	0.33653
Cr	-0.75279	0.19093	-0.26081	0.45597
U	-0.69791	0.39754	-0.22386	-0.13709
Mo	-0.38533	-0.49406	-0.19239	-0.21640
Pb	0.32493	-0.07922	-0.35116	-0.32489
Zn	0.00982	-0.21451	-0.71188	-0.49415
Ca	-0.49896	-0.33349	0.03197	0.22256

Factor Matrix

Variable/Factor	5	6
Files	-0.00984	0.37336
Q	0.17453	-0.45752
PVQ	0.18099	0.00170
Hm	-0.06600	-0.09419
Q	0.02758	-0.19875
T102	0.09306	0.03704
Sr	-0.08631	0.16960
Cu	-0.26308	0.28528
Ni	-0.09204	-0.09128
Cr	-0.05554	-0.03901
U	0.25966	0.03423
Mo	-0.38534	0.21891
Pb	0.56078	0.38466
Zn	-0.16895	-0.07021
Ca	0.54055	0.12842

Variable	Communality	Factor	Eigenvalue	Percent Var	Cum Percent
pH	0.92202	1	5.04929	24.0	24.0
CE	0.57688	2	3.28435	15.6	39.7
Acidilla	0.99575	3	2.18685	10.4	50.1
Limo	0.99377	4	1.93917	9.2	59.3
arena	0.99683	5	1.30147	6.2	65.5
PS	0.68663	6	1.21795	5.8	71.3
CO2	0.61613	7	1.07686	5.1	76.5
Ca	0.57798	8	.95074	4.5	81.0
Mg	0.41615	9	.80261	3.8	84.8
Na	0.86324	10	.63409	3.0	87.8
K	0.72951	11	.56636	2.7	90.5
TiO2	0.70630	12	.50331	2.4	92.9
Sr	0.73129	13	.37547	1.8	94.7
Cu	0.55115	14	.25234	1.2	95.9
Mn	0.81514	15	.24043	1.1	97.0
Cr	0.87165	16	.20309	1.0	98.0
V	0.79236	17	.16991	.8	98.8
Mo	0.37055	18	.10515	.5	99.3

Variable	Communality	Factor	Eigenvalue	Percent Var	Cum Percent
Pb	0.69749	19	.08278	.4	99.7
Zn	0.66903	20	.05736	.3	100.0
Co	0.63790	21	.00141	.0	100.0

Factor Matrix

Variable/Factor	1	2	3	4
pH	0.83781	0.21872	0.06872	0.11693
CE	0.46832	-0.01564	0.09255	-0.20259
Arquilla	-0.05299	0.14615	0.75421	0.39124
Lime	-0.64603	-0.16080	0.14256	-0.11645
Arena	0.51166	-0.00368	-0.75019	-0.26056
NO	-0.62460	-0.02704	-0.02648	-0.37683
CO ₂	0.81437	0.04470	0.11769	-0.13534
Ca	0.55044	0.23533	0.29420	0.06646
Mg	0.31128	0.02463	-0.33186	0.45708
Na	0.73344	-0.13794	0.45407	-0.14279
K	0.55453	-0.26745	0.22466	-0.17180
TDS	-0.41723	0.58422	-0.05015	0.18922
Fe	0.72528	0.14705	0.01586	-0.07094
Cu	-0.13354	0.60734	0.17626	-0.47505
Mn	-0.03830	0.78636	0.10622	-0.08946
Zn	0.03313	0.88016	0.07923	0.01442

Factor Matrix

Variable/Factor	5	6
pH	0.24568	0.03095
CE	-0.06901	0.04091
Arquilla	0.21053	-0.13359
Lime	-0.01133	0.37076
Arena	-0.16513	-0.14821
NO	-0.22185	-0.16666
CO ₂	-0.01493	0.24199
Ca	0.13575	0.21604
Mg	0.19988	0.35067
Na	-0.27134	0.17510
K	-0.48866	0.15323
TDS	0.16797	0.11436
Fe	0.19479	-0.43321
Cu	0.02340	0.11238
Mn	-0.38766	0.15753
Zn	-0.26849	0.07932

Introducción

El presente informe de resultados de los análisis realizados en el marco del proyecto de investigación sobre la contaminación atmosférica en la zona de Santa Cruz de Tenerife, en el año 1994, se estructura de la siguiente manera:

ANEJO 2.- CONTENIDO DE METALES PESADOS Y OTROS CONTAMINANTES METALICOS EN SUSPENSION EN EL AIRE. ZONA DE SANTA CRUZ DE TENERIFE.

Este anejo describe los resultados de los análisis realizados en la zona de Santa Cruz de Tenerife, en el año 1994, para determinar el contenido de metales pesados y otros contaminantes metálicos en suspensión en el aire.

Los datos de los análisis

Los datos de los análisis se presentan en el anexo 2, donde se detallan los resultados obtenidos en cada una de las estaciones de muestreo.

Introducción

Los procesos de combustión de materias energéticas, tales como carbón y fuelóleo en centrales eléctricas y plantas industriales, así como la incineración de residuos sólidos, pueden ser responsables de la emisión de varios contaminantes, y en particular de elementos volátiles que conjuntamente con los aportes locales y/o los arrastrados por las corrientes de aire constituyen las partículas sólidas en suspensión en el aire.

El control sistemático de los niveles de concentración de estas partículas en suspensión y el establecimiento de Factores de Enriquecimiento específico para cada zona industrial y/o urbana supone una información de vital importancia, ya que la superación de ciertos umbrales de concentración pueden repercutir de forma directa en los ecosistemas y entornos ambientales naturales.

1.- Plan de Trabajo

Dadas las características específicas de la zona se efectuaron una serie de muestreos sucesivos en determinados puntos y durante periodos prolongados, que constituyeron las estaciones fijas de captación de partículas

atmosféricas. Su finalidad era la de obtener un muestreo suficientemente significativo durante diversas condiciones estacionales.

El muestreo se efectuó mediante la utilización de Captadores de Alto Volumen RADECO modelo HD 28/B, para la toma de muestras de partículas en suspensión sobre filtros de celulosa de malla fina, programados con un flujo de aire de 50 l/min. (ver fotografías 1 y 2 del Anejo 4).

Este muestreo ha permitido la obtención de una serie de muestras significativas (Cuadro 1), con volúmenes de deposición de material suficientemente elevado como para efectuar las determinaciones cuantitativas de los diferentes elementos y metales pesados.

Los resultados de este plan de trabajo han permitido un continuo seguimiento y control de las características atmosféricas de la zona de estudio, y la selección de un material apropiado para su posterior análisis.

2.- Metodología Analítica

Las peculiaridades del material de toma de muestras -filtros de celulosa que retienen superficialmente las partículas de polvo atmosférico captado de forma forzada y que constituyen muestras singulares ya que no pueden ser duplicadas-, se han utilizado por un lado métodos no destructivos: Rayos-X para la identificación de las Fases

CUADRO : 1

Características de Muestreo de los Filtros Atmosféricos

Ref. Muestra	Tiempo (h)	Volumen (m ³)	Observaciones
EVC-1	117.00	351.00	Calima
EVC-2	166.00	498.00	
EVC-3	165.00	495.00	
EVC-4	168.00	505.50	
EVC-5	167.70	503.10	
EVC-6	168.00	504.00	
EVC-7	166.10	498.30	
EVC-8	311.05	933.15	
EVC-9	408.50	1225.50	
IC-30	138.70	416.10	
IC-31	99.7	299.10	
IC-32	144.6	433.80	
IC-33	19.3	57.90	

EVC Estacion Volcanologica de Canarias

IC Igueste de Candelaria

NOTA

Flujo 50 litros/minuto
Filtros de Celulosa de malla fina

Minerales y Fluorescencia de Rayos-X para su cuantificación. Estas metodologías permiten efectuar las diferentes determinaciones sin destrucción de los filtros, lo cual hace posible su posterior utilización para las determinaciones analíticas por vía húmeda mediante ICP (Inducción de Plasma), método que con el que se logran elevados niveles de detección.

El análisis mineralógico se ha efectuado mediante Difracción de Rayos X, método utilizado para la identificación de las fases minerales más significativas. El barrido se ha efectuado directamente sobre los filtros, mediante un espectrómetro PHILIPS provisto de una unidad de control PW-1710, irradiando las muestras mediante cátodo de Cu a (40 kV y 40 mA).

El análisis cuantitativo de los contenidos de elementos mayoritarios depositados en los filtros se ha efectuado mediante un espectrómetro de Fluorescencia de Rayos X automatizado (PHILIPS 1410/20), irradiándose directamente los filtros mediante un Tubo de Cr y midiendo las intensidades en las líneas de mayor energía con detector de flujo, de acuerdo con la metodología propuesta por Elichegaray et al. (1981). Sobre las intensidades obtenidas se ha efectuado la corrección de cuentas correspondiente a un filtro blanco.

La valoración del contenido elementos metálicos contaminantes se ha efectuado mediante digestión en caliente y en medio ácido (perclórico y fluorhídrico) de las

muestras de polvo atmosférico depositado en los filtros, y estabilizado el ataque mediante la adición de una solución saturada de ácido bórico. Las determinaciones analíticas se han efectuado con un equipo de Inducción de Plasma Perkin-Elmer ICP/6500.

3.-Identificación de las Fases Minerales.

La valoración cualitativa de las fases minerales detectadas se presenta en el Cuadro 2, donde se agrupan en consonancia con sus afinidades paragenéticas. Los difractogramas correspondientes a los barridos efectuados de los difentes filtros se presentan en el Apéndice 1.

En conjunto se observa la presencia casi sistemática de minerales arcillosos y filosilicatados, con sensibles diferencias en cuanto al predominio y características mineralógicas de las diferentes muestras. En general, su concentración es baja en lo que respecta a los contenidos de filosilicatos y de serpentina, presentándose valores más elevados de sepiolita y montmorillonita en relación con las muestras EVC-8 y EVC-9.

Los feldespatos constituyen la segunda fase mineral por su importancia, y por su presencia en casi todos los filtros, aun cuando la máxima concentración se ha detectado en la muestra EVC-1 tomada durante un período de tiempo con predominio de calimas.

CUADRO : 2

Fases Minerales de los Filtros Atmosfericos

	<u>EVC-1</u>	<u>EVC-2</u>	<u>EVC-3</u>	<u>EVC-4</u>	<u>EVC-5</u>	<u>EVC-6</u>	<u>EVC-7</u>	<u>EVC-8</u>	<u>EVC-9</u>
Filosilicat.	×	□	□	□	□				
Serpentina			□	×	□	□	□		
Sepiolita							□	⊗	
Illita-Micas				×					×
Montmorillon.									⊗
Feldespatos	■	□	□	×	□	□	⊗	⊗	
Piroxenos	⊗		□		□		□		□
Olivino			□	□	□	□	⊗	□	□
Magnet - Ilm	□								
Goetita	⊗	□	□	□				□	⊗
Calcita	□				□		□	□	
Aragonito		□							
Sulfatos									□
Yeso		×							×
Halita				□	×	×		□	×

Simbolos

- Conc. alta (I >500 cps)
- ⊗ Conc. media (I <500 ~ I >150 cps)
- Conc. baja (I <150 cps)
- × Indicios (I <80 cps)

Los minerales ferromagnesianos (piroxenos y olivinos) constituyen asimismo fases minerales típicas de zonas volcánicas con predominio de materiales basálticos, por lo que no es extraña su presencia en casi todos los filtros.

Dentro del grupo de los minerales constituidos por óxidos Fe-Ti e hidróxidos de hierro, destaca la presencia de minerales como la magnetita y el rutilo, así como la goetita. Estas fases minerales están presentes en gran parte de los filtros, con predominio en los denominados EVC-1 y EVC-9. Al igual que en el caso anterior, su presencia estaría relacionada con la denudación de los materiales geológicos de la zona.

Las otras fases minerales detectadas pueden considerarse como accesorias, tanto por sus características mineralógicas como por el rango de concentración detectado. Los carbonatos están representados por la calcita y aragonito, este último con menor frecuencia. La presencia de sulfatos, y en particular el Yeso, ha sido determinada juntamente con la halita, que aparece de forma esporádica en algunos filtros. No se ha detectado en cambio cuarzo en las muestras analizadas.

4.- Componentes Elementales Mayoritarios

Los valores analíticos determinados para estos componentes han sido cuantificados en relación al volumen de exposición de los filtros (ver Cuadro 1), y expresados como

concentraciones elementales (microgrmos/m³) en relación a un valor volumétrico unitario. Como se observa en el Cuadro 3, sus concentraciones presentan valores numéricos significativos para casi todos los elementos considerados como componentes mayoritarios de la corteza terrestre, a excepción del magnesio y del sodio que sólomente se han detectado en algunas muestras.

En cuanto a los valores de correlación interelementales (Cuadro 4), se observa que la sílice presenta elevados valores de correlación con el aluminio, álcalis (sodio y potasio), calcio, fósforo y en menor grado con el hierro. Esto es indicativo de que la sílice es parte constituyente -conjuntamente con el aluminio- de la formación de minerales en cuya estructura participan los otros elementos, aspecto este que concuerda con las características mineralógicas puestas anteriormente en evidencia. Sólomente en el caso del titanio y el magnesio están ausentes tendencias significativas de correlación en relación con los restantes elementos.

Los niveles de concentración de sílice presentan un los valores de máxima frecuencia (Fig 1a) entre los 0.8 y 1.2 (microgramos/m³), con un pico en torno a los 2 microg/m³, por lo que sus niveles de concentración pueden considerarse normales y quedan dentro de los valores determinados por Coudé-Gaussen et al. (1988) para la Isla de Fuerteventura, aun cuando no se alcancen los valores extremos (2.9 microg/m³) determinados por estos autores.

CUADRO: 3

	Concentracion de Elementos Mayoritarios en									Filtros			Atmosfericos	
	EVC-1	EVC-2	EVC-3	EVC-4	EVC-5	EVC-6	EVC-7	EVC-8	EVC-9	EVC-7	EVC-8	EVC-9	EVC-8	EVC-9
Si	1.836	0.353	0.137	0.842	1.093	1.016	0.682	0.714	0.799				0.714	0.799
Ti	0.010	0.045	0.018	0.043	0.019	0.038	0.059	0.020	0.125				0.020	0.125
Al	0.345	0.084	0.031	0.167	0.204	0.197	0.128	0.151	0.143				0.151	0.143
Fe	2.220	0.187	0.068	0.196	0.129	0.196	0.062	0.090	1.067				0.090	1.067
Mg	-	-	-	0.002	0.083	0.002	0.056	0.302	0.011				0.302	0.011
Ca	1.324	0.123	0.039	0.192	0.207	0.133	0.141	0.063	0.200				0.063	0.200
Na	0.765	0.069	-	-	-	-	-	-	-				-	-
K	0.220	0.027	0.007	0.021	0.059	0.053	0.020	0.025	0.144				0.025	0.144
P	0.020	0.004	0.002	0.009	0.008	0.007	0.005	0.006	0.008				0.006	0.008

Anal : E. Rguez Badiola. MNCN . (CSIC)
 Concentraciones en µg/m3

CUADRO : 4

Matriz de Correlacion de los Elementos Mayoritarios

	Si	Ti	Al	Fe	Mg	Ca	Na	K	P
Si	1.00								
Ti	-0.19	1.00							
Al	1.00	-0.24	1.00						
Fe	0.75	0.06	0.74	1.00					
Mg	-0.06	-0.24	-0.02	-0.28	1.00				
Ca	0.84	-0.27	0.84	0.92	-0.24	1.00			
Na	0.75	-0.34	0.76	0.90	-0.21	0.98	1.00		
K	0.79	0.16	0.77	0.97	-0.25	0.86	0.81	1.00	
P	0.94	-0.18	0.94	0.89	-0.15	0.94	0.88	0.87	1.00

FILTROS de AIRE

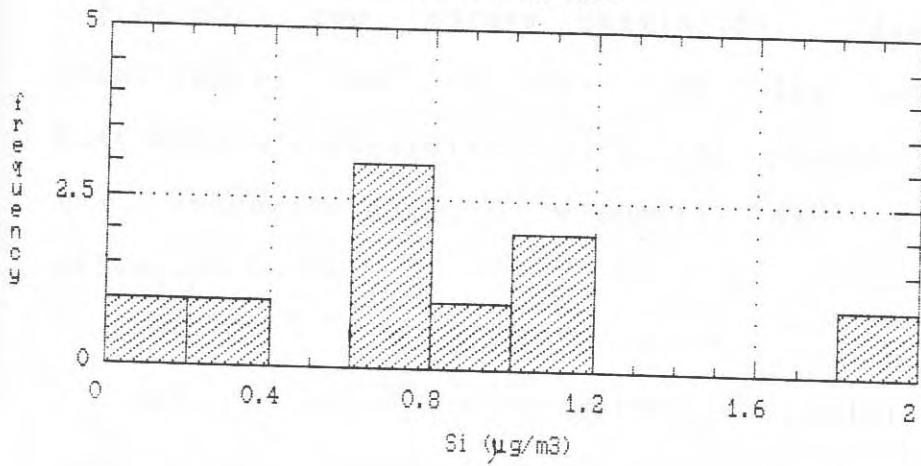


Fig 1a

(+) Valor medio atmosferico

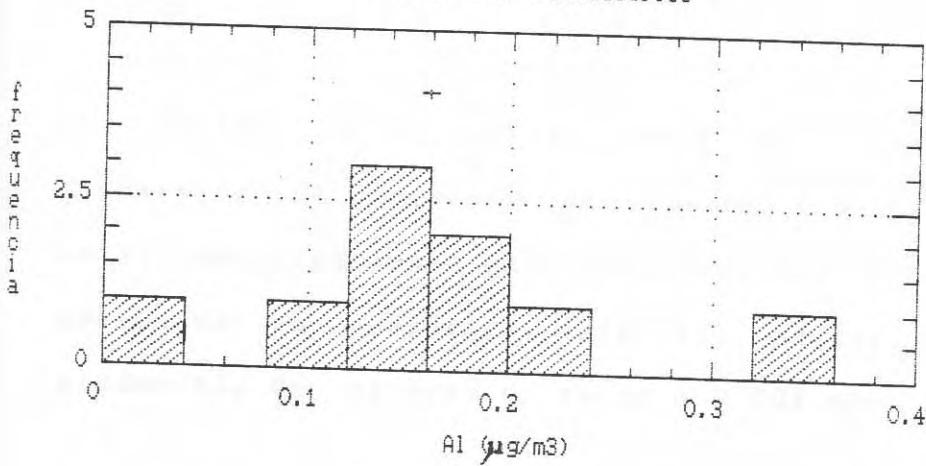


Fig 1b

Las concentraciones detectadas de aluminio (Fig 1b) presentan su máxima frecuencia entre los 0.1 y 0.2 microg/m³, con escasa desviación. Estos valores son coincidentes con la media de los determinados por Buat-Menard y Chesselet (1979) ($Al = 0.160$ microg/m³) para las concentraciones de elementos en la atmósfera del Atlántico Norte.

En cuanto a los contenidos en calcio (Fig 2a), se observa que la mayor frecuencia se agrupa en torno a valores que no superan los 0.3 microg/m³, quedando claramente diferenciado el valor correspondiente a la muestra de la estación EVC-1 (1.2 microg/m³), en coincidencia con las particulares condiciones atmosféricas de la época de muestreo, con una intensa invasión de polvo sahariano (calima).

Los contenidos en potasio (Fig 2b) muestran una mayor dispersión de valores, aun cuando son predominantes las bajas concentraciones que no superan los 0.08 microg/m³. El contenido en Fosfórico (Fig 2c) es asimismo bajo con predominio de valores en torno a 0.008 microg/m³.

Los niveles de concentración determinados para el titanio, indicados en la Fig 3a, presentan una marcada frecuencia sobre los 0.03 microg/m³, quedando prácticamente agrupados todos los valores en torno al mismo. Las concentraciones de hierro (Fig 3b) son claramente coincidentes con el valor medio ($Fe = 0.100$ microg/m³)

FILTROS DE AIRE

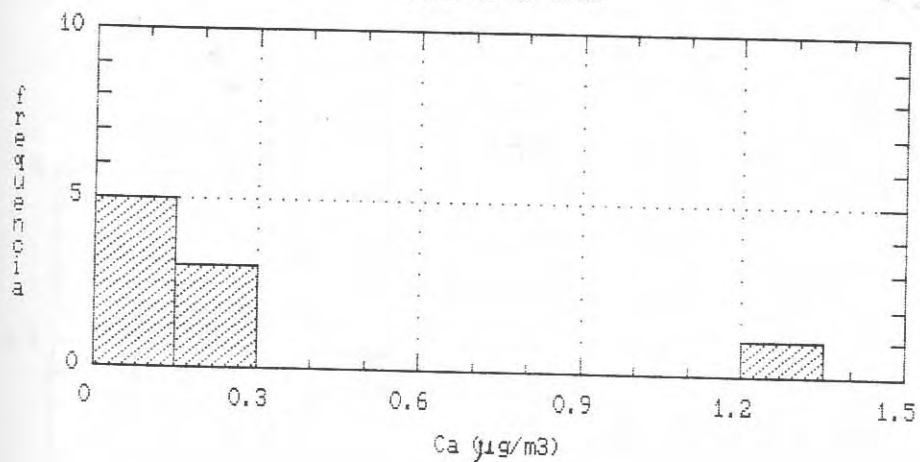


Fig 2a

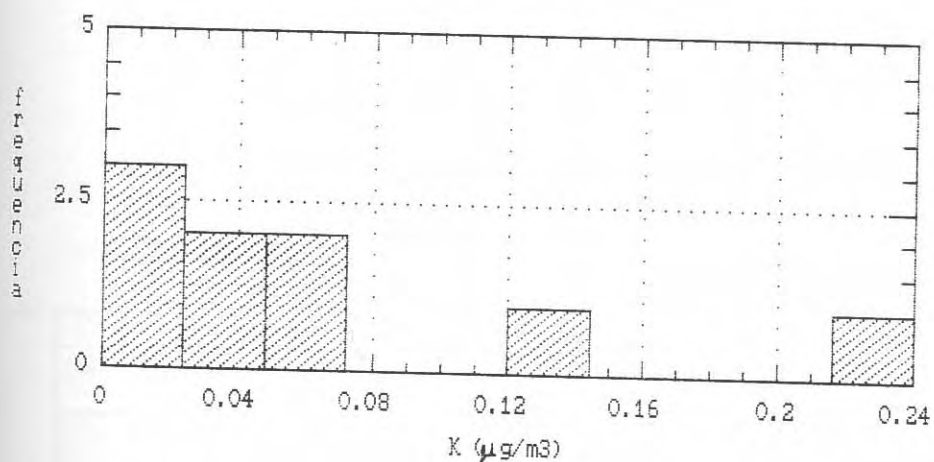


Fig 2b

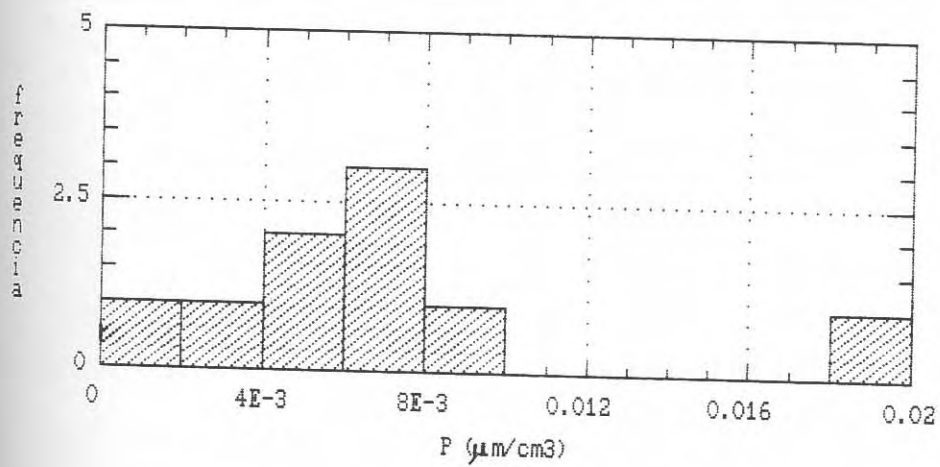


Fig 2c

FILTROS DE AIRE

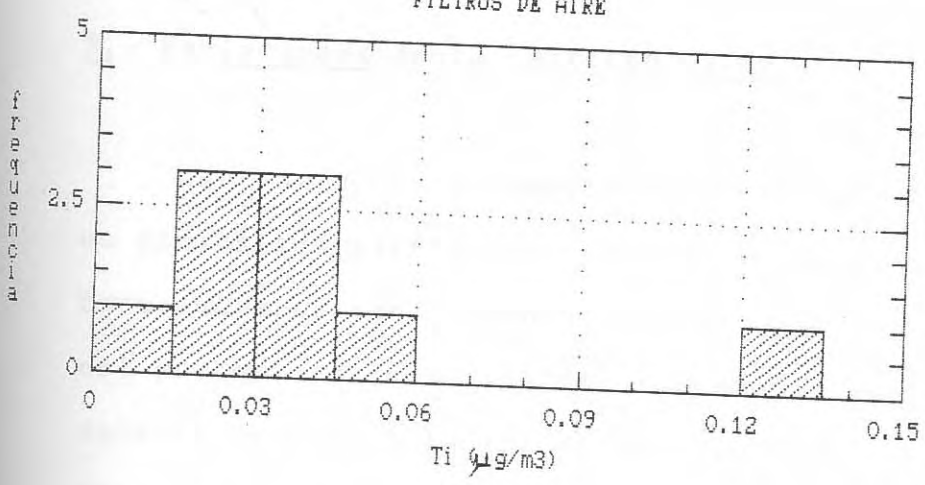


Fig 3a

(+) Valor medio atmosferico

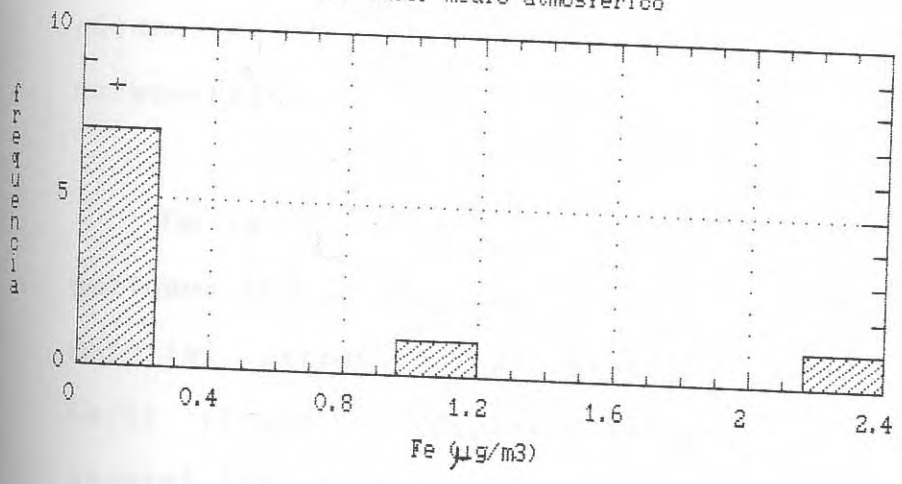


Fig 3b

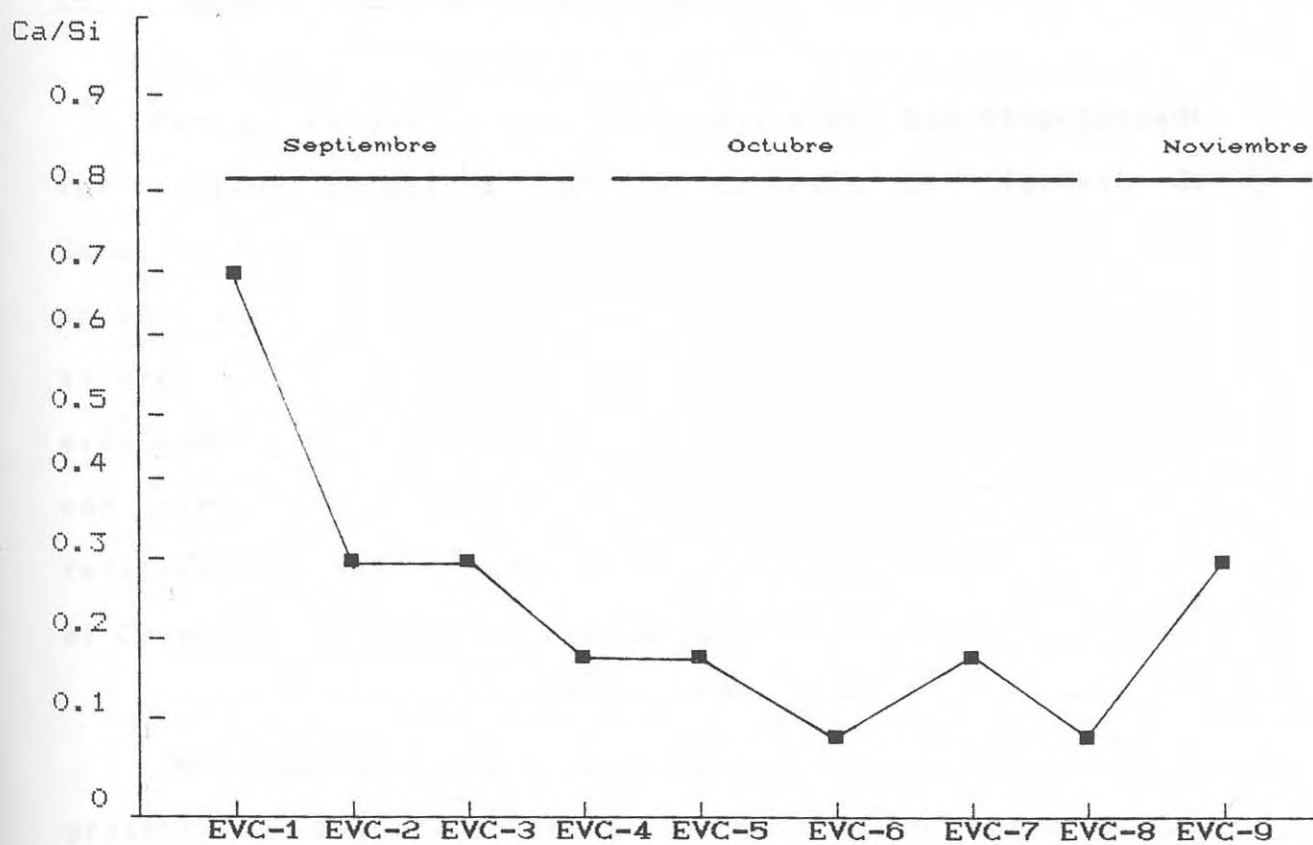
propuesto por Buat-Menard y Chesselet (1979); al igual que en los casos anteriores, el valor extremo presentado para estos elementos se corresponde con la muestra EVC-1.

5.- Variaciones de la Relación Ca/Si

Las variaciones temporales de la relación Ca/Si durante un prolongado período de muestreo se presenta en la Fig 4. Estos valores son siempre superiores a 1, hecho indicativo del predominio de la sílice respecto al calcio. Los máximos valores de esta relación se experimentan durante la primera fase de muestreo de la estación EVC-1 -durante el mes de Septiembre-, haciéndose patente que la presencia de calimas favorece el incremento de calcio, aspecto que parece sugerir un posible aporte marino. De hecho las rocas ígneas basálticas presentan valores de Ca/Si de 0.131, superándose sólo el valor 1 cuando existen aportes de rocas carbonatadas.

De la Fig 4 se desprende que, a excepción de los períodos con calimas -en los que existe un mayor aporte de material extraño-, la evolución temporal de la relación Ca/Si tiende a adquirir valores normales (0.1-0.2). En general los valores obtenidos de Ca/Si para la Isla de Tenerife son inferiores a los presentados por Coudé-Gaussen et al. (1988) para la Isla de Fuerteventura, lo cual sería indicativo de un mayor aporte marino en esta isla, en contraposición con la zona muestreada en Tenerife, donde predominan los aportes terrígenos relacionados con su

Fig 4 . Variacion de la relacion Ca/Si



entorno natural, hecho que explicaría la ausencia de partículas de cuarzo -de posible origen Sahariano- durante los periodos normales de muestreo.

6.- Elementos Traza Contaminantes

Para el estudio de estos elementos se han seleccionado los filtros obtenidos en la estación de Igueste de Candelaria, por su proximidad a un potencial foco contaminante: la Central Eléctrica de las Caletillas. Los valores analíticos obtenidos en la secuencia de muestreo se presentan en el Cuadro 5. Los datos indican rangos de concentración que en general pueden considerarse relativamente bajos, aun cuando otros elementos como el Zn y el Cr presenten concentraciones más elevadas.

De forma individual se observa que el Cinc (Fig 5a) presenta la mayor frecuencia de valores en torno a 0.12 microg.V/m³, superiores a la media calculada por Buat-Menard y Chesselet (1979): Zn= 0.004 para la atmósfera del Atlántico Norte. Las concentraciones determinadas para el Cadmio (Fig 5b) muestran un valor de 0.003 microg.V/m³, también superior a los rangos de concentración propuestos (0.003-0.62 microg/m³) por Duce et al. (1975). En cuanto a lo que respecta al Vanadio (Fig 5c), se observa la presencia de dos rangos de frecuencia: uno con valores bajos -entre los 0.02-0.05 microg.V/m³-, próximo a los términos medios

CUADRO: 5

Valoración del Contenido Volumétrico en Elementos Contaminantes

	IC-30	IC-31	IC-32	IC-33
Zn	0.120	0.167	0.115	-
Cd	0.003	<0.002	0.003	<0.002
Ni	0.011	0.017	0.026	0.080
Cr	0.005	0.005	0.004	0.003
V	0.020	0.042	0.092	0.109
Cu	0.004	<0.002	0.005	0.009

 Anal: N. Perez Rodriguez. IRNAC . (CSIC)
 Concentraciones en µgV/m³

FILTROS DE AIRE

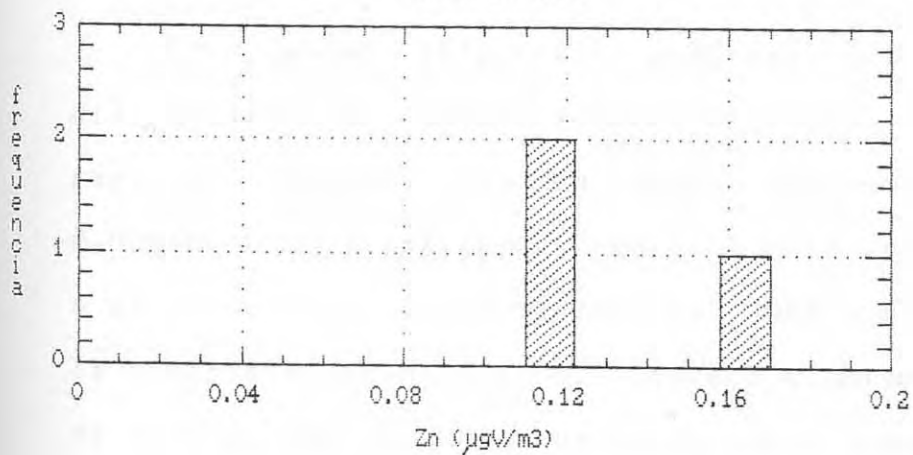


Fig 5a

(+) Valor medio atmosferico

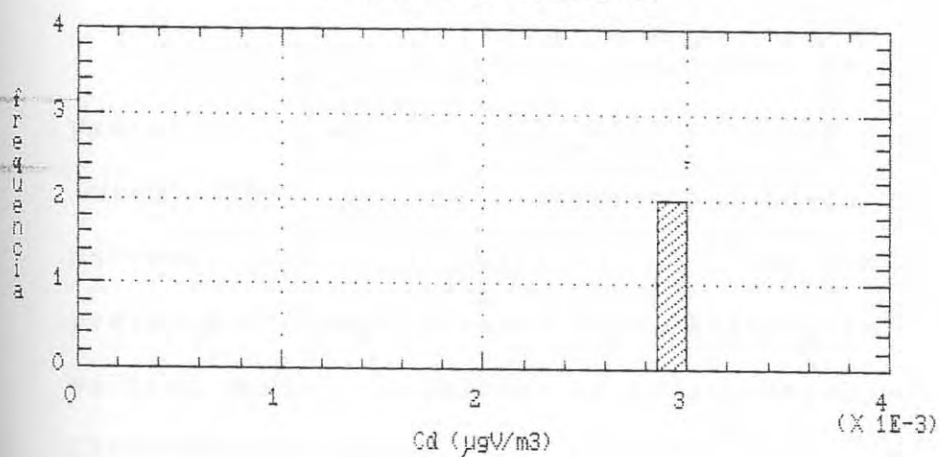


Fig 5b

(+) Valor medio atmosferico

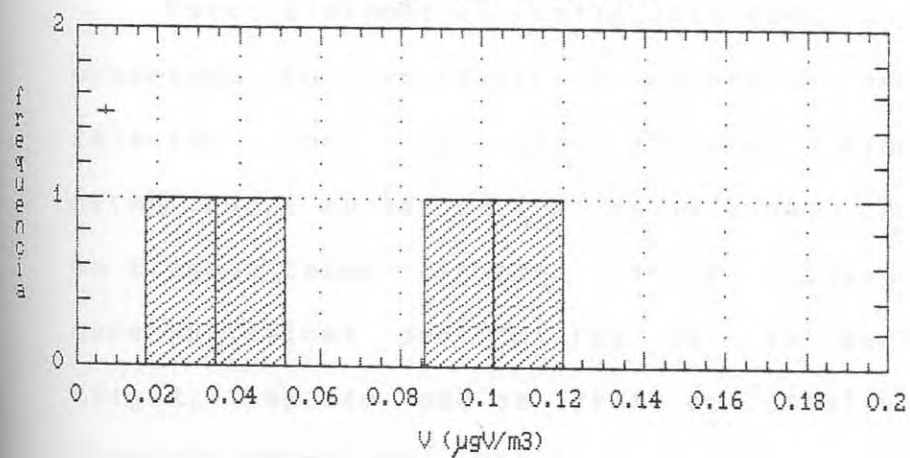


Fig 5c

(V=0.0005 microg/m³) calculados por Buat-Menard y Chesselet (1979), y otro grupo con concentraciones típicas en torno a los 0.1 microg/m³.

El Cobre (Fig 6a) presenta características de distribución de concentraciones similares a las observadas para el Vanadio, con un mayor agrupamiento entre los 0.002-0.006 microg.V/m³ y con un límite inferior que tiende a aproximarse al valor medio (Cu=0.0008 microg/m³) medido en la atmósfera del Atlántico. Destaca asimismo la existencia de valores más elevados que estos, que llegan a alcanzar los 0.01 microg/m³.

En el caso del Niquel (Fig 6b) se repiten las mismas pautas: valores bajos algo superiores a la media (Ni=0.0006), que se incrementan hasta alcanzar valores extremos de 0.08 microg.V/m³. El Cromo por su parte (Fig 6c) presenta concentraciones sistemáticamente superiores a los valores medios calculados en la atmósfera del Atlántico, de Cr=0.0004 microg/m³.

Este sistemático enriquecimiento en metales pesados observado en los filtros atmosféricos debe examinarse en relación con los contenidos en elementos metálicos determinados en los suelos de la zona, concentraciones que en algunos casos alcanzan niveles elevados debido a las características particulares de las posibles áreas de origen, aspecto que se trató en detalle en el apartado anterior (Anejo 1).

(+) Valor medio atmosferico

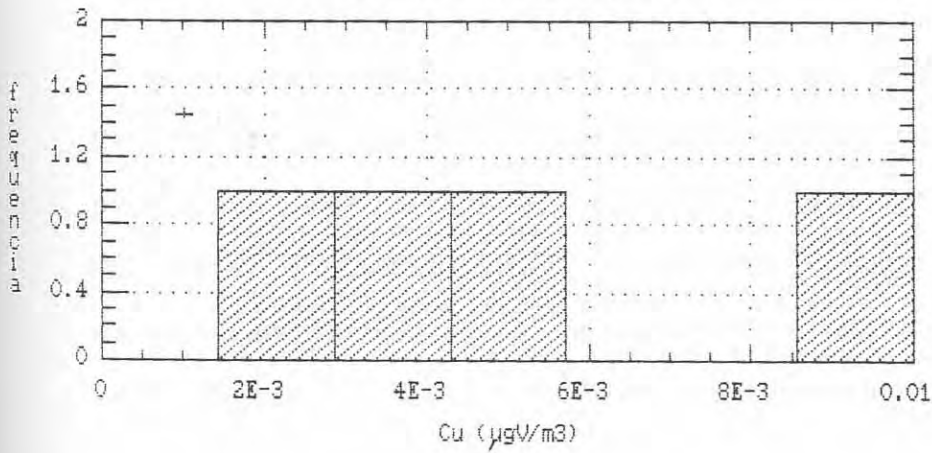


Fig 6a

(+) Valor medio atmosférico

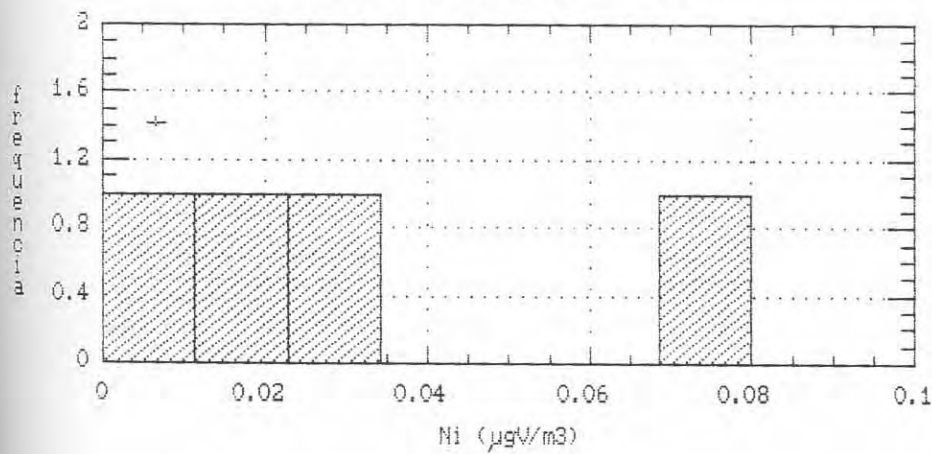


Fig 6b

(+) Valor medio atmosferico

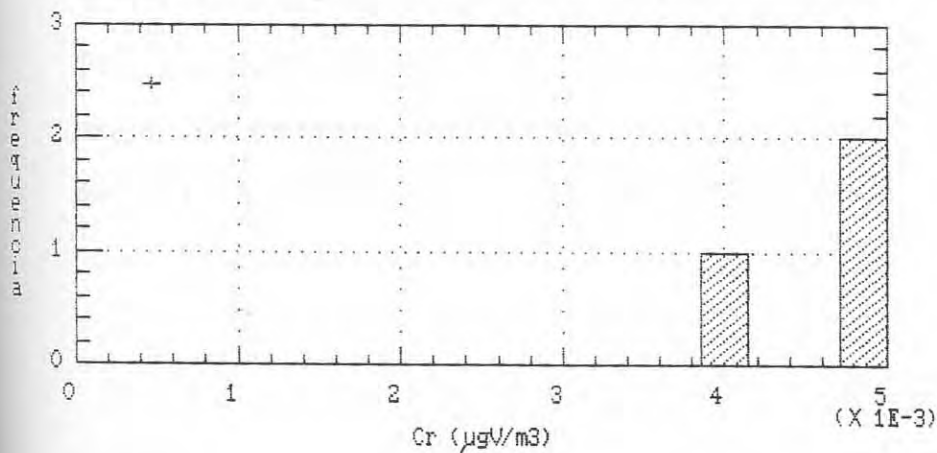


Fig 6c

7.- Indicadores del Grado de Polución Ambiental

La valoración de este aspecto se efectuó mediante la determinación de los Factores de Enriquecimiento (EF) método propuesto por algunos autores (Duce y Hoffman, 1975; McDonald y Duncan H.J., 1980) y que se basa en el establecimiento de relaciones elementales entre las concentraciones de los diferentes elementos metálicos y un elemento de referencia, lo que permite establecer valores normalizados entre los elementos contenidos en los filtros aerosoles y los suelos que constituyen su posible área de fuente. Estos (EF) permiten establecer relaciones que sirven de referencia y control de posibles contaminaciones atmosféricas debidas a efectos antrópicos.

En nuestro caso, los (EF) se han calculado (Cuadro 6) sobre los valores medios de Al y de Fe medidos en los diferentes filtros atmosféricos, y en los suelos de origen respectivos. Los resultados obtenidos para la zona de Sta Cruz de Tenerife presentan valores de los (EF) superiores a los determinados por Duce et al.(1975) para las partículas atmosféricas del Atlántico Norte, como se evidencia en la Fig 7, donde se confrontan los resultados obtenidos para la zona de estudio de Tenerife en relación con los valores medios de (EF) corticales determinados por estos autores.

CUADRO : 6

Factores de Enriquecimiento de Metales en Aerosoles

E (Al)	*	0.5
E (Fe)	2	*
E (Zn)	732	427
E (Cd)	9488	5534
E (V)	220	128
E (Cu)	63	37
E (Ni)	233	136
E (Cr)	29	17

* Elemento de Referencia

En lo referente a los (EF) calculados en relación al Fe, se observa en la Fig 7 que dicho valor normalizado es perfectamente correlacionable ($r=1.00$) con el del aluminio, y por consiguiente sus valores pueden ser utilizados de forma prácticamente equivalente.

8.- Resumen y Consideraciones.

El muestreo para la retención de polvo atmosférico en filtros aerosoles se ha efectuado mediante la implantación de estaciones equipadas con captadores de alto volumen, lo que ha permitido la obtención de muestras significativas contaminación atmosférica durante prolongados períodos de tiempo y en condiciones climatológicas diversas.

Sobre estos filtros se han efectuado una serie de determinaciones analíticas, encaminadas a establecer las características mineralógicas de las fases depositadas y su evolución temporal, así como análisis cuantitativos de los elementos mayoritarios y contaminantes metálicos .

Los resultados obtenidos señalan la presencia en los filtros de fases minerales arcillosas, feldespáticas y de minerales ferromagnesianos, conjuntamente con óxidos e hidróxidos de hierro, paragénesis minerales típicas de una isla volcánica como Tenerife. Otros minerales como la calcita y/o aragonito, sulfatos y sales se presentan en proporciones accesorias.

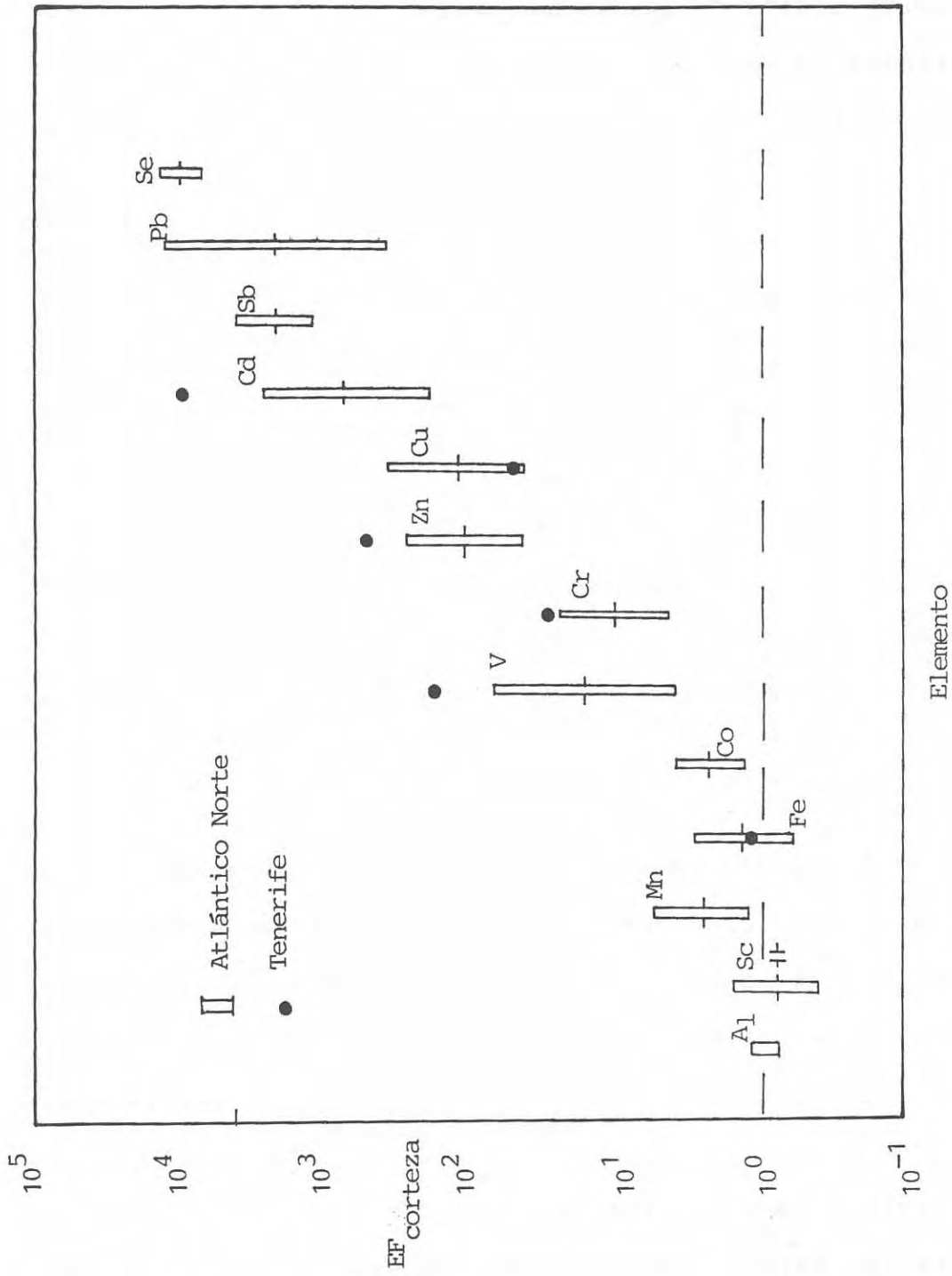


Fig. 7 Factores de Enriquecimiento de Metales Contaminantes

En cuanto a los elementos mayoritarios, los niveles de concentración pueden considerarse normales y dentro de los rangos típicos en este tipo de islas.

La evolución temporal de la relación Ca/Si señala que, a excepción de situaciones atmosféricas particulares con gran aporte de polvo alóctono (calimas), los valores determinados se corresponden con los normalmente aceptados para zonas geológicamente constituidas por rocas volcánicas basálticas.

Las concentraciones en elementos contaminantes presentan valores sistemáticamente superiores a los determinados en muestras atmosféricas de diferentes áreas del Atlántico Norte, lo cual es asimismo confirmado por los Factores de Enriquecimiento calculados para la zona de estudio, que son en general superiores a las medias atlánticas, aun cuando algunos elementos como el Cu presenten valores muy bajos, inferiores a estos promedios tipo.

Todo ello supone que, aun cuando los valores determinados no sean extremadamente elevados, al sobrepasar los valores medios de la región indican claramente un factor de contaminación con origen en la actividad industrial, que hace aconsejable su seguimiento. Este debería establecer, una vez determinados los Factores de Enriquecimiento para los diversos elementos contaminantes, un ciclo sistemático de muestreo que permita el control de la evolución temporal

de estos indicadores de contaminación, aspecto que puede conseguirse fácilmente con la misma metodología aplicada en este estudio.

BIBLIOGRAFIA

Buat-Ménard P., Chesselet R. (1979). Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of Oceanic suspended matter. Earth Planet. Sci. Lett. 42, 399 - 411.

Coedé-Gausson G., Rognon P., Bergametti G., Gomes L., Strauss B., Gros J.M., Le Coustumer M.N. (1988). Saharan dust on the Fuerteventura Island (Canaries) Chemical and Mineralogical characteristics Air-Mass trajectories and probable sources. (en prensa)

Duce R.A., Hoffman G.L., Zoller W.H. (1975). Atmospheric Trace Metals at Remote Northern and Southern Hemisphere Sites: Pollution or Natural?. Science, 197, 59 - 61.

Elichegaray C., Dutot A.L., Grubis B., y Vié le Sage. (1981). Dosage par fluorescence X des aérosols atmosphériques. Analisis, 10, 492 - 497.

McDonald C. y Duncan H.J. (1980). Enrichment Factor as an Indication of Air Pollution Source. Anal. Proc. "Pollutants in the Troposphere and Natural Waters, 359 - 361.

BIBLIOGRAFIA

Buat-Ménard P., Chesselet R. (1979). Variable influence of the atmospheric flux on the trace metal chemistry of Oceanic suspended matter. Earth Planet. Sci. Lett. 42, 399 - 411.

Coedé-Gausson G., Rognon P., Bergametti G., Gomes L., Strauss B., Gros J.M., Le Coustumer M.N. (1988). Saharan dust on the Fuerteventura Island (Canaries) Chemical and Mineralogical characteristics Air-Mass trajectories and probable sources. (en prensa)

Duce R.A., Hoffman G.L., Zoller W.H. (1975). Atmospheric Trace Metals at Remote Northern and Southern Hemisphere Sites: Pollution or Natural?. Science, 197, 59 - 61.

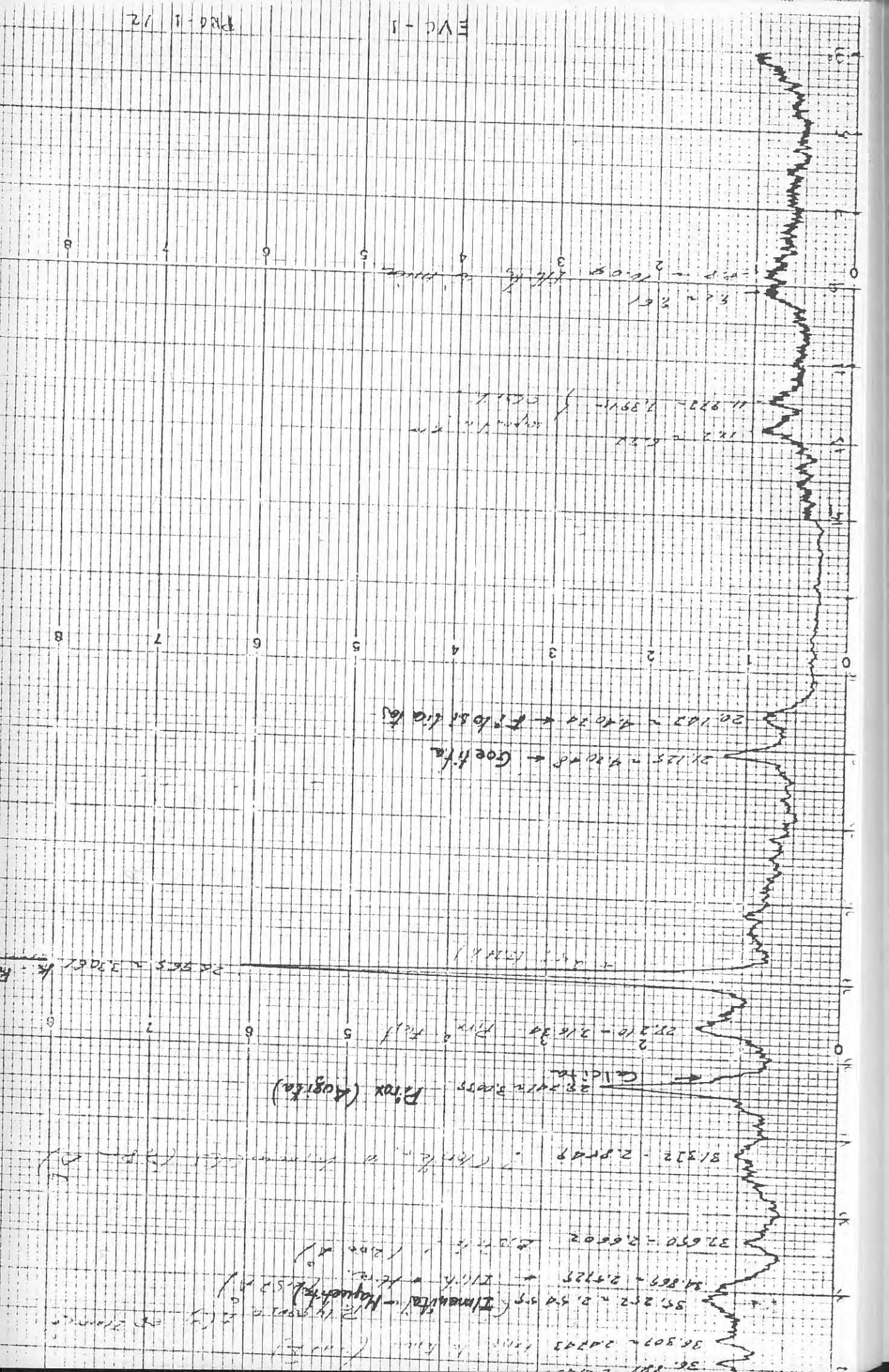
Elichegaray C., Dutot A.L., Grubis B., y Vié le Sage. (1981). Dosage par fluorescence X des aérosols atmosphériques. Analisis, 10, 492 - 497.

McDonald C. y Duncan H.J. (1980). Enrichment Factor as an Indication of Air Pollution Source. Anal. Proc. "Pollutants in the Troposphere and Natural Waters, 359 - 361.

Anexo I

Difractogramas de los Filtros Atmosfericos

Apéndice 1.- Difractogramas de filtros representativos.



21.125 ~ 4.0008 ~ Goethite
 20.103 ~ 4.4034 ~ Fibrolitic bas

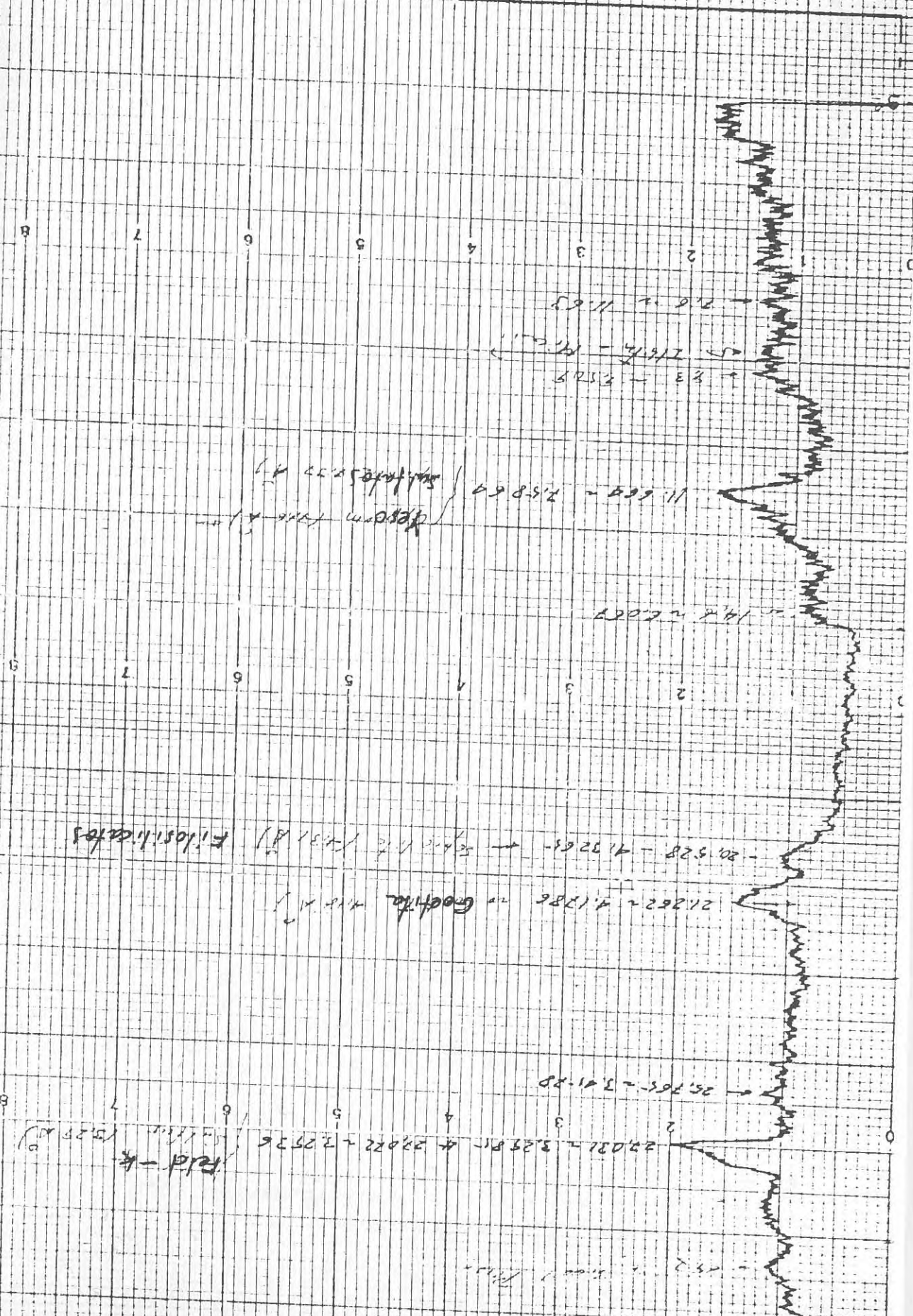
25.210 ~ 3.1633 ~ Plixite
 28.7412 ~ 3.0555 ~ Calidite

37.650 ~ 2.6602
 34.869 ~ 2.5725
 55.252 ~ 2.5459
 36.507 ~ 2.4443

81.312 ~ 2.8448

25.965 ~ 3.3067

PRG-11 1/2
 EVD-1



21.675 - 25.225
 11.625 - 25.850

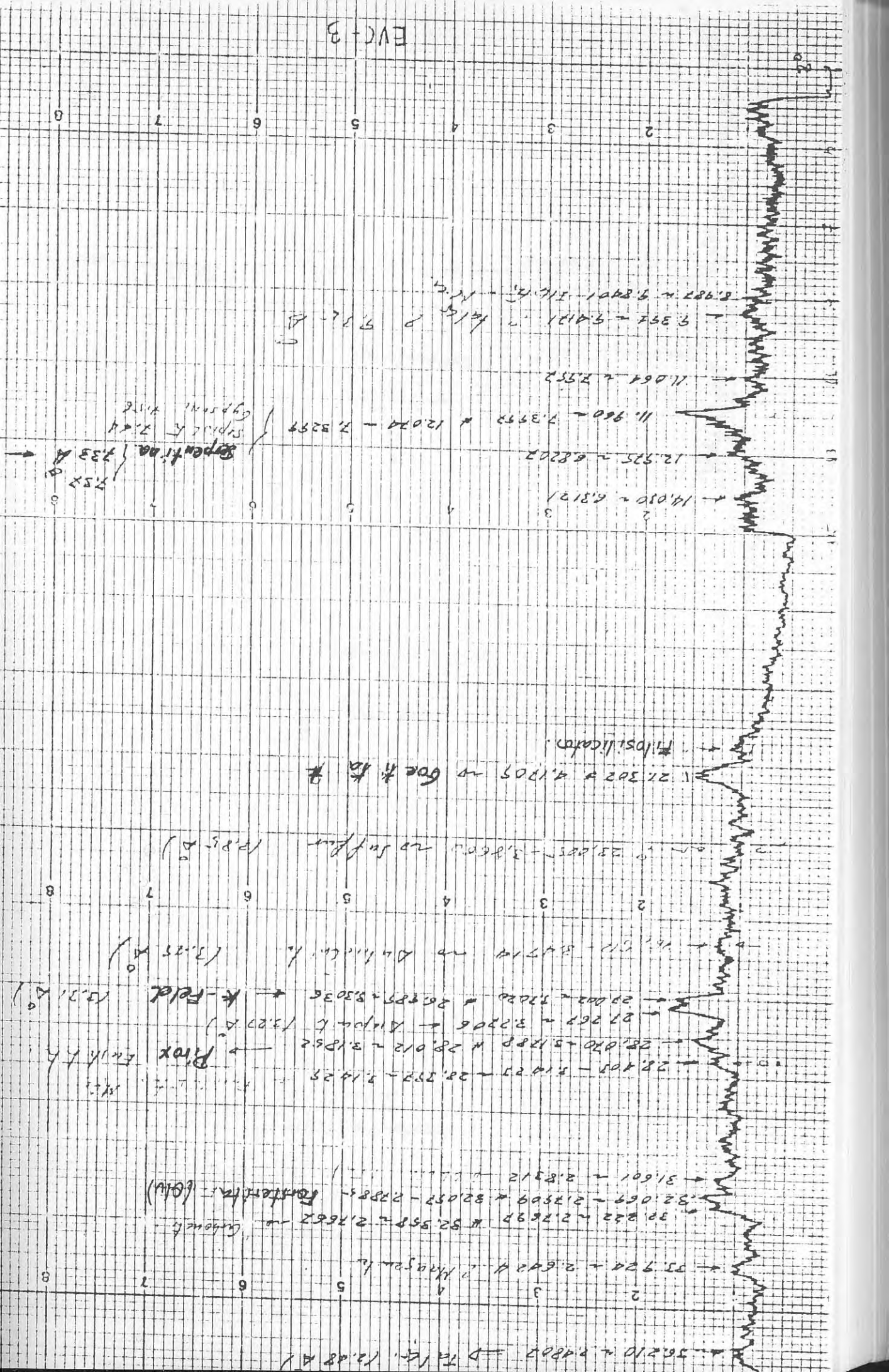
Deposited from A
 Fossiliferous

19.8 - 20.025

20.525 - 41.325
 21.252 - 41.386
 Fossiliferous

25.765 - 31.25
 22.031 - 32.381
 22.022 - 22.276
 Fossiliferous

EVC-3



8.987 - 9.840 - 11.175 - 11.2
 9.391 - 9.417
 7.31 - A

11.960 - 7.3978 * 12.074 - 7.5297
 12.575 - 6.8207
 14.050 - 6.8171
 Serpentina { 7.33 A
 7.52 A
 7.52 A
 Spindel 5 2.04
 Gypsine 4.156

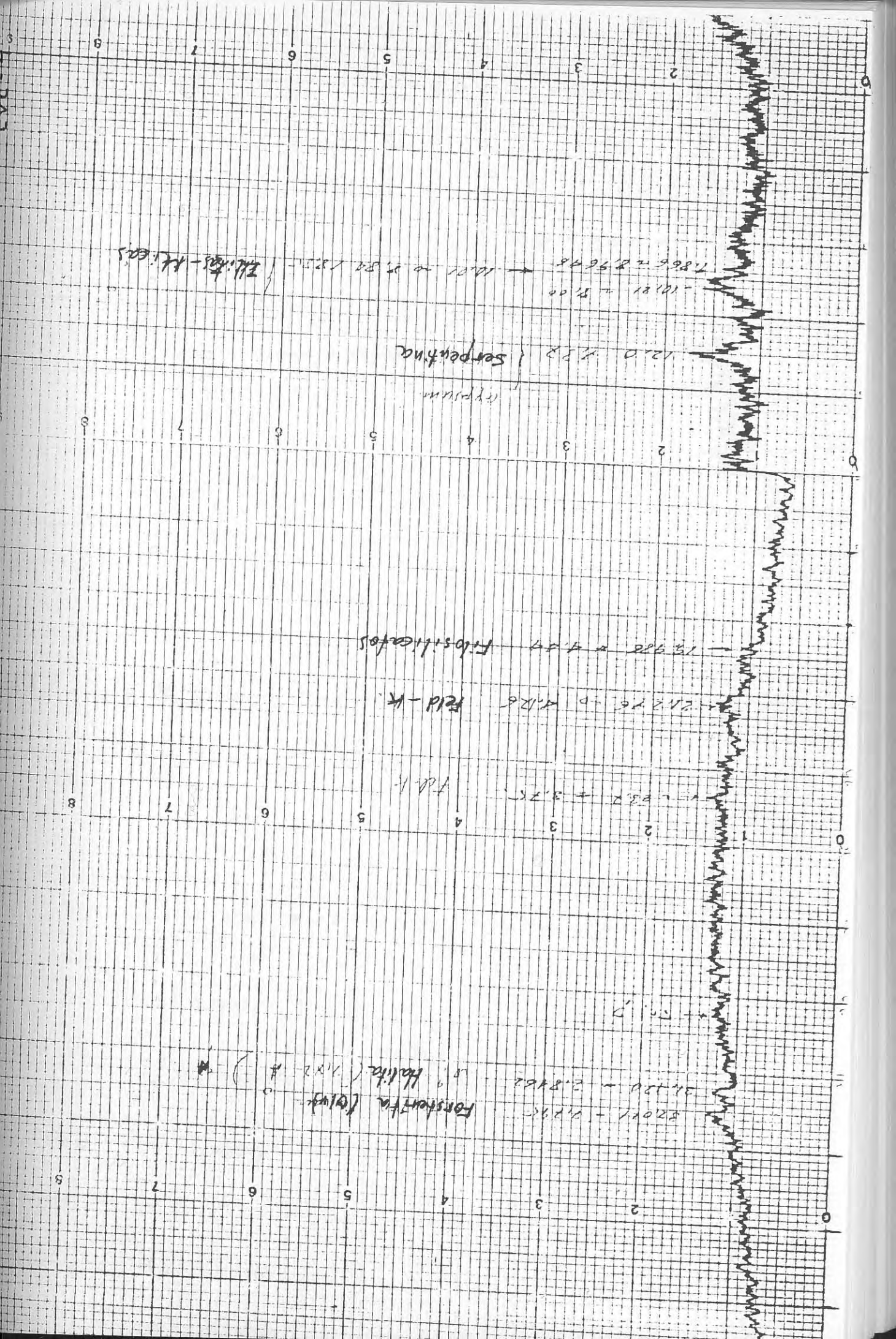
21.302 A 4.1705 - 600 # 10 #
 Filosilikation

23.025 - 3.8600 - 20 m auf flach
 12.85 A

16.512 - 3.4714 - 20 m auf flach
 13.25 A

20.002 - 3.3220 * 26.887 - 5.3036
 21.267 - 3.2206 - 20 m auf flach (13.27 A)
 28.107 - 5.1427 - 28.282 - 2.1425
 28.070 - 5.1288 * 28.012 - 3.1252
 K-Feld
 13.31 A

32.222 - 2.2697 * 52.558 - 2.1662
 32.067 - 2.1299 * 82.057 - 2.2585
 31.601 - 2.8312
 53.924 - 2.6024 * 1.1402
 56.210 - 2.4802
 D Tal (2.08 A)



Elliptis - K. L. 10.01 to 2.50 12.51

serpentina

Eppurum

Fibrositiformis

Feld - K.

F.D. 1.

Forsterita (Glyf.)

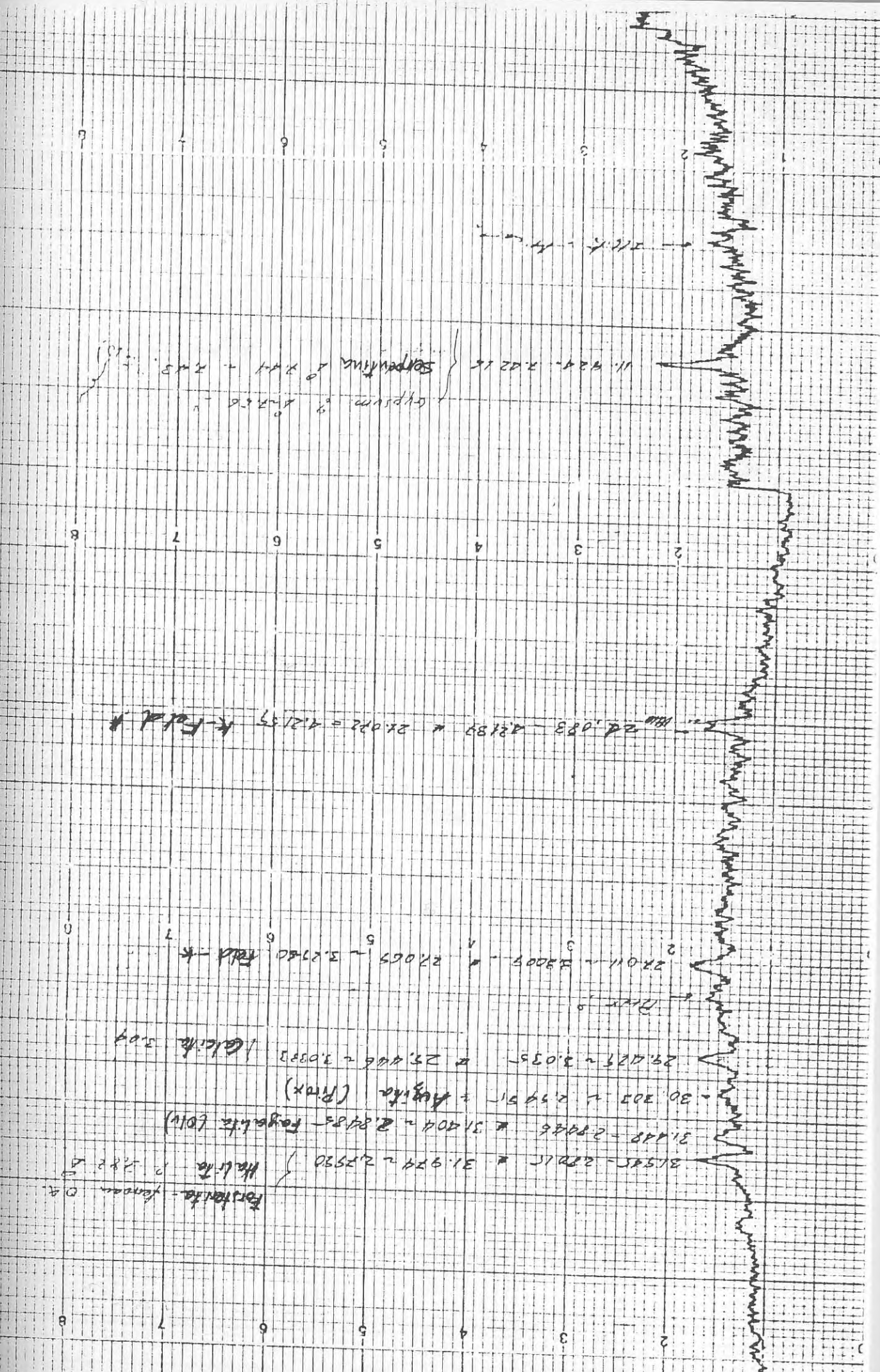
Halite (1.1 x 2.1)

34120 - 2.8462

32011 - 0.290

21276 - 4.126

13922 - 4.54



11.924 - 2.0215 }
 Serpentin Δ 2.011 - 2.015
 Cyprium Δ 2.018

22.083 - 2.189 }
 21.022 = 4.2137 }
 K-Feld

27.011 - 3.005 }
 27.005 - 3.2780 }
 Feld - K

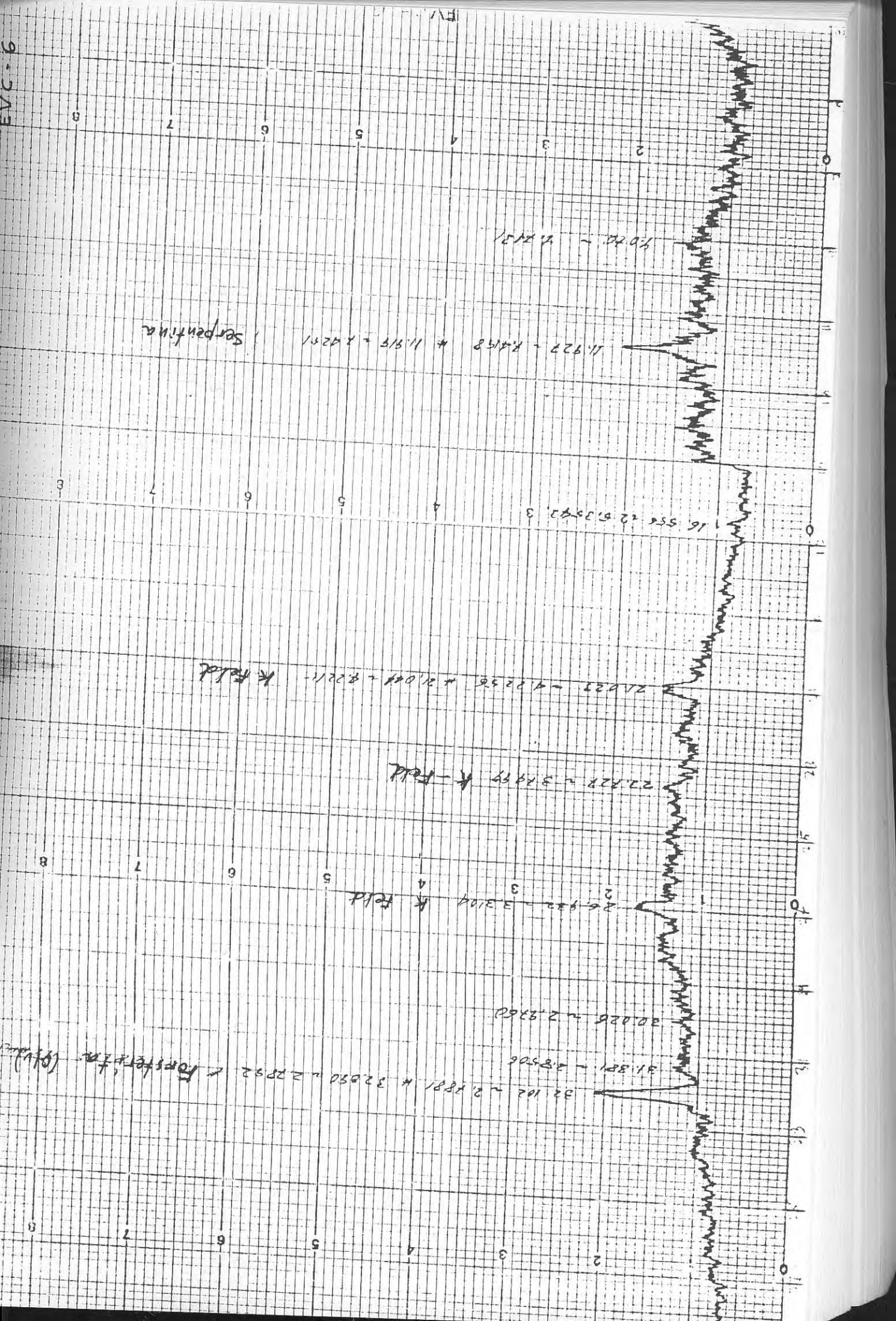
29.027 - 3.035 }
 25.446 - 3.033 }
 Gicht 3.04

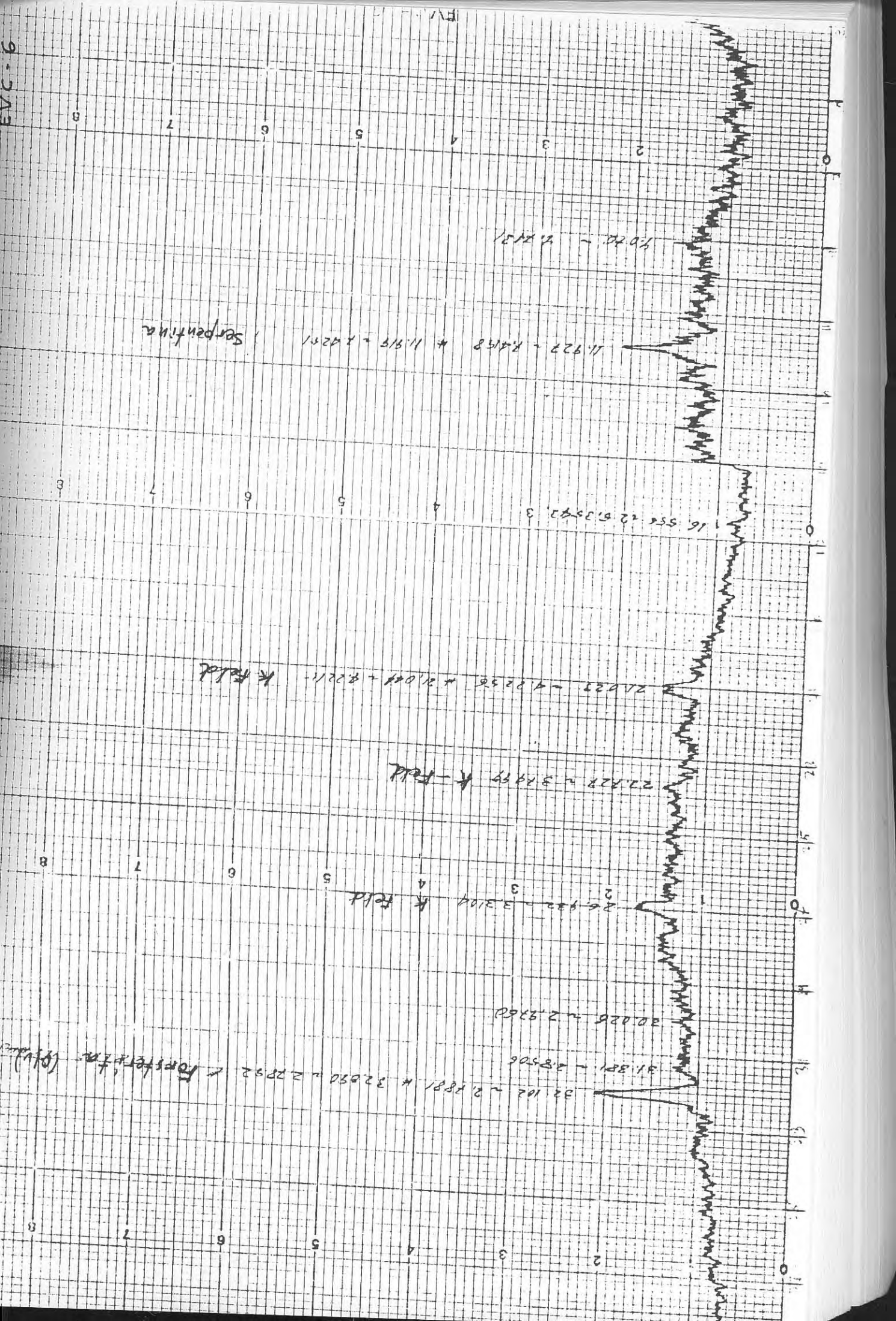
30.305 - 2.9951 }
 31.448 - 2.9486 }
 31.404 - 2.8785 }
 Augit (Pitx) }
 Fayalite (Pitx)

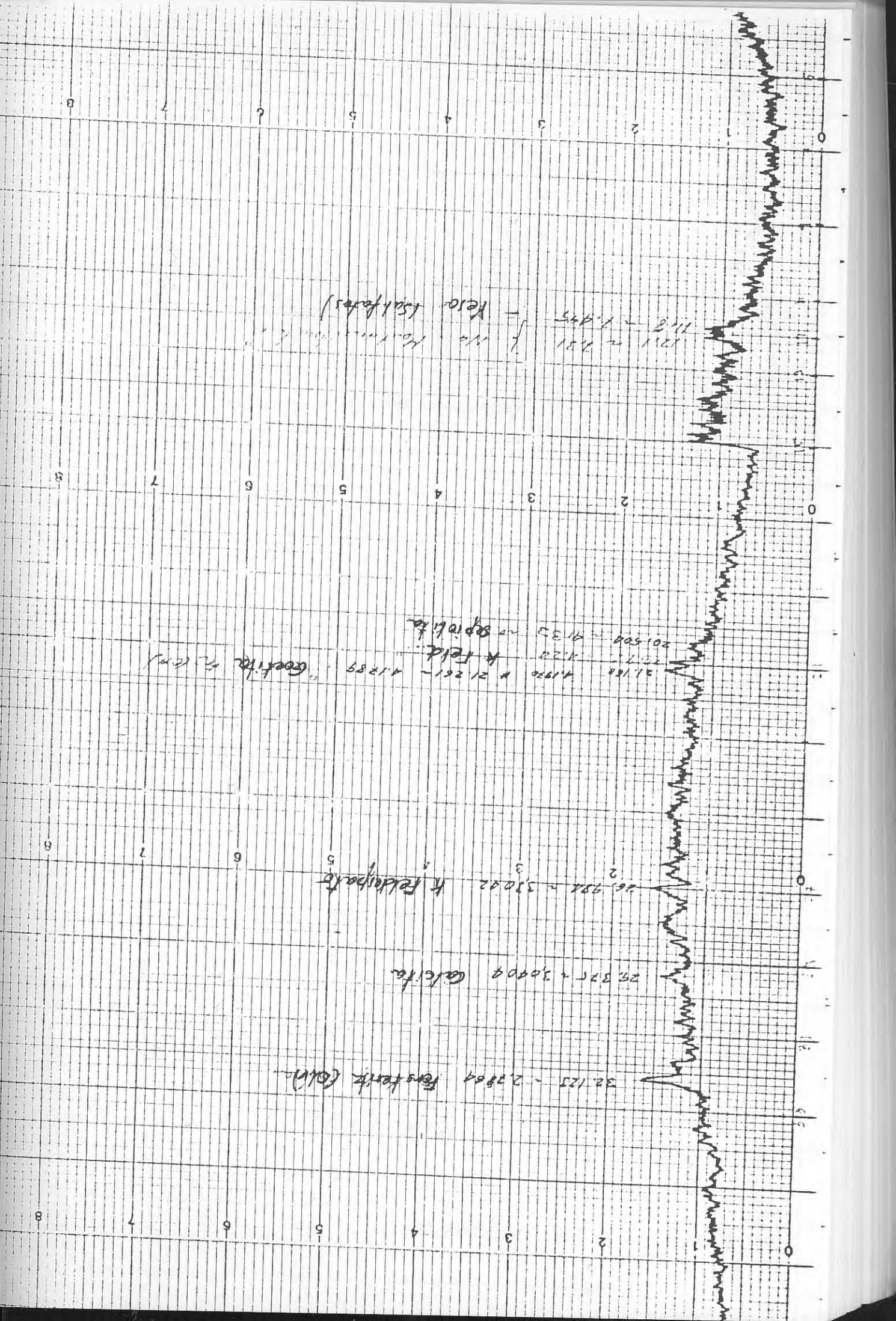
31.924 - 2.9920 }
 31.924 - 2.9920 }
 Heilite }
 Fortitite - Fortit D.

EVC-6

EV







Keso (Schafers)
No. Hartmann

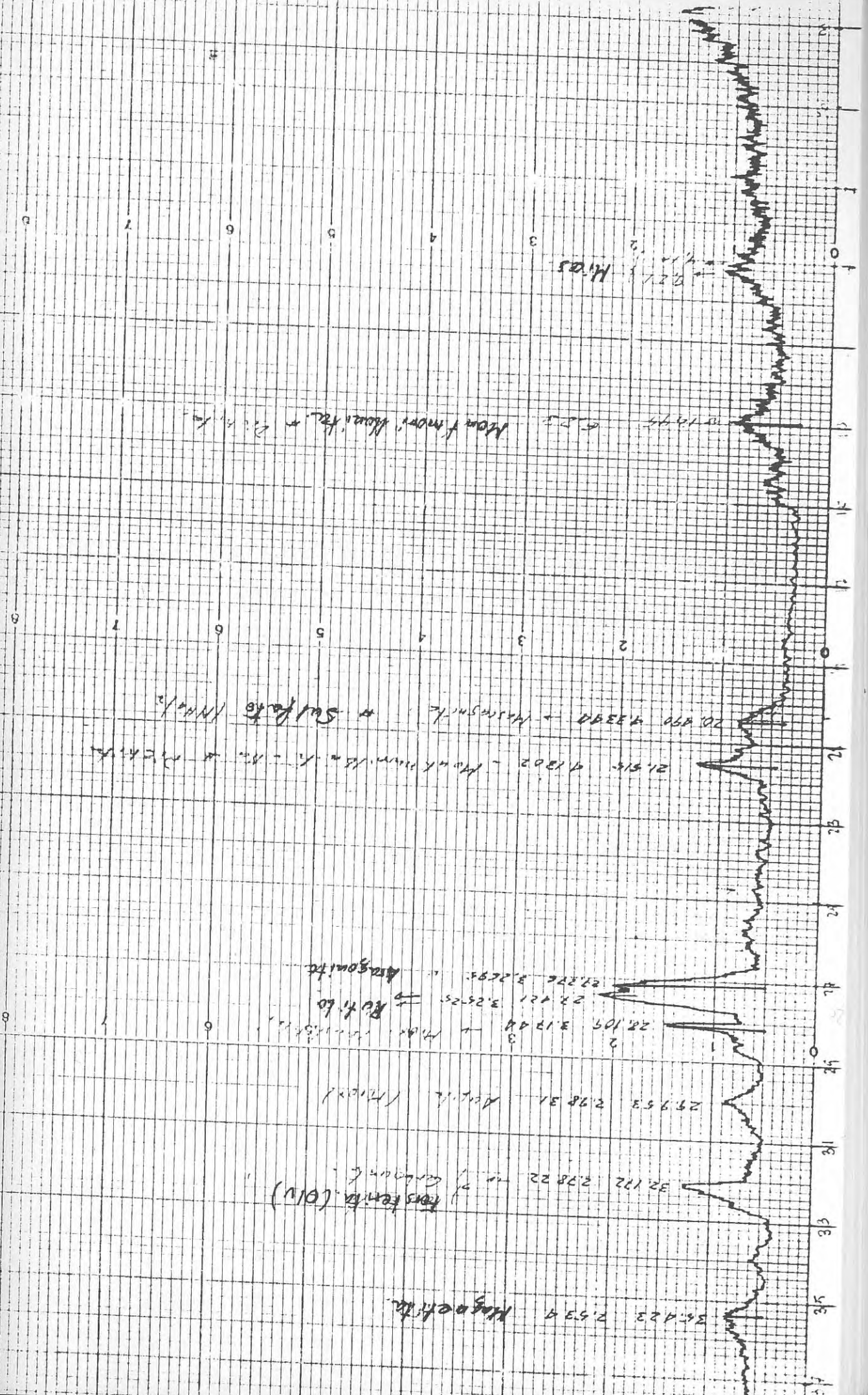
1211 ~ 2.31
11.8 ~ 1.475

21.168
201.504 ~ 4132
25.7 ~ 4.22
K Feld
Geofita (Gly)
21.261 - 41289

26.981 ~ 53002
K Feldspate

25.825 ~ 30000
Geofita

32.125 ~ 2.2800
Fensterk (Gly)



ANEJO 3.- EVALUACION DE NIVELES DE RADIATIVIDAD
AMBIENTAL EN LA ZONA DE SANTA CRUZ DE
TENERIFE

Introducción

El principal objetivo de este estudio, realizado en colaboración con el CIEMAT, ha sido establecer los niveles de radiactividad ambiental existentes en la zona urbana e industrial de Sta. Cruz-La Laguna-Candelaria.

Ante la falta de información inicial precisa sobre las posibles fuentes de contaminación radiactiva del área de estudio se trabajó sobre la hipótesis de que los niveles de radioactividad ambiental procedieran de los siguientes factores: la radiactividad natural de la zona; el depósito radiactivo de distribución mundial como consecuencia de antiguas explosiones nucleares atmosféricas (fall-out radiactivo); y los vertidos clínicos de instalaciones médicas que utilizan isótopos o con servicios de medicina nuclear.

La elección de los tipos de muestras (aire, suelo y agua) se basó en criterios de vías de exposición de la población en relación con las fuentes mencionadas. En base a estos criterios se eligieron los radionucleidos a investigar.

Dado que la mayoría de las determinaciones realizadas requerían de costosa instrumentación -cuya adquisición difícilmente estaría justificada en el ámbito de un programa piloto como este- se optó por realizar un plan de trabajo

conjunto con el CIEMAT, corriendo a cargo de los miembros del IRNAC la toma y pretratamiento de las muestras y por parte del CIEMAT las determinaciones analíticas.

1.- Determinaciones en aire

Para la toma de muestras en aire se utilizó un equipo de aspiración forzada (captadores de alto volumen) (foto 1), en funcionamiento continuo y flujo constante. Un sistema filtrante logra la retención de partículas en suspensión y aerosoles por encima de 0.3 micras.

En el Cuadro 1 se recogen las características de exposición, caudal y volumen total aspirado a través de cada filtro. El aspecto de algunos de estos filtros puede verse en la foto 2, en la que se aprecia una clara diferencia de coloración entre el filtro LL-1 correspondiente a un periodo de tiempo sur y los restantes, motivado por la presencia en el primero de abundante polvo en suspensión (ver Anejo 2).

Las técnicas analíticas empleadas (Cuadro 2) consistieron básicamente en la determinación de la actividad alfa y beta totales para cada filtro (Cuadro 3), y el análisis de Sr-90, Uranio natural, Ra-226 y Th-230 para cada una de ellas (Cuadro 4); asimismo se realizó espectroscopía de emisores gamma de baja energía (LEPS) sobre el primero de estos acumulados.

2.-Determinaciones en aguas

Se han diferenciado en este estudio tres tipos de aguas:

- Potables (de la red de suministro público)
- Subterráneas (de galería)
- Residuales (de la depuradora)

La muestra de agua potable se tomó a razón de 200 ml/día del agua de la red de abasto, hasta completar un total de 5 l. Sobre esta muestra se determinó las actividades alfa y beta totales, el Uranio natural el Ra-226 y se realizó asimismo espectroscopía gamma.

En el Cuadro 5 están recogidos los resultados de estas determinaciones analíticas.

La recolección de la muestra de agua subterránea se realizó en la boca de la galería de la Caldera, situada por encima de Aguamansa en la parte alta del valle de la Orotava. Se tomaron 5 l. siguiendo las indicaciones pertinentes de ejuagar el envase con la misma agua y proceder a su envío inmediato al laboratorio del CIEMAT. Sobre esta muestra se determinó (Cuadro 5) la actividad alfa y beta total, U-natural, Ra-226, tritio y se realizó espectroscopía gamma.

El agua residual se recogió en la entrada de la depuradora de Santa Cruz antes de que sufriese ningún tratamiento, a excepción de la simple rejilla de retención

de gruesos situada en la estación de bombeo de Los Llanos. Sobre esta muestra se determinó el I-131 -que dió un valor 0.024Bq/l- y se realizó espectrometría gamma, detectándose únicamente 0.72 +- 0.43 Bq/l. de K-40.

3.- Determinaciones en suelos

Se escogieron dos puntos, uno en la zona central de Santa Cruz (muestra SC1), y otro de referencia (blanco) en una zona inalterada en la parte alta del valle de La Orotava (muestra GUA-1). La ubicación exacta de las muestras es la siguiente:

MUESTRA

SC 1: Centro de la ciudad de Santa Cruz de Tenerife.

Latitud: 28 27.3' (N)

Longitud: 16 16.7' (E)

Cota: 200 m.

Observaciones: Suelo sin cultivar.

GUA 1: Parte alta del valle de la Orotava por encima de Agua-mansa

Latitud: 28 21.4' (N)

Longitud: 16 29.8' (E)

Cota: 1440 m.

Observaciones: Bosque. Montebajo con manto de humus bien desarrollado.

La profundidad de muestreo fue de hasta 15 cm. y el volumen de muestra de 1500 cm³.

Las características edafológicas mas destacadas (Cuadro 6) indican que la muestra SC-1 corresponde a un suelo franco-arenoso, con bajo contenido de materia orgánica, mientras que la muestra GUA-1 es un suelo franco-arcilloso con elevado contenido en materia orgánica y alto porcentaje de saturación; este tipo de suelos (GUA 1) se caracterizan por un alto poder de retención de iones.

En el Cuadro 7 se relacionan las determinaciones analíticas realizadas, así como los resultados obtenidos.

Es de destacar la elevada capacidad de retención de Sr-90 en la muestra GUA-1. Este elemento es de origen transfronterizo, a partir de las pruebas nucleares que se realizaron inicialmente en la atmósfera. El sorprendentemente alto contenido en la muestra de suelo GUA-1 puede tener su explicación precisamente a las características edafológicas mencionadas -con alta capacidad de retención de iones y fuerte resistencia a su lixiviación- así como al estado totalmente virgen de la zona de muestreo elegida. Sobre este aspecto concreto -alto contenido de Sr-90 en esa zona de Tenerife- se está completando un estudio más detallado.

4.- CONCLUSIONES

De los resultados obtenidos parecen deducirse las siguientes conclusiones principales:

1.- No se ha detectado ningún nivel de radioactividad que destaque de lo que puede considerarse el nivel medio de la zona, por lo que se desprende que no existe contaminación apreciable de origen radiactivo en el área estudiada ni en los aportes (agua, aire) exteriores.

2.- Solamente cabe destacar el elevado contenido en Sr-90 en una de las muestras (GUA-1), posiblemente relacionado con la gran capacidad de retención iónica de este suelo vegetal. Este aspecto continúa analizándose con más detalle.

T A B L A 1

FILTRO	INICIO	FIN	HORAS	CAUDAL (l.min.)	VOLUMEN m ³
LL-1	8/9	15/9	168	50	504
LL-2	15/9	23/9	167	50	501
LL-3	23/9	30/9	170	50	510
LL-4	30/9	7/10	168	50	504
LL-5	7/10	15/10	167	50	501
LL-6	15/10	21/10	168	50	504
LL-7	21/10	28/10	168	50	504
LL-8	28/10	10/11	311	50	933
LL-9	10/11	27/11	408	50	1225
LL-10	27/11	--	70	50	210
LL-11	4/11	11/12	146	50	514
LL-12	11/12	17/12	169	50	435
LL-13	17/12	28/12	262	50	792
CMT 1	11/12	17/12	143	55	472

T A B L A 2

LL-1	Alfa total,	Beta total		
LL-2	"	"	"	"
LL-3	"	"	"	"
Acumulado Sr-90, U nat., Ra-226, Espg .Th-230				
LL-4	Alfa total,	Beta total		
LL-5	"	"	"	"
LL-6	"	"	"	"
LL-7	"	"	"	"
Acumulado Sr-90, U nat., Ra-226, Th-230				
LL-8	Alfa total,	Beta total		
LL-9	"	"	"	"
LL-10	"	"	"	"
Acumulado Sr-90, U nat., Ra-226, Th-230				
LL-11	Alfa total,	Beta total		
LL-12	"	"	"	"
LL-13	"	"	"	"
Acumulado Sr-90, U nat., Th-230				
CHT-1	Alfa total,	Beta total	Sr-90, U nat,	Ra-226, Th-230

T A B L A 3

FILTRO	ALFA TOTAL (10^{-5} Bq/m ³)	BETA TOTAL (10^{-2} Bq/m ³)
LL-1	10,0 ± 2,5	10,4 ± 0,6
LL-2	9,1 ± 2,2	7,7 ± 0,5
LL-3	4,1 ± 1,9	4,6 ± 0,4
LL-4	4,9 ± 1,9	4,8 ± 0,4
LL-5	1,5 ± 1,4	4,1 ± 0,4
LL-6	3,0 ± 1,5	4,3 ± 0,4
LL-7	3,8 ± 2,1	2,7 ± 0,4
LL-8	4,1 ± 1,2	2,6 ± 0,2
11-9	4,3 ± 1,1	6,9 ± 0,3
LL-10	0,6 ± 3,4	2,1 ± 0,4
LL-11	0,8 ± 1,4	2,5 ± 0,4
LL-12	2,7 ± 2,0	4,3 ± 0,3
LL-13	4,4 ± 1,5	8,0 ± 0,4
CHT-1	2,3 ± 1,6	3,9 ± 0,4

T A B L A 4

FILTRO	LL-1,2y3	LL-4,5,6y7	LL-8,9y10	LL-11,12y13	CHT-1
Sr-90 (Bq/m ³)	20	48 [±] 21	49 [±] 15	48 [±] 22	129 [±] 23
U-natural (10 ⁻³ Bq/m ³)	14	5.10 ⁻³	4.10 ⁻³	5.10 ⁻³	8.10 ⁻³
Ra-226 (10 ⁻³ Bq/m ³)	< 2	< 1	< 1	< 1	< 6
Th-230 (10 ⁻³ Bq/m ³)	< 6	< 4	< 4	< 3	< 17
Espc. Gamma (10 ⁻³ Bq/m ³)					
Be-7	7.7 [±] 0.2				
Bi-214	0.1 [±] 0.1				
K-40	0.5 [±] 0.3				

T A B L A 5

	AGUA POTABLE PO - 1	AGUA SUBTERRANEA (CAL-1)
ALFA TOTAL (Bq/l)	0.103 ± 0.013	0.019 ± 0.010
BETA TOTAL (Bq/l)	0.590 ± 0.086	0.230 ± 0.079
U-NATURAL (Bq/l)	0.025	< 0.025
Ra-226 (Bq/l)	< 0.02	< 0.02
H-3 (Bq/l)	no determinado	< 3.8
ESPECTROSCOPIA GAMMA	$< \text{L.I.D.}$	K-40 (Bq/l) 0.99 ± 0.68



CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
 Instituto de Recursos Naturales
 y Agrobiología de Canarias
 Apartado de Correos, s/n.
 LA LAGUNA (TENERIFE)

NOMBRE: _____
 CULTIVO: _____
 LOCALIDAD: _____
 FECHA DE ENTRADA: _____

Registro	Muestra	pH	M.O. %	CaCO ₃ %	OLSEN P ₂ O ₅ p.p.m.	Ext. Ac. NH ₄ , pH = 7						EXTRACTO SATURADO						% Sat.	CEx10 ³ 25°
						meq/100gr.						meq/L.							
						Ca++	Mg++	Na+	K+	Ca++	Mg++	Na+	K+	Ca++	Mg++	Na+	K+		
1	S.C. - 1	6.08	1.03	0.00	50	—	16.35	12.14	1.39	1.21	1.20	1.40	2.59	0.14	0	2.00	2.80	43	0.41
2	G U A - I	6.14	24.10	0.00	80	—	12.65	5.00	0.76	0.79	1.00	0.00	6.74	0.15	0	1.00	1.00	87	0.15

La Laguna, 19 de Abril de 1988
 Sección de Fertilidad y Nutrición.

Carlos E. Alvarez

Fdo. Carlos E. Alvarez González

TABLA 6.- Datos edafológicos de los suelos utilizados para análisis de radionucleidos.

TABLA 7

SUELOS

	V. OROTAVA (GUA-1)	SANTA CRUZ (SC-1)
Sr-90 (Bq/Kg)	100 [±] 10	6 [±] 1
U-NATURAL (Bq/Kg)	20	6
ESPECT. GAMMA (Bq/Kg)		
Bi-214	39 [±] 1	22 [±] 2
Cs-137	170 [±] 1	5 [±] 1
K-40	488 [±] 5	455 [±] 16
Pb-212	75 [±] 1	60 [±] 2
Pb-214	42 [±] 1	25 [±] 2
Y1-208	23 [±] 1	18 [±] 1



INFORMACION FOTOGRAFICA



Foto 2.- Aspecto de algunas de las zonas de
diferente color. En se sabe
rante la recogida del hierro. 17.

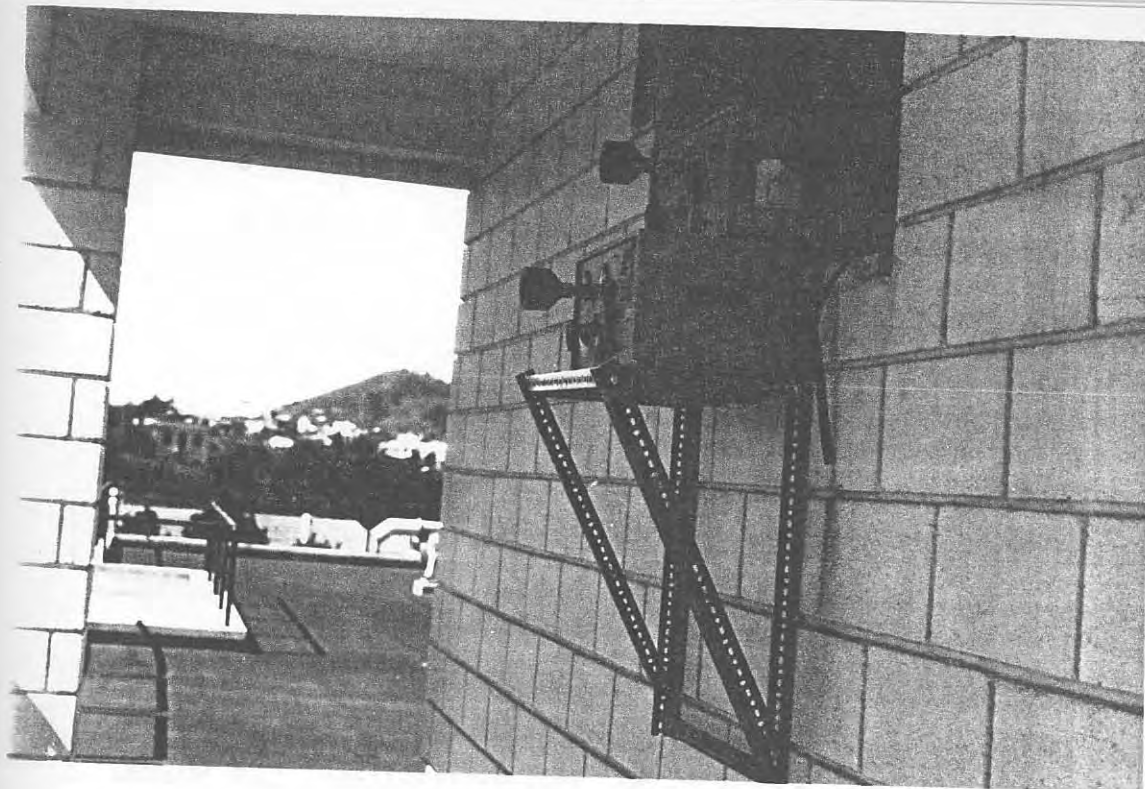


Foto 1.- Equipos de aspiracion de particulas y aerosoles instalados en el I.R.N.A.C.

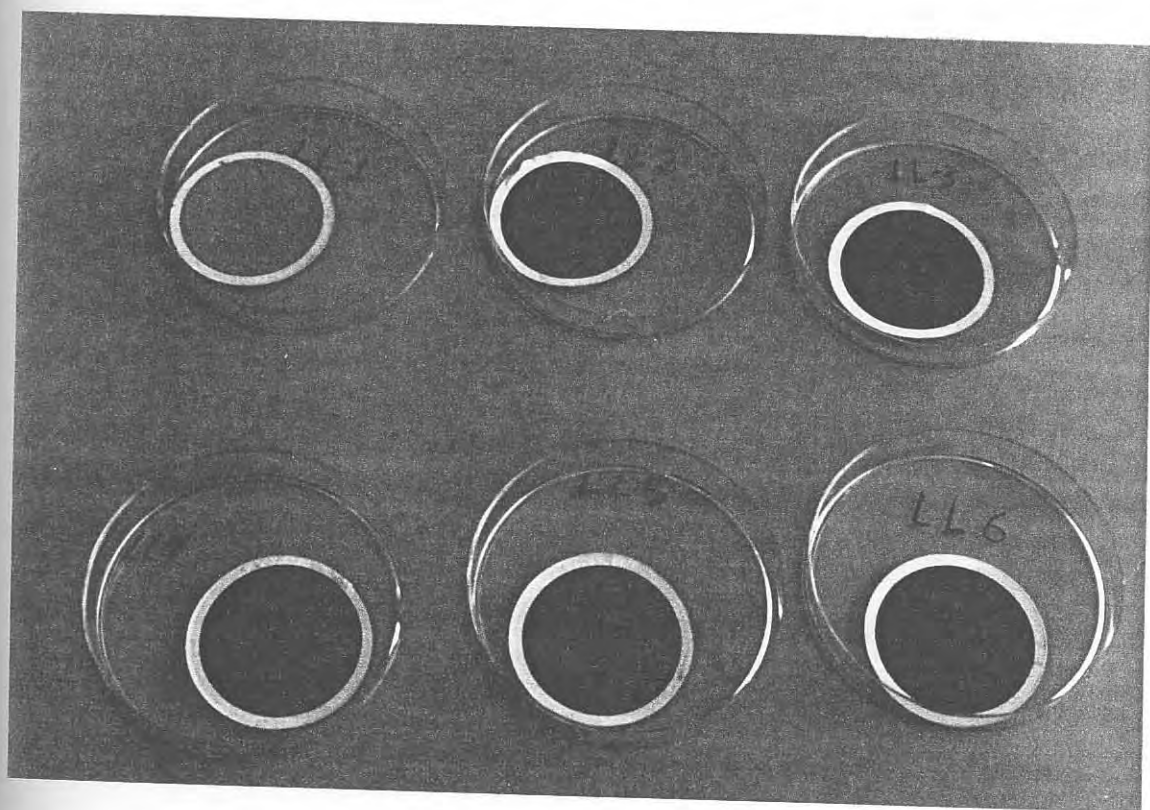


Foto 2.- Aspecto de algunos de los filtros recogidos, la diferente coloración se debe al "tiempo sur" durante la recogida del filtro LL-1.

INDICE

ANEJO 4.- DETERMINACION DE NIVELES DE CONCENTRACION DE RADON EN VIVIENDAS DE LA ZONA DE SANTA CRUZ DE TENERIFE -LA LALGUNA

INTRODUCCION

El interés por el estudio del Radon tiene su origen en la incidencia -en forma de cáncer de pulmón- sobre los trabajadores de la minería del uranio.

Poco a poco se ha ido extendiendo este interés a medida que se ha ido poniendo de manifiesto su posible incidencia en la población, que por diversas causas puede verse sometida a elevadas tasas de exposición al Radon en viviendas, áreas de trabajo, recreo, etc.

Con la realización de este estudio piloto se persiguen dos objetivos: por una parte tener unos primeros datos acerca de las concentraciones de Radon presentes en nuestro entorno; y por otra, poner en marcha una metodología que permita la realización de este tipo de estudios en cualquier punto del Archipiélago. Como aplicaciones colaterales pueden desarrollarse otras investigaciones, como por ejemplo los análisis de Radon en aguas y la detección rápida de radionucleidos en alimentos, aspecto que suele tener especial interés en casos de crisis como la producida por el accidente de Chernobil.

La conveniencia de instalar en Canarias esta técnica de espectroscopía de radiación gamma justifica que la adquisición de este equipo haya supuesto un porcentaje sustancial de los fondos destinados a la ejecución de este

Proyecto de investigación, aspecto que ha sido apoyado por el C.S.I.C., que completó la infraestructura adquirida con cargo al Proyecto con la adquisición por valor de 0.95 millones de Pts. y con cargo a fondos propios, de un blindaje de 800 Kg. de peso, indispensable para el correcto funcionamiento -con alta sensibilidad- del equipo.

1.- Instalación y puesta en funcionamiento del equipo

La metodología elegida es la de espectroscopía gamma de los hijos del Radon (Pb-224, Bi-214) sobre canastillas herméticamente cerradas de carbono activo.

Se han seguido los pasos aconsejados por la Agencia de Protección Medioambiental Norteamericana (EPA). Uno de los folletos explicativos referentes al Radon lo incluimos en el presente trabajo, aunque desafortunadamente no hemos conseguido una versión en castellano del mismo.

El principio en el que se basa este método consiste en la capacidad del carbono activo de retener la humedad ambiental y el Radon hasta alcanzar un equilibrio con el medio en el que es expuesto. El tiempo necesario para alcanzar este equilibrio depende de la cantidad de carbón, su superficie libre, etc. y en nuestro caso (foto 2) es de unas 72 horas para ambientes interiores sin fuertes corrientes constantes de aire.

El equipo instalado -que puede apreciarse en la foto 1- consta básicamente de los siguientes elementos:

- Analizador multicanal (2048 canales) modelo 35 plus de la firma Camberra.
- Detector de Ioduro de Sodio activado con Talio (INa (Tl)) de la firma Bicrom.
- Preamplificador y cables de conexión.
- Fuente de alto voltaje.
- Canastillas de carbón activado.
- Muestra calibrada.
- Software de transformación y análisis de datos.
- Blindaje de hierro de 15 cm de espesor y 800 Kg. de peso.

Los problemas surgidos con el transporte de este equipo desde Estados Unidos fueron la causa de que no estuviese definitivamente instalado y operativo hasta principios de 1989, originando el consiguiente retraso en la realización de este estudio.

Antes de comenzar los análisis se procedió a la calibración y contrastación con otro laboratorio, habiéndose recurrido para ello al Instituto de Física Corpuscular (IFIC) del C.S.I.C. ubicado en Valencia. Con este laboratorio se intercambiaron canastillas de carbón activo expuestas tanto en Canarias como en Valencia, contrastándose los resultados y los métodos de cálculo. La concordancia de resultados permitió la correcta calibración del equipo, lográndose correspondencias con un nivel de diferencia por debajo de los límites de detección.

El límite práctico de detección para este equipo depende del tiempo de medida con que se trabaje y se sitúa entre 0.2 y 0.3 pCi/l. En el Cuadro 3 están indicadas la correspondencia (según la EPA) de diversos niveles de concentración.

2.- Toma de muestras y determinaciones analíticas

La elección de los puntos de muestreo y la exposición de los filtros son los puntos más delicados de todo el proceso.

La toma de cada muestra requiere de los siguientes pasos:

- Elección del lugar apropiado de muestreo.
- Colocación y apertura de las canastillas de carbón activo (foto 2).

- Exposición durante unas 72 horas.
- Cerrado hermético de las canastillas.
- Análisis en laboratorio.

En este estudio se han procurado escoger puntos de muestreo que reflejen distintos tipos de viviendas, así como diferentes ubicaciones y materiales de construcción. En la figura 1 están indicados los lugares de muestreo cuya localización y características más destacadas se recogen en las Cuadros 1 y 2.

Se realizaron en todos los casos un mínimo de 2 determinaciones por punto de muestreo y bastantes más en aquellos lugares con concentraciones elevadas (puntos 6 y 10).

El proceso de medida consiste básicamente en la obtención de cuatro espectros gamma por muestra, de 10 minutos de duración, en las regiones de emisión de Pb-214 y Bi-214 (foto 3).

Estos espectros se realizan en el siguiente orden:

- Muestra expuesta.
- Fondo.
- Muestra calibrada

- Fondo.

3.- Resultados y Conclusiones

En el Cuadro 2 están recogidos los resultados obtenidos así como las características más destacables de cada punto de muestreo.

Como referencia que permita situar estos valores, hemos preparado el Cuadro 3, que da una idea de los riesgos y niveles de exposición correspondientes a diferentes concentraciones de Radon.

Cabe, a nuestro juicio, destacar los siguientes puntos:

- Los niveles de concentración de Radon determinados son generalmente bajos, dentro de los límites normales salvo en casos muy localizados.

- Se observa un rápido descenso de los niveles de concentración de Radon en correlación con el aumento de la altura respecto al suelo (viviendas de pisos).

- Parece existir una total independencia (al menos en la zona estudiada) del tipo de construcción y los materiales empleados.

- Existe en cambio una relación directa con las condiciones de ventilación. Así el valor elevado de 6.31 pCi/l. encontrado en el punto 10, corresponde a una habitación especialmente poco ventilada que arrojó un valor inicial de 18 pCi/l. y descendió a 6.31 tras una ventilación que consistió simplemente en mantener entreabierta la puerta de acceso el mayor tiempo posible.

Respecto al valor 16.56 pCi/l. del punto 6 ha sido obtenido en una vivienda intencionadamente poco ventilada para evitar variaciones de temperatura en el interior, pero dichos niveles persisten después de una buena ventilación. Se está estudiando este punto a fin de establecer la posible causa de la elevada concentración de Radon.

A la vista de los datos y la experiencia obtenida con este estudio piloto, nos parecen oportunas las siguientes recomendaciones:

- Conveniencia de continuar y ampliar este estudio tanto en el sentido de realizarlo en otras Islas y con mayor densidad de muestras, como en el de realizar determinaciones sobre aguas de consumo humano y en especial de las surgentes en zonas volcánicamente activas. Precisamente la presencia de zonas con volcanismo activo en la Isla (y en otras del Archipiélago) hace aconsejable la extensión de este estudio, con vistas a la elaboración de un mapa de concentraciones de Radon en relación con los procesos volcánicos, su presencia en galerías, aguas subterráneas, etc.

- Los nocivos efectos de la prolongada exposición a este elemento, que pasa absolutamente desapercibido si no es detectado por el método utilizado en este estudio, y la extraordinaria facilidad de su corrección -mediante la simple mejora de las condiciones de ventilación, aconsejan la determinación de posibles zonas de concentración anómala -posiblemente relacionadas con las zonas volcánicas activas en las cumbres de las islas (ejes estructurales o dorsales)- que han quedado fuera del área de estudio de este Proyecto.

- En caso de confirmarse la presencia de zonas con elevados niveles de concentración, debería proporcionarse adecuada información a la población afectada, a la vista de las sencillas medidas prácticas (ventilación correcta) que pueden evitar los evidentes peligros de altos niveles de exposición continuada.

9 10 PUNTOS DE MUESTREO EN LA ZONA DE GUAMASA (FUERA DE MAPA)

339

340

Las Cañteras 0,5 KM.

12° 37'

12° 36'

12° 35'

12° 34'

12° 33'

12° 32'

12° 31'

12° 30'



PUNTO DE
MUESTREO

L O C A L I Z A C I O N

1	Domingo Alfonso 33, Santa Cruz
2	General San Jurjo 95, 3º, Santa Cruz
3	Manuel Verdugo 10 (Barrio Salamanca), Santa Cruz
4	Edificio Mulacen 6º B, Avda. Venezuela, Santa Cruz
5	Finca Lecuona, carretera Cuesta-Taco Km 5, nº 128
6	Urbanización Mayber, Geneto, La Laguna
7	Avda. Astrofisico Sanchez nº 3 (I.R.N.A.C.) La Laguna
8	San Agustín 47, La Laguna
9	Suertes Largas nº 20 Guamasa (La Laguna)
10	Gil Roldan nº 35, Guamasa (La Laguna)

TABLA 1.- Localización de los puntos de muestreo.

TABLA 2.- Resultados analíticos y características de los puntos de muestreo.

PUNTO DE MUESTREO	LUGAR	TIPO DE CONSTRUCCION	CONTENIDO EN RADON PCI/l	OBSERVACIONES
1	Santa Cruz	Casa terrera con muros de argamasa y piedras	0.25 [±] 0.16	Bien ventilada, ventanas amplias.
2	Santa Cruz	Construcción moderna, 3ª planta.	0.26 [±] 0.16	
3	Santa Cruz	Construcción con muros de ladrillo.	0.67 [±] 0.20	Planta baja
4	Santa Cruz	Construcción moderna 6ª planta.	L.I.D.*	Punto mas bajo del estudio
5	Ofra	Construcción moderna.	1.42 [±] 0.32	Planta baja
6	La Laguna	Construcción moderna.	16.56 [±] 0.48	Punto mas elevado del estudio
7	La Laguna	Edificio Público moderno.	2.90 [±] 0.23	
8	La Laguna	Construcción antigua	1.10 [±] 0.21	
9	Guamasa	Casa terrera moderna	1.63 [±] 0.32	
10	Guamasa	Construcción moderna a nivel de suelo.	6.31 [±] 0.35	Escasa ventilación

pCi/l	FALLECIMIENTOS POR CANCER DE PULMON DEBIDO A LA EXPOSICION DE RADON (SOBRE 1000)	NIVELES DE EXPOSICION COMPARABLES	RIESGO COMPARABLE
200	440-770	1.000 veces nivel promedio exterior	mas 60 veces riesgo de no fumadores fumar 4 paquetes diarios
100	270-630	100 veces nivel promedio interior de viviendas	20.000 pruebas de rayos X al año.
40	120-380	100 veces nivel promedio exterior	2 paquetes de cigarrillos día
20	60-210	10 veces nivel promedio interior	1 paquete diario
10	30-120	10 veces nivel promedio exterior	5 veces el riesgo de los no fumadores.
4	13-50	10 veces nivel promedio exterior	200 pruebas de rayos X al año
2	7-30	nivel promedio interior	riesgo de morir por cancer de pulmon para un no-fumador
1	3-13	nivel promedio exterior	20 pruebas de rayos X al año
0.2	1-3		

TABLA 3.- Niveles de exposición y riesgo comparable (según EPA) correspondientes a diferentes concentraciones de Radon en pCi/l.

INFORMACION FOTOGRAFICA

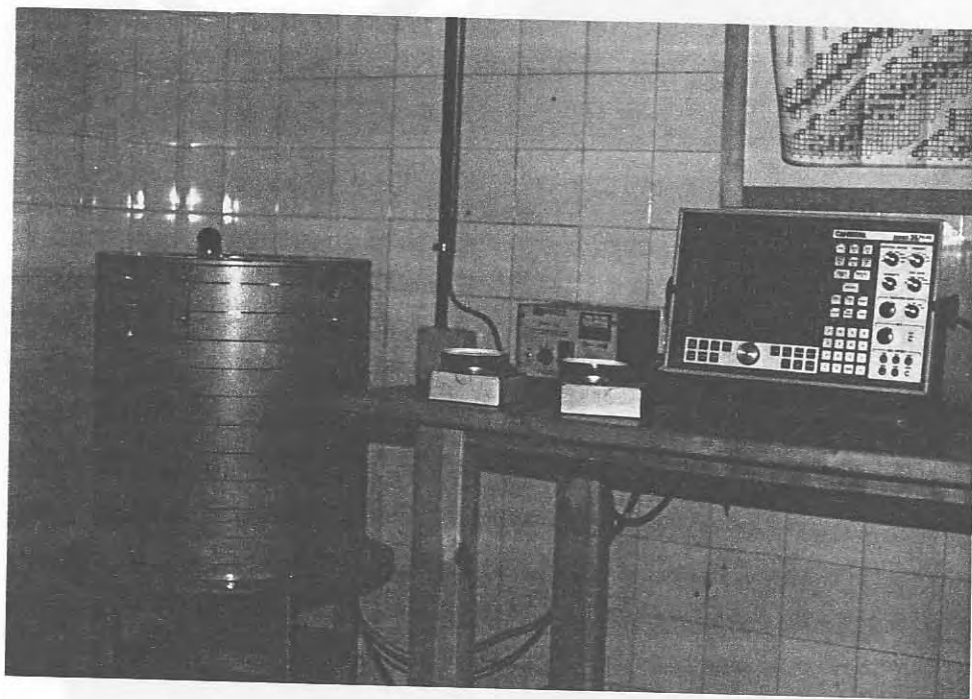


FOTO 1.- Equipo de espectroscopía gamma utilizado en las determinaciones de Radon.

En primer plano dos canastillas de carbón activado, con tapa blanca y cinta adhesiva azul, listas para su medida.

De derecha a izquierda: analizador multicanal, fuente de alto voltaje y blindaje de hierro de 800 Kg. de peso (en gris) que alberga el sensor de INa(TL) de 3x3 pulgadas de tamaño.

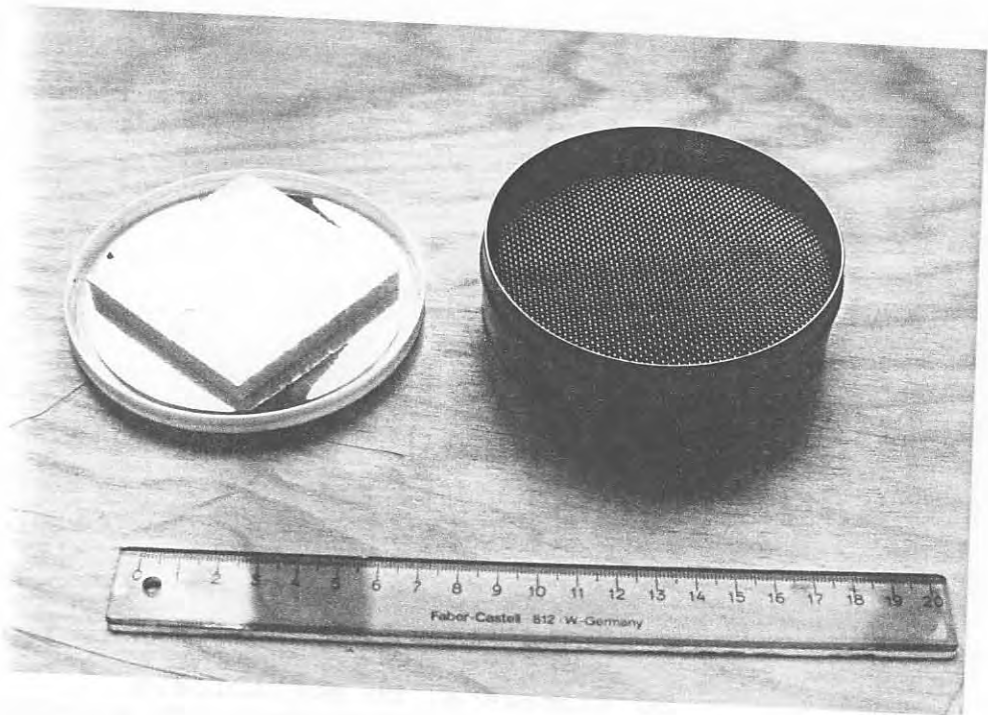


FOTO 2.- Canastilla de carbón activo tal como se utilizan durante la exposición de 72 h. de duración.

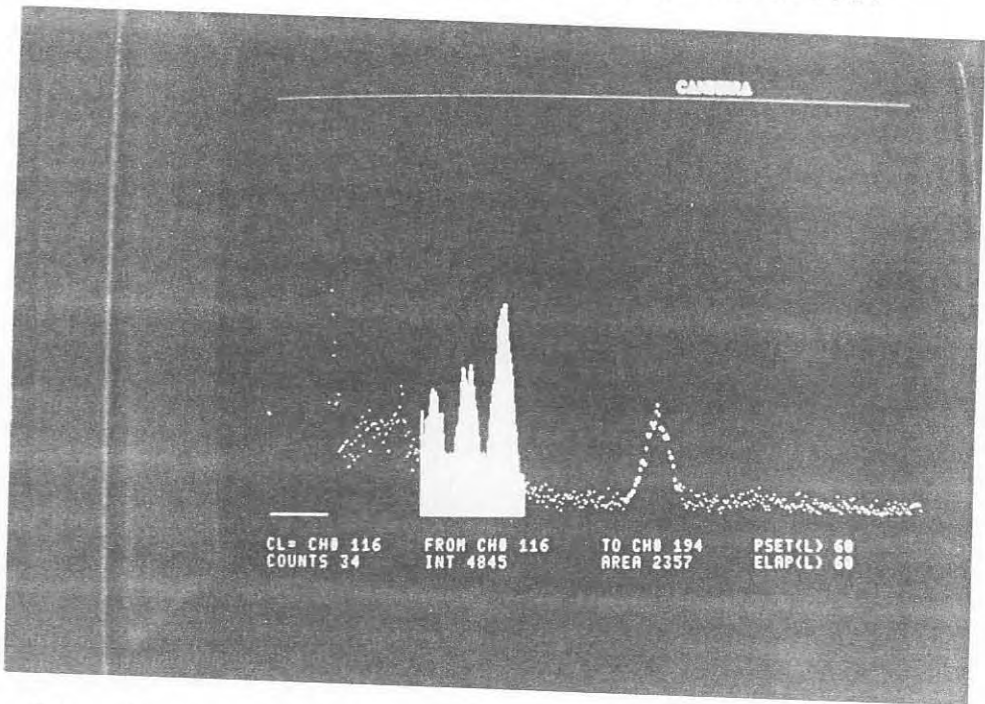


FOTO 3.- Ejemplo de espectro gamma con los picos, iluminados, del Pb-214 y del Bi-214 (a la derecha) utilizados en el cálculo de la concentración de Radon.



United States
Environmental Protection
Agency

Office of
Air and Radiation

U.S. Department
of Health and
Human Services

Center for
Disease Control

August 1982

DPH 82-002

A Citizen's Guide To Radon

What It Is

PUBLICACION DE LA AGENCIA DE
PROTECCION MEDIOAMBIENTAL NORTEAMERICANA (EPA)
SOBRE EL RADON





United States
Environmental Protection
Agency

Office of
Air and Radiation



U.S. Department
Of Health and
Human Services

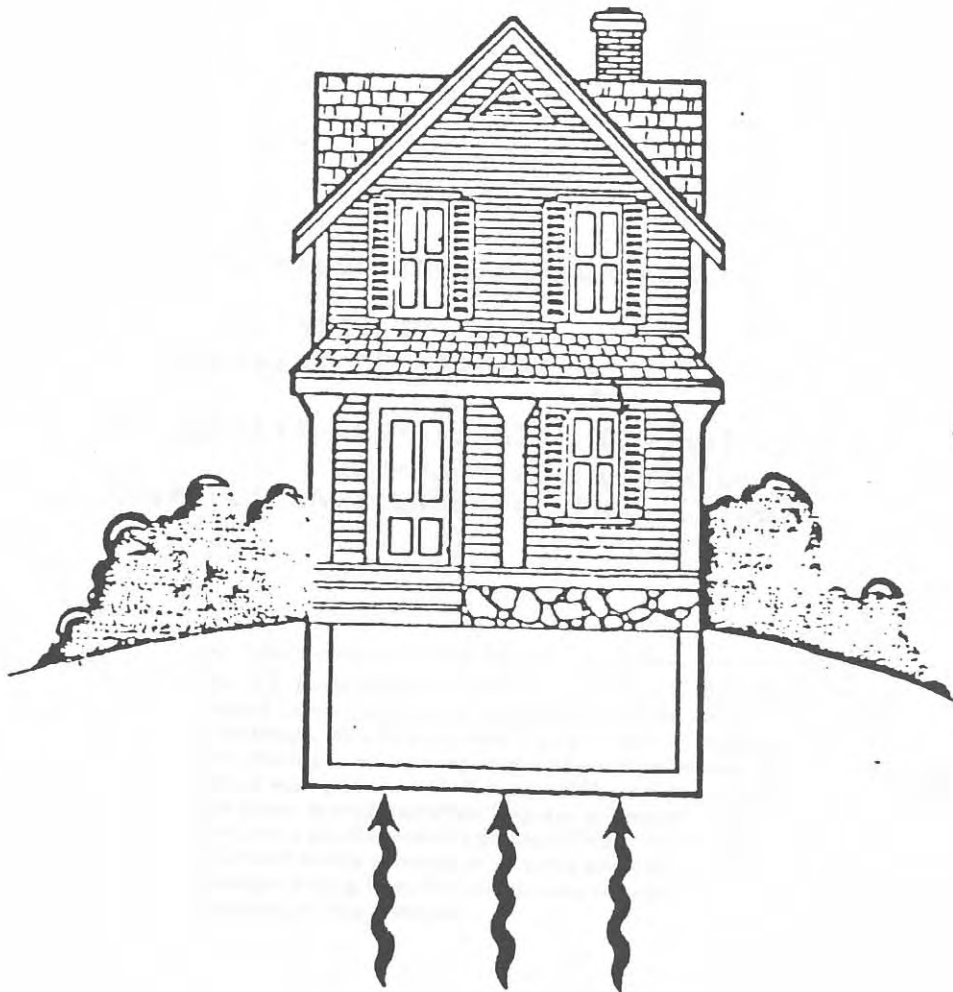
Centers for
Disease Control

August 1986

OPA-86-004

A Citizen's Guide To Radon

What It Is And What To Do About It



The U.S. Environmental Protection Agency and the U.S. Centers for Disease Control are concerned about the increased risk of developing lung cancer faced by persons exposed to above-average levels of radon in their homes. This pamphlet is a joint effort by EPA and CDC. Its purpose is to help readers to understand the radon problem and decide if they need to take action to reduce radon levels in their homes.

STATE RADON INFORMATION NUMBERS

NEW YORK: 516-473-3613
(DEPARTMENT OF HEALTH) }

NEW JERSEY: 800-648-0394 (IN NJ)
609-530-4000 (OUTSIDE NJ)
(DEPT OF ENVIRONMENTAL PROTECTION)

The U.S. Environmental Protection Agency and the U.S. Centers for Disease Control strive to provide accurate, complete, and useful information. However, neither the agencies, nor other persons contributing to or assisting in the preparation of this booklet—nor any person acting on the behalf of any of these parties—makes any warranty, guarantee, or representation (express or implied) with respect to the usefulness or effectiveness of any information, method, or process disclosed in this material or assumes any liability for the use of—or for damages arising from the use of—any information, method, or process disclosed in this material.

How certain are scientists of the risks?

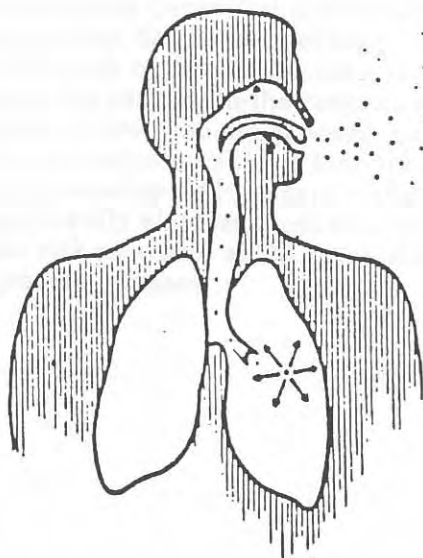
With exposure to radon, as with other pollutants, there is some uncertainty about the amount of health risk. Radon risk estimates are based on scientific studies of miners exposed to varying levels of radon in their work underground. Consequently, scientists are considerably more certain of the risk estimates for radon than they are of those risk estimates which rely solely on studies of animals.

To account for the uncertainty in the risk estimates for radon, scientists generally express the risks associated with exposure to a particular level as a range of numbers. (The risk estimates given in this booklet are based on the advice of EPA's Science Advisory Board, an independent group of scientists established to advise EPA on various scientific matters.)

Despite some uncertainty in the risk estimates for radon, it is widely believed that the greater your exposure to radon, the greater your risk of developing lung cancer.

How does radon cause lung cancer?

Radon, itself, naturally breaks down and forms radioactive decay products. As you breathe, the radon decay products can become trapped in your lungs. As these decay products break down further, they release small bursts of energy which can damage lung tissue and lead to lung cancer.



What is radon?

Radon is a radioactive gas which occurs in nature. You cannot see it, smell it, or taste it.

Where does radon come from?

Radon comes from the natural breakdown (radioactive decay) of uranium. Radon can be found in high concentrations in soils and rocks containing uranium, granite, shale, phosphate, and pitchblende. Radon may also be found in soils contaminated with certain types of industrial wastes, such as the byproducts from uranium or phosphate mining.

In outdoor air, radon is diluted to such low concentrations that it is usually nothing to worry about. However, once inside an enclosed space (such as a home) radon can accumulate. Indoor levels depend both on a building's construction and the concentration of radon in the underlying soil.

How does radon affect me?

The only known health effect associated with exposure to elevated levels of radon is an increased risk of developing lung cancer. Not everyone exposed to elevated levels of radon will develop lung cancer, and the time between exposure and the onset of the disease may be many years.

Scientists estimate that from about 5,000 to about 20,000 lung cancer deaths a year in the United States may be attributed to radon. (The American Cancer Society expects that about 130,000 people will die of lung cancer in 1986. The Surgeon General attributes around 85 percent of all lung cancer deaths to smoking.)

Your risk of developing lung cancer from exposure to radon depends upon the concentration of radon and the length of time you are exposed. Exposure to a slightly elevated radon level for a long time may present a greater risk of developing lung cancer than exposure to a significantly elevated level for a short time. In general, your risk increases as the level of radon and the length of exposure increase.

When did radon become a problem?

Radon has always been present in the air. Concern about elevated indoor concentrations first arose in the late 1960's when homes were found in the West that had been built with materials contaminated by waste from uranium mines. Since then, cases of high indoor radon levels resulting from industrial activities have been found in many parts of the country. We have only recently become aware, however, that houses in various parts of the U.S. may have high indoor radon levels caused by natural deposits of uranium in the soil on which they are built.

Does every home have a problem?

No, most houses in this country are not likely to have a radon problem; but relatively few houses do have highly elevated levels. The dilemma is that, right now, no one knows which houses have a problem and which do not. You may wish to call your state radiation protection office to find out if any high levels have been discovered in your area.

Many states, as well as the federal government, are sponsoring work to identify areas of the country which are likely to have indoor radon problems. However, early results from this work are inconclusive. If you are concerned that you may have an indoor radon problem, you should consider having your home tested.

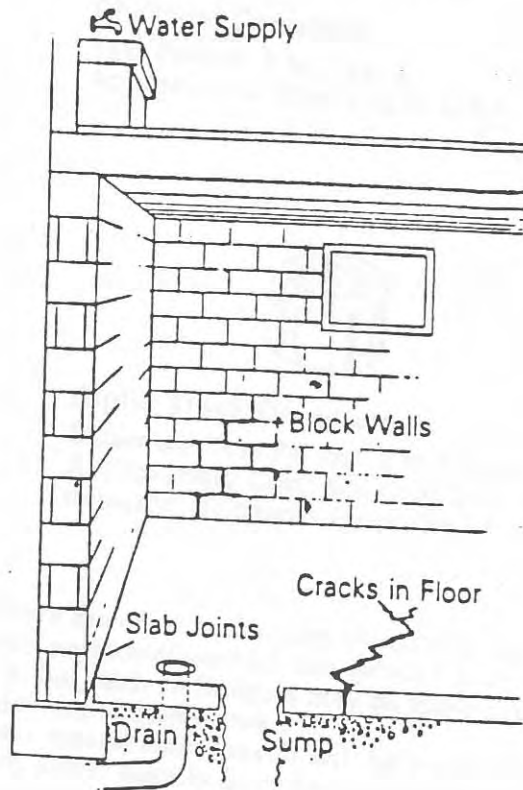
How does radon get into a home?

Radon is a gas which can move through small spaces in the soil and rock on which a house is built. Radon can seep into a home through dirt floors, cracks in concrete floors and walls, floor drains, sumps, joints, and tiny cracks or pores in hollow-block walls.

Radon also can enter water within private wells and be released into a home when the water is used. Usually, radon is not a problem with large community water supplies, where it would likely be released into the outside air before the water reaches a home. (For more information concerning radon in water, contact your state's radiation protection office.)

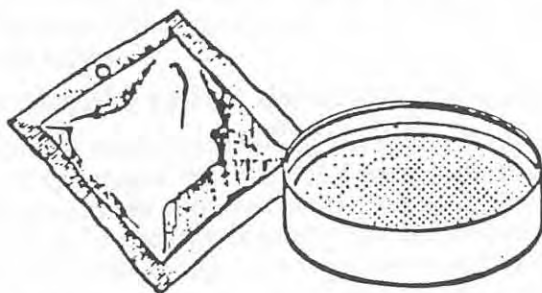
In some unusual situations, radon may be released from the materials used in the construction of a home. For example, this may be a problem if a house has a large stone fireplace or has a solar heating system in which heat is stored in large beds of stone. In general, however, building materials are not a major source of indoor radon.

Common Radon Entry Points



How is radon detected?

Since you cannot see or smell radon, special equipment is needed to detect it. The two most popular, commercially-available radon detectors are the charcoal canister and the alpha track detector. Both of these devices are exposed to the air in your home for a specified period of time and sent to a laboratory for analysis.



Charcoal Canisters

Test Period: 3 to 7 days

Approximate Cost: \$10 to \$25 for one canister



Alpha Track Detectors

Minimum Test Period: 2 to 4 weeks

Approximate Cost: \$20 to \$50 for one detector; discounts for multiple detectors

There are other techniques—requiring operation by trained personnel—which can be used to measure radon levels, but such techniques may be more expensive than the devices shown above.

Your measurement result will be reported to you in one of two ways. Results from devices which measure radon decay products are reported as "Working Levels" (WL). Results from devices which measure concentrations of radon gas are reported as "picocuries per liter" (pCi/l).

How can I get a radon detector?

Homeowners in some areas are being provided with detectors by their state or local government. In many areas, private firms offer radon testing. Your state radiation protection office may be able to provide you with information on the availability of detection devices or services.

The U.S. Environmental Protection Agency conducts a Radon Measurement Proficiency Program. This voluntary program allows laboratories and businesses to demonstrate their capabilities in measuring indoor radon. The names of firms participating in this program can be obtained from your state radiation protection office or from your EPA regional office.

How should radon detectors be used?

Obtaining a useful estimate of the radon level in your home may require that several detectors be used to make measurements in different areas. Following the steps below should provide the information needed as you decide whether or not further action is advisable. (In making radon measurements, you should be sure to follow the instructions of the manufacturer as to the proper exposure period for the particular device you are using.)

Step One: The screening measurement

The first step you should take is to have a short-term "screening" measurement made to give you an idea of the highest radon level in your home. Thus, you can find out quickly and inexpensively whether or not you have a potential radon problem.

The screening measurement should be made in the lowest livable area of your home (the basement, if you have one). All windows and doors should be closed for at least 12 hours prior to the start of the test, and kept closed as much as possible throughout the testing period. This is necessary to keep the radon level relatively constant throughout the testing period. Because of the need to keep the windows closed as much as possible, we recommend that you make short-term radon measurements during the cool months of the year.

Step Two: Determining the need for further measurements

In most cases, the screening measurement is not a reliable measure of the average radon level to which you and your family are exposed. Since radon levels can vary greatly from season to season as well as from room to room, the screening measurement only serves to indicate the potential for a radon problem. Depending upon the result of your screening measurement, you may need to have follow-up measurements made to give you a better idea of the average radon level in your home.

The following guidance may be useful to you in determining the urgency of your need for follow-up measurements.

If your screening measurement result is greater than about 1.0 WL or greater than about 200 pCi/l, you should perform follow-up measurements as soon as possible. Expose the detectors for no more than one week. Doors and windows should be closed as much as possible during testing. You should also consider taking actions (see page 13) to immediately reduce the radon levels in your home.

If your screening measurement result is about 0.1 WL to about 1.0 WL or about 20 pCi/l to about 200 pCi/l, perform follow-up measurements. Expose detectors for no more than three months. Doors and windows should be closed as much as possible during testing.

If your screening measurement result is about 0.02 WL to about 0.1 WL or about 4 pCi/l to about 20 pCi/l, perform follow-up measurements. Expose detectors for one year, or make measurements of no more than one week duration during each of the four seasons.

If your screening measurement result is less than about 0.02 WL or less than about 4 pCi/l, follow-up measurements are probably not required. If the screening measurement was made with the house closed up prior to and during the testing period, there is relatively little chance that the radon concentration in your home will be greater than 0.02 WL or 4 pCi/l as an annual average.

Step Three: The follow-up measurement

Follow-up measurements will provide you with a relatively good estimate of the average radon concentration to which you and your family are exposed. We strongly recommend that you make follow-up measurements before you make any final decisions about whether to undertake major efforts to permanently correct the problem.

Follow-up measurements should be made in at least two lived-in areas of your home. If your home has lived-in areas on more than one floor, you should make measurements in a room on each of the floors. An example is to take a measurement in the living room on the first floor and another in a second-floor bedroom. The results of the follow-up measurements should be averaged together.

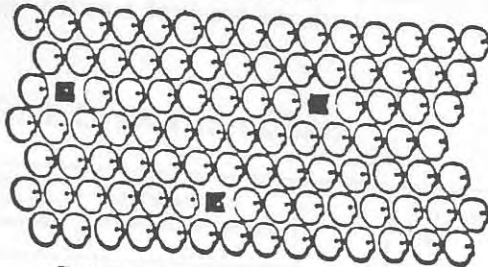
What do my test results mean?

The results of your follow-up measurements provide you with an idea of the average concentration throughout your home. The actual risk you face depends upon the amount of time you are exposed to this concentration.

The figures on the facing page illustrate the number of lung cancer deaths, out of a group of 100 people, that scientists would attribute to exposure to specific levels of indoor radon. The first three figures assume that these 100 individuals spent 75 percent of their time in the dwelling for 70 years. The numbers below each picture indicate what scientists consider to be a reasonable range of estimates of lung cancer deaths that could be attributed to the radon exposure. This is in addition to the number of lung cancer deaths attributed to other causes. (On average, about four people out of a hundred die of lung cancer from all causes combined.) The pictures represent the midpoint of the ranges.

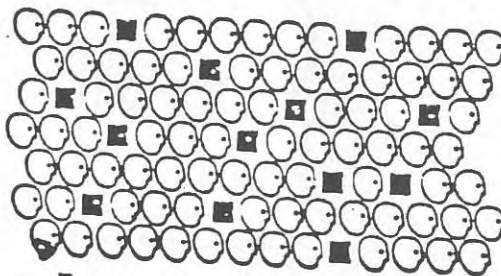
Lung Cancer Deaths
Associated With Exposure
To Various Radon Levels
Over 70 Years

WL = 0.02
pCi/l = 4



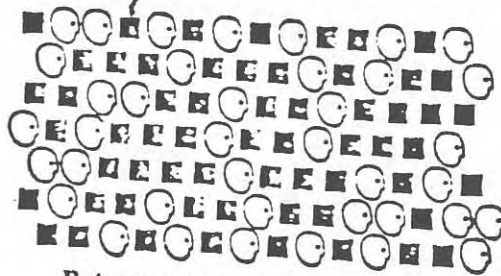
Between 1 and 5 out of 100

WL = 0.1
pCi/l = 20



Between 6 and 21 out of 100

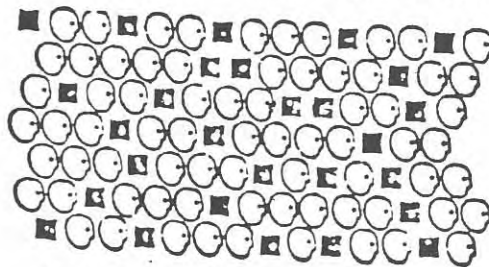
WL = 1.0
pCi/l = 200



Between 44 and 77 out of 100

If these same 100 individuals had lived only 10 years
(instead of 70) in houses with radon levels of about 1.0
WL, the number of lung cancer deaths expected would be:

WL = 1.0
pCi/l = 200



Between 14 and 42 out of 100

Another way to think about the risk associated with radon exposure is to compare it with the risk from other activities. The chart below gives an idea of how exposure to various radon levels over a lifetime compares to the risk of developing lung cancer from smoking and from chest x-rays. The chart also compares these levels to the average indoor and outdoor radon concentrations.

As you look at the chart, be sure to use the proper radon-level column for your results (either WL or pCi/l).

Radon Risk Evaluation Chart

pCi/l	WL	Estimated number of lung cancer deaths due to radon exposure (out of 1000)	Comparable exposure levels	Comparable risk
200	1	440—770	1000 times average outdoor level	More than 60 times non-smoker risk 4 pack-a-day smoker
100	0.5	270—630	100 times average indoor level	20,000 chest x-rays per year
40	0.2	120—380		
20	0.1	60—210	100 times average outdoor level	2 pack-a-day smoker
10	0.05	30—120	10 times average indoor level	1 pack-a-day smoker
4	0.02	13—50		5 times non-smoker risk
2	0.01	7—30	10 times average outdoor level	200 chest x-rays per year
1	0.005	3—13	Average indoor level	Non-smoker risk of dying from lung cancer
0.2	0.001	1—3	Average outdoor level	20 chest x-rays per year

How quickly should I take action?

In considering whether and how quickly to take action based on your test results, you may find the following guidelines useful. EPA believes that you should try to permanently reduce your radon levels as much as possible. Based on currently available information, EPA believes that levels in most homes can be reduced to about 0.02 WL (4 pCi/l).

If your results are about 1.0 WL or higher, or about 200 pCi/l or higher:

Exposures in this range are among the highest observed in homes. Residents should undertake action to reduce levels as far below 1.0 WL (200 pCi/l) as possible. We recommend that you take action within several weeks. If this is not possible, you should determine, in consultation with appropriate state or local health or radiation protection officials, if temporary relocation is appropriate until the levels can be reduced.

If your results are about 0.1 to about 1.0 WL, or about 20 to about 200 pCi/l:

Exposures in this range are considered greatly above average for residential structures. You should undertake action to reduce levels as far below 0.1 WL (20 pCi/l) as possible. We recommend that you take action within several months.

If your results are about 0.02 to about 0.1 WL, or about 4 pCi/l to about 20 pCi/l:

Exposures in this range are considered above average for residential structures. You should undertake action to lower levels to about 0.02 WL (4 pCi/l) or below. We recommend that you take action within a few years, sooner if levels are at the upper end of this range.

If your results are about 0.02 WL or lower, or about 4 pCi/l or lower:

Exposures in this range are considered average or slightly above average for residential structures. Although exposures in this range do present some risk of lung cancer, reductions of levels this low may be difficult, and sometimes impossible, to achieve.

Remember: There is increasing urgency for action at higher concentrations of radon. The higher the radon level in your home, the faster you should take action to reduce your exposure. If you find elevated radon concentrations in your home, you should take the relatively easy, short-term actions described on page 13.

Are there other factors I should consider?

Most of the risk information given in this pamphlet, as well as the recommendations for taking corrective action, are based on the general case. Your individual living patterns could influence your assessment of your risk and your decisions about the need for further action. Your answers to the following questions may help you evaluate your personal risk.

- Does anyone smoke in your home? Scientific evidence indicates that smoking may increase the risk of exposure to radon. In addition, smoking significantly increases your overall risk of lung cancer.
- Do you have children living at home? Although there are no studies of children exposed to radon to determine whether they are more sensitive than adults, some scientific studies of other types of radiation exposure indicate that children may be more sensitive. Consequently, children could be more at risk than adults from exposure to radon.
- How much time does any family member spend at home? The risk estimates given in this pamphlet assume that 75 percent of a person's time is spent at home. If you or your family spend more or less time at home, you should take this into consideration.
- Does anyone sleep in your basement? Since radon concentrations tend to be greater on the lower levels of a home, a person who sleeps in the basement is likely to face a greater risk than a person who sleeps in a second-floor bedroom.
- How long will you live in your home? The risk estimates in this booklet are based on the assumption that you will be exposed to the radon level found in your home for roughly 70 years. As you evaluate your potential risk, therefore, you might consider the total amount of time you expect to live in your home. But remember: other houses you have lived in—or will live in—may have the same or higher radon levels.

How can I reduce my risk from radon?

Your risk of lung cancer from exposure to radon depends upon the amount of radon entering your home and the length of time it remains in your living areas. Listed below are some actions you might take to immediately reduce your risk from radon. These actions can be done quickly and with minimum expense in most cases.

- Stop smoking and discourage smoking in your home. By doing so, you should reduce your family's overall chance of developing lung cancer, as well as reducing your family's risk from radon exposure.
- Spend less time in areas with higher concentrations of radon, such as the basement.
- Whenever practical, open all windows and turn on fans to increase the air flow into and through the house. This is especially important in the basement.
- If your home has a crawl space beneath, keep the crawl-space vents on all sides of the house fully open all year.

While the above actions will help reduce your risk from radon, they generally do not offer a long-term solution. You can find more information about permanent, cost-effective solutions to a radon problem in the EPA publication, *Radon Reduction Methods: A Homeowner's Guide*. A copy of this booklet may be obtained from your state radiation protection office or from your EPA regional office.

Before undertaking major modifications to your home, we recommend that you consult with your state radiation protection office to obtain whatever specific advice or assistance they may be able to provide for your particular situation.

Sources of Information

If you would like further information or explanation on any of the points mentioned in this booklet, you should contact your state radiation protection office.

If you have difficulty locating this office, you may call your EPA regional office listed below. They will be happy to provide you with the name, address, and telephone number for your appropriate state contact.

State—EPA Region

Alabama—4	Idaho—10	Missouri—7	Pennsylvania—3
Alaska—10	Illinois—5	Montana—8	Rhode Island—1
Arizona—9	Indiana—5	Nebraska—7	South Carolina—4
Arkansas—6	Iowa—7	Nevada—9	South Dakota—8
California—9	Kansas—7	New Hampshire—1	Tennessee—4
Colorado—8	Kentucky—4	New Jersey—2	Texas—6
Connecticut—1	Louisiana—6	New Mexico—6	Utah—8
Delaware—3	Maine—1	New York—2	Vermont—1
District of Columbia—3	Maryland—3	North Carolina—4	Virginia—3
Florida—4	Massachusetts—1	North Dakota—8	Washington—10
Georgia—4	Michigan—5	Ohio—5	West Virginia—3
Hawaii—9	Minnesota—5	Oklahoma—6	Wisconsin—5
	Mississippi—4	Oregon—10	Wyoming—8

EPA Regional Offices

EPA Region 1
Room 2203
JFK Federal Building
Boston, MA 02203
(617) 223-4845

EPA Region 2
26 Federal Plaza
New York, NY 10278
(212) 264-2515

EPA Region 3
841 Chestnut Street
Philadelphia, PA 19107
(215) 597-8320

EPA Region 4
345 Courtland Street, NE.
Atlanta, GA 30365
(404) 881-3776

EPA Region 5
230 South Dearborn Street
Chicago, IL 60604
(312) 353-2205

EPA Region 6
1201 Elm Street
Dallas, TX 75270
(214) 767-2630

EPA Region 7
726 Minnesota Avenue
Kansas City, KS 66101
(913) 236-2803

EPA Region 8
Suite 1300
One Denver Place
999 18th Street
Denver, CO 80202
(303) 283-1710

EPA Region 9
215 Fremont Street
San Francisco, CA 94105
(415) 974-8076

EPA Region 10
1200 Sixth Avenue
Seattle, WA 98101
(206) 442-7660

Introducción

ANEJO 5.- EVALUACION DE LA CONTAMINACION POR METALES PESADOS EN EL AREA DE SANTA CRUZ DE TENERIFE (CENTRAL TERMICA DE LAS CALETILLAS) MEDIANTE BIOINDICADORES VEGETALES NATURALES

1.- Objetivos

Introducción

La absorción de nutrientes por las plantas es función de una serie de factores, como su concentración en el suelo, pH del mismo, contenido en materia orgánica y de otros nutrimentos, así como ciertas características fisiológicas propias de cada especie vegetal, que pueden originar distintos comportamientos respecto a la asimilación de elementos nutritivos. Por otra parte, existen otros factores que también pueden influir en esta absorción, como posibles interacciones sinérgicas y/o antagónicas entre los elementos químicos. También hay que incluir los gases y las deposiciones sobre las plantas de partículas sólidas que lleva el aire, procedentes de diversas fuentes, contaminantes o no, que incluyen diversos elementos en su composición, que pueden ser absorbidos por los estomas de las hojas.

Uno de los mejores métodos, complementado con el análisis de suelo, para determinar si las concentraciones de un elemento dado en vegetales son normales, deficientes o tóxicas, es el análisis de plantas, ya que las cantidades de nutrientes en hojas reflejan bastante fielmente lo que la planta ha absorbido, ya sea por vía aérea o radicular (Reuter y Robinson, 1986).

2.- Objetivos

a) Evaluar el grado de contaminación por metales pesados en plantas silvestres de la zona de influencia de las emisiones de la Central Eléctrica de las Caletillas de UNELCO.

b) Conocer que parte (hojas o tallos) de dichas plantas es la mas idónea para realizar un muestreo que mejor refleje el grado de contaminación por metales pesados.

c) Determinar la época del año (invierno o primavera) que es mas conveniente para realizar el mencionado muestreo.

d) Especificar que planta de las muestreadas presenta una mayor capacidad como indicadora de contaminación.

3.- Material y Métodos

Para llevar a cabo los objetivos propuestos, se procedió, en primer lugar, a determinar que plantas silvestres eran las mas frecuentes en la zona de muestreo. Se eligieron las siguientes: Balo (*Plocama pendula*), tabaiba (*Euphorbia balsamífera*) y verode (*Kleiinia neirifolia*).

Se escogieron tres puntos de muestreo: P1 (altura = 60 metros; distancia a la Central Eléctrica = 375 metros), P2 (altura = 120 metros; distancia a la Central Eléctrica = 1000 metros) y P3 (altura = 180 metros; distancia a la Central Eléctrica = 1250 metros), de acuerdo con el mapa que se adjunta.

Dos órganos fueron muestreados en cada planta: hojas y tallos apicales en tabaiba y verode; en balo, se tomaron las ramas apicales, que se dividieron en dos partes: "ápice" (10 cm finales) y "tallo" (resto de la rama muestreada), aunque en el texto, para mas facilidad en la exposición, se denominarán "hoja" y "tallo", respectivamente.

Los muestreos se realizaron en Invierno y Primavera de 1988. Como valores de referencia, se tomaron en Primavera muestras de estas tres plantas en una zona no influenciada por las emisiones de la Central Eléctrica (Fasnia).

Para que el muestreo tuviese validez estadística, de cada punto señalado se obtuvieron 3 muestras (repeticiones, mencionadas como M1, M2 y M3 en las tablas) distintas para cada planta y órgano, por lo que el total de muestras recogidas fué de 3 plantas x 2 órganos x 3 puntos de muestreo x 3 repeticiones x 2 épocas = 108 muestras.

A éstas hay que añadir las muestras testigo (un total de 12).

Las muestras fueron lavadas con agua destilada y desecadas a 80 grados centígrados en estufa, moliéndose posteriormente. Dos gramos de cada muestra fueron colocados en vasos de precipitado de 100 ml, y atacados con 20 ml de una mezcla de ácidos formada por 750 ml de ácido nítrico concentrado, 150 ml de ácido sulfúrico concentrado y 300 ml de ácido perclórico del 60-62 %. El ataque se llevó a cabo

en plancha calefactora a bajo calor durante varios minutos, incrementándose posteriormente la temperatura hasta la aparición de humos de ácido sulfúrico. El volumen se dejó reducir hasta 3 a 5 ml, filtrándose y enrasándose a 100 ml con agua desionizada.

En cada muestra se determinó: Potasio, sodio, hierro, manganeso, cobre y cinc por espectrometría de absorción atómica, y níquel, cadmio, cromo y vanadio en un ICP/6500 Perkin-Elmer.

4.- Análisis y Discusión de los Resultados

En este apartado se hace un estudio comparativo entre los tres puntos de muestreo, utilizándose la t de Student como estadístico diferenciador de medias, del que se comentan solo los resultados mas relevantes (aquellos que son estadísticamente significativos) de los análisis de hojas y tallos de las plantas muestreadas.

Los resultados se exponen en las tablas 1 a 7.

4.1.- Potasio

En hojas de balo, tabaiba y verode no se aprecian diferencias entre los distintos puntos en el muestreo de invierno, mientras que en primavera los puntos mas altos

presentan valores superiores que el de menor cota, excepto en el caso del balo, en que no se cumple para el punto intermedio.

En los tallos de la tabaiba, las concentraciones mayores siguen apareciendo en los puntos mas altos, tanto en invierno como en primavera, mientras que en los balos solo se mantiene en el caso del punto mas elevado.

4.2.- Sodio

En las hojas y tallos de balo, tabaiba y verode se observa que las mayores concentraciones aparecen en el punto mas bajo, en ambas épocas de muestreo, a excepción de la época de invierno para el verode, que no presenta tendencia alguna.

Conviene destacar que el potasio siguió un compartamiento contrario al sodio. Ello podría deberse a un antagonismo sodio - potasio en el primer punto de muestreo, motivado por un contenido superior de sodio en los suelos de la cota mas baja, lo cual parecen corroborar los análisis de suelo realizados en el zona (ver el apartado "Distribución de componentes mineralógicos y elementos metálicos en los suelos de la malla").

4.3.- Hierro

Las hojas de tabaiba son las que presentan las diferencias mas apreciables entre las muestras de la cota mas baja y las de cotas superiores, en los dos periodos de muestreo. En cambio, este comportamiento solo se observa, en las hojas del muestreo de primavera de los balos, entre el punto 1 y el 3, mientras que los verodes no exhiben desigualdades manifiestas.

Los tallos solo muestran diferencias entre las muestras de la cota mas baja y las mas altas en el muestreo de invierno de tabaibas, y en el verode solo se manifiesta entre el punto 1 y el 2.

No obstante lo comentado anteriormente, las concentraciones de hierro pueden considerarse que entran dentro de los rangos normales (Reuter y Robinson, 1986), por lo que las diferencias observadas, aunque existe la posibilidad de que sean debidas a los contenidos en este elemento de las emisiones de la Central Eléctrica de las Caletillas, no podemos considerar, por el momento, que estos niveles puedan ser tóxicos, lo que parece confirmarse porque los testigos presentan concentraciones superiores de hierro, tanto en tallos como en hojas, en las tres plantas muestreadas.

4.4.- Manganeso.

El manganeso, tanto en hoja como en tallo, no se comporta de manera que permita obtener conclusiones claras, pues la diferencias entre las cotas mas altas y la mas baja se invierten o desaparecen, según la planta de que se trate o la época de muestreo.

4.5.- Cobre

En el cobre no se observan diferencias dignas de mención entre las distintas cotas muestreadas, tanto en hojas como en tallo de las tres plantas estudiadas.

4.6.- Zinc

En lo que respecta al cinc, tampoco se encuentran variaciones destacables.

4.7.- Níquel

Las hojas de tabaiba contienen mas níquel en la cota inferior que en las superiores en ambas épocas de muestreo; un comportamiento similar lo siguen los balos en primavera. En el verode no se presentan diferencias.

Los tallos de los balos, en primavera, exhiben una disminución gradual de los niveles de níquel, a medida que aumenta la altura de los puntos de muestreo. En cambio, en

el verode el comportamiento parece contradictorio entre las muestras de invierno y primavera, mientras que en la tabaiba no se observa ninguna diferencia.

El níquel foliar es significativamente superior en el punto mas cercano a la Central Eléctrica de las Caletillas que en el testigo, para el caso del balo y la tabaiba, lo que podría sugerir una influencia de las emisiones de la citada Central. No obstante, las concentraciones de este elemento se encuentran dentro de los rangos considerados como normales en la bibliografía (Cottenie, 1981; Connor et al., 1965; Freedman and Mutchinson, 1980 a y b; Mengel and Kirkby, 1987; Sauerbeck, 1982 y Vanselow, 1965).

4.8.- Cadmio

En el cadmio no se observan diferencias dignas de mención entre las distintas cotas y épocas de muestreo.

4.9.- Cromo

Al igual que sucedió con el cadmio, los valores de cromo no presentan tendencias definidas entre las diferentes alturas de los muestreos realizados.

4.10.- Vanadio

En las hojas se encuentran valores superiores de vanadio en el punto 1 respecto al 3, en el caso de la tabaiba, tanto en invierno como en primavera, no existiendo diferencias en los niveles de este elemento en balos y verodes.

En los tallos, el punto mas alejado de la Central es el que exhibe las menores concentraciones de vanadio en verodes en el muestreo de invierno, mientras que para el balo ocurre en primavera.

Al comparar los valores de las muestras con el testigo, es de destacar que en el balo, aún cuando no existen diferencias entre los distintos puntos de muestreo para las hojas, los valores del testigo son significativamente menores que aquellos. Por su parte, en la tabaiba, como habíamos indicado, las mayores concentraciones de vanadio se presentan en el punto 1, lo que se sigue observando cuando se compara con el testigo. En verode no se encuentra ninguna diferencia importante, respecto al testigo.

En el caso de los tallos, en los balos se presentan las mismas tendencias entre el punto de muestreo mas cercano a la Central Eléctrica y los testigos, y en la tabaiba todas las muestras son significativamente superiores al testigo, mientras que en verodes no se manifiestan variaciones dignas de mención.

Los niveles de vanadio que presentan los testigos se encuentran dentro del rango que se estima como normal en la bibliografía (Bengtson and Tyler, 1973; Welch and Huffmann, 1973; Bertrand, 1950; Mengel and Kirkby, 1987), mientras que es superior a este rango en los balos y tabaibas, especialmente en el punto mas cercano a la Central Eléctrica de las Caletillas. En cuanto a los verodes, sus concentraciones son mas similares a los niveles normales.

De lo anteriormente expuesto parece deducirse que existe una contaminación aérea de vanadio, probablemente debida a las emisiones de la mencionada Central, ya que las muestras de suelo no presentan diferencias relacionables con la cercanía a ésta.

Es indicativo que el análisis efectuado de una muestra de hollín desprendido por la citada Central en 1987 (12 de Marzo) arroje un sorprendentemente elevado porcentaje de V₂O₅ (ver Apéndice 1). Aunque estos aportes de vanadio no sean significativos a nivel de concentración en suelo, sí lo son en cambio en su afección a la vegetación del entorno, al fijarse en las hojas por proyección aérea.

5.- CONCLUSIONES

De acuerdo con el estudio realizado se pueden deducir las siguientes conclusiones:

1.- Se descarta al verode como planta indicadora de contaminación por metales pesados.

2.- Las hojas de tabaiba parecen reflejar mejor que los tallos la contaminación por metales pesados, mientras que por el contrario, en el balo son superiores los tallos como indicadores.

3.- La primavera parece ser la época del año mas idónea para muestrear ambas plantas (balo y tabaiba) en las zonas en que este estudio fué realizado.

4.- No se han observado concentraciones elevadas de los elementos hierro, manganeso, cobre, zinc, cadmio y cromo en las plantas estudiadas.

5.- Las concentraciones de níquel en las hojas de tabaiba y tallos de balo son superiores en el punto mas cercano a la Central Eléctrica, si bien estos niveles se encuentran dentro de los rangos considerados como normales en la bibliografía.

6.- Tanto en hojas de tabaiba como en tallos de balo, el nivel de vanadio en el punto de muestreo mas cercano a la Central es superior al que muestran los testigos, lo que parece indicar la existencia de cierto grado de contaminación.

7.- Los niveles de vanadio que presentan los testigos se encuentran dentro del rango considerado como normal en la bibliografía, mientras que las hojas de tabaiba y tallos de balo muestran valores superiores a este rango en el punto de muestreo mas cercano a la Central Eléctrica de las Caletillas.

8.- Al no presentar las muestras de suelos diferencias en sus contenidos en vanadio relacionables con la cercanía a la citada Central, parece deducirse que existe cierto grado de contaminación aérea de este elemento debida a las emisiones de la misma, dada la riqueza que en vanadio presentan las mencionadas emisiones.

9.- Dadas las importantes conclusiones que se deducen de este estudio, parece conveniente su continuación para apreciar la evolución que siguen las contaminaciones observadas, así como comprobar la posible afección de este elemento en los cultivos de la zona y en el consumo humano.

BIBLIOGRAFIA

Bengtson, S. and Tyler, G., 1973.- Vanadium and plant nutrition. *Plant Physiol.*, 52:183-185.

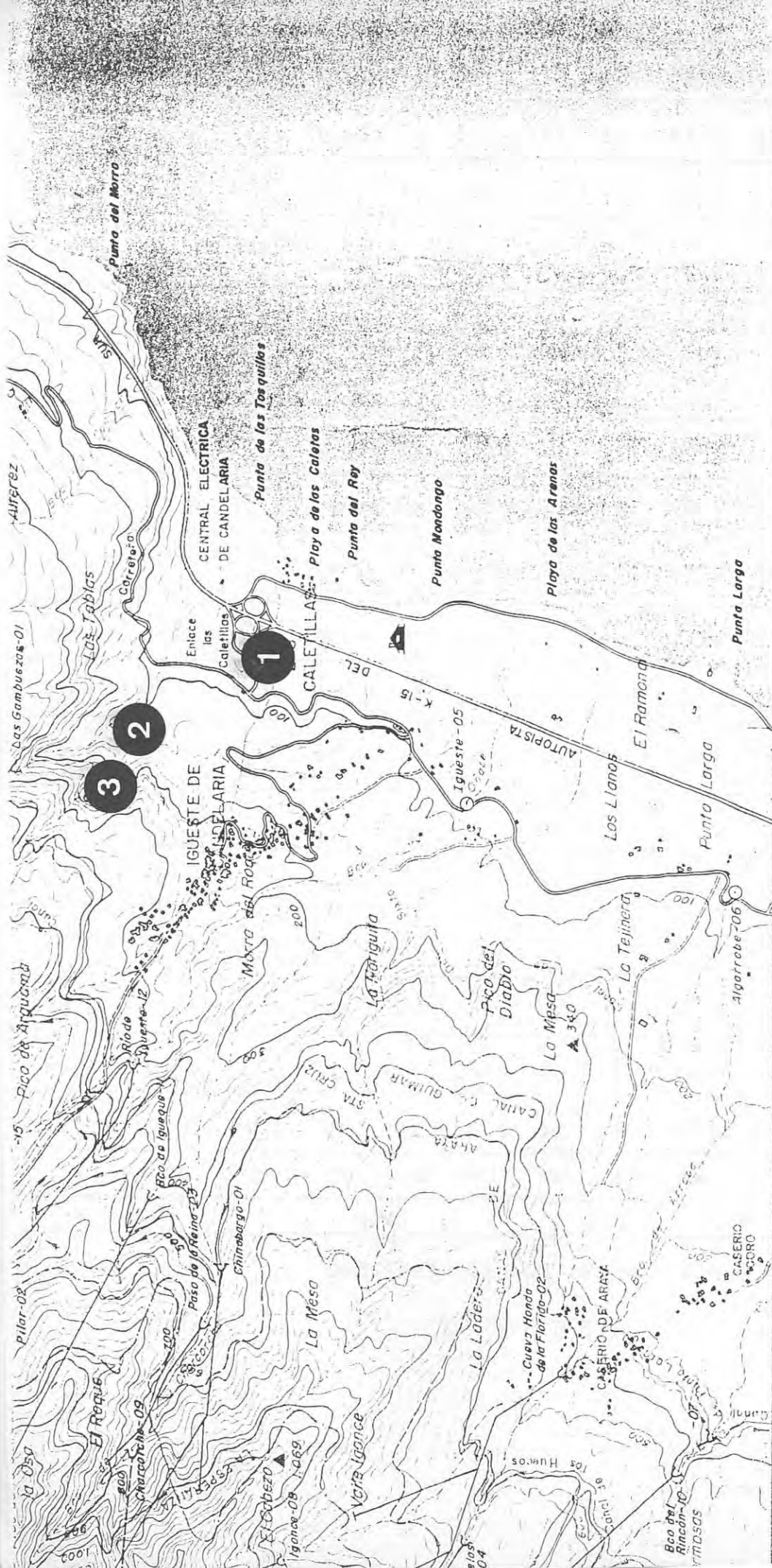
Bertrand, D., 1950.- *Bull. Am. Mus. Nat. Hist.*, 94:405-455.

Connor, J.J.; Shacklette, H.T.; Ebens, R.J.; Erdman, J.A.; Miesch, A.T.; Tidball, R.R. and Tourtelor, H.A., 1975.- En: *USGS Prof. Paper 574-F:106-111.*

Cottenie, A., 1981.- Sludge treatment and disposal in relation to heavy metals. *International Conference on Heavy Metals in the environment.* 167-175.

Freedman, B. and Hutchinson, T.C., 1980 a.- Pollutants inputs from the atmosphere and accumulations in soils and vegetation near nickel-copper smelter at Sudbury, Ontario, Canada. *Can. J. Bot.* 58:108-132.

Freedman, B. and Hutchinson, T.C., 1980 b.- Effects of smelter on forest litter decomposition near a nickel-copper smelter at Sudbury, Ontario, Canada. *Can. J. Bot.*, 58: 1722-1736.



367 000

366 000

E = 1 : 25.000

- 1 = Punto 1 de muestreo. Altura = 60 m. Distancia a la Central Eléctrica = 375 m
- 2 = Punto 2 de muestreo. Altura = 120 m. Distancia a la Central Eléctrica = 1000 m
- 3 = Punto 3 de muestreo. Altura = 180 m. Distancia a la Central Eléctrica = 1250 m

T A B L A 1

Muestra	Organo	BALOS		MUESTREO DE INVIERNO								
		‰		ppm								
		K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	V	
P ₁ M ₁	Apice	1.51	0.40	114	26	8.50	35	4.21	0.62	2.52	13.25	
P ₁ M ₂	"	1.34	0.42	92	28	6.50	30	2.51	tra zas	0.98	7.44	
P ₁ M ₃	"	1.13	0.37	85	22	7.00	32	2.85	0.41	2.23	9.00	
P ₂ M ₁	"	1.53	0.24	62	18	5.00	30	2.43	0.49	0.49	2.45	
P ₂ M ₂	"	1.77	0.28	80	22	5.00	41	0.37	2.14	2.33	7.76	
P ₂ M ₃	"	1.18	0.30	73	19	4.00	33	0.39	0.36	2.94	6.92	
P ₃ M ₁	"	1.02	2.34	72	17	4.00	27	0.46	tra zas	3.55	9.41	
P ₃ M ₂	"	1.20	0.26	80	16	4.50	29	2.95	1.45	5.37	7.92	
P ₃ M ₃	"	1.10	0.29	65	13	4.00	26	4.30	tra zas	tra zas	10.90	
P ₁ M ₁	Tallo	1.36	0.29	100	16	6.00	24	3.29	tra zas	tra zas	8.94	
P ₁ M ₂	"	1.27	0.36	117	21	6.50	27	2.65	tra zas	0.78	7.45	
P ₁ M ₃	"	1.06	0.33	114	17	6.00	30	2.78	tra zas	0.33	7.33	
P ₂ M ₁	"	1.57	0.20	95	14	6.00	33	0.71	tra zas	1.00	3.75	
P ₂ M ₂	"	1.79	0.21	69	16	5.00	42	1.25	tra zas	0.55	2.84	
P ₂ M ₃	"	1.29	0.21	123	14	6.00	33	1.59	tra zas	0.83	4.93	
P ₃ M ₁	"	1.23	0.30	119	13	5.00	32	2.09	tra zas	0.19	4.64	
P ₃ M ₂	"	1.38	0.24	93	13	5.00	27	0.77	0.43	4.28	9.74	
P ₃ M ₃	"	1.26	0.24	81	11	6.50	29	1.31	tra zas	0.75	3.47	

T A B L A 2

TABAIBA NUESTREO DE INVIERNO

Muestra	Organo	%		ppm							
		K	Na	Fe	Mn	Cn	Zn	Ni	Cd	Cr	V
P ₁ M ₁	Hoja	1.93	0.68	124	59	6.50	46	2.16	0.57	3.70	10.53
P ₁ M ₂	"	2.13	0.74	119	51	6.00	40	2.30	0.54	1.15	7.02
P ₁ M ₃	"	2.03	0.48	117	64	6.00	47	1.12	tra- zas	0.67	6.13
P ₂ M ₁	"	2.60	0.33	63	88	4.50	52	tra- zas	tra- zas	0.50	2.68
P ₂ M ₂	"	2.96	0.38	77	97	5.50	56	0.31	tra- zas	0.73	3.19
P ₂ M ₃	"	3.05	5.31	58	57	5.50	37	0.08	tra- zas	1.17	2.42
P ₃ M ₁	"	2.93	0.27	65	52	5.50	47	tra- zas	0.16	2.27	4.36
P ₃ M ₂	"	2.78	0.33	65	65	6.50	46	0.72	tra- zas	0.33	2.29
P ₃ M ₃	"	2.83	0.24	55	67	5.50	55	0.62	0.69	3.49	5.83
P ₁ M ₁	Tallo	1.51	0.46	48	21	7.00	27	0.38	tra- zas	1.03	1.63
P ₁ M ₂	"	1.41	0.56	48	20	6.50	24	tra- zas	0.51	4.84	6.98
P ₁ M ₃	"	1.68	0.33	60	22	8.50	32	0.19	0.40	3.98	6.78
P ₂ M ₁	"	2.23	0.39	42	41	9.00	34	2.42	0.49	0.15	tra- zas
P ₂ M ₂	"	2.02	0.24	39	45	9.00	35	0.36	tra- zas	1.68	1.93
P ₂ M ₃	"	1.98	0.18	36	23	7.00	26	tra- zas	0.15	4.51	6.06
P ₃ M ₁	"	1.98	0.18	36	23	8.00	28	tra- zas	0.12	4.35	5.74
P ₃ M ₂	"	1.87	0.25	44	25	9.00	33	0.82	0.38	0.72	1.28
P ₃ M ₃	"	1.89	0.17	34	25	8.00	31	0.13	0.39	4.63	5.63

T A B L A 3

VERODE MUESTREO DE INVIERNO

Muestra	Organo	%						ppm				
		K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	V	
P ₁ M ₁	Hoja	3.44	1.27	81.0	62.0	8.5	13.0	0.96	tra- zas	1.84	6.87	
P ₁ M ₂	"	4.02	1.48	48.0	58.0	13.0	12.5	0.16	0.44	3.77	7.34	
P ₁ M ₃	"	2.33	2.93	64.0	54.0	9.0	13.5	tra- zas	tra- zas	3.10	5.99	
P ₂ M ₁	"	3.92	1.17	53.0	44.0	12.5	12.5	1.67	0.65	0.25	3.16	
P ₂ M ₂	"	4.30	0.81	44.0	41.0	10.0	9.5	tra- zas	0.93	3.79	5.04	
P ₂ M ₃	"	4.99	0.58	60.0	55.0	12.0	11.0	0.38	0.26	2.24	6.27	
P ₁ M ₁	Tallo	2.31	0.52	41.0	11.5	12.0	18.5	0.25	tra- zas	0.90	0.89	
P ₁ M ₂	"	2.13	0.70	38.5	11.0	14.0	21.0	1.80	0.71	tra- zas	tra- zas	
P ₁ M ₃	"	1.39	1.04	46.0	10.5	14.0	12.0	0.35	tra- zas	1.79	1.98	
P ₂ M ₁	"	2.02	0.49	32.0	7.0	17.5	19.5	tra- zas	0.58	3.63	5.28	
P ₂ M ₂	"	2.18	0.49	30.0	8.5	14.5	20.0	tra- zas	0.53	3.78	5.05	
P ₂ M ₃	"	1.57	0.60	30.0	8.0	14.5	21.5	tra- zas	0.37	2.80	3.85	
P ₃ M ₁	"	2.35	0.35	26.0	10.0	16.0	21.0	tra- zas	tra- zas	0.64	0.05	
P ₃ M ₂	"	2.53	0.39	37.0	11.0	15.0	26.0	tra- zas	tra- zas	0.18	27.0	
P ₃ M ₃	"	2.53	0.41	32.0	10.0	14.5	21.0	1.09	0.84	0.50	tra- zas	

T A B L A 4

B A L O MUESTREO DE PRIMAVERA

Muestra	Organo	%		ppm							
		K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	V
P ₁ M ₁	Apice	1.92	0.33	111.0	25.0	7.50	32.0	3.64	tra- zas	0.26	9.04
P ₁ M ₂	"	1.77	0.51	129.0	25.0	6.50	38.0	3.81	tra- zas	1.15	8.77
P ₁ M ₃	"	1.76	0.42	141.0	29.0	7.50	36.0	3.70	tra- zas	0.19	8.87
P ₂ M ₁	"	2.53	0.20	101.0	21.0	7.50	44.0	0.76	0.26	3.78	7.96
P ₂ M ₂	"	2.10	0.18	117.0	22.0	5.00	35.0	1.47	tra- zas	0.47	3.91
P ₂ M ₃	"	2.00	0.29	101.0	26.0	6.00	42.0	1.58	0.70	4.50	10.37
P ₃ M ₁	"	2.22	0.21	97.0	32.0	5.00	41.0	0.72	tra- zas	2.68	7.36
P ₃ M ₂	"	2.10	0.24	92.0	27.0	5.00	34.0	1.52	tra- zas	0.49	4.19
P ₃ M ₃	"	2.10	0.25	93.0	20.0	5.50	37.0	1.22	0.56	4.50	11.00
P ₁ M ₁	Tallo	1.96	0.34	110.0	20.0	5.50	29.0	5.27	0.37	0.12	8.98
P ₁ M ₂	"	1.82	0.45	105.0	24.0	6.50	39.0	5.31	0.49	0.26	10.99
P ₁ M ₃	"	1.85	0.39	110.0	25.0	7.50	36.0	4.08	0.37	0.04	10.05
P ₂ M ₁	"	2.16	0.19	96.0	14.0	7.00	37.0	1.40	1.14	2.52	5.72
P ₂ M ₂	"	1.80	0.22	102.0	20.0	6.50	37.0	2.03	tra- zas	0.14	4.28
P ₂ M ₃	"	1.63	0.27	114.0	20.0	6.50	44.0	1.65	0.21	tra- zas	4.24
P ₃ M ₁	"	2.20	0.26	95.0	28.0	6.50	49.0	0.59	tra- zas	0.08	3.68
P ₃ M ₂	"	2.19	0.20	96.0	17.0	5.50	30.0	1.14	0.27	3.80	6.81
P ₃ M ₃	"	2.03	0.30	77.0	15.0	6.00	38.0	1.13	0.26	3.81	6.79

T A B L A 5

T A B A I B A MUESTREO DE PRIMAVERA

			%		ppm							
Muestra	Organo		K	Na	Fe	Mn	Cu	Zn	Ni	Cd	Cr	V
P ₁ M ₁	Hoja		1.72	0.74	186.0	57.0	6.0	45.0	4.66	0.51	1.08	10.98
P ₁ M ₂	"		2.14	0.57	188.0	64.0	5.0	36.0	5.03	0.22	0.83	10.51
P ₁ M ₃	"		1.99	0.66	178.0	62.0	8.5	44.0	4.89	0.25	0.57	9.26
P ₂ M ₁	"		3.13	0.49	119.0	94.0	7.0	76.0	8.30	0.52	3.70	8.16
P ₂ M ₂	"		2.25	0.73	106.0	139.0	6.5	63.0	3.31	tra- zas	0.88	3.41
P ₂ M ₃	"		3.20	0.39	114.0	113.0	6.5	56.0	tra- zas	0.14	3.46	8.63
P ₃ M ₁	"		3.30	0.25	102.0	89.0	9.0	64.0	0.30	0.53	3.17	7.04
P ₃ M ₂	"		3.80	0.24	115.0	88.0	7.0	62.0	2.15	0.34	0.73	3.54
P ₃ M ₃	"		3.00	0.26	97.0	62.0	5.0	42.0	3.33	0.28	1.16	3.18
P ₁ M ₁	Tallo		1.14	0.41	43.0	17.0	6.0	25.0	tra- zas	0.50	3.72	5.10
P ₁ M ₂	"		1.47	0.28	38.0	22.0	6.5	22.0	tra- zas	0.09	2.14	3.97
P ₁ M ₃	"		1.36	0.28	41.0	17.0	6.5	24.0	tra- zas	0.21	3.91	5.83
P ₂ M ₁	"		1.68	0.27	35.0	34.0	9.0	26.0	tra- zas	0.46	3.86	4.72
P ₂ M ₂	"		1.60	0.55	33.0	40.0	7.0	36.0	3.15	0.92	1.46	1.00
P ₂ M ₃	"		1.89	0.22	34.0	47.0	8.0	31.0	tra- zas	0.17	3.85	4.44
P ₃ M ₁	"		2.03	0.13	32.0	30.0	6.5	24.0	tra- zas	0.45	4.18	5.7
P ₃ M ₂	"		2.07	0.11	33.0	29.0	8.5	31.0	tra- zas	0.35	4.60	5.95
P ₃ M ₃	"		1.86	0.13	38.0	24.0	8.5	23.0	tra- zas	0.46	4.22	5.42

T A B L A 6

V E R O D E MUESTREO DE PRIMAVERA

Muestra	Organo	%		ppm							
		K	Na	Fe	Mn	Cn	Zn	Ni	Cd	Cr	V
P ₁ M ₁	Hoja	2.78	2.27	70.0	130.0	13.0	14.0	3.86	0.03	1.74	5.26
P ₁ M ₂	"	2.57	1.19	70.0	92.0	7.5	10.0	2.62	0.39	2.44	5.06
P ₁ M ₃	"	2.81	1.41	58.0	100.0	8.0	10.5	tra- zas	0.59	4.96	9.52
P ₂ M ₁	"	4.00	1.27	58.0	50.0	16.0	9.0	0.76	1.10	0.07	3.63
P ₂ M ₂	"	4.10	1.23	63.0	80.0	16.0	12.5	0.91	0.55	0.88	4.29
P ₂ M ₃	"	3.31	1.00	72.0	119.0	15.5	9.5	1.06	0.01	1.70	4.95
P ₃ M ₁	"	4.46	0.19	57.0	89.0	16.0	9.5	tra- zas	0.35	4.92	8.36
P ₃ M ₂	"	3.67	0.25	57.0	93.0	16.0	9.0	4.08	1.89	4.83	6.09
P ₃ M ₃	"	3.97	0.32	53.0	81.0	13.0	9.5	4.05	1.43	3.92	5.55
P ₁ M ₁	Tallo	1.51	0.84	39.0	18.0	13.0	21.0	3.53	1.06	1.94	2.24
P ₁ M ₂	"	2.29	0.47	34.0	16.0	13.0	35.0	1.09	0.92	2.68	3.64
P ₁ M ₃	"	2.02	0.54	40.0	15.0	13.0	23.0	3.13	0.87	6.86	3.07
P ₂ M ₁	"	2.00	0.47	27.0	8.5	11.5	13.0	tra- zas	0.28	3.77	4.63
P ₂ M ₂	"	1.86	0.40	36.0	13.0	12.0	18.0	tra- zas	0.28	3.07	3.51
P ₂ M ₃	"	1.71	0.36	43.0	13.0	13.0	17.0	1.56	3.39	2.74	3.17
P ₃ M ₁	"	1.82	0.15	43.0	9.0	15.5	22.0	4.52	1.29	3.60	3.23
P ₃ M ₂	"	2.68	0.27	43.0	11.0	18.0	23.0	2.95	1.14	3.14	3.25
P ₃ M ₃	"	2.01	0.22	32.0	11.0	14.5	22.0	3.31	1.06	3.39	4.12

Introducción

Forma de presentar

El objetivo de los apartes de introducción a través de los cuales se presentan los datos de precipitación en relación con el contenido de contaminantes en la zona de estudio, se pretende dar a conocer el estado de la contaminación en la zona de estudio.

ANEJO 6.- EVALUACION DEL CONTENIDO EN CONTAMINANTES DEL AGUA DE PRECIPITACION EN LA ZONA STA. CRUZ-LA LAGUNA.

El presente anejo tiene como finalidad evaluar el contenido de contaminantes en el agua de precipitación en la zona de estudio, para lo cual se realizaron mediciones en diferentes puntos de la zona de estudio, durante un periodo de tiempo determinado.

Objetivos y justificación

El objetivo principal de este estudio es evaluar el contenido de contaminantes en el agua de precipitación en la zona de estudio, para lo cual se realizaron mediciones en diferentes puntos de la zona de estudio, durante un periodo de tiempo determinado. La justificación de este estudio radica en que el agua de precipitación es una fuente importante de contaminación y puede afectar la salud humana y el medio ambiente.

Introducción

Toma de muestras.-

El análisis de los aportes de contaminantes a través de las aguas de precipitación se realizó mediante recogida de muestras a partir de unos captadores instalados a unos 50 metros de la refinería de petróleo y en los bordes de la autopista Sta. Cruz-La Laguna. Estos captadores consistían en frascos de polietileno con un sistema de obturación especial que permitía la carga de los frascos sólo en el momento de la precipitación, evitando el aporte de otros productos en suspensión en el aire; la altura de muestreo era de un metro a nivel del suelo y la cota aproximada 60 y 500m.

Se recogieron dos series de muestras en cada captador, en Febrero y Abril de 1989 (22-2-89 y 4-4-89).

Resultados y discusión.-

El valor de pH más bajo encontrado en las muestras analizadas fue de 6.96, siendo los restantes valores siempre superiores a 7. Puesto que la denominada lluvia ácida es aquella que presenta valores de pH por debajo de 5.6, no parece que pueda hablarse en consecuencia de la existencia de este tipo de lluvia en Tenerife, al menos precisamente en su zona de mayor concentración humana e industrial.

Las aguas recogidas son de baja salinidad total, con conductividades elevadas que varían de 72 a 110 milimhos/cm a 25 °C. Como consecuencia, las concentraciones de los cationes Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺⁺ y K⁺ son siempre bajas, no encontrándose diferencias sustanciales entre ellas. Entre los aniones son precisamente los iones HCO₃⁻ y Cl⁻ los predominantes, en este orden.

Parece, pues, que hasta el momento este tipo de lluvias no es motivo de preocupación en Tenerife. Contribuye a ello la escasa industrialización en términos absolutos, su localización geográfica favorable -expuesta a los vientos alisios gran parte del año, lo que provoca una rápida y eficaz renovación y limpieza de la atmósfera-, y su especial climatología, con largos periodos de sequía y precipitaciones muy irregulares en frecuencia y volumen de un año a otro.

El contenido en metales pesados de estas aguas de precipitación no se ha determinado, al haberse analizado sistemáticamente el contenido de estos elementos en filtros recogidos con captadores de alto volumen (ver Anejo 2). Este sistema, mucho más eficaz en cuanto al control de los periodos de muestreo y a la cantidad total de componente a analizar, permite una mejor evaluación del contenido de los elementos contaminantes (polvo en suspensión, humos, etc.), tanto de origen local como transfronterizos, que se incorporan a las aguas de precipitación.

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



INSTITUTO DE
RECURSOS NATURALES
Y AGRICULTURA
DE CANARIAS