

1187800

X  
722-1

UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
FACULTAD DE QUIMICAS

CONTENIDOS DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y MINORITARIOS  
Y SU RELACION CON PROPIEDADES FISICO QUIMICAS EN  
PERFILES DE SUELOS DE LA PROVINCIA DE HUELVA.

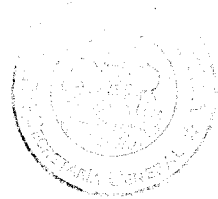
T O M O I

UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
SECRETARIA GENERAL

Queda registrada esta Tesis Doctoral  
al folio 113 de las 12 del libro  
correspondiente al 10 351.001  
Sevilla, \_\_\_\_\_

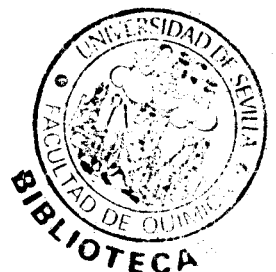
En sede del Rectorado de la Universidad

*Alvaro Raffette*



TESIS DOCTORAL  
ROQUE JIMENEZ PEREZ

1.990



CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y MINORITARIOS Y SU  
RELACION CON PROPIEDADES FISICO QUIMICAS EN PERFILES DE  
SUELOS DE LA PROVINCIA DE HUELVA.

Memoria presentada para aspirar  
al grado de Doctor en Químicas,  
por Roque Jiménez Pérez.

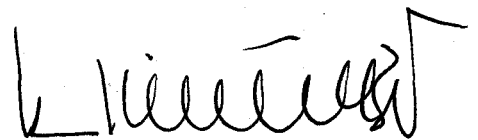
CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y MINORITARIOS Y SU  
RELACION CON PROPIEDADES FISICO QUIMICAS EN PERFILES DE  
SUELO DE LA PROVINCIA DE HUELVA.

por

Roque Jiménez Pérez

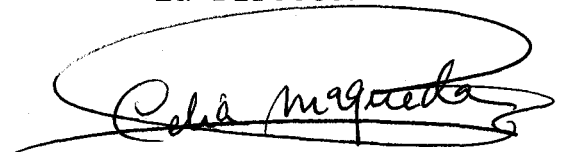
Memoria presentada para aspirar  
al grado de Doctor en Químicas.

Sevilla, Septiembre de 1990



Fdo: Roque Jiménez Pérez

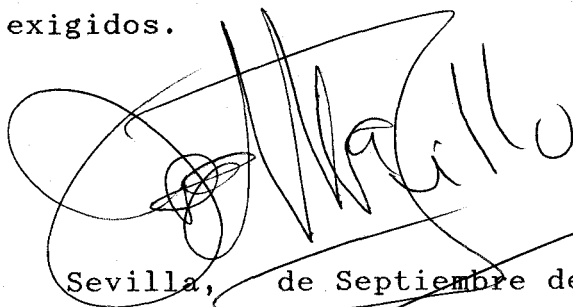
La Directora



Fdo: Celia Maqueda Porras  
Investigador del C.S.I.C.

JOSE MARIA TRILLO DE LEYVA, CATEDRATICO-DIRECTOR DEL DEPARTAMENTO DE QUIMICA INORGANICA DE LA UNIVERSIDAD DE SEVILLA.

CERTIFICA: Que la memoria de Tesis Doctoral titulada: "CONTENIDO DE ELEMENTOS MAYORITARIOS Y MINORITARIOS Y SU RELACION CON PROPIEDADES FISICO QUIMICAS EN PERFILES DE SUELOS DE LA PROVINCIA DE HUELVA", que presenta D. Roque Jiménez Pérez para la obtención del Grado de Doctor en Química, se ha realizado en los laboratorios del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (C.S.I.C.) y de la Escuela Universitaria del Profesorado de EGB de Huelva, bajo la dirección del Investigador Dra. Dña. Celia Maqueda Porras y que reúne los requisitos exigidos.



Sevilla, de Septiembre de 1990.



Deseo expresar mis más sinceros agradecimientos a las siguientes personas y entidades, que hicieron posible este trabajo.

A la Dra. Dña. Celia Maqueda Porras, Investigadora del C.S.I.C., bajo cuya dirección fue llevado a cabo este trabajo con acertada visión científica. Por su dedicación, apoyo y plena colaboración.

Al Prof. Dr. D. José María Trillo de Leyva, Catedrático-Director del Departamento de Química Inorgánica de la Universidad de Sevilla, por su gentileza al aceptar la Tutoría de la presente Tesis.

Al Profesor de Investigación Dr. D. José Luís Pérez Rodríguez, que con su amplia experiencia científica ha hecho aportaciones de considerable interés, alentándome a todo lo largo de este trabajo y poniendo a mi disposición los medios materiales necesarios para que pudiera llegar a buen fin.

A la Dra. Dña. Adela Valero Sáez que me inició en la noble tarea de la investigación a quien debo en gran parte la culminación de esta Tesis, por su colaboración y valiosa ayuda.

Al Dr. D. Miguel Vargas, por su estimable ayuda en la realización de los análisis por Fluorescencia de rayos X.

Al Dr. D. José Luís Mudarra que me facilitó las descripciones de los perfiles utilizados en este estudio y sus aportaciones en el conocimiento de los suelos.

Al Prof. Dr. D. Francisco González García que inicialmente propuso el tema y despertó mi interés por la investigación en los suelos.

A la Lda. Dña. Pilar Rodríguez Rubio, por su continua ayuda y la cesión de algunos datos de su Tesis Doctoral.

A la Lda. Dña. Ana María Wamba Aguado, por su continuo estímulo y su valiosa colaboración en la obtención de determinados datos.

Al Dr. D. Angel Justo y a la Dra. Dña. Esmeralda Morillo, componentes de la antigua Unidad de Mineralogía de Arcillas del I.R.N. y A. de Sevilla, por las facilidades que me dieron.

A todos los compañeros de la Escuela Universitaria del Profesorado de EGB de Huelva que se interesaron por la terminación de este trabajo.

A Dña. María José Infante, por su eficaz tarea en la mecanografía de esta memoria.

Al Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (C.S.I.C.) que me facilitó sus instalaciones.

Al C.I.C.A. y especialmente a su Director Dr. D. Rafael Infantes que me posibilitó la utilización del complejo informático.

A la C.A.I.C.Y.T. por la ayuda económica recibida a través del Proyecto n. 3522 y, por las subvenciones, a la Consejería de Educación de la Junta de Andalucía

Por último quiero también expresar mi agradecimiento a todas aquellas personas que se interesaron en mi trabajo y desearon un buen final.

A mi mujer y a mis hijos,  
por todo el tiempo que dejé  
de estar con ellos.

**I N D I C E**

TOMO I

	<u>pág.</u>
OBJETIVOS GENERALES.....	1
I. INTRODUCCION.....	7
I.1. Los elementos químicos en la litosfera.....	8
I.1.1. Distribución de Elementos químicos en las rocas y materiales primarios.....	8
I.1.2. Principios generales de la distribución de los elementos químicos en el suelo....	14
I.1.2.1. Influencia del potencial iónico en la movilidad.....	16
I.1.2.2. Influencia de las condiciones físico químicas del medio.....	19
I.2. Relación de los elementos con los componentes orgánicos e inorgánicos de los suelos.....	28

I.2.1. Interacciones de la materia orgánica con los elementos químicos.....	28
I.2.1.1. Naturaleza de las interacciones elementos-sustancias húmicas.....	29
I.2.1.2. Solubilidad de los complejos metal-sustancias húmicas.....	35
I.2.1.3. Propiedades reductoras de los ácidos húmicos.....	37
I.2.1.4. Complejos materia orgánica-elementos en los sistemas naturales.....	37
I.2.1.5. Acción edafogénica de los agentes complejantes naturales.....	39
I.2.2. Presencia de los elementos químicos en los materiales inorgánicos del suelo.....	42
I.2.2.1. Relación de los elementos con los materiales carbonatados.....	42
I.2.2.2. Presencia de los elementos químicos adicionales en los minerales del suelo.....	49
I.2.2.3. Generalidades sobre los procesos de adsorción de los elementos por los óxidos.....	54
I.3. Elementos de interés biológico y en la agricultura.....	62

I.4. Tratamiento estadístico de parámetros de los suelos.....	71
<b>II. MATERIALES Y METODOS EXPERIMENTALES .....</b>	<b>79</b>
II.1. Materiales .....	80
II.1.1. Datos geomorfológicos de la provincia de Huelva .....	82
II.1.2. Aspectos climáticos, hidrografía y suelos	91
II.1.3. Descripción de los perfiles .....	104
II.2. Métodos experimentales .....	167
II.2.1. Preparación de las muestras .....	168
II.2.2. Determinaciones analíticas generales ....	168
II.2.2.1. Análisis mecánico .....	168
II.2.2.2. Determinación del carbono orgánico total .....	169
II.2.2.3. Determinación del nitrógeno .....	170
II.2.2.4. Determinación de Materia Orgánica y relación C/N .....	171
II.2.2.5. Determinación del pH .....	172
II.2.2.6. Determinación del contenido en car- bonatos .....	173
II.2.2.7. Determinación de la Capacidad de Cam- bio catiónica .....	173
II.2.3. Análisis químico del suelo total .....	175



II.2.4. Hierro y Aluminio extraíbles .....	177
II.2.5. Fluorescencia secuencial de Rayos X .....	178
II.2.6. Difracción de Rayos X .....	181
II.2.7. Análisis estadístico de datos .....	183
III. RESULTADOS Y DISCUSION .....	185
III.0. Presentación de los datos .....	186
III.1. Resultados y discusión de los distintos gru- pos de perfiles .....	192
III.1.1. Suelos desarrollados sobre areniscas ....	193
III.1.2. Suelos arenosos y sedimentos arcillo- arenosos .....	234
III.1.3. Suelos desarrollados sobre calizas y margas .....	316
<u>TOMO II</u>	
III.1.4. Suelos desarrollados sobre pizarras .....	362
III.1.5. Suelos desarrollados sobre granitos .....	394
III.1.6. Suelos desarrollados sobre vulcanitas ...	432
III.2. Discusión del estudio estadístico (análi- sis factorial) de los distintos grupos .....	461

III.2.1.	Estudio estadístico de los parámetros analizados en perfiles de suelos sobre areniscas .....	462
III.2.2.	Estudio estadístico de los parámetros analizados en perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos .....	476
III.2.3.	Estudio estadístico de los parámetros analizados en perfiles de suelos sobre calizas y margas .....	489
III.2.4.	Estudio estadístico de los parámetros analizados en perfiles de suelos sobre pizarras .....	501
III.2.5.	Estudio estadístico de los parámetros analizados en perfiles de suelos sobre granitos .....	512
III.2.6.	Estudio estadístico de los parámetros analizados en perfiles de suelos sobre vulcanitas .....	525
IV.	CONCLUSIONES .....	539
V.	BIBLIOGRAFIA .....	550

## OBJETIVOS GENERALES

El estudio del suelo corresponde a la parte más externa de la corteza terrestre, sometida a la acción atmosférica e influencia de la biosfera.

Como sistema de componentes múltiples, el suelo está constituido por las fases sólida, líquida y gaseosa, siendo la primera la que mejor propicia su caracterización. La fase sólida puede ser policristalina o poliamorfa y, según su origen, los componentes amorfos y cristalinos pueden ser primarios o secundarios, inorgánicos u orgánicos. Los componentes inorgánicos provienen de la meteorización de las rocas y minerales o de las reacciones siguientes entre los productos de la meteorización, los segundos son fundamentalmente producto de la degradación biológica.

Desde el punto de vista geoquímico, los suelos

forman parte del ciclo endógeno o menor de la materia en la parte superior de la litosfera. Este se inicia en las rocas cristalinas sólidas terminando en las sedimentarias, y es una parte del ciclo mayor de la materia en la naturaleza. A diferencia de este último, que es cerrado, el ciclo menor es abierto, excepto para las rocas sedimentarias (RANKAMA y SAHAMA, 1954), y es un verdadero agente separador y concentrador de diversos elementos.

Las rocas parenterales pueden tener una fuerte influencia en la formación del suelo, en sus propiedades y características. Los demás factores de formación: clima, relieve, agentes bióticos y tiempo, influyen fuertemente sobre la composición del suelo controlando las reacciones de meteorización, las cuales alteran los minerales aportados por la roca parenteral (JACKSON, 1968).

Así pues el contenido total de un elemento mayoritario o minoritario es fundamentalmente nativo, es decir, depende del material geológico original que será posteriormente modificado en cuanto a su movilidad, contenido y formas de presentarse, por los procesos edáficos que tienen lugar.

Un criterio inicial que orienta este trabajo, viene dado por la importancia del suelo y el conocimiento de sus constituyentes para la nutrición

vegetal. Puede ser ésta la finalidad última del estudio, o bien quedar subordinados a los procesos edáficos, acumulando el interés sobre la genética. Pero no es posible hacer ambas cosas a la vez, se precisa conocer la existencia, contenido y distribución de los elementos para profundizar en su origen posteriormente.

Los suelos de Huelva, debido a su amplia variedad geológica y climática son muy diversos y, por tanto, motivan una composición química muy variada.

El interés de estos suelos, hoy día, se mueve por las aplicaciones agrícolas, minerales e industriales y como soporte de residuos. Así, el conocimiento de la composición química sirve como sustento de las plantas, niveles que pueden tener significación de toxicidad y conocimiento de enriquecimiento para determinar la presencia de determinados componentes.

Hasta el momento no se ha realizado ningún estudio que abarque el conocimiento de la composición química de estos suelos, tan sólo en puntos concretos del Andévalo oriental en función de las mineralizaciones y explotaciones existentes. Por eso se cree que realizar este estudio para la obtención de datos en perfiles representativos de toda la zona, tiene un indudable interés.

Pero una serie de datos sin una correlación, no justifican un trabajo de este tipo. Esto obliga a un estudio más profundo, no limitándose al elemento en cuestión sino extendiéndolo a todos aquellos factores, como pH, textura, mineralogía, etc., permitiendo con esta relación una cierta predicción de la conducta seguida y el estado en que los elementos pueden encontrarse.

En la provincia en cuestión, se ha procurado seleccionar suelos representativos, que abarquen todos los tipos presentes en la zona y con extensión suficiente para que tengan importancia. Por otra parte, los suelos elegidos deben representar las distintas zonas climáticas y geológicas que existen, en este caso muy marcadas y hasta cierto punto coincidentes.

En base a todas las consideraciones anteriores se pretende:

-Un conocimiento y distribución de elementos mayoritarios (aquellos que se han considerado de interés biológico, geológico y otros cuyo interés aún no está bien definido, de ahí su interés igualmente).

-Saber el contenido en función de las distintas áreas geológicas de Huelva, con una distribución de los perfiles en grupos, con la característica común del

material original.

-Proponer la evolución de los elementos y en qué medida intervienen las propiedades físico-químicas del suelo.

-Obtener datos matemático-estadísticos fiables que evalúen la relación de los elementos con los diversos parámetros físico-químicos del suelo y la implicación de los propios elementos entre sí.

-Graduar estadísticamente las relaciones entre los parámetros, de manera que se pueda considerar el orden de importancia en la intervención de ellos con la existencia y evolución de los elementos, pudiéndose anular aquellos parámetros que no tengan una incidencia importante, dando definitivamente una mayor simplicidad al estudio con el rigor suficiente e intentando siempre la mayor claridad posible.



**I. INTRODUCCION.**

## I.1. LOS ELEMENTOS QUIMICOS EN LA LITOSFERA.

A los elementos químicos cuya concentración en los minerales y rocas es superior a 0,1% se les da el nombre de elementos traza o minoritarios (ROSLER LANGE, 1972).

Anteriormente GONI (1966) hace una clasificación de la composición de la litosfera, que se presenta en la tabla A.

Puede observarse que hay 12 elementos con un porcentaje mayor del 0,1% (elementos mayoritarios) que forman parte de los constituyentes esenciales de la capa silicatada.

El resto de los elementos con un porcentaje inferior a 0,1% (elementos minoritarios), de ellos, sólo algunos juegan un papel esencial en el desarrollo de los organismos vegetales y animales (PEDRO y DELMAS, 1970).

### I.1.1. DISTRIBUCION DE ELEMENTOS QUIMICOS EN LAS ROCAS Y MATERIALES PRIMARIOS.

La distribución de elementos en los diferentes tipos de rocas está regulada por tres factores, uno de ellos esencial: tipo petrográfico; y dos complementarios, localización geográfica y periodo geológico de la roca.

TABLA. A

DISTRIBUCION DE LOS ELEMENTOS SEGUN SU ABUNDANCIA EN LA LITOSFERA (según GONI, 1966).

Elem. mayoritarios  
( $>0,1\%$ )

Elem. minoritarios  
( $<0,1\%$ )

		( $>1\text{ppm.}$ )	( $<1\text{ppm.}$ )
O 466	} $\times 10^3$	F 700	Sm 7
Si 277		S 520	Gd 6
Al 81,3		Sr 450	Pr 6
Fe 50		Ba 400	Sc 5
Ca 36,3		C 320	Hf 5
Na 28		Cl 200	Dy 5
K 25		Cr 200	Sn 3
Mg 20		Zr 160	B 3
8 elem. princ. =98,59% ( $>1\%$ )		Rb 120	Yb 3
Ti 4,4	} $\times 10^3$	V 110	Er 3
H 1,4		10 elementos	Br 3
P 1,18		=318 $\times 10^{-3}\%$	Ge 2
Mn 1			Be 2
4 elementos =798 $\times 10^{-3}\%$			As 2
		U 2	Tb 0,9
		Ni 80	Lu 0,8
		Zn 65	Hg 0,5
		N 46	I 0,3
		Ce 46	Sb 0,2
		Cu 45	Bi 0,2
		Y 40	Tm 0,2
		Li 30	Cd 0,2
		Nd 24	Ag 0,1
		Nb 24	In 0,1
		Co 23	Se 0,09
		La 18	Ar 0,04
		Pb 15	Pd 0,01
		Ga 15	Pt 0,005
		Th 10	Au 0,005
		14 elementos	He 0,003
		=48 $\times 10^{-3}\%$	Te 0,002
			Rh 0,001
			Re 0,001
			Ir 0,001
			Os 0,001
			Ru 0,001
		22 elem. =65 $\times 10^{-4}\%$	22 elementos =4 $\times 10^{-4}\%$

En relación con el primero de ellos, se ha demostrado que la distribución de los elementos puede ser muy variable, según el tipo de roca que se considere. Atendiendo especialmente a dos casos: rocas cristalinas endógenas y rocas sedimentarias, LAPADU-HARGUES (1968) establece que algunos elementos tienden a ser más abundantes en las rocas ácidas, mientras que otros se concentran más en las básicas. Estando por tanto determinada la distribución de los elementos en principio por la composición del magma.

En cuanto a las rocas sedimentarias, la presencia de elementos depende de la proporción relativa de minerales primarios resistentes, como el cuarzo (en el caso de las arenas), cuarcitas, etc., que suelen ser pobres en elementos. Si la roca sedimentaria está constituida por minerales secundarios, un cierto número de elementos son reincorporados al conjunto, en el curso de la descomposición.

De los aspectos complementarios, situación geográfica y periodo geológico, se puede indicar que, en la superficie terrestre, existen muchas regiones en las que el manto silicatado tiene un mayor contenido en elementos que el correspondiente a su tipo petrográfico. Este hecho conocido, viene a indicar que las diversas regiones del

mundo pueden presentar una cierta originalidad en cuanto a su composición química.

Por otra parte, como indican diversos autores se ha comprobado también que rocas del mismo tipo petrográfico y pertenecientes a la misma zona, pueden tener distinta proporción en elementos, dependiendo de la antigüedad de su emplazamiento, como indican diversos autores: (RANKAMA, 1946, GRAINDOR, 1959 y 1961, COPPENET, 1956 y DUVAL, 1963 y 1967).

En las estructuras minerales que constituyen un sustrato dado, los elementos se encuentran generalmente en estado de iones, que se pueden clasificar según su configuración electrónica en cuatro categorías generales dadas por la tabla B, en función de su carga y de la presencia o falta de electrones d.

Estos iones pueden presentarse formando parte de la red cristalina en los minerales constituyentes de la roca o situarse fuera de ella. En el primer caso, el fenómeno que regula su distribución fue estudiado por GOLDSCHMIDT (1937), (1945) y (1954), y recibe el nombre de "diadoquia". Este término implica la posibilidad de que un ión cualquiera pueda ser reemplazado por otro de igual tamaño. Así, un cierto número de elementos mayoritarios

TABLA. B

## CLASIFICACION DE LOS IONES SEGUN SU CONFIGURACION ELECTRON.

Configuración electrónica		Carga			
Sin electr. d	Ión tipo He (2 electr. perifér.)	Li <sup>+</sup>	Be <sup>2+</sup>	B <sup>3+</sup>	(C <sup>4+</sup> )
Elementos litófilos u oxífilos	Ión tipo gas raro (8 electr. perifér.)	Na <sup>+</sup> K <sup>+</sup> Rb <sup>+</sup> Cs <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup> Ca <sup>2+</sup> Sr <sup>2+</sup> Ba <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup> Sc <sup>3+</sup> Y <sup>3+</sup> La <sup>3+</sup>	(Si <sup>4+</sup> ) Ti <sup>4+</sup> Zr <sup>4+</sup>
Con electr. d	Ión con 18 electr. periféricos u (18 + 2 el. per.) (subcapa d saturada)	Cu <sup>+</sup> Ag <sup>+</sup> Au <sup>+</sup>	Zn <sup>2+</sup> Cd <sup>2+</sup> Hg <sup>2+</sup> Sn <sup>2+</sup> Pb <sup>2+</sup>	Ga <sup>3+</sup> In <sup>3+</sup> Sb <sup>3+</sup> Bi <sup>3+</sup>	Ge <sup>4+</sup> Sn <sup>4+</sup> Pb <sup>4+</sup>
Elementos sulfófilos	Ión de transición (subcapa d incompleta)		Fe <sup>2+</sup> Co <sup>2+</sup> Mn <sup>2+</sup> Ni <sup>2+</sup> Cu <sup>2+</sup>	Cr <sup>3+</sup> Fe <sup>3+</sup> Mn <sup>3+</sup> V <sup>3+</sup> Mo <sup>3+</sup>	

pueden sufrir sustituciones isomórficas por elementos minoritarios de dimensiones análogas.

Se admite que la sustitución no es posible si la diferencia de los radios iónicos es superior al 15% del mayor y no se necesita que tengan la misma carga iónica para mantener la neutralidad, ya que puede ser compensada por alguna otra modificación en el cristal. En la

competición de varios iones con igual carga a una posición en el cristal, entrará el más pequeño y, con igual medida el de mayor carga. WAGER y MITCHELL (1950) observaron la tendencia de los elementos minoritarios en rocas iguales, desde las básicas a las ácidas. Elementos tales como Cr, Co, Ni, aumentan su contenido en rocas básicas, mientras que Li, Rb, Ba, Y y Zr están más concentrados en las ácidas. Según esta concepción, los elementos minoritarios son parte integrante de la red de los minerales esenciales y se encuentran distribuidos o diseminados por la estructura cristalina.

Existen, sin embargo, ciertos minerales frecuentes, en los que el porcentaje de elementos minoritarios no puede ser explicado por las reglas de Goldschmidt.

El empleo de nuevas técnicas como la microsonda, ha permitido aclarar esta cuestión con dos nuevas afirmaciones; los elementos son autónomos, es decir, entran en la composición de los minerales que son constituyentes accesorios de las rocas, como pirita, circón o barita, y que se localizan bien entre los cristales u ocluidos en los mismos, o bien los elementos se encuentran unidos a los minerales, pero no ocupando posiciones en la red cristalina, sino adsorbidos sobre ella u ocupando discontinuidades físicas en el seno de microfisuras. Este

es el caso del Cu, Cr, V y Zn en las biotitas; Co y Ni en algunas antigoritas.

La situación de los elementos en el material original es importante, por cuanto los que se encuentran diseminados en la red cristalina sólo podrán ser liberados, en forma progresiva, implicando esto una dislocación de la red, mientras que los elementos más localizados, tanto los autónomos como los fisurables que se encuentran en las discontinuidades, pueden ser liberados en las primeras fases de la evolución por las soluciones de alteración, según indica GONI (1966).

De todo lo anterior se infiere la importancia de la posición de los elementos en las redes de los minerales constituyentes de las rocas, relacionadas con los procesos que dan lugar a la formación del suelo.

#### **I.1.2. PRINCIPIOS GENERALES DE LA DISTRIBUCION DE LOS ELEMENTOS QUIMICOS EN SUELOS.**

Los minerales y rocas que forman la corteza terrestre están sometidos a fenómenos de descomposición química, esto da lugar a que los elementos constituyentes sean progresivamente liberados. Una vez que esta liberación se realiza, es normal imaginar que los diversos elementos tendrán un comportamiento que les es propio y,



teóricamente, esto sólo depende de su naturaleza además de las condiciones del medio ambiente. En función de estas dos características, es posible comprender la distribución de los elementos químicos en los suelos.

En general, dicha distribución está controlada según DIXON y WEED (1989) por los siguientes factores:

- a) Disponibilidad durante el periodo de la formación mineral.
- b) Radio y carga iónica.
- c) Temperatura y características del entorno, es decir, topografía, drenaje, movimientos del agua ocupando cavidades y espacios en la roca, y vegetación.
- d) Relación existente entre la meteorización mecánica y química.
- e) Condiciones redox del medio, así como su pH (ROSLER-LANGE, 1972 y BROWNLOW, 1979).

KRAUSKOPF (1967), consideró la meteorización como un gigantesco proceso de descomposición química que destruye la disposición de los elementos en las rocas ígneas, reagrupándolos después en nuevas asociaciones que son generalmente más sencillas.

Conviene resaltar, además, que la predicción de

la movilidad de los elementos es difícil, ya que un elemento liberado por meteorización de una fase primaria puede tener los procesos siguientes:

- Llegar a formar parte de una nueva fase secundaria.
- Precipitar como hidróxido.
- Ser adsorbido por minerales de la arcilla, materia orgánica u óxidos/hidróxidos de hierro y manganeso.
- Ser asimilado por plantas u otros organismos.
- Ser eliminado en solución como un ión simple o complejo.

#### I.1.2.1. INFLUENCIA DEL POTENCIAL IONICO EN LA MOVILIDAD.

Según GOLDSCHMIDT (1937), el comportamiento de los elementos mayoritarios y minoritarios, una vez liberados del material original dependen, esencialmente, de la solubilidad de los compuestos que puedan formarse, en toda la gama de pH. Así, los iones libres son propiamente dispersados en solución y por lo tanto móviles, al igual que los complejos, compuestos no ionizados pero siempre solubles.

Por el contrario, los compuestos usuales como hidróxidos y sales, pueden ser más o menos solubles, según los elementos constituyentes.

Según el potencial iónico (p.i.) definido por Goldschmidt (relación entre la carga iónica  $z$  y el radio  $r$ ), los iones se clasifican en 5 clases. (Figura 1).

A) Alcalinos y alcalino-térreos, que se presentan como cationes simples, en toda o casi toda la gama de pH y  $p.i. < 2$ .

B) Elementos que tienen hidróxidos poco solubles. Son los denominados grupo del Zn:  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Ni^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$  y  $La^{3+}$ . Estos pueden presentarse en toda la gama de pH, como cationes (simples o hidroxos) o bien hidróxidos. Según el diagrama de Goldschmidt corresponde un p.i. entre 2 y 3.

C) Elementos con potencial iónico entre 3 y 7. Corresponde a los elementos  $Be^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Se^{3+}$ ,  $Cr^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$ ,  $Ga^{3+}$ ,  $Bi^{3+}$ ,  $Ti^{4+}$  y  $Zr^{4+}$ . Estos son poco básicos e, incluso, anfóteros.

D) Elementos con potencial iónico comprendido entre 7 y 11. Se trata de los iones siguientes:  $Si^{6+}$ ,  $Ge^{6+}$ ,  $Mo^{6+}$  y  $W^{4+}$ , que se presentan como hidroxiacidos o como aniones, en todo el ámbito de pH.

E) Elementos con  $p.i. > 11$ . Son los que forman los ácidos minerales usuales. ( $ClO_3(OH)$ ;  $NO_2(OH)$ ;  $SO_2(OH)_2$ ) y aniones complejos solubles.

Si se aplican estos principios al problema de la

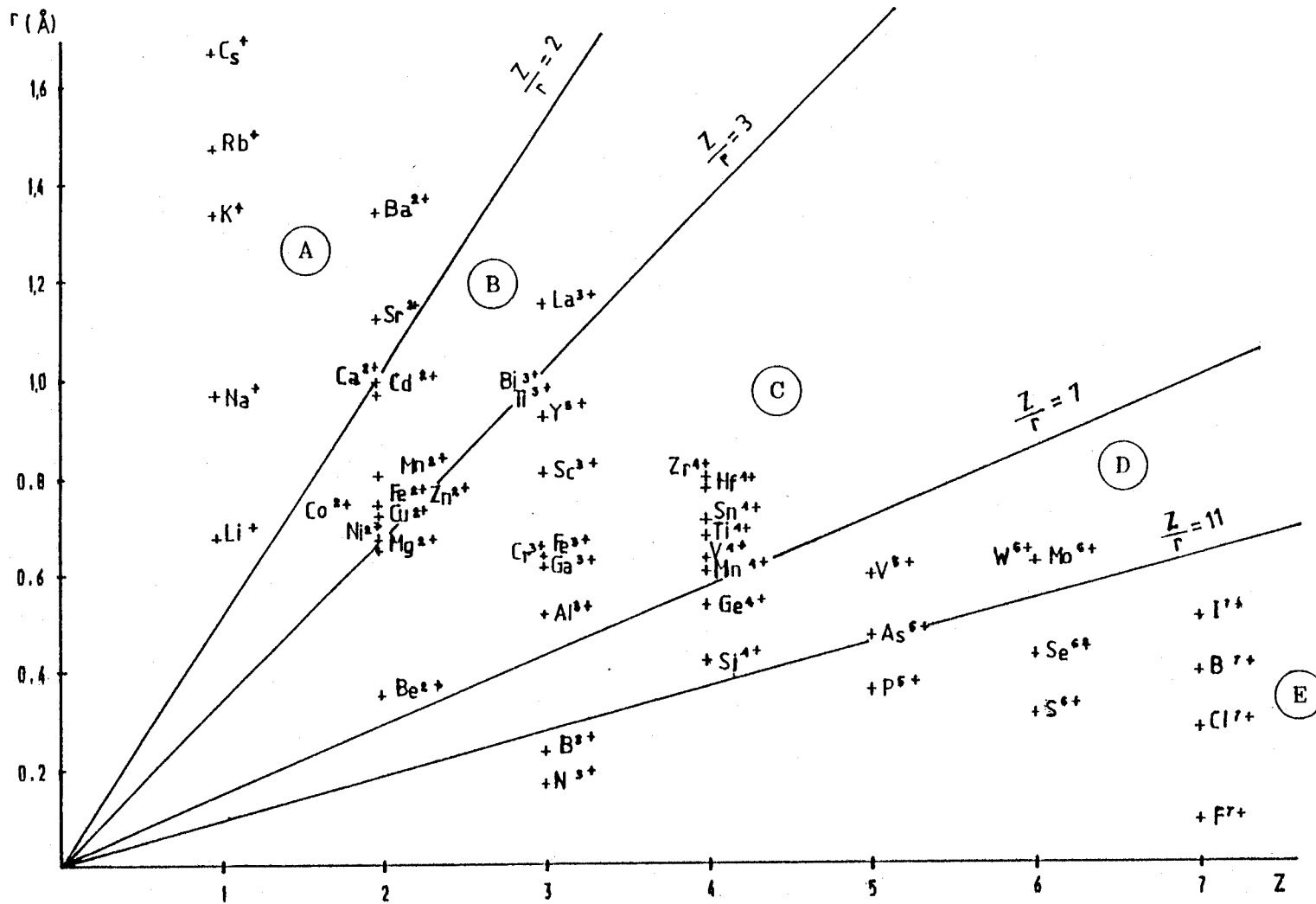


Fig. 1 .-Clasificación de los elementos en función de su potencial químico (Fuente: Pedro y Delmas, 1970)

movilidad de los iones en solución acuosa se puede deducir que:

- Los elementos de las categorías A) y E), serán muy móviles.
- Los elementos de la categoría B) y D), medianamente móviles.
- Los elementos de la categoría C) no serán movilizados.

#### I.1.2.2. INFLUENCIA DE LAS CONDICIONES FISICO-QUIMICAS DEL MEDIO.

El comportamiento de los diversos elementos, en el curso de los procesos que dan lugar a la formación del suelo están íntimamente ligado a sus características físico-químicas: constante de acidez, potencial redox, producto de solubilidad del compuesto en la que se incluyen las constante de estabilidad de los complejos, etc. Todas estas características permiten conocer el estado en que se encuentra un elemento y que están determinadas por las condiciones del medio.

SCHROLL y SAUER (1964), mostraron que las condiciones de pH tienen una gran importancia para la movilidad de algunos elementos. Así, para disolver los óxidos/hidróxidos de Al, Fe y Ti y, para el transporte de estos iones en forma disuelta, se requieren valores de pH

aproximadamente igual a 2. Para su transporte en solución coloidal se necesitan valores de pH aproximadamente de 4 a 6.

ANDERSON y CHRISTENSEN (1988), en estudios realizados con mezclas de elementos Cd, Co, Ni y Zn disueltos en concentraciones de equilibrio muy bajas, para determinar su adsorción por diferentes suelos y por tanto la movilidad en ellos, encontraron que el coeficiente de distribución, en el caso del Zn (relación entre la concentración del metal en la fase sólida y la concentración en la disolución en equilibrio), es más sensible a las fructuaciones de pH que para los otros elementos. En el caso de disminuir el pH del suelo, la movilidad del Zn aumentará más rápidamente que para los otros iones. Así, de forma general, los autores anteriores concluyen que cuando está presente una mezcla de cationes solubles, el factor de mayor influencia en la distribución en los suelos es el pH.

Adicionalmente, las condiciones redox son significativas, especialmente para los iones polivalentes. De esta manera el  $\text{Fe}^{2+}$  es completamente oxidado a  $\text{Fe}^{3+}$ , durante la formación de laterita (SCHORIN, 1983). El  $\text{Mn}^{2+}$  que puede sustituir al  $\text{Fe}^{2+}$  en algunos minerales de diabasa, también se oxida.

Según KRAUSKOPF (1967), se requieren valores más altos de pH y de potenciales redox para precipitar óxidos e hidróxidos de Mn que para los correspondientes compuestos de Fe. Por lo tanto, habrá un enriquecimiento en Fe y a la vez un empobrecimiento en Mn.

Otro factor a tener en cuenta es la presencia en la solución de distintos tipos de aniones además de los iones  $\text{OH}^-$  del agua. El problema del comportamiento dinámico puede presentarse de dos forma diferente:

- Los aniones son susceptibles de precipitar sales. La movilidad teórica del elemento, dependerá del valor correspondiente del producto de solubilidad del hidróxido y la sal considerada. Aumentará si la sal es más soluble que el hidróxido, así sucede con el Zn en medio carbónico y la presencia de  $\text{CO}_2$  favorecerá su movilización. Por el contrario, la movilidad disminuirá cuando la sal sea más insoluble que el hidróxido, esto sucede en el caso del Zn en medio sulfhídrico.

- En el caso de reactivos complejantes que, en general, son compuestos poco ionizados, pero siempre solubles, la movilidad aumentará en todos los casos (tabla C).

En la naturaleza, el agente principalmente responsable de la alteración de los minerales y rocas de la superficie terrestre es el agua de lluvia, relativamente

TABLA. C

CLASIFICACION DE LOS ELEMENTOS SEGUN SUS CARACTERISTICAS FISICO-QUIMICAS.

Categorías Produc. de solub. Hidróxido M(OH) <sub>n</sub>		Carácter ácido-básico de los elementos	Potencial iónico de los elementos	Formas características entre pH 0 - 14	Principales elementos	
					elementos mayoritarios	elementos minoritarios
A	$pS < 5$	$pK \geq 12,6$	$\emptyset < 2$	Cationes simples	K <sup>+</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup>	Rb <sup>+</sup> , Cs <sup>+</sup> , Li <sup>+</sup> , Tl <sup>+</sup> , Ba <sup>2+</sup> , Sr <sup>2+</sup> ,...
B	$5 < pS < 20$	$7,6 < pK < 11,5$	$2 < \emptyset < 3$	Cationes hidróxidos	Mg <sup>2+</sup> , (Fe <sup>2+</sup> )	Ni <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Co <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , La <sup>3+</sup>
C	$pS > 20$	$1,2 < pK < 7$	$3 < \emptyset < 7$	Hidróxidos	Al <sup>3+</sup> , Fe <sup>3+</sup>	Be <sup>2+</sup> , Ga <sup>3+</sup> , Cr <sup>3+</sup> , Tl <sup>4+</sup> , Mn <sup>4+</sup> , Zr <sup>4+</sup> ,...
D	$pS < 20$	$pK \leq -1,2$	$7 < \emptyset < 11$	Hidroxiácidos An. condensados	Si <sup>4+</sup>	B <sup>3+</sup> , Ge <sup>4+</sup> , V <sup>5+</sup> , Mo <sup>6+</sup>
E	$pS$ pequeño		$\emptyset > 11$	Aniones clásicos	N <sup>3+</sup>	P <sup>5+</sup> , Se <sup>6+</sup> , I <sup>7+</sup> ,...



pura, ya que antes de alcanzar el sustrato mineral de la litosfera, atraviesa la atmósfera y la capa superficial de acumulación de residuos vegetales, cargándose de diversos constituyentes. Así, la naturaleza de la solución atacante depende, a la vez, de la composición de la atmósfera y de los procesos bioquímicos que se originan en el seno de la cubierta vegetal, originando compuestos orgánicos más o menos estables y más o menos solubles.

Desde el punto de vista de la actividad disgregadora de las soluciones, este último punto es importante, ya que sólo los compuestos solubles presentan interés.

Dos formas fundamentan la alteración en la superficie terrestre:

a) Si el agente de alteración es una solución enriquecida en  $\text{CO}_2$ . Generalmente es lo que sucede, ya que la atmósfera lo contiene ( $10^{-4}\text{M}$ ) y, como es sabido constituye un problema preocupante a nivel mundial. Además, hay que señalar que la concentración de  $\text{CO}_2$  se incrementa con el que se origina en la mineralización rápida en los climas cálidos y húmedos.

b) Si el medio es frío y húmedo, la degradación de la capa vegetal es lenta y conduce preferentemente a la

formación de compuestos orgánicos ligeros e hidrosolubles, como ácidos carboxílicos y compuestos fenólicos (DUCHAUFOR, 1957, LOSSAINT, 1959, JACQUIN y BRUCKERT, 1965). Entonces la solución de alteración se caracteriza por la presencia de agentes complejantes.

Lo expuesto puede resumirse según Pedro y Delmas (1970) en la tabla D.

TABLA. D

COMPORTAMIENTO DE LOS ELEMENTOS SEGUN LAS CONDICIONES DEL MEDIO.

Categorías	Movilidad hidrolítica	Influencia del CO <sub>2</sub>	Influencia de un medio sulfhídrico	Influencia de los ag. complejan.
A	muy fuerte	0	0	+
B	débil	+	-	++
C	nula	0	0	+++
D	débil	0	0	
E	muy fuerte	0	0	

0 prácticamente sin influencia.

+ influencia positiva (movilidad creciente).

- influencia negativa (movilidad decreciente).

En presencia de agua, teóricamente pura, sólo intervienen en la descomposición de los minerales los iones H<sup>+</sup> y OH<sup>-</sup>. Se trata de un fenómeno de hidrólisis, es decir,

un fenómeno en el cual aparecen los elementos liberados, bien como iones simples, o bien en forma de hidróxidos.

Fuera de la red cristalina, los elementos pueden: Ser eliminados seguidamente (clase A y E); ser eliminados más lentamente (clase B y D); o ser acumulados "in situ" (clase C).

En los casos primero y tercero, no presentan modificaciones fundamentales cuando cambian las características climáticas, por el contrario, en el segundo caso, la eliminación de los elementos de las clases B y D, se hace tanto más rápidamente cuanto más agresivo es el clima. En las zonas templadas típicas y en las áridas, la hidrólisis es más débil y la eliminación de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{MgO}$  se hace lentamente. Hay entonces una génesis eluvial de arcillas 2:1, tipo esmectita, lo que corresponde a una "bisialización", (PEDRO, 1966).

En las zonas tropicales, la intensa descomposición conduce a la eliminación parcial de  $\text{SiO}_2$ , y la casi total de los elementos B. Esto corresponde a la formación de arcillas 1:1, tipo caolinita, "monosialización".

Finalmente, la hidrólisis en las zonas tropicales y ecuatoriales muy húmedas llega a ser total y, los elementos C, son los únicos que se pueden mantener en los

niveles en vías de alteración. Hay entonces una acumulación de hidróxidos metálicos y en particular de hidróxidos de Al, como en las lateritas y bauxitas; es la "alitisación".

La presencia de CO<sub>2</sub> en las aguas de alteración modifica sensiblemente el planteamiento anterior, ya que los elementos de la clase B forman compuestos tipo "sal" con preferencia al tipo "hidróxido". Estos fenómenos de descomposición originados por aguas cargadas de CO<sub>2</sub>, se designan como "soluviación" (SWINDALE y JACKSON, 1956).

Puede resumirse, que los elementos tipos A y E son eliminados al salir del retículo cristalino. Los de la categoría B y D, son eliminados conforme la hidrólisis es más intensa. Los elementos del grupo C, se mantienen en todas las situaciones.

Por lo tanto, además del tipo de roca y de procesos edafológicos, para precisar la situación de los elementos en un suelo, hay que atender al estado en que están en el material de partida y a la edad de dicho suelo. Para un mismo tipo de material de partida y tipo de evolución, será evidente que cuanto más viejo sea el suelo más empobrecido se mostrará, sobre todo, en las categorías A, B, D y E según la clasificación anterior.

Por último la "queluviación", según JACKSON

(1956) (hoy denominada podzolización), es otro factor importante, donde la presencia en las aguas de alteración de agentes complejantes, eliminan cationes pesados de la categoría B y C siendo arrastrados por las aguas de drenaje.

## I.2. RELACION DE LOS ELEMENTOS QUIMICOS CON LOS COMPONENTES ORGANICOS E INORGANICOS DE LOS SUELOS.

### I.2.1. INTERACCIONES DE LA MATERIA ORGANICA CON LOS ELEMENTOS.

En los horizontes superiores de los suelos, la materia orgánica desempeña un importante papel debido a su capacidad de fijar elementos por adsorción o formación de complejos.

La formación de complejos, materia orgánica-cationes, facilita la movilización, transporte, segregación y depósito de los elementos en los suelos. Incluso el oro que es insoluble en ácidos minerales, se hace soluble en un medio acuoso rico en materia orgánica (UCHVATOV, 1979).

Los agentes orgánicos complejantes, juegan un papel clave en la meteorización química de los minerales y rocas, siendo el vehículo de transporte de cationes metálicos.


Hay numerosos trabajos sobre este tema y revisiones generales han sido realizada por STEVENSON y ARDAKANI (1972) y STEVENSON y FITCH (1981).

### I.2.1.1. NATURALEZA DE LAS INTERACCIONES ELEMENTOS-SUSTANCIAS HUMICAS.

Los ácidos húmicos y fúlvicos tienen una notable incidencia en las propiedades fisico-químicas de los elementos en los suelos y, por lo tanto, en su distribución o enriquecimiento.

Los mecanismos por los que un cierto ácido se combina con un ión metálico está relacionado con la estructura de los mismos.

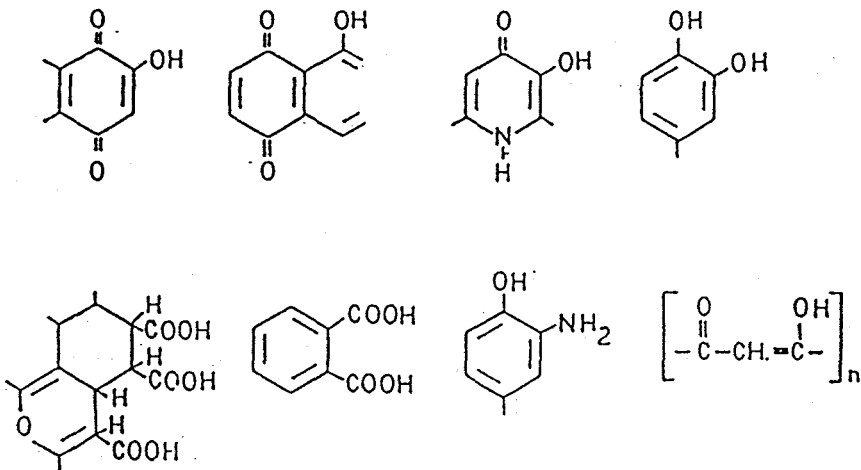
En estado natural, los ácidos húmicos y fúlvicos están interaccionados con la arcilla y otros constituyentes orgánicos. Al extraer las sustancias húmicas es difícil liberarlas de las impurezas inorgánicas (cationes, arcillas) y orgánicas (proteínas y carbohidratos).

La capacidad de los ácidos húmicos y fúlvicos para formar complejos estables con iones metálicos, se atribuye al alto contenido de oxígeno presente en los grupos funcionales:  $-\text{COOH}$ ;   $-\text{OH}$ ;  $\text{R-OH}$ ; enólicos ( $=\text{C-OH}$ ) y  $>\text{C=O}$ . También pueden estar implicados grupos amino.

Los ácidos húmicos y fúlvicos forman micelas tipo polímero, cuya base es un anillo aromático de di o tri-hidroxifenol, puentado por  $-\text{O}-$ ;  $-\text{NH}-$ ;  $-\text{N}=\text{}$ , con grupos  $\text{OH}-$

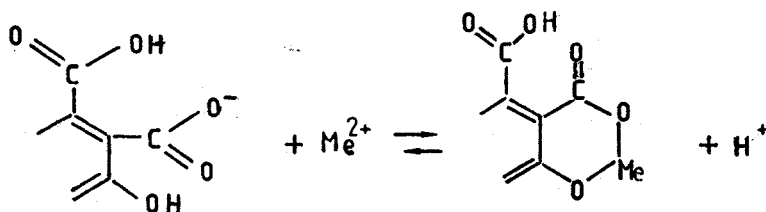
libres y dobles enlaces de quinona.

Las estructuras que suelen presentarse en las sustancias húmicas y que pueden dar lugar a enlaces con iones metálicos son:



SCHNITZER (1969) y GAMBLE et al. (1970), encontraron que hay dos tipos de reacciones implicadas en las interacciones metal-ácido fúlvico:

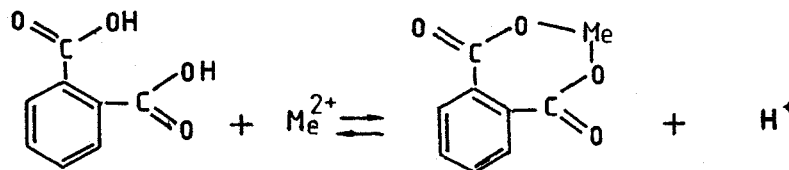
a) Cation metálico y los grupos fenólicos y ácidos.



b) Considerada menos importante y en la que sólo intervienen los grupos ácidos para la formación del



complejo organo metálico.



El papel fundamental de los grupos carboxílicos en la formación del complejo metálico con los ácidos fúlvicos, ha sido confirmado por espectroscopía infrarroja (PICCOLO y STEVENSON, 1981).

Para la determinación de la naturaleza del enlace ión metálico-ácido húmico, se han empleado diversas técnicas con resultados variables. La cantidad de un ión metálico dado que puede ser complejado es aproximadamente igual al contenido de grupos funcionales ácidos.

Existen diversos factores que influyen en la formación de los complejos metal-materia orgánica, como son la concentración del metal empleada, concentración de la propia materia orgánica, pH del medio, potencial iónico, y contenido en grupos funcionales, entre otros (RASHID, 1971 y GUY et al., 1975).

Cuando varios metales se adsorben simultáneamente sobre las sustancias húmicas, si la concentración de cada metal es relativamente alta, algunos pueden ser fuertemente adsorbidos y otros, mediana o

débilmente. En el caso de la adsorción sobre A.h. (KERNDORFF y SCHINITZER, 1980), los que se absorben fuertemente son  $\text{Fe}^{3+}$  y Hg; los de adsorción intermedia son Cu, Pb y Al, y los débilmente Ni, Cr, Zn, Mn y Co.

Cuando la concentración de cada uno de los metales disminuye, al haber menos competencia entre ellos, la adsorción en general aumenta, sobre todo la del Cu y Pb, de manera que llega a compararse con los que se adsorben fuertemente ( $\text{Fe}^{3+}$  y Hg).

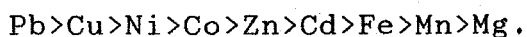
Con respecto a la influencia de la concentración de materia orgánica en la formación de estos complejos, se observa un aumento de la adsorción de metales pesados por los A.h. conforme aumenta la cantidad de este último (figura 2). En general casi siempre existe correlación entre el contenido de humus y la adsorción de micronutrientes por los suelos (GERRITSE y VAN DRIEL, 1984).

La adsorción de metales pesados por las sustancias húmicas está fuertemente influenciado por el pH de la solución, ya que de él dependerá la cantidad de grupos funcionales ácidos ionizados sobre la superficie de dichos materiales, por lo que cuanto mayor es el pH, mayor será el porcentaje de metales pesados adsorbidos, según se puede observar en la figura 3, aunque para valores de pH

altos es probable la formación de los hidróxidos insolubles de algunos metales.

Para unos valores altos de pH y de potencial iónico, los cationes trivalentes se complejan más extensamente que los divalentes. Aunque no todos los divalentes complejan en la misma extensión; así el Cu que forma complejos de enlace fuerte, se coordina en mayor cantidad que el Ca y Mg. Para estos cationes divalentes, la estabilidad del complejo aumenta cuando disminuye el radio iónico y al aumentar, por tanto, el potencial de ionización.

Según IRVING y WILLIAMS (1948) la secuencia de estabilidad para algunos complejos divalentes es:



Para TAN et al. (1971), SCHNITZER (1981), STEVENSON (1977) y BARTOLI (1981), se puede hacer una división de los complejos en tres tipos, con propiedades diferentes:

1) Complejos "verdaderos", en los que las cargas positivas del catión están enmascaradas, son los más estables y se disocian fácilmente, incluso estando sometidos a importantes variaciones de pH.

2) Complejos "sales", son menos estables que los anteriores y sus propiedades están más próximas a las de

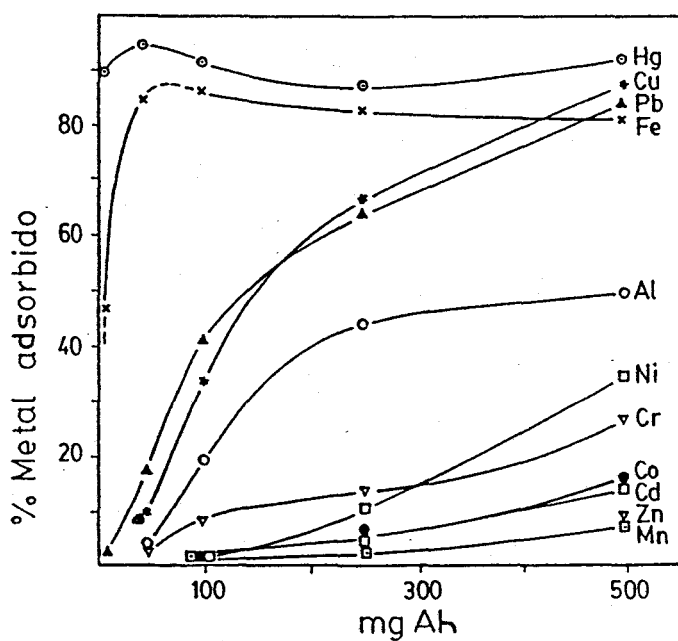


Fig. 2.- Relación entre el contenido de ácidos húmicos y el porcentaje de metales pesados adsorbidos.

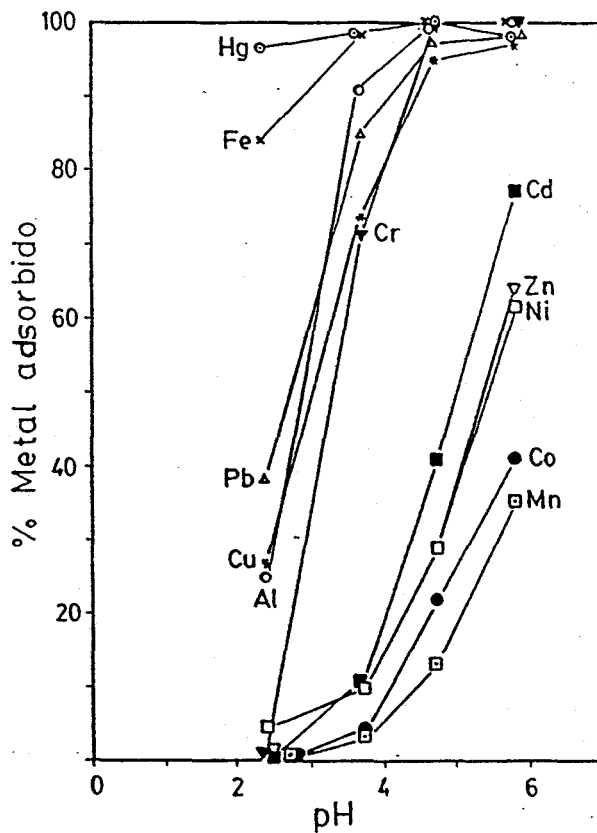


Fig. 3.- Relación entre el pH y porcentajes de metales pesados adsorbidos.

una "sal". Estos son particularmente sensibles a las variaciones de pH que provocan su disociación y precipitación.

Las formas metálicas son iones hidroxilados del tipo  $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$  o  $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$  en los complejos más móviles, con una relación metal/anión baja, y del tipo  $\text{Al}(\text{OH})_2^+$  y  $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$  en los menos móviles, con una relación metal/anión elevada.

3) Complejos "de adsorción", en los que la materia orgánica complejante es adsorbida por las sales inorgánicas insolubles. Estos son siempre insolubles.

#### I.2.1.2. SOLUBILIDAD DE LOS COMPLEJOS METAL-SUSTANCIAS HUMICAS.

Los ácidos húmicos y fúlvicos forman complejos solubles e insolubles con cationes de metales pesados dependiendo de su grado de saturación.

A causa de su peso molecular más bajo y su mayor contenido en grupos funcionales ácidos, los complejos (M-A.f.) son más solubles que los de M-A.h., según STEVENSON (1976) la carga del catión influye en la solubilidad, siendo menor en los complejos de cationes trivalentes que en los divalentes. Según STEVENSON (1982) el catión Cu es

el único capaz de coordinarse con todos los grupos activos que están presentes en A.h. y A.f., y así, es mucho más fuertemente adsorbido por A.h. que por los minerales de la arcilla o por óxidos de hierro (McLAREN et al., 1981).

El hecho de que el Cu tenga alta afinidad por la M.O. del suelo implica que también es más difícilmente extraído por otros cationes de metales pesados (McGRATH et al., 1988), lo que conlleva su poca disponibilidad para actuar como fertilizante en suelos con alto contenido en M.O.

En el transporte de los complejos solubles M-M.O., a la parte más profunda de los suelos, están implicados un considerable número de procesos; entre los que se encuentran: adsorción por la materia mineral (arcilla) y floculación, originada por los cambios que se producen en la solución acuosa.

La coagulación de los coloides húmicos inducida por cationes, es importante en la rápida eliminación del Fe coordinado y otros elementos en el agua de los ríos al unirse a la de los mares en los estuarios. (SHOLKOVITZ, 1976, ECKERT y SHOLKOVITZ, 1976 y BOYLE et al., 1977). Las bajísimas concentraciones de elementos químicos en los océanos se atribuyen al papel de las partículas (orgánicas e inorgánicas) que secuestran elementos durante el último

estadio de la transferencia desde los fondos continentales a los oceánicos (TUREKIAN, 1977).

#### I.2.1.3. PROPIEDADES REDUCTORAS DE LOS ACIDOS HUMICOS.

Los ácidos húmicos reducen las formas oxidadas de ciertos iones metálicos, siendo la más típica la del  $Fe^{3+}$  a  $Fe^{2+}$  (SZALAY y SZILAGYI, 1967 y SZILAGYI, 1971). Las formas catiónicas de estos elementos son fijadas por el A.h. La reducción  $VO^{3-}$  a  $VO^{2+}$  por el A.h. ha sido confirmada por GOODMAN y CHESHIRE (1975), también SENESI et al. (1977) y GRIFFITH (1980) han obtenido información sobre el estado de oxidación y las posiciones simétricas del Fe complejado por A.f.

#### I.2.1.4. COMPLEJOS MATERIA ORGANICA-ELEMENTOS EN LOS SISTEMAS NATURALES.

Los sistemas naturales contienen materia orgánica alterada biogénica o diagenéticamente, que incluye cantidades variables de elementos químicos complejos. Los compuestos bioquímicos de peso molecular bajo: ácidos orgánicos sencillos o aminoácidos, originan complejos solubles con los elementos químicos. Los A.f. dan lugar a los complejos solubles o insolubles dependiendo del grado de saturación del ión metálico además de las condiciones

ambientales del medio (pH, presencia o ausencia de arcilla, etc.).

En los sedimentos se acumulan depósitos de desechos orgánicos alterados, asociados con los elementos y a través de la historia de la tierra. Las cantidades depositadas varían ampliamente de unas a otras zonas y pueden provenir de los restos orgánicos de las plantas así como de las formas solubles de los complejos, elementos-sustancias húmicas, incorporadas al sedimento por precipitación o adsorción de la materia mineral (arcilla).

Las rocas arcillosas bituminosas, a menudo, presentan un marcado enriquecimiento en elementos minoritarios (Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Ag, Pb y U). Elementos de la serie de transición se incorporan primero a la fase turba y posteriormente a la hulla a través de su proceso de formación. Según SAXBY (1976), también los yacimientos metálicos que contienen materia orgánica tienen elementos como Pb, Zn, Au, Ag, U, Th, Fe, Al, Mg y Hg asociados a ella y formando mezclas de complejos.

Los factores que conducen al enriquecimiento selectivo de un determinado elemento en un sistema natural son extraordinariamente complejos, ya que dependen de las características físico-químicas que determinan la formación



de los complejos materia orgánica-elemento químico y que se han comentado anteriormente.

#### I.2.1.5. ACCION EDAFOGENETICA DE LOS AGENTES COMPLEJANTES NATURALES.

La meteorización biológica incluye las transformaciones químicas y físicas que son efectuadas por organismos vivos y por sus productos de descomposición. En ello están implicados dos tipos de compuestos: el ácido carbónico formado a partir del  $\text{CO}_2$  eliminado en la descomposición de la M.O. y los compuestos orgánicos complejantes, originados por agentes microbianos y plantas superiores. Hay sospechas fundadas de que los procesos de meteorización implican formación de complejos.

La mayor parte de los cationes polivalentes liberados de las rocas y minerales durante la meteorización forman complejos solubles con los compuestos orgánicos quelados; así, un efecto de la descomposición de la materia mineral por agentes quelantes naturales es la formación de compuestos solubles de los elementos químicos.

Un concepto global del papel de las sustancias orgánicas en los procesos de meteorización y formación de compuestos, por los sistemas biológicos, fue propuesto por ZUNINO y MARTIN (1977), donde el primer paso es un ataque

de la materia mineral insoluble por complejantes orgánicos sencillos, excretados por los microorganismos iniciales (complejos tipo I).

Con el tiempo y a través de la acción de los microorganismos, los elementos quedarían secuestrados por sustancias húmicas de nueva formación (complejo tipo II), estos complejos serían más estables que los de tipo I, por lo que impedirían la pérdida de los iones metálicos por las aguas percolantes.

Con el aumento del contenido en elementos se alcanza un punto en el que las posiciones de quelación quedan saturadas y se forman complejos de tipo III, menos estables que los de tipo II.

Los compuestos orgánicos sencillos competirían sucesivamente con los iones metálicos de tipo III para formar complejos de tipo I y, los metales que contiene este último, se incorporarán a los tejidos de las plantas y microorganismo, volviendo a entrar en el ciclo con su muerte y descomposición. En la figura 4, se puede observar el esquema general del transporte de los iones metálicos mediante la complejación con la materia orgánica según STEVENSON (1982).

A pesar de las opiniones según los

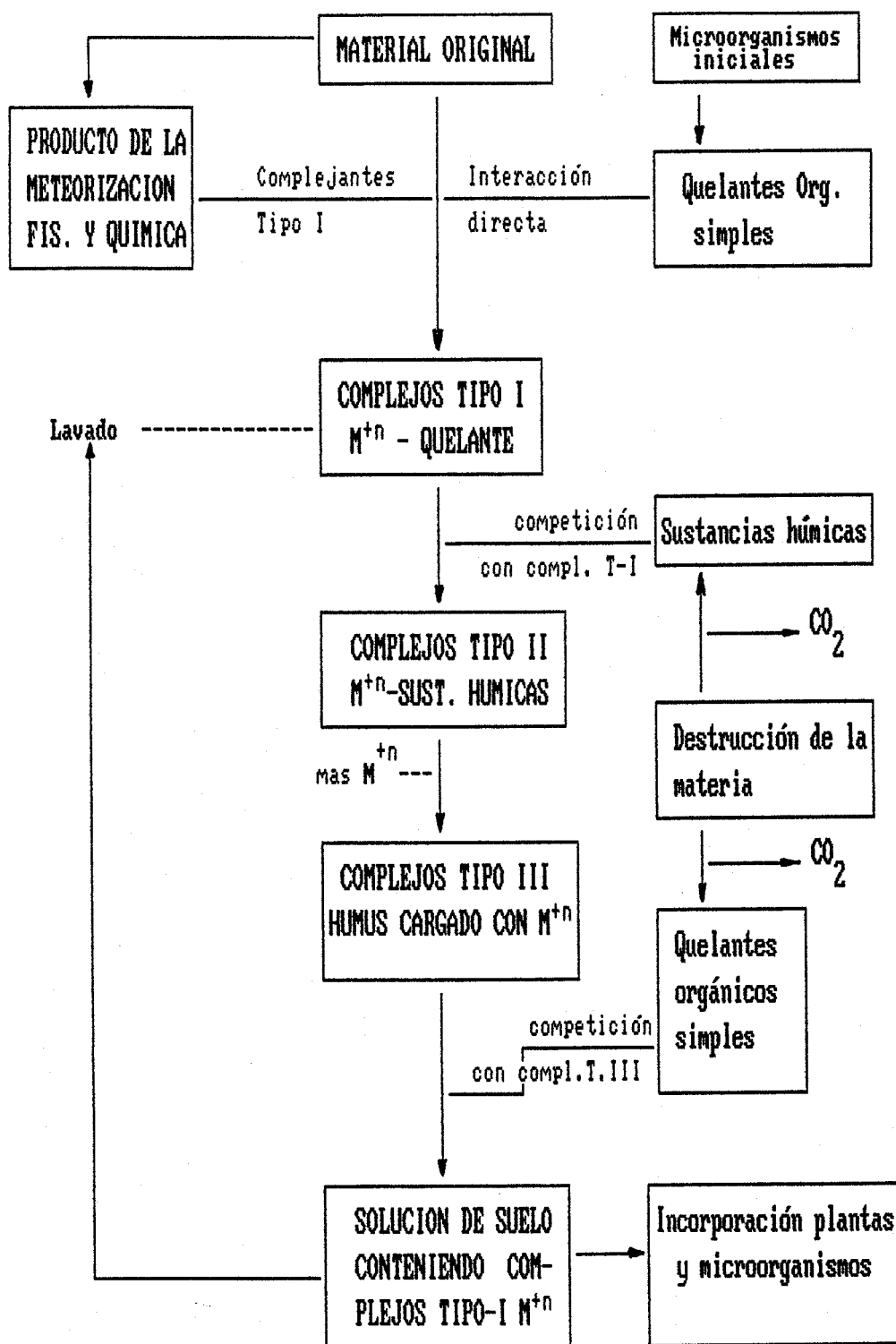


Fig. 4.- Esquema del transporte de los iones metálicos por complejación con la M.O. (STEVENSON, 1982).

autores LOUGHMAN (1969), ONG et al. (1970) y BAKER (1973), hay evidencias claras de que las sustancias húmicas pueden afectar la movilidad de un ión metálico en las zonas donde estas sustancias actúan en forma soluble.

#### I.2.2. PRESENCIA DE LOS ELEMENTOS QUIMICOS EN LOS MATERIALES INORGANICOS DEL SUELO.

##### I.2.2.1. RELACION DE LOS ELEMENTOS CON LOS MATERIALES CARBONATADOS.

Los materiales carbonatados constituyen aproximadamente una sexta parte de la masa sedimentaria global y en una gran proporción están formados por calizas y dolomías (WEDEPOHL, 1969, GARRELS y MACKENZIE, 1971). Sideritas, ankeritas, rhodochrositas y magnesitas entre otros son minerales secundarios en los entornos sedimentarios.

Según DEGNE (1976), los carbonatos en los suelos se originan a partir de varias fuentes.

- Roca madre. Es el origen más directo. Sólo es necesario un lavado insuficiente para que no se elimine en los distintos horizontes.

- Disolución de minerales que contengan calcio y precipiten en forma de carbonato.

- Mineralización de la naturaleza vegetal. Las plantas pueden reciclar el Ca y liberarse por descomposición de los residuos que al asociarse con el agua cargada de  $\text{CO}_2$  da lugar a  $\text{CaCO}_3$ .

- Deposición por el aire. Los materiales carbonatados pueden ser arrastrados por el aire y depositarse superficialmente, siendo posible su transporte al interior del suelo por disolución del agua de lluvia o las aguas superficiales naturales liberando los iones  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{HCO}_3^-$  que pueden recombinarse posteriormente. La lixiviación o emigración de sales solubles es un fenómeno muy común en los suelos, que incide profundamente en el proceso de evolución del mismo, en este caso, recibe el nombre de descarbonatación.

La pérdida de cationes por lixiviación o en el caso que tratamos, descarbonatación, no sólo afecta al horizonte superior del perfil (horizonte A) sino que a menudo afecta al perfil en su conjunto. Aunque puede producirse la reabsorción en el horizonte B de los cationes arrastrados, en general el balance global es de disminución, especialmente en climas húmedos con buen drenaje.

La composición química de los sedimentos y rocas carbonatadas no es simplemente la suma de los componentes

químicos de los carbonatos minerales constituyentes, otros no carbonatados tales como aluminosilicatos forman más del 50% de las muestras y generalmente tienen concentraciones más altas de elementos adicionales que de los propios carbonatos.

La sobresaturación de las soluciones del suelo es frecuente y se explica por la disolución simultánea de los silicatos y subsiguiente precipitación de calcita que forma núcleos heterogéneos (SUAREZ y RHOADES, 1982).

Sólo los elementos Mg, Ca, Mn, Br, ÑSr e Y se concentran preferentemente en los carbonatos y únicamente P, S, Cl, I se presentan en los esquistos dentro de un factor de concentración  $\geq 1/2$ . Por tanto, exceptuando los elementos anteriores, la composición química global de los carbonatos está controlada principalmente por la cantidad y constituyentes no carbonatados.

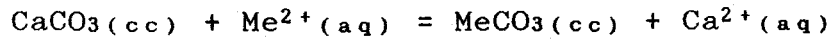
Según McINTIRE (1963) y ZEMANN (1969) la incorporación de elementos y, sobre todo Mg y Sr, en los minerales carbonatados se realiza según:

- 1.- Sustitución del  $\text{Ca}^{2+}$  en la estructura de  $\text{CaCO}_3$ .
- 2.- Sustitución intersticial entre planos.
- 3.- Sustitución en la red, en posiciones vacantes debido a defectos de estructura.
- 4.- Adsorción, debido a cargas iónicas no compensadas.

Actualmente se conocen mecanismos que determinan la primera forma, lo que posibilita la cuantificación de los patrones de distribución de las uniones elemento-red cristalina.

Las formas 2, 3 y 4 son, en general, aleatorias y no susceptibles de un tratamiento cuantitativo, subordinándose en importancia a la primera.

La incorporación de un elemento minoritario divalente ( $\text{Me}^{2+}$ ) a la calcita, puede expresarse:



La constante de equilibrio viene dada por:

$$K = \left[ \left( \frac{a_{\text{Ca}^{2+}}}{a_{\text{Me}^{2+}}} \right)_{\text{aq}} \right] \cdot \left[ \left( \frac{a_{\text{MeCO}_3}}{a_{\text{CaCO}_3}} \right)_{\text{cc}} \right]$$

donde  $a_i$  es la actividad de cada especie.

El coeficiente de distribución, se define:

$$D = \left[ \left( \frac{x_{\text{MeCO}_3}}{x_{\text{CaCO}_3}} \right)_{\text{cc}} \right] \div \left[ \left( \frac{m_{\text{Me}^{2+}}}{m_{\text{Ca}^{2+}}} \right)_{\text{aq}} \right]$$

$x_i$  es la fracción molar del componente respectivo en la calcita y  $m_i$  es la molalidad total de las especies disueltas.

La relación entre D y K es:

$$D = K \cdot \left[ \left( \frac{\gamma_{\text{CaCO}_3}}{\gamma_{\text{MeCO}_3}} \right)_{\text{Cc}} \right] \cdot \left[ \left( \frac{\bar{\gamma}_{\text{Me}^{2+}}}{\bar{\gamma}_{\text{Ca}^{2+}}} \right)_{\text{aq}} \right]$$

$\gamma$  es el coeficiente de actividad del respectivo componente en la calcita y  $\bar{\gamma}$  es el coeficiente de actividad total que tiene lugar en la complejación de las especies acuosas.

La ecuación anterior demuestra una dependencia funcional del coeficiente de distribución no sólo de la temperatura y la presión, sino también de la composición de la fase acuosa y sólida.

En la figura 5, se representan los coeficientes empíricos de distribución (D) de los elementos minoritarios en la calcita y aragonito según VEIZER (1983). Cuando  $D > 1$ , la fase sólida precipitada contiene, en relación al Ca (o al Ca y Mg), concentraciones más altas en Me que el agua, por lo que la fase sólida está en equilibrio. Si  $D < 1$  la disminución o enriquecimiento es proporcional a la desviación de D respecto a la unidad.

En el caso de aragonito, incorpora cationes mayores que el Ca (Sr, Na, Ba, U), mientras que la celda



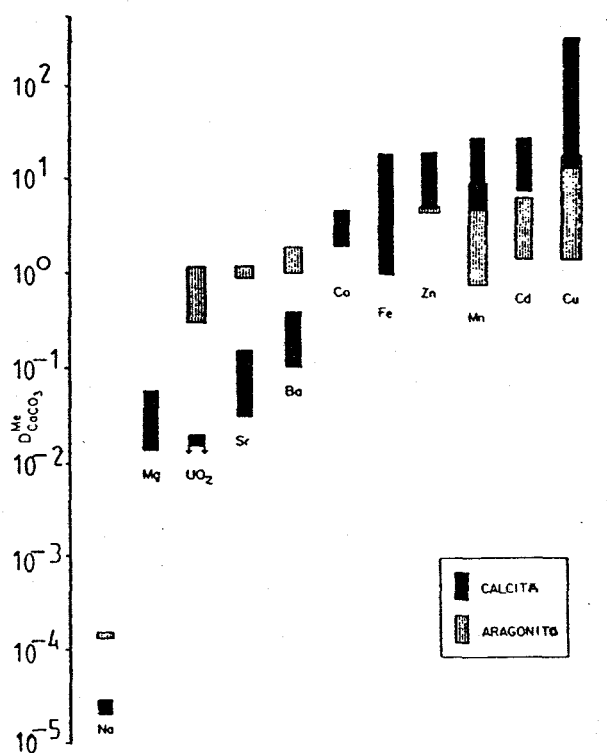


Fig. 5.- Representación de los coeficientes de distribución (D) de los elementos traza para Calcita y Aragonito (VEIZER, 1983).

romboédrica más pequeña de la calcita favorece la incorporación de cationes más pequeños (Mg, Fe, Mn, Zn, Cu, Cd).

Por otra parte, las calizas de origen marino, en contraste con las no marinas y, a causa de la diferente composición de las aguas meteóricas (superficiales y de crecimiento), están generalmente empobrecidas en Zn, Mn, Fe, Co y Cu.

Según JURINAK y BAUER (1956) la adsorción de Zn tiene lugar sobre magnesita > dolomita > calcita, dudando si la reacción es una adsorción o bien una precipitación. En concentraciones bajas McBRIDE (1979 y 1980) ha demostrado que  $Mn^{2+}$  y  $Cd^{2+}$  son quimiadsorbidos por calcita. También en determinaciones de laboratorio, bajo condiciones controladas se ha llegado a establecer que los productos básicos de la disolución de la calcita actúan neutralizando a los más ácidos de  $Fe^{2+}$  y  $Fe^{3+}$ , teniendo lugar precipitaciones de óxidos de hierro a ciertas distancias de la superficie de calcita.

La precipitación de los carbonatos en su conjunto se debe a factores biogénicos directos (depósitos de estructuras o esqueletos), o indirectos como cambios en las condiciones ambientales (pH por ejemplo). Aunque en algunos casos, la precipitación de esqueletos está en un estado de equilibrio inorgánico con su ambiente del agua de mar.

Este proceso de fraccionamiento biogénico puede conducir a la reducción y en algunos casos al enriquecimiento de concentraciones de elementos en las calizas. Así sucede especialmente con el Sr, muy escaso en depósitos aragoníticos originados por moluscos y con el Mg en depósitos calcíticos originados por foraminíferos, braquiópodos y artrópodos.

#### I.2.2.2. PRESENCIA DE ELEMENTOS QUIMICOS ADICIONALES EN LOS MINERALES DEL SUELO.

Es poco frecuente que se presenten minerales puros en la naturaleza. Generalmente uno o más iones son sustituidos en cierta proporción por otros, siendo los reemplazados esencialmente catiónicos y conservando la estructura del cristal (sustituciones isomórficas).

La sustitución isomórfica, ocurre con mucha frecuencia en los silicatos y otros minerales que no muestran constancia en la composición química y puede ser parcial o completa. Algunos reemplazos frecuentes, en los filosilicatos, son el de Mg por Ca (siempre que estos tengan número de coordinación seis),  $\text{Fe}^{3+}$  por Al o  $\text{Fe}^{2+}$  por Mg, tales sustituciones no modifican el balance eléctrico.

Frecuentemente un catión de menor estado de oxidación reemplaza a otro de mayor estado, lo que altera el balance eléctrico y debe ser compensado por la introducción de cationes adicionales. Si el  $\text{Al}^{3+}$  sustituye al  $\text{Si}^{4+}$ , debe compensarse una unidad de valencia positiva, este es el caso de los feldespatos, donde algunos iones silíceos están reemplazados por aluminio, introduciéndose potasio y sodio para lograr la electroneutralidad.

Se considera que cuando un átomo de oxígeno es

común o uno a dos tetraedros adyacentes, sólo uno de los tetraedros puede estar ocupado por aluminio.

Si dos iones aluminio son vecinos a un oxígeno común, al menos un ión aluminio debe tener un número de coordinación mayor que cuatro. El incremento en la carga negativa del tetraedro derivado del reemplazo del Si por Al, debe quedar compensado en la estructura por un cambio equivalente.

Así, la fórmula de un feldespato plagioclasa, teniendo en cuenta sólo los elementos mayoritarios se escribiría:  $(\text{Si}_{3-x} \text{Al}_{1+x}) \text{O}_8 \text{Na}_{1-x} \text{Ca}_x$ , pero una fórmula más real, que tiene en cuenta las sustituciones sería:  $(\text{Si,Ge}\dots)_{3-x} (\text{Al,Ga})_{1+x} \text{O}_8 (\text{Na,K,Rb}\dots) (\text{Ca,Sr,Ba}\dots)_x$ , en la que Ge, Ga, Rb, Sr sustituyen a Si, Al, Na y Ca. Otros iones que pueden estar presentes en cantidades limitadas son: Ti,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ , Mn y Mg. El  $\text{Fe}^{3+}$  reemplaza al Al en la red; la mayor parte del hierro encontrado en los análisis de los feldespatos se presenta en este estado y la pequeña cantidad de  $\text{Fe}^{2+}$  encontrada, en ocasiones, debe ser considerada como impureza. Los mismos iones se han encontrado en los feldespatos alcalinos, siendo las sustituciones análogas a las anteriores.

En el caso del cuarzo, uno de los minerales más puros que se conocen, sucede algo semejante. La presencia

de impurezas se atribuye a sustituciones isomórficas en la red cristalina y también a oclusiones intersticiales o a inclusiones de componentes líquidos, sólidos o gases dentro del cristal.

Estas sustituciones isomórficas, o la presencia intersticial, tiene lugar para elementos como Ti, Na, Li, K, Mg, Ca, Fe y Al.

Las sustituciones isomórficas son también frecuentes en los minerales carbonatados (DEER et al., 1978). En la calcita las sustituciones más frecuentes son las que incluyen Mg y Mn. También es frecuente el  $\text{Fe}^{2+}$  y el Sr sustituyendo al Ca. En la dolomita, además de estos iones reemplazando al Mg, se han encontrado Zn y Pb.

En cuanto a los filosilicatos, minerales de capas o minerales de la arcilla, están constituidos esencialmente por redes de iones oxígeno, hidroxilos y cationes metálicos. Una consecuencia de las diferencias de tamaño entre los aniones más grandes y los cationes más pequeños, es que estos últimos deben ocupar las cavidades dejadas por la agrupación de aniones. Dependiendo de cómo se unan, se formarán unidades estructurales características.

Investigaciones llevadas a cabo en los últimos años, entre otros, por RADOSLOVICH y NORRISH (1962)

permitieron establecer que en los filosilicatos, en particular en los minerales de la arcilla de suelos, las estructuras difieren fuertemente de los modelos ideales.

La composición química de estos varía según la extensión de las sustituciones de los elementos Si, Al y Mg por otros cationes. Sin embargo, a causa de la naturaleza finamente granulada de los minerales de la arcilla, es difícil tener la certeza de que todas las impurezas se han eliminado por lo que los límites de las sustituciones no pueden ser bien definidos de una forma sencilla.

En la caolinita el elemento sustituyente más frecuentemente observado es el hierro. La evidencia de Fe estructural en este mineral se enmascara por la presencia de mica íntimamente mezclada con minerales de Fe-Ti y óxidos de hierro. Si embargo, se ha comprobado la presencia de Fe estructural por análisis en microsonda (JEPSON y ROWSE, 1975) resonancia de spin electrónico (MEADS y MALDEN, 1975), infrarrojos (MENDELOVICI et al., 1979); mossbauer (FYSH et al., 1983).

Empleando estos métodos, se ha detectado la presencia de  $Fe^{3+}$  y posiblemente  $Fe^{2+}$  en posiciones octaédricas.

El titanio en la estructura de la caolinita ha sido observado por WEISS y RANGE (1966), también la

presencia de cromo (SHIEH y MAKSIMOVIC, 1982).

El contenido de impurezas en este mineral generalmente no sobrepasa el 1%; y está determinado principalmente por pequeñas cantidades de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  y  $\text{TiO}_2$ . Es probable, que los iones  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{K}^+$  se encuentren como cationes de cambio. La alúmina presente en algunos casos en exceso (de 1% a 2%), podría, en parte, sustituir al Si en la capa tetraédrica, pero también es probable que se encuentre como partículas de hidróxido en la superficie actuando como un cemento.

Es interesante constatar que en la caolinita desordenada puede existir un cierto reemplazo isomórfico del ión aluminio por otros cationes de menor carga (BAILEY, 1963).

Otro grupo de minerales de arcilla son las esmectitas, estos son minerales expansibles. A diferencia de la pirofilita y el talco, las unidades de esmectita no son neutras. Existe una deficiencia de carga positiva (o exceso de carga negativa) por sustitución parcial de iones Al por cationes divalentes en posiciones octaédricas o sustitución parcial de iones Si por Al en posición tetraédrica. Este déficit de carga es la base de la elevada capacidad de intercambio de cationes de las esmectitas.

Con una composición química variable y cuyos límites no están muy bien definidos, se encuentran las ilitas. Este problema reside, al menos en parte, en que es muy difícil aislar del suelo las micas de los componentes no micáceos acompañantes, así pues las ilitas se encuentran más o menos contaminadas. En todo caso, el principal catión de entrecapa es el potasio, el cual, en suelos carentes de feldespatos mantiene una estrecha correlación con el contenido de ilita. Sodio y calcio, son los cationes de entrecapas que siguen en importancia, pero se sabe que también existen otros cationes en pequeña cantidad (Cs, Rb, Mg, etc.).

El proceso de alteración de las ilitas consiste, básicamente en el intercambio de  $K^+$  desde las entrecapas por otros cationes, por ejemplo: Mg, Na, Ca e H, con introducción simultánea de agua y el incremento, consecuente, de la capacidad de intercambio de cationes.

#### **I.2.2.3. GENERALIDADES SOBRE ADSORCION DE ELEMENTOS POR LOS OXIDOS.**

Dentro de la temática general de adsorción de metales pesados por los distintos minerales y fracciones del suelo, en la que no se puede entrar con suficiente amplitud, es preciso comentar, sin embargo, una parte



importante de este aspecto, la que está ligada a los óxidos y oxohidróxidos de Fe, Al y Mn.

Estos componentes del suelo presentan gran reactividad superficial, constituidos por unidades  $Mx^{6m-6b}$ , siendo  $M^{m+}$  un catión metálico que está rodeado por 6 aniones  $X^{b-}$ . Los óxidos y oxohidróxidos son mucho más abundantes en los suelos de lo que se viene aceptando hasta ahora, debido a que se pueden encontrar formando películas sobre otros componentes, como arcillas y carbonatos.

Actualmente existe una expansión en el estudio de óxidos constituyentes de los suelos (BARROW, 1985), pues se están desarrollando las técnicas e instrumentos adecuados, como la microsonda y el microscopio electrónico (FORDHAM y NORRISH, 1983), y, además, se está desarrollando un marco teórico con observaciones que pueden ser entendidas mediante modelos de simulación.

Debido a su gran abundancia en la litosfera y a su baja solubilidad en el rango normal de pH del suelo, los óxidos de aluminio, hierro y manganeso son los más importantes, estos a diferencia de los minerales de la arcilla pueden sintetizarse en el laboratorio en condiciones semejantes a las de su formación en el suelo, por lo que el estudio de estos modelos sintéticos ha contribuido al conocimiento de su papel en el suelo.

Al ser la superficie de los componentes del suelo una terminación brusca de la ordenación interna del cristal, la exposición de óxidos o partículas de óxido hidratado al vapor de agua generalmente da lugar a una adsorción física o química del agua sobre la superficie, y por tanto, la carga sobre las superficies hidroxiladas pueden desarrollarse a través de la disociación anfótera de los grupos hidroxilos superficiales, o por adsorción de  $H^+$  y  $OH^-$ .

Los iones  $H^+$  y  $OH^-$  que establecen el potencial superficial son también los que determinan la carga superficial.

En cuanto a la adsorción de metales pesados por óxidos de aluminio, hierro y manganeso, éstos se han considerado como "sumideros" de dichos metales. Ciertamente, en ausencia de procesos de disolución, bajos porcentajes de estos óxidos en suelos adsorben cantidades importantes de Zn, Cu, Pb, etc., como ha sido puesto de manifiesto en numerosos trabajos. No obstante, los estudios exhaustivos sobre la influencia de diversas propiedades de los sistemas reaccionantes en la adsorción son escasas.

La velocidad de adsorción de metales pesados por óxidos depende del estado de agregación de los mismo, siendo más rápido cuando están en forma coloidal dispersa

que cuando están flocculados. No obstante, en general, la adsorción de cationes por óxidos metálicos hidratados es extremadamente rápida, lo que refleja el hecho de que la adsorción sea un fenómeno superficial. Pero este proceso inicial rápido va seguido por un proceso lento, y existen evidencias que muestran que tras el proceso de adsorción debe producirse un reordenamiento interno por un proceso de difusión superficial o bien hacia el interior del cristal (BRUEMMER et al., 1988).

En primer lugar, al observar directamente la velocidad total de la reacción, ésta parece consistir en un proceso que se aproxima a un punto final después de unos pocos minutos, pero ese punto final no llega a alcanzarse. Esta observación se ha hecho frecuentemente, siendo ilustrativos los trabajos de BENJAMIN y LECKIE (1981) para la reacción de Cu, Zn, Cd y Pb con hidróxidos de hierro amorfo y los de PADMANABHAN (1983 a) de la reacción de Cu con goetita.

Otra evidencia es que cuanto mayor es el periodo de tiempo que transcurre antes de que comience la desorción, menos completa es ésta, tal y como se observa en la reacción de Cu, Zn y Co con goetita (PADMANABHAM, 1983 a, b).

El mecanismo por el que transcurre la difusión

superficial incluye cambio de lugar entre dos átomos y también mecanismos de vacantes, en los que un átomo se mueve en una dirección y la vacante o agujero en otra. Al producirse la difusión superficial, los cationes de metales pesados pasan a ocupar posiciones en la red del óxido, y es por esta razón que el Pb se desorbe más fácilmente que Zn o Co al adsorberse sobre goetita, pues debido al mayor tamaño del átomo de Pb éste no reemplaza al Fe del óxido (PADMANABHAM, 1983 b).

Por todos estos hechos, BARROW (1985) considera que es más apropiado llamar "retención" a la suma del proceso de adsorción más el de difusión. Este proceso de retención depende de varios factores: pH, concentración de metal, selectividad de cationes, tiempo de reacción, temperatura y electrolito de fondo, entre otros.

La adsorción de cationes por óxidos es fuertemente dependiente del pH, tal como lo demuestran los trabajos de BAR-YOSEF (1979), MCKENZIE (1980) y HARTER (1983), y los más recientes de BARROW (1986 a, b, c) y BARROW y ELLIS (1986) para Zn en suelos, los de BRUEMMER et al., (1988) para Ni, Zn y Cd en óxidos de hierro y el de SAZOSKI y BURAU (1988) para adsorción de Cd y Zn sobre óxidos de manganeso.

Cuando un metal hidrolizable reacciona con un

óxido hay una disminución del pH, lo que conduce a pensar que la adsorción se produce por una reacción de cambio entre el metal y los protones de la superficie del óxido, aunque el efecto podría ser producido igualmente por una coadsorción de iones  $\text{OH}^-$ . Hasta hace poco tiempo, la mayor parte de los autores opinaban que era una característica importante del sistema adsorbato-adsorbente la relación entre el número de protones desorbidos por cada catión adsorbido, lo que se denomina estequiometría  $\text{H}^+/\text{M}^+$  (KINNIBURGH, 1983).

En general, la adsorción de metales pesados por óxidos del suelo es tanto mayor cuanto más alta sea la concentración de metal empleada. Pero, por otra parte, a concentraciones del metal relativamente altas, pueden precipitar los hidróxidos metálicos correspondientes, lo que hace que los resultados experimentales de adsorción sean menos precisos a altas concentraciones, siendo difícil determinar si el catión está adsorbido o precipitado (COREY, 1981, BRUEMMER et al., 1983 y SPOSITO, 1986).

La afinidad relativa de un óxido por los diferentes iones viene determinada tanto por las propiedades del ión como por las del óxido. La selectividad por un catión controla la cuantía de su adsorción y el efecto de dicho catión sobre la adsorción de otro.

Entre los cationes de metales pesados no existe un principio unificado que gobierne la selectividad de los óxidos por ellos, existiendo muy pocas diferencias en la selectividad por cada uno de ellos, y pudiendo variar con el pH la secuencia de selectividad. En general, se observa una estrecha relación entre afinidad relativa y tendencia a hidrolizarse, pero también en este aspecto existen excepciones.

Los óxidos de manganeso presentan la particularidad de que tienen más preferencia por unos metales pesados que por otros, debido a que los primeros inducen la desorción de Mn de la estructura del óxido, tal como ponen de manifiesto TRAINA y DONER (1985) para el caso de Co.

En todos los casos los cationes de metales pesados son mucho más fuertemente adsorbidos que los cationes alcalinos y alcalino-térreos.

En cuanto al tiempo de reacción, conforme aumenta el periodo de incubación en la adsorción de metales pesados por óxidos, y en general por suelo, éstos están cada vez más fuertemente retenidos, y así por ejemplo la efectividad del Cu como fertilizante decrece con periodos largos de reacción, tal como observan BRENNAN et al.(1980).

También algunos aniones inorgánicos pueden afectar a la adsorción de metales pesados por óxidos, como es el caso del anión fosfato, que al adsorberse sobre la superficie del óxido causa un incremento de la carga negativa, y por tanto ejerce un efecto positivo sobre la adsorción de cationes (XIE y McKENZIE, 1988, 1989, KUO y McNEAL, 1984, GHANEM y MIKKELSEN, 1988 y DIAZ-BARRIENTOS et al., 1989).

### I.3. ELEMENTOS DE INTERES BIOLÓGICO Y EN LA AGRICULTURA.

El suelo es un sistema complejo, actuando como reserva de todos los elementos químicos en combinaciones y cantidades variadas.

En el campo de la agronomía, los elementos minoritarios juegan un papel fundamental en la fertilidad del suelo. Durante los últimos años se ha venido observando que hay un número creciente de elementos que en más o menos partes por millón son esenciales para un buen desarrollo de las plantas.

Los elementos que se consideran importantes desde el punto de vista biológico son los siguientes: Fe, Mn, Zn, B, Cu, Co, Mo, I y F. Si estos elementos esenciales no están presentes en los suelos en forma asimilable y en cantidades suficientes, pueden producirse deficiencias en las plantas, y como consecuencia en los animales; por el contrario si la presencia es excesiva pueden originar efectos nocivos y fitotóxicos. Hay que tener en cuenta que los elementos Al, Fe y Ti actúan como elementos mayoritarios en suelos y como minoritarios en las plantas.

Se pueden citar numeroso ejemplos de los desórdenes que se presentan originados por deficiencias o excesos de estos elementos. Así por ejemplo, la



insuficiencia de Co en los suelos y de ahí en las plantas de pastos, origina enfermedades de carencia en el ganado y la insuficiencia en Cu se asocia con malformaciones.

El grado de fertilidad de una suelo viene condicionado, fundamentalmente, por el contenido en elementos nutritivos minerales. Ahora bien, estos elementos, como es sabido, pueden estar presentes en el suelo y en cambio ser considerado éste como deficiente desde el punto de vista nutritivo. Por eso, no es la cantidad de "elemento total" presente la que define su mayor o menor fertilidad, sino la cantidad de elemento "asimilable". Este es el concepto clásico por lo que respecta a los elementos mayoritarios esenciales, que varían en cantidades relativamente pequeñas de un suelo a otro.

En cambio, el contenido en oligoelemento varía para distintos suelos hasta en un millar de veces, hecho que condiciona la existencia de una cierta correlación entre "contenido total" y "asimilable". Así pues, la determinación del contenido total nos proporcionará un índice bastante aproximado de la fertilidad potencial del suelo con respecto a estos últimos elementos.

Las variaciones en el contenido de un elemento deben considerarse en relación con la posición del

horizonte en el perfil y las características del suelo. El efecto de estos factores es de gran importancia, siendo diferente para cada elemento. Los intervalos máximos y mínimos en el contenido de elementos minoritarios, en orden a sus valores de deficiencia o toxicidad para plantas o animales, varían asimismo con el elemento, tipo de suelo, pH y variedad de la planta:

En este contexto, el Boletín de suelos de la FAO (TIETJEN, 1975) publicó una lista de elementos en la que se da el contenido total tolerable de algunos elementos minoritarios en suelos. (tabla E).

TABLA. E

Contenido de elementos minoritarios tolerables en suelo.			
Elementos	ppm	Elementos	ppm
F	500	Co	50
Zn	300	Ag	50
Cu	100	Se	10
Cr	100	Mo	10
Be	100	Cd	5
Pb	100	Hg	5

Sin embargo, estos valores pueden ser diferentes en función de las propiedades del suelo y especialmente de la capacidad de cambio.

En general la distribución de elementos químicos en un perfil se rige por su característica genética: el horizonte eluvial es muy pobre en ciertos elementos, mientras que el iluvial abunda en ellos. Por otra parte, también los elementos están implicados en importantes procesos fisiológicos, son absorbidos en cantidades relativamente grandes por las plantas y pueden acumularse en el humus después de que se descomponen los residuos. La acumulación biogénica es más característica de Mn, Zn y Cu entre los fisiológicamente activos que de Co y Mo, no obstante, uno de los elementos mejor estudiado en cuanto a su relación con los óxidos de Mn y de Fe es el Co, esto se debe en gran medida al papel que tiene en la vida animal y por consiguiente en la vegetal. En la nutrición de las plantas es esencial para la fijación del nitrógeno por las leguminosas. También para la nutrición de los rumiantes, particularmente en las ovejas, muy sensibles a la deficiencia en este elemento.

Según diferentes autores, entre ellos: (VINOGRADOV, 1959, GOLDSCHMIDT, 1954, TAYLOR y MCKENZIE, 1966 y MEANS et al., 1978). La asociación entre Co y Mn en la superficie de los suelos se conoce desde hace mucho

tiempo, aunque no sucede lo mismo con esta asociación a lo largo del perfil.

La reacción de Co con Fe en los perfiles de suelos ha sido estudiada por BURRIEL y GALLEGO (1952). En trabajos posteriores RYAN y WALSH (1966) han registrado una acumulación de cobalto, arcilla, hierro, cobre y manganeso en horizontes B. En los suelos calizos del Valle del Guadalquivir, GONZALEZ GARCIA y GARCIA GOMEZ (1964) observaron la disminución de Co al aumentar la profundidad, mientras que en las tierras pardas sobre granitos y pizarras de Sierra Morena aumenta con la profundidad. La razón: Co en horizontes del suelo/Co en la roca originaria, puede tomarse como un índice del grado de movilización y lavado del Co en suelos. Un valor bajo indica un lavado importante y se da en los suelos ácidos (tierras pardas). Por el contrario, los suelos calizos se caracterizan por un valor alto, correspondiente a un lavado impedido del elemento. BARRAGAN LANDA (1973) aplica este índice a distintos elementos al efecto de comparar suelos de diferentes características.

GONZALEZ y MAZUELOS (1960) en estudios realizados en suelos observaron la asociación de Co con los óxidos de Mn, explicando así la disponibilidad del Co para las plantas. Siendo mayor en suelos pobremente

drenados, ya que en estos suelos los poros llegan a estar ocupados por agua en vez de aire, prevaleciendo las condiciones reductoras. En estas circunstancias, la estabilidad de los óxidos de Manganeso disminuye y durante la descomposición del mineral que se origina, se libera el Co que puede ser asimilado por la planta.

A pesar de que estas relaciones se han determinado, fundamentalmente para el Co, no se descartan que otros elementos minoritarios puedan ser adsorbidos por estos óxidos. Se ha comprobado también, según MCKENZIE (1967) que la adsorción de Cu por nódulos de óxido de Mn en formación es mayor que la de Co o Ni, pero la extracción posterior con ácido acético diluido muestra que el Co es el más fuertemente retenido.

La fuerte adsorción del Co por los óxidos de Mn, ha sido explicada en la forma siguiente, según MCKENZIE (1970), (1972):

- 1.- Oxidación de  $\text{Co}^{2+}$  a  $\text{Co}^{3+}$  en la capa intercalada de óxidos minerales.
- 2.- Sustitución de  $\text{Mn}^{4+}$  por  $\text{Mn}^{3+}$  en la red cristalina de óxidos.
- 3.- Reemplazamiento de  $\text{Mn}^{3+}$  por  $\text{Co}^{3+}$ .

Recientemente, se han realizado estudios con mezclas de elementos de concentraciones en equilibrio muy bajas para determinar su adsorción por diferentes suelos, (ANDERSON y CHRISTENSEN, 1988), ya comentado anteriormente.

La movilidad de los elementos minoritarios en un medio acuoso se caracteriza por su coeficiente de distribución, que se define como la relación entre la concentración del metal en la fase sólida y la concentración en la solución en equilibrio. Ya anteriormente se había observado por HENDRICKSON y COREY (1981), que los coeficientes disminuían mucho cuando la concentración del metal disminuye con respecto a la concentración de otros cationes competidores.

Para evaluar los efectos ecológicos de cantidades asimilables excesivos de elementos minoritarios, se han definido una serie de índices, según CAMERLYNCK y VELGHE (1979), COTTENIE y CAMERLYNCK (1980).

El efecto cuantitativo se expresa por un índice de tolerancia (i.t.). (i.t. = crecimiento en medio enriquecido/crecimiento en medio no enriquecido).

Pueden ocurrir los siguientes casos:

i.t.=1 (El elemento considerado no afecta al crecimiento de la planta).

i.t.>1 (Se observan efectos favorables).

i.t.<1 (Indica elementos desfavorables, y si i.t. es mucho menor, se considera fitotóxico).

El efecto cualitativo indica concentraciones variables de los elementos en los tejidos vegetales, y se expresa por el índice de concentración (i.c.). (i.c.= concentración de un elemento en un tejido vegetal enriquecido/concentración de ese elemento en tejido vegetal normal).

La incorporación de los elementos a los tejidos vegetales sigue diferentes patrones (COTTENIE y KIEKENS, 1974).

- Aumento muy pronunciado de la concentración en tejidos vegetales. Se presenta en los elementos: Zn, B, Mo, Co, Cd, Ni, que son incorporados fácilmente.

- Incremento limitado en la concentración para Cu, Pb y Cr.

- Variaciones de concentración en tejidos vegetales más influidas por pH y potencial redox del medio de crecimiento que por su concentración. Se presenta para Fe, Mn y Al.

Es evidente que las grandes diferencias en contenidos de elementos minoritarios observadas en las mismas especies vegetales afecta mucho más su calidad. Dependiendo del elemento, estos efectos pueden aparecer como fitotoxicidad o inhibición del crecimiento de la planta, o como toxicidad hacia animales y población humana.



#### I.4. TRATAMIENTO ESTADISTICO DE PARAMETROS DE LOS SUELOS.

El estudio de sistemas complejos en los que se determinan un elevado número de parámetros para caracterizarlos, plantea la dificultad, a veces, de considerar simultáneamente y de forma clara todos los aspectos estudiados.

El desarrollo de procedimientos en análisis de espacios multidimensionales puede tener varios fines, siendo uno de los más importantes la simplificación de la dimensionalidad del sistema.

Este tratamiento se basa, generalmente, en el análisis de las interrelaciones que existen entre las variables. Se trata pues de sustituir el sistema de referencia, planteado por las numerosas variables estudiadas, por uno nuevo, en el que sus ejes (factores) son combinaciones lineales de dichas variables. A este nuevo sistema de referencia se le imponen diversas condiciones: -hacer máxima la varianza que explican y, eventualmente, su ortogonalidad-, así se obtiene una representación simplificada del problema que facilita su análisis e interpretación (GALAN y PEREZ RODRIGUEZ, 1989).

Las publicaciones en este campo son cada vez más numerosas, sobre todo, aplicadas en aquellos estudios que

tratan de ver y evaluar la importancia de los distintos factores edáficos en el comportamiento o caracterización de suelos y rocas, además de la fracción arcilla.

Entre otros, MEDINA (1975) hace uso de este tratamiento estadístico para diferenciar muestras de pizarra, según el grado de metamorfismo, asociándolo a la existencia o no de pirofilita y lo caracteriza por un aumento en la p.p.c. y contenido de  $Al_2O_3$  en las rocas y en la arcilla, con disminución del contenido en  $SiO_2$ . Evaluando el grado de metamorfismo y con ello la aplicabilidad e interés técnico de cualquier material que pueda muestrearse en el futuro.

GONZALEZ (1983) y RINCON et al. (1977) caracterizan la materia mineral, buscando criterios de similitud en los perfiles a través de los parámetros analizados, obteniendo factores que ejercen una influencia más acusada en la materia mineral.

Por otra parte, YAÑEZ et al. (1984) estudian una serie amplia de muestras de la zona norte en la provincia de Granada, cubriendo un área de 5.000  $Km^2$  y aplicando para ello un análisis de correlación y regresión múltiple en el que relacionan un conjunto de variables óptimas, atendiendo a su contribución a la variación explicada y a la significación de los coeficientes de regresión, concluyendo

con una asociación Mn-Cu-Zn en la que analizan la independencia frente al Fe. JIMENEZ BALLESTA et al. (1989) evalúan la distribución de manganeso en algunos suelos mediterráneos elaborando una matriz de 22 casos y 77 variables. Efectúa un análisis multivariante en el que desecha las variables poco puntuadas que indican una baja incidencia en la evolución de los suelos que estudian. Así mismo, interpreta las relaciones entre grupos de variables, obteniendo una secuencia de evolución.

MOURA y KROONENBERG (1988), realizan igualmente un estudio sobre perfiles de suelos de Araracuara (Colombia amazónica) con distintos materiales originales de dicha zona. Los análisis geoquímicos y mineralógicos obtenidos, muestran correlaciones estadísticas significativas entre textura del suelo, mineralogía y material original con distintas características geoquímicas. Los diferentes materiales originales acusan diferencias en los suelos formados sobre ellos.

Las anomalías en estos modelos, están relacionadas principalmente con cambios mineralógicos en el material original, representando mediante un dendograma la similitud de los casos estudiados. La evaluación de los factores obtenidos y rotados, en las 23 variables que analizan, revelan que sólo tres grupos de variables

intervienen en la varianza mayor de la matriz original. Se agrupan en el primer factor, con una contribución del 44,7% de la varianza total:  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , Zn, U,  $\text{TiO}_2$ , Ga, Cr,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , además de  $\text{SiO}_2$ , Co, Zr y Nb de forma negativa, implicando una relación entre textura y formación de suelo, de manera que el contenido de elemento con carga positiva aumenta de forma paralela al aumento de arcilla e hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y Fe(d)). El factor 2, lleva altas cargas positivas para Ba,  $\text{K}_2\text{O}$ , Rb y mineral micáceo. El Zr en cambio presenta una alta carga negativa en este factor, esto implica una influencia antitética con el resto. El factor 3 (16,6% del total de la varianza) muestra altas cargas en los minerales: circón, turmalina, silimanita y opacos.

La individualidad de cada perfil, se pone de manifiesto mediante el análisis en grupo por un lado y el factorial por otro, concluyendo finalmente que los aspectos geoquímicos heredados de los materiales originales permanecen a pesar de la intensa meteorización sufrida.

Es muy indicativo, en cuanto a los resultados que puede dar lugar un estudio factorial, el trabajo de BUSTILLO (1985) que lo aplica al estudio de un proceso de dolomitización de rocas calcáreas, de manera que obtiene una factorización en cuatro grupos, explicando con ello el 91,86% de la varianza total en el análisis de 8 variables (contenido de Pb, Zn, Fe, Mn, Sr, Ba, CaO y MgO), la

distribución de estas variables en cada factor, sus cargas y la interrelación entre ellos (figura 6) expresa que el factor I, viene representado por CaO y Sr frente al Fe y Mn principalmente. El factor II por el Pb, Zn, fundamentalmente, y con signo negativo. El factor III, casi

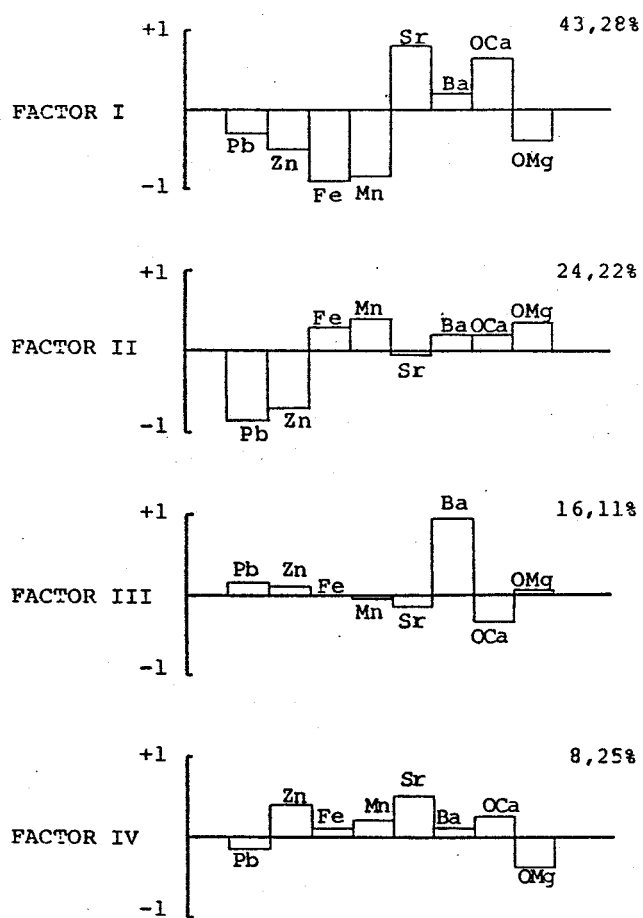


Fig. 6.- Diagramas de cargas de los elementos en los distintos factores. (BUSTILLO, 1985).

exclusivamente por el Ba y el factor IV no ofrece elementos que individualmente colaboren, de forma significativa en este factor.

La representación de las variables, factor I frente al factor II (máximos aportadores a la varianza total) (figura 7) indica una asociación clara de las variables: por un lado el Fe y el Mn, por otra parte, el Pb y Zn así como el Sr y CaO, en menor medida el Ba y MgO.

El diagrama conjunto de las muestras analizadas diferencia dos grandes grupos de muestras, el grupo I que correspondería a las dolomías con importantes contenidos

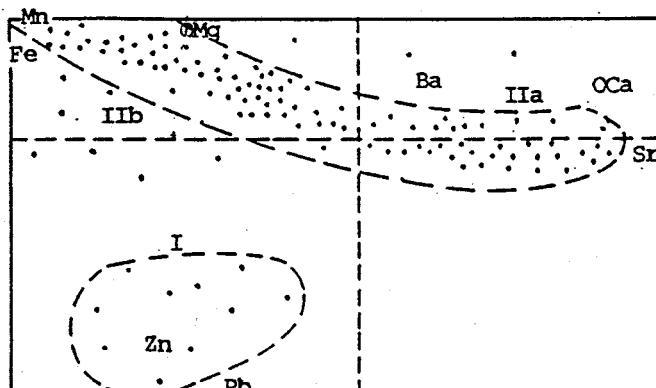


Fig. 7.- Representación del factor I frente al II, máximos aportadores a la varianza. (BUSTILO, 1985)

en Pb y Zn (dolomías mineralizadas) y el grupo II que incluye el gran conjunto de rocas carbonatadas, variando desde el extremo IIa (rocas calcáreas) hasta el extremo IIb (rocas dolomíticas).

En este sentido, son muy significativas los resultados obtenidos mediante el análisis factorial, mostrando una diferencia clara entre los materiales calcáreos (definidos por sus contenidos en CaO y Sr) y las dolomíticas (definidas por el Fe, Mn y MgO).

Ciertamente, en cuanto al Mn, algunos autores afirman que el contenido de este elemento está afectado, de forma considerable por el proceso de dolomitización (PRASADA y NAQUI, 1977).

BRU DE SALAS et al. (1982), en un estudio geoquímico en la zona minera de "El Entredicho" (Almadén) analiza, factorialmente, los parámetros: Ti, Cr, Mn, Fe, Cu, Zn, Pb y Mg, deduce mediante una representación del factor I frente al II que el Mg no tiene relación con el resto, siendo independiente su mineralización a la de Pb-Zn y que el Ti, Cr y Pb, están muy relacionados entre sí, a la vez que el Fe se correlaciona ampliamente con todos ellos, excepto con el Mg, de manera que los dos primeros factores de los cuatro que obtiene en el análisis explican una varianza del 75,32%.

Según distintos autores, en la bibliografía consultada señalan diferentes normas, desde distintos puntos de vista, para desechar variables, que no intervienen de forma importante en el estudio. Así, en la factorización pueden evitarse aquellas variables que no superen un valor de 0,7 de carga en los factores (MEDINA, 1975) o bien prescindir de aquellos factores que sólo contribuyen con un 16% como máximo a la varianza, de forma que se tenga en cuenta los que en orden de importancia, de mayor a menor sumen un 84%, tomándose este porcentaje como valor mínimo de contribución a la varianza, con garantía suficiente, que explique los procesos del sistema que se estudia.



**II. MATERIALES Y  
METODOS EXPERIMENTALES.**

**II.1. MATERIALES**

En el presente estudio se han empleado una colección de perfiles, seleccionados en base a dos criterios fundamentales: 1) Abarcar los tipos de suelos más representativos y 2) Su distribución entre las zonas características de la provincia de Huelva, tanto en su aspecto climatológico como geológico.

La relación de los perfiles que se tratan no dejan de ofrecer serias dificultades, ya que hay que tener en cuenta factores muy diversos en dicho estudio. Su significación dentro de la zona tiene que ser importante aunque su limitación también debe serlo, en cuanto a que sea asequible su tratamiento. No obstante, en la zona de la Campiña, ha sido preciso una mayor amplitud en la cantidad de muestras tomadas debido a la gran variedad de suelos con diferentes características entre ellos, unido al interés que en sí tiene la propia zona.

Las muestras tomadas, con riguroso criterio edafológico, pertenecen a la sección de suelos del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla, y a su vez han sido utilizadas en trabajos de cartografía de suelos de la región.

La localización de los perfiles propuestos se presenta en la figura 8, y en la pág.84 la

deominación y clasificación de los mismos. El mapa de la Provincia de Huelva se ha dividido de norte a sur en tres grandes áreas o también "Comarcas Naturales", de forma que facilite el tratamiento y a las que se harán referencia en distintas ocasiones, sin menoscabo de que algunos autores, con distintos puntos de vista, consideren otras áreas diferentes.

En otras zonas no ha sido preciso una toma de muestras tan exhaustiva, bien por la uniformidad del suelo, o porque su estudio está suficientemente pormenorizado, como es el caso del Andévalo Oriental.

Más adelante se describen los perfiles y las muestras utilizadas, proporcionando previamente una visión general de la geomorfología y climatología de la provincia.

#### II.1.1. DATOS GEOMORFOLOGICOS DE LA PROVINCIA DE HUELVA

La provincia de Huelva, situada en el suroeste de la España peninsular es la más occidental de Andalucía. La mitad sudoriental del territorio provincial pertenece a la depresión del Guadalquivir y el resto forma parte de Sierra Morena.

Sus límites geográficos son: Con la provincia de Badajoz al norte, al este con las de Sevilla

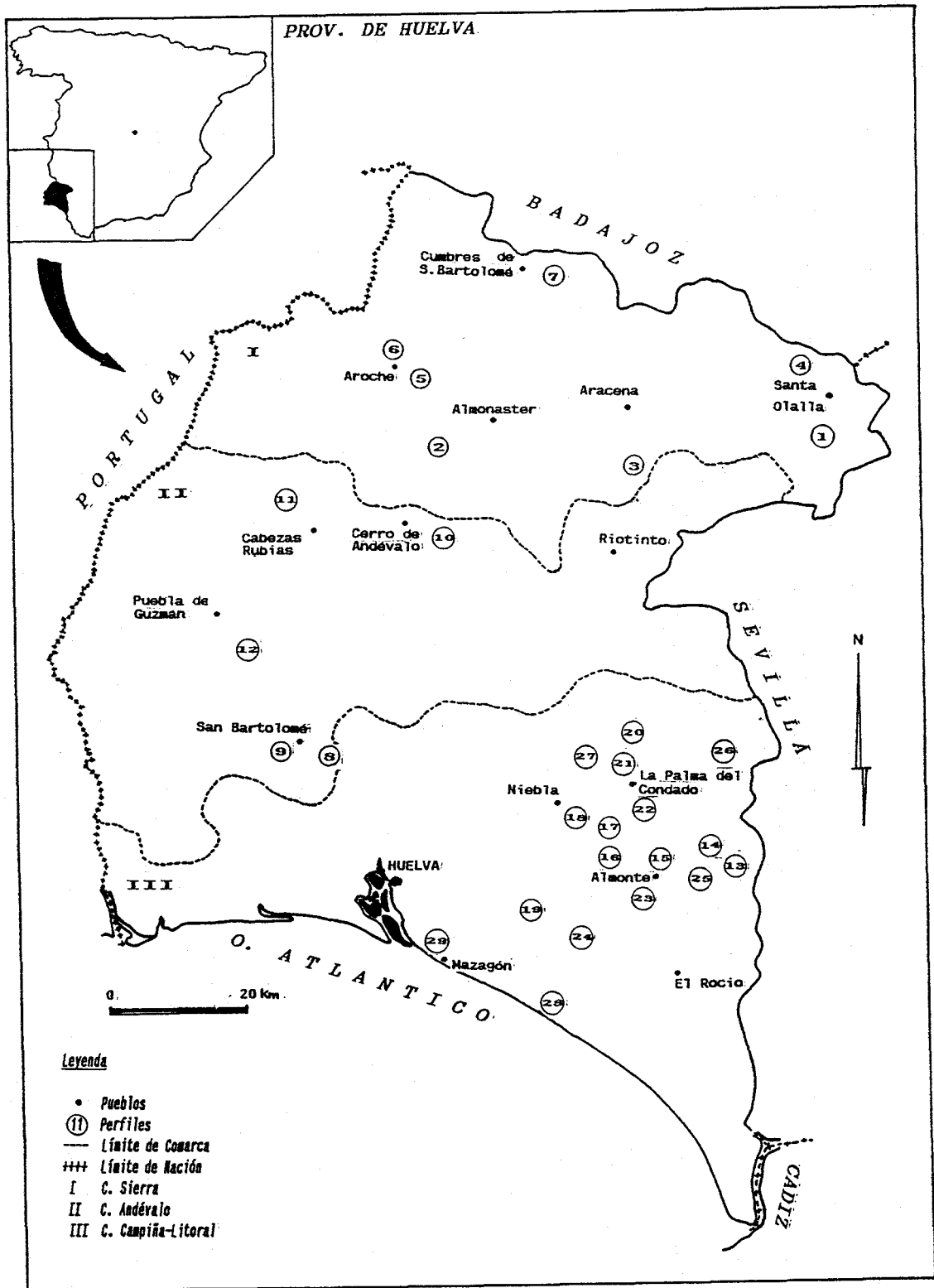


Fig. 8.- Situación aproximada de los 29 perfiles de suelos que se estudian.

SITUACION	DENOMINACION DEL PERFIL	CLASIFICACION
1	SP-1	Typic xerochrepts
2	SP-2	Ultic palexeralf
3	SG-3	Lithic xerochrepts
4	SG-4	Typic xerochrepts
5	SG-5	Mollic haploxeralf
6	SG-6	Typic haploxeralf
7	SV-7	Typic xerochrepts
8	AS-8	Palexeralf
9	AS-9	Haploxeralf ácuico
10	AR-10	Lithic ruptic-xerorthentic xerochrepts
11	AG-11	Aquic haploxeralf
12	AP-12	Ultic haploxeralf
13	CA-13	Haploxeralf ácuico
14	CS-14	Xerofluvent mólico
15	CE-15	Haploxeralf cálcico
16	CE-16	Xerochrepts calcixerólico
17	CE-17	Haploxeralf
18	CM-18	Chromoxerert éntico
19	CE-19	Fragixeralf
20	CM-20	Xerochrepts vértico
21	CM-21	Xerochrepts cálcico vértico
22	CS-22	Xerosamment litoplíntico
23	CS-23	Haploxeralf típico
24	CS-24	Xeropsamment ácuico
25	CA-25	Haploxeralf ácuico-abruptico
26	CC-26	Rendollic xerorthent
27	CC-27	Lithic haploxeralf
28	CA-28	Quartzipsamment
29	CA-29	Haploxeralf ácuico-abruptico

y Cádiz, al sur con el Océano Atlántico y al oeste con Portugal.

Sus coordenadas geográficas extremas referidas al meridiano de Greenwich son: Latitud entre  $36^{\circ} 47' 32''$  N y  $38^{\circ} 11' 56''$  N; Longitud entre  $6^{\circ} 07' 25''$  N y  $7^{\circ} 31' 17''$  W. Abarca una extensión superficial de 1.008.473 Ha, lo que representa el 2% de la superficie nacional.

Diversos autores y desde distintos puntos de vista han dividido la provincia de Huelva en Comarcas. En 1975 la Organización Sindical la distribuye en ocho Comarcas homogéneas, sin una explicación clara, a su vez el tercio norte lo divide en tres, el centro en dos y el último tercio al sur en tres. GONZALO TARIN (1886) y MONTEAGUDO (1980) hablan de cuatro Comarcas tradicionales y FOURNEAU (1983) de tres zonas Naturales.

Para este estudio y aplicando criterios muy generales se tendrán en cuenta tres zonas bien diferenciadas: La Sierra al norte, el Andévalo que ocupa la banda media y la Campiña-Litoral al sur.

El norte y centro de la provincia están inmersos en el reborde meridional de la Meseta Central cuyo accidente principal es la Sierra de Aracena, que apenas alcanza los 1000 m. y está caracterizada por una sucesión

de valles que dejan ver picos redondeados y vertientes con perfiles convexos, muy repetidos, con dirección dominante de este-oeste (GONZALO TARIN, 1886).

La erosión ha jugado un papel fundamental desde la época herciniana, siendo las líneas del relieve que actualmente predominan las divisorias de agua de las principales corrientes que drenan la provincia: Tinto, Odiel y Chanza con su amplia ramificación de afluentes.

En la Sierra de Aracena o Sierra Alta, predominan los esquistos muy afectados por la erosión, y es allí donde se encuentra una mayor cantidad de afloramientos de rocas resistentes; las calizas cámbricas en la Sierra de Arroyomolinos además de las rocas cristalinas, metamórficas y volcánicas.

La parte central de la provincia está constituida por la Comarca del Andévalo, que se corresponde con una penillanura ondulada basculante hacia el oeste y recorrida en su parte sur por sierras de pequeñas altitudes que terminan por hundirse en los materiales terciarios de la tierra llana.

El sur de la provincia se corresponde con una llanura inclinada, en la que su parte más elevada la constituye la Campiña, con una zona próxima al litoral



formada por las marismas. Dentro de esta se encuentra el punto de menor altitud de la provincia, la Laguna del Portil con 0 m.

Más de la mitad de la superficie provincial tiene alturas inferiores a los 200 m, aumentando de forma regular hasta llegar cerca de los 1000 m. observándose claramente en el esquema de la figura 9.

Desde el punto de vista geológico, en la Comarca más al norte, la Sierra, se encuentran los materiales más antiguos de toda la provincia, pertenecientes al Cámbrico, y donde se observan dos tipos de formaciones, unas de origen volcánico y otras sedimentarias.

Las formaciones hipogénicas están constituidas por granitos, dioritas y vulcanitas. Las sedimentarias las constituyen, entre otras, calizas y pizarras. En el resto de la superficie comarcal predominan pizarras arcillosas del post-cámbrico sobre otras del devónico superior.

La Comarca del Andévalo, en su parte occidental, pertenece casi totalmente al periodo Carbonífero, con formaciones de pizarras y grauwacas. También aparecen en algunas zonas formaciones pizarrosas del devónico superior, entre las que afloran rocas

volcánicas, riolitas y doleritas.

La zona oriental de esta Comarca, puede considerarse una prolongación de la occidental, aunque de rocas hipogénicas con predominio de las vulcanitas.

En la Comarca Campiña-Litoral, se reparten de norte a sur las siguientes unidades fisiográficas: El Macizo Hercínico, la Depresión Bética, el Plioceno Continental y las Marismas. El Macizo Hercínico constituido por materiales del Paleozoico, muestra un relieve agresivo y joven, determinado por el profundo encauzamiento de los afluentes del río Tinto en su margen derecha, dado el bajo nivel de base de este río.

La estratificación de la unidad geomorfológica denominada Depresión Bética, se inicia en los depósitos del Herveciense en el Mioceno de base y continúa el relleno de los depósitos de margas azules del Tortoniense. A lo largo de la depresión y en los bordes de la misma, los niveles del Tortoniense Superior se yuxtaponen con los depósitos de arenas y areniscas, más o menos margosas y con elementos calizos del Mioceno Saheliense.

El Plioceno Continental, constituye un enorme glacis de depósito del Plioceno sobre arenas del Saheliense. TERRERO (1952) data este glacis en el

Cuaternario y lo califica como diluvial. Trabajos más recientes de hidrogeólogos de la FAO han permitido localizar la extensión de tales terrenos y trazan, de alguna manera, la historia geológica de la comarca. En los cursos de algunos arroyos, estos depósitos pliocénicos han sido arrastrados, apareciendo los depósitos del Saheliense de arenas y areniscas más o menos calcáreas.

Así, desde Huelva hasta Paterna se suceden de SW a NE un rosario de colinas pliocénicas, que no superan los 200 m (figura 9), dominando pequeñas depresiones invadidas generalmente de viñas. Al sur de estas colinas Pliocénicas volvemos a encontrarnos con el mismo paisaje de pequeñas ondulaciones cada vez menos acusadas a medida que se aproximan al litoral con la transición de la marisma, que según FIGUEROA y RUBIO (1981) están constituidas por depósitos de sedimentos aluviales, aportados durante el Holoceno y el Pleistoceno, los primeros de material indiferenciados y los segundos formando terrazas arenosas.

El litoral es una formación reciente, constituida por terrenos aluviales y en continua evolución, que sólo en un siglo ha cambiado totalmente su fisonomía. La larga playa de un centenar de kilómetros, es rectilínea y se encuentra bordeada por un cordón de dunas consolidadas de modo diferente que, por otra parte, es el único

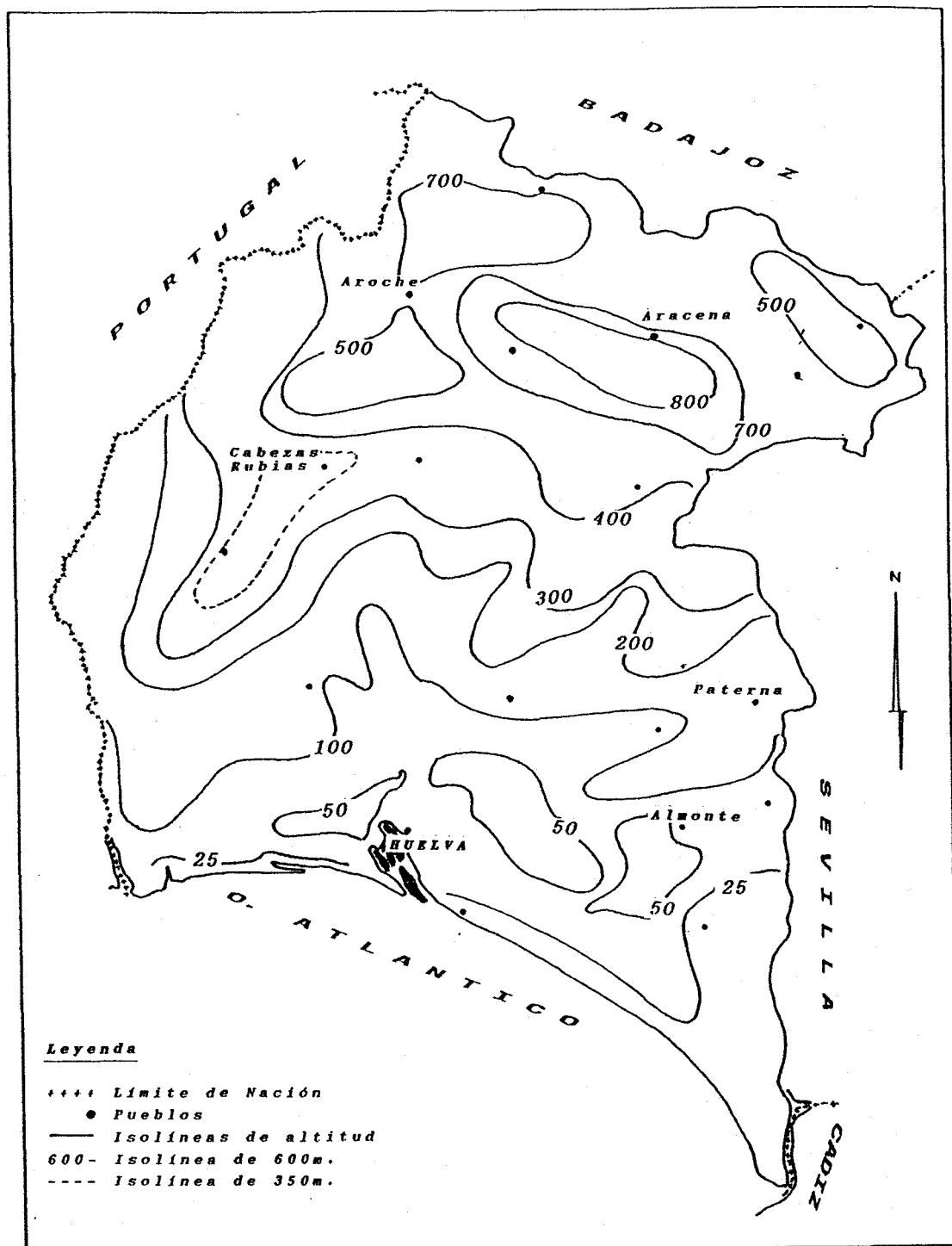


Fig. 9.- Esquema general de isolíneas de altitud de la Provincia de Huelva.

accidente relevante en varios kilómetros hacia el interior. Puede decirse que la curva de los 30 m se sitúa a más de 15 km del litoral (figura 9).

## II.1.2. ASPECTOS CLIMATICOS, HIDROGRAFIA Y SUELOS

Climatológicamente, la provincia de Huelva está situada dentro del dominio templado cálido subtropical de las costas occidentales o mediterráneas, exceptuando dos áreas: El litoral atlántico, donde el clima se puede clasificar como Mediterráneo Marítimo y un pequeño enclave situado en la Comarca de la Sierra donde predominantemente es Mediterráneo Continental templado.

En general, toda la provincia se caracteriza por poseer un régimen térmico suave, donde la temperatura media anual no suele descender de los 15-18°C, e incluso puede alcanzar los 21 °C de media en comarcas resguardadas de las corrientes marinas septentrionales.

Las altitudes más elevadas de la Sierra de Aracena o de las zonas más abrigadas del litoral, al suroeste, pueden modificar algo los datos generales. El rasgo más significativo del clima de la región es la alternancia de una larga estación seca y cálida con otra lluviosa y suave, rasgo típico del clima mediterráneo, como se puede observar en los diagramas de termoyetas de cuatro

estaciones meteorológicas representativas de las distintas comarcas, (figura 10), realizada con los valores medios mensuales de lluvias y temperaturas según datos del Instituto Nacional de Investigación Agraria, siendo la cantidad media anual de lluvia caída durante los últimos 21 años de 444 mm. y 70 días de lluvia.

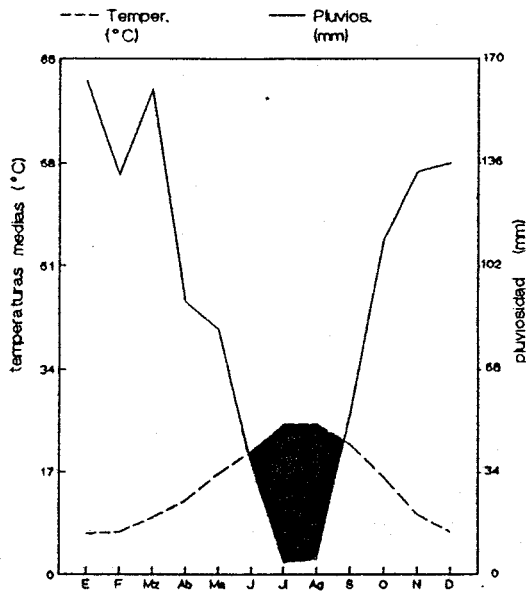
En la figura 11 se presenta una distribución de isolíneas de precipitaciones medias en las distintas zonas de la provincia de Huelva.

Lo que mejor ilustra al clima de la provincia es el gran contraste entre la estación lluviosa y la seca. En el verano, el calor es fuerte exceptuando el litoral, y la mayoría de las riveras están secas o reducidas a simples hilos de agua. En invierno, por el contrario, el agua forma numerosos regueros y minúsculas lagunas en las zonas más bajas de los campos.

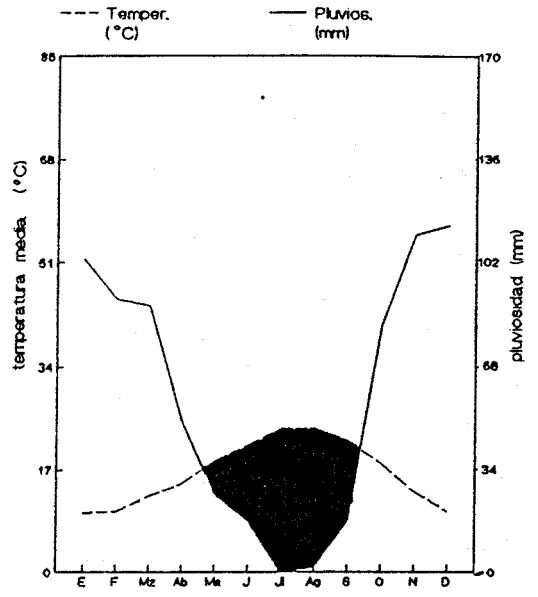
La temperatura media anual está comprendida entre 16 °C y 19 °C, la media de los meses más fríos es de 11 °C y la de los más cálidos de 25 °C.

El clima, pues, de la provincia de Huelva, según los distintos factores generales y microclimáticos presenta una variedad más o menos diferenciada por Comarcas, aunque con carácter general en la figura 10 se

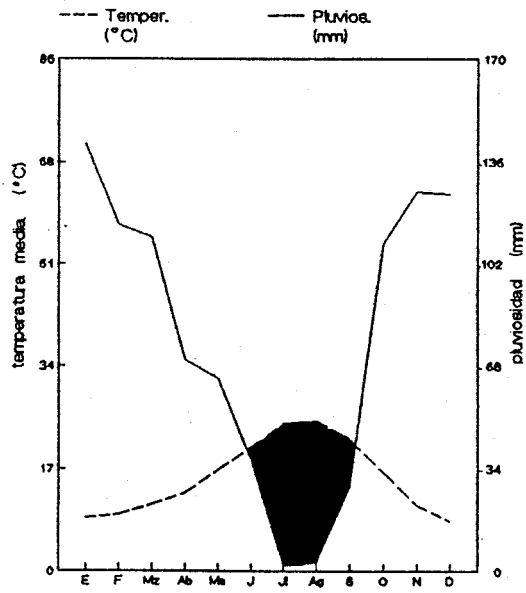
Estacion de Aracena



Estacion de Almonte-Abalarlo



Estacion de Cabezas Rublas



Estacion de Huelva

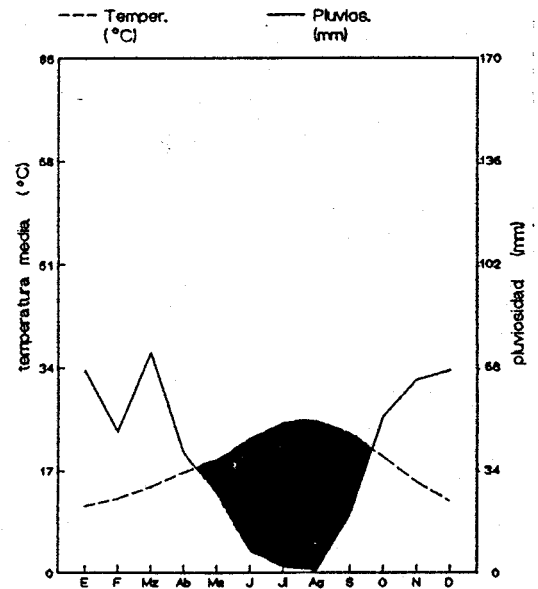


Fig. 10.- Termoyetas de cuatro estaciones en zonas climáticas representativas de la Provincia.

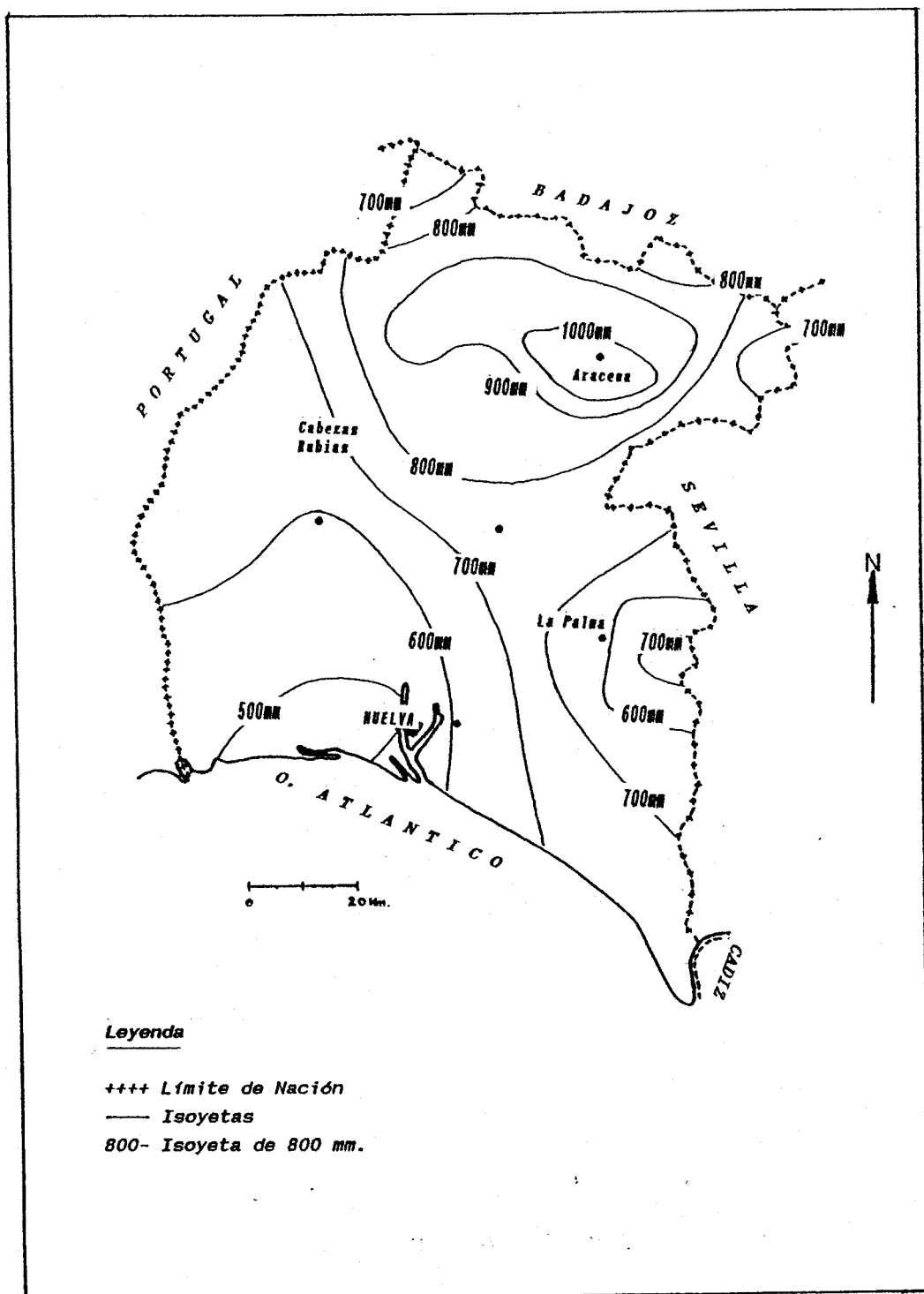


Fig. 11.- Mapa de isoyetas de la Provincia de Huelva  
(fuente: mapa de cultivos de la Provincia de H.)



puede observar un mínimo hídrico muy acusado en los meses de julio y agosto, siendo los aportes nulos, prácticamente, a partir de junio.

Dentro del zonado propuesto, tenemos dos ambitos claramente definidos: La Campiña-litoral con un clima mediterráneo marítimo y la Sierra con un tipo de clima subtropical. El Andévalo, como sector de transición, pertenece a una zona templada.

TABLA. F

VALORES MEDIOS Y TOTALES DE ALGUNAS VARIABLES CLIMATICAS

ZONAS CLIMATICAS	ESTACIONES	A	$\bar{T}$	$t_m$	$\bar{t}$	Pt	$\bar{I}_h$
Sierra	Aracena	731	20.6	14.8	9	1104	1.41
Andévalo	Cabez.R.	225	22.8	15.6	8.4	932	1.14
	Abalarío	65	23	16.5	10	699	0.83
Camp-litor.	Huelva	26	23.8	18	12.3	465	0.50

A=altitud(m);  $\bar{T}$ =temp.media máxima anual;  $t_m$ =temp.media  
 $\bar{t}$ =temp.media mínima anual; Pt=pluv.total anual;  $I_h$ =índice de Thornthwite

Haciendo un estudio comparativo con carácter mensual, las precipitaciones mínimas se concentran en el mes de julio con 0 mm. en la estación de Abalarío (Almonte) y la máxima se presenta en este mismo mes en la estación de Aracena con 4 mm. La temperatura máxima está igualmente

ligada al mes de julio, siendo la estación de Cabezas Rubias, en el Andévalo, la que tiene una máxima media mensual con 35,3 °C y la mínima media en la estación de Aracena, zona de la Sierra, con 3 °C en el mes de Enero, lo que denota una banda en el centro de la provincia fuera de la influencia del Océano con altitudes menores que en la Sierra. El índice de Thornthwite nos da una clara visión general de todo ello (tabla. F).

En cuanto a las precipitaciones, se puede observar en los histogramas de frecuencia (figura 12), la distribución de la pluviosidad media recogida por las estaciones representativas de las diferentes Comarcas a lo largo del año y su relación con los días de lluvia. La estación de Aracena recoge una mayor cantidad de agua con relación a los días de lluvia mientras que la de Huelva, el otro extremo, el agua recogida está más repartida y en menor cantidad, con una variación regular entre estos extremos.

El periodo pluvial, se concentra en dos máximos, uno a final de otoño principio de invierno - noviembre, diciembre, enero- y el segundo, en algunos casos más intenso, en marzo.

En cuanto a la red hidrográfica, la mayor parte de los ríos y riveras nacen en la Sierra y se encajan

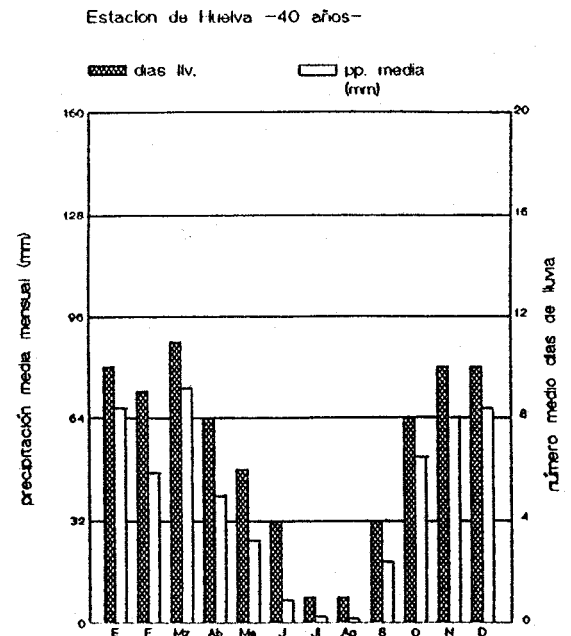
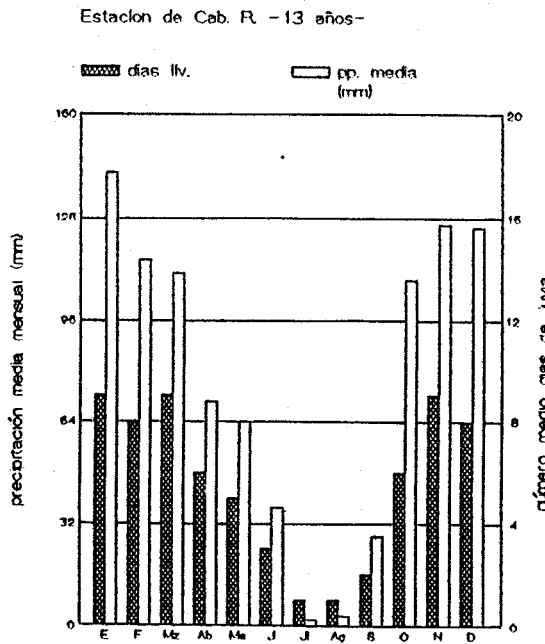
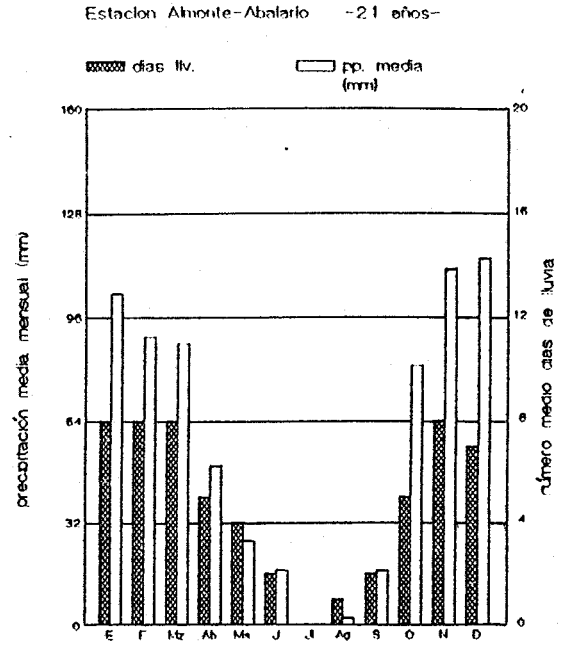
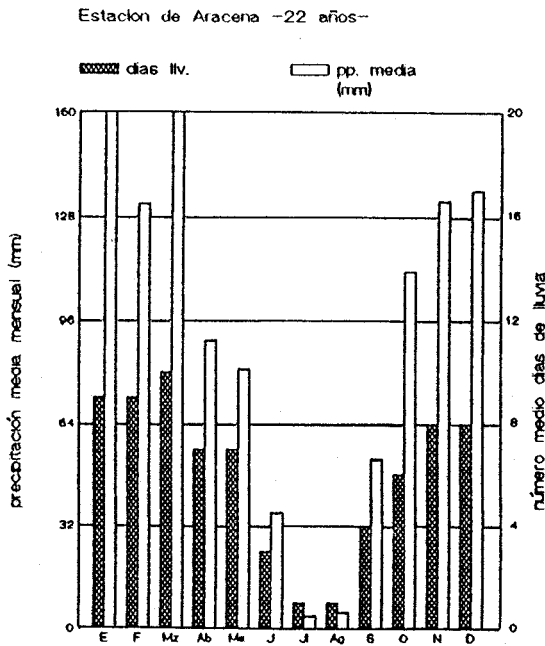


Fig. 12.- Histogramas de pluviosidad en cuatro estacio-  
representativas de la Prov. de Huelva (los datos  
se han tomado de I.N.I.A., 1977).

profundamente en las estribaciones montañosas para inundar posteriormente la marisma. En la Comarca de la Sierra están ubicadas las divisorias de las cuencas del Guadiana, Guadalquivir y Odiel, con cursos de agua y corrientes de régimen estacional en función de la pluviometría.

La parte occidental del Andévalo queda enclavada dentro de las cuencas del Odiel por el este y la rivera del Chanza por el oeste. Toda esta Comarca soporta una falta de acuíferos importantes, mientras que la Campiña ofrece grandes posibilidades de afloramientos subterráneos.

Las influencias climáticas, litológica y geomorfología condicionan los procesos de meteorización y edafización de los suelos, modificando o reforzando la incidencia de dichos agentes, la vegetación y la acción antrópica.

En cuanto a los factores del clima, podemos establecer que los suelos de la provincia de Huelva presentan un régimen térmico Termic y un régimen de humedad Xéric.

La litología ha influido de forma notable (figura 13), estableciendo dos zonas diferenciadas: De una parte, los sedimentos carboníferos y devónicos junto a las incrustaciones de rocas ácidas y volcánicas, configuran las Comarcas de la Sierra y el Andévalo. Los suelos poco

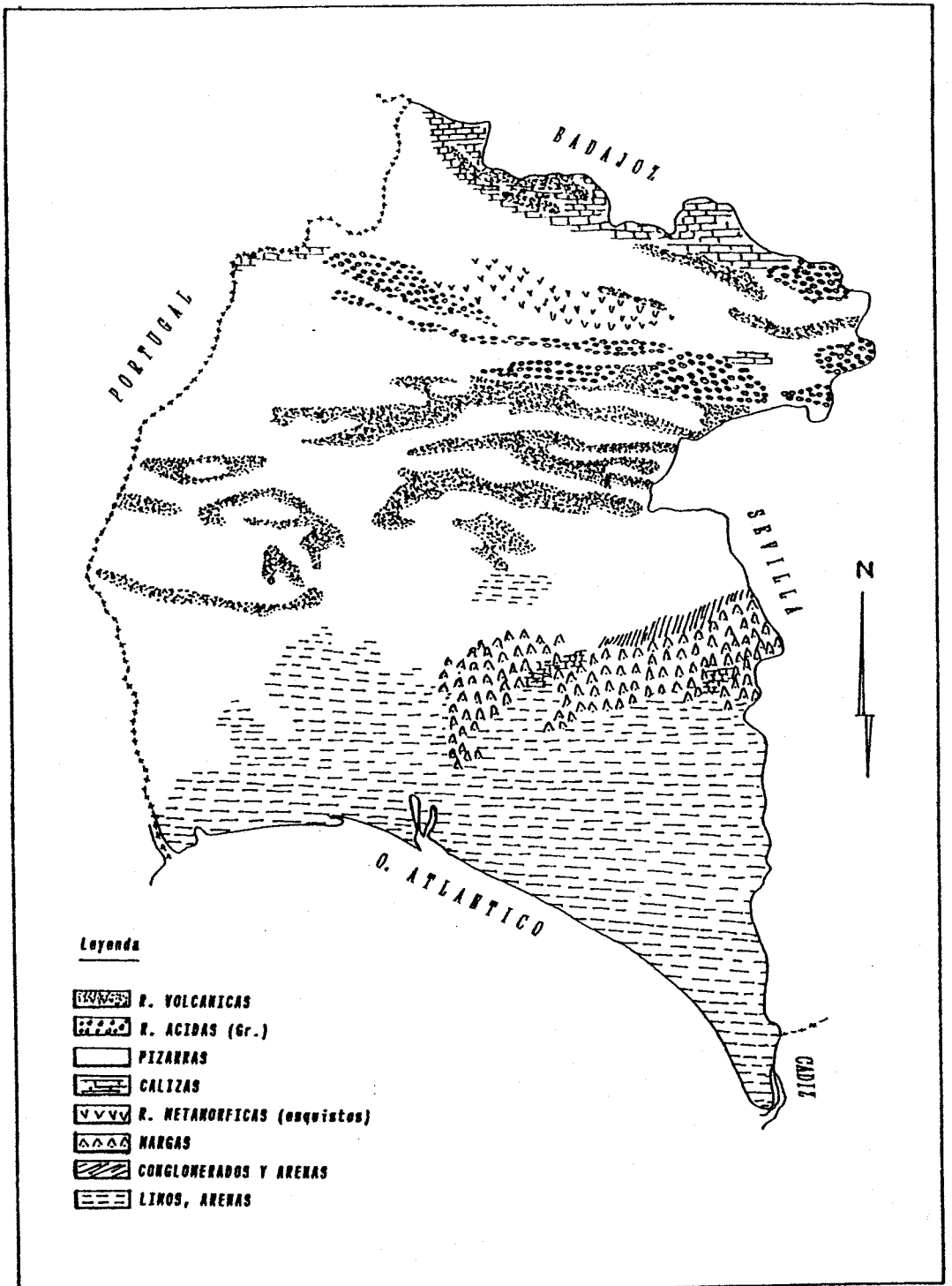


Fig. 13.- Esquema litológico de la Provincia de Huelva.

profundos corresponden a las zonas más escarpadas, siendo los más evolucionados los que se sitúan en zonas de escasa pendiente. De otra, los sedimentos terciarios y cuaternarios, que han dado origen a una amplia variedad de suelos, se extienden en el tercio más meridional coincidiendo con la zona de Campiña-litoral, donde ha sido necesario tomar una mayor cantidad de muestras como ya se puso de manifiesto anteriormente.

La geomorfología, con su diversidad de posiciones fisiográficas, matiza la monotonía de las series geológicas.

Casi con carácter general las coloraciones del horizonte superior de los suelos son claras, dando lugar a una preponderancia neta de los epipedones óchricos sobre todos los demás. Entre los horizontes subsuperficiales el más frecuente es el tipo (B), Cábico estructural, sintomático del inicio del desarrollo de los suelos, siendo usual que se llegue a encontrar, incluso, un horizonte tipo Bt de acumulación de arcillas iluviadas.

En las áreas margosas miocénicas, situadas al sur del río Corumbel, afluente del Tinto, aparecen suelos en los que el alto porcentaje de arcilla y la mineralogía de la misma le confieren un marcado carácter vértico, presentando perfiles del tipo: A,(B),C o Ap,Bg,C sin una

transición clara entre los A y los B.

De acuerdo con la nomenclatura de suelos recogidas en la clasificación genética elaborada por el Dpto. de Agricultura de EE.UU. (1975) "A Basic System of soil classification for Marking and interpreting soil surveys", encontramos en la provincia de Huelva suelos pertenecientes a los órdenes Inceptisols, Alfisols, Vertisols y Entisols cuya contribución se refleja en el mapa de la figura 14.

El orden Inceptisols, se encuentra ampliamente representado en la provincia. Se trata de suelos con un incipiente desarrollo edáfico que sólo ha permitido desarrollar un horizonte (B), que unido al tipo de clima Xeric, común a la casi generalidad de los suelos, determina que dentro de este orden el gran grupo sea de los Xerochrepts. Asimismo, su grado intermedio de desarrollo entre Entisols y Alfisols hace que grandes áreas se asocien al orden anterior.

En la Comarca del Andévalo, los suelos presentes formados por pizarras y grauwacas carboníferas y devónicas, presentan una catena de ellos dependiendo, fundamentalmente, de la posición fisiográfica y la dureza de la roca, en la que junto a suelos profundos, desarrollados con claras muestras de iluviación de

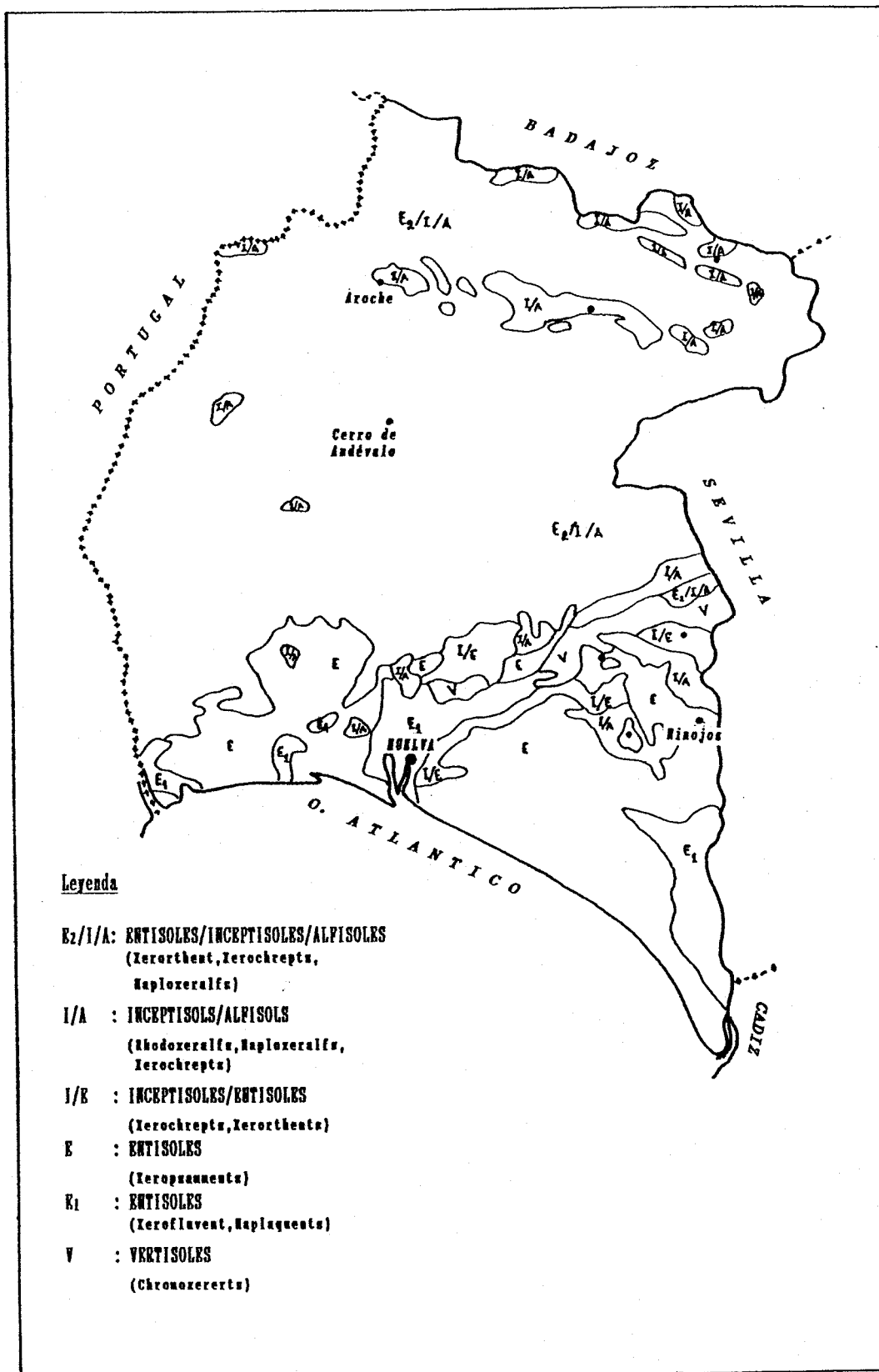


Fig. 14.- Esquema edafológico de la Provincia de Huelva.  
(fuente: mapa de cultivos y aprovechamientos de  
la Prov. de Huelva. M<sup>o</sup> de Agricul.)



arcillas, aparecen otros suelos brutos, productos de procesos erosivos, encontrándose asociaciones Entisols-Inceptisols y Alfisols con predominio de los Inceptisols sobre los otros órdenes.

Dentro de esta amplia área, que prácticamente ocupa los dos tercios de la provincia, aparecen con cierta frecuencia núcleos de suelos más profundos, generalmente más desarrollados, llegando a presentar rubefaciones en el horizonte Bt, producto de la liberación de óxidos de hierro. Son suelos formados sobre rocas volcánicas o ácidas de grano grueso, con pH ligeramente ácido y de textura muy variable, desde franco arenosa a arcillosa.

El área sur de la provincia, ocupada por la Campiña-litoral, presenta una mayor diversidad de suelos, encontrándose desde Vertisols, formados sobre las margas Miocénicas a los Entisols de dunas y marismas, los Inceptisols de areniscas y arcillas miocénicas y Alfisols de las áreas volcánicas. A nivel de grandes grupos, la asociación más frecuente es la de Rhodoxeralfs, Haploxeralfs, Xerochrepts. En general, son suelos neutros o ligeramente básicos, con texturas franca.

El orden Vertisols se encuentra representado por el gran grupo de los Chromoxererts, son suelos aptos para cultivos variados, su alto contenido en arcilla hace

que presente problemas para determinadas labores cuando el drenaje superficial se encuentra restringido.

Los Entisols que comprenden suelos sin un desarrollo edáfico, tienen también una amplia representación en esta Comarca del sur provincial, se encuentran en cuatro grandes grupos: Xerorthents, Xeropsamments, Xerofluvents y Haplaquents. Los Xeropsamments, Entisols de clima Xeric, con alto porcentaje de arena, se extienden por las amplias zonas ocupadas por arenales y dunas. Los Xerofluvents se localizan en las riberas de los ríos, siendo frecuente en las áreas de marismas la asociación Xerofluvents con los Haplaquents, suelos siempre inundados, siendo su contenido salino muy alto y su drenaje lento y laborioso.

### II.1.3. DESCRIPCION DE LOS PERFILES

Las descripciones de los perfiles han sido facilitadas por la sección de cartografía de suelos del Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (MUDARRA et al., 1981 y 1986). Se ha utilizado la sistemática americana según Soil Survey Staff (1975) y la guía editada por la F.A.O. (1977), con pequeñas modificaciones. Dichas descripciones se exponen en esta memoria con la nomenclatura en orden consecutivo de su extensión numérica.

## PERFIL SP-1

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Santa Olalla, Km. 421,1 carretera Sevilla  
Mérida.

Latitud: 37° 52' 30" N

Longitud: 6° 12' 20" W

Altitud: 480 m.

Posición fisiográfica: Lomas

Forma del terreno: Suavemente ondulada.

Pendiente: 10-15%

Vegetación natural: Quercus suber.

Uso: Dehesa

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: PIZARRAS

Drenaje: Muy bueno

Pedregosidad: Clase I

Erosión: Fuerte

Clasificación: TYPIC XEROCHREPT

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A <sub>1</sub>	0-2cm	Limoso; estruct. granulosa fina; moderadamente desarrollada y algo fibrosa; friable; porosa; permeable; no calizo; orgánico o moderadamente orgánico; hojas secas y raíces en descomposición más humus Mull ácido de color 10

		YR 3/4; buena actividad biológica; raíces finas abundantes; límite claro y ondulado.
A2	2-20cm	(7.5 YR 4/4); limoso; estructura grumosa, media y poliédrica subangular fina; moderadamente desarrollada; friable; poroso fino permeable; no calizo, ligeramente orgánico; raíces medias y gruesas de dirección horizontal dominante; actividad biológica media; límite difuso y ondulado.
B/C1	20-50cm	(5 YR 5/6); limoso; estructura poliédrica subangular media, se encuentra moderadamente desarr.; algo firme; algo poroso; permeable; no calizo; existen trozos de pizarra alterada grises y rojizas; límite difuso e irregular.
Ci	50-+cm	Pizarra alterada de color gris y rojiza.

## PERFIL SP-2

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Carretera de Gil Márquez a Valdelamusa  
(Almonaster).

Latitud: 37° 50'30" N

Longitud: 6° 51' 40" W

Altitud: 420 m.

Posición fisiográfica: Sierra

Forma del terreno: Fuertemente ondulado

Pendiente: 30-35%

Vegetación natural: Jaras, brezos, jaguarzos.

Uso: Dehesa

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: PIZARRAS

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: Trozos arrastrados de rocas.

Erosión: Fuerte.

Clasificación: ULTIC PALEXERALF

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripcion
A1	0-15cm	(5 YR 4/2 ); limo arcillo arenoso; grumoso fino, ligeramente desarrollado; muy enraizado; restos de hojas en la superficie; permeable; poroso; límite difuso.

- A(B) 15-60cm (5 YR 4/2 ); limo arcillo arenoso; grumoso medio, moderadamente desarrollado; friable; poroso; rico en cavidades de raíces y de animales; permeable; moderadamente orgánico; buena actividad biológica; límite gradual y ondulado; abundantes trozos de rocas.
- 2B<sub>1</sub> 60-75cm (5 YR 4/8); arcilloso grumosa; estructura poliédrica subangular media; moderadamente desarrollado; algo friable; compacto; medianamente permeable; escasa o nula actividad biológica; límite difuso.
- 2B<sub>2</sub> 75-165cm (2.5 YR 4/6-5/6); arcilloso; estructura poliédrica media; moderadamente desarrollado; granular grueso; firme; compacto; algo húmedo y algo plástico; algo adhesivo; medianamente permeable; límite difuso.
- 2B<sub>3</sub> /C 165-+cm Abigarrado; difuso; (7.5 YR 5/4 -4/4); arcilloso; macizo; compacto; algo plástico y adhesivo; pequeños nódulos ferruginosos.

Los horizontes B<sub>2</sub> y B<sub>3</sub> presentan brillo céreo en los casos de los agregados. Probablemente "CLAY SKINA".

## PERFIL SG-3

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Finca "El Coto", Km. 30-31 de la  
carretera Aracena-Huelva.

Latitud: 37° 50' 10" N

Longitud: 6° 34' 11" W

Altitud: 580-600 m.

Posición estratigráfica: Colinas.

Forma del terreno: Suavemente ondulado.

Pendiente: 3-5%

Vegetación natural: Quercus ilex, Miltus comunis,  
Filirea angustifolia, Cistus  
ladaniferus, Cistus monspeliensis,  
Romanus officinalis, Genistas  
fracantus, Erica sp.

Uso: Monte bajo.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: GRANITO.

Drenaje: Bien drenado.

Pedregosidad: Excesivamente pedregoso y muy rocoso.

Erosión: Hídrica moderada.

Clasificación: LITHIC XEROCHREPT

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ao	0-3cm	Pardo grisáceo (10 YR 5/2) en seco; arenoso franco; estructura migajosa fina a particular; moderadamente desarrollada;

friable en húmedo; suelto en seco; con muy abundantes poros finos; abundantes raíces y muy finas; buena actividad biológica; límite neto.

- A1            3-15cm      Pardo oscuro ( 10 YR 3/3) en seco; arenoso franco; estructura migajosa fina, moderadamente desarrollada; friable en húmedo; suelto en seco; abundantes poros finos y medianos; con abundantes raíces finas y medianas; buena actividad biológica; límite gradual.
- B            15-50cm      Pardo oscuro a pardo fuerte (7.5 YR 4/4-5/6); franco arenoso; estructura migajosa media, moderadamente desarrollada; friable en húmedo; con abundantes poros finos; abundantes raíces finas; actividad biológica moderada; límite abrupto.
- R                              Granito grís.



## PERFIL SG-4

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Cala

Latitud: 37° 53' 20" N

Longitud: 6° 18' 40" W

Altitud: 620 m.

Posición fisiográfica: Zona llana.

Forma del terreno: Ligeramente inclinado.

Pendiente: 0-1%

Vegetación natural: Gramíneas compuestas.

Uso: Prado abierto.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: GRANITOS Y METAMORFICAS DE CONTACTO.

Drenaje: grado 4

Pedregosidad: No existe

Erosión: Hídrica ligera.

Clasificación: TYPIC XEROCHREPT (suelo pardo ácido)

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripcion
A <sub>1</sub>	0-15cm	( 10 YR 5/4) en seco (7.5 YR 3/2) en húmedo; franco arenoso; estructura migajosa; fino; moderadamente desarrollada; consistencia media; muy friable en húmedo y suelto en seco; abundantes poros finos; raices

abundantes muy finas; actividad biológica buena; reacción no caliza; límite neto.

- B<sub>1</sub> 15-30cm (7.5 YR 5/6 + 4/4) en seco; (5 YR 3/4) en húmedo; franco arenoso; estructura en bloques y migajosa; consistencia media con ligeras adherencias; no plástico; friable en húmedo; ligeramente duro en seco; abundantes poros medianos y cavidades gruesas; pocas raíces; buena actividad biológica; no presenta reacción caliza ni concreciones; límite difuso.
- B<sub>2</sub> 30-50cm (7.5 YR 5/6) en seco; (7.5 YR 4/4) en húmedo; franco arenoso; estructura en bloque y migajosa; consistencia media con ligeras adherencias; plástico; friable en húmedo; ligeramente duro en seco; abundantes poros medianos y cavidades gruesas; pocas raíces; buena actividad biológica; no presenta reacción caliza ni concreciones; límite gradual.
- BC 50-+cm (7.5 YR 5/6) en seco; (7.5 YR 4/4) en húmedo; franco arenoso (arena más gruesa); estructura masiva con bloques subangulares; consistencia media con adherencias; friable en húmedo, ligeramente duro en seco; abundantes poros finos; muy pocas raíces; actividad biológica media; no presenta reacción caliza ni concreciones; abundantes nódulos ferruginosos procedentes de la alteración de la roca y puntos silíceos.
- R Roca algo alterada.

## PERFIL SG-5

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Carretera Sevilla a Portugal, km 88,5.  
Término de Aroche (Huelva).

Latitud: 37° 56' 43" N

Longitud: 6° 52' 42" W

Altitud: 460 m.

Posición fisiográfica:

Forma del terreno: Fuertemente ondulado.

Pendiente: 25%

Vegetación natural: Retamas (*Spartium junceum*);  
jaguarzo (*Cistus monpehliensis*),  
*Cistus crispus*; *Genista* sp;  
*Filirea angustifolia*; *Quercus*  
*ilex* y *Quercus suber*.

Uso: Dehesa de encinas

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: GRANODIORITA

Drenaje: Externo bueno; interno bueno.

Pedregosidad: Grado 2

Erosión: Ligera.

Clasificación: MOLLIC HAPLOXERALF

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ao	0-2cm	Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); franco arcillo arenoso; estructura migajosa gruesa; friable; abundantes poros finos;

abundantes raíces finas; actividad biológica muy buena; reacción no caliza; abundantes desechos vegetales en descomposición.

- A<sub>1</sub>            2-10cm.    Pardo oscuro (7.5 YR 3/2); franco arcillo arenoso; estructura migajosa gruesa moderada a fuertemente moderada; friable; buena porosidad; no calizo; buena actividad biológica.
- B<sub>2t</sub>            10-55cm.   Pardo a pardo oscuro (7.5 YR 4/2); arcillosa; firme; consistencia plástica y adhesiva; algunos poros medianos; actividad biológica escasa; no presenta reacción caliza.
- B<sub>3t</sub>            55-70cm.   Pardo a pardo oscuro (7.5 YR 4/4); franco arcillo arenoso.
- C(R)            70-+cm.    Pardo fuerte (7.5 YR 5/6); granodiorita alterada con micácea fácilmente desmoronable.

## PERFIL SG-6

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Camino del Alamo a Maribarba. Término de Aroche (Huelva).

Latitud: 37° 57' 24" N

Longitud: 6° 55' 20" W

Altitud: 300 m.

Posición fisiográfica: Colinas

Forma del terreno: Suavemente ondulado.

Pendiente: 3%

Vegetación natural: Cistus crispus; Genista sp.; Lavándula; Compuestas: Gramíneas, leguminosas, Quercus ilex.

Uso: Dehesa cultivada de cereal y leguminosa.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: COLUVIAL DE ROCAS IGNEAS SOBRE GRANITO

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: Grado 0

Erosión: Laminar muy ligera.

Clasificación: TYPIC HAPLOXERALF.

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ap	0-12cm	Pardo rojizo (2.5 YR 4/4); arenoso franco; estructura grumosa fina y media moderadamente desarrollada; dura y frágil en seco; muy friable en húmedo; poros

muy finos abundantes y frecuentes poros gruesos; buena actividad biológica; frecuentes raíces finas y medianas; no calizo; límite neto

- A3            12-37cm      Pardo rojizo claro (2.5 YR 4/4); franco arenoso; estructura grumosa fina poco desarrollada; algo dura y frágil en seco; friable en húmedo; abundantes poros finos y algunos poros gruesos aislados; actividad biológica escasa o mediana; frecuentes raíces finas y algunas raíces gruesas aisladas; no calizo; límite gradual.
- B2t           37-60cm      Pardo amarillento (10 YR 5/6); arcillo arenoso; estructura poliédrica subangular gruesa; ligeramente desarrollada; algo dura en seco; friable en húmedo; ligeramente plástica y adhesiva; poros finos frecuentes y gruesos aislados; actividad biológica muy ligera; frecuentes raíces medianas a finas no uniformemente repartidas; no calizo; límite gradual.
- B3            60-72cm      Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4); franco arenoso; estructura poliédrica gruesa moderadamente desarrollada; dura en seco; friable en húmedo; frecuentes poros finos; límite gradual.
- C             72-+cm       Pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4); franco arenoso; estructura masiva a poliédrica gruesa; ligeramente desarrollada; muy dura en seco; frecuentes poros finos; actividad biológica nula.

## PERFIL SV-7

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Carretera Cumbres Mayores a Cumbres de en Medio, km. 2.5.

Latitud: 38° 04' 20" N

Longitud: 6° 40' 21" W

Altitud: 620 m.

Posición fisiográfica: Ladera con caída suave.

Forma del terreno: Ligeramente inclinado.

Pendiente: 5%

Vegetación natural: Pastos.

Uso: alimentación del ganado

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: VULCANITAS.

Drenaje: Moderadamente bien drenado.

Pedregosidad: Moderadamente pedregoso.

Erosión: Ligera hídrica.

Clasificación: TYPIC XEROCHREPTS.

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ap	0-25cm	Pardo amarillento (10 YR 5/4) en seco; pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; arcillo limoso; estructura poliédrica subangular fina; medianamente desarrollada; friable en húmedo; duro en seco; abundantes poros finos y muy abundantes raíces

finas y medianas; actividad biológica buena; frecuentes gravas finas; límite difuso.

B            25-50cm      Pardo amarillento (10 YR 5/4) en seco; pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en húmedo; arcillo limoso; estructura poliédrica; medianamente desarrollada; friable en húmedo; duro en seco; frecuentes poros finos y medianos; abundantes raíces finas; actividad biológica buena; abundantes gravillas; límite gradual.

BC           50-75cm      Pardo amarillento (10 YR 5/6) en seco; pardo oscuro (7.5 YR 4/4) en húmedo; franco arcillo arenoso; estructura poliédrica gruesa; moderadamente desarrollada; friable en húmedo; duro en seco; escasos poros finos; no se observan raíces; concreciones ferruginosas (hidromorfismo) muy abundante; límite irregular.



## PERFIL AS-8

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Finca "Las Mesas" en Gibraleón.

Latitud: 37° 27' 00" N

Longitud: 7° 01' 00" W

Altitud: 120 m.

Posición fisiográfica: Terraza alta

Forma del terreno: Suavemente ondulado a ondulado.

Pendiente: 8-10%

Vegetación natural: Ladaniferus, genista, jaguarzo.

Uso: Dehesa

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: SEDIMENTOS DE TERRAZA ANTIGUA

Drenaje: Bueno

Pedregosidad: Gravas y gravillas en gran cantidad en superficie.

Erosión: Fuerte.

Clasificación: PALEXERALF ( fase pedregosa)

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A <sub>1</sub>	0-15cm	Pardo claro (7.5 YR 6/4) en seco; arenoso con gravillas y gravas; estructura particular fina y gruesa; poco desarrollada; poca consistencia y dura; muy poroso; permeable; reacción no caliza; poca materia orgánica; algunas raíces gruesas y medias aisladas; límite claro irregular.

- Bt1      15-90cm      Rojo (2.5 YR 4/6) en seco; arenoso gruesa con gravillas; estructura masiva en el perfil; consistencia granular muy dura; algo poroso y permeabilidad media; reacción no caliza; algunas raices gruesas aisladas; siendo las zonas de mejor percolación.
- Bt2      90-120cm      Color similar al horizonte anterior pero más abigarrado; arenoso con gran cantidad de gravas; todos los demás parámetros son iguales al horizonte anterior.

## PERFIL AS-9

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Finca "Los Tariquejos" -Villanueva de los Castillejos-.

Latitud: 37° 18' 39" N

Longitud: 7° 10' 00" W

Altitud: 35 m.

Posición fisiográfica: Terraza

Forma del terreno: Muy suave, ondulado casi llano

Pendiente: 3-4%

Vegetación natural: Cardos, palmitos.

Uso: Dehesa

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: SEDIMENTOS DE TERRAZA ANTIGUA.

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: Abundantes gravillas en el horizonte A

Erosión: Ligera.

Clasificación: HAPLOXERALF ACUICO (fase de gravas)

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A <sub>1</sub>	0-15cm	Pardo gris (10 YR 5/2); arenoso; estructura particular; muy friable; poroso; permeable; reacción no caliza; algunas raíces medias; límite claro y regular

- C            15-25cm      Pardo muy palido (10 YR 7/3); arenoso; estructura particular; muy friable suelto; poroso; permeable; no calizo; actividad biológica mala; límite claro e irregular.
- 2Bg1        25-50cm      Rojo ( 2.5 YR 4/6); arcillo arenoso; estructura poliédrica subangular; consistencia firme; algo poroso; permeabilidad media; no calizo; manchas grises; color abigarrado rojo y gris predominando el primero; límite difuso.
- 2Bg2        50-+cm      Color abigarrado de gris y rojo, predominando el primero; arcillo arenoso estructura poliédrica subangular; consistencia firme; algo poroso; poco permeable; no calizo; manchas grises.

## PERFIL AR-10

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Estación Cerro de Andévalo, carretera Los Silos-Cerro de Andévalo, km 4.

Latitud: 37° 42' 57" N.

Longitud: 6° 53' 36" W.

Altitud: 200 m.

Posición fisiográfica: Ladera con caída suave.

Forma del terreno: Suavemente inclinado.

Pendiente: 5-8%

Vegetación natural: Maquia de *Cistus ladaniferus*,  
*Ulex* sp.

Uso: No

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: RIOLITAS CON VETAS DE CUARCITA

Drenaje: Clase 5

Erosión: Hídrica 1, moderada

Pedregosidad: Clase 5

Clasificación: LITHIC RUPTIC-XERORTHENTIC XEROCHREPTS

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A <sub>1</sub>	0-5cm	Pardo grisáceo (10 YR 5/2) en seco; pardo grisáceo oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; franco; estructura migajosa y bien desarrollada; muy friable en húmedo; suelta en seco; abundantes poros muy finos; continuos e

instersticios y cavidades  
radiculares finos; abundantes  
raíces muy finas; actividad  
biológica moderada; no presenta  
concreciones; límite neto y disc.

A3            5-15cm        Rosado ( 7,5 YR 7/4) en  
seco; franco; estructura  
poliédrica subangular; moderada a  
fina y ligeramente desarrollada;  
friable en húmedo; duro y frágil  
en seco; abundantes poros muy  
finos; frecuentes raíces muy  
finas; actividad biológica  
apreciable y discontinua; límite  
abrupto; presenta frecuentes  
trozos de roca; ligeramente  
alterada de tamaño pequeño a  
mediano; dura y frágil.

R-+           15-+cm        Roca consolidada (Riolitas) de  
color blanco verdoso con manchas  
ocres, pardo rojizo de óxidos,  
acompañada de vetas de cuarcita  
cristalina y pura.

## PERFIL AG-11

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Dehesa "Dos Hermanas"

Latitud: 37° 46' 05" N

Longitud: 7° 08' 30" W

Altitud: 270 m.

Posición fisiográfica: Lomas

Forma del terreno: Suavemente alomado

Pendiente: 2-3%

Vegetación natural: Cistus ladaníferus; Cistus  
monpeliensis; Lavándula  
stoechas; Dilex sotobosque.

Uso: Dehesa de pasto.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: ROCA INTRUSIVA

Drenaje: Buen drenaje externo, moderado o incipiente  
drenaje interno.

Pedregosidad: Grado 0

Erosión: No existe

Clasificación: AQUIC HAPLOXERALF.

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A	0-25cm	Pardo a pardo oscuro (10 YR 4/3) en húmedo; pardo pálido a pardo amarillento claro (10 YR 6/3.5) en seco; franco muy fino; estructura migajosa fina y media; con tendencia a poliédrica

subangular fina; muy poco desarrollada; no plástico; muy poco adhesivo en húmedo; duro y frágil en seco; friable en húmedo; abundantes poros finos y medianos; frecuentes poros gruesos y cavidades; abundantes raíces finas y muy finas; actividad biológica fuerte; no calizo; límite gradual.

B21tg 25-35cm

Pardo amarillento (10 YR 5/4) en húmedo; pardo amarillento oscuro (10 YR 4/4) en seco; franco arcillo arenoso; estructura poliédrica subangular fina y media ligeramente desarrollada; plástico y adhesivo en mojado; duro en seco; moderadamente firme en húmedo; frecuentes poros finos discontinuos y gruesos; medianas cavidades con deyecciones de lombrices o residuos orgánicos; buena actividad biológica y discontinua con acumulaciones de residuos vegetales formando galerías que penetran todo el perfil y cuyo grosor máximo es de 3-4 cm., con semillas de Cistus y restos de trifolium; no calizo; límite gradual.

B22tg 35-80cm

Pardo amarillento (10 YR 5/6) en húmedo; abigarrado y menos difuso que el anterior, con vetas pardas (10 YR 5/3) en húmedo, más difusas; frecuentes nódulos ferruginosos oscuros y finos, algo menos numerosos que en horizonte anterior; franco arcilloso; estructura masiva con tendencia a poliédrica; muy duro en seco; muy firme en húmedo; muy plástico y adhesivo en mojado; poros medianos y frecuentes; presenta cavidades; actividad biológica moderada y discontinua; presenta idénticas vetas que en el horizonte anterior; no calizo.



C 80-140cm Pardo amarillento (10 YR 6/6) en seco; (10 YR 5/6) en húmedo; franco arcillo arenoso; duro y frágil; abundantes poros finos y medianos: actividad biológica escasa; escasas raíces; no calizo. Presenta cuarcitas de 4-5 mm. de diámetro en la masa del horizonte, sin formar una línea definida.

## PERFIL AP-12

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: A 6 km. de Alosno en la carretera a Puebla de Guzman. (hoja de Calañas).

Latitud: 37° 34' 28" N

Longitud: 7° 11' 00" W

Altitud: 200 m.

Posición fisiográfica: Lomas

Forma del terreno: Suavemente ondulado

Pendiente: 5-8%

Vegetación natural: Jaras, lavandulas

Uso: Pinar

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: PIZARRA

Drenaje: Bueno

Pedregosidad: Sin piedras ni afloramientos rocosos.

Erosión: Moderada

Clasificación: ULTIC HAPLOXERalf

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A	0-25cm	Rojo amarillento (5 YR 5/6) en seco; (5 YR 4/6) en húmedo; franco; estructura poliédrica subangular fina; moderadamente débil; dura; frágil; friable; no plástico; no adhesivo; frecuentes raíces; escasa porosidad fina; casi compacto;

escasa actividad biológica; no calizo.

- Bt            25-60cm      Rojo (2,5 YR 4/6) en seco y rojo oscuro (2,5 YR 3/6) en húmedo; arcilloso; estructura poliédrica; moderadamente desarrollada; muy dura; firme; no plástico; no adhesivo; pocas raíces; escasa actividad biológica; no calizo.
- C            60-80cm      Abigarrado difuso, rojo con pardo oliva claro (2,5 YR 4/6) y (2,5 Y 5/4) en seco y rojo oscuro con pardo oliva (2,5 YR 3/6) (2,5 Y 4/4) en húmedo; arcilloso; estructura poliédrica media y gruesa; moderadamente desarrollada a poliédrica subangular; dura; firme; plástico y adhesivo; no hay raíces; escasos poros finos; casi compacto; escasa actividad biológica; no calizo.
- R            80-+cm      Pizarra ligeramente alterada.

## PERFIL CA-13

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Camino forestal a 2 km. a la derecha carretera de Hinojos-Almonte, entre el regajo "El Hornillo" y el cerro "Los Pinos".

Latitud: 37° 17' 30" N

Longitud: 6° 20' 30" W

Altitud: 70 m.

Posición fisiográfica: Terraza alta.

Forma del terreno: Ligeramente ondulado.

Pendiente: 5%

Vegetación natural: Cistus salvifolius, palmital aislado.

Uso: Dehesa de alcornoques del pliocuaternario.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: ARENAS BASALES

Drenaje: Bien drenado.

Pedregosidad: No.

Erosión: No se aprecia.

Clasificación: HAPLOXERALF ACUICO

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A <sub>1</sub>	0-5cm	Pardo pálido (10 YR 6/3) en húmedo; marrón amarillento (10YR 5/4 seco); arenoso fino; sin estructura; abundantes raíces muy finas; límite neto.

- A<sub>2</sub> 5-15cm Pardo (10 YR 5/3) en húmedo, pardo pálido (10 YR 6/3) seco; arenoso fino; sin estructura definida; migajosa muy fina a partículas sueltas; escasas raíces finas; límite gradual.
- AC 15-40cm Pardo amarillento claro (10 YR 6/4) húmedo; arenoso; sin estructura; algunas raíces aisladas finas y medianas.
- 2Bg<sub>1</sub> 40-70cm Pardo fuerte (7.5 YR 5/8); presencia de moteados; pardo oliva claro (2.5 Y 5/6); pardo fuerte (7.5 YR 5/6); franco arcilloso arenoso; masivo con tendencia a poliédrica prismática; friable en húmedo; duro en seco; algunas raíces aisladas entre las cajas de los agregados; límite gradual.
- 2Bg<sub>2</sub> 70-90cm Pardo fuerte (7.5 YR 5/8); presencia de moteados; pardo oliva claro (2.5 Y 5/6); pardo fuerte (7.5 YR 5/6); franco arcilloso arenoso; masivo con tendencia a poliédrica prismática; friable en húmedo; duro en seco, muy pocas raíces gruesas y estructura masiva; límite gradual.
- 2Cg 90-+cm Amarillo pardusco (10 YR 6/6); moteado rojizo muy difuso; franco arcilloso arenoso a arcillo arenoso; masivo; friable en húmedo, duro en seco; sin raíces.

Sin reacción caliza en todo el perfil.

## PERFIL CS-14

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Camino Dehesa Boyal a la Casa del Sordo,  
10 m. antes del puente sobre arroyo del  
Algarbe.

Latitud: 37° 18' 40" N

Longitud: 6° 25' 00" W

Altitud: 100 m.

Posición fisiográfica: Cauce fluvial.

Forma del terreno: Suavemente inclinado.

Pendiente: 3-5%

Vegetación natural: Cistus salvifolius, lavándula,  
cañizos, palmital, gramíneas.

Uso: Pinar con alcornoques.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: SEDIMENTOS ARENOSOS.

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: No.

Erosión: Ligera, de tipo hídrica.

Clasificación: XEROFLUVENT MOLICO

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A <sub>1</sub>	0-10cm	Pardo grisáceo muy oscuro (10 YR 3/2) en húmedo; pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en seco; franco arenoso; estructura migajosa fina; muy friable; abundantes poros; abundantes raíces finas y muy

- finas; buena actividad biológica; sin reacción caliza; límite neto.
- Az 10-20cm Pardo (10 YR 4.5/3) en húmedo; pardo (10 YR 5/3) en seco; franco arenoso; estructura migajosa fina poco desarrollada; frecuentes raíces muy finas y medianas aisladas; buena actividad biológica; sin reacción calcárea; límite gradual.
- AC 20-50cm Pardo amarillo (10 YR 5/4); arenoso franco; estructura migajosa gruesa; ligeramente desarrollada; abundantes raíces medianas; friable; moderada actividad biológica; sin reacción calcárea; límite neto.
- 2Ck 50-65cm Pardo amarillo claro (10 YR 6/4); franco arenoso; estructura poliédrica subangular fina; poco desarrollada; friable; abundantes nódulos calcáreos finos; frecuentes raíces medianas; escasa actividad biológica; calcáreo; límite neto.
- 2Cg 65-80cm Amarillo oliva (2.5 Y 6/6); presencia de moteados: gris pardusco claro (10 YR 6/2) y pardo amarillento (10 YR 5/8); arenoso franco; masivo; muy friable; frecuentes raíces medianas y algunas gruesas; escasa actividad biológica y moderada reacción calcárea; límite gradual.
- 2C1 80-105cm Pardo muy pálido (10 YR 7/4); arenoso franco; con el resto de características iguales al anterior horizonte.
- 2C2 105-135cm Pardo amarillo claro (10 YR 6/4); arenoso franco; con iguales características del horizonte anterior.

3Ck 135-+cm Pardo amarillo claro (10 YR  
6/4); moteados oscuros de  
materia orgánica y algunos  
nódulos calcáreos pequeños  
discontinuos; arenoso franco;  
moderadamente calizo.



## PERFIL CE-15

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Camino entre Almonte y la Casa de la Platera, a 200 m. del pueblo hacia el norte.

Latitud: 37° 16' 08" N

Longitud: 6° 30' 30" W

Altitud: 51 m.

Posición fisiográfica: Colina.

Forma del terreno: Plano.

Pendiente: 2-3%

Vegetación natural: Compuestas.

Uso: Cereal.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: ARENISCA CALIZA.

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: No.

Erosión: Ligera.

Clasificación: HAPLOXERALF CALCICO

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ap	0-20cm	Pardo a pardo oscuro (7.5 YR 4/4) en húmedo; pardo fuerte (7.5 YR 5/6) en seco; franco arcilloso; estructura migajosa fina con pobre estructura laminar; friable en húmedo; duro en seco; frecuentes raíces muy

- finas; buena actividad biológica y buena porosidad; límite gradual.
- AB 20-45cm Pardo a pardo oscuro (7.5 YR 4/4) en húmedo; pardo rojizo (5 YR 4/4) en seco; franco arcilloso; estructura poliédrica subangular; friable en húmedo; duro en seco con frecuentes poros gruesos; límite neto.
- Bt 45-80cm Rojo amarillento (5 YR 4/6) en húmedo; (5 YR 5/6) en seco; arcilloso; estructura prismática gruesa bien desarrollada; consistencia fuerte en húmedo; dura en seco; moderadamente plástico; pseudomicelios calizos; límite gradual.
- Bck 80-100cm Pardo (7.5 YR 5/4) y pardo claro (7.5 YR 6/4) (50 y 50%); franco arcillosa; estructura poliédrica bien desarrollada; media y gruesa; abundantes pseudomicelios y concreciones calizas; blancas y blandas; límite gradual.
- Ck 100-+cm Amarillo pálido (2.5 Y 7/4); franco; estructura masiva; con abundantes concreciones calizas blandas.
- Reacción caliza en todo el perfil.

## PERFIL CE-16

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Camino Almonte -Casa del pilar, al norte del transformador-.

Latitud: 37° 17' 06" N

Longitud: 6° 35' 46" W

Altitud: 90 m.

Posición fisiográfica: Colina baja.

Forma del terreno: Ligeramente ondulado.

Pendiente: 3-5%

Vegetación natural: No

Uso: Cereal.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: ARENISCA CALIZA

Drenaje: Bueno

Pedregosidad: No tiene

Erosión: No se observó

Clasificación: XEROCHREPTS CALCIXEROLICO

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ap	0-25cm	Pardo amarillento (10 YR 5/6); arenoso franco; límite neto.
B	25-45cm	Pardo a pardo oscuro (7.5 YR 4/4) en húmedo; amarillo rojizo (7.5 YR 6/6) en seco; franco limoso; estructura poliédrica subangular con

tendencia a prismática.

BC	45-60cm	Amarillo rojizo (7.5 YR 7/6) en seco; nódulos calizos blancos; franco.
Ck	60-+cm	Amarillo ( 10 YR 7/6); frecuentes nódulos calizos; franco arenoso.

Reacción caliza en todo el perfil

## PERFIL CE-17

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Finca La Rehoya, a 3 km. de Rociana.

Latitud: 37° 20' 10" N

Longitud: 6° 35' 06" W

Altitud: 140 m.

Posición fisiográfica: Terraza

Forma del terreno: suavemente ondulado

Pendiente: 2-3%

Vegetación natural: No

Uso: viñas

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: ARENISCA SILICEA

Drenaje: Bueno

Pedregosidad: No

Erosión: No se observó

Clasificación: HAPLOXERALF

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ap	0-25cm	(7.5 YR 5/6) en húmedo; arenoso; migajoso muy fino a partículas sueltas.
Bt1	25-60cm	(10 R 5/6) en húmedo; arcillo arenoso; estructura poliédrica subangular grueso; firme y duro; plástico; límite gradual.

- Bt<sub>2</sub>      60-80cm      (10 R 4/6) en húmedo; franco  
areno arcilloso; estructura  
poliédrica en seco con tendencia a  
migajosa en húmedo; límite  
gradual.
- Bt<sub>3</sub>      80-100cm      (2.5 YR 4/6) en húmedo  
y (2.5 YR 5/6) en seco; franco  
arcillo arenoso a franco arenoso;  
masivo; límite gradual.
- BC      100-115cm      ( 5 YR 5/8) en húmedo; franco  
arenoso; límite gradual.
- C      115-+cm      (7.5 YR 6/8) en húmedo; arenoso  
franco a arenoso fino; masivo;  
límite gradual.

Sin reacción caliza en todo el  
perfil.

## PERFIL CM-18

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Carretera Rociana -Niebla, Km 15,5.  
Cantera junto a la autovía Sevilla  
-Huelva.

Latitud: 37° 20' 35" N

Longitud: 6° 37' 50" W

Altitud: 150 m.

Posición fisiográfica: Colinas.

Forma del terreno: Suavemente ondulado.

Pendiente: 5-8%

Vegetación natural: Gramíneas, Compuestas.

Uso: Viñas.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: MARGAS

Drenaje: Moderado a bueno.

Pedregosidad: No.

Erosión: Moderada.

Clasificación: CHROMOXERERT ENTICO

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ap	0-20cm	(2.5 Y 5/4) en seco; arcilloso franco; migajoso; de friable a firme; duro y plástico; límite neto.

AC            20-50cm        (2.5 Y 6/4) con vetas (10 YR 6/6); franco arcilloso; tendencia a prismática gruesa; media; arcilloso muy firme; duro y plástico; límite difuso.

C            50-+cm            (2.5 Y 6/4) con vetas (10 YR 6/6 y 5 Y 6/2); franco arcilloso; con tendencia a fragmentos poliédricos; cubitos gruesos.

Grietas finas de 2 mm. hasta el horizonte C.



## PERFIL CE-19

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: " Casa Bea".

Latitud: 37° 13' 50" N

Longitud: 6° 45' 10" W

Altitud: 62 m.

Posición fisiográfica: Terraza ondulada.

Forma del terreno: Ligeramente ondulado.

Pendiente: 2-3%

Vegetación natural: Cistus sevifolius.

Uso: Pinar

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: ARENISCAS SILICEA

Drenaje: Moderado.

Pedregosidad: Concreciones ferruginosas en superficie.

Erosión: No.

Clasificación: FRAGIXERALF

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A <sub>1</sub>	0-15cm	Pardo amarillento (10 YR 5/4) en seco; franco arenoso; estructura migajosa muy fina; friable a suelto; escasa actividad biológica; escasas raíces finas y medias; no calizo; límite neto.

- Az            15-25cm      Pardo rojizo ( 5 YR 5/4) en seco; franco arenoso; estructura poliédrica subangular media, moderadamente desarrollada; muy friable a suelto; escasas raíces finas; escasa actividad biológica; no calizo; límite neto.
- Btx           25-65cm      Rojo ( 2.5 YR 4/6) en húmedo; arcillo arenoso; estructura poliédrica media moderadamente desarrollada, friable; escasas raíces finas; escasa actividad biológica; no calizo; límite neto.
- Cx            65-+cm      Amarillo rojizo (7.5 YR 6/8) y rojo amarillento (5 YR 5/8) en seco; franco arcillo arenoso; masivo; friable; no calizo.

## PERFIL CM-20

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Carretera río Corumbel-La Palma del Condado, desde Berrocal corte de carretera, a la derecha finca Chabuca.

Latitud: 37° 26' 10" N

Longitud: 6° 34' 00" W

Altitud: 76 m.

Posición fisiográfica: Colinas bajas.

Forma del terreno: Ligeramente ondulado.

Pendiente: 3-5%

Vegetación natural: Crucíferas, Compuestas, Gramíneas.

Uso: Olivar a un lado y trigo en otro

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: MARGA CALIZA

Drenaje: Deficiente

Pedregosidad: Frecuente. Clase 2

Erosión: No

Clasificación: XEROCHREPT VERTICO

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripcion
Ap	0-25cm	Pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en húmedo; arcilloso; estructura granular media a poliédrica fina; duro en seco; moderadamente calcáreo; límite neto.

- Bw            25-70cm        (2.5 Y 3/2) en húmedo (2.5 Y 4/5/2) en seco; arcilloso; estructura prismática gruesa moderadamente desarrollada; caras brillantes; gravas finas frecuentes; buena actividad biológica continua; consistente; firme; dura; plástica
- BC            70-140cm        (2.5 Y 4/2) en húmedo con vetas claras; arcilloso; estructura masiva firme plástica; frecuentes gravas; límite neto.
- Ck            140-+cm        (2.5 Y 6/4) pardo amarillento claro, con vetas oscuras y nódulos calcáreos; arcillo limoso; masivo; firme; friable; moderadamente plástico; no existen gravas.

## PERFIL CM-21

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Carretera de Berrocal -La Palma del Condado, Km. 1,5 de La Palma, finca Melonarejo.

Latitud: 37° 24' 03" N

Longitud: 6° 34' 04" W

Altitud: 60 m.

Posición fisiográfica: Colinas (cumbres)

Forma del terreno: Suavemente ondulado.

Pendiente: 5-7%

Vegetación natural: Gramineas, Crucíferas, Compuestas.

Uso: Remolacha, altramuza.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: MARGAS SABULOSAS

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: No

Erosión: Ligera.

Clasificación: XEROCHREPT CALCICO VERTICO

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ap	0-25cm	(10 YR 5/3) en húmedo; arcillo arenoso; migajoso; firme; friable; duro; frecuentes raíces muy finas; mediana actividad biológica; ligeramente calizo.

- B            25-50cm      (10 YR 5/3 a 5/4) en húmedo; franco arcilloso; estructura poliédrica con tendencia prismática ligeramente desarrollada; firme; duro; plástico.
- C1k          50-80cm      (10 YR 7/4) en húmedo y vetas blancas; franco arcilloso; estructura masiva con tendencia a poliédrica subangular; friable a firme; algo duro y ligeramente plástico; muy calcáreo; abundantes nódulos pulverulentos calizos y otros más duros.
- C2            80-+cm        (2.5 Y 6/4) en húmedo (10 YR 6/6) en seco (10 YR 7/1); franco arcillo arenoso; estructura poliédrica gruesa; ligeramente desarrollada; firme; moderadamente plástico; calcáreo; moteado intenso.

## PERFIL CS-22

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Carretera La Palma -Bollullos

Latitud: 37° 22' 10" N

Longitud: 6° 32' 08" W

Altitud: 150 m.

Posición fisiográfica: Terraza alta.

Forma del terreno: Suavemente ondulado.

Pendiente: 2-3% variable.

Vegetación natural: Gramíneas, cistus.

Uso: Eucalipto.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: SEDIMENTOS CUATERNARIOS ANTIGUOS

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: No existe

Erosión: eólica detenida.

Clasificación: XEROPSAMMENT LITOPLINTICO.

## III)DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A	0-25cm	(7.5 YR 7/2) en húmedo; arenoso; suelto; frecuentes raíces; escasa actividad biológica; frecuentes granos finos.
C	25-45cm	( 10 YR 7/2) en húmedo; arenoso suelto.

- 2C            45-80cm        (7.5 YR 7/4) en húmedo; arenoso;  
                      costra ferruginosa cementada con  
                      gravilla y arena silícea muy  
                      dura.
- 2Cx            80-120cm        Fragipán            color abigarráceo  
                      rojizo;            pardo amarillento y  
                      grises; arenoso franco; frágil;  
                      aumenta la dureza con la  
                      profundidad.



## PERFIL CS-23

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Casilla "La Dehesa". Camino Almonte  
-Cabezudos.

Latitud: 37° 14' 30" N

Longitud: 6° 32' 00" W

Altitud: 62 m.

Posición fisiográfica: Lomadas.

Forma del terreno: Ondulado.

Pendiente: 5-8%

Vegetación natural: Cistus, gramíneas.

Uso: Viña.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: SEDIMENTOS

Drenaje: Moderado.

Pedregosidad: No

Erosión: No

Clasificación: HAPLOXERALF TIPICO

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ap	0-30cm	Pardo amarillento claro (10 YR 6/4) en húmedo; arenoso franco; estructura migajosa muy fina a partículas sueltas; muy friable a suelto; con gravas finas; actividad biológica ligera; raíces finas discontinuas; Límite abrupto

- 2Bt      30-70cm      Rojo (2.5 YR 5/6) en húmedo; arcillo arenoso; estructura poliédrica prismática gruesa; moderadamente desarrollada; duro en seco y ligeramente plástico en mojado; raíces finas frecuentes; no calcáreo; ligeramente abrupto.
- 2BC      70-90cm      Rojo amarillento (5 YR 5/8) en húmedo; franco arcillo arenoso; masivo; friable en húmedo y algo duro y frágil en seco; raíces finas escasas; no calcáreo; límite gradual.
- 2C      90-150cm      Rojo amarillento (5 YR 5/8) y amarillo parduzco (10 YR 6/6) en húmedo; franco arcillo arenoso; masivo; escasas raíces finas; no calizo.

## PERFIL CS-24

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Cerca arroyo La Rocina. Carretera  
Cabezudos Abalarío.

Latitud: 37° 10' 10" N

Longitud: 6° 37' 50" W

Altitud: 40 m.

Posición fisiográfica: Terraza ondulada.

Forma del terreno: Ondulado.

Pendiente: < 2%

Vegetación natural: Fresno, álamo, juncáceas.

Uso: Pinar

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: SEDIMENTOS

Drenaje: Bueno a excesivo.

Pedregosidad: No existe

Erosión: No

Clasificación: XEROPSAMMENT ACUICO

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A	0-20cm	Pardo oscuro (10 YR 3/3) en húmedo; arenoso; estructura de partículas sueltas; escasa actividad biológica; escasas raíces finas y medias; no calizo; límite claro.

- AC            20-40cm      Pardo ( 10 YR 5/3) en húmedo;  
con moteados rojo amarillento  
(5 YR 5/6); arenoso;  
estructura de partículas sueltas;  
escasa actividad biológica;  
escasas raíces; no calizo; límite  
claro.
- C            40-+cm      Pardo grisáceo (10 YR 5/2) en  
húmedo; arenoso; estructura de  
partículas sueltas; escasa  
actividad biológica; escasas  
raíces; no calizo.

## PERFIL CA-25

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Carretera forestal entre Hinojos y Almonte. Cumbres Hermosas.

Latitud: 37° 16' 40" N

Longitud: 6° 26' 00" W

Altitud: 95 m.

Posición fiográfica: Colinas

Forma de terreno: Suavemente ondulado

Pendiente: 3%

Vegetación natural: Pinos

Uso: Pinar

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: ARENAS BASALES

Drenaje: Bueno

Pedregosidad: No

Erosión: Media

Clasificación: HAPLOXERalf ACUICO-ABRUPTICO

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A <sub>1</sub>	0-3cm.	Pardo oscuro ( 10 YR 4/2); arenoso; partículas aisladas; migajosa media y débilmente desarrollada; muy friable; poroso; muy permeable; ligeramente orgánica; raíces finas; escasa actividad biológica; límite claro

y desigual.

- A<sub>2</sub> 3-30cm. Pardo oscuro (10 YR 4/3); arenoso; granos sueltos; muy friable; poroso; muy permeable; abundantes raíces gruesas que tienden a penetrar horizontalm.; actividad biológica media; límite gradual y suave.
- A<sub>1</sub>/C 30-50cm. Pardo amarillento (10 YR 5/4); arenoso; grano suelto y aislado; poroso; muy permeable; pocas raíces finas; actividad biológica escasa; límite gradual y suave; algunas vetas difusas más claras.
- C 50-60cm. Pardo amarillento claro (10 YR 6/4); granos aislados; suelto; poroso; muy permeable; pocas raíces finas y horizontales; escasa actividad biológica; concreciones ferruginosas; límite claro y suave.
- 2Bt 60-80cm. Pardo amarillento (10 YR 5/6); arcillo arenosa, con algunas gravillas pequeñas; moderadamente desarrollada; estructura poliédrica subangular fuerte; firme; ligeramente poroso; poco permeable; sólo unas pocas raíces medias; escasa actividad biológica; concreciones ferruginosas pequeñas y aisladas; límite difuso y claro.
- 2Bx 80-+cm Pardo rojizo (2,5 YR 4/4); grís claro (10 YR 7/1); arcilloso limoso arenosa; moteado; gravillas pequeñas y medias; estructura en fuertes bloques, muy desarrollada; firme; poco poroso; muy poco permeable; restos de raíces.

## PERFIL CC-26

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Finca "San Roque" (Paterna del Campo).

Latitud: 37° 26' 00" N

Longitud: 6° 25' 00" W

Altitud: 170 m.

Posición fisiográfica: Colina.

Forma de terreno: Ondulada.

Pendiente: 3%

Vegetación natural: Gramineas compuestas.

Uso: Pastizal

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: CALIZAS MARGOSAS.

Drenaje: Bueno.

Pedregosidad: No tiene

Erosión: Sí

Clasificación: RENDOLLIC XERORTHENT

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ap	0-20cm	( 10 YR 6/3 ); limo arenoso; estructura granulosa desarrollada; consistencia media, friable; buena permeabilidad; buena actividad biológica y penetrabilidad; algunas concreciones calizas y puntos calizos; algo húmedo; buen enraizamiento; muy poroso; muy calizo.

CA/C 20-+cm (10 YR 8/4 ); limoso; estructura poliédrica poco desarrollada; firme consistencia; permeabilidad media; reacción muy caliza.



## PERFIL CC-27

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Finca "Aradilla" (Villarrasa).

Latitud: 37° 26' 00" N

Longitud: 6° 37' 00" W

Altitud: 60 m.

Posición fisiográfica: Colina

Forma del terreno: Muy ondulada.

Pendiente: Casi plana.

Vegetación natural: Prado

Uso: Trigo

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: CALIZA DURA

Drenaje: Bueno

Pedregosidad: No existe

Erosión: ligera

Clasificación: LITIC HAPLOXERALE

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
Ap	0-15cm	Rojo oscuro; limo arenoso; estructura granulosa; consistencia friable y buena permeabilidad; actividad biológica buena; penetrabilidad buena; concreciones puntos calizos; límite claro y regular; algunas gravas.

B            15-50cm    Rojo amarillento (5 YR 5/6);  
limoso;        estructura        grumosa  
poliédrica; friable; permeabilidad  
buena; actividad biológica buena;  
penetrabilidad buena; límite claro  
e irregular; no calizo.

## PERFIL CA-28

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Término de Almonte (Huelva); a 6 km. pasado el desvío a Torre del Loro por la carretera Mazagón Torre la Higuera, entre "Era Colorada" y el "Asperillo"

Latitud: 37° 04' 10" N

Longitud: 6° 40' 00" W

Altitud: 35-40 m.

Posición fisiográfica: Pequeña depresión abierta.

Forma del terreno: Casi plano, con brusca elevación de frente dunar hacia el suroeste.

Pendiente: 2-3%

Vegetación natural: Pinos.

Uso: Pinar joven.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: ARENAS BASALES.

Drenaje: Moderadamente bien drenado (grado 3).

Pedregosidad: Sin piedras ni afloramientos rocosos.

Erosión: No visible.

Clasificación: QUARTZIPSAMMENT

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A <sub>1</sub>	0-20cm	Pardo grisáceo oscuro (10 YR 4/2) en húmedo; gris (10 YR 5/1) en seco; algunas vetas muy finas a lo largo de las raíces de color

parda amarillento (10 YR 5/4); arenoso franco; estructura de grano simple hacia migajosa fina en húmedo; muy friable en húmedo; suelto en seco; abundantes poros muy finos; frecuentes raíces finas; actividad biológica escasa; reacción ácida; límite neto y plano.

Az            20-40cm      Grís muy oscuro (10 YR 3/1) en húmedo; arenoso; estructura de grano simple o migajosa muy fina en húmedo; muy friable a suelto en húmedo; muy suelto en seco; abundantes poros muy finos; abundantes raíces finas y medianas; actividad biológica escasa; reacción ácida; límite gradual.

AC            40-60cm      Grís ( 10      YR 5/1) en húmedo; con inclusiones irregulares de sección variable entre 1 y 2 cm. de color grís muy oscuro (10 YR 3/1) procedentes del horizonte anterior; arenoso; estructura de grano fino a migajosa muy fina; muy friable a suelto en húmedo; muy suelto en seco; abundantes poros muy finos exped; raíces muy finas y medianas irregularmente repartidas; actividad biológica escasa; reacción ácida; límite gradual neto.

(C/A)<sub>1</sub>      60-80cm      Grís pardusco claro (10 YR 6/2) en húmedo; con moteado grís muy escaso y difuso; arenoso; estructura de grano simple; muy friable a suelto en húmedo; muy suelto en seco; abundantes poros muy finos exped; raíces medianas aisladas; sin actividad biológica apreciable; reacción ácida; límite neto y ligeramente ondulado a través de ligera banda oscura de materia orgánica.

- (C/A)<sub>2</sub> 80-130cm Grís claro ( 10 YR 77/1) en húmedo; arenoso; estructura de grano simple; muy friable a suelto en húmedo; muy suelto en seco; abundantes poros muy finos exped.; sin raíces ni actividad biológica apreciable; reacción cida; límite brusco y ligeramente ondulado a través de una fina banda oscura enriquecida de materia orgánica.
- Bt 130-170cm Matriz grís claro (5 Y 7/2) en húmedo, con moteado pardo a pardo oscuro (10 YR 4/3) y pequeñas manchas amarillentas; franco arenosa; estructura migajosa media ligeramente desarrollada; sin estructura en corte reciente; ligeramente plástico y adherente en mojado; muy friable en húmedo; reacción ácida; límite neto y plano.
- C 170-+cm Amarillo pardusco (10 YR 6/8) en húmedo; franco arenoso; sin estructura; muy húmedo.

## PERFIL CA-29

## I) INFORMACION SOBRE LA TOMA DE MUESTRA

Ubicación: Término de Moguer (Huelva), por la carretera costera frente a Punta del Vigía.

Latitud: 37° 08' 30" N

Longitud: 6° 51' 40" W

Altitud: 10 m.

Posición fisiográfica: Dunas sobre Plioceno.

Forma del terreno: Ligeramente ondulado.

Pendiente: 3-5%

Vegetación natural: Pinos.

Uso: Pinar.

## II) INFORMACION ACERCA DEL SUELO

Material original: ARENAS BASALES

Drenaje: Moderadamente bien drenado (grado 3).

Pedregosidad: Sin piedras ni afloramientos rocosos.

Erosión: Ligera.

Clasificación: HAPLOXERalf ACUICO-ABRUPTICO

## III) DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Horiz.	Profund.	Descripción
A <sub>1</sub>	0-10cm	Pardo oscuro (7.5 YR 3/2) en húmedo; arenoso; estructura migajosa fina; muy friable en húmedo; suelto en seco; abundantes poros finos exped.; abundantes raíces finas y medianas; frecuentes raíces gruesas;

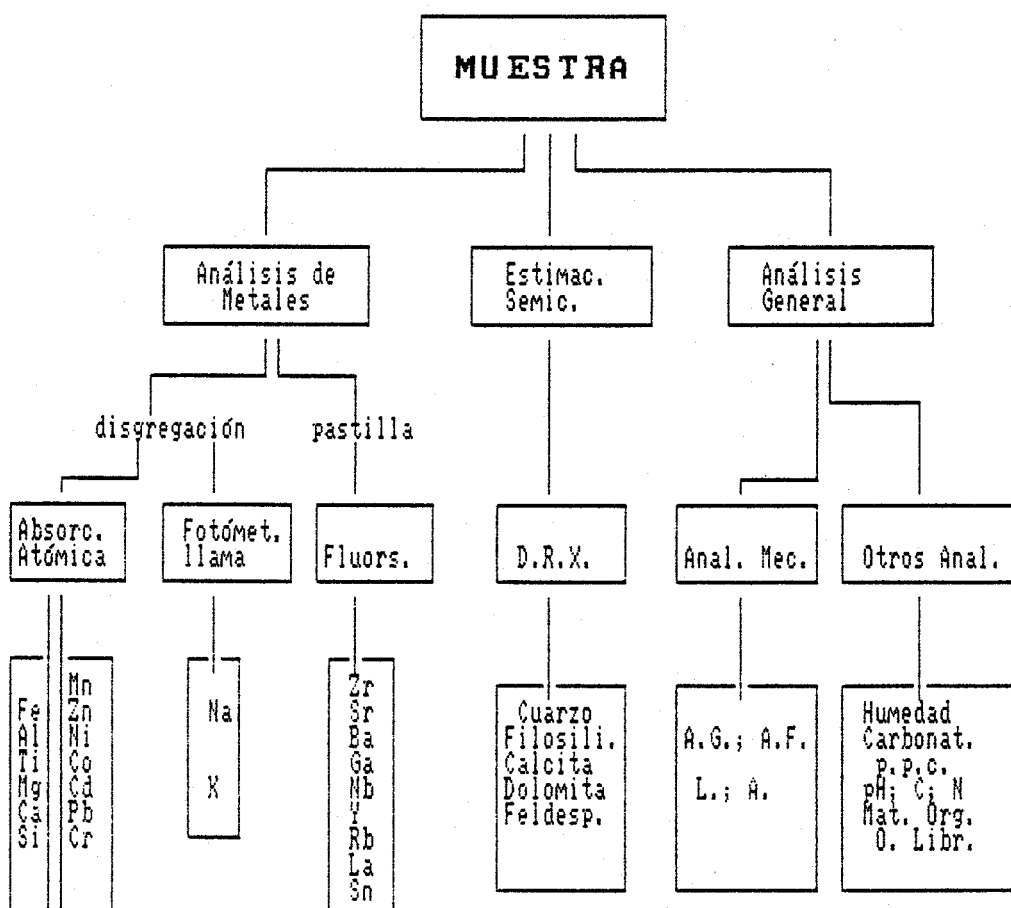
actividad biológica buena;  
 reacción ácida; límite gradual e  
 irregular.

- A2 10-70cm Amarillo pardo (10 YR 6/6) en húmedo; arenoso; estructura de grano simple; muy friable a suelto en húmedo; muy suelto en seco; abundantes poros finos exped.; abundantes raíces hasta 50cm; actividad biológica moderada; reacción ácida; límite neto e irregular.
- 2Btg1 70-100cm Pardo amarillento (10 YR 5/8), con manchas difusas de color rojo (2.5 YR 4/8) en húmedo; franco arcillo arenoso; estructura poliédrica subangular gruesa; moderadamente desarrollada; ligeramente plástico y adherente en mojado; firme en húmedo; duro en seco; reacción ácida; límite gradual.
- 2Btg2 100-+cm Abigarrado con moteado igual al horizonte anterior, más grueso y nítido; arcillo arenosa; estructura poliédrica gruesa; moderadamente desarrollada; ligeramente plástico y adherente en mojado; firme en húmedo; muy duro en seco; reacción ácida.

## II.2. METODOS EXPERIMENTALES



El tratamiento seguido para todas las muestras de los distintos perfiles se resume en el cuadro adjunto.



### II.2.1. PREPARACION DE LAS MUESTRAS

Antes de proceder a los diferentes análisis, las muestras se secaron al aire a la temperatura ambiente del laboratorio, se separaron las piedras y se rompieron los agregados con un rodillo. Una vez seca se pasaron por un tamiz con luz de malla de 2 mm.

Para los distintos análisis se tomaron representaciones idóneas, siguiendo el método del "cuarteado" y para aquellos con necesidad de un mayor grado de subdivisión se molieron en mortero de ágata.

### II.2.2. DETERMINACIONES ANALITICAS GENERALES

#### II.2.2.1 ANALISIS MECANICO

El análisis mecánico de los diferentes horizontes de los perfiles se ha realizado de acuerdo con el método del densímetro de Bouyoucos, descrito por PRIMO YUFERA y CARRASCO DORRIEN (1973). El método se basa en la proporcionalidad directa existente entre densidad de una suspensión y cantidad de materia suspendida. Realizando medidas densimétricas en tiempos adecuados y en una suspensión de suelo en agua, se puede determinar la concentración relativa de las fracciones mecánicas.

## II.2.2.2 DETERMINACION DEL CARBONO ORGANICO TOTAL

El método seguido ha sido el propuesto por la Comisión de Métodos Analíticos del Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología (1973), basado en la técnica descrita por WALKLEY y BLACK (1934). Consiste en la oxidación de la materia orgánica con dicromato potásico en presencia de ácido sulfúrico y posterior valoración del dicromato no reducido con sal de Mohr.

El procedimiento es el siguiente: Se toman 2 g. de muestra de suelo, finamente pulverizada y secadas en una estufa a 60 °C durante toda la noche, (para aquellos horizontes ricos en materia orgánica (Ao) se tomaron 0.5 g).

La muestra una vez pesada se introduce en un matraz erlenmeyer de 500 ml. y se agregan, exactamente, 10 ml. de la solución de dicromato potásico 1N, se agita con suave movimiento de rotación hasta que todo el suelo se ha empapado de esta solución. Se agregan a continuación 20 ml de ácido sulfúrico concentrado, agitando suavemente durante treinta segundos, al cabo de los cuales se deja en reposo durante treinta minutos, pasados estos, se añaden de una sola vez 200 ml. de agua desmineralizada y se enfría hasta temperatura ambiente. Se añaden 10 ml de ácido fosfórico concentrado seguido de 1 ml de solución de

difenilamina (2.5 g. de producto disuelto en 20 ml de agua y 100 ml de ácido sulfúrico concentrado), nuevamente se enfría bajo chorro de agua hasta temperatura ambiente e inmediatamente se procede a la valoración del exceso de dicromato no reducido mediante la solución de sal de Mohr 0.5N.

### II.2.2.3 DETERMINACION DE NITROGENO

Se ha seguido el metodo normalizado de la Comisión de Métodos Analíticos del Instituto Nacional de Edafología y Agrobiología, que adopta el método Kjeldahl, utilizando una mezcla de selenio, sulfato de cobre y sulfato potásico; los dos primeros como catalizadores de la reacción y el último como enaltecedor del punto de ebullición de la mezcla de digestión.

El procedimiento es el siguiente: 1 g. de muestra, finamente pulverizada y secada en estufa a 60 °C durante toda la noche, se introduce en un matraz Kjeldahl, perfectamente seco, seguido de 1.5 g de mezcla catalizadora y 5 ml de ácido sulfúrico concentrado, se agita el matraz suavemente para que el ácido moje perfectamente todo el contenido. Se calienta para efectuar la digestión, elevando la temperatura poco a poco hasta que el líquido toma un color claro, a partir de este momento, se mantiene la

mezcla en ebullición durante treinta minutos más, al cabo de los cuales se da por terminada la mineralización.

Una vez frío el mineralizado, se procede a la destilación y valoración del amoniaco destilado utilizando el aparato de Bouat. Previamente, al mineralizado se le añaden 10 ml de agua poco a poco y agitando, llevando el contenido a un matraz aforado de 50 ml y lavando con varias porciones de agua. Se toman 20 ml del mineralizado y en el matraz de destilación se agregan 3 g, aproximadamente, de hidróxido sódico en lentejas, acoplándolo inmediatamente al aparato que por calentamiento directo comenzará a destilar, valorándose dicho destilado con ácido sulfúrico 0.005N que tiene el indicador Shiro-Tashiro incorporado.

1 ml de ácido sulfúrico 0.005N gastado corresponde a 0.175 mg de nitrógeno.

#### II.2.2.4. DETERMINACION DE LA MATERIA ORGANICA Y RELACION C/N.

El conocimiento de la materia orgánica en el suelo es de gran interés, pero es también importante conocer cual es el estado de dicha materia orgánica y, sobre todo, su grado de humificación.

La relación C/N es un buen índice para juzgar la actividad global del humus.

Suponiendo que la materia orgánica contiene el 58% de C, se ha utilizado 1.724 como factor de conversión de carbono orgánico total a materia orgánica, de acuerdo con JACKSON (1982).

#### II.2.2.5 DETERMINACION DE pH

Se ha seguido el método propuesto por GUITTIAN y CARBALLAS (1976), mediante la medida en pasta de muestra en agua y en pasta de muestra en cloruro potásico.

pH en agua : En un vaso de 50 ml de capacidad, se llena de muestra hasta las 3/4 partes y se añaden cantidades sucesivas de agua desmineralizada hasta obtener una pasta espesa. Sin agitar y dejando que el suelo se humedezca por capilaridad se sigue agregando agua hasta que un orificio hecho en el centro con una varilla se cierra lentamente. Se deja reposar durante treinta minutos, transcurridos los cuales se hace la medida potenciométrica con electrodo de vidrio.

pH en cloruro potásico : Se sigue la misma técnica anterior, utilizando una disolución de cloruro potásico para obtener la pasta. La concentración utilizada varía según los autores; en nuestro caso se utilizó una disolución 1N de la sal, según GUITTIAN Y CARBALLAS (1976).

#### II.2.2.6 DETERMINACION DEL CONTENIDO EN CARBONATOS

Esta determinación está basada en la reacción de los carbonatos con ácido clorhídrico (DUCHAUFOR, 1975). Se realiza mediante el calcímetro de Bernard, consistente en un bureta medidora de gases que recoge los que se desprenden en la reacción del suelo en medio ácido.

Se partió de 0.5 g de muestra molida en un matraz Erlenmeyer de 100 ml, donde se introduce un tubo pequeño que contiene 10 ml de ácido clorhídrico 1:1, teniendo cuidado que no se vierta, se tapa el Erlenmeyer herméticamente, dejando salida de los gases hacia la bureta, se vierte el ácido sobre la muestra y se mide el dióxido de carbono desprendido.

Esta misma operación se repite con una cantidad exactamente pesada de carbonato cálcico R.A. y de la relación de volúmenes desprendidos se deduce el porcentaje de carbonatos en el suelo analizado.

#### II.2.2.7 DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE CAMBIO CATIONICO

La determinación de la capacidad de canje de cationes, supone medir la cantidad total de cargas negativas por unidad de peso del material y por tanto, la cantidad de cationes que pueden situarse en sus posiciones

de intercambio. La cantidad de capacidad de canje de cationes supone una variación según: La naturaleza del catión empleado, la concentración de la sal y el pH de equilibrio del suelo que depende de su composición química y, fundamentalmente, del contenido y naturaleza de las arcillas además de la materia orgánica.

Tiene un gran interés, por cuanto determina la posibilidad de retener e intercambiar cationes nutritivos, susceptibles de ser cedidos a la solución salina del suelo a medida que son sustraídos por la planta.

El método empleado se basa en la saturación del suelo con  $\text{Na}^+$  mediante lavados sucesivos con acetato sódico 1N a  $\text{pH}=8,2$ . El exceso de sal se elimina del suelo y el sodio absorbido se desplaza con acetato amónico 1N, en cuya solución se determina sodio (BOWER et al., 1952).

Procedimiento: Se pesa una cantidad de muestra comprendida entre 4 y 6 g., dependiendo de que la textura del suelo sea fina o media a gruesa. Se coloca la muestra en un tubo de centrífuga y se añaden 33 ml. de acetato sódico; se agita durante cinco minutos y se centrifuga hasta que el líquido sobrenadante esté claro, esto requiere aproximadamente cinco minutos, se decanta y se desecha. El procedimiento se repite hasta cuatro tratamientos. A continuación se prepara una suspensión de



la muestra en 33 ml. de etanol al 95% y se vuelve a agitar durante cinco minutos; se centrifuga y se decanta el líquido sobrenadante. Seguidamente la muestra se lava un total de tres veces.

El sodio absorbido en la muestra se desplaza con tres porciones de acetato amónico y se determina la concentración de los extractos fotométricamente.

La capacidad de cambio catiónico se expresa en centimoles de carga por kilogramo de suelo (cmol(+)/kg).

### II.2.3 ANALISIS QUIMICO DE SUELO TOTAL

Se ha realizado el análisis químico del suelo total, para lo cual, las muestras se sometieron a una disgregación triácida con HF, HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub>, siguiendo la metodología propuesta por BENNET et al. (1971) con ligeras variantes. Por este procedimiento se evapora la sílice como F<sub>4</sub>Si.

Para la disgregación se partió de 1,25 g. de muestra seca y molida finamente en mortero de ágata a la que se le añaden 10 ml. de ácido nítrico 1:1 y 10 ml. de ácido perclórico 1:1, dejándola en reposo durante 15 minutos, al cabo de los cuales se adicionan 20 ml. de fluorhídrico y se evapora a sequedad. Este tratamiento se

repite con nítrico y perclórico llevándola a sequedad hasta desaparición total de humos blancos. Finalmente, una vez frío se humedece y se añaden 3 ml. de ácido clorhídrico concentrado, calentando suavemente hasta disolución total de la muestra. Una vez fría, se filtra y se enrasa hasta 50 ml.

A partir de esta disolución base se tomaron diferentes diluciones, acordes con las concentraciones de los elementos en la muestra.

Para la sílice se realizaron las fusiones en una autoclave de teflón con una mezcla de HF, HCl y HNO<sub>3</sub> a 140°C durante 1 hora. Una vez fría se agregan 5 g. de H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub> sólido y 100 ml. de agua destilada, colocándose en una estufa a 80°C hasta su disolución completa. Una vez frío se enrasa en matraz de plástico, ya que a pesar del ácido bórico los matraces de vidrio se atacan parcialmente.

Las medidas se efectuaron en espectrofotometría de absorción atómica para: Si, Al, Fe, Ti, Ca y Mg, así como para los elementos minoritarios: Mn, Cu, Zn, Ni, Co, Pb, Cd, Cr, y en fotometría de llama las de Na y K.

El espectrofotómetro utilizado ha sido un Perkin Elmer mod. 703 y el fotómetro de llama mod. Dr.Lange.

Para los elementos mayoritarios, los resultados se expresan en porcentajes de óxidos respecto a la muestra seca y, para los minoritarios en mg/k.

Para la determinación de la humedad y las pérdidas por calcinación se partió de 1 g. de muestra finamente molida. En estufa a 110 °C durante 24 horas para la humedad y posteriormente en horno a 1100 °C durante 45 minutos para las pérdidas por calcinación. Los resultados se dan por diferencia de pesos y en tanto por ciento.

#### II.2.4 HIERRO Y ALUMINIO EXTRAIBLES

Se ha extraído el hierro y aluminio amorfo presente en los suelos en forma de Fe(III) libre, siguiendo el método propuesto por McKEAGUE y DAY (1966) modificado en las cantidades y reactivos correspondientes, adaptándose a los contenidos encontrados en las muestras de suelos obtenidos mediante análisis previos.

Se han empleado 0,75 g. de muestra dispersada en 30 ml. de solución tampón oxálico-oxalato amónico a pH=3, agitándose por voltéo durante 4 horas en la oscuridad, filtrándose posteriormente con papel Whatman 40 y tomándose una alícuota de 10 ml diluida a 100 ml. El hierro y el aluminio se determinan en absorción atómica y se dan los valores como óxidos.

Asimismo, se ha extraído el hierro presente en los suelos utilizando citrato-bicarbonato-ditionito, según la metodología propuesta por MEHRA y JACKSON (1960) partiendo de 0,5 g. de suelo y añadiendo 20 ml. de citrato sódico 0,3 M y 2,5 ml. de bicarbonato sódico 1 M y calentando la mezcla durante 10 min. a 80°C en baño maría, pasados los cuales se le añade 0,5 g. de  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$  agitando rápidamente y volviendo a mantener la mezcla en baño maría durante 15 min. a la misma temperatura. Se decanta el líquido claro en un matraz de 100 ml. y se vuelve a repetir el proceso, centrifugando y recogiendo el líquido claro nuevamente en el matraz anterior. Se lava la muestra dos veces con porciones de 20 ml. de disolución saturada de NaCl 1N, mezclando los dos lavados con el extracto contenido en el matraz. Una vez enrasado se determina el hierro por absorción atómica.

#### II.2.5 FLUORESCENCIA SECUENCIAL DE RAYOS X

Para la determinación de los elementos Zr, Rb, Sr, Y, Ba, Ga, Nb, Sn y La se ha utilizado el método de Fluorescencia Secuencial de Rayos X, realizándose en un aparato modelo SRS-200 de Siemens.

Procedimiento: Se partió de 10 g. de muestra, previamente desecada en una estufa a 110 °C, molida en un mortero

mecánico de ágata Retsch conjuntamente con 1 g. de cera "micropulver Hoescht". Posteriormente, la mezcla se prensó a 30 Tm. durante 20 s. en una prensa Herzog.

Una vez obtenida la pastilla, se introduce en el aparato, utilizándose la forma de medición S en vacío y rotación, para eliminar irregularidades de superficie y otros problemas de concentración.

Los patrones usados en el proceso han sido escogidos de manera que cubran toda la gama de concentraciones, denominados con las siglas: G-2; UBN; MAN; BE-N; STM-1; RGM-1; GSP-1; MAG-1; AGV-1 y GA, cuyos valores analíticos han sido tomados de GOVINDARAJU (1989). Confeccionándose con ellos una matriz de análisis siguiendo el programa informático de Siemens P-2

Los cristales analizadores utilizados han sido: LiF (1 0 0) para los elementos Zr, Rb, Y, Sr, Ga, Ba y La, y de Germanio para Nb y Sn.

Las medidas se efectuaron con una diferencia de potencial de 45 KV y 25 mA de intensidad para los elementos: Zr, Rb, Y, Sr y Ba; con 45 KV y 50 mA para Ga, Nb, Sn y La. El tiempo de medida ha sido para todos los elementos de 40 s.

Se efectuaron tres medidas, utilizando los

programas de ordenador 40-41 y 42 de Siemens; al comienzo del pico, en el pico y al final del pico. Para evitar el ruido de fondo, la intensidad neta resulta de sumar las correspondientes al inicio y final de pico dividida por 2 y restándolas a la intensidad del pico, correspondiendo a cada elemento las que aparecen en la tabla. G.

Asimismo, se han tenido en cuenta las interferencias del Sr para el Zr y del Cs para el La, efectuándose las correspondientes correcciones.

TABLA. G

Intensidades medidas en diferentes zonas del pico

E	Inicio del pico	Pico	Final del pico
Rb	25.552	26.456	27.525
Sr	24.375	24.995	25.750
Y	23.075	23.585	24.275
Zr	21.475	22.391	23.375
Ga	38.000	38.608	39.450
Nb	121.025	122.384	123.225
Ba	78.025	79.125	80.125
La	81.900	82.870	83.575
Sn	66.100	66.723	67.650

## II.2.6 DIFRACCION DE RAYOS X

Para el estudio por difracción de Rayos X, las muestras se molieron en mortero de ágata, utilizando un portamuestras de carga lateral para los preparados de polvo. Los correspondientes difractogramas se realizaron en un aparato Siemens modelo Kristaloflex D-500, equipado con contador de centelleo y unidad discriminadora. La radiación empleada fue la del Cu k con filtro de níquel. Se trabajó a 36 KV y 26 mA. En todos los casos la velocidad de barrido fue de 1°/min, con una velocidad de papel de 1 cm/min, la constante de tiempo de 2 s., aperturas de 1° y diafragma de detector de 0.15°. El intervalo de exploración fue siempre de 3 a 64° aunque el ámbito utilizado para este estudio ha sido solamente hasta 34°.

Para la interpretación de los difractogramas se hizo uso de los datos contenidos en BROWN (1972), BRINDLEY y BROWN (1984), fichas A.S.T.M., etc.

La estimación semicuantitativa de los minerales se ha realizado utilizando los poderes reflectantes recogidos en los trabajos realizados por MARTIN POZAS (1968), POZZUOLI et al. (1972), GALAN y MARTIN VIVALDI (1973) y AYLLON (1974). Teniendo en cuenta las limitaciones que señalan estos autores para la aplicación sistemática de sus resultados en otros tipos de muestras.

En el presente trabajo se han utilizado los poderes reflectantes que se expresan en la tabla H.

TABLA. H

Poderes reflectantes empleados para la estimación semicuantitativa mediante difracción de R-X.

Mineral	d(hkl)	Poder reflectante
Cuarzo	4,26	1/2
Feldespatos	3,18	1/3
Calcita	3,03	1/2
Filosilicatos	4,45	1/0,2
Dolomita	2,88	1/3

Para la aplicación del método han de tenerse en cuenta varios factores, recogidos en KLUG y ALEXANDER (1974). Esto es, la radiación X ha de pasar por un mínimo elevado de partículas, por lo que el tamaño debe ser suficientemente fino. Así se ha reducido lo más posible por molturación en mortero de ágata. Al mismo tiempo, la superficie de muestra expuesta a la radiación ha de ser suficientemente elevada y la orientación de las partículas



ha de ser lo más aleatoria posible, hecho difícil de conseguir en el caso de los filosilicatos.

Respecto a las medidas de las áreas, se han seguido los criterios de MONTEALEGRE (1976) referente a las líneas de base y de posible solapamiento de picos.

#### II.2.7 ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS

Para agrupar la extensa información de valores obtenidos por los diferentes métodos aplicados, se ha utilizado el paquete informático BMDP Statistical software, calculando los parámetros estadísticos generales de la distribución de datos correspondientes a las variables estudiadas. Asimismo, se ha realizado un análisis de correlación lineal entre los pares de variables, seguidos de la selección de las "r" de Pearson más significativas para cada uno de los grupos de perfiles.

La significación de la dimensionalidad del sistema es uno de los objetivos fundamentales en el desarrollo de análisis de espacios multivariantes. Para ello, en este tratamiento, se realiza una factorización de las variables agrupándolas en el menor número posible de componentes principales y que expliquen el máximo de la varianza (DIDAY et al., 1982). Estos componentes son

sometidos a una rotación siguiendo el criterio Varimax, obteniendo por una parte la puntuación en cada factor para cada una de las variables y, por otro lado, la carga de cada factor en las distintas muestras.

Con la aplicación de este tratamiento a cada uno de los grupos de perfiles estudiados, se trata de ver cómo y en qué medida afectan los distintos parámetros en los contenidos de elementos mayoritarios y minoritarios, así como ellos entre sí.

Posteriormente y como tratamiento final, después de recoger la información de los análisis parciales, se aplicó a la totalidad de las 119 muestras de suelos sobre los diferentes materiales originales, minimizando el número de parámetros y utilizando aquellos que han tenido una mayor incidencia en los grupos, analizando de forma global la similitud o discordancia de las distintas muestras y el efecto de las variables en ellas.

### **III. RESULTADOS Y DISCUSION.**

### III.0. PRESENTACION DE LOS DATOS.

La variedad de suelos que se recogen en este estudio vienen representados por 29 perfiles, que para su tratamiento y discusión se han dividido en seis grupos. Esta división se ha hecho en base al material geológico original, aunque igualmente se podía haber realizado con el punto de vista de otro criterio. No obstante, el escogido se ha considerado el más idóneo ya que existen coincidencias entre los grupos y las zonas climáticas y comarcales comentadas en el apartado anterior, haciendo de alguna manera más productiva su discusión.

La agrupación realizada es la siguiente:

#### A) SUELOS SOBRE ARENISCAS.

Perfiles:

Haploxeralf cálcico -----	(CE-15)
Xerochrepts calcixerólico ----	(CE-16)
Haploxeralf -----	(CE-17)
Fragixeralf -----	(CE-19)

#### B) SUELOS ARENOSOS Y SEDIMENTOS ARCILLO-ARENOSOS

Perfiles:

Haploxeralf ácuico -----	(CA-13)
Haploxeralf ácuico-abruptico -	(CA-25)
Quartzipsamment -----	(CA-28)
Haploxeralf ácuico abruptico -	(CA-29)
Xerofluvent mólico -----	(CS-14)
Xerosamment litoplántico ----	(CS-22)
Haploxeralf típico -----	(CS-23)
Xeropsamment ácuico -----	(CS-24)
Palexeralf-----	(AS-8)
Haploxeralf ácuico -----	(AS-9)

**C) SUELOS SOBRE CALIZAS Y MARGAS**

Perfiles:

Chromoxerert éntico -----	(CM-18)
Xerochrept vértico -----	(CM-20)
Xerochrept cálcico vértico -----	(CM-21)
Rendollic xerorthent -----	(CC-26)
Lithic haploxeralf -----	(CC-27)

**D) SUELOS SOBRE PIZARRAS**

Perfiles:

Typic xerochrept -----	(SP-1)
Ultic palexeralf -----	(SP-2)
Ultic haploxeralf -----	(AP-12)

**E) SUELOS SOBRE GRANITOS**

Perfiles:

Lithic xerochrept -----	(SG-3)
Typic xerochrept -----	(SG-4)
Mollic haploxeralf -----	(SG-5)
Typic haploxeralf -----	(SG-6)
Aquic haploxeralf -----	(AG-11)

**F) SUELOS SOBRE VULCANITAS**

Perfiles:

Lithic ruptic-xerorthentic xerochrepts -	(AR-10)
Typic xerochrepts -----	(SV-7)

En orden a clarificar lo más posible los resultados obtenidos, es preciso estructurar la presentación del importante número de datos según los métodos aplicados, de manera que se facilite su localización en esta memoria.

Según esto, el número de la derecha en la nomenclatura de los perfiles coincide con la posición de su

situación en el mapa de la figura 8.

La nomenclatura en las tablas de datos se presentan con la sistemática siguiente:

Las tablas de los capítulos I y II de esta memoria, se han denominado con letras de la A hasta la H. A partir del capítulo III (resultado y discusión), las tablas se denominan con números romanos y una extensión. Los números romanos se repiten del I al XI para cada grupo de perfiles y con los siguientes conceptos:

- I.- Datos de nitrógeno, humedad, carbonatos y pH.
- II.- Datos de textura, materia orgánica y carbono.
- III.- Capacidad de cambio catiónico.
- IV.- Composición mineralógica semicuantitativa.
- V.- Fe y Al extraíbles.
- VI.- Análisis químico de los elementos mayoritarios.
- VII.- Análisis químico de los elementos minoritarios.
- VIII.- Matriz de correlaciones del grupo.
- IX.- Valores propios y varianza.
- X.- Carga de los factores en cada variable.
- XI.- Puntuaciones de los factores para las distintas muestras.

Las extensiones son del 1 al 29 consecutivas para todos los perfiles y con el orden siguiente:

## A) Grupo de perfiles sobre areniscas.

Ext. para las tablas  
I, II, VI y VII.

Perfil	CE-15	-----	1
"	CE-16	-----	2
"	CE-17	-----	3
"	CE-19	-----	4

## B) Grupo de perfiles arenosos y sedim. arcillo-arenosos.

Perfil	CA-13	-----	5
"	CA-25	-----	6
"	CA-28	-----	7
"	CA-29	-----	8
"	CS-14	-----	9
"	CS-22	-----	10
"	CS-23	-----	11
"	CS-24	-----	12
"	AS-8	-----	13
"	AS-9	-----	14

## C) Grupo de perfiles sobre calizas y margas.

Perfil	CM-18	-----	15
"	CM-20	-----	16
"	CM-21	-----	17
"	CC-26	-----	18
"	CC-27	-----	19

## D) Grupo de perfiles sobre pizarras.

Perfil	SP-1	-----	20
"	SP-2	-----	21
"	AP-12	-----	22

## E) Grupo de perfiles sobre granitos.

Perfil	SG-3	-----	23
"	SG-4	-----	24
"	SG-6	-----	25
"	SG-5	-----	26
"	AG-11	-----	27

F) Grupo de perfiles sobre vulcanitas.

Perfil AR-10	-----	28
" SV-7	-----	29

Mientras que las tablas I, II, VI y VII son tablas para cada uno de los perfiles, en el resto (III, IV, V, VIII, IX, X y XI) se han acumulado los datos de todos los perfiles del grupo, lo que implica en estas últimas que las extensiones se corresponderan del 1 al 6 y en el mismo orden de presentación de los grupos.

Todos los datos que se refieran a elementos mayoritarios vendrán dados en porcentajes y los referidos a minoritarios en mg/K. Asimismo, la capacidad de cambio se dará en centimoles de carga por kilogramo de muestra.

Los datos de la mineralogía de la fracción arcilla de algunos perfiles, (no incluidos en tablas), utilizados solamente para correlaciones, han sido facilitados por Rodríguez Rubio correspondientes a su Tesis Doctoral en preparación.

En cuanto a las figuras, se enumeran de forma consecutiva, presentándose histogramas de contenidos de los elementos minoritarios, diagramas de rayos X, diagramas lineales de variación para algunos elementos, y la representación de los índices de variación para aquellos



perfiles con horizontes C. Estos índices se han obtenido dividiendo el contenido del elemento en los distintos horizontes por el del horizonte C. De esta manera es posible comparar los enriquecimientos y empobrecimientos en los distintos perfiles, independientemente del contenido del material original o del horizonte C, pudiéndose relacionar estas variaciones con otras propiedades.

**III.1. RESULTADOS Y DISCUSION DE LOS DISTINTOS  
GRUPOS DE PERFILES DE SUELOS.**

**III.1.1. SUELOS DESARROLLADOS SOBRE ARENISCAS**

### III.1.1 SUELOS DESARROLLADOS SOBRE ARENISCAS.

En este grupo se incluyen cuatro de los perfiles que se estudian, denominados y clasificados respectivamente como: CE-15 (Haploxeralf cálcico), CE-16 (Xerochrepts calcixerólico), CE-17 (Haploxeralf) y CE-19 (Fragixeralf).

Los datos de los análisis físico-químicos generales de estos perfiles se presentan en las tablas I, II y III con las correspondientes extensiones para cada uno de los perfiles del grupo. Cabe destacar, para los perfiles calizos (CE-15) y (CE-16), valores de pH en agua entre 7,8 y 8,2 (tablas I-1 y I-2), con altos porcentajes de carbonatos, sobre todo, en los horizontes más profundos y acompañados de la presencia de calcita como mineral predominante, según la estimación semicuantitativa obtenida de los diagramas de rayos X (tabla IV-1). Este mineral alcanza un valor cercano al 60% en el horizonte Ck del perfil CE-16.

Los perfiles de tipo silíceo (CE-17 y CE-19) tienen un carácter ácido que aumenta en ambos hacia los horizontes más profundos, con pH entre 4,6 y 6,4 (tablas I-3 y I-4). Esta diferenciación en el pH será determinante y claramente divisoria en el conjunto de la discusión del grupo.

El cuarzo junto con los filosilicatos son los minerales más representativos en estos dos últimos perfiles, sobrepasando entre ambos el 90%, con una variación inversa de uno respecto al otro en todos los horizontes. Hay que destacar también la correlación con significación máxima del pH con los minerales de la arcilla (ilita, esmectita y caolinita) (tabla VIII-1), que concuerda con la bibliografía consultada en suelos similares (MOURA y KROONENBERG, 1988), entre otros.

En cuanto a la textura (tablas II-1 a II-4), presentan valores altos en la fracción correspondiente a la arena fina con la excepción del perfil CE-19, en el que predomina la fracción más gruesa. Destacan también los valores altos de la proporción de arcilla en los perfiles calizos, con una acumulación particularmente importante de esta fracción en el horizonte B del mismo perfil anterior (68%), que se corresponde con el alto valor de los filosilicatos presentes (tabla. IV-1).

El único valor destacado para la M.O. es de 3,31%, en el horizonte más superficial del perfil CE-19, siendo bajos para el resto de las muestras de este grupo, donde más del 50% de los horizontes no alcanzan el 0,5%.

La capacidad de cambio catiónico, como se puede observar en la tabla III-1, es más alta en los perfiles

TABLA. I-1

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CE-15.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
Ap	0-20	0.53	2.43	2.25	10.90	7.83		6.94
AB	20-45	0.86	0.84	3.35	9.20	8.10		6.86
Bt	45-80	0.02	22.50	3.86	3.64	8.02		6.82
Bck	80-100	0.01	27.00	3.20	23.70	7.97		6.86
Ck	100-	0.02	10.50	1.26	55.50	7.82		6.97

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-2

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CE-16.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
Ap	0-25	0.94	0.90	2.55	4.90	7.90		6.99
B	25-45	0.33	1.15	2.87	3.10	7.92		6.75
BC	45-60	0.58	0.33	2.05	24.00	8.16		6.92
Ck	60-	0.18	0.78	1.04	49.00	7.98		7.00

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-3

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CE-17.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
Ap	0-25	0.04	9.75	0.28	0.00	6.47		5.37
Bt1	25-60	0.03	9.00	1.41	0.00	5.59		4.37
Bt2	60-80	0.03	6.67	1.19	0.00	5.34		4.37
Bt3	80-100	0.01	13.00	0.89	0.00	5.86		4.84
BC	100-115	0.02	7.50	0.91	0.36	4.86		3.99
C	115-	0.01	14.00	0.87	0.50	4.89		3.68

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-4

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CE-19.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
A1	0-15	0.04	48.25	0.69	0.00	5.85		5.03
A2	15-25	-	-	0.50	0.00	5.60		4.58
Bt	25-65	-	-	1.81	0.00	4.94		3.88
Cx	65-85	0.01	20.00	1.00	0.00	4.68		4.03
C	85-	0.02	7.50	0.71	0.00	4.62		3.73

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. II-1

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CE-15 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
Ap	0-20	2.82	41.29	15.61	40.28	2.21	1.29
AB	20-45	3.06	42.86	17.35	36.73	1.25	0.73
Bt	45-80	1.82	44.53	12.15	41.50	0.78	0.45
BCK	80-100	2.03	45.18	20.30	32.49	0.47	0.27
Ck	100-	10.96	37.26	30.96	20.81	0.37	0.21

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-2

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CE-16 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
Ap	0-25	3.50	63.20	5.50	5.50	1.47	0.85
B	25-45	2.00	57.30	4.50	36.50	0.65	0.38
BC	45-60	5.60	58.20	7.50	29.00	0.32	0.19
Ck	60-	5.50	50.80	18.00	23.00	0.24	0.14

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica



TABLA. II-3

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CE-17 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
Ap	0-25	18.30	71.00	1.00	10.00	0.67	0.39
Bt1	25-60	10.50	68.00	3.00	18.00	0.47	0.27
Bt2	60-80	5.80	68.00	4.00	22.00	0.35	0.20
Bt3	80-100	6.00	69.80	2.00	22.00	0.23	0.13
BC	100-115	11.00	69.70	3.50	16.50	0.26	0.15
C	115-	6.80	73.40	4.00	16.00	0.24	0.14

A.G.=arena gruesa;A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-4

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CE-19 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
A1	0-15	52.20	6.25	26.35	15.20	3.31	1.93
A2	15-25	68.12	3.29	12.34	16.50	1.28	0.74
Bt	25-65	25.32	0.49	5.33	68.86	0.92	0.53
Cx	65-85	36.92	11.29	38.71	13.08	0.34	0.20
C	85-	49.00	1.64	10.00	39.36	0.26	0.15

A.G.=arena gruesa;A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. III-1

CAPACIDAD DE CAMBIO DE LOS PERFILES DE SUELO SOBRE ARENISCAS.  
(C.mol(+)/Kg)

Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.	Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.
Perfil CE-15			Perfil CE-16		
Ap	0-20	18.75	Ap	0-25	15.50
AB	20-45	24.25	B	25-45	17.50
Bt	45-80	28.00	BC	45-60	22.00
Bck	80-100	20.00	Ck	60-	50.00
Ck	100-	9.30			
Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.	Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.
Perfil CE-17			Perfil CE-19		
Ap	0-25	34.50	A1	0-15	10.00
Bt1	25-60	6.75	A2	15-25	16.75
Bt2	60-80	12.00	Bt	25-65	3.00
Bt3	80-100	6.50	Cx	65-85	4.50
BC	100-115	1.25	C	85-	3.25
C	115-	2.50			

CE-15 y CE-16, aumentando con la profundidad y alcanzando un valor de 50  $\text{cmol}(+)/\text{K}$  en el horizonte CK del segundo de ellos. Para los otros dos perfiles del grupo se encuentran los valores bajos disminuyendo con la profundidad.

Los resultados del análisis químico (tablas VI-1 a VI-4), ofrecen para el  $\text{SiO}_2$  una proporción media en el grupo de 73,01%, con un rango en porcentaje entre 31,69 y 90,89 (tabla XII, pág. ). Los valores inferiores corresponden a los perfiles de naturaleza caliza, aunque algo superiores a los encontrados por GONZALEZ FERNANDEZ (1983) en calcarenitas de la Serranía de Grazalema y del mismo rango que los encontrados por HOYOS et al. (1976), en calizas de la región Guipuzcoana. Los otros dos perfiles (CE-17 y CE-19) presentan valores de  $\text{SiO}_2$  en torno al 80%, siendo más alto en los horizontes A y C.

Para el conjunto de las muestras estudiadas en este grupo, la sílice presenta correlaciones negativas muy significativas ( $P < 0.001$ ) con los carbonatos (tabla VIII-1).

El  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  tienen valores medios en el grupo de 7,72% y 3,02% respectivamente, algo superior a los que encuentra BARRAGAN LANDA (1973). Como se deduce de la figura 19 (a, b, c y d), en la que se representan los porcentajes de ambos elementos para cada uno de los perfiles, varían paralelamente y siempre con valores

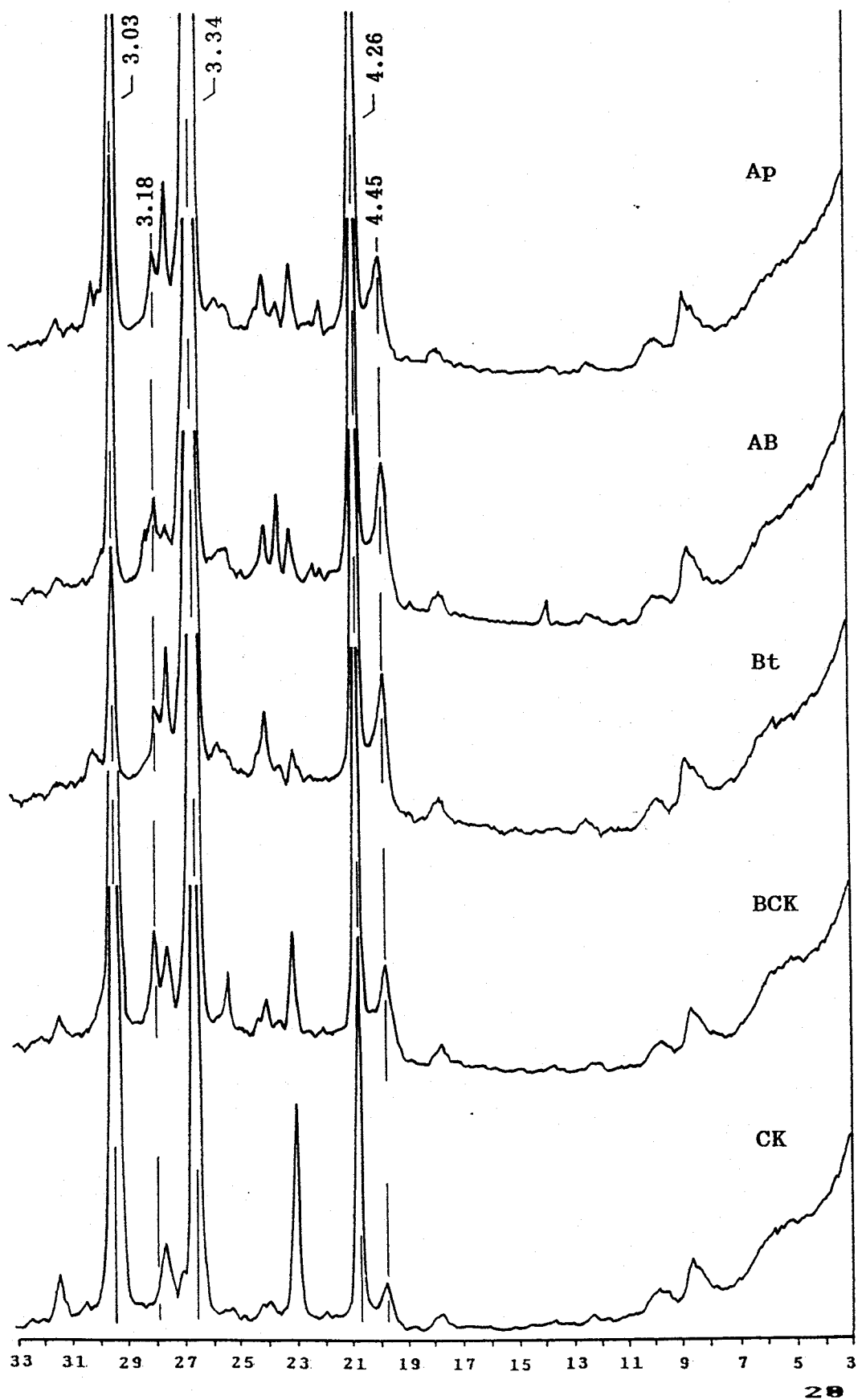


Fig. 15 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CE-15

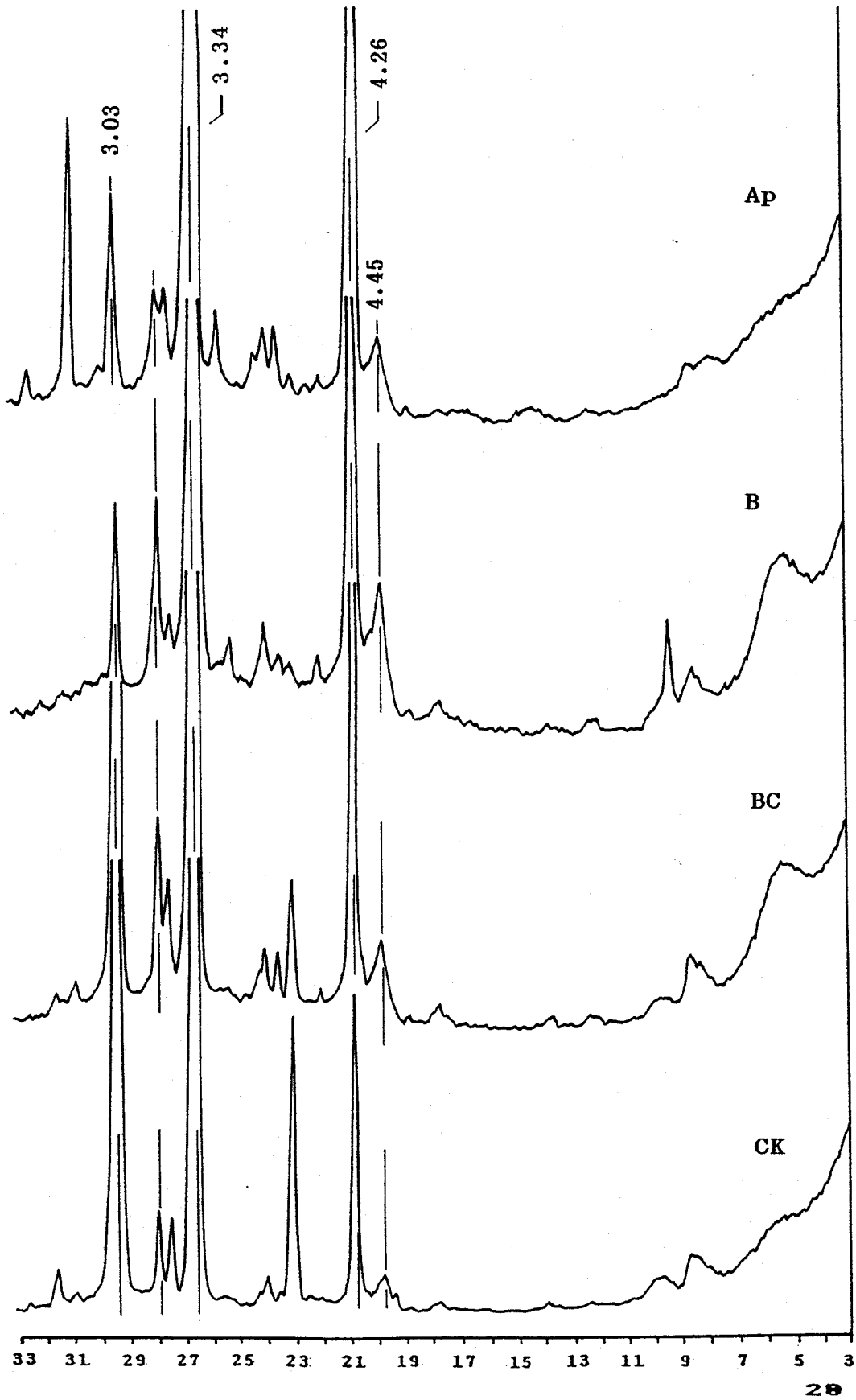


Fig. 16 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CE-16

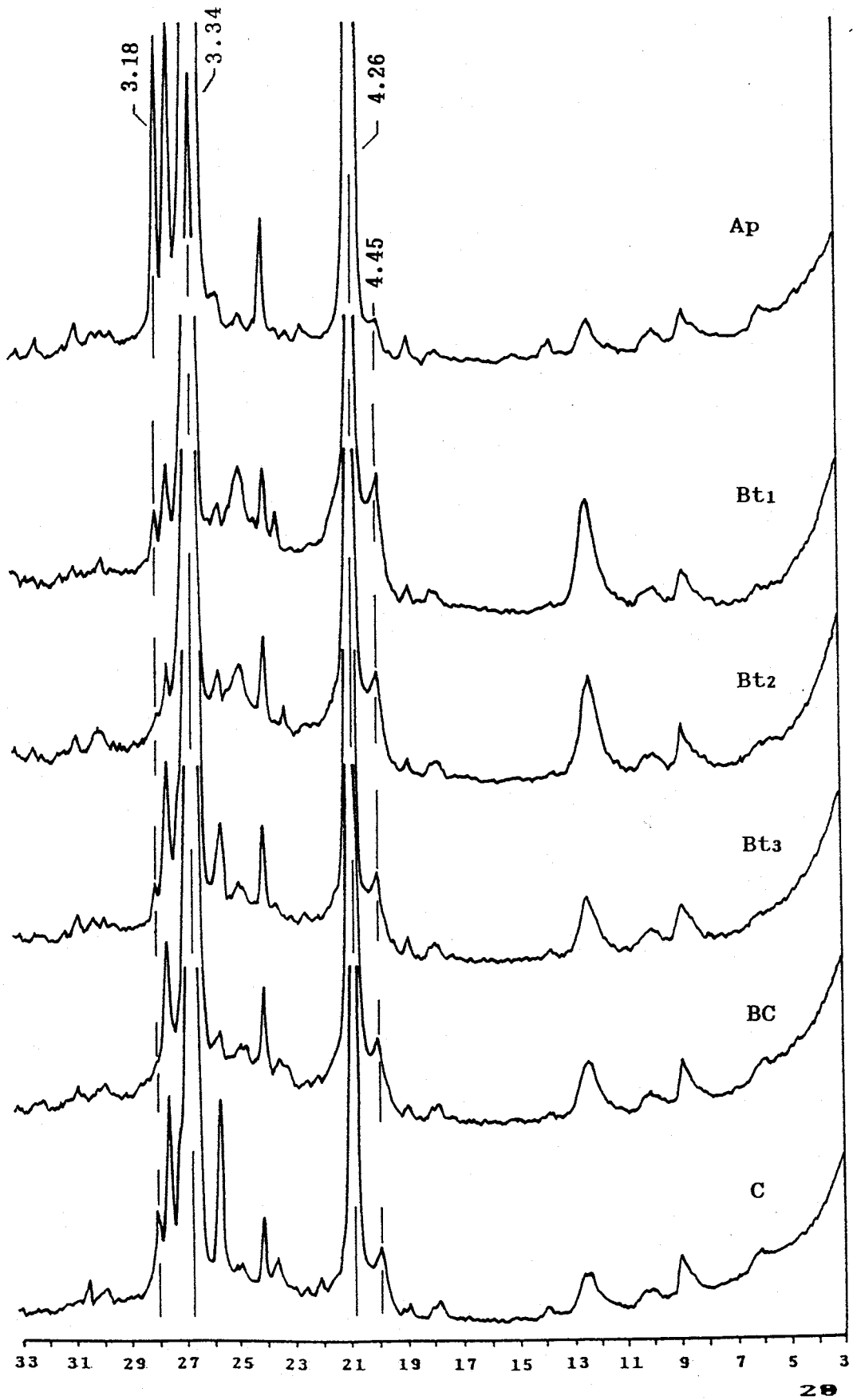


Fig. 17 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CE-17

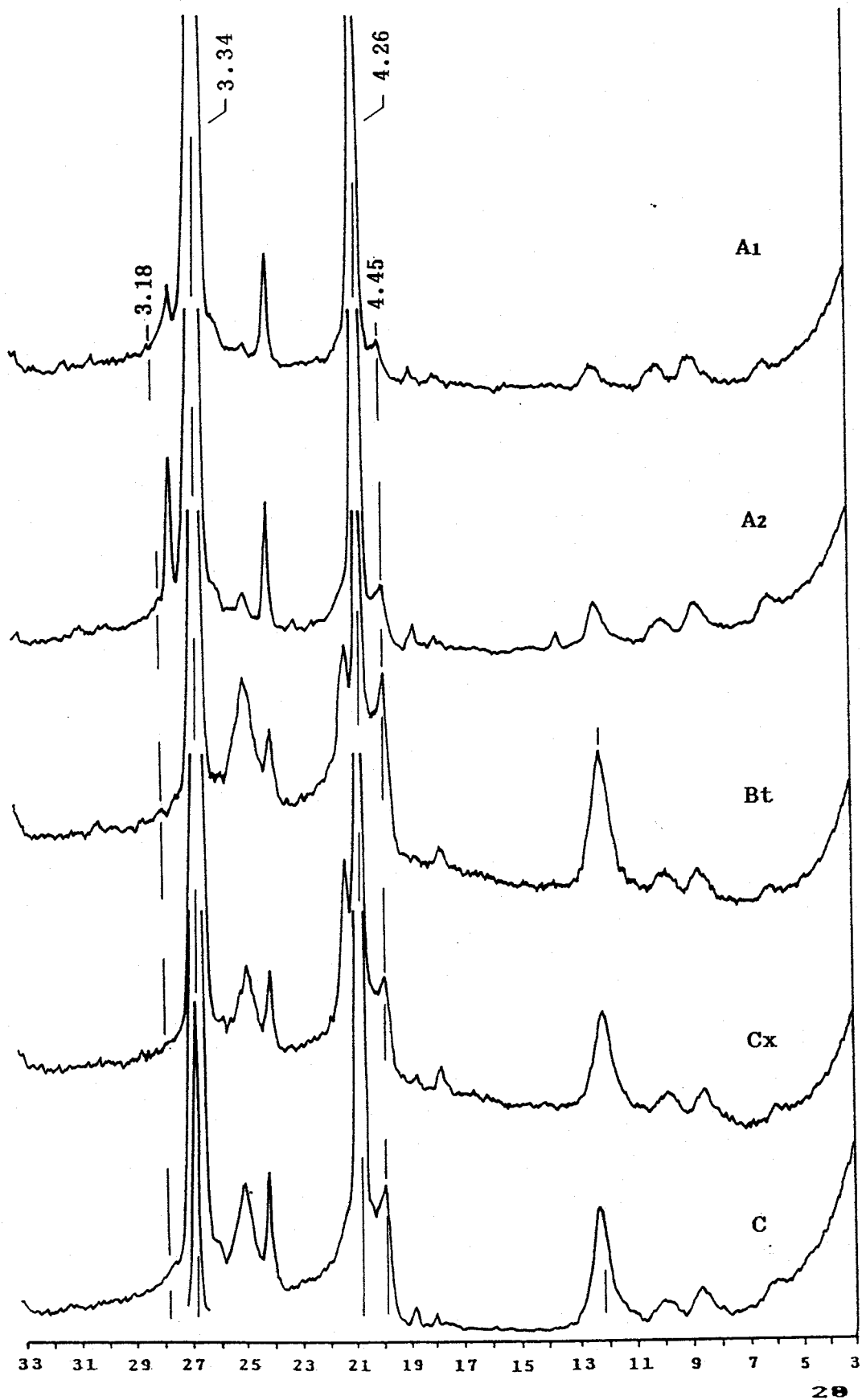


Fig. 18 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CE-19

TABLA. IV-1

COMPOSICION MINERALOGICA SEMICUANTITATIVA DE LOS PERFILES SOBRE ARENISCAS. (%).

Perfil	Horiz.	Profun. (cm.)	CUARZO	FELDES.	CALC.	DOLOMI.	FILOS.
CE-15	Ap	0-20	17	<5	12	--	68
	AB	20-45	16	<5	6	--	75
	Bt	45-80	54	11	12	--	23
	BCK	80-100	15	<5	21	--	61
	Ck	100-	15	--	53	--	32
CE-16	Ap	0-25	33	5	5	--	57
	B	25-45	16	5	<5	--	76
	BC	45-60	19	<5	54	--	23
	Ck	60-	16	<5	58	--	23
CE-17	Ap	0-25	65	7	--	--	28
	Bt1	25-60	25	<5	--	--	72
	Bt2	60-80	26	<5	--	--	71
	Bt3	80-100	42	<5	--	--	55
	BC	100-115	43	<5	--	--	55
	C	115-	47	5	--	--	48
CE-19	A1	0-15	62	<5	--	--	37
	A2	15-25	49	<5	--	--	49
	Bt	25-65	13	<5	--	--	86
	Cx	65-85	37	--	--	--	63
	C	85-	27	--	--	--	73



superiores para el  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , más aún cuanto más básica es la naturaleza del perfil. En el perfil CE-19 se alcanzan valores del 14,83% para el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y un 6,32% para el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  con una acumulación preferentemente en el horizonte B. Estos valores son semejantes a los encontrados por HOYOS et al. (1970 y 1976) y por GONZALEZ FERNANDEZ (1983) para areniscas de distintas zonas de España, y superiores a la media de la totalidad en los diferentes suelos estudiados en esta memoria (tabla XII).

Aunque podría pensarse que el factor pH es predominante en la proporción de Al y del Fe de acuerdo con los datos obtenidos, el contenido de arcillas desempeña el papel más primordial en concordancia con los datos presentados por MOURA y KROONENBERG (1988).

Los valores en óxidos de estos elementos extraídos se consideran bajos (tabla V-1), llegando a 0,26% como máximo para el Al extraído en la oscuridad en el perfil CE-15 y al 4% en Fe(d) en el CE-19, siguiendo la misma tónica de variación que los valores obtenidos para Fe y Al totales.

Los valores más destacados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en algunos horizontes están acordes con la existencia de caolinita y con la proporción de feldespatos en ellos.

TABLA. V-1

OXIDOS DE HIERRO Y ALUMINIO LIBRES EXTRAIDOS EN LOS  
PERFILES DE SUELOS SOBRE ARENISCAS.

Perfil	Horiz.	Profun. (cm.)	Fe(o) %	Al(o) %	Fe(d) %
CE-15	Ap	0-20	0.09	0.19	1.21
	AB	20-45	0.09	0.24	1.61
	Bt	45-80	0.07	0.26	1.97
	Bck	80-100	0.04	0.14	1.33
	Ck	100-	0.01	0.04	0.45
CE-16	Ap	0-25	0.05	0.10	0.99
	B	25-45	0.05	0.08	1.46
	BC	45-60	0.03	0.09	0.87
	Ck	60-	0.01	0.02	0.42
CE-17	Ap	0-25	0.03	0.04	0.62
	Bt1	25-60	0.08	0.08	2.98
	Bt2	60-80	0.05	0.06	2.11
	Bt3	80-100	0.04	0.04	1.69
	BC	100-115	0.03	0.06	1.65
	C	115-	0.02	0.03	0.98
CE-19	A1	0-15	0.08	0.08	2.82
	A2	15-25	0.05	0.06	1.27
	Bt	25-65	0.11	0.15	4.19
	Cx	65-85	0.03	0.05	4.20
	C	85-	0.04	0.07	1.76

Fe(o), Al(o)=hierro y aluminio extraído por el método  
de la oscuridad.

Fe(d)=hierro extraído con citrato-ditionito-bicarbon.

El  $TiO_2$  oscila entre 0,34% y 0,95% con una media de 0,54% para todo el grupo. Son valores considerados bajos, aunque concordantes con los dados por AUBERT y PINTA (1977) para suelos semejantes y prácticamente igual al que ofrece CLARKE (1924), 0,57% en rocas sedimentarias de este mismo tipo, siendo algo más bajos si lo comparamos con la media de todos los suelos estudiados en esta memoria (0,72%). (tabla XII).

El comportamiento del titanio en estos suelos es análogo al de los sesquióxidos, observándose una clara acumulación en el horizonte iluvial, de acuerdo con los autores anteriormente citados.

La correlación existente entre el  $TiO_2$  y el  $Fe_2O_3$ , con una significación del 99%, se podría explicar por la posible existencia de ilmenita que frecuentemente se presenta en sedimentos y suelos, tendiendo a aumentar su contenido con la meteorización y sustituciones isomórficas del Fe (BESOAIN, 1985).

El CaO tiene valores altos en los perfiles calizos y sobre todo en los dos últimos horizontes, debido a un proceso de lavado descendente y acorde con una mayor presencia de calcita. Por el contrario el MgO se encuentra regularmente distribuido en los cuatro perfiles, aunque algo más elevado en los perfiles calcáreos. El valor medio

es de 0,7%, presentando correlaciones positivas significativas con CaO, Na<sub>2</sub>O, pH y minerales de la arcilla.

Los alcalinos Na<sub>2</sub>O y K<sub>2</sub>O con valores medios de 0,23% y 1,07% son más abundantes en los perfiles calizos, de acuerdo con los datos encontrados en la bibliografía, no presentando alteraciones importantes a lo largo de cada perfil.

Son muy altas las correlaciones de K<sub>2</sub>O con ilita, a nivel de 99,9%, así como del Na<sub>2</sub>O con esmectita y caolinita, positiva y negativa respectivamente. Es igualmente significativa la del pH con los tres minerales, negativa en el caso de la caolinita y positiva con los otros dos, lo que concuerda con las condiciones de formación de estos minerales.

Los elementos minoritarios en estos perfiles, presentan valores medios superiores a la media general de todos los suelos estudiados (tabla XII), a excepción del Rb, Y, La y Nb. Se puede observar de forma general contenidos más altos en los perfiles calizos y fundamentalmente para los elementos: Mn, Zn, Cu, Ni, Zr, Y, Sr, y Nb. El pH parece ser el factor que más influye, encontrándose correlaciones con todos ellos a nivel del 99%. Al contrario de lo que podría pensarse, no se encuentra relación con la proporción de carbonatos.

TABLA. VI-1

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CE-15 (%)					
	Ap	AB	Bt	BCK	Ck
SiO <sub>2</sub>	64.87	66.64	70.83	56.30	31.69
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.77	10.02	11.34	9.02	4.47
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.06	3.58	3.96	3.17	1.42
TiO <sub>2</sub>	0.60	0.70	0.76	0.39	0.42
MgO	0.71	0.77	0.76	0.74	0.75
CaO	8.49	5.82	3.49	13.61	32.90
Na <sub>2</sub> O	0.38	0.35	0.38	0.32	0.38
K <sub>2</sub> O	1.56	1.64	1.95	1.42	0.79
PPC	11.76	9.18	6.04	14.34	25.98
TOTAL	100.20	98.70	99.51	99.31	98.80

TABLA. VII-1

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CE-15 (mg/K)

	Ap	AB	Bt	BCK	Ck	V.medio
Mn	318.80	376.40	332.00	245.60	137.60	282.08
Zn	44.80	45.20	62.00	46.40	26.00	44.88
Cu	221.20	22.00	18.00	13.20	8.80	56.64
Ni	29.60	32.40	41.20	31.20	24.80	31.84
Co	12.40	14.40	20.00	9.60	8.00	12.88
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	---
Pb	56.00	49.60	29.60	29.20	30.80	39.04
Cr	56.40	62.80	69.20	52.00	26.80	53.44
Zr	240.00	260.00	290.00	190.00	98.00	215.60
Y	36.00	38.00	44.00	46.00	10.00	34.80
Sr	54.00	51.00	47.00	50.00	65.00	53.40
Rb	62.00	94.00	78.00	63.00	10.00	61.40
Ba	270.00	360.00	410.00	360.00	130.00	306.00
La	24.00	28.00	30.00	15.00	11.00	21.60
Ga	14.00	14.00	16.00	14.00	11.00	13.80
Sn	n.d.	n.d.	7.00	n.d.	n.d.	1.40
Nb	96.00	63.00	70.00	65.00	90.00	76.80

n.d. = no detectado

TABLA. VI-2

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CE-16 (%)				
	Ap	B	BC	Ck
SiO <sub>2</sub>	79.52	76.60	62.61	41.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.68	8.09	6.81	4.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.28	3.16	2.14	1.15
TiO <sub>2</sub>	0.56	0.68	0.43	0.34
MgO	0.53	0.72	0.66	0.61
CaO	2.78	2.18	12.90	27.61
Na <sub>2</sub> O	0.43	0.43	0.40	0.40
K <sub>2</sub> O	1.30	1.35	1.13	0.82
PPC	5.46	5.59	13.02	23.40
TOTAL	99.54	98.80	100.10	99.55

TABLA. VII-2

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CE-16 (mg/k)

	Ap	B	BC	Ck	V.medio
Mn	183.20	212.00	175.60	131.20	175.00
Zn	40.40	43.20	26.00	30.00	34.90
Cu	40.80	14.40	10.40	18.40	21.00
Ni	24.80	41.60	26.00	20.40	28.20
Co	8.40	14.80	5.60	4.80	8.40
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	---
Pb	45.60	25.20	23.60	27.20	30.40
Cr	39.20	56.40	35.60	21.60	38.20
Zr	380.00	370.00	270.00	180.00	300.00
Y	40.00	58.00	40.00	12.00	37.50
Sr	45.00	48.00	52.00	63.00	52.00
Rb	70.00	84.00	37.00	32.00	55.75
Ba	350.00	420.00	220.00	160.00	287.50
La	31.00	49.00	42.00	9.00	32.75
Ga	12.00	15.00	13.00	11.00	12.75
Sn	13.00	10.00	n.d.	n.d.	5.75
Nb	55.00	72.00	65.00	95.00	71.75

n.d. = no detectado

TABLA. VI-3

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CE-17 (%)						
	Ap	Bt1	Bt2	Bt3	BC	C
SiO <sub>2</sub>	90.89	76.93	81.26	84.81	84.73	86.11
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.09	11.15	9.23	7.90	6.77	6.53
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.93	4.18	3.19	2.70	2.36	1.88
TiO <sub>2</sub>	0.39	0.40	0.34	0.35	0.37	0.36
MgO	0.08	0.21	0.20	0.20	0.22	0.23
CaO	0.08	0.09	0.06	0.06	0.06	0.03
Na <sub>2</sub> O	0.11	0.11	0.11	0.14	0.17	0.18
K <sub>2</sub> O	1.08	1.28	1.32	1.40	1.44	1.54
PPC	1.60	4.05	3.07	2.64	2.36	1.99
TOTAL	99.25	98.40	98.78	100.20	98.48	98.85

TABLA. VII-3

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CE-17 (mg/k)							
	Ap	Bt1	Bt2	Bt3	BC	C	V.medio
Mn	77.20	58.00	50.80	48.40	47.20	38.80	53.40
Zn	11.60	30.00	32.40	27.60	56.80	20.80	29.87
Cu	19.60	6.80	9.20	9.60	6.00	5.60	9.47
Ni	9.20	19.60	17.20	14.80	16.00	12.80	14.93
Co	5.60	12.80	11.20	8.80	8.00	8.40	9.13
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	---
Pb	14.00	24.80	18.80	16.80	17.60	14.80	17.80
Cr	13.60	39.20	33.20	26.40	24.40	22.40	26.53
Zr	120.00	87.00	89.00	95.00	95.00	110.00	99.33
Y	16.00	18.00	17.00	21.00	16.00	22.00	18.33
Sr	16.00	19.00	21.00	24.00	23.00	27.00	21.67
Rb	55.00	72.00	58.00	84.00	82.00	88.00	73.17
Ba	330.00	340.00	330.00	430.00	290.00	360.00	346.67
La	11.00	11.00	12.00	27.00	18.00	23.00	17.00
Ga	12.00	17.00	16.00	13.00	13.00	14.00	14.17
Sn	3.00	9.00	9.00	9.00	14.00	1.00	7.50
Nb	45.00	49.00	65.00	59.00	52.00	42.00	52.00

n.d. = no detectado

TABLA. VI-4

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CE-19 (%)					
	A1	A2	Bt	Cx	C
SiO <sub>2</sub>	85.35	89.72	69.34	78.55	82.16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.87	3.65	14.83	8.86	9.30
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.36	1.86	6.32	6.22	2.41
TiO <sub>2</sub>	0.82	0.95	0.81	0.62	0.58
MgO	0.10	0.08	0.16	0.09	0.08
CaO	0.32	0.21	0.70	0.33	0.22
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.06	0.09	0.04	0.04
K <sub>2</sub> O	0.24	0.29	0.36	0.19	0.24
PPC	4.67	2.81	7.43	4.92	3.76
TOTAL	98.79	99.63	100.04	99.82	98.79

TABLA. VII-4

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CE-19 (mg/k)						
	A1	A2	Bt	Cx	C	V.medio
Mn	120.40	104.40	42.80	45.60	34.00	69.44
Zn	11.60	9.20	20.40	17.60	16.00	14.96
Cu	5.60	7.20	4.80	9.20	6.00	6.56
Ni	14.00	9.60	31.60	16.00	16.00	17.44
Co	4.00	3.20	20.40	7.20	7.60	8.48
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	---
Pb	12.40	7.60	21.60	15.20	13.60	14.08
Cr	38.40	20.00	63.60	40.80	17.20	36.00
Zr	260.00	180.00	83.00	72.00	94.00	137.80
Y	---	---	---	---	---	---
Sr	19.00	13.00	9.00	5.00	9.00	10.00
Rb	33.00	19.00	30.00	34.00	20.00	27.20
Ba	310.00	160.00	200.00	180.00	110.00	192.00
La	6.00	4.00	12.00	3.00	7.00	6.40
Ga	11.00	13.00	19.00	16.00	18.00	15.40
Sn	16.00	35.00	37.00	27.00	30.00	29.00
Nb	76.00	39.00	38.00	42.00	63.00	51.60

n.d.= no detectado



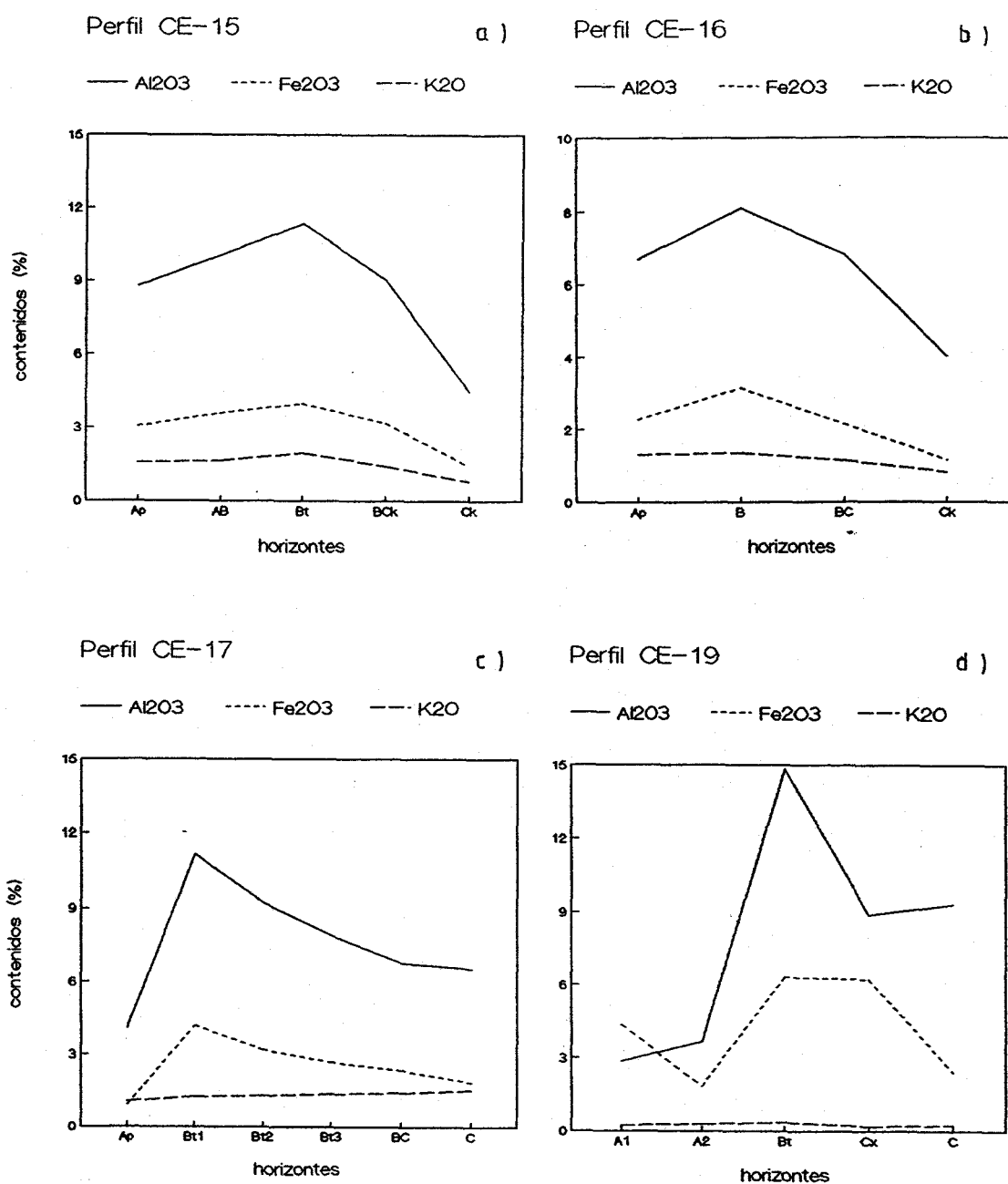


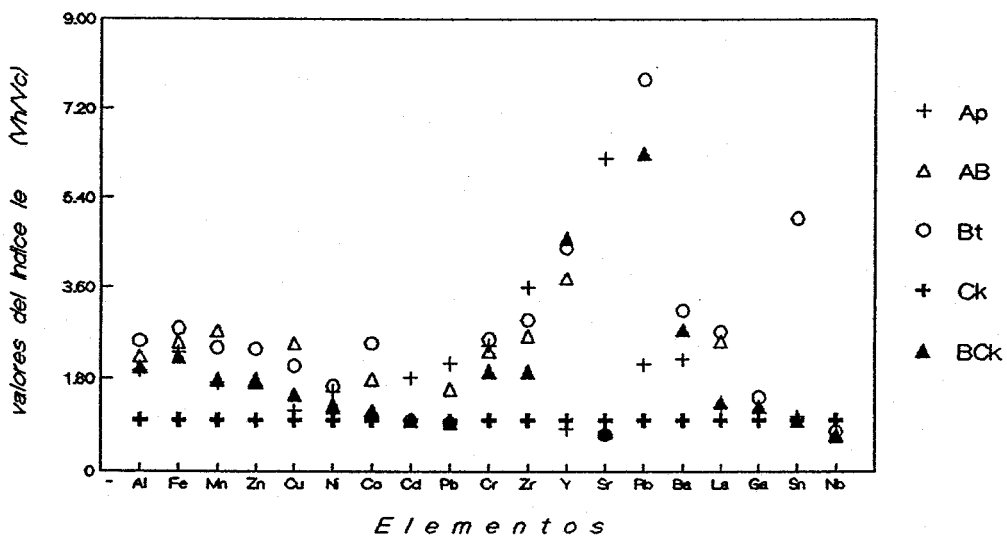
Fig. 19.- Representación de los Valores de Fe, Al y K (expresados en óxidos) de los distintos horizontes en los perfiles de suelos sobre areniscas.

Los valores de Rb y Ba del perfil CE-17, son concordantes con una mayor proporción de feldespatos. Estos se comportan como almacenes de Na, K y Ca, además de elementos minoritarios, y entre ellos Rb y Ba, según RANKAMA y SAHAMA (1950). Igualmente pueden existir sustituciones isomórficas del K en estos minerales, ya que los radios de estos elementos ( $1,48 \text{ \AA}$  del Rb y  $1,35 \text{ \AA}$  del Ba) están dentro del rango efectivo, establecido entre  $1,19 \text{ \AA}$  y  $1,61 \text{ \AA}$  por SHAW (1964).

Los perfiles calizos acusan un enriquecimiento general de todos los elementos, sobre todo en el horizonte B, según el índice de variación (figura 20). El Ba, Rb y Cr son los que más se acumulan (figuras 23 y 24) y, en menor cuantía, Al, Fe y Mn, cuya proporción aumenta con el lavado de  $\text{SiO}_2$  hacia horizontes inferiores, como se indicó anteriormente.

El perfil CE-17, con ausencia de material calcáreo presenta un comportamiento bastante uniforme, con ciertas acumulaciones en el horizonte B, a la vez de una disminución de los mismos elementos en los horizontes superiores, todo ello relacionado con una iluviación de arcillas. Este comportamiento puede ser asumido por el perfil CE-19 con ausencia igualmente de carbonatos (figuras 22-24).

Perfil CE-15



Perfil CE-16

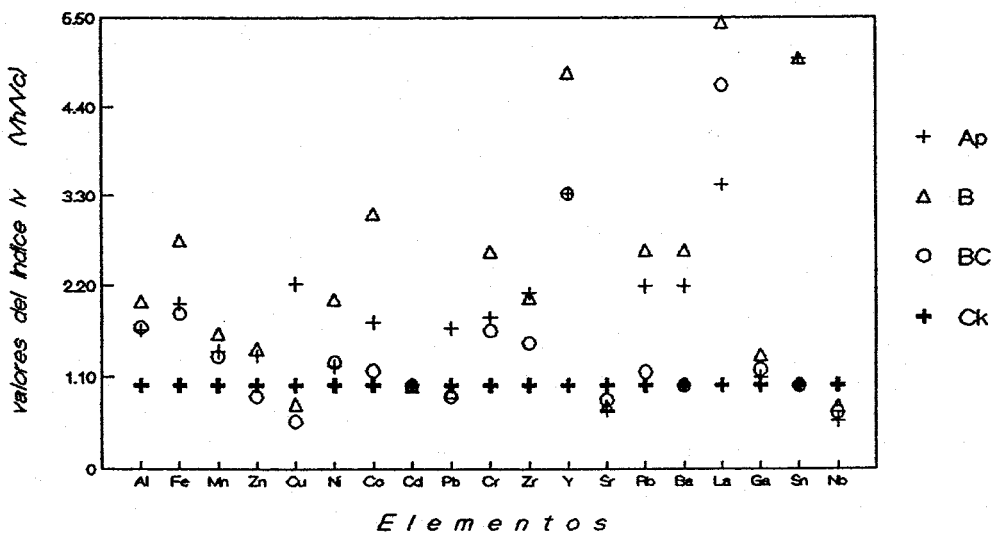
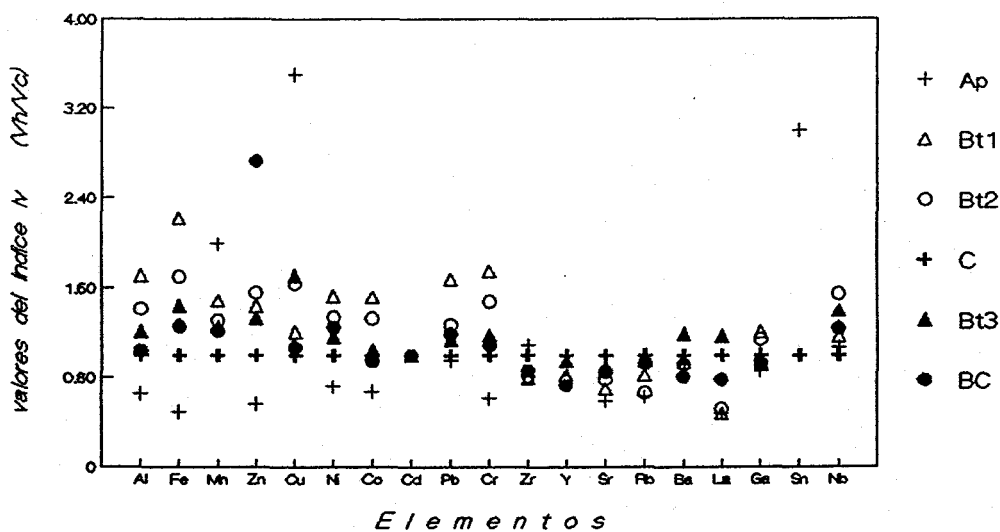


Fig. 20.- Representación de los índices de variación para Fe, Al y elementos minoritarios de los perfiles CE-15 y CE-16.

Perfil CE-17



Perfil CE-19

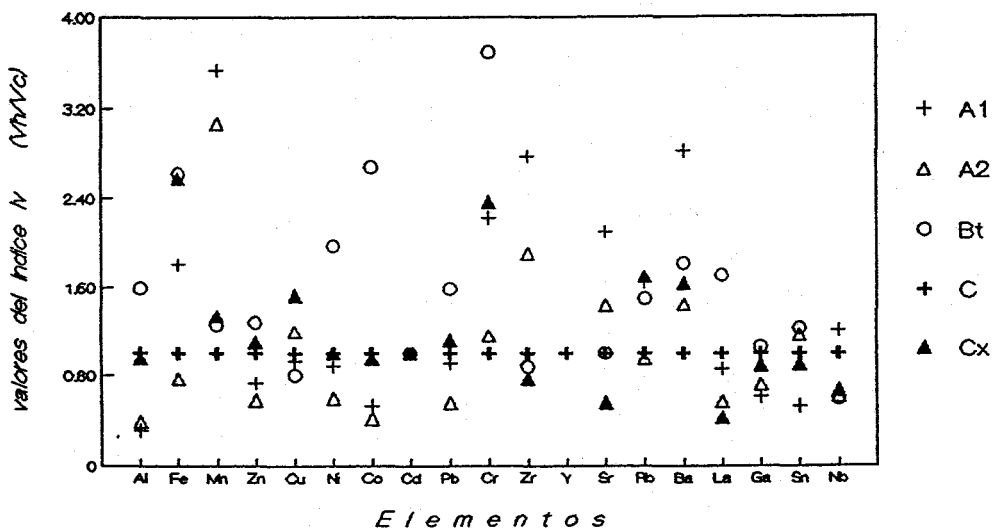


Fig. 21.- Representación de los índices de variación para Fe, Al y elementos minoritarios de los perfiles CE-17 y CE-19.

El Mn presenta contenidos análogos a los dados por AUBERT y PINTA (1977), para este mismo tipo de suelos. Según el mismo autor, a  $\text{pH} > 7$  puede formar óxidos muy estables difíciles de solubilizar con reactivos normales, no obstante, se ha encontrado una correlación positiva muy significativa con el pH, de manera que con valores altos de este factor da lugar a una acumulación y con valores bajos favorece el lavado, de acuerdo con los estudios de GONZALEZ y MAZUELOS (1960) en suelos calizos.

No se observa una correlación de este elemento con la proporción de carbonatos en todo el grupo, pero si se toman solamente los perfiles calizos la correlación es mediana y negativa, encontrándose en todos los casos acumulaciones de este elemento en los horizontes arcillosos. También se detecta una alta correlación del manganeso con Ni, Pb, Cr, Zr y Sr además de los alcalinos y MgO.

Por otra parte, el Zn presenta en este grupo un valor medio superior a los encontrados en la bibliografía, aumentando en los horizontes arcillosos (figura 22) y con una importante correlación positiva con el Ni y  $\text{K}_2\text{O}$ . El perfil CE-19 fundamentalmente caolinítico, la pequeña proporción de illita podría justificar la cantidad de Zn en el perfil. No se encuentra una correlación de este elemento

con los carbonatos, al contrario de lo establecido por FERNANDEZ GONZALEZ (1983) y BERRY y MASON (1966).

Este elemento presenta, igualmente, una correlación negativa con la fracción más gruesa del suelo, ya que está asociado a la fracción más fina como se ha comentado anteriormente.

El Cu tiene contenidos bajos en el grupo con un valor medio similar a los dados por AUBERT y PINTA (1977) para suelos de Francia, acumulándose fundamentalmente en el horizonte húmico y disminuyendo hacia los horizontes inferiores. Cabe destacar el valor anormalmente alto en el perfil CE-15 (221 ppm), que puede estar causado por el uso de fungicidas, muy común en las zonas de viñedos (AUBERT y PINTA, 1977 y MAQUEDA, 1970).

En el perfil CE-19, el Cu presenta valores muy bajos, acorde con la baja proporción de arcillas, observándose una correlación con ilita debido probablemente a una adsorción de ese mineral. También existe una correlación, algo menor y positiva con Pb y materia orgánica, hecho constatado suficientemente en la bibliografía.

El Ni tiene un comportamiento muy similar al Mn, Zn y sobre todo con el Co en este grupo (figura 22), presentando correlaciones positivas muy significativas con

estos elementos ( $P < 0.001$ ). El valor medio en este grupo es del mismo orden que el obtenido para la totalidad de los suelos estudiados (tabla XII), con una tendencia de enriquecimiento hacia el horizonte B en los cuatro perfiles.

Las correlaciones positivas y con significación del 99,9% (Ni-MgO y Ni-Na<sub>2</sub>O) justifican la concentración del Ni en suelos básicos, ricos en estos elementos. También se correlacionan con los minerales de la arcilla (ilita y caolinita) (GARCIA GOMEZ, 1962), lo que infiere procesos de adsorción y sustituciones isomórficas a los que suele estar sometido. Este elemento no presenta valores destacados en los horizontes superficiales como apuntan algunos autores, (AUBERT y PINTA, 1977) entre otros, por lo que a pesar de ser un elemento de acumulación biogénica, en estos suelos no se da esta situación.

El elemento Co tiene valores relativamente bajos en estos suelos, no observándose una clara diferencia en cuanto a contenidos entre suelos calizos y no calizos en el grupo. Destacan las correlaciones positivas con la proporción de arcilla, Ni, Cr y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a nivel de  $P < 0.001$ ; con Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> a nivel de  $P < 0.01$ , existiendo una buena relación del Co con Fe dados los puntos de contacto que tienen ambos elementos en el ciclo geoquímico.

La pequeña proporción de Co en estos suelos sobre areniscas puede ser debido al bajo contenido de illita existente, ya que estudios amplios sobre este elemento lo asocian preferentemente a este mineral de la arcilla (GARCIA GOMEZ, 1962).

Respecto al Cd, no ha podido detectarse su presencia en estos perfiles, al estar su contenido posiblemente por debajo de los niveles de detección del método utilizado.

La media del Pb en estos suelos es de 24,7ppm, con valores más altos que los expresados en la bibliografía, aunque no existen demasiadas referencias de este elemento en los suelos, debido quizá a que los diferentes autores estudian este elemento relacionado con su toxicidad, sufriendo grandes variaciones por contaminaciones zonales, entre otras causas. AUBERT y PINTA (1977) dan un promedio para suelos entre 15 y 20 ppm. En este estudio que se lleva a cabo y concretamente en los cuatro perfiles de areniscas se observa una acumulación bastante notable en los horizontes húmicos para los perfiles calcáreos (figura 23), debido según algunos autores a su origen biogénico (SWAIN y MITCHELL, 1960, DOBROVOL'SKIY y ALESHCHUKIN, 1964, KRYM, 1964, etc...), mientras que los suelos más ácidos de este grupo presentan



una acumulación en el horizonte B, más arcilloso.

Se observan correlaciones positivas muy significativas con pH,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{MgO}$  ( $P < 0.001$ ) y con los elementos Sr, Mn, Zn, Cu, Ni y Cr además de los minerales de la arcilla, lo que implica razones de adsorción en intercapas y sustituciones isomórficas según PINTA y OLLAT (1961), no encontrándose una relación clara con la proporción de arcillas.

El Cr no presenta valores altos en estos suelos, siendo inferior a la media de todos los estudiados (tabla XII). Se acumula en el horizonte arcilloso y disminuye hacia los más profundos, debido a su lixiviación (figura 23).

Este elemento presenta correlaciones con  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ( $P < 0.01$ ) positivas, igualmente, con el mineral illita y no se establecen con la proporción de arcilla ni las demás fracciones separadamente, encontrándose con la suma de arena gruesa y fina de signo negativo, y positivo de la arcilla más el limo. Esto podría justificar una distribución entre las fracciones finas.

Si no se tienen en cuenta algunas diferencias, el Zr tiene un comportamiento en los perfiles de este grupo muy similar al Mn, incluso en los contenidos (figura 22). Este elemento presenta una acumulación superficial con una

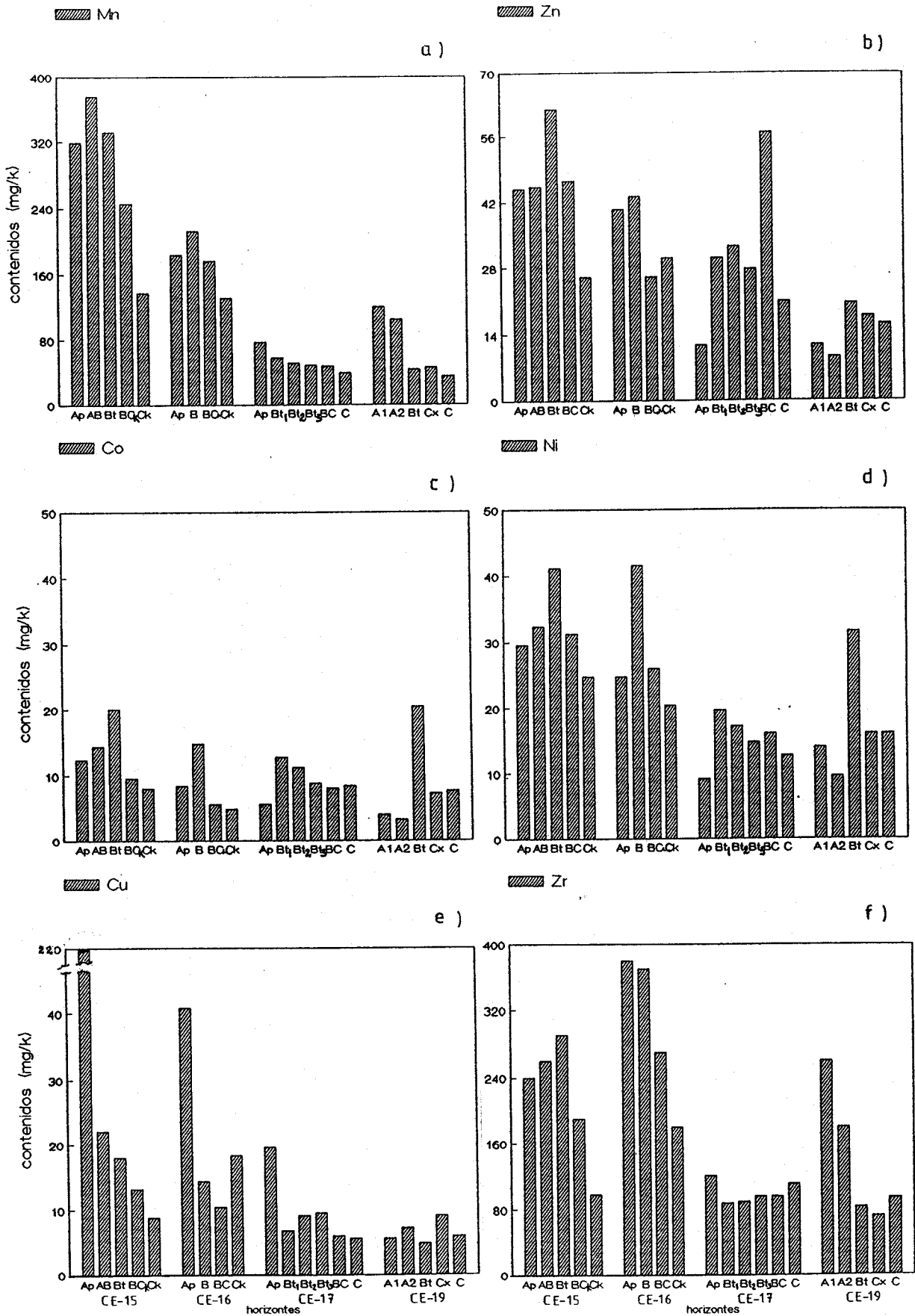


Fig. 22.- Histogramas de los elementos Mn, Zn, Co, Ni, Cu y Zr en los perfiles sobre areniscas.

progresiva disminución hacia los horizontes más profundos donde además es menor la proporción de arena. Esta disminución refleja el hecho que el Zr en suelos está muy relacionado con el mineral circón asociado a la fracción arena (MOURA y KROONENBERG, 1988).

Las correlaciones más destacadas son las de Zr con la arena fina, pH, caolinita,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{MgO}$  al nivel máximo de significación ( $P < 0.001$ ) y, además, con los elementos Mn, Y, Ni, Pb y Cr ( $P < 0.05$ ).

Los elementos La e Y presentan valores más altos en los perfiles CE-15 y CE-16 (más básicos), igual que ocurre para el elemento anterior, aunque se acumulan preferentemente en los horizontes arcillosos. En la figura 23, se presentan los histogramas comparativos de contenidos para estos elementos, no habiéndose podido determinar el Y en el último perfil (CE-19), debido a las interferencias con otros elementos.

Los valores medios para ambos elementos (La e Y) son altos, con relación a los otros suelos estudiados y con valores superiores en los perfiles calizos.

Se observan correlaciones del Y, fundamentalmente con los minerales de la arcilla, pH y con los carbonatos, además de Ni, Cr y Zr con significación máxima según se

establece en la tabla VIII-1. Existe igualmente correlación entre ambos elementos.

En cuanto al Sr se puede observar en la figura 23 un aumento con la profundidad, prácticamente en todos los perfiles, debido a su lixiviación y siendo su valor más alto en los perfiles calizos. Las correlaciones más significativas las presenta con pH, carbonatos y con  $\text{Na}_2\text{O}$ , algo menor con  $\text{K}_2\text{O}$ . Así, el elemento Sr, según AUBERT y PINTA (1977), sigue la misma distribución que el Ca en los horizontes, debido entre otras causas a relaciones dimensionales de los iones. Se correlaciona muy bien con los minerales de la arcilla, aunque no se establece de forma significativa, con la proporción de ella. También con  $\text{SiO}_2$  de signo negativo y con significación  $P < 0,001$ , al igual que con los elementos Sn, Nb, Mn y Pb, no observándose con el Ba.

Los valores de este elemento y para estos suelos son bajos (33ppm de media). SWAIN (1955) da un contenido en suelos entre 50 y 1000ppm, (VINOGRADOV (1959) da valores para la litosfera de 350ppm).

El Ba, aunque suele estar muy relacionado con el Sr no se cumple en estos suelos. El perfil CE-17 de carácter ácido y con mayor proporción de arena gruesa presenta un contenido más alto en Ba. Se correlaciona con

el K y también con el Rb, dada su asociación a la fracción más gruesa del suelo (MOURA y KROONENBERG, 1988), no encontrándose con los minerales de la arcilla.

Existen amplias referencias de este elemento en la bibliografía, entre otros SWAINE y MITCHELL, (1960) y KOVDA y VASIL'EYVSKAYA (1958), con una gran variabilidad en su contenido, dependiendo no solamente del tipo de suelo sino también de los factores ambientales.

En general, el contenido en estos perfiles es similar a la media de todos los suelos estudiados en esta memoria y a diferencia del Sr, el Ba debido a su menor solubilidad se acumula en los horizontes más superficiales.

El valor medio de Rb para estos suelos es de 55,25ppm., comparable al dado para suelos similares por AUBERT y PINTA (1977) en diferentes zonas del mundo. Tiene valores muy bajos en el perfil CE-19 (figura 24) y, en los dos perfiles calizos (CE-15, CE-16), este elemento se acumula claramente en los horizontes iluviales con disminución hacia una mayor profundidad.

No se observa ninguna correlación con el pH, por el contrario sí se establece con  $K_2O$  y con los feldespatos. De forma negativa con la arena gruesa y positiva con la fina, lo que aclara en cierta forma el bajo contenido en el perfil CE-19.

Así mismo, con significación del 99,9%, el Rb se correlaciona con Ba y a nivel algo menor con Zn.

El valor medio para el Ga es de 14ppm, siendo la media de todos los suelos estudiados muy parecida (14,75ppm). La distribución de este elemento es muy uniforme en los distintos horizontes, lo que indica que se trata de un elemento poco dinámico, con un cierto parecido en su comportamiento al Co en variación y contenidos. Se observa entre ellos una correlación a nivel de  $P < 0,05$ .

El elemento Ga se correlaciona con la arcilla, con la arcilla más el limo y con la suma de arena fina y el limo, justificando así la tendencia a una distribución equitativa entre las distintas fracciones.

La estrecha relación observada con el  $Fe_2O_3$  y  $Al_2O_3$  puede deberse a procesos de sustituciones isomórficas (MOURA y KROONENBERG, 1988).

El estaño tiene bajos contenidos en estos perfiles, con una media de 8ppm (tabla XII), encontrándose preferentemente en suelos ácidos (figura 24), debido a su menor solubilidad en este medio y de acuerdo con su correlación negativa entre este elemento y el pH. También se correlaciona positivamente con caolinita y negativamente con ilita y esmectita.

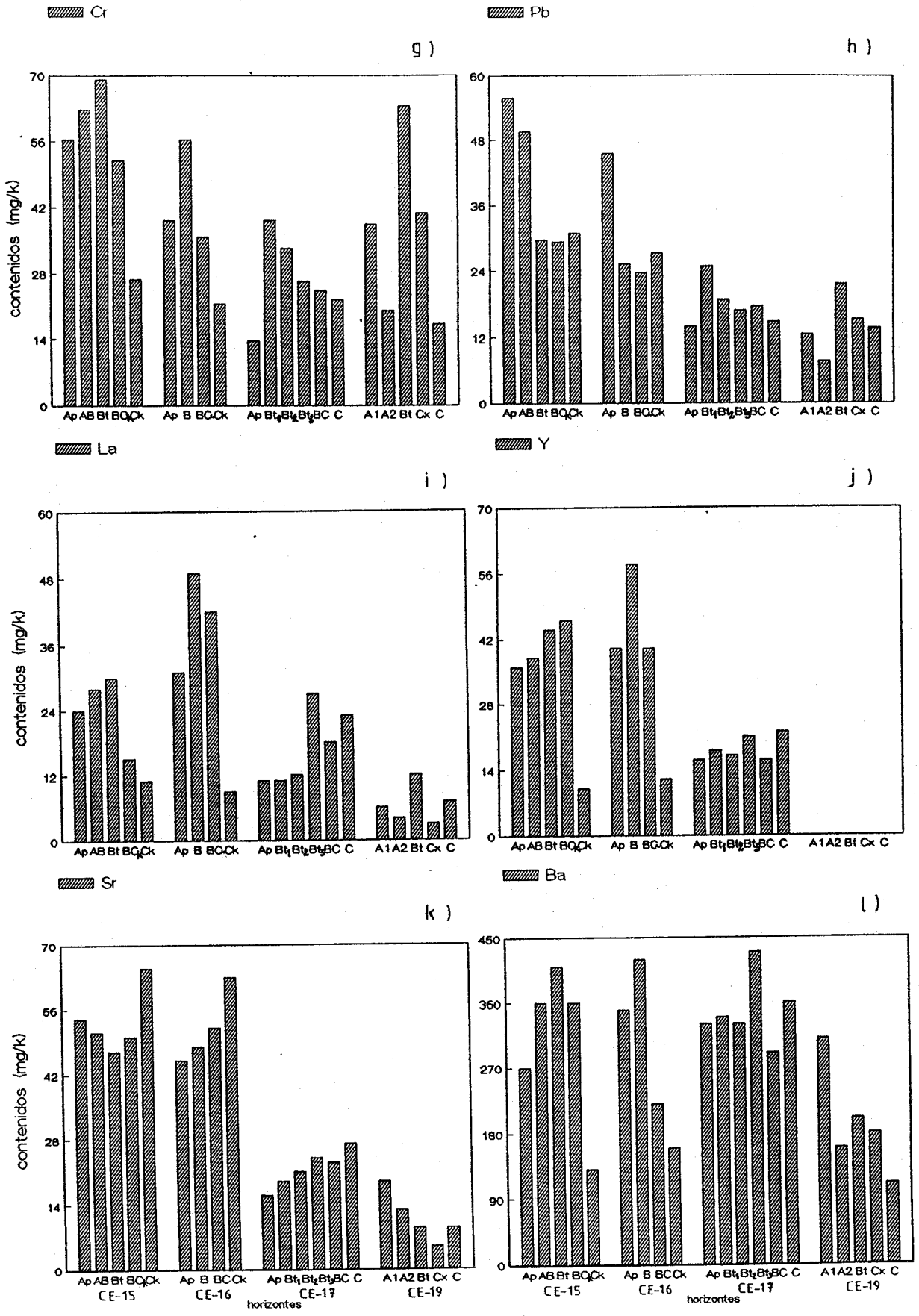


Fig. 23.- Histogramas de contenidos de los elementos Cr, Pb, La, Y, Sr y Ba.

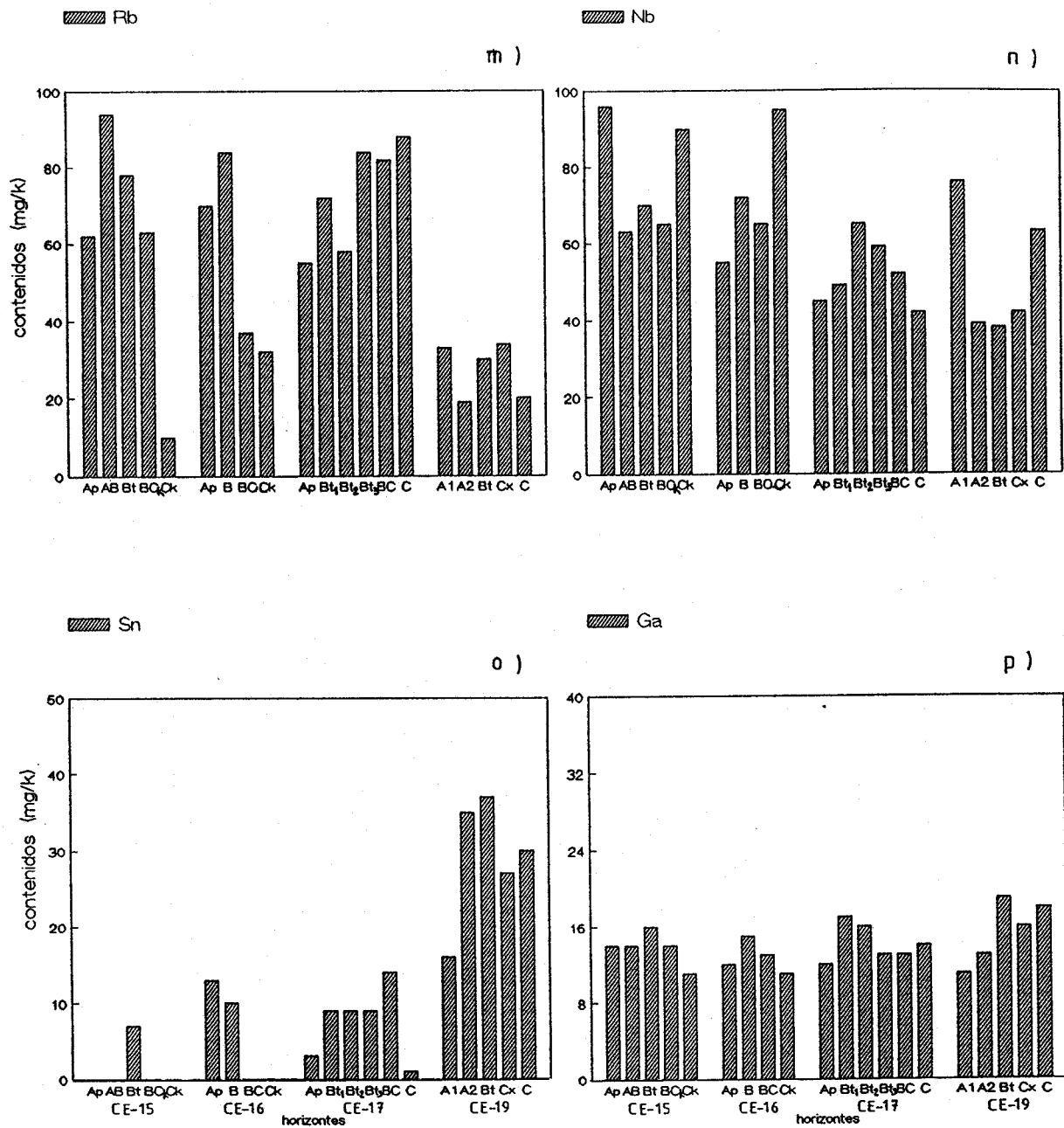


Fig. 24.- Histogramas de contenidos de los elementos Rb, Nb, Sn y Ga.







Para el Nb no se han encontrado referencias claras en la bibliografía en cuanto a su contenido en suelos semejantes a los aquí estudiados. Su valor medio (62ppm) no difiere de la media general, acumulándose en unos casos en la superficie y en otros en el horizonte arcilloso, no encontrándose una justificación que aclare este hecho (figura 24).

Presenta correlaciones muy significativas con los minerales de la arcilla, positiva con la illita y esmectita y negativa con la caolinita. Su correlación con la calcita, con los carbonatos y el pH hacen pensar en una asociación a los materiales de carácter básico. Igualmente, mantiene una correlación con el Sr ( $P < 0.001$ ).

**III.1.2. SUELOS ARENOSOS Y SEDIMENTOS ARCILLO-  
ARENOSOS.**

### III.1.2. SUELOS ARENOSOS Y SEDIMENTOS ARCILLO-ARENOSOS.

De los perfiles de este grupo: CA-13 (Haploxeralf ácuico), CA-25 (Haploxeralf ácuico-abruptico), CA-28 (Quartzipsamment) y CA-29 (Haploxeralf ácuico-abruptico), son fundamentalmente arenosos, mientras que CS-14 (Xerofluvent mólico), CS-22 (Xeropsamment litoplíntico), CS-23 (Haploxeralf típico), CS-24 (Xerofluvent mólico), AS-8 (Palexeralf) y AS-9 (Haploxeralf ácuico) se pueden considerar como sedimentos arcillo arenosos.

Los datos analíticos y generales se encuentran en las tablas I y II con las extensiones 5 a 8 (para los primeros) y de 9 a 14 (para los sedimentos), en la tabla III-2 se incluyen también las capacidades de cambio catiónico de todo el conjunto de perfiles.

Con objeto de una mayor claridad en la discusión del grupo, se comentan de forma separada según el material original, aunque su interrelación implica continuas comparaciones en el desarrollo.

En cuanto a las tablas I (5 a 14), se pueden observar los valores de pH en agua para todo el grupo, que oscilan en torno a 7, estando la mayoría de ellos por debajo de este valor y generalmente los horizontes B, que se pueden considerar moderadamente ácidos. Los valores más

bajos se presentan para CS-23 y AS-8 (tablas I-11 y I-13) (pH=4 para los horizontes B del primero), llegando hasta cerca de pH=8 en el CS-14 (tabla I-9), único perfil en el que se aprecia un cierto carácter calcáreo en algunos de sus horizontes, debido probablemente a razones de lavado de los carbonatos con una acumulación a esa profundidad.

La dispersión de los valores del pH incluso en un mismo perfil, hace que no sea posible una división en cuanto a este factor para su discusión, estando caracterizados la mayoría de ellos por aportes arenosos sobre suelos originales más o menos arcillosos.

Los 4 perfiles arenosos se caracterizan por la ausencia de carbonatos (tablas I-5 y I-8) y de minerales típicamente calcáreos, como se deduce de la estimación semicuantitativa (tabla IV-2), obtenida de los correspondientes diagramas de rayos X (figuras 25 a 34). La arena gruesa es la fracción predominante y, sobre todo, en el perfil CA-29 con un 86% para el horizonte superficial como se puede ver en la tabla II-8, presentando en este mismo perfil porcentajes que no superan el 8% para la fracción de arena fina. El limo es la fracción que tiene los valores más bajos, el 90% de los horizontes no superan el 11% en contenido, también la fracción arcilla está poco representada, con un bajo porcentaje en estos perfiles arenosos a excepción de los horizontes más profundos con

características propiamente arcillosas, horizontes B con valores en torno al 40%, de acuerdo también con un aumento de los filosilicatos, según la estimación semicuantitativa y muy diferenciados de los horizontes arenosos que oscilan entre 3% y 18% 9 (tabla IV-2).

Los feldespatos en estos perfiles tienen valores igualmente bajos y disminuyen progresivamente desde los horizontes superficiales a los más profundos.

La materia orgánica como era de esperar, no presenta valores importantes en estos suelos, destacando sin embargo el valor de 4,48% en el perfil CA-29 (tabla II-8) en su horizonte más superficial, por las características especiales de éste, en el que ha tenido lugar un proceso de humificación en una zona muy diferenciada como inicio de turbera. Este horizonte orgánico escasamente desarrollado se sitúa directamente sobre las arenas basales que en este caso se consideran material original, con características heredadas de un régimen de humedad, ácuico no actual, siendo su textura fundamentalmente gruesa con un valor del 86% en esa fracción, debido a un proceso de lavado fuerte, como se ha indicado anteriormente, probablemente motivado por una hidromorfía pasada.

La textura en los perfiles de sedimentos no ofrecen, a pesar de todo, variaciones importantes con

respecto a las arenas, destacando excepcionalmente los valores relativamente bajos de la fracción gruesa en el perfil CS-23 y a la vez en el mismo perfil una acumulación de arcillas que llega a tener hasta el 61%, coincidiendo también con una disminución en el pH.

En cuanto a la M.O., igualmente, tienen valores bajos, excepto en el perfil CS-14 donde todos los horizontes sobrepasan el 1%, llegando hasta el 7% en el más superficial y siendo este perfil, además, el que presenta carácter más básico con la profundidad (tabla I-9 y II-9). los valores de pH están cercanos a 8 de acuerdo con la presencia de carbonatos (con un valor del 12%, puntualmente en un horizonte Ck intermedio y 23% de calcita, según la estimación semicuantitativa, (tabla IV-2) coincidiendo con un valor relativamente bajo de cuarzo (35%) en el mismo horizonte.

En la tabla III-2 se presentan los valores de la capacidad de cambio, muy pequeños como suele corresponder a los suelos arenosos. Todos estos suelos de terrazas se caracterizan por la presencia de un sedimento enterrado, constituídos por arenas basales según ZAZO (1980), en este caso se pueden ver afloramientos en el límite norte del Parque Nacional de Doñana. Dichos sedimentos resultaron de una deposición de arenas provinientes de Sierra Morena en



TABLA. I-5

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CA-13.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
A1	0-5	0.04	24.25	0.51	0.00	6.64		6.20
A2	5-15	0.02	32.50	0.36	0.00	6.17		5.30
AC	15-40	0.02	25.50	0.44	0.00	6.45		5.60
2Bg1	40-70	0.02	28.50	0.22	0.00	4.61		4.02
2Bg2	70-90	0.02	30.00	2.46	0.00	4.55		3.43
2Cg	90-	0.01	79.00	2.39	0.00	4.90		4.24

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-6

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CA-25.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
A1	0-3	0.08	6.00	1.66	0.32	6.30		5.70
A2	3-30	0.01	11.00	0.50	0.00	6.50		5.70
A/C	30-50	0.01	8.00	1.90	0.00	7.10		6.40
C	50-60	0.00	0.00	2.20	0.00	7.30		6.40
2Bt	60-80	0.02	9.50	1.60	0.50	5.30		4.40
2Bx	80-	0.01	13.00	2.30	0.00	5.20		4.50

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-7

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CA-28.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
A1	0-20	0.06	13.83	0.31	0.00	5.20		4.00
A2	20-40	0.07	8.14	0.23	0.00	4.80		3.70
AC	40-60	0.09	3.56	0.00	0.00	5.00		4.10
(C/A)1	60-80	0.02	9.50	0.00	0.00	6.00		5.70
(C/A)2	80-130	0.02	12.50	0.00	0.00	6.30		5.70
Bt	130-170	0.03	12.00	0.91	0.00	5.90		5.00

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-8

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CA-29.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
A1	0-10	0.15	17.33	0.93	0.00	5.60		4.50
A2	10-70	0.01	32.00	0.08	0.00	6.80		6.60
2Btg1	70-100	0.02	20.00	0.57	0.00	7.30		6.80
2Btg2	100-	0.02	19.00	0.18	0.00	7.40		6.40

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-9

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CS-14.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
A1	0-10	0.17	24.41	1.32	0.00	5.49		4.74
A2	10-20	0.05	51.60	1.03	0.00	5.56		4.92
AC	20-50	0.01	70.00	1.72	0.00	5.87		4.90
2Ck	50-65	0.01	108.00	1.08	12.03	7.69		7.07
2Cg	65-80	0.01	179.00	1.13	1.25	7.52		6.64
2C1	80-105	0.01	91.00	0.61	1.04	7.90		7.02
2C2	105-135	-	-	0.44	0.00	7.97		7.06
3Ck	135-	-	-	0.51	1.04	7.87		7.00

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-10

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CS-22.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
A	0-25	0.01	53.00	0.30	0.00	5.13		3.90
C	25-45	0.02	9.00	0.10	0.00	5.94		4.34
2C	45-80	0.01	13.00	0.12	0.00	6.79		5.94

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-11

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CS-23.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
Ap	0-30	0.05	16.60	0.55	0.00	5.22		4.29
2Bt	30-70	0.04	12.50	2.25	0.00	4.34		3.54
2Bc	70-90	0.01	24.00	1.59	0.00	4.46		3.52
2C	90-150	0.02	9.50	1.52	0.00	5.62		3.38

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-12

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CS-24.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
A	0-20	0.07	15.00	0.38	0.00	7.22		5.33
AC	20-40	0.05	8.80	0.16	0.00	6.72		5.95
C	40-	-	-	0.33	0.00	6.30		5.52

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-13

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL AS-8.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
A1	0-15	0.04	10.50	1.50	1.40	5.80		4.80
Bt1	15-90	0.01	3.00	0.70	1.40	5.20		4.40
Bt2	90-120	0.02	3.00	0.80	0.80	4.60		4.20

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-14

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL AS-9.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
A1	0-15	0.11	15.20	2.70	0.00	6.10		5.30
C	15-25	0.02	10.50	3.20	0.40	6.20		5.20
2Bg1	15-50	0.05	13.20	2.50	0.40	5.20		4.30
2Bg2	50-	0.01	16.00	2.80	0.40	5.20		4.30

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. II-5

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CA-13 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
A1	0-5	12.60	54.90	19.90	12.60	1.67	0.97
A2	5-15	28.00	51.70	5.55	14.68	1.29	0.65
AC	15-40	23.00	51.88	6.20	18.92	0.87	0.51
2Bg1	40-70	34.60	2.29	10.68	52.43	0.97	0.57
2Bg2	70-90	19.36	30.30	2.36	47.86	1.03	0.60
2Cg	90-	6.40	39.63	12.81	41.16	1.36	0.79

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-6

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CA-25 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
A1	0-3	47.00	45.57	2.54	4.88	0.83	0.48
A2	3-30	50.91	36.64	6.88	5.57	0.19	0.11
A/C	30-50	55.09	37.16	2.62	5.14	0.14	0.08
C	50-60	41.20	50.76	2.75	5.29	0.03	0.02
2Bt	60-80	35.13	37.97	2.23	24.67	0.33	0.19
2Bx	80-	12.70	49.19	3.73	34.38	0.22	0.13

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-7

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CA-28 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
A1	0-20	41.24	42.78	6.19	9.79	1.43	0.83
A2	20-40	72.19	14.83	9.41	3.57	0.98	0.57
AC	40-60	79.60	14.60	2.80	3.00	0.55	0.32
(C/A)1	60-80	87.00	7.60	1.90	3.50	0.33	0.19
(C/A)2	80-130	91.40	4.80	1.80	3.00	0.43	0.25
Bt	130-170	73.04	6.74	3.12	17.10	0.62	0.36

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica



TABLA. II-8

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CA-29 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
A1	0-10	86.00	1.30	6.70	6.00	4.48	2.60
A2	10-70	82.23	1.53	10.52	5.72	0.55	0.32
2Btg1	70-100	69.30	7.80	3.40	19.50	0.69	0.40
2Btg2	100-	55.30	5.00	2.90	36.80	0.65	0.38

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-9

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CS-14 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
A1	0-10	18.36	54.01	9.80	17.83	7.14	4.15
A2	10-20	18.72	40.76	28.14	12.38	4.43	2.58
AC	20-50	36.20	3.75	15.80	44.20	1.21	0.70
2Ck	50-65	23.56	5.11	36.61	34.72	1.85	1.08
2Cg	65-80	9.44	30.20	31.07	29.10	3.07	1.79
2C1	80-105	13.76	37.57	27.30	21.25	1.56	0.91
2C2	105-135	6.72	51.95	23.50	17.75	1.44	0.84
3Ck	135-	17.80	35.30	24.30	22.55	3.75	2.18

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-10

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CS-22 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
A	0-25	77.78	17.20	0.50	4.52	0.91	0.53
C	25-45	79.76	13.12	0.50	7.12	0.31	0.18
2C	45-80	78.96	8.32	1.60	11.12	0.22	0.13

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-11

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CS-23 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
Ap	0-30	45.00	31.80	8.08	15.12	1.43	0.83
2Bt	30-70	8.98	13.80	16.10	61.12	0.86	0.50
2Bc	70-90	2.28	33.72	12.00	52.00	0.42	0.24
2C	90-150	4.36	35.64	12.00	48.00	0.32	0.19

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-12

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CS-24 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
A	0-20	63.44	24.56	4.00	8.00	1.81	1.05
AC	20-40	68.40	23.60	4.00	4.00	0.76	0.44
C	40-	72.60	11.40	6.00	10.00	1.12	0.65

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-13

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL AS-8 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
A1	0-15	69.03	11.69	7.79	11.49	0.72	0.42
Bt1	15-90	56.97	16.31	5.47	21.26	0.05	0.03
Bt2	90-120	56.15	16.38	1.63	25.84	0.10	0.30

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-14

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL AS-9. (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
A1	0-15	31.17	52.08	4.16	12.59	2.99	1.68
C	15-25	38.92	46.68	3.37	11.03	0.36	0.21
2Bg1	15-50	8.95	50.00	7.24	33.80	1.14	0.66
2Bg2	50-	14.39	47.11	7.29	31.21	0.28	0.16

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. III-2

CAPACIDAD DE CAMBIO DE LOS PERFILES DE SUELOS ARENOSOS Y  
SEDIMENTOS ARCILLO-ARENOSOS. (C.mol(+)/Kg)

Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.	Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.
Perfil CA-13			Perfil CA-25		
A1	0-5	4.00	A1	0-3	10.01
A2	5-15	5.75	A2	3-30	2.87
AC	15-40	3.75	A/C	30-50	3.17
2Bg1	40-70	2.50	C	50-60	0.90
2Bg2	70-90	5.00	2Bt	60-80	5.10
2Cg	90-	11.25	2Bx	80-+	14.57
Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.	Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.
Perfil CA-28			Perfil CA-29		
A1	0-20	5.45	A1	0-12	15.40
A2	20-40	3.60	A2	12-70	2.80
AC	40-60	1.80	2Btg1	70-100	2.70
(C/A)1	60-80	0.90	2Btg2	100-	2.80
(C/A)2	80-130	1.80			
Bt	130-170	5.50			
Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.	Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.
Perfil CS-14			Perfil CS-22		
A1	0-10	18.25	A	0-25	--
A2	10-20	15.00	C	25-45	--
AC	20-50	16.50	2C	45-80	--
2Ck	50-65	14.50			
2Cg	65-80	21.87			
2C1	80-105	6.25			
2C2	105-135	22.50			
3Ck	135-	6.50			



TABLA. III-2 (cont.)

CAPACIDAD DE CAMBIO DE LOS PERFILES DE SUELOS ARENOSOS Y  
SEDIMENTOS ARCILLO-ARENOSOS. (C.mol(+)/Kg)

Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.	Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.
Perfil CS-23			Perfil CS-24		
Ap	0-30	--	A	0-20	2.25
2Bt	30-70	5.62	AC	20-40	--
2Bc	70-90	--	C	40-	3.75
2C	90-150	3.00			
Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.	Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.
Perfil AS-8			Perfil AS-9		
A1	0-15	2.55	A1	0-15	11.09
Bt1	15-90	2.73	C	15-25	3.14
Bt2	90-120	3.73	2Bg1	15-50	19.93
			2Bg2	50-	19.49

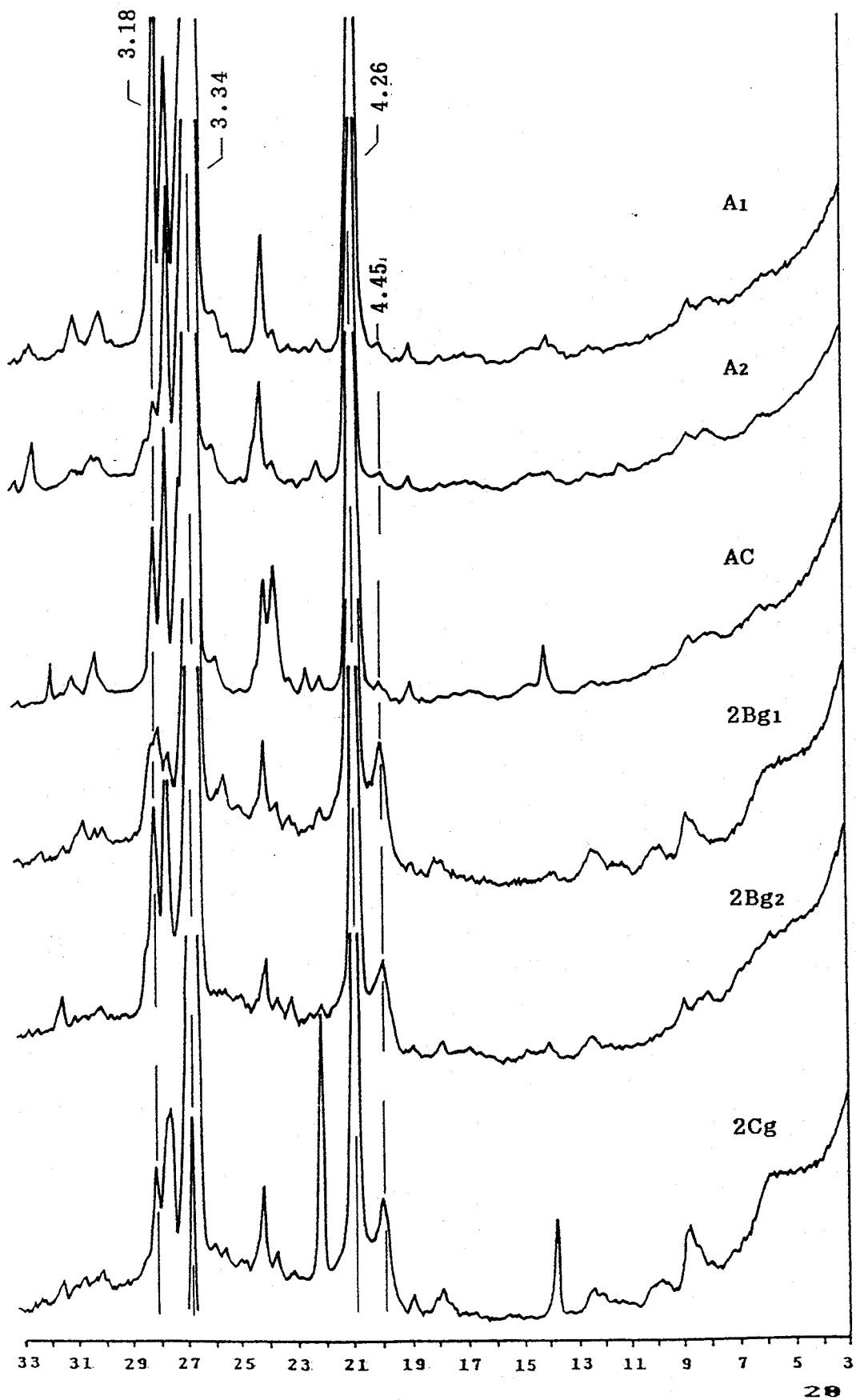


Fig. 25 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CA-13

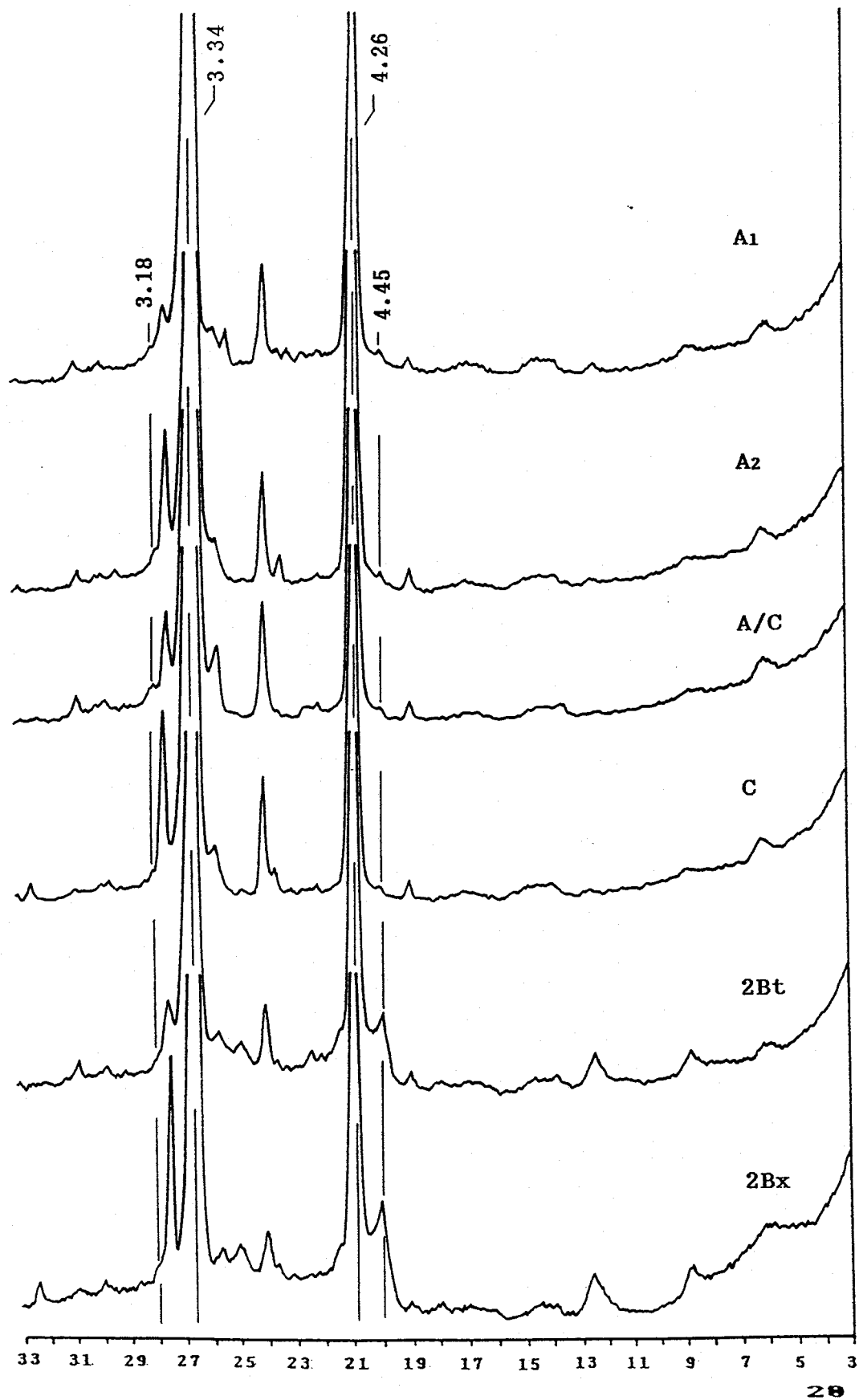


Fig. 26 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CA-25

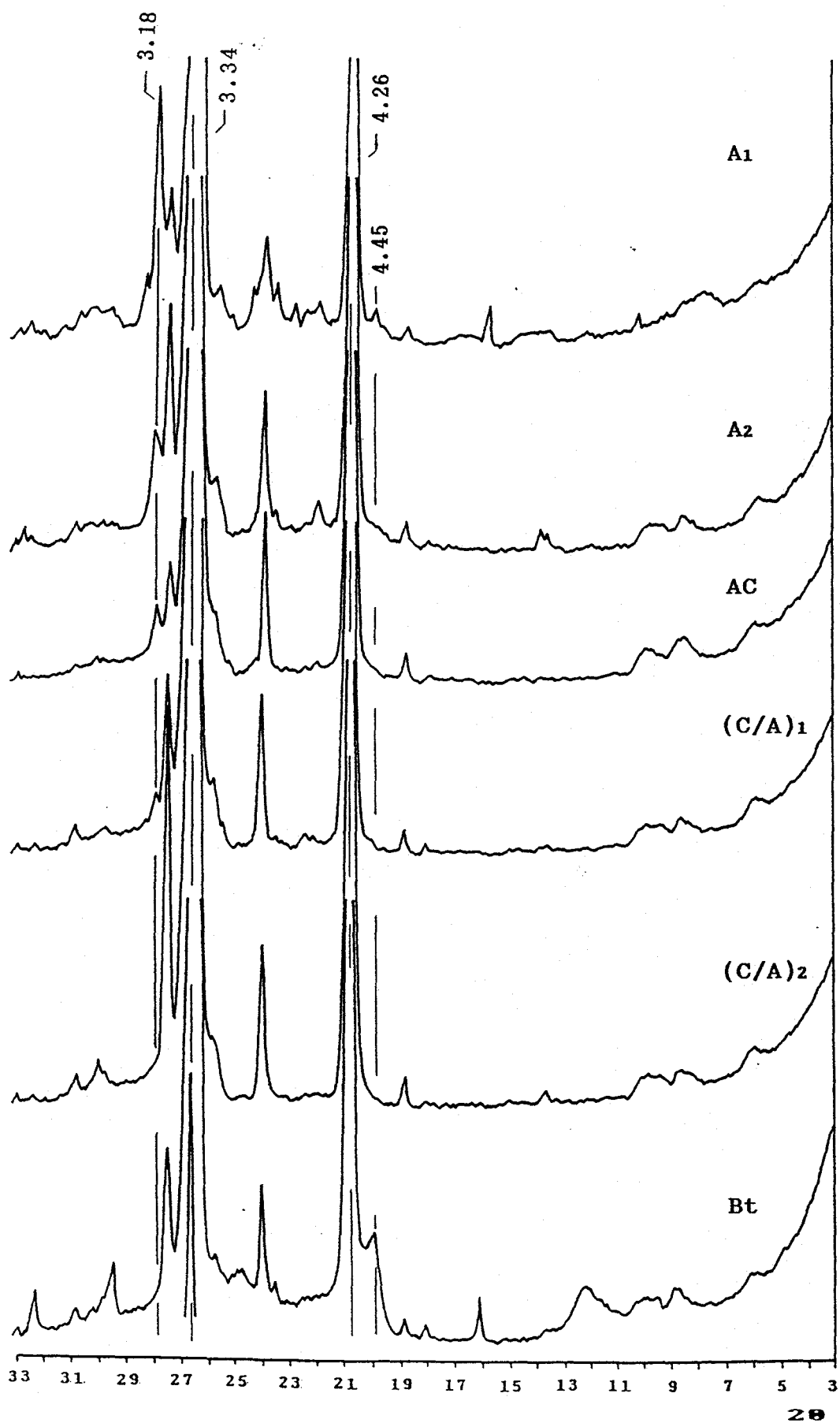


Fig. 27 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CA-28

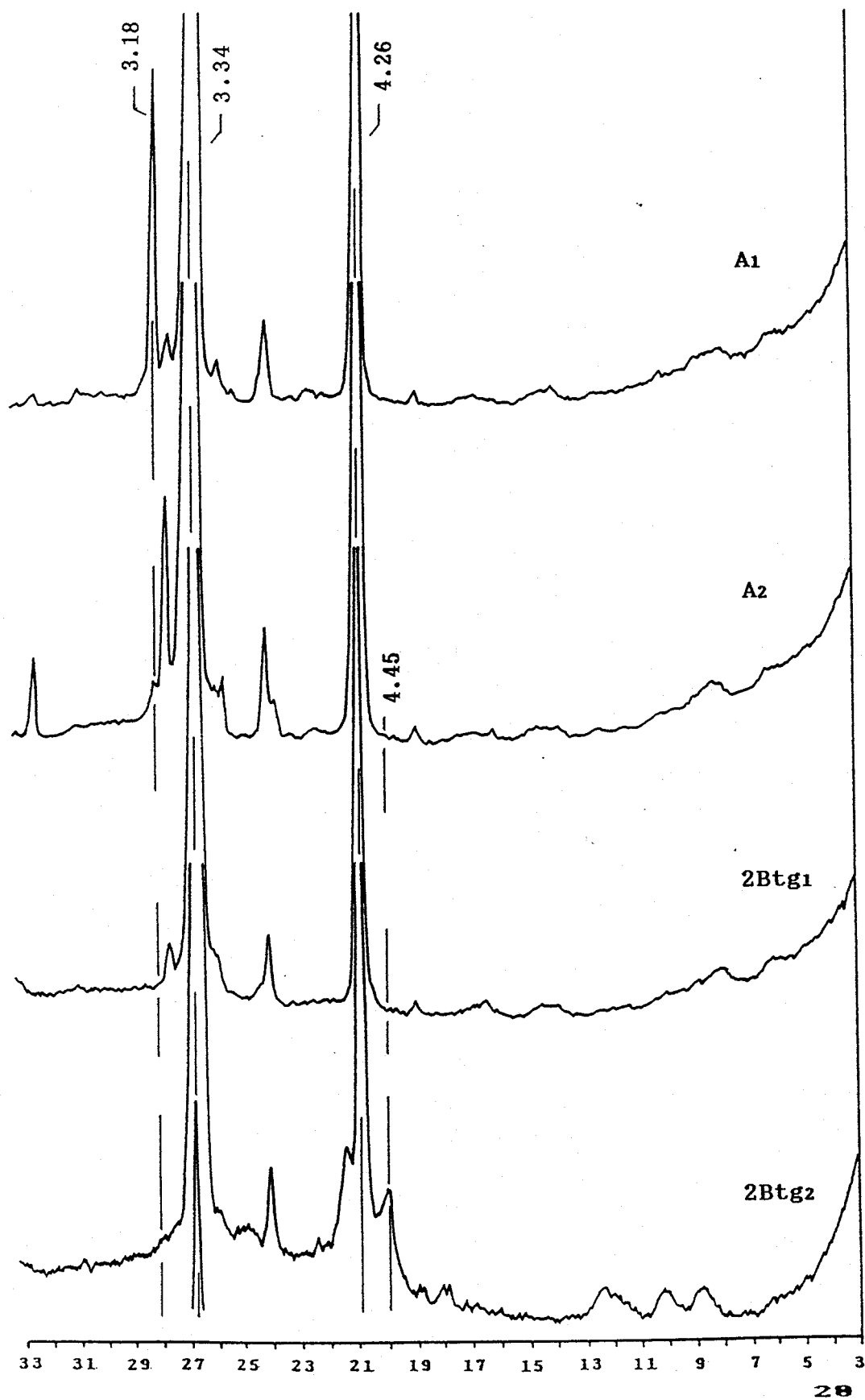


Fig. 28 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CA-29

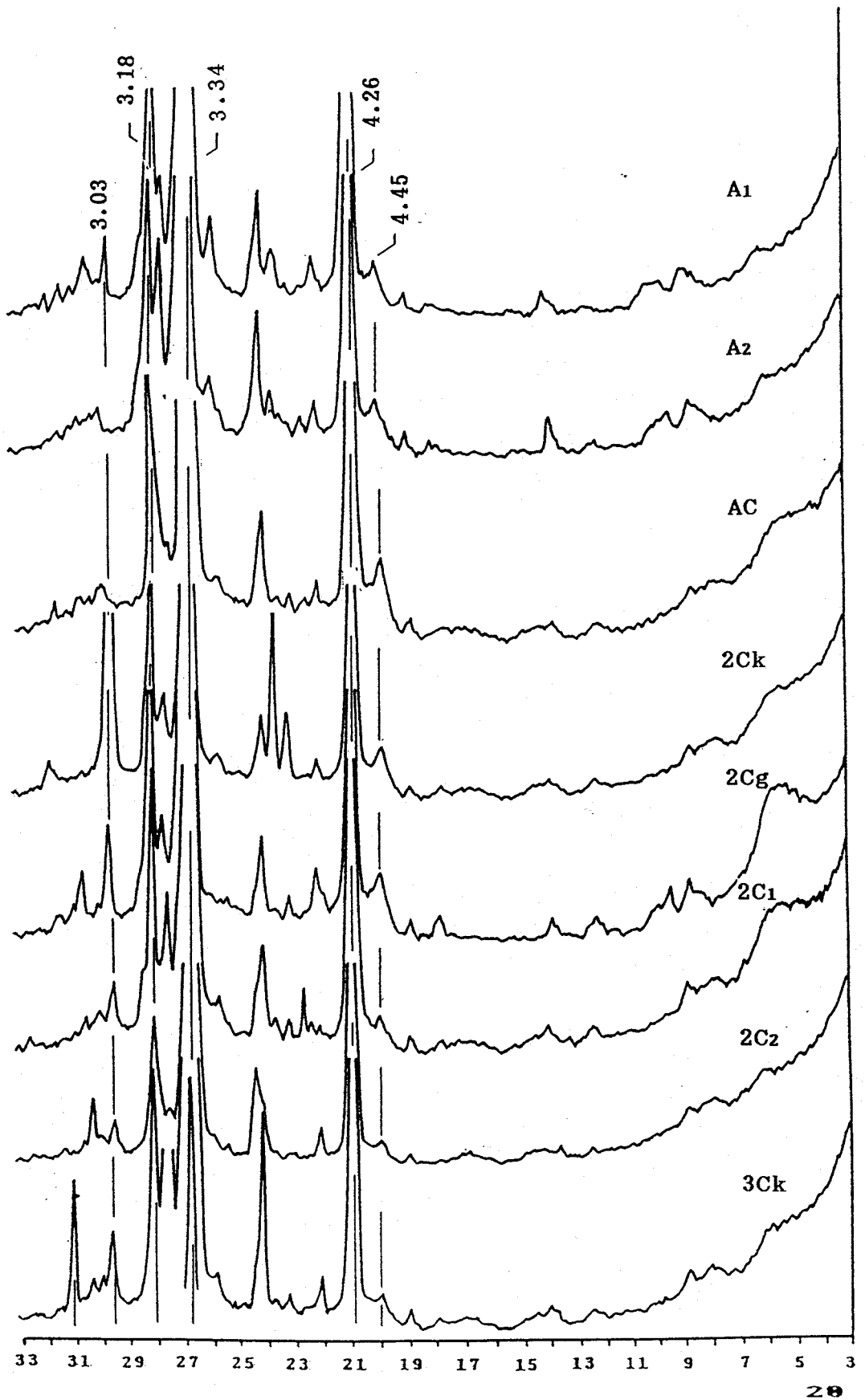


Fig. 29 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CS-14

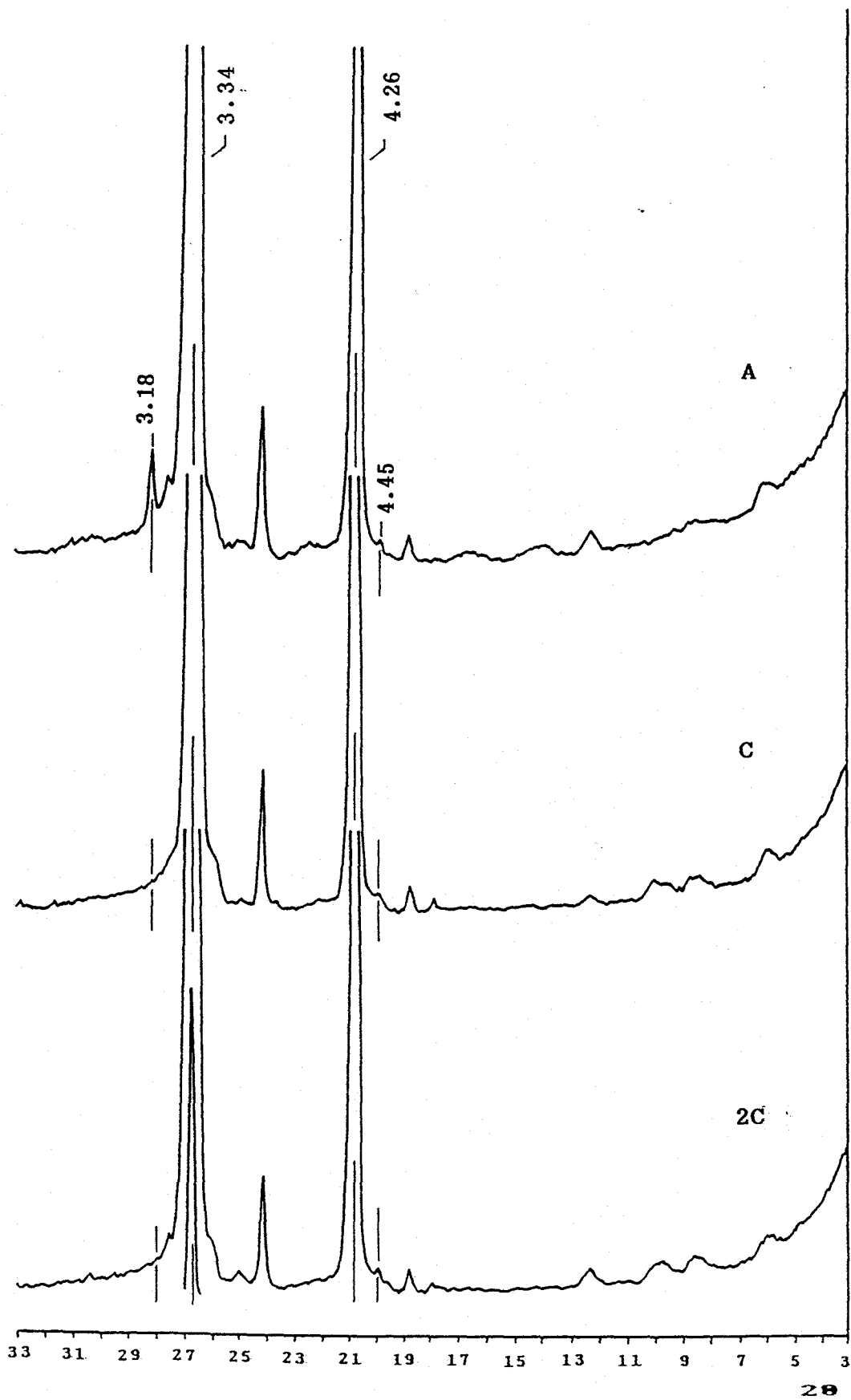


Fig. 30 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CS-22

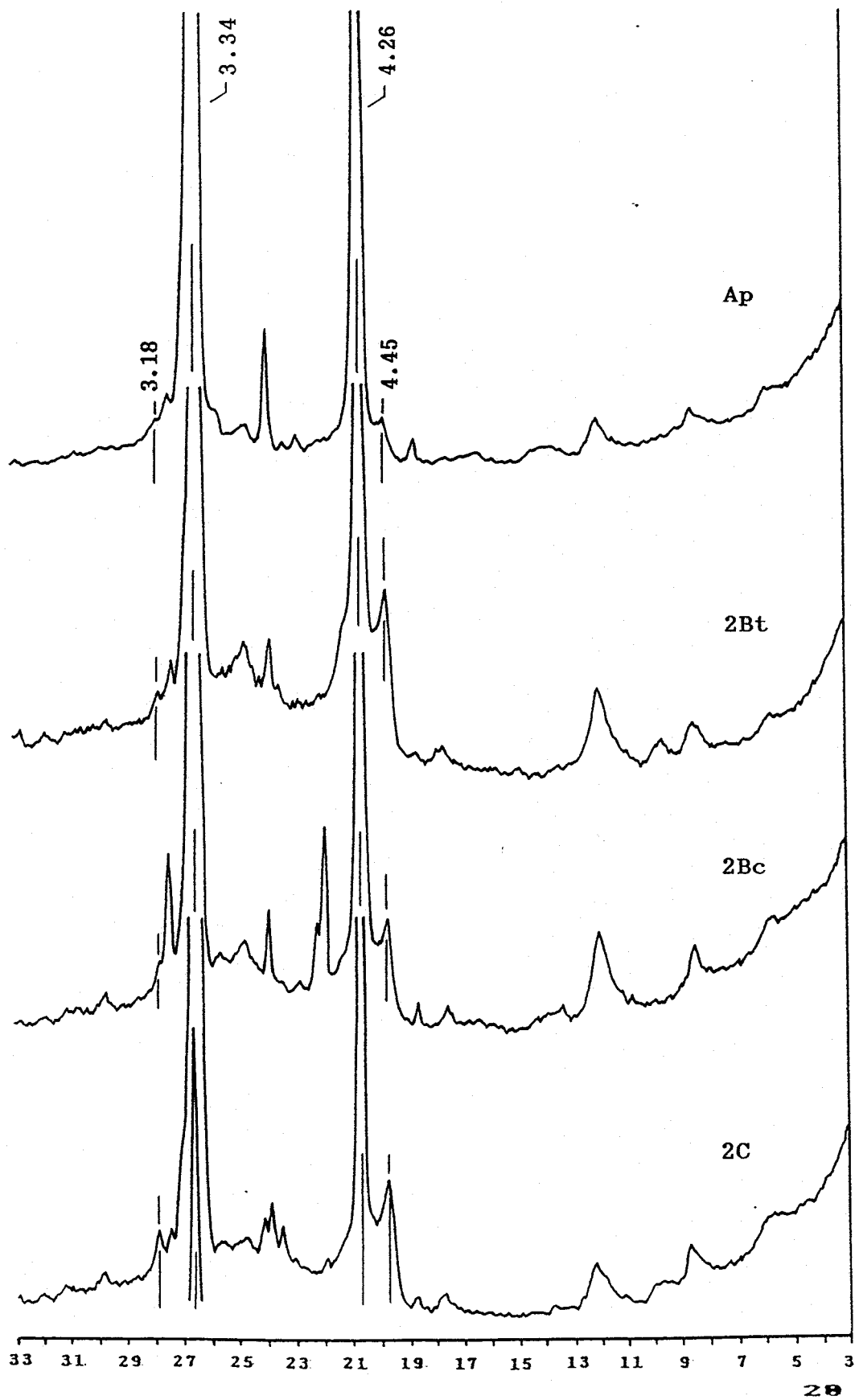


Fig. 31 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CS-23



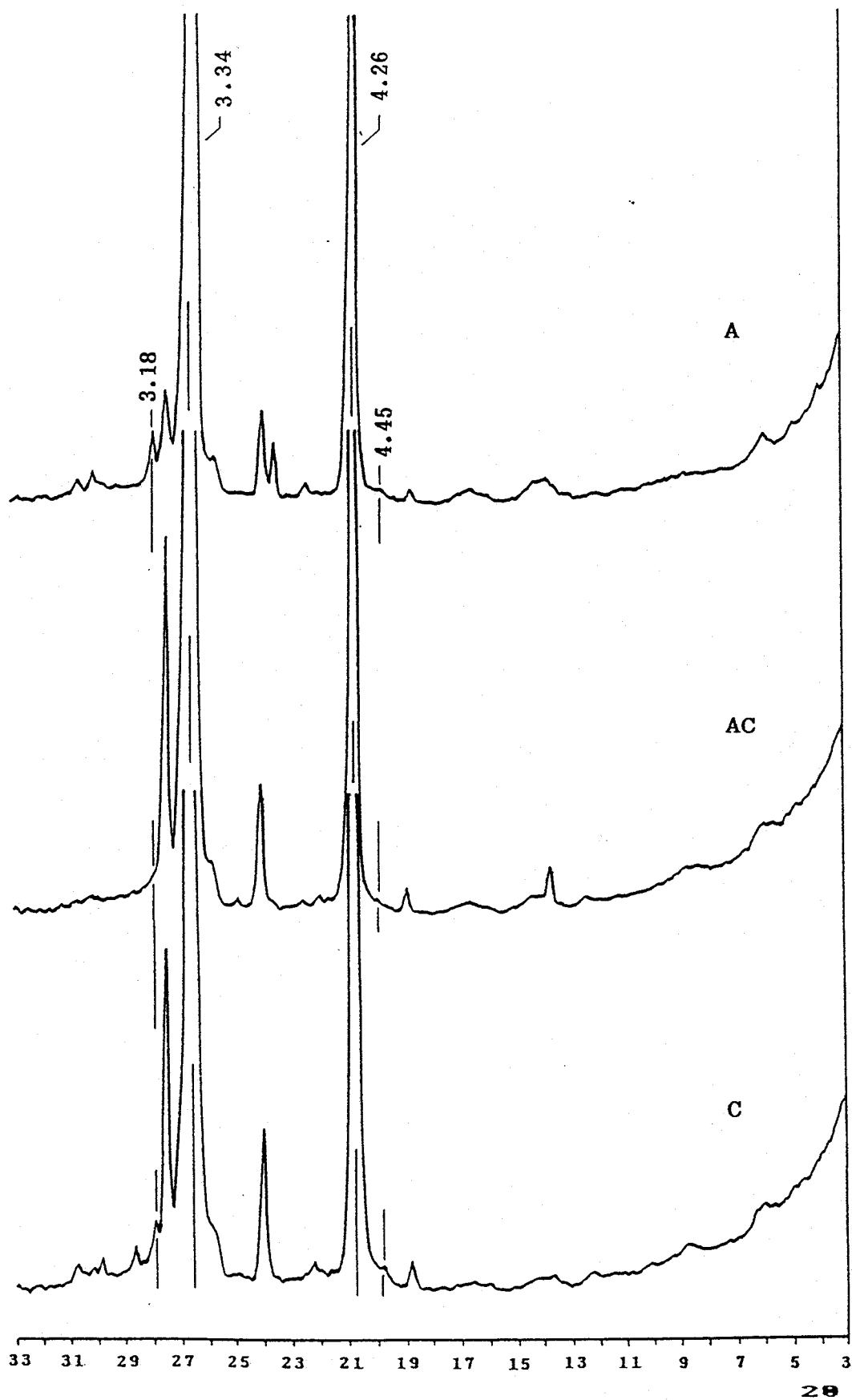


Fig. 32 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CS-24

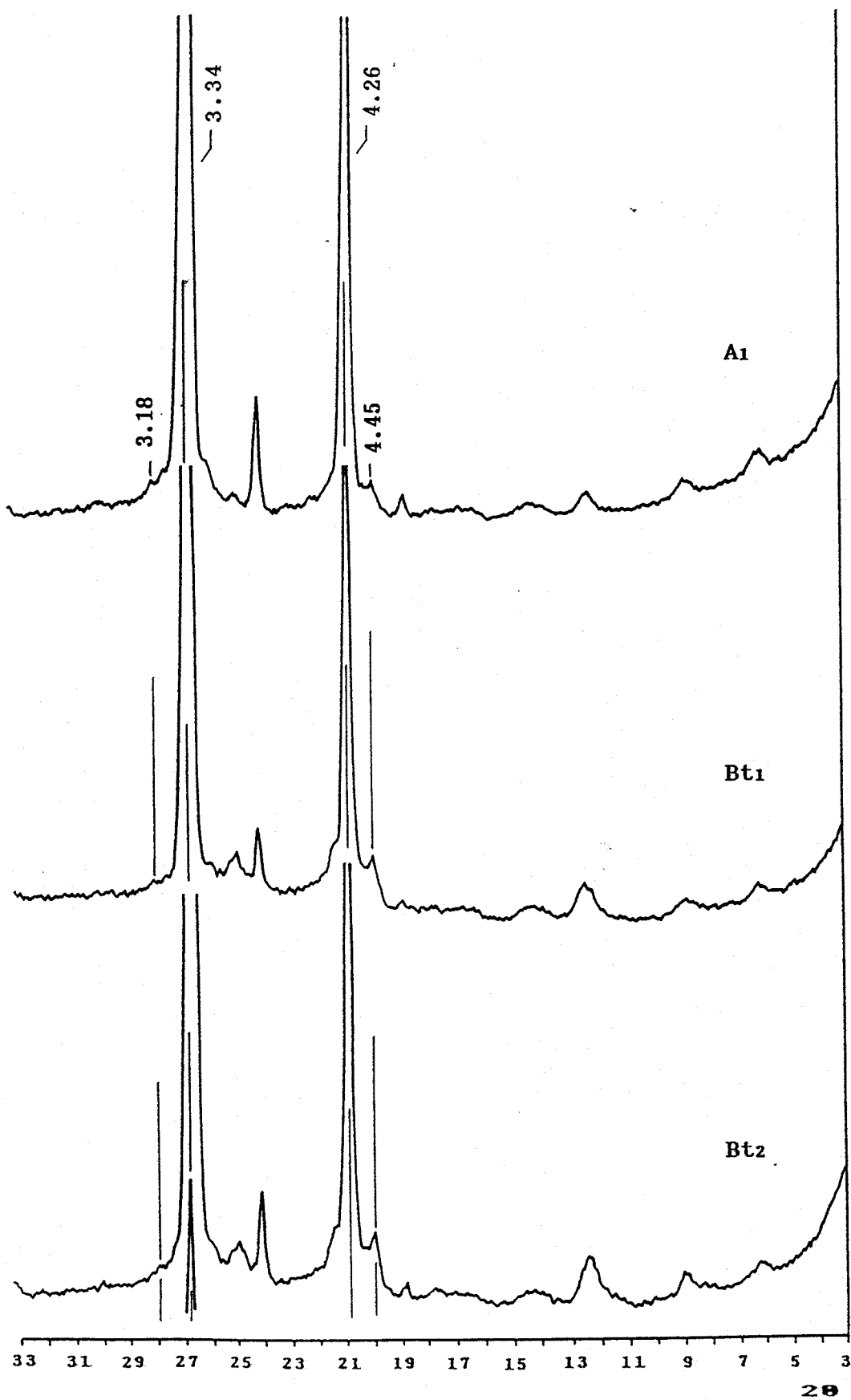


Fig. 33 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil AS-8

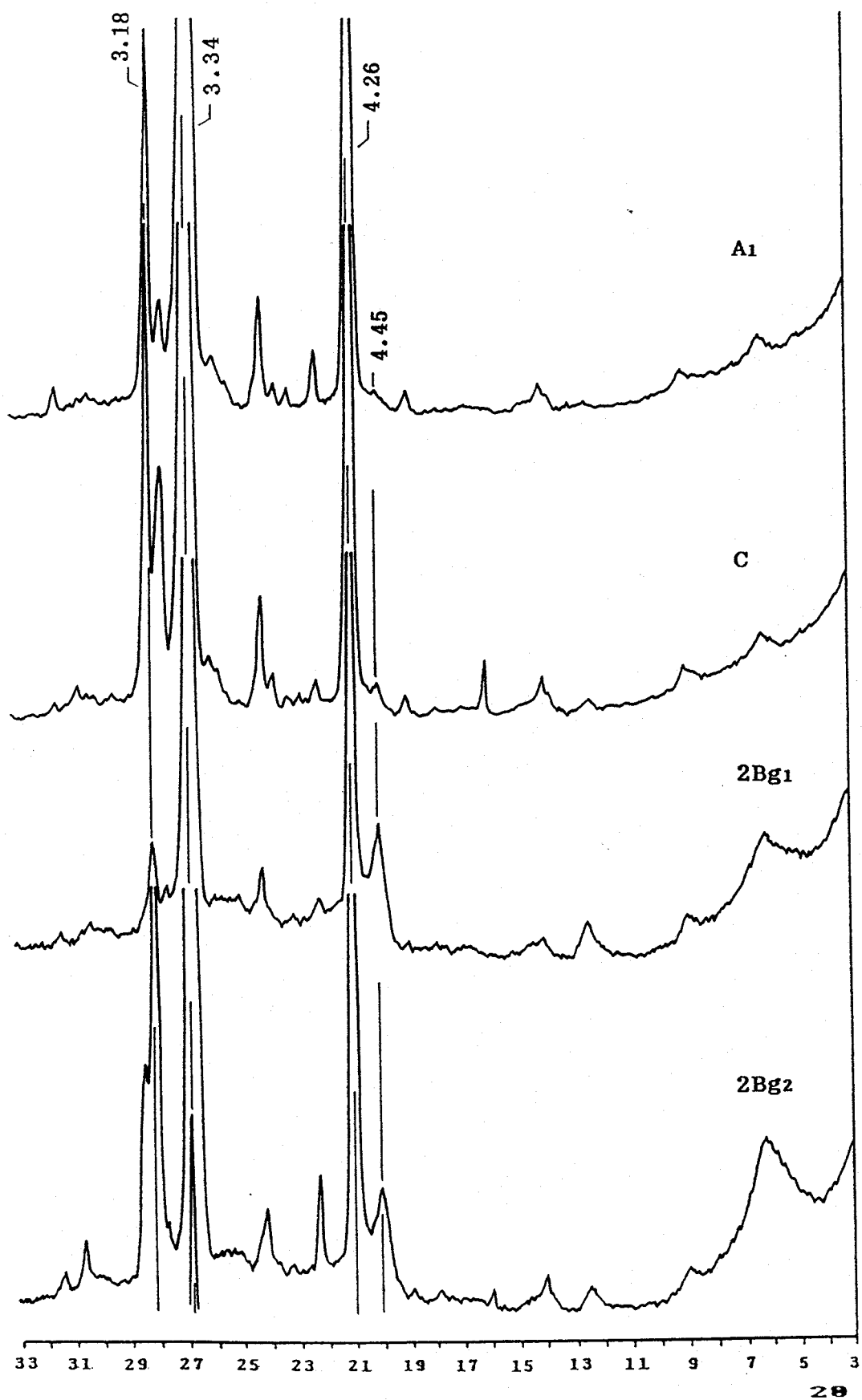


Fig. 34 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil AS-9

TABLA. IV-2

COMPOSICION MINERALOGICA SEMICUANTITATIVA DE LOS PERFILES  
ARENOSOS Y SEDIMENTOS ARCILLO-ARENOSOS. (%).

Perfil	Horiz.	Profun. (cm.)	CUARZO	FELDES.	CALC.	DOLOMI.	FILOS.
CA-13	A1	0-5	76	16	--	--	8
	A2	5-15	61	11	--	--	28
	AC	15-40	70	7	--	--	23
	2Bg1	40-70	17	5	--	--	78
	2Bg2	70-90	24	9	--	--	67
	2Cg	90-	33	<5	--	--	63
	CA-25	A1	0-3	75	5	--	--
A2		3-30	76	7	--	--	17
A/C		30-50	79	6	--	--	15
C		50-60	74	8	--	--	18
2Bt		60-80	31	5	--	--	64
2Bx		80-	19	<5	--	--	76
CA-28		A1	0-20	54	12	--	--
	A2	20-40	89	10	--	--	<5
	AC	40-60	96	<5	--	--	--
	(C/A)1	60-80	95	5	--	--	--
	(C/A)2	80-130	98	<5	--	--	<5
	Bt	130-170	35	--	<5	--	63
	CA-29	A1	0-10	81	18	--	--
A2		10-70	95	<5	--	--	<5
2Btg1		70-100	98	<5	--	--	<5
2Btg2		100-	20	<5	--	--	78
CS-14		A1	0-10	55	12	<5	--
	A2	10-20	59	9	--	--	32
	AC	20-50	49	10	--	--	41
	2Ck	50-65	35	8	23	--	34
	2Cg	65-80	47	8	<5	--	43
	2C1	80-105	54	12	<5	--	31
	2C2	105-135	72	9	<5	--	18
	3Ck	135-	65	11	<5	--	20

TABLA. IV-2 (Cont.)

COMPOSICION MINERALOGICA SEMICUANTITATIVA DE LOS PERFILES  
ARENOSOS Y SEDIMENTOS ARCILLO-ARENOSOS. (%).

Perfil	Horiz.	Profun. (cm.)	CUARZO	FELDES.	CALC.	DOLOMI.	FILOS.
CS-22	A	0-25	90	<5	--	--	7
	C	25-45	89	<5	--	--	10
	2C	45-80	90	<5	--	--	9
CS-23	Ap	0-30	64	<5	--	--	34
	2Bt	30-70	16	<5	--	--	83
	2Bc	70-90	41	<5	--	--	58
	2C	90-150	26	<5	--	--	72
CS-24	A	0-20	95	<5	--	--	<5
	AC	20-40	99	--	--	--	<5
	C	40-	87	<5	--	--	10
AS-8	A1	0-15	72	<5	--	--	27
	Bt1	15-90	51	<5	--	--	49
	Bt2	90-120	42	<5	--	--	57
AS-9	A1	0-15	72	15	--	--	13
	C	15-25	62	18	--	--	20
	2Bg1	25-50	11	<5	--	--	85
	2Bg2	50-	20	12	--	--	68

un medio hídrico tranquilo y salobre, al bajar el nivel hidrológico los materiales sufrieron intensos procesos de edafización que ocasionan la formación de fragipán actualmente visible. Posteriormente, han sido meteorizados y cubiertos por arenas eólicas actuales, presentando respecto a los horizontes arenosos subyacentes en la mayoría de los casos, una discontinuidad granulométrica importante y con un nivel práctico estacional que influye decididamente en la evolución edáfica de esta zona (SILJESTRON, 1988).

Los resultados de análisis químico, para los 10 perfiles del grupo se presentan en las tablas VI y VII (5 a 14). Los valores para los elementos mayoritarios son generalmente bajos, destacando el contenido de  $\text{SiO}_2$  que varía entre 76,33% a 97,34% con un valor medio de 87,94%, según la tabla XII, correspondiendo los valores más bajos a los horizontes B.

Para todo el conjunto de las muestras estudiadas en este grupo el  $\text{SiO}_2$  presenta correlaciones negativas, con la mayoría de los elementos minoritarios y, en casi todos los casos con significación del 99,9% de acuerdo a la naturaleza propia de estos suelos con buen drenaje acumulándose en los horizontes más arcillosos, no apreciándose en cambio con Mn, Zr y Sn. Igualmente y de forma negativa destacan las correlaciones con filosilicatos

y contenido en arcilla por la misma razón anteriormente expuesta. Estos valores confieren a estos perfiles un carácter especialmente cuarcítico ya que a pesar de todo la fracción arcilla será la menos abundante y como consecuencia pobres en contenido de elementos.

$\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  presentan valores cuya media en los 10 perfiles es de 4,77% y 1,51% respectivamente, con un rango entre 0,86%-11,27% para  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y 0,11%-7,18% en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (tabla XII) aunque más del 50% de las muestras no superan el 5% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ni el 1% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . No se encuentra una diferencia clara de estos elementos entre los perfiles arenosos y los sedimentos, observándose por otra parte un aumento en los horizontes más arcillosos, en algunos casos con acumulaciones muy intensas, destacando 10,52% y 11,27% para los perfiles CA-25 y CS-23 en  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y 7,18% en CA-29 para el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en el horizonte más profundo y arcilloso (tablas VI-6, VI-11 y VI-8), que coincide, además, con uno de los pH más básicos de todo el grupo. Estas dos condiciones dadas conjuntamente hacen que se acumule en dicho horizonte el Fe. De hecho, se pueden observar correlaciones positivas muy significativas de estos óxidos con el contenido en arcillas y filosilicatos, algo menores pero importantes con el pH. Igualmente el  $\text{Al}_2\text{O}_3$  se correlaciona con esmectita, ilita y caolinita, mientras que el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  no lo hace con la esmectita y en ambos elementos

de forma negativa con el mineral ilita.

Conjuntamente se puede observar una diferenciación clara entre los horizontes B y los de tipo A o C, en cuanto a contenidos de ambos elementos (figuras 35 y 36), al igual que ocurría en el grupo de areniscas.

Los valores de Fe y Al extraídos en la oscuridad son bajos, destacando el contenido en los dos últimos horizontes del perfil CA-29 (2,34% y 4,81%) para el Fe extraído con CBD. Como se muestra en la tabla V-2.

En las figuras 37 y 38, se ha representado el índice de variación correspondiente a los perfiles CS-14, CS-15, CS-23 y CS-24, siendo en los únicos que existe horizonte C. Se puede concluir que existe un enriquecimiento en el horizonte B, tanto de Al como de Fe en los perfiles CS-23 y CS-14 con una disminución en el horizonte superficial del perfil CS-23. Las variaciones son menos acusadas en los otros dos perfiles representados, debido a un menor desarrollo.

El  $TiO_2$  tiene en este grupo valores similares a los perfiles de areniscas, con una media de 0,49% muy similar al promedio dado por AUBER y PINTA (1977) (entre 0,4 y 0,5% en suelos similares), atribuyendo también a las arenas los valores más pequeños. Existe uniformidad de



TABLA. V-2

OXIDOS DE HIERRO Y ALUMINIO LIBRES EXTRAIDOS EN LOS  
PERFILES DE SUELOS ARENOSOS Y SEDIM. ARCILLO ARENOSOS.

Perfil	Horiz.	Profun. (cm.)	Fe(o) %	Al(o) %	Fe(d) %
CA-13	A1	0-5	0.04	0.03	0.24
	A2	5-15	0.04	0.03	0.23
	AC	15-40	0.03	0.03	0.21
	2Bg1	40-70	0.09	0.11	1.35
	2Bg2	70-90	0.06	0.11	1.14
	2Cg	90-	0.07	0.09	1.13
CA-25	A1	0-3	0.04	0.03	0.14
	A2	3-30	0.06	0.06	0.18
	A/C	30-50	0.02	0.03	0.14
	C	50-60	0.02	0.03	0.13
	2Bt	60-80	0.17	0.15	1.10
	2Bx	80-	0.38	0.15	1.10
CA-28	A1	0-20	0.21	0.05	0.39
	A2	20-40	0.19	0.05	0.29
	AC	40-60	0.00	0.01	0.02
	(C/A)1	60-80	0.00	0.01	0.01
	(C/A)2	80-130	0.00	0.01	0.02
	Bt	130-170	0.01	0.08	0.03
CA-29	A1	0-10	0.02	0.03	0.27
	A2	10-70	0.01	0.01	0.27
	2Btg1	70-100	0.03	0.07	2.34
	2Btg2	100-	0.10	0.13	4.81

TABLA. V-2 (contin.)

OXIDOS DE HIERRO Y ALUMINIO LIBRES EXTRAIDOS EN LOS PERFILES DE SUELOS ARENOSOS Y SEDIM. ARCILLO ARENOSOS.

Perfil	Horiz.	Profun. (cm.)	Fe(o) %	Al(o) %	Fe(d) %
CS-14	A1	0-10	0.04	0.07	0.27
	A2	10-20	0.06	0.04	0.31
	AC	20-50	0.03	0.03	0.53
	2Ck	50-65	0.02	0.02	0.29
	2Cg	65-80	0.02	0.02	0.49
	2C1	80-105	0.02	0.11	0.21
	2C2	105-135	0.02	0.03	0.23
	3Ck	135-	0.02	0.08	0.30
CS-22	A	0-25	0.02	0.01	0.18
	C	25-45	0.02	0.01	0.13
	2C	45-80	0.03	0.03	0.18
CS-23	Ap	0-30	0.03	0.05	0.57
	2Bt	30-70	0.04	0.09	2.14
	2BC	70-90	0.02	0.05	1.08
	2C	90-150	0.01	0.04	0.92
CS-24	A	0-20	0.12	0.03	0.21
	AC	20-40	0.11	tr.	0.19
	C	40-	0.02	tr.	0.05
AS-8	A1	0-15	0.14	0.13	1.40
	Bt1	15-90	0.35	0.14	5.28
	Bt2	90-120	0.64	0.17	5.10
AS-9	A1	0-15	0.12	0.08	0.24
	C	15-25	0.12	0.07	0.24
	2Bg1	25-50	0.91	0.42	0.99
	2Bg2	50-	0.49	0.32	0.68

Fe(o), Al(o)=hierro y aluminio extraído por el método de la oscuridad.

Fe(d)=hierro extraído con citrato-ditionito-bicarbon.

TABLA. VI-5

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CA-13 (%)						
	A1	A2	AC	2Bg1	2Bg2	2Cg
SiO <sub>2</sub>	91.43	89.71	92.13	79.63	79.45	80.30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.30	3.31	3.63	8.46	8.47	8.16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.57	0.55	0.59	2.72	2.57	2.49
TiO <sub>2</sub>	0.43	0.43	0.46	0.45	0.45	0.45
MgO	0.13	0.11	0.13	0.44	0.45	0.52
CaO	0.67	0.31	0.25	0.36	0.31	0.39
Na <sub>2</sub> O	0.32	0.32	0.32	0.46	0.51	0.62
K <sub>2</sub> O	0.72	0.87	1.01	1.32	1.40	1.57
PPC	2.65	2.79	1.35	5.37	5.20	5.00
TOTAL	100.22	98.40	99.87	99.21	98.81	99.50

TABLA. VII-5

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CA-13 (mg/k)							
	A1	A2	AC	2Bg1	2Bg2	2Cg	V.medio
Mn	152.00	140.00	100.00	52.00	48.00	60.00	92.00
Zn	12.00	10.40	10.40	29.20	27.20	29.20	19.73
Cu	8.00	4.40	3.60	6.80	7.20	8.40	6.40
Ni	6.40	6.00	6.80	22.40	20.00	20.80	13.73
Co	4.80	4.00	3.60	12.40	10.00	16.00	8.47
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	tr.	tr.	tr.	--
Pb	18.00	15.20	13.60	21.60	20.80	21.60	18.47
Cr	16.00	16.40	17.20	48.00	43.60	38.40	29.93
Zr	200.00	220.00	190.00	130.00	120.00	110.00	161.67
Y	22.00	18.00	19.00	25.00	23.00	30.00	22.83
Sr	33.00	32.00	31.00	42.00	44.00	50.00	38.67
Rb	67.00	49.00	48.00	72.00	43.00	70.00	58.17
Ba	260.00	270.00	290.00	390.00	290.00	390.00	315.00
La	21.00	21.00	19.00	20.00	23.00	18.00	20.33
Ga	11.00	13.00	11.00	16.00	15.00	16.00	13.67
Sn	26.00	35.00	37.00	19.00	17.00	21.00	25.83
Nb	63.00	65.00	66.00	67.00	55.00	64.00	63.33

n.d. = no detectado

273

Hidruros de Fe

TABLA. VI-6

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CA-25 (%)						
	A1	A2	A/C	C	2Bt	2Bx
SiO <sub>2</sub>	93.55	93.38	94.66	94.68	84.19	78.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.78	2.26	1.99	2.18	7.73	10.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.35	0.43	0.33	0.34	2.16	2.95
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.31	0.31	0.28	0.35	0.34
MgO	0.05	0.05	0.04	0.05	0.21	0.50
CaO	0.19	0.15	0.12	0.17	0.26	0.24
Na <sub>2</sub> O	0.07	0.08	0.07	0.07	0.08	0.12
K <sub>2</sub> O	0.58	0.65	0.63	0.72	0.96	1.18
PPC	2.05	1.19	0.55	0.51	2.96	4.50
TOTAL	98.90	98.50	98.70	99.00	98.90	99.20

TABLA. VII-6

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CA-25 (mg/K)

	A1	A2	A/C	C	2Bt	2Bx	V.medio
Mn	132.00	208.00	72.00	56.00	60.00	68.00	99.33
Zn	5.60	4.80	4.00	4.40	9.20	18.00	7.67
Cu	4.00	4.80	4.00	4.40	6.00	8.40	5.27
Ni	6.00	7.60	6.40	6.00	16.80	22.80	10.93
Co	4.00	4.00	4.00	4.00	8.80	10.40	5.87
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	--
Pb	0.00	0.00	8.80	9.60	16.00	18.00	8.73
Cr	11.60	14.40	11.60	11.20	38.40	44.40	21.93
Zr	130.00	150.00	190.00	170.00	120.00	140.00	150.00
Y	15.00	16.00	16.00	18.00	28.00	37.00	21.67
Sr	18.00	21.00	14.00	18.00	26.00	34.00	21.50
Rb	77.00	40.00	55.00	41.00	94.00	91.00	66.33
Ba	230.00	220.00	150.00	280.00	250.00	390.00	253.33
La	4.00	14.00	12.00	11.00	12.00	34.00	14.50
Ga	11.00	11.00	10.00	10.00	14.00	17.00	12.17
Sn	15.00	12.00	23.00	23.00	16.00	16.00	17.50
Nb	70.00	69.00	60.00	64.00	53.00	83.00	66.50

n.d. = no detectado

274

TABLA. VI-7

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CA-28 (%)						
	A1	A2	AC	(C/A)1	(C/A)2	Bt
SiO <sub>2</sub>	88.40	92.56	97.34	96.73	96.58	85.20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.68	2.65	1.08	1.11	1.19	8.62
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.08	0.38	0.12	0.11	0.11	0.49
TiO <sub>2</sub>	1.24	0.64	0.22	0.29	0.28	0.40
MgO	0.15	0.07	0.03	0.02	0.02	0.17
CaO	0.58	0.30	0.10	0.07	0.06	0.28
Na <sub>2</sub> O	0.54	0.24	0.07	0.05	0.04	0.06
K <sub>2</sub> O	0.75	0.53	0.29	0.36	0.38	0.65
PPC	1.88	1.15	0.37	0.15	0.11	3.02
TOTAL	99.30	98.52	99.62	98.89	98.77	98.89

TABLA. VII-7

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CA-28 (mg/k)

	A1	A2	AC	(C/A)1	(C/A)2	Bt	V.medio
Mn	215.20	86.80	25.20	24.40	22.40	20.40	65.73
Zn	8.80	4.40	9.20	4.00	4.00	15.20	7.60
Cu	4.00	tr.	1.20	tr.	tr.	5.20	1.73
Ni	9.20	7.20	4.80	tr.	tr.	20.00	6.87
Co	4.40	tr.	tr.	tr.	tr.	10.40	2.47
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	--
Pb	18.00	8.80	4.80	4.40	4.00	17.20	9.53
Cr	22.80	16.40	8.80	7.60	8.00	42.40	17.67
Zr	260.00	120.00	63.00	55.00	23.00	52.00	95.50
Y	--	--	--	--	--	--	--
Sr	70.00	26.00	12.00	9.00	8.00	22.00	24.50
Rb	64.00	43.00	30.00	25.00	22.00	57.00	40.17
Ba	180.00	120.00	110.00	70.00	43.00	150.00	112.17
La	8.00	14.00	3.00	10.00	6.00	17.00	9.67
Ga	12.00	10.00	9.00	9.00	9.00	13.00	10.33
Sn	21.00	32.00	32.00	29.00	43.00	38.00	32.50
Nb	34.00	63.00	28.00	41.00	54.00	55.00	45.83

n.d. = no detectado

TABLA. VI-8

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CA-29 (%)				
	A1	A2	2Btg1	2Btg2
SiO <sub>2</sub>	88.05	94.55	87.51	76.33
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.62	1.31	5.01	8.90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.01	0.54	2.47	7.18
TiO <sub>2</sub>	1.26	0.78	0.64	0.47
MgO	0.12	0.05	0.13	0.18
CaO	0.38	0.19	0.20	0.33
Na <sub>2</sub> O	0.16	0.07	0.06	0.06
K <sub>2</sub> O	0.46	0.36	0.48	0.48
PPC	5.95	0.40	2.21	4.41
TOTAL	99.01	98.25	98.71	98.34

TABLA. VI-8

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CA-29 (mg/k)					
	A1	A2	2Btg1	2Btg2	V.medio
Mn	252.00	64.00	68.00	28.00	103.00
Zn	25.60	8.40	12.40	14.40	15.20
Cu	14.00	3.20	4.80	4.80	6.70
Ni	3.20	1.60	13.20	20.80	9.70
Co	3.60	2.40	5.20	10.40	5.40
Cd	tr.	tr.	tr.	tr.	0.00
Pb	14.00	6.40	18.00	20.80	14.80
Cr	14.40	10.80	27.20	42.80	23.80
Zr	150.00	160.00	170.00	48.00	132.00
Y	9.00	10.00	3.00	55.00	19.25
Sr	34.00	9.00	20.00	19.00	20.50
Rb	32.00	27.00	47.00	49.00	38.75
Ba	150.00	120.00	140.00	170.00	145.00
La	0.00	1.00	15.00	17.00	8.25
Ga	10.00	8.00	14.00	15.00	11.75
Sn	18.00	10.00	24.00	26.00	19.50
Nb	68.00	46.00	57.00	75.00	61.50

TABLA. VI-9

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CS-14 (%)								
	A1	A2	AC	2Ck	2Cg	2C1	2C2	3Ck
SiO <sub>2</sub>	83.77	85.96	86.35	78.55	83.92	88.60	90.26	85.85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.23	4.86	6.69	5.59	5.91	4.50	4.00	3.97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.89	1.06	1.94	1.34	1.66	1.00	0.94	1.00
TiO <sub>2</sub>	0.53	0.63	0.60	0.40	0.58	0.59	0.58	0.53
MgO	0.23	0.24	0.43	0.44	0.34	0.24	0.20	0.23
CaO	0.62	0.45	0.64	8.67	2.10	1.09	0.92	2.24
Na <sub>2</sub> O	0.43	0.51	0.51	0.49	0.46	0.46	0.38	0.35
K <sub>2</sub> O	0.91	1.06	1.13	0.96	0.67	0.96	0.43	0.53
PPC	7.14	4.43	1.21	1.86	3.07	1.56	1.44	3.75
TOTAL	98.75	99.20	99.50	98.30	98.71	99.00	99.15	98.45

TABLA. VII-9

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CS-14 (mg/K)

	A1	A2	AC	2Ck	2Cg	2C1	2C2	3Ck	V.medio
Mn	200.00	192.00	220.00	128.00	88.00	76.00	104.00	296.00	163.00
Zn	18.80	16.00	25.60	21.60	20.40	15.20	12.80	14.00	18.05
Cu	8.40	5.60	6.40	4.80	4.40	4.40	3.60	4.80	5.30
Ni	6.80	7.20	16.80	13.60	12.80	8.40	6.40	12.00	10.50
Co	5.20	6.00	10.00	7.60	8.40	4.80	2.00	4.80	6.10
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	tr.	tr.	n.d.	n.d.	n.d.	--
Pb	22.40	17.60	17.20	22.00	18.00	14.40	16.00	12.40	17.50
Cr	20.40	22.00	34.00	29.60	33.20	24.00	21.60	21.60	25.80
Zr	350.00	400.00	320.00	260.00	320.00	360.00	370.00	370.00	343.75
Y	22.00	25.00	33.00	17.00	27.00	26.00	20.00	19.00	23.63
Sr	45.00	44.00	52.00	70.00	43.00	44.00	40.00	43.00	47.63
Rb	60.00	32.00	44.00	56.00	55.00	49.00	42.00	67.00	50.63
Ba	400.00	300.00	410.00	260.00	280.00	260.00	260.00	290.00	307.50
La	15.00	22.00	19.00	8.00	18.00	16.00	13.00	14.00	15.63
Ga	12.00	11.00	14.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.13
Sn	3.00	9.00	10.00	10.00	1.00	36.00	11.50	7.00	11.88
Nb	64.00	60.00	57.00	62.00	58.00	48.00	48.00	58.00	56.88

n.d. = no detectado



TABLA. VI-10

## ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CS-22 (%)

	A	C	2C
SiO <sub>2</sub>	94.21	96.07	96.47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.28	0.86	1.29
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.55	0.32	0.33
TiO <sub>2</sub>	0.76	0.43	0.46
MgO	0.05	0.04	0.09
CaO	0.81	0.12	0.30
Na <sub>2</sub> O	0.04	0.03	0.03
K <sub>2</sub> O	0.19	0.12	0.14
PPC	1.12	0.41	0.67
TOTAL	99.01	98.40	99.78

TABLA. VII-10

## ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CS-22 (mg/K)

	A	C	2C	V.medio
Mn	83.00	43.00	38.00	54.67
Zn	12.40	4.80	5.60	7.60
Cu	2.80	tr.	tr.	0.93
Ni	tr.	2.80	4.40	2.40
Co	n.d.	tr.	n.d.	--
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	--
Pb	11.20	12.00	8.80	10.67
Cr	14.80	18.00	8.80	13.87
Zr	98.00	170.00	130.00	132.67
Y	--	--	--	--
Sr	9.00	6.00	5.00	6.67
Rb	27.00	19.00	20.00	22.00
Ba	130.00	120.00	100.00	116.67
La	13.00	7.00	17.00	12.33
Ga	10.00	11.00	10.00	10.33
Sn	32.00	18.00	n.d.	16.67
Nb	53.00	44.00	36.00	44.33

n.d. = no detectado

TABLA. VI-11

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CS-23 (%)				
	Ap	2Bt	2BC	2C
SiO <sub>2</sub>	91.39	76.87	83.20	83.43
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.32	11.27	8.46	8.71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.91	3.56	2.18	2.33
TiO <sub>2</sub>	0.48	0.58	0.51	0.56
MgO	0.09	0.31	0.28	0.34
CaO	0.20	0.11	0.10	0.11
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.13	0.15	0.17
K <sub>2</sub> O	0.43	0.87	0.96	1.13
PPC	2.62	5.20	3.37	3.13
TOTAL	99.50	98.90	99.21	99.91

TABLA. VII-11

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CS-23 (mg/K)					
	Ap	2Bt	2BC	2C	V.medio
Mn	73.00	50.00	52.50	60.80	59.08
Zn	7.60	20.00	18.00	21.20	16.70
Cu	8.40	8.00	12.00	9.20	9.40
Ni	8.00	24.40	16.00	14.80	15.80
Co	3.20	14.80	9.60	10.00	9.40
Cd	n.d.	tr.	n.d.	n.d.	--
Pb	18.00	22.00	17.60	16.80	18.60
Cr	18.40	47.20	34.00	30.40	32.50
Zr	240.00	180.00	210.00	240.00	217.50
Y	10.00	23.00	25.00	25.00	20.75
Sr	15.00	27.00	54.00	47.00	35.75
Rb	33.00	58.00	69.00	44.00	51.00
Ba	190.00	230.00	300.00	360.00	270.00
La	7.00	11.00	8.00	13.00	9.75
Ga	11.00	17.00	16.00	15.00	14.75
Sn	7.00	8.00	17.00	12.00	11.00
Nb	31.00	49.00	50.00	69.00	49.75

n.d. = no detectado

TABLA. VI-12

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CS-24 (%)			
	A	AC	C
SiO <sub>2</sub>	93.24	95.35	94.44
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.04	1.75	1.93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.56	0.42	0.34
TiO <sub>2</sub>	0.64	0.45	0.48
MgO	0.07	0.05	0.06
CaO	0.66	0.08	0.08
Na <sub>2</sub> O	0.11	0.11	0.08
K <sub>2</sub> O	0.46	0.46	0.36
PPC	2.26	1.16	1.50
TOTAL	100.04	99.83	99.27

TABLA. VII-12

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CS-24 (mg/K)				
	A	AC	C	V.medio
Mn	143.60	58.00	41.60	81.07
Zn	9.60	5.20	6.40	7.07
Cu	2.80	16.80	tr.	6.53
Ni	4.40	3.60	4.00	4.00
Co	4.00	1.60	1.60	2.40
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	--
Pb	14.00	13.20	12.40	13.20
Cr	14.00	9.60	9.60	11.07
Zr	100.00	110.00	61.00	90.33
Y	2.00	6.00	5.00	4.33
Sr	12.00	17.00	15.00	14.66
Rb	43.00	36.00	38.00	39.00
Ba	170.00	130.00	210.00	170.00
La	1.00	9.00	14.00	8.00
Ga	9.00	11.00	11.00	10.33
Sn	14.00	22.00	22.00	19.33
Nb	49.00	70.00	45.00	54.67

n.d. = no detectado

TABLA. VI-13

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL AS-8 (%)			
	A1	Bt1	Bt2
SiO <sub>2</sub>	90.61	78.24	80.19
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.26	9.35	7.88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.52	5.75	5.47
TiO <sub>2</sub>	0.32	0.28	0.29
MgO	0.07	0.14	0.14
CaO	0.10	0.13	0.17
Na <sub>2</sub> O	0.05	0.06	0.07
K <sub>2</sub> O	0.19	0.58	0.60
PPC	2.21	4.58	4.22
TOTAL	98.33	99.11	99.03

TABLA. VII-13

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL AS-8 (mg/K)				
	A1	Bt1	Bt2	V.medio
Mn	208.00	256.00	140.00	201.33
Zn	8.40	20.40	16.00	14.93
Cu	10.80	20.40	30.40	20.53
Ni	7.60	35.20	29.20	24.00
Co	4.00	16.00	16.00	12.00
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
Pb	14.00	14.40	12.00	13.47
Cr	31.20	67.20	68.00	55.47
Zr	61.00	40.00	37.00	46.00
Y	14.00	17.00	15.00	15.33
Sr	8.00	11.00	10.00	9.67
Rb	32.00	39.00	46.00	39.00
Ba	130.00	160.00	120.00	136.67
La	0.00	15.00	20.00	11.67
Ga	13.00	13.00	14.00	13.33
Sn	34.00	24.00	27.00	28.33
Nb	55.00	57.00	59.00	57.00

n.d. = no detectado

TABLA. VI-14

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL AS-9 (%)				
	A1	C	2Bg1	2Bg2
SiO <sub>2</sub>	90.95	91.32	78.01	80.77
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.15	3.45	9.67	8.61
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.80	0.79	3.04	2.80
TiO <sub>2</sub>	0.47	0.44	0.43	0.42
MgO	0.11	0.11	0.45	0.50
CaO	0.18	0.18	0.32	0.23
Na <sub>2</sub> O	0.46	0.50	0.49	0.70
K <sub>2</sub> O	0.58	0.55	0.89	0.82
PPC	3.10	1.36	5.20	4.25
TOTAL	99.80	98.70	98.50	99.10

TABLA. VII-14

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL AS-9 (mg/K)					
	A1	C	2Bg1	2Bg2	V.medio
Mn	116.00	84.00	80.00	104.00	96.00
Zn	7.20	4.80	18.00	22.80	13.20
Cu	5.20	4.40	9.60	6.40	6.40
Ni	6.00	4.00	18.00	18.00	11.50
Co	tr.	tr.	12.00	10.00	5.50
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	--
Pb	15.60	14.40	13.20	6.00	12.30
Cr	23.20	20.80	72.40	68.40	46.20
Zr	220.00	220.00	160.00	170.00	192.50
Y	--	--	--	--	--
Sr	42.00	34.00	46.00	52.00	43.50
Rb	59.00	67.00	82.00	50.00	64.50
Ba	170.00	160.00	210.00	180.00	180.00
La	16.00	6.00	18.00	11.00	12.75
Ga	11.00	9.00	15.00	14.00	12.25
Sn	17.00	7.00	27.00	12.00	15.75
Nb	75.00	61.00	53.00	54.00	60.75

n.d. = no detectado

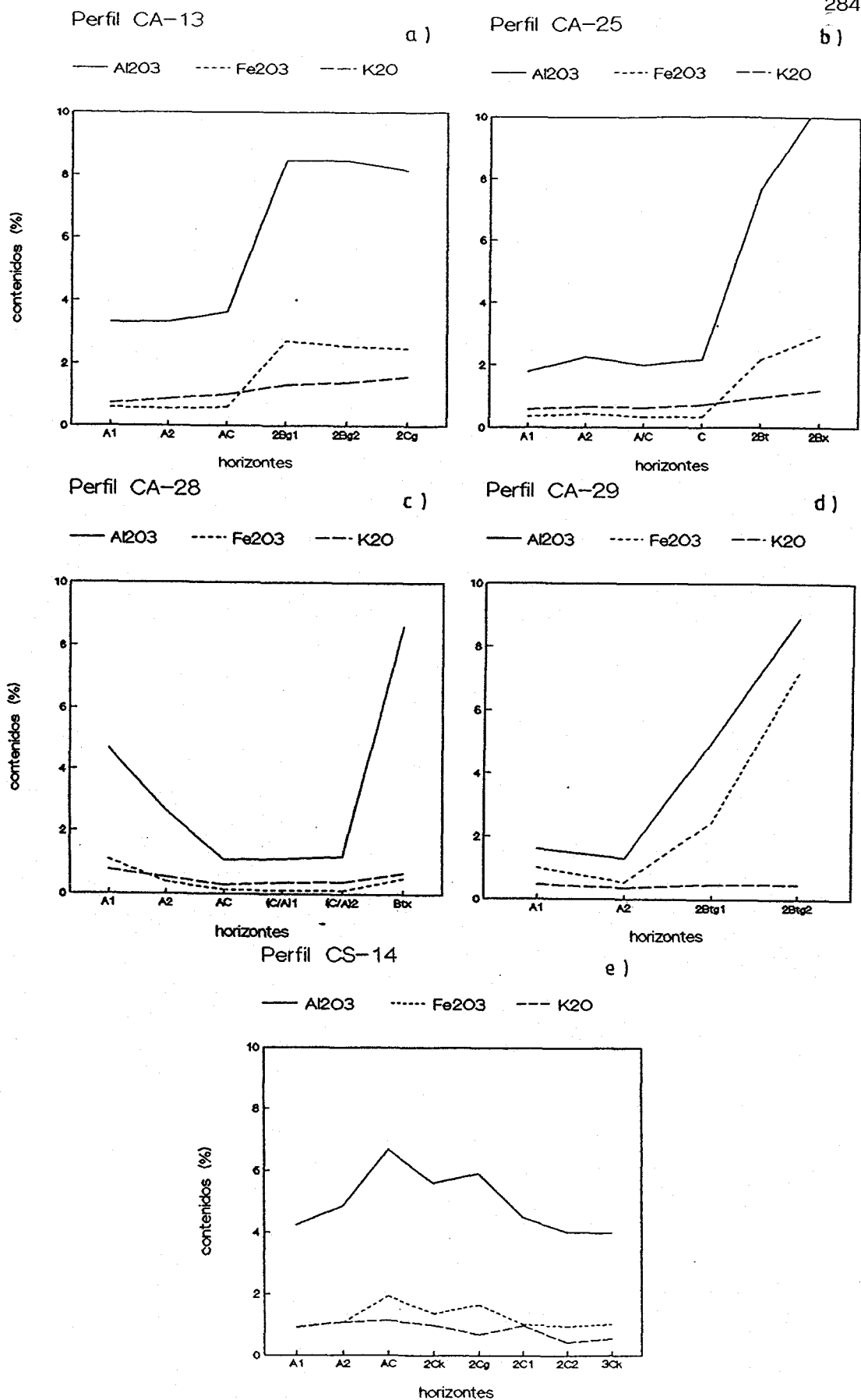


Fig. 35.- Representación de los Valores de Fe, Al y K (expresados en óxidos) de los distintos horizontes en los perfiles CA-13, CA-25, CA-28, CA-29 y CS-14.

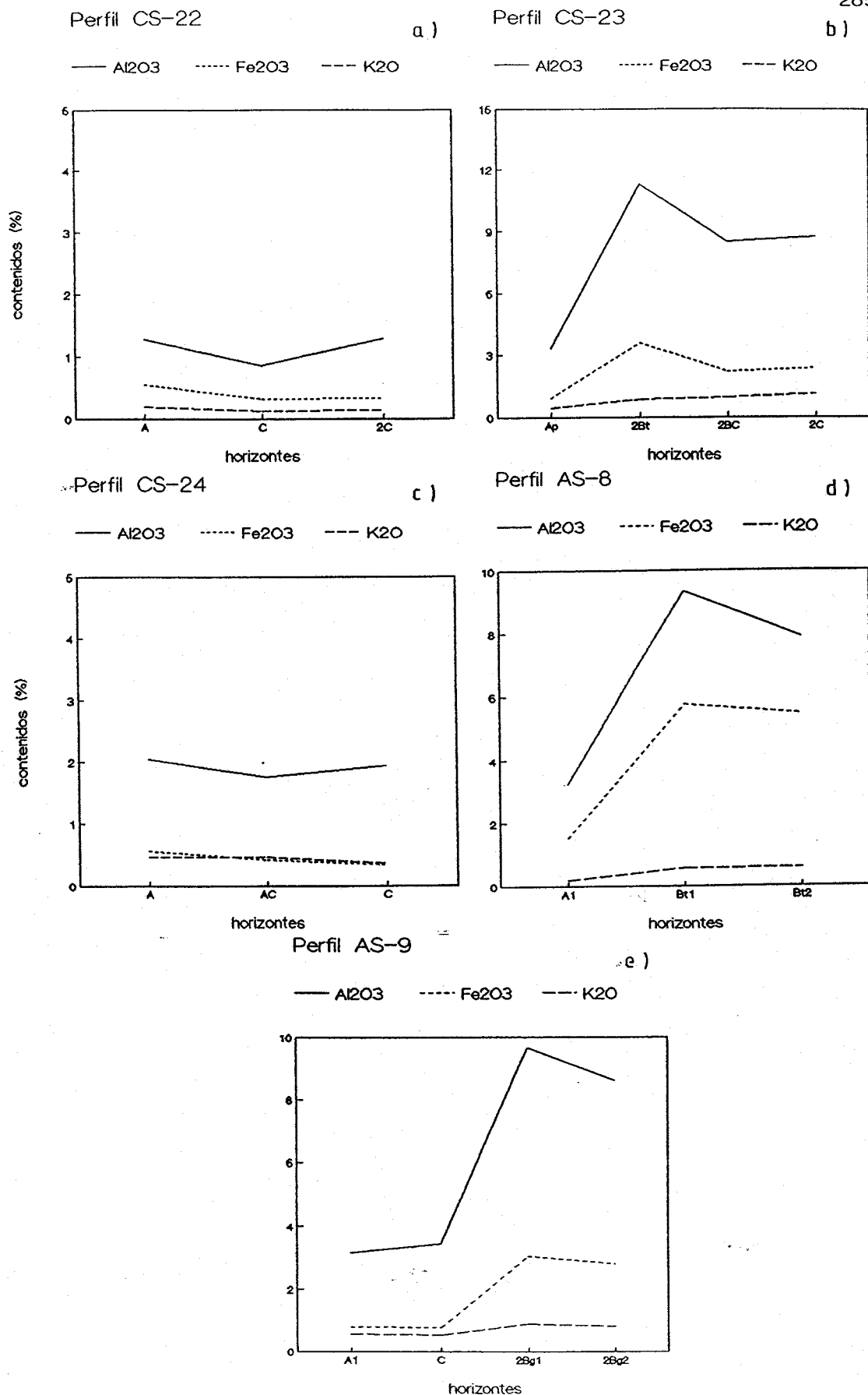
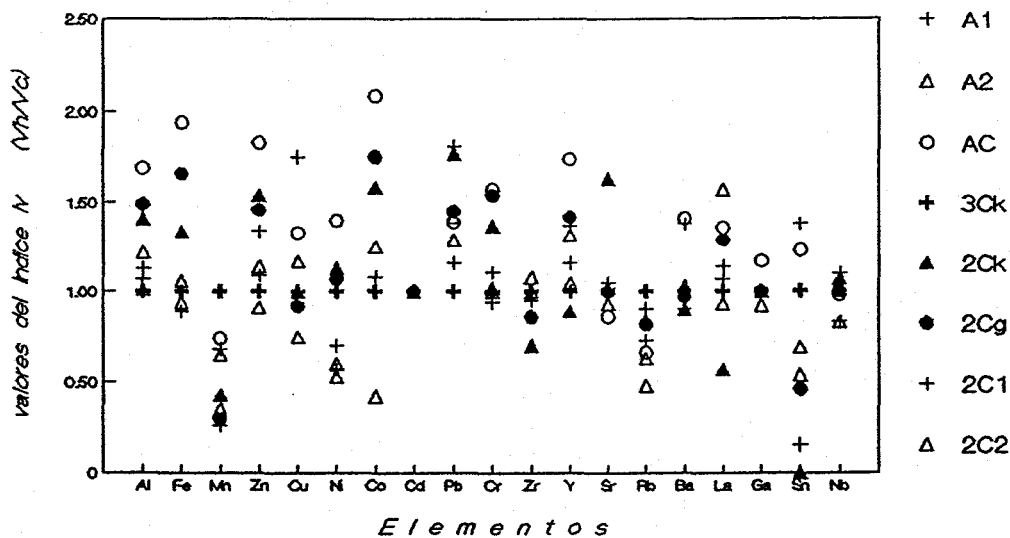


Fig. 36.- Representación de los Valores de Fe, Al y K (expresados en óxidos) de los distintos horizontes en los perfiles de suelos. CS-22, Cs-23, CS-24, AS-8 y AS-9.

Perfil CS-14



Perfil CS-22

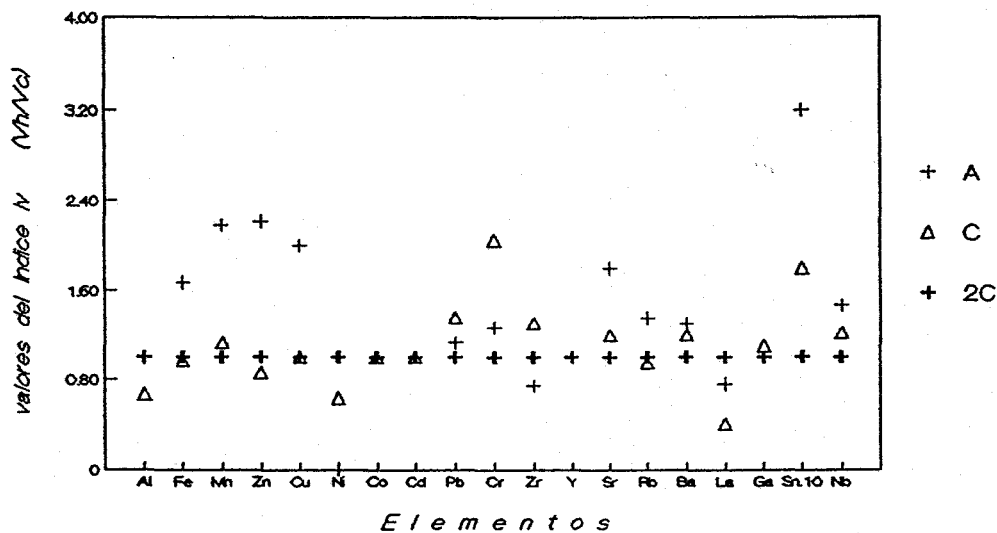
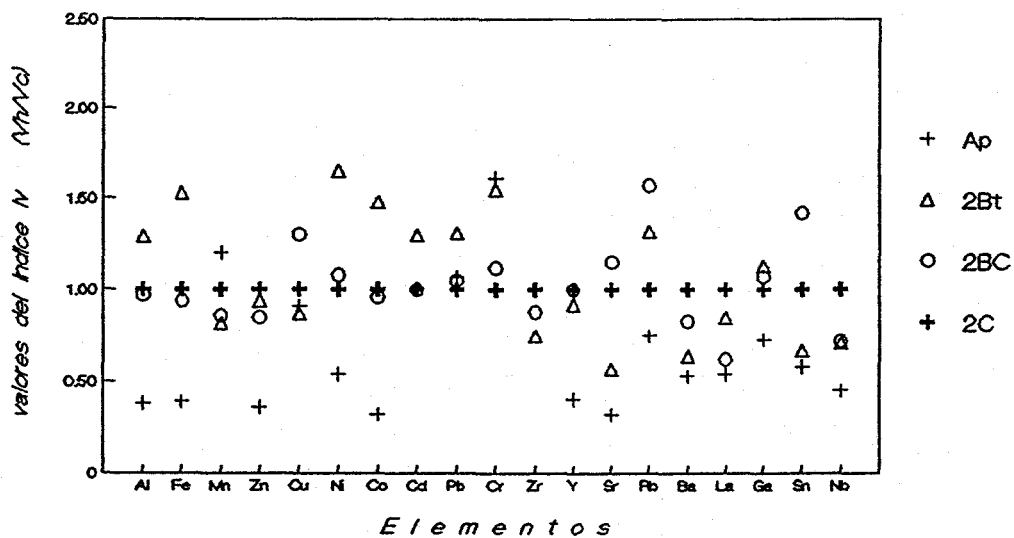


Fig. 37.- Representación de los índices de variación para Fe, Al y elementos minoritarios de los perfiles CS-14 y CS-22.



Perfil CS-23



Perfil CS-24

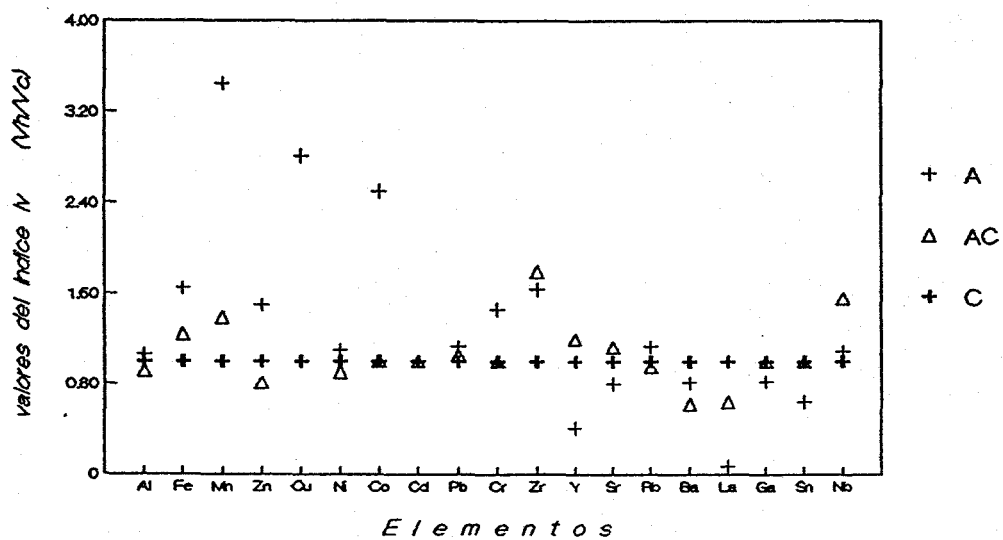


Fig. 38.- Representación de los índices de variación para Fe, Al y elementos minoritarios de los perfiles CS-23 y CS-24.

este elemento en los valores de todos los perfiles estudiados en este grupo, con aumentos en algunos casos en el horizonte superficial.

El  $TiO_2$  tan sólo con feldespatos y materia orgánica presenta correlaciones ( $P < 0.01$ ), al contrario de lo que sucede con el grupo de las areniscas no se correlaciona con el  $\%Fe_2O_3$ , aunque suele seguir a los sesquióxidos en sus contenidos según AUBERT y PINTA (1977).

El CaO y MgO tienen valores bajos con medias de 0,56% y 0,19% respectivamente, destacando tan sólo el valor de 8,67% para el primero, correspondiente al horizonte Ck en el perfil CS-14 (tabla VI-9), como era de esperar por el carácter calcáreo puntual de este horizonte.

Los alcalinos Na y K tampoco tienen valores importantes, aunque se pueden mencionar las correlaciones positivas muy significativas del  $Na_2O$  con los feldespatos y de ambos con la arcilla y los filosilicatos (tabla VIII-2). La pérdida de cationes alcalinos en los horizontes superiores por lixiviación, puede ir unido a una readsorción en el horizonte B (DOUCHAFOUR, 1984). Estos elementos presentan también correlaciones negativas y muy significativas (del 99,9%) con la fracción gruesa de la arena, que puede explicarse por el intenso lavado que ha tenido lugar, acumulándose en las fracciones más finas.

Siendo igualmente significativas y positivas con la esmectita, %MgO y %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Excepto el Sn, todos los demás elementos minoritarios estudiados tienen valores medios superiores con respecto al resto de los grupos, aunque el rango para muchos de ellos no difiere del grupo de las areniscas.

La acumulación del Mn en los horizontes superficiales y disminución progresiva hacia los más profundos (figura 39 a), es quizá la característica más regular que presenta este elemento, haciéndose mucho más diferenciado su valor en aquellos que muestran, igualmente, un salto en el contenido de materia orgánica, es el caso de los perfiles CA-28, CA-29 y CS-14, incluso en este último perfil y en su horizonte más profundo, con un 3,75% de materia orgánica, también aumenta el contenido del Mn, de hecho se correlacionan Mn-M.O. a nivel del 99,9% de significación. De otra parte, GONZALEZ y MAZUELOS (1960) han encontrado acumulación de este elemento en horizontes calcáreos lo que posibilita otra explicación a este hecho.

En Zn, Co, Ni y Cr siguen una dinámica de variación muy paralela para estos suelos, según se deduce de la figuras 40 a, b, c y d, con valores algo más altos para el Cr y menores en el caso del Co que se acumula en los últimos horizontes, al contrario de lo encontrado por

AUBERT y PINTA (1977) siendo usual una acumulación de este elemento en el horizonte húmico. No obstante KABATA-PENDIAS y PENDIAS (1984), entre otros, argumentan su asociación con minerales de la arcilla 2:1 y 2:1:1. Así pues, el aumento del porcentaje en arcillas en los horizontes más profundos en este grupo de suelos, unido a un pH bajo en sus horizontes, ayuda a que este elemento (Co) sea eliminado de los horizontes más superficiales por lixiviado. Igualmente, se correlaciona de forma muy significativa con ilita y caolinita (99,9% de significación) de acuerdo con los autores anteriormente citados.

El valor medio para el Co en los 10 perfiles que forman este grupo es de 5,83ppm con una variación entre 0 y 16ppm, muy similar al rango dado por KABATA-PENDIAS y PENDIAS (1984), entre 3 y 15ppm. AUBERT y PINTA (1977) da valores para suelos arenosos entre 10 y 15ppm.

Por otra parte, el valor medio obtenido para el Ni en este grupo es de 10,9ppm, algo más alto que el anterior elemento y con un rango también más amplio (tabla XII). La distribución de Ni, Co, y Fe presenta una gran similitud en la corteza terrestre, estando el Ni asociado a óxidos de hierro (NORRIS, 1975). De hecho en estos suelos, al igual que en los anteriores, se correlacionan muy bien con el  $Fe_2O_3$  total, y con los óxidos de hierro extraídos (tabla VIII-2).

Se hace patente también las correlaciones de estos elementos (Co, Ni y Cr) con la mayoría de los elementos estudiados (aquellos que se correlacionan con la fracción arcilla).

Para el Cr, el valor medio en este grupo (27,12ppm) está muy por debajo a la media de los suelos del mundo (entre 100 y 3000ppm) según AUBERT y PINTA (1977) y de la media de los suelos de este trabajo (49ppm).

Como se ha indicado anteriormente, la variación del Cr en los distintos horizontes de los 10 perfiles de este grupo (figura 40 d) es muy semejante a la de Co y Ni (figuras 40 a y 40 c), con pequeñas diferencias a la del Zn (figura 40 b), presentando una acumulación en los horizontes arcillosos y destacando su bajo contenido en los perfiles CS-22 y CS-24 dado su menor grado de desarrollo, con inexistencia de horizontes arcillosos, lo que justifica la relación de este elemento con el contenido de arcilla en el grupo. Se pueden destacar las correlaciones de ambos elementos muy significativas, con Pb ( $P < 0.01$ ), Ga ( $P < 0.001$ ) y también con los óxidos de hierro y aluminio, de acuerdo con los datos aportados por MAQUEDA (1970) y AUBERT y PINTA (1977) entre otros autores.

A diferencia de los elementos anteriores el Zn se

correlaciona con %Na<sub>2</sub>O, presentando una acumulación algo más destacada en el horizonte superficial del perfil CA-29 (figura 40 b), que coincide a su vez con un porcentaje alto de feldespatos en este horizonte, pudiéndose deducir su asociación a este mineral y que por los datos aportados se puede argumentar su naturaleza sódica. Asimismo, la existencia de un valor alto y diferenciado en M.O. con el resto de los horizontes en ese perfil hace pensar en la influencia de la materia orgánica en este elemento, dado que no se observa, a pesar de todo, una correlación de Zn-Feldespatos.

El Cu y Pb presentan en estos perfiles, en cuanto a su variación, (figura 39 b y c) una cierta correspondencia con la materia orgánica, aunque la proporción de arcilla sea el factor que predomina en suelos arenosos con pequeños contenidos en humus, de hecho se observan correlaciones del 90% de significación del Cu y Pb con M.O. en estos suelos, mientras que el nivel de significación con la arcilla es del 99,9%. Como cabía esperar los valores medios de estos elementos (tabla XII) están por debajo del contenido medio dado en la bibliografía.

Según las figuras 41 a y b, el Ba y el Sr presentan, con algunas diferencias, una similitud en su comportamiento. Tienen valores medios de 216,8ppm y 27,4ppm

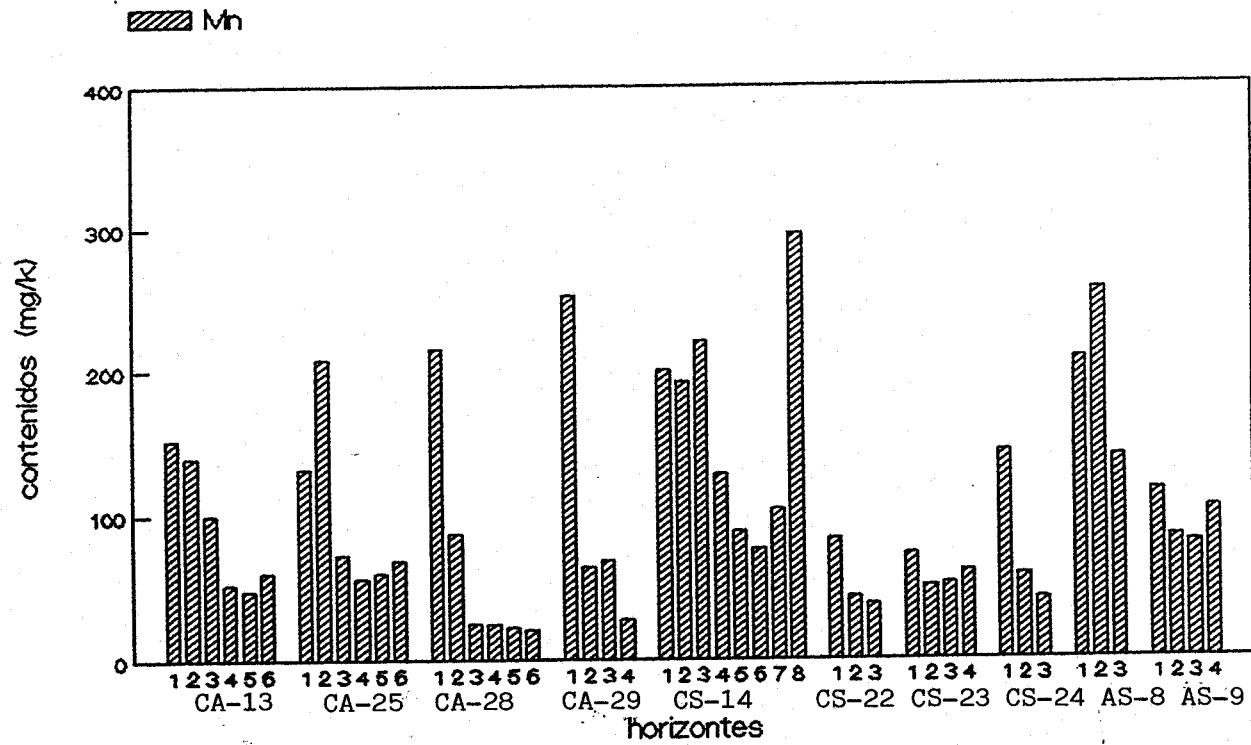


Fig. 39.a.- Histogramas de contenidos del Mn, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

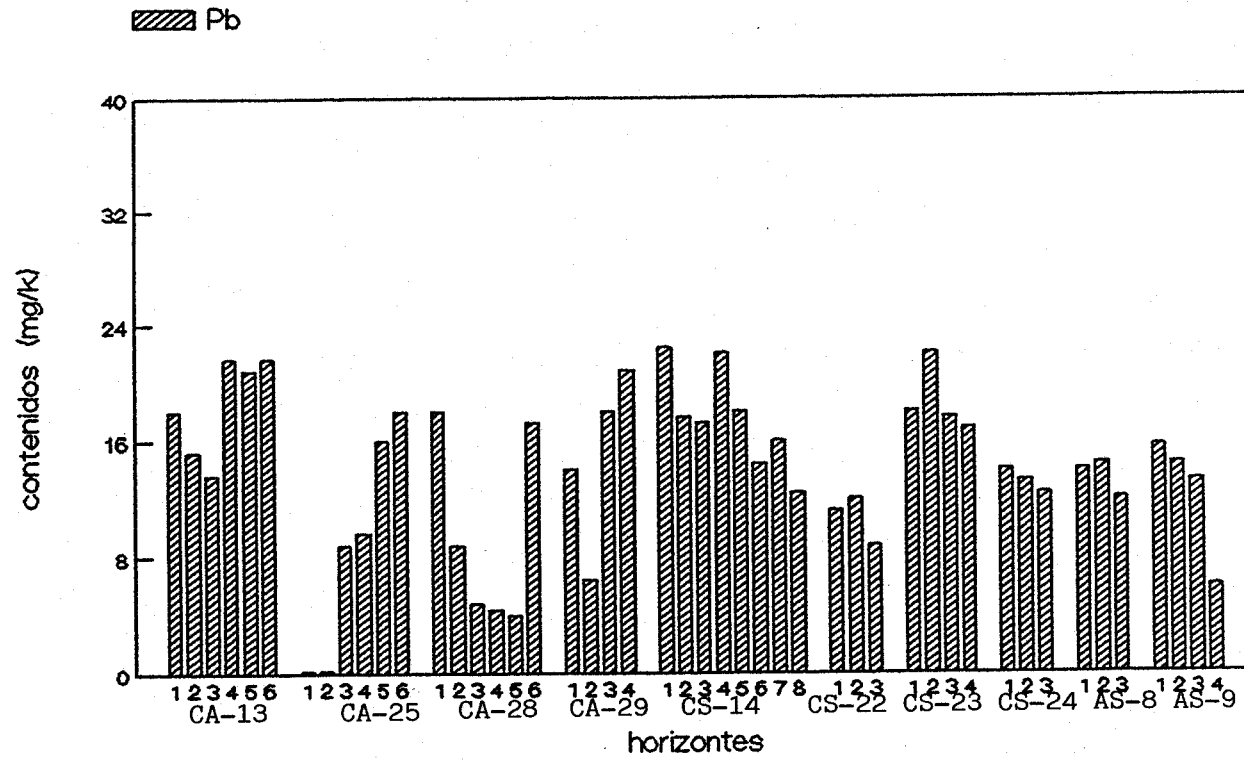


Fig. 39.b.- Histogramas de contenidos del Pb, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.



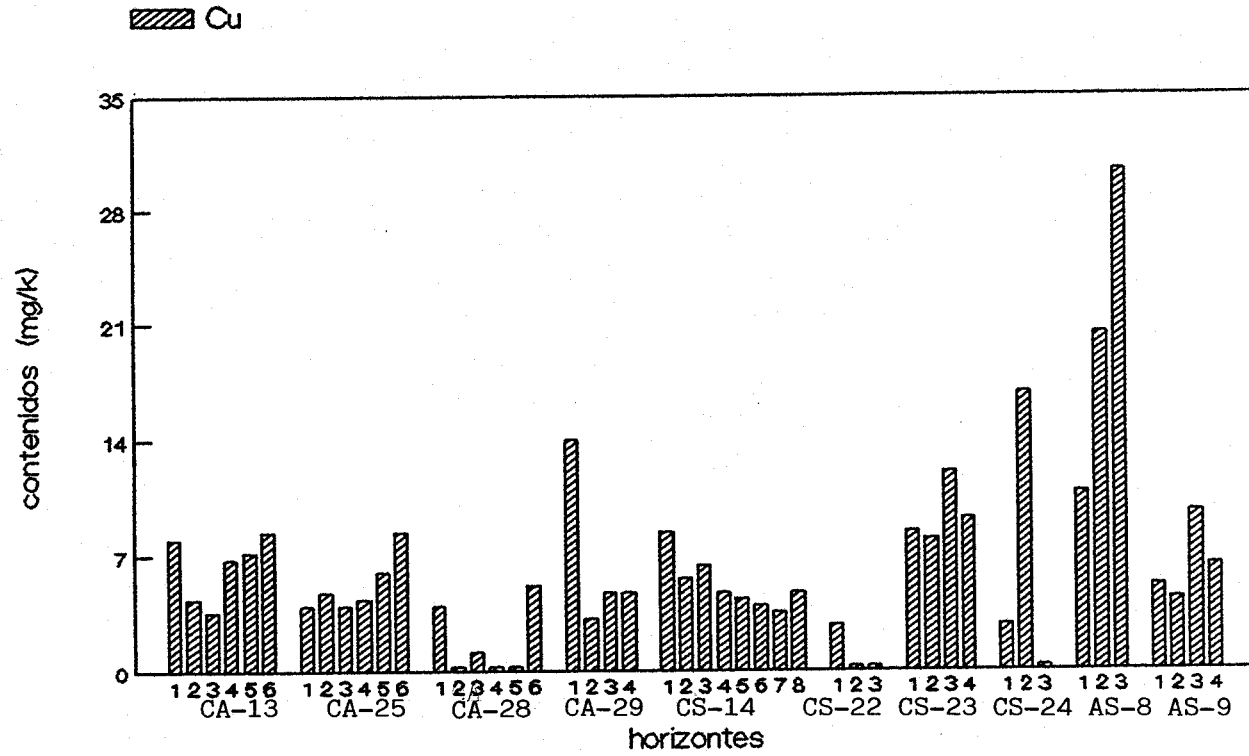


Fig. 39.c.- Histogramas de contenidos del Cu, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

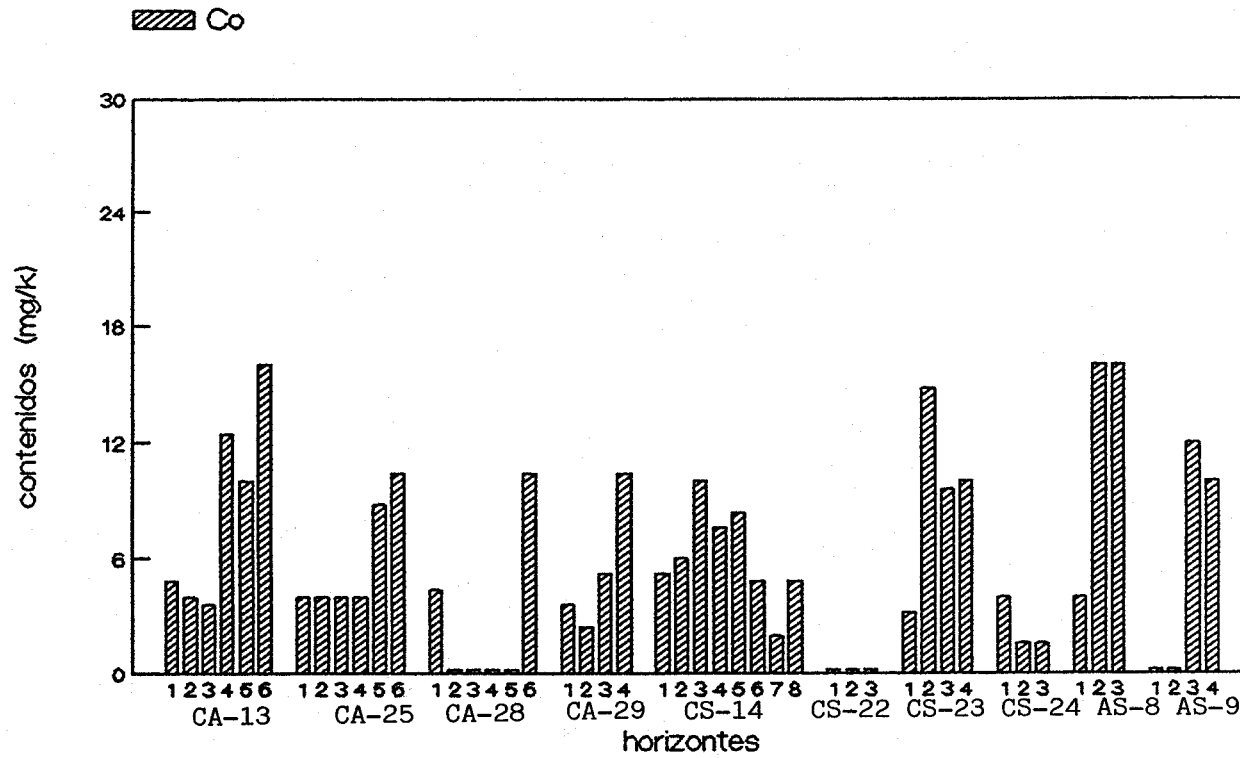


Fig. 40.a.- Histogramas de contenidos del Co, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

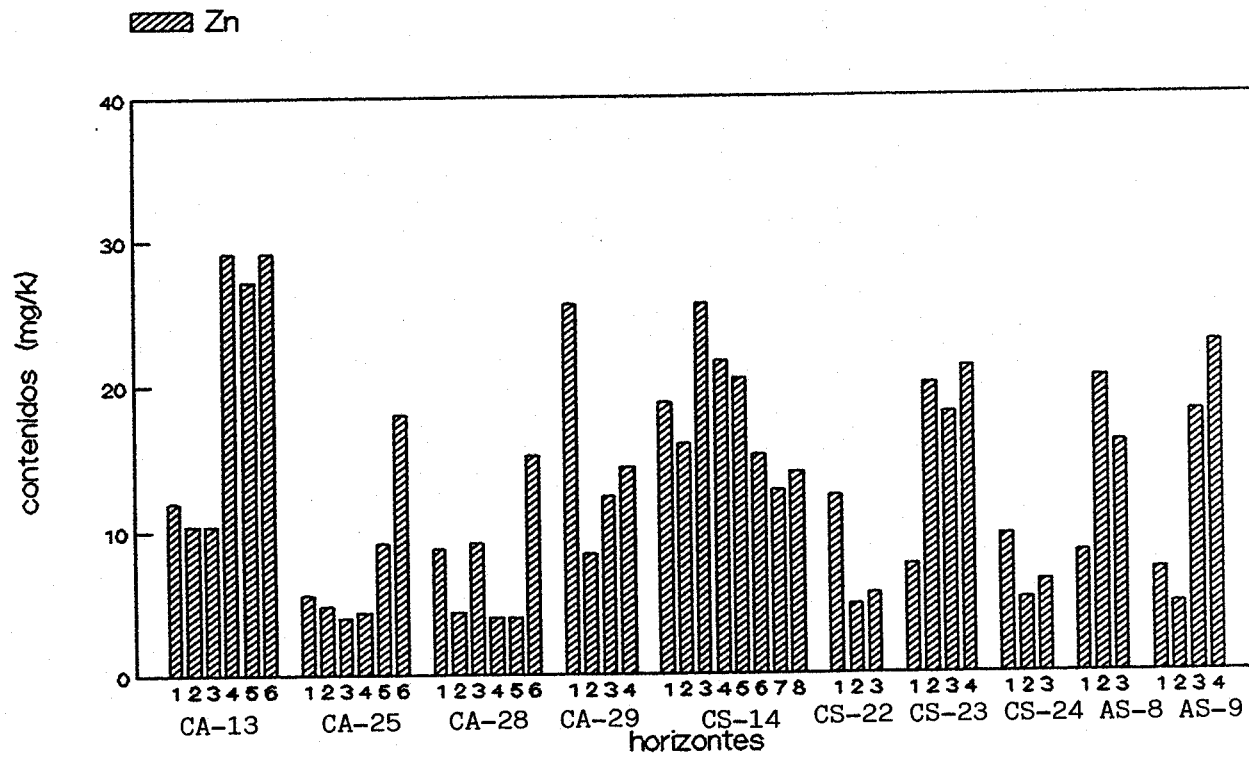


Fig. 40.b.- Histogramas de contenidos del Zn, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

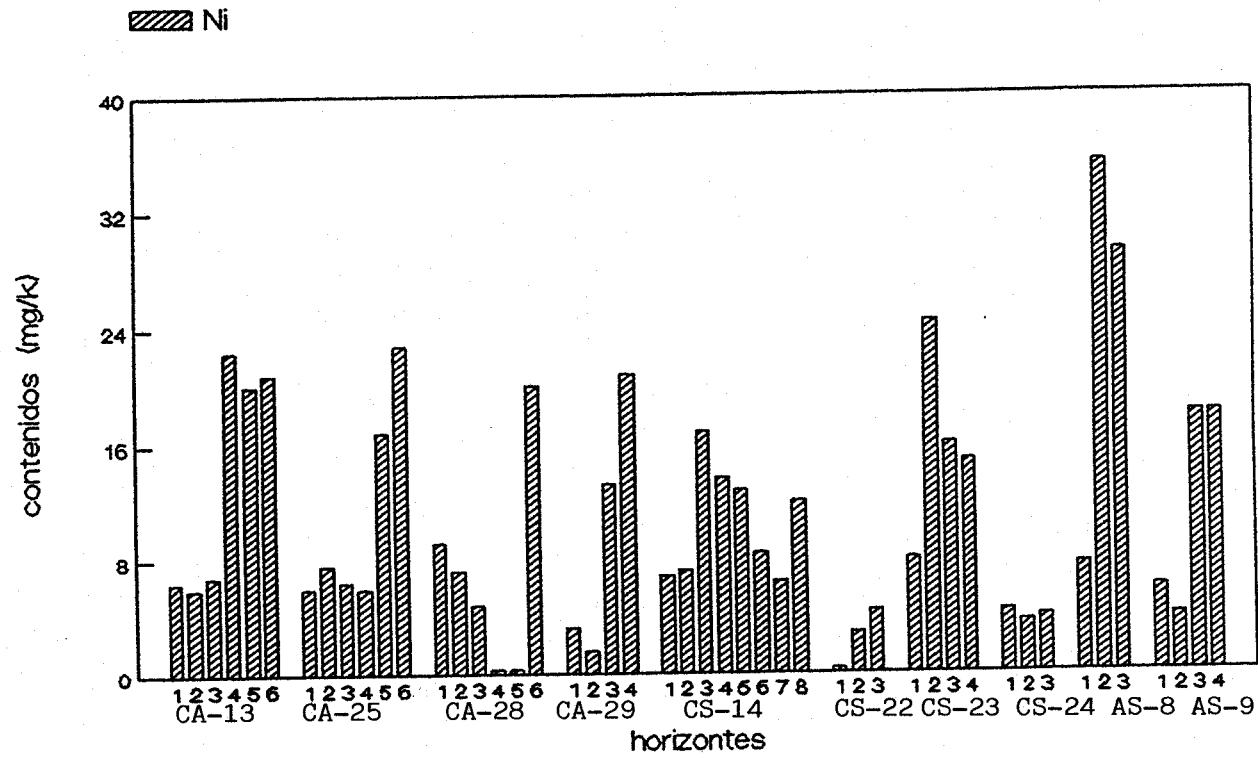


Fig. 40.c.- Histogramas de contenidos del Ni, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

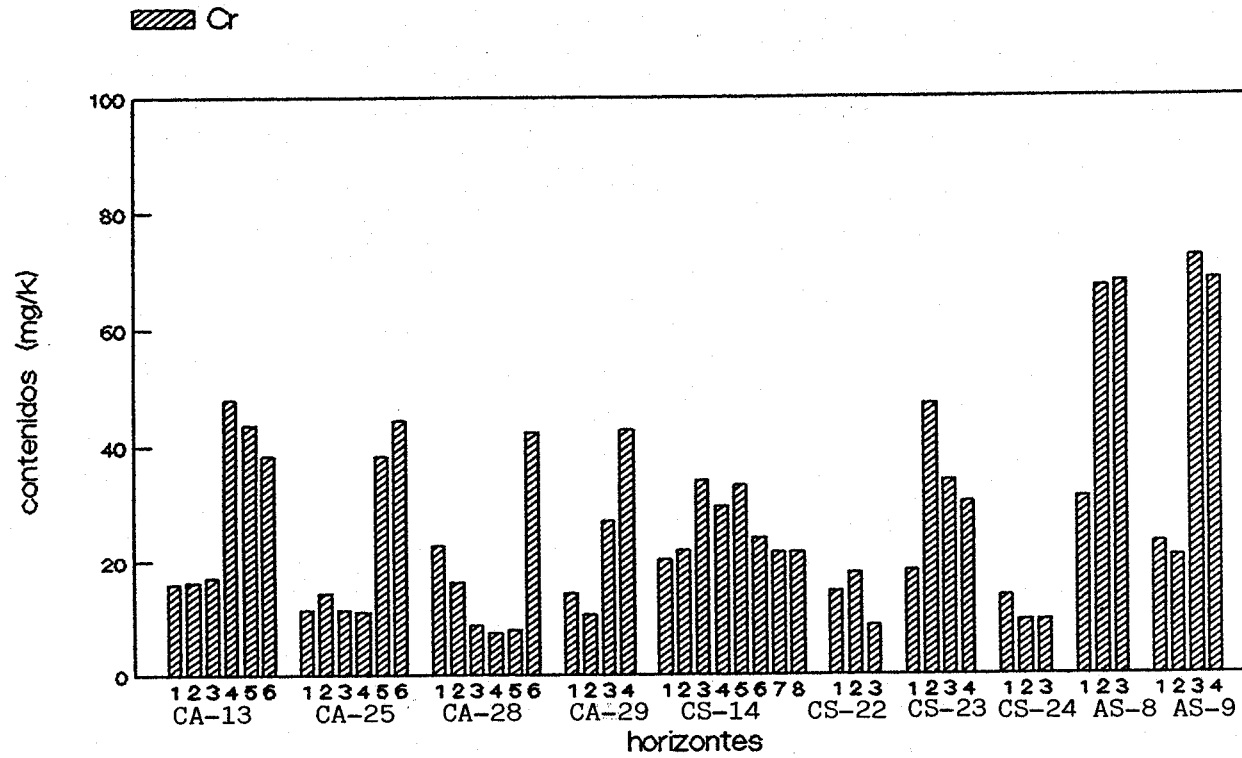


Fig. 40.d.- Histogramas de contenidos del Cr, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

respectivamente y rangos de 43-410ppm para el primero y de 5-70ppm para el segundo.

AUBERT y PINTA (1977) en estudios realizados en la URSS, para antiguas arenas marinas, dan valores entre 10 y 270ppm para Ba y aproximadamente 40ppm para Sr.

La mayor abundancia para ambos elementos (Ba y Sr) corresponde al perfil CS-14 y más exactamente en el horizonte más calcáreo (fig 41 a y b) y además para el Sr en el horizonte superficial del perfil CA-28 con alta proporción de arena fina, de hecho, ambos presentan correlaciones significativas muy altas y de forma negativa con la arena gruesa. También con las fracciones arcilla y el limo positivamente, lo que parece indicar una distribución de estos elementos en la textura media y fina del suelo. Con la M.O. a nivel del 95%, y con CaO, carbonatos y feldespatos solamente se correlaciona el Sr, lo que se pueden tomar como parámetros diferenciadores entre ambos (Ba y Sr). Se puede observar también una correlación de ambos elementos con la esmectita, entre los minerales de la arcilla, y con la materia orgánica a nivel del 99%. Asimismo, con %Na<sub>2</sub>O, %K<sub>2</sub>O y %MgO a nivel del 99,9%.

El Zr también presenta contenidos superiores en el perfil CS-14 (figura 41 c) frente al resto y, en

general, son los horizontes superficiales los más ricos en este elemento, lo que indica una mayor aportación de este elemento por las fracciones menos ligeras. Se correlaciona a nivel máximo y positivamente con feldespatos,  $\text{Na}_2\text{O}$  y materia orgánica. Su relación con las fracciones intermedias de la textura es el hecho más notable del comportamiento de este elemento, la bibliografía existente lo anota como característica peculiar y se constata en esta memoria, con una significación del 99,9% en su correlación con arena fina y limo. Todo ello unido a que los contenidos medios en estos perfiles siguen la tónica general de todos los suelos, refuerza el hecho de la restricción de este elemento al mineral Circon en la fracción arena.

El Rb en este grupo también tiene una relación acusada con la arena fina, con los elementos alcalinos y el %MgO. AUBERT y PINTA (1977) aportan datos concordantes, dando valores de este elemento en suelos salinos de la URSS entre 19 y 67ppm y entre 3 y 10ppm en regiones tropicales húmedas. En los suelos arenosos de este grupo se encuentra una variación entre 19 y 94ppm, siendo su valor medio equiparable a la media general (tabla XII).

No existe relación entre Rb, %CaO y los carbonatos en los perfiles de este grupo, aunque se correlaciona con los otros elementos alcalino-térreos,

siendo los suelos más pobres en Rb aquellos que tienen naturaleza caliza.

En cuanto al La y al Y siguen una tónica relativamente similar en su variación (figura 40 b y c), sobre todo, en el perfil CS-14. La correlación negativa de estos elementos con el cuarzo y la fracción gruesa de la textura son las características comunes, al mismo tiempo de una correlación positiva con  $\%K_2O$ ,  $\%Al_2O_3$  y filosilicatos, observándose una acumulación en los horizontes más profundos. En el caso del La llega a no detectarse por el método utilizado en los horizontes más superficiales de los perfiles poco desarrollados y, en el caso del Y, no ha sido posible obtener su contenido en los perfiles CA-28, CS-22 y AS-9 por razones de interferencia con otros elementos.

Los rangos y valores medios de estos elementos (tabla XII) son menores que los obtenidos para otros grupos de este trabajo, así como los dados por MAQUEDA (1970) para suelos pardos mediterráneos y pardos calizos (50 y 20ppm respectivamente en el Y) y muy inferiores a los dados para La en estos mismos suelos. Según este mismo autor anterior, las concentraciones de estos elementos suelen estar generalmente restringidas a los minerales apatito y titanitas.

El comportamiento del Ga en estos perfiles sigue



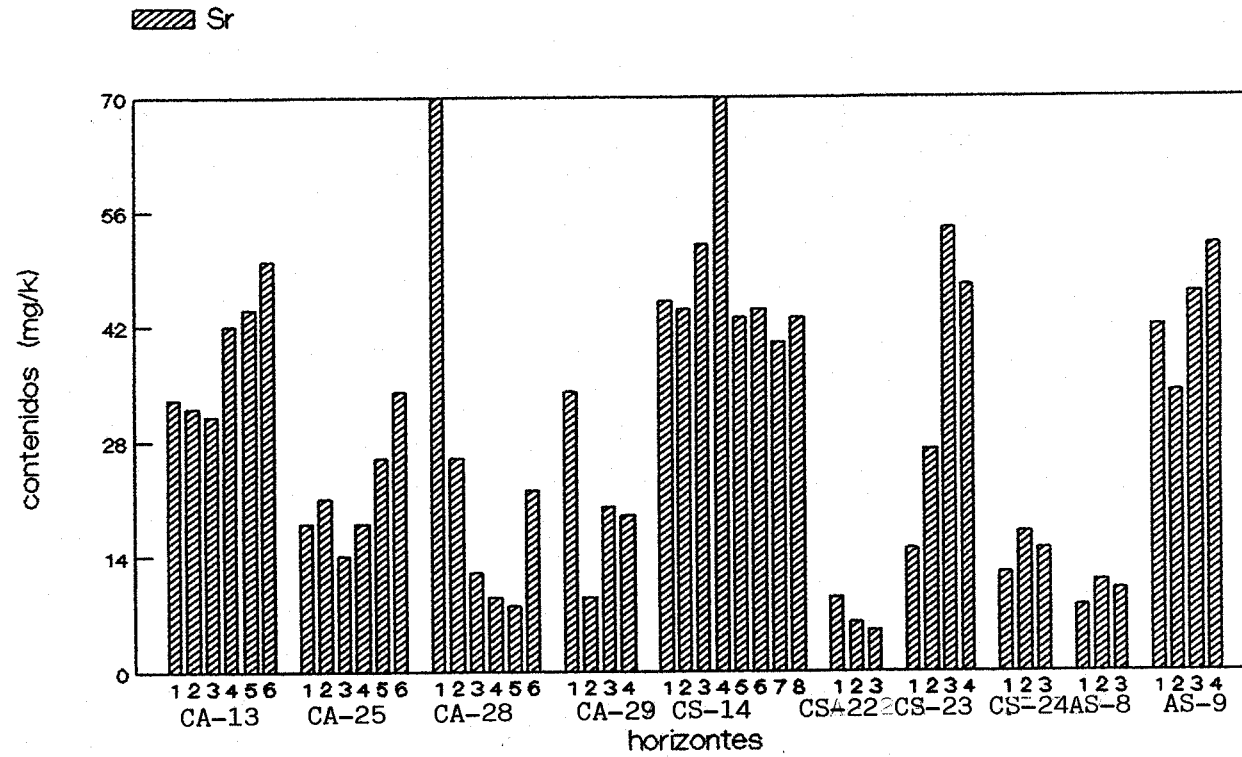


Fig. 41.a.- Histogramas de contenidos del Sr, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

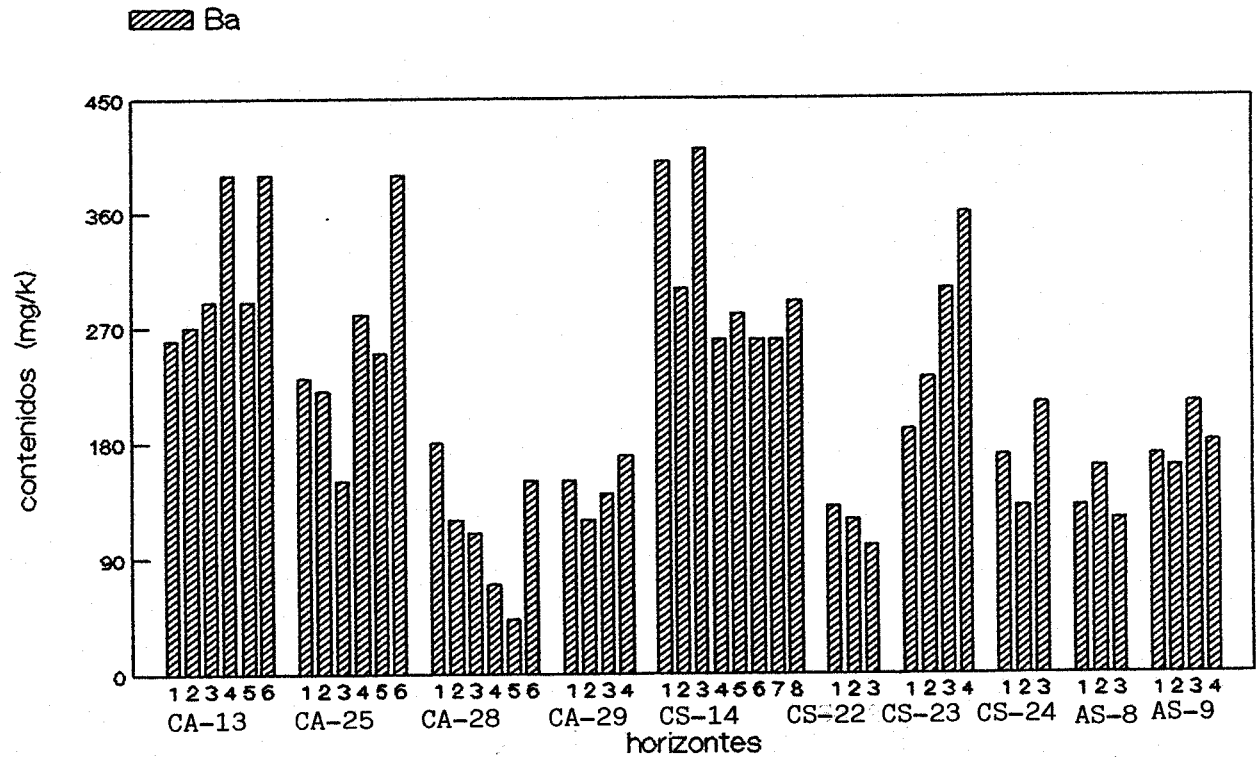


Fig. 41.b.- Histogramas de contenidos del Ba, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

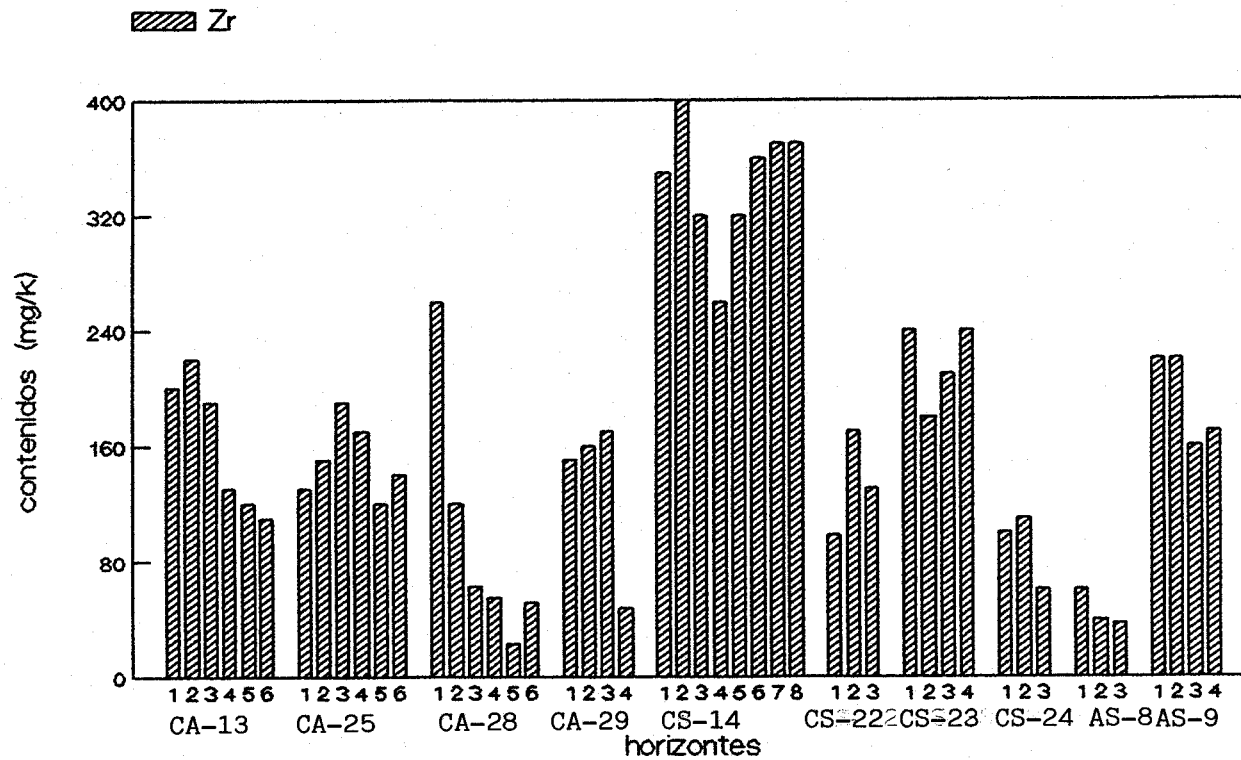


Fig. 41.c.- Histogramas de contenidos del Zr, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

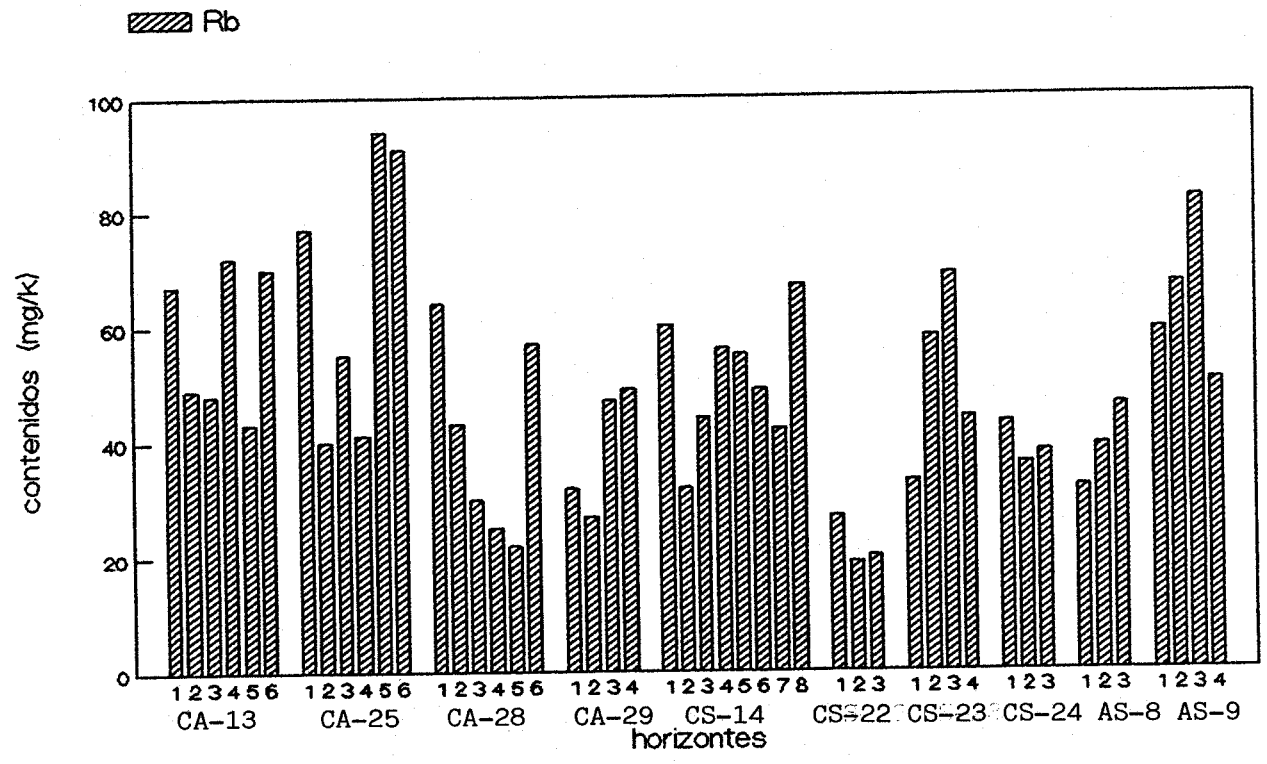


Fig. 42.a.- Histogramas de contenidos del Rb, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

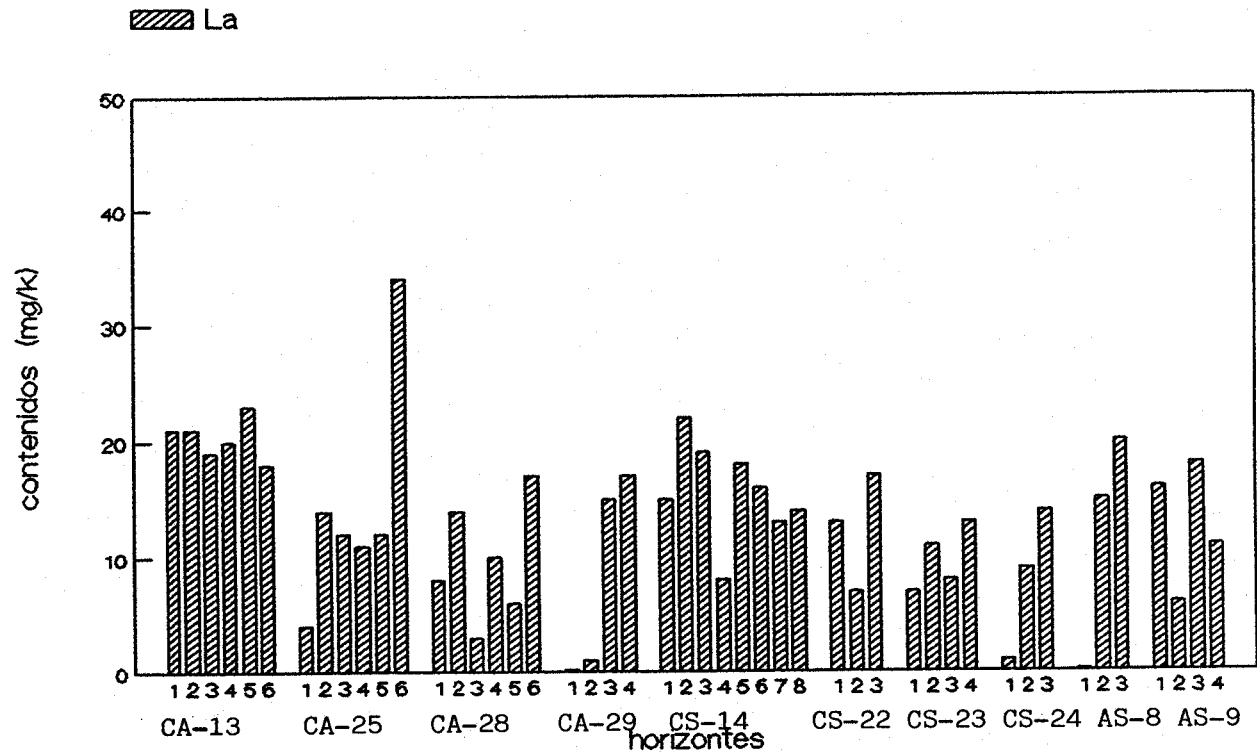


Fig. 42.b.- Histogramas de contenidos del La, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

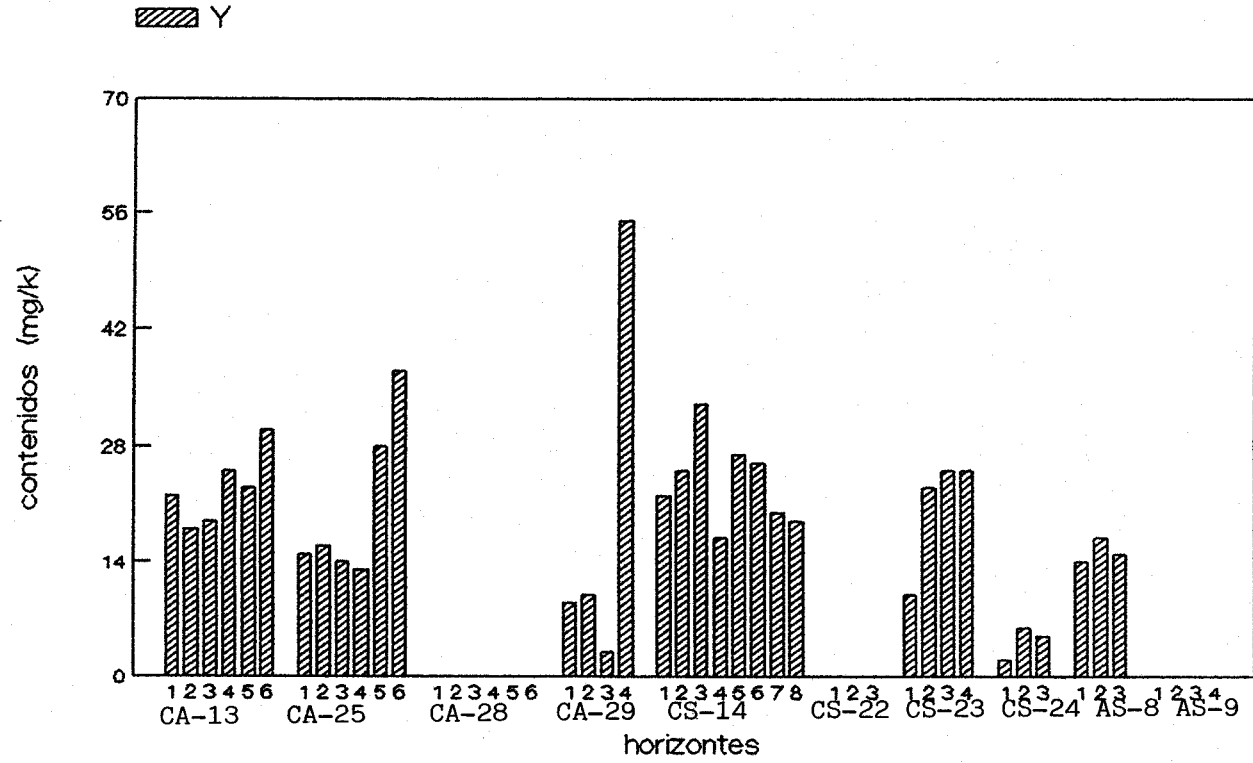


Fig. 42.c.- Histogramas de contenidos del Y, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

siendo, al igual que en las areniscas, poco dinámico y semejante al Co en sus valores. La variación entre 8 y 17ppm con un promedio de 12ppm hace ver la similitud de contenidos en todos los perfiles, tan sólo con leves intenciones de acumulación en los horizontes más arcillosos según el histograma de la figura 43 b, aunque se pueden observar correlaciones muy significativas positivas con la proporción de la fracción más fina y con los filosilicatos, además del K, Mg, %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y con %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. El Co también se correlaciona muy significativamente con los minerales esmectita, ilita y caolinita.

Según lo anterior puede diagnosticarse, en principio, una distribución equitativa en los minerales de la arcilla, como ya se indicó anteriormente.

Por el contrario, en el Nb no se puede definir claramente su comportamiento, al igual que ocurría en el grupo anterior. Con valores superiores al Ga no tiene una dinámica regular, y no se ha encontrado una dependencia definida de los factores estudiados. Solamente presenta correlaciones a nivel de  $p > 0.01$  con Rb, Ba, La y %K<sub>2</sub>O lo que puede justificar posibles intercambios con estos elementos en aquellas fracciones donde están presentes.

En Sn, al igual que los anteriores, presenta correlaciones muy concretas, en este caso con Zr, Sr y Ba y

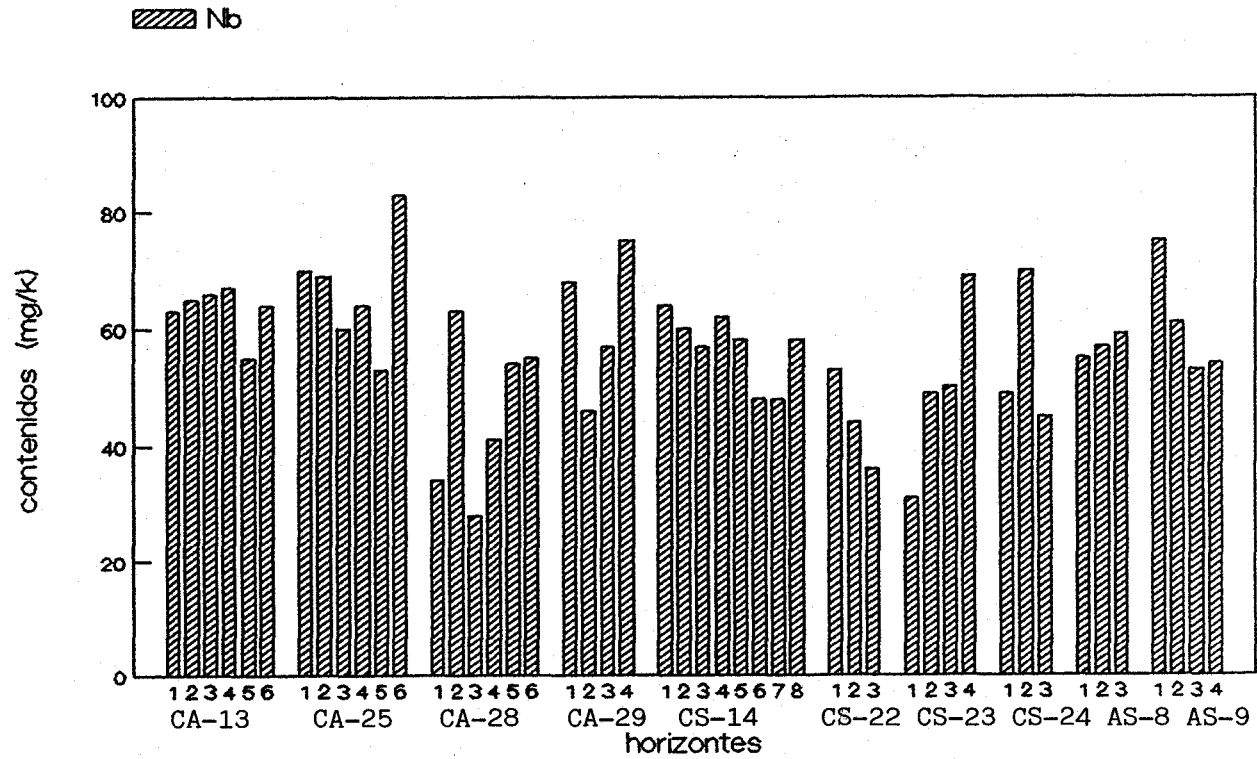


Fig. 43.a.- Histogramas de contenidos del Nb, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.



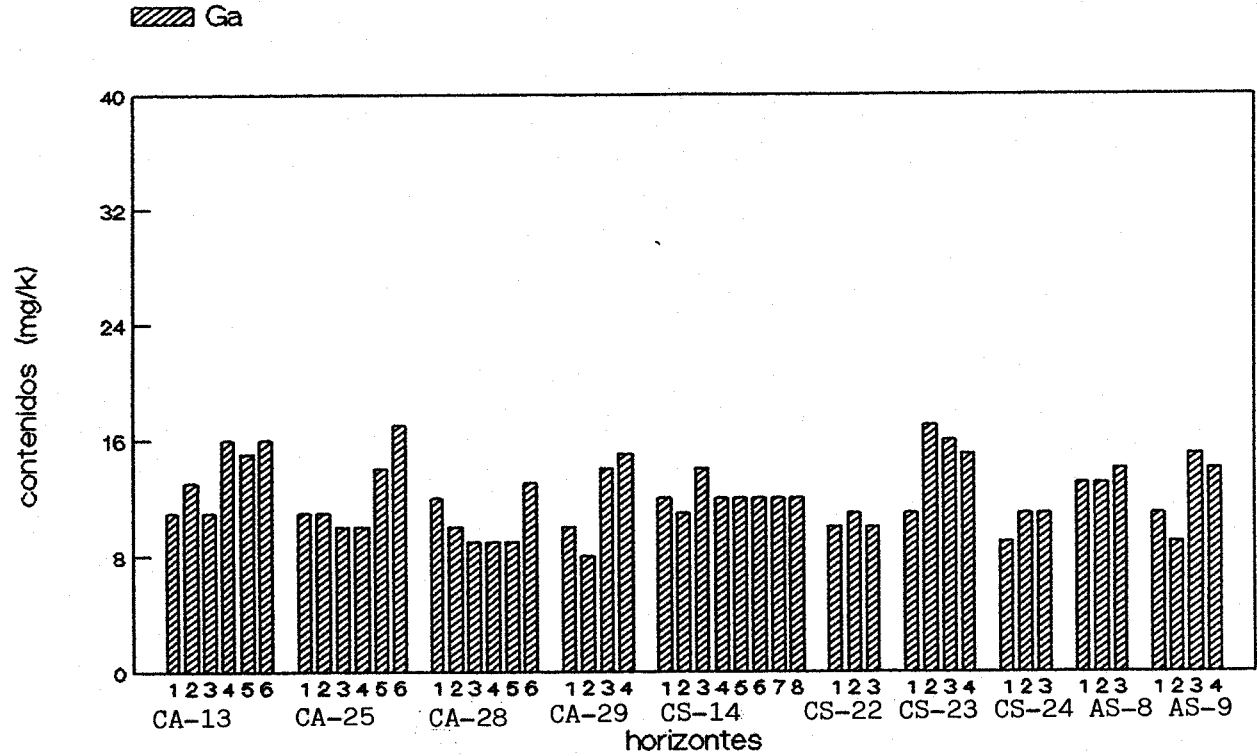


Fig. 43.b.- Histogramas de contenidos del Ga, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

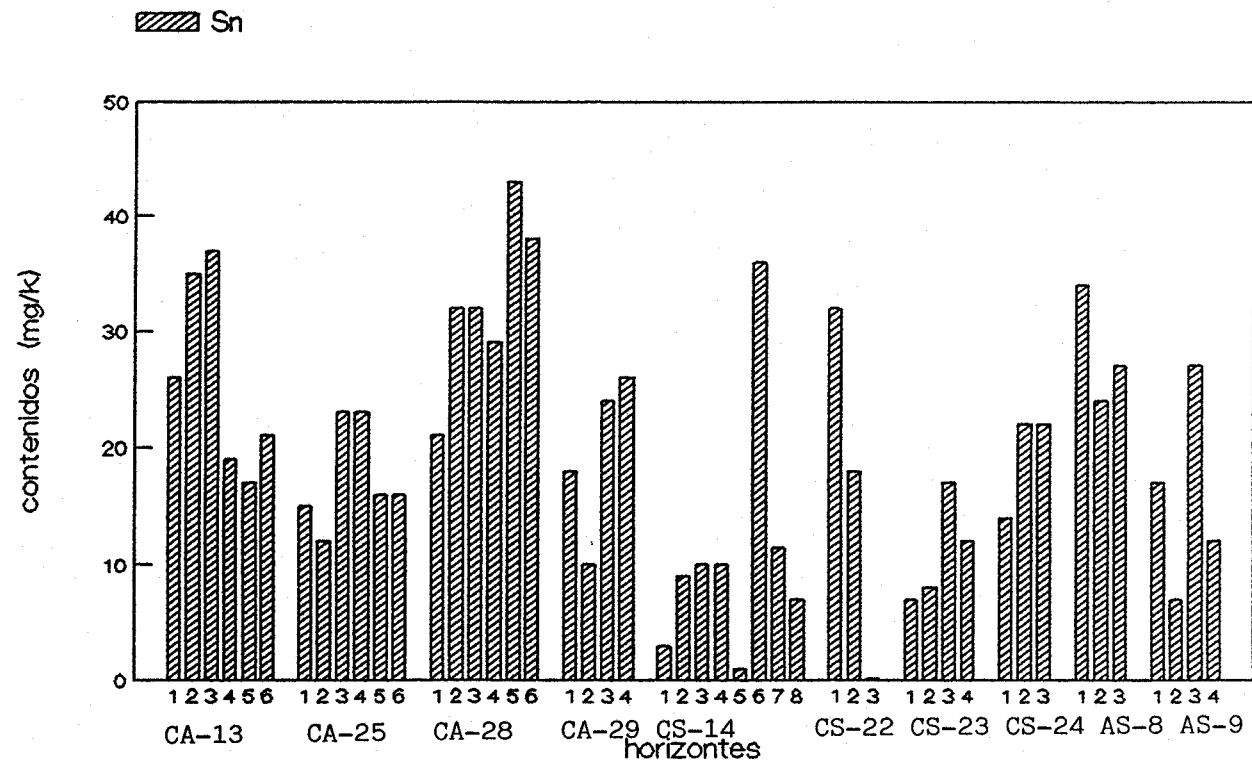


Fig. 43.c.- Histogramas de contenidos del Sn, en los perfiles arenosos y sedimentos arcillo-arenosos.

de significación alta y negativa, siendo únicamente positiva con el %MgO (a nivel del 95% de significación), siendo posiblemente su correlación negativa con la fracción limo lo que explique más claramente la distribución en los diferentes horizontes de los perfiles de este grupo.

El Cd no presenta valores en estos suelos que hagan posible su detección, según los métodos analíticos utilizados en este estudio.

TABLA. VIII-2.- MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS PARAMETROS ANALIZADOS EN PERFILES DE SUELOS ARENOSOS Y SEDIMENTOS ARCILLO-ARENOSOS.

	Valores de r para 47 casos																										NIVELES DE SIGNIFICACION			
	Mn	Zn	Cu	Ni	Co	Cd	Pb	Cr	Zr	Y	Sr	Rb	Ba	La	Ga	Sn	Nb	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O					
Zn	0.182																											0,243-0,287	0,05 < P < 0,1 (90%)	
Cu	0.331	0.393																											0,287-0,372	0,01 < P < 0,05 (95%)
Ni	0.069	0.660	0.594																										0,372-0,465	0,05 < P < 0,01 (99%)
Co	0.083	0.757	0.604	0.937																									0,465-1,000	P < 0,001 (99,9%)
Cd	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000																									
Pb	0.041	0.610	0.250	0.465	0.497	0.000																								
Cr	0.059	0.640	0.578	0.895	0.859	0.000	0.376																							
Zr	0.381	0.195	-0.138	-0.137	-0.070	0.000	0.334	-0.121																						
Y	-0.199	0.297	-0.133	0.341	0.303	0.000	0.266	0.335	0.067																					
Sr	0.275	0.600	0.046	0.273	0.350	0.000	0.525	0.310	0.629	0.305																				
Rb	0.057	0.302	0.158	0.459	0.479	0.000	0.366	0.429	0.178	0.295	0.522																			
Ba	0.198	0.618	0.093	0.363	0.480	0.000	0.554	0.235	0.539	0.293	0.653	0.545																		
La	-0.054	0.367	0.134	0.478	0.431	0.000	0.388	0.397	0.171	0.458	0.281	0.363	0.528																	
Ga	-0.062	0.685	0.408	0.814	0.826	0.000	0.600	0.756	0.027	0.428	0.446	0.558	0.573	0.526																
Sn	-0.222	-0.220	-0.003	-0.068	-0.097	0.000	-0.215	-0.025	-0.513	0.022	-0.297	-0.143	-0.358	0.017	-0.080															
Nb	0.186	0.233	0.268	0.229	0.257	0.000	0.169	0.165	0.018	0.201	0.206	0.398	0.402	0.407	0.297	0.022														
SiO <sub>2</sub>	-0.124	-0.803	-0.489	-0.875	-0.889	0.000	-0.655	-0.858	-0.105	-0.434	-0.547	-0.544	-0.508	-0.459	-0.844	0.201	-0.329													
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.055	0.715	0.448	0.914	0.908	0.000	0.586	0.881	0.015	0.477	0.464	0.569	0.491	0.512	0.903	-0.115	0.253	-0.932												
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.046	0.533	0.591	0.849	0.793	0.000	0.413	0.813	-0.212	0.427	0.116	0.269	0.161	0.343	0.697	-0.033	0.255	-0.809	0.779											
TiO <sub>2</sub>	0.329	0.212	-0.048	-0.198	-0.122	0.000	0.266	-0.155	0.335	-0.107	0.347	-0.093	0.011	-0.200	-0.091	-0.183	-0.127	-0.017	-0.092	-0.096										
MgO	0.007	0.846	0.196	0.640	0.712	0.000	0.563	0.674	0.296	0.441	0.732	0.530	0.699	0.507	0.765	-0.311	0.251	-0.810	0.789	0.459	0.022									
CaO	0.176	0.237	-0.080	0.040	0.056	0.000	0.268	0.012	0.324	-0.016	0.445	0.112	0.168	-0.040	-0.016	-0.226	0.059	-0.249	0.038	-0.038	0.033	0.307								
Na <sub>2</sub> O	0.252	0.533	-0.027	0.172	0.245	0.000	0.404	0.310	0.581	0.272	0.846	0.371	0.528	0.316	0.261	-0.257	0.142	-0.414	0.318	0.053	0.232	0.671	0.303							
K <sub>2</sub> O	0.023	0.693	0.200	0.537	0.654	0.000	0.527	0.445	0.295	0.339	0.702	0.587	0.820	0.562	0.660	-0.121	0.397	-0.648	0.666	0.298	-0.025	0.799	0.128	0.618						
A.G.	-0.125	-0.520	-0.151	-0.403	-0.489	0.000	-0.525	-0.413	-0.631	-0.341	-0.743	-0.613	-0.781	-0.492	-0.597	0.369	-0.268	0.589	-0.590	-0.253	0.031	-0.721	-0.222	-0.661	0.096					
A.F.	0.161	-0.071	0.015	-0.048	-0.002	0.000	0.055	0.035	0.472	0.076	0.397	0.499	0.437	0.305	0.101	-0.144	0.259	-0.054	0.091	-0.134	-0.116	0.174	-0.121	0.438	-0.317					
L.	0.249	0.351	-0.105	0.013	0.094	0.000	0.345	0.001	0.711	0.118	0.514	0.027	0.388	0.132	0.072	-0.384	-0.048	-0.229	0.093	-0.071	0.210	0.386	0.664	0.463	-0.253					
A.	-0.118	0.784	0.293	0.745	0.790	0.000	0.635	0.678	0.160	0.440	0.546	0.453	0.625	0.413	0.879	-0.267	0.186	-0.833	0.866	0.633	-0.034	0.835	0.157	0.382	0.335					
M.O.	0.510	0.280	0.015	-0.186	-0.086	0.000	0.360	-0.152	0.582	-0.049	0.393	0.072	0.340	0.040	-0.105	-0.348	0.153	-0.128	-0.108	-0.167	0.419	0.125	0.233	0.410	-0.724					
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0.138	0.189	0.046	0.123	0.115	0.000	0.202	0.110	0.141	-0.067	0.337	0.081	0.055	-0.115	0.014	-0.129	0.062	-0.271	0.082	0.055	-0.107	0.258	0.948	0.198	0.202					
pH(a)	0.069	-0.337	-0.351	-0.397	-0.389	0.000	-0.138	-0.434	0.328	-0.182	-0.073	-0.148	-0.092	-0.117	-0.412	-0.087	0.088	0.328	-0.416	-0.277	-0.019	-0.267	0.379	-0.053	0.119					
pH(s)	0.029	-0.349	-0.289	-0.317	-0.315	0.000	-0.156	-0.365	0.256	-0.154	-0.106	-0.000	-0.096	-0.051	-0.364	-0.065	0.087	0.274	-0.357	-0.229	-0.130	-0.250	0.364	-0.074	0.000					
C.C.	0.300	0.496	0.057	0.163	0.250	0.000	0.250	0.328	0.531	0.212	0.595	0.324	0.438	0.260	0.246	-0.386	0.223	-0.416	0.298	0.096	0.199	0.590	0.308	0.631	0.667					
Q	0.034	-0.709	-0.343	-0.794	-0.830	0.000	-0.568	-0.812	-0.133	-0.552	-0.583	-0.622	-0.578	-0.479	-0.840	0.186	-0.277	0.908	-0.923	-0.666	0.086	-0.833	-0.154	-0.460	0.134					
F	0.454	0.108	-0.137	-0.257	-0.234	0.000	0.080	-0.163	0.535	0.061	0.524	0.216	0.244	0.061	-0.236	-0.193	0.224	0.032	-0.175	-0.262	0.368	0.109	0.168	0.636	0.075					
Ca	0.102	0.191	-0.061	0.056	0.058	0.000	0.231	0.021	0.242	-0.043	0.394	0.092	0.111	-0.076	-0.009	-0.149	0.054	-0.237	0.049	-0.043	-0.050	0.269	0.977	0.231	0.239					
D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.722				
filo.	-0.127	0.661	0.375	0.830	0.862	0.000	0.521	0.836	0.003	0.542	0.434	0.566	0.515	0.472	0.878	-0.130	0.226	-0.879	0.943	0.717	-0.147	0.772	-0.000	0.312	0.367					
Fe(o)	0.111	0.181	0.506	0.494	0.455	0.000	-0.032	0.733	-0.211	0.096	0.106	0.343	-0.069	0.254	0.350	0.093	0.099	-0.453	0.466	0.511	-0.129	0.333	-0.114	0.194	0.208					
Fe(d)	0.095	0.319	0.654	0.757	0.661	0.000	0.277	0.674	-0.340	0.224	-0.141	0.091	-0.051	0.229	0.505	0.084	0.176	-0.610	0.578	0.929	-0.157	0.157	-0.110	-0.175	0.709					
Al(o)	0.061	0.311	0.356	0.549	0.527	0.000	0.066	0.806	-0.096	0.247	0.216	0.445	0.055	0.246	0.505	0.052	0.108	-0.585	0.605	0.552	-0.168	0.486	-0.107	0.289	0.127					

TABLA. VIII-2 (cont.)- MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS  
PARAMETROS ANALIZADOS EN PERFILES DE SUELOS ARENOSOS Y  
SEDIMENTOS ARCILLO-ARENOSOS.

														Valores de r para 47 casos	NIVELES DE SIGNIFICACION			
A.F.	-0.677														0,243-0,287	0,05 < P < 0,1 (90%)		
L.	-0.503	0.035													0,287-0,372	0,01 < P < 0,05 (95%)		
A.	-0.656	-0.010	0.267												0,372-0,465	0,05 < P < 0,01 (99%)		
M.O.	-0.244	0.205	0.417	-0.047											0,465-1,000	P < 0,001 (99,9%)		
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.129	-0.180	0.521	0.148	0.072													
pH(a)	0.054	0.041	0.355	-0.344	0.101	0.268												
pH(s)	0.068	0.040	0.304	-0.338	0.072	0.286	0.912											
C.C.	-0.516	0.345	0.466	0.252	0.531	0.204	0.071	0.081										
Q	0.680	-0.213	-0.170	-0.843	0.010	-0.178	0.376	0.327	-0.387									
F	-0.309	0.449	0.244	-0.142	0.509	0.051	0.159	0.145	0.419	-0.003								
Ca	-0.161	-0.158	0.583	0.145	0.156	0.971	0.346	0.344	0.229	-0.159	0.099							
D	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000						
filo.	-0.598	0.148	0.052	0.845	-0.122	0.046	-0.447	-0.395	0.278	-0.973	-0.193	0.014	0.000					
Fe(o)	-0.172	0.211	-0.222	0.181	-0.169	-0.002	-0.358	-0.295	0.289	-0.434	-0.066	-0.112	0.000	0.458				
Fe(d)	-0.018	-0.236	-0.181	0.402	-0.227	0.025	-0.235	-0.172	-0.125	-0.408	-0.358	-0.097	0.000	0.486	0.440			
Al(o)	-0.326	0.248	-0.129	0.355	-0.107	-0.010	-0.286	-0.208	0.356	-0.612	-0.017	-0.088	0.000	0.623	0.871	0.396		
	A.G.	A.F.	L.	A.	M.O.	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH(a)	pH(s)	C.C.	Q	F	Ca	D	filo.	Fe(o)	Fe(d)		

**III.1.3. SUELOS DESARROLLADOS SOBRE CALIZAS Y MARGAS.**

### III.1.3. SUELOS DESARROLLADOS SOBRE CALIZAS Y MARGAS

Corresponden a este grupo 15 muestras de suelos distribuidas en 5 perfiles clasificados según: CM-18 (Chromoxerert éntico), CM-20 (Xerochrept vértico), CM-21 (Xerochrept cálcico vértico), CC-26 (Rendollic xerorthent) y CC-27 (Lithic haploxeralf). Este último con características diferentes al resto que serán comentadas a lo largo de la discusión.

Todos los perfiles de este grupo pertenecen a la zona de la campiña, cercanos entre sí (figura 8) lo que puede dar idea de la amplia variedad de suelos en esta comarca.

En las tablas I y II con las extensiones desde 15 a 19 se presentan los datos físico-químicos generales de estos perfiles. Se caracterizan por un pH (en agua) entre 7,7 y 8,2. Esto si no se tiene en cuenta el suelo sobre caliza dura que al carecer de carbonatos es algo inferior, 6,7 y 7,3 en sus dos horizontes, como se puede ver en la tabla I-19.

El valor del pH aumenta con mayores contenidos en carbonatos, aunque no existe una relación totalmente directa a partir de un cierto contenido calcáreo. Aumenta muy ligeramente e incluso con valores más altos de

carbonatos llega a decrecer algo el pH. Según CALLOT et al. (1978) se puede explicar en función de la granulometría, las partículas de granos más finos, proporcionan valores más elevados de pH y viceversa. En el perfil CM-21 a pesar del aumento en el porcentaje de carbonatos desde 5,5% en Ap hasta 38,6% en el horizonte C<sub>k</sub>, el pH prácticamente no varía, a la vez que disminuye el porcentaje de arcilla desde 38% para el horizonte superficial hasta 34% en el horizonte C<sub>k</sub>, implicando que el posible aumento por los carbonatos queda frenado por la disminución de la fracción más fina.

La materia orgánica tiene valores bajos en todos los perfiles, llegando al 2% tan sólo en el perfil CC-27 (sobre caliza dura) y en su horizonte superficial, correspondiendo los más bajos a las margas (CM-18 y CM-21).

A excepción del perfil CC-27, en el que no se aprecia en los horizontes de suelo el carácter calcáreo, los contenidos en carbonatos varían aumentando con la profundidad y sobre todo en los perfiles CM-20 y CM-21, con valores de 53,7% y 38,6% respectivamente. Esto ha supuesto un intenso lavado hacia los horizontes C<sub>k</sub> que incide de forma importante en los perfiles, como se verá más adelante.

La capacidad de cambio (tabla III-3), presenta



TABLA. I-15

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CM-18.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
Ap	0-20	0.05	7.60	3.38	25.50	7.91		6.79
AC	20-50	0.04	4.25	2.78	26.60	8.24		7.07
C	50-	0.04	5.00	2.60	29.50	8.27		7.21

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-16

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CM-20.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
Ap	0-25	0.05	18.40	4.91	4.90	7.80		6.59
Bw	25-70	-	-	5.12	5.50	7.87		6.66
BC	70-140	-	-	5.23	10.00	7.91		6.76
Ck	140-	-	-	3.50	53.70	7.92		7.02

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-17

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CM-21.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
Ap	0-25	0.06	10.33	2.69	5.50	7.94		6.87
B	25-50	0.05	6.40	3.22	6.40	8.00		6.84
Ck	50-80	0.01	17.00	2.03	38.60	8.03		6.88
C2	80-	0.01	9.00	1.65	27.80	8.14		6.89

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-18

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CC-26.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO3 %	H2O	pH	KCl
Ap	0-20	0.08	14.30	3.90	32.24	7.80		7.10
CA/C	20-	0.03	8.00	2.50	34.16	7.70		6.95

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. I-19

VALORES DE NITROGENO, HUMEDAD, CARBONATOS Y pH DEL PERFIL CC-27.

Horiz.	Profund. (cm.)	N %	C/N	H %	CaCO <sub>3</sub> %	H <sub>2</sub> O	pH	KCl
Ap	0-15	0.07	17.00	1.94	0.00	7.30		6.60
B	15-50	0.09	7.40	2.70	0.00	6.75		5.95

C/N = relación carbono nitrógeno

TABLA. II-15

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CM-18 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
Ap	0-20	1.00	35.20	25.50	35.50	0.66	0.38
AC	20-50	2.00	36.50	25.50	33.50	0.29	0.17
C	50-	0.50	37.80	27.00	33.00	0.35	0.20

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-16

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CM-20 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
Ap	0-25	3.60	17.50	19.50	55.50	1.58	0.92
Bw	25-70	3.10	16.90	25.00	53.00	1.13	0.66
BC	70-140	3.50	12.30	34.50	48.00	0.85	0.49
Ck	140-	0.50	9.80	46.00	40.00	0.42	0.24

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-17

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CM-21 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
Ap	0-25	14.50	35.00	10.50	38.00	1.06	0.62
B	25-50	10.50	30.80	23.00	34.00	0.56	0.32
Ck	50-80	2.20	29.00	31.00	34.00	0.30	0.17
C2	80-	1.00	43.40	22.00	31.50	0.15	0.09

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-18

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CC-26 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
Ap	0-20	6.37	33.20	26.41	34.02	1.98	1.15
CA/C	20-	5.32	32.07	28.19	34.42	0.41	0.24

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. II-19

DISTRIBUCION DE TAMAÑO DE PARTICULA Y COMPOSICION ORGANICA DEL SUELO DEL PERFIL CC-27 (los valores se expresan en porcentajes).

Horiz.	Profund. (cm.)	----- textura -----				M.O.	C
		A.G.	A.F.	L.	A.		
Ap	0-15	30.66	29.54	14.31	25.48	2.07	1.20
B	15-50	30.82	32.23	12.75	24.20	1.32	0.67

A.G.=arena gruesa; A.F.=arena fina; L.=limo; A.=arcilla;  
M.O.=materia orgánica

TABLA. III-3

CAPACIDAD DE CAMBIO DE LOS PERFILES DE SUELO SOBRE CALIZAS Y MARGAS. (C.mol(+)/Kg)

Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.	Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.
Perfil CM-18			Perfil CM-20		
Ap	0-20	16.10	Ap	0-25	48.75
AC	20-50	10.50	BW	25-70	37.75
C	50-	14.00	BC	70-140	39.75
			Ck	140-	21.00
Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.	Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.
Perfil CM-21			Perfil CC-26		
Ap	0-25	20.00	Ap	0-20	10.13
B	25-50	16.50	CA/C	20-	11.99
Ck	50-80	16.25			
C2	80-	14.25			
Horiz.	Profund. (cm.)	C.C.			
Perfil CC-27					
Ap	0-15	10.66			
B	15-50	9.59			

valores destacados en el perfil CM-20, coincidiendo con un mayor porcentaje de arcillas y por tanto menores en las fracciones más gruesas. Estos valores suponen alrededor del 25% para el perfil CC-27 y hasta 55,5% en el CM-20 de la proporción de arcilla, siendo la arena gruesa la fracción minoritaria de la textura y, sobre todo, para el perfil CM-18, que se puede considerar prácticamente inexistente. La fracción limo tiene un valor promedio del 25% aproximadamente variando de forma inversa a la arena fina.

La tabla IV-3, presenta los valores de la estimación semicuantitativa de los minerales, realizada a partir de los diagramas de rayos X correspondientes (figuras 44,45, 46,47 y 48) siendo, prácticamente, los minerales filíticos los predominantes, alcanzando valores del 84% en el horizonte Ap del perfil CM-20, acorde con una mayor proporción de arcillas respecto del resto de las muestras del grupo.

Hay que anotar la presencia muy acusada de calcita en los dos horizontes del perfil CC-26, de acuerdo con los porcentajes de CaO cercanos al 25%. Los contenidos en feldespatos son menores del 5% en casi todos los perfiles, siendo en el caso del cuarzo algo más del doble y mucho más altos para el perfil sobre caliza dura. Puede observarse en la figura 48 que este perfil no presenta la difracción características de  $3,03 \text{ \AA}$  correspondiente a la

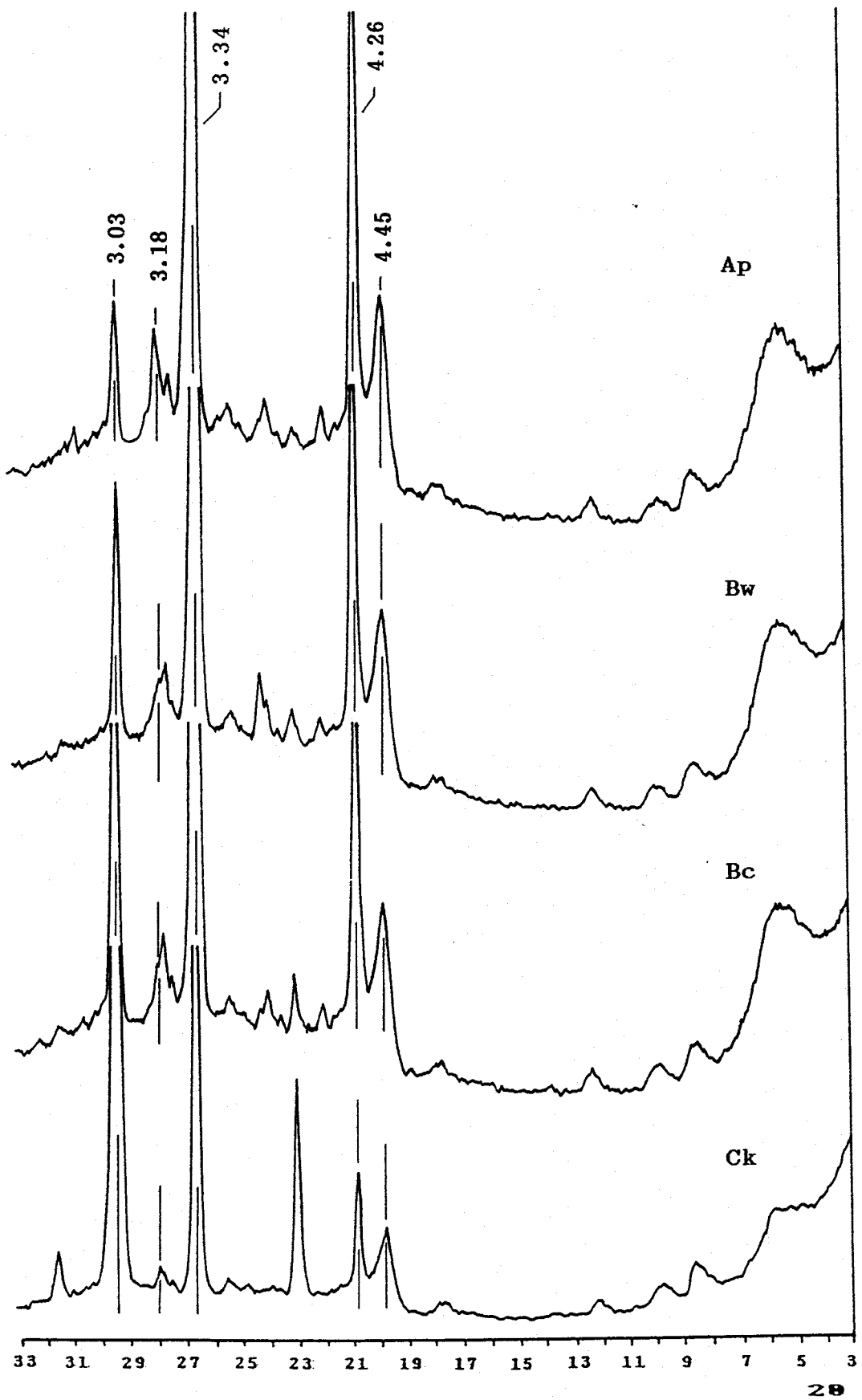


Fig. 44 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CM-20



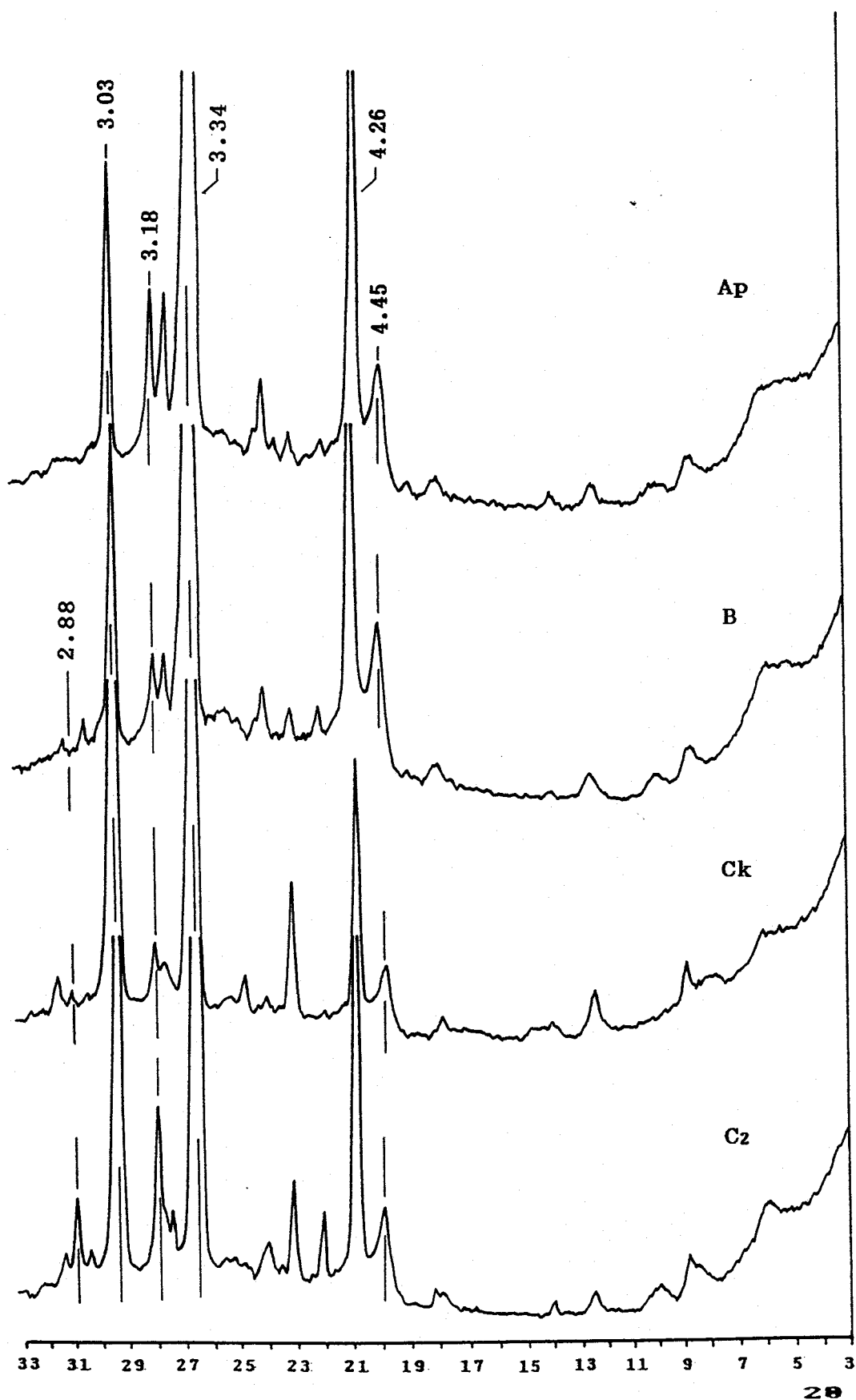


Fig. 45 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CM-21

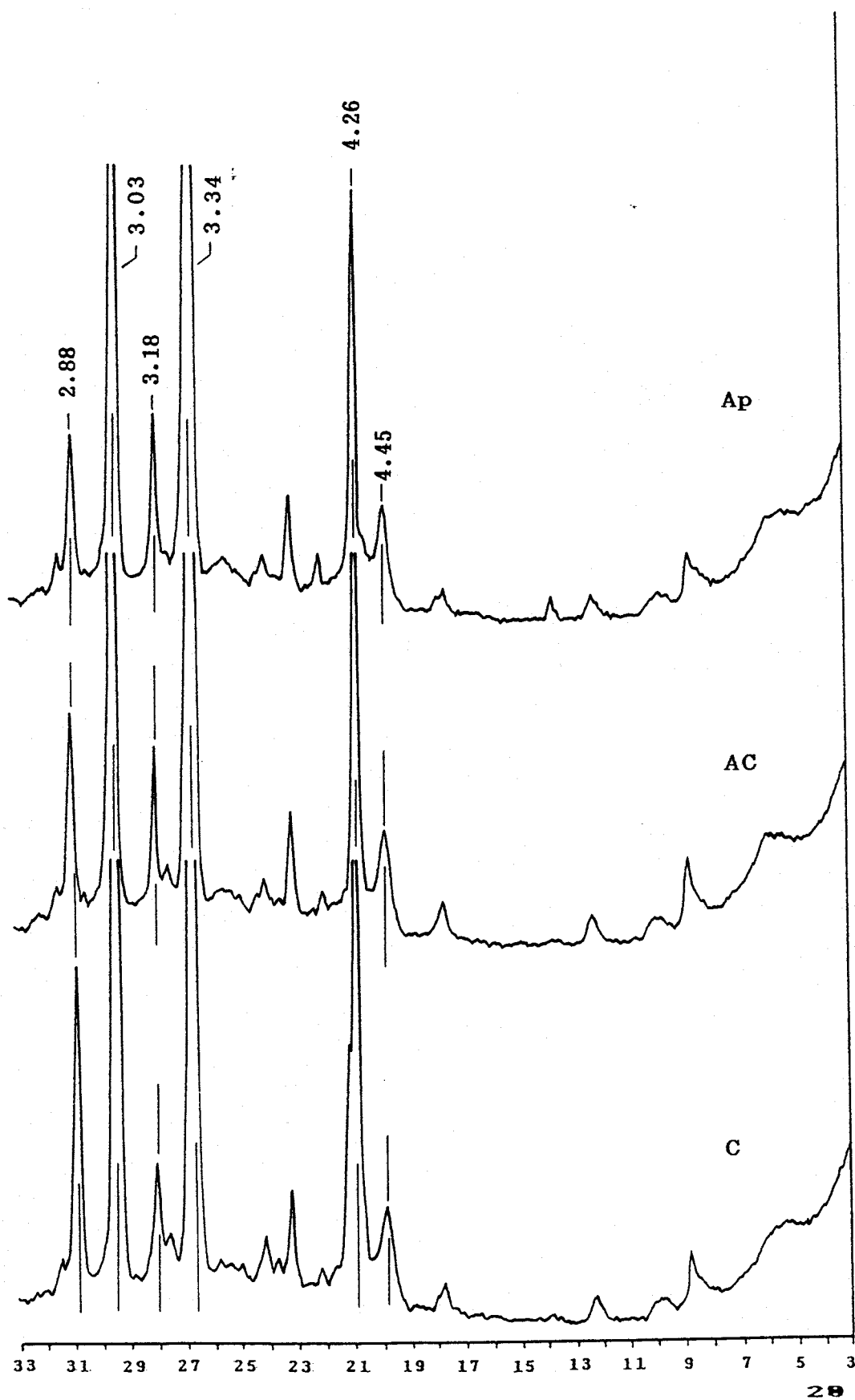


Fig. 46 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CM-18

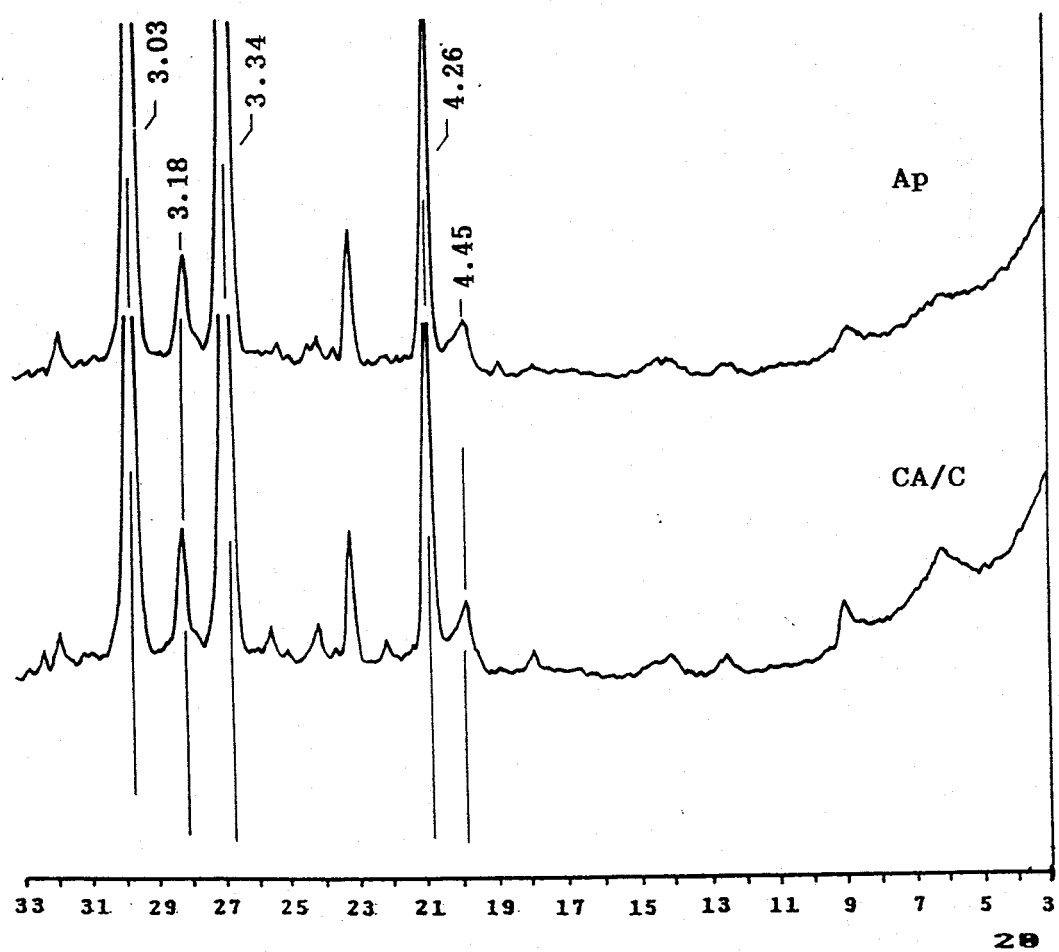


Fig. 47.- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CC-27

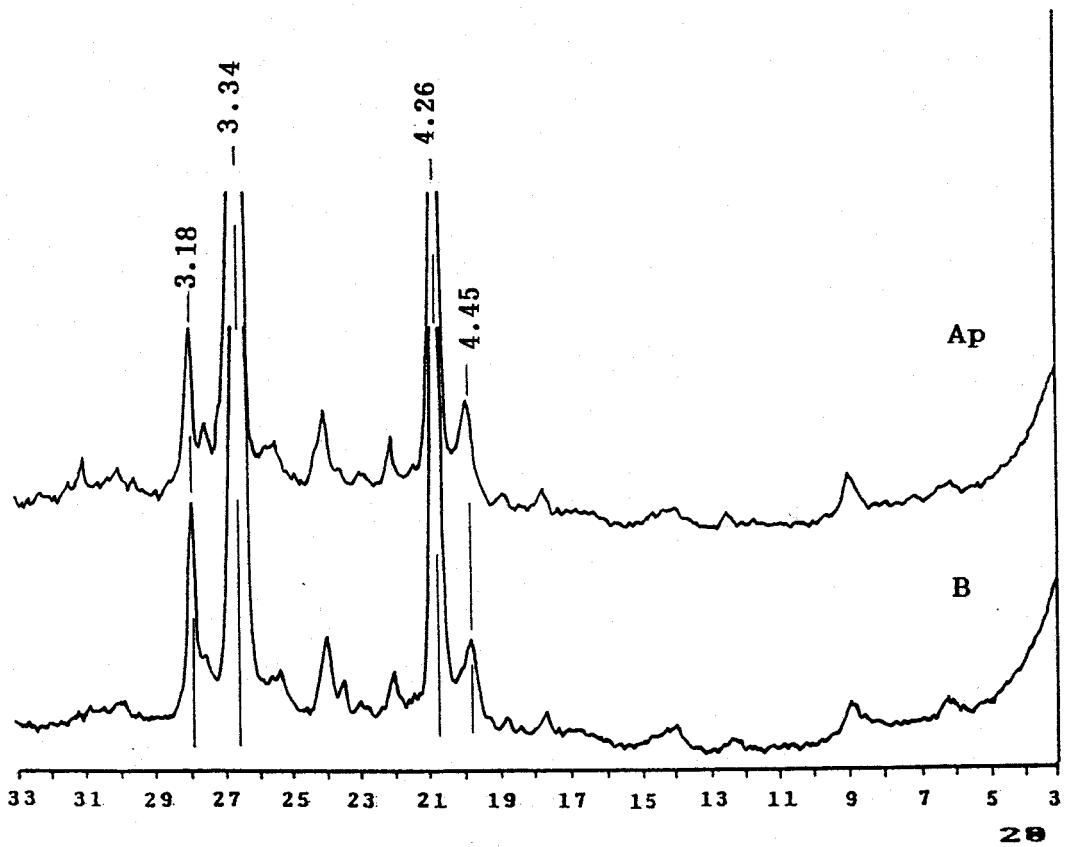


Fig. 48 .- Diagramas de difracción de rayos X de los distintos horizontes del perfil CC-26.

TABLA. IV-3

COMPOSICION MINERALOGICA SEMICUANTITATIVA DE PERFILES SOBRE CALIZAS Y MARGAS. (%).

Perfil	Horiz.	Profun. (cm.)	CUARZO	FELDES.	CALC.	DOLOMI.	FILOS.
CM-20	Ap	0-25	11	<5	<5	--	84
	Bw	25-70	10	<5	<5	--	86
	Bc	70-140	9	<5	<5	--	87
	Ck	140-	<5	<5	37	--	58
CM-21	Ap	0-25	12	<5	6	--	79
	B	25-50	16	<5	6	--	76
	Ck	50-80	10	<5	37	<5	49
	C2	80-	16	5	25	<5	51
CM-18	Ap	0-20	10	<5	16	<5	66
	Ac	20-50	13	<5	17	5	62
	C	50-	15	<5	17	7	58
CC-26	Ap	0-20	17	<5	43	--	36
	CA/C	20-	12	<5	55	--	30
CC-27	Ap	0-15	28	5	--	--	67
	B	15-50	32	5	--	--	63

calcita como era de esperar.

Se ha detectado también la presencia de dolomita en los perfiles CM-18 y CM-21, ambos cercanos a la mancha dolomítica centrada en la zona de Niebla, que junto a la existente en el lentejón de Sta. Olalla son las dos representaciones de este mineral en la provincia de Huelva. Los perfiles aquí tratados no superan el 7% en la estimación de ese mineral, aumentando ligeramente con la profundidad y acompañada de un aumento en Mg.

En cuanto a los valores de óxidos de Fe y Al extraídos en la oscuridad y CBD (tabla V-3), caben destacar los correspondientes al perfil CC-27, superiores al resto, propio de estos suelos policíclicos que poseen caracteres heredados (DUCHAUFOR y SOUCHIER, 1984). Así como la razón Fe (d/t) que refleja el alto grado de alteración de los minerales primarios y secundarios, siendo también el resultado de acumulación de sesquióxidos (JIMENEZ BALLESTA et al., 1989), y con mayor posibilidad en este caso dado su pH más bajo. También será alto el valor Fe(d-0) (hierro cristalino a los rayos X), lo que induce a pensar en una alteración mayor de los horizontes en este perfil. El valor de Fe (o/d) es mayor que en el resto de los perfiles, dado como razón de actividad por BLUME y SCHWERTMANN (1969) y utilizado como indicador relativo de envejecimiento.

Se puede razonar, entonces, que al valor de 0,64 y 0,63 para el índice Fe(d/t) es indicativo de un cierto envejecimiento (PEREZ RODRIGUEZ et al. 1990) (MAQUEDA y PEREZ RODRIGUEZ, en prensa).

De la matriz de correlación establecida a partir de los valores de las muestras de este grupo (tabla VIII-3) y, según los distintos factores analizados, se puede destacar lo siguiente: la arena gruesa se correlaciona con SiO<sub>2</sub> de forma positiva y a nivel del 99,9%, siendo negativa al mismo nivel con el pH. También se establece con los óxidos extraídos de hierro y aluminio, debido probablemente a una concentración de ambos elementos en la fracción anterior.

La fracción más gruesa se correlaciona también positivamente con ilita y caolinita, negativamente con esmectita. Esto puede explicarse, excluyendo el perfil CC-27, al ser fundamentalmente esmectíticos. La correlación positiva de la arena gruesa con Mn (P<0.001) confirma su acumulación en los horizontes superficiales con mayor abundancia de esta fracción.

De otra parte y como era de esperar, los carbonatos se correlacionan positivamente con la calcita y el porcentaje de CaO, también la dolomita con MgO.

TABLA. V-3

OXIDOS DE HIERRO Y ALUMINIO LIBRES EXTRAIDOS EN LOS PERFILES DE SUELOS SOBRE CALIZAS Y MARGAS.

Perfil	Horiz.	Profun. (cm.)	Fe(o) %	Al(o) %	Fe(d) %
CM-18	Ap	0-20	0.08	0.07	1.27
	AC	20-50	0.07	0.05	1.45
	C	50-	0.06	0.02	1.73
CM-20	Ap	0-25	0.16	0.35	0.97
	Bw	25-70	0.14	0.32	0.89
	BC	70-140	0.12	0.32	0.97
	Ck	140-	0.03	0.14	0.57
CM-21	Ap	0-25	0.07	0.15	0.91
	B	25-50	0.07	0.12	1.09
	C1k	50-80	0.03	0.06	0.90
	C2	80-	0.04	0.07	1.07
CC-26	Ap	0-20	0.10	0.14	0.78
	CA/C	20-	0.07	0.09	0.71
CC-27	Ap	0-15	0.80	0.44	2.66
	B	15-50	0.77	0.41	2.42

Fe(o), Al(o)=hierro y aluminio extraído por el método de la oscuridad.

Fe(d)=hierro extraído con citrato-ditionito-bicarbon.



Los resultados del análisis químico para los distintos elementos mayoritarios y minoritarios se presentan en las tablas VI y VII con las extensiones 15 a 19. Destacan los bajos valores de  $\text{SiO}_2$  como corresponde a perfiles fundamentalmente calizos (56,61% de valor medio), siendo el más alto de 79,7% para el suelo sobre la caliza dura (tabla VI-19) y el más bajo de 26,7% (perfil CM-20) (tabla VI-16), siendo este mismo perfil el que presenta contenidos muy altos de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , desde 13,68% en su horizonte superficial a 8,39% para el de mayor profundidad, con una amplia diferencia respecto al contenido en  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (figura 49 b). Esta diferencia comentada anteriormente en otro grupo se amplía a medida que aumenta el carácter básico del perfil, ya que ambos elementos se hacen insolubles a pH neutro o ligeramente básico, aunque no se debe buscar una relación lineal con el pH como de hecho no ocurre en los distintos suelos estudiados.

Se observa, por los datos obtenidos, una disminución del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hacia los horizontes más profundos, excepto en los perfiles CM-18 y CM-21 según la figura 49, siendo estos los dos únicos suelos en los que se ha detectado la presencia de dolomita con aumento de este mineral hacia los horizontes inferiores (tabla VI-15 y VI-17).

et al. (1982) y M'RABET (1981), entre otros, encuentran distintos valores para el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  en diferentes materiales de naturaleza calcárea, pero suelen coincidir todos ellos en los valores superiores de hierro en dolomías con respecto a las calizas. También HEWETT (1928) afirma que las dolomías asociadas a mineralizaciones Pb-Zn son típicamente más ricas en hierro que la caliza original y, en cualquier caso, estos elementos entran en el sistema con el propio proceso de dolomitización. El  $\text{Fe}^{2+}$  ( $r=0,83 \text{ \AA}$ ) acompaña al  $\text{Mg}^{2+}$  ( $r=0,78 \text{ \AA}$ ) al cual puede y suele sustituir, siendo la diadoquia  $\text{Fe}^{2+}-\text{Mg}^{2+}$  en estructuras minerales, completa y continua.

Los contenidos en hierro para estos suelos sobre calizas y margas varían entre 2,39% y 5,11% (tabla XII), superiores a los encontrados por BARRAGAN LANDA (1973) para análogos materiales originales en suelos de Navarra, que no llegan a alcanzar el 3%, concentrándose con cierta diferencia en el horizonte iluvial (B). Esto ocurre también de forma general en nuestro estudio.

Se encuentran correlaciones negativas, muy significativas entre  $\% \text{Fe}_2\text{O}_3 - \% \text{CaO}$  y  $\% \text{Fe}_2\text{O}_3 - \% \text{Calcita}$  del mismo orden a los encontrados por BUSTILLO (1985). Algo menores ( $P < 0.05$ ) son las observadas para  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 - \% \text{CaO}$  y  $\% \text{Al}_2\text{O}_3 - \% \text{Calcita}$  (tabla VIII-3).

TABLA. VI-15

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CM-18 (%)			
	Ap	AC	C
SiO <sub>2</sub>	50.74	51.10	49.28
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9.45	9.11	8.86
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.59	3.67	4.01
TiO <sub>2</sub>	0.65	0.60	0.61
MgO	1.93	2.07	3.09
CaO	15.28	15.24	14.47
Na <sub>2</sub> O	0.46	0.43	0.43
K <sub>2</sub> O	1.37	1.30	1.28
PPC	16.33	16.53	17.46
TOTAL	99.80	100.05	99.49

TABLA. VII-15

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CM-18 (mg/K)				
	Ap	AC	C	V.medio
Mn	249.60	381.60	402.40	344.53
Zn	50.00	51.60	57.20	52.93
Cu	14.00	11.20	10.80	12.00
Ni	28.80	29.20	32.40	30.13
Co	12.00	10.80	12.00	11.60
Cd	n.d.	n.d.	n.d.	--
Pb	33.60	31.20	28.40	31.07
Cr	56.00	42.40	47.20	48.53
Zr	180.00	180.00	160.00	173.33
Y	23.00	22.00	21.00	22.00
Sr	220.00	240.00	210.00	223.33
Rb	61.00	62.00	34.00	52.33
Ba	240.00	46.00	250.00	178.67
La	23.00	18.00	19.00	20.00
Ga	14.00	14.00	14.00	14.00
Sn	n.d.	n.d.	n.d.	--
Nb	89.00	74.00	61.00	74.67

n.d. = no detectado

TABLA. VI-16

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CM-20 (%)				
	Ap	Bw	BC	Ck
SiO <sub>2</sub>	65.78	65.23	61.54	26.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.68	13.50	12.52	8.39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.11	4.82	4.70	2.66
TiO <sub>2</sub>	0.90	0.85	0.76	0.50
MgO	1.10	1.05	1.06	0.77
CaO	2.74	3.99	6.87	31.84
Na <sub>2</sub> O	0.38	0.32	0.32	0.30
K <sub>2</sub> O	1.30	1.20	1.16	0.77
PPC	8.26	9.08	10.79	27.72
TOTAL	99.25	100.04	99.72	99.65

TABLA. VII-16

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CM-20 (mg/K)					
	Ap	Bw	BC	Ck	V.medio
Mn	524.00	504.00	456.00	166.00	412.50
Zn	64.80	61.60	56.80	40.00	55.80
Cu	24.00	18.40	16.80	13.20	18.10
Ni	50.40	45.60	48.80	29.60	43.60
Co	28.40	26.00	23.60	13.20	22.80
Cd	tr.	tr.	tr.	2.40	0.60
Pb	39.20	28.80	33.60	36.80	34.60
Cr	99.20	88.00	94.00	52.80	83.50
Zr	280.00	260.00	250.00	93.00	220.75
Y	--	--	--	--	--
Sr	83.00	98.00	110.00	173.00	116.00
Rb	100.00	100.00	110.00	44.00	88.50
Ba	390.00	380.00	330.00	130.00	307.50
La	48.00	47.00	19.00	16.00	32.50
Ga	17.00	17.00	17.00	12.00	15.75
Sn	30.00	25.00	20.00	n.d.	18.75
Nb	74.00	80.00	71.00	100.00	81.25

n.d. = no detectado

TABLA. VI-17

ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CM-21 (%)				
	Ap	B	C1k	C2
SiO <sub>2</sub>	74.14	69.97	38.86	51.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.48	10.48	8.52	8.52
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.34	4.03	3.14	3.40
TiO <sub>2</sub>	0.57	0.64	0.56	0.63
MgO	0.83	0.95	1.19	1.33
CaO	3.70	4.28	25.02	16.95
Na <sub>2</sub> O	0.32	0.38	0.38	0.43
K <sub>2</sub> O	1.16	1.32	1.06	1.13
PPC	7.15	7.80	21.08	16.35
TOTAL	99.69	99.85	99.81	99.74

TABLA. VII-17

ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CM-21 (mg/K)					
	Ap	B	C1k	C2	V.medio
Mn	264.50	279.00	238.00	276.50	264.50
Zn	45.20	52.80	52.00	45.20	48.80
Cu	13.60	12.40	14.00	16.40	14.10
Ni	25.60	34.00	29.20	30.40	29.80
Co	10.40	16.40	12.00	12.00	12.70
Cd	n.d.	n.d.	tr.	tr.	--
Pb	50.40	25.60	34.40	29.20	34.90
Cr	61.60	74.80	54.00	67.20	64.40
Zr	240.00	200.00	130.00	240.00	202.50
Y	15.00	33.00	21.00	21.00	22.50
Sr	73.00	72.00	158.00	183.00	121.50
Rb	89.00	42.00	34.00	28.00	48.25
Ba	520.00	360.00	250.00	260.00	347.50
La	17.00	27.00	24.00	18.00	21.50
Ga	16.00	17.00	13.00	14.00	15.00
Sn	n.d.	7.00	n.d.	n.d.	1.75
Nb	65.00	64.00	61.00	67.00	64.25

n.d. = no detectado

TABLA. VI-18

## ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CC-26 (%)

	Ap	CA/C
SiO <sub>2</sub>	44.42	43.17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.58	6.93
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.39	2.59
TiO <sub>2</sub>	0.32	0.46
MgO	0.79	0.83
CaO	24.72	24.81
Na <sub>2</sub> O	0.39	0.45
K <sub>2</sub> O	1.06	1.21
PPC	19.73	18.87
TOTAL	99.40	99.32

TABLA. VII-18

## ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CC-26 (mg/K)

	Ap	CA/C	V.medio
Mn	248.00	252.00	250.00
Zn	57.20	48.40	52.80
Cu	54.00	35.20	44.60
Ni	20.80	22.40	21.60
Co	11.60	14.00	12.80
Cd	1.60	1.60	1.60
Pb	42.00	28.80	35.40
Cr	43.60	48.00	45.80
Zr	170.00	130.00	150.00
Y	15.00	18.00	16.50
Sr	183.00	201.00	192.00
Rb	31.00	50.00	40.50
Ba	200.00	170.00	185.00
La	13.00	18.00	15.00
Ga	12.00	13.00	12.50
Sn	24.00	43.00	33.50
Nb	46.00	100.00	73.00

TABLA. VI-19

## ELEMENTOS MAYORITARIOS DEL PERFIL CC-27 (%)

	Ap	B
SiO <sub>2</sub>	77.45	79.70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.42	8.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.17	3.85
TiO <sub>2</sub>	0.46	0.48
MgO	0.37	0.37
CaO	1.03	0.71
Na <sub>2</sub> O	0.34	0.36
K <sub>2</sub> O	1.39	1.31
PPC	5.17	4.02
TOTAL	98.80	99.03

TABLA. VII-19

## ELEMENTOS MINORITARIOS DEL PERFIL CC-27 (mg/K)

	Ap	B	V.medio
Mn	1632.00	1444.00	1538.00
Zn	50.40	48.80	49.60
Cu	16.80	16.00	16.40
Ni	24.00	22.00	23.00
Co	20.00	13.60	16.80
Cd	n.d.	n.d.	--
Pb	37.60	29.60	33.60
Cr	54.80	50.80	52.80
Zr	260.00	250.00	255.00
Y	28.00	36.00	32.00
Sr	51.00	27.00	39.00
Rb	40.00	33.00	36.50
Ba	270.00	350.00	310.00
La	26.00	31.00	28.50
Ga	12.00	14.00	13.00
Sn	28.00	32.00	30.00
Nb	35.00	75.00	55.00

n.d. = no detectado

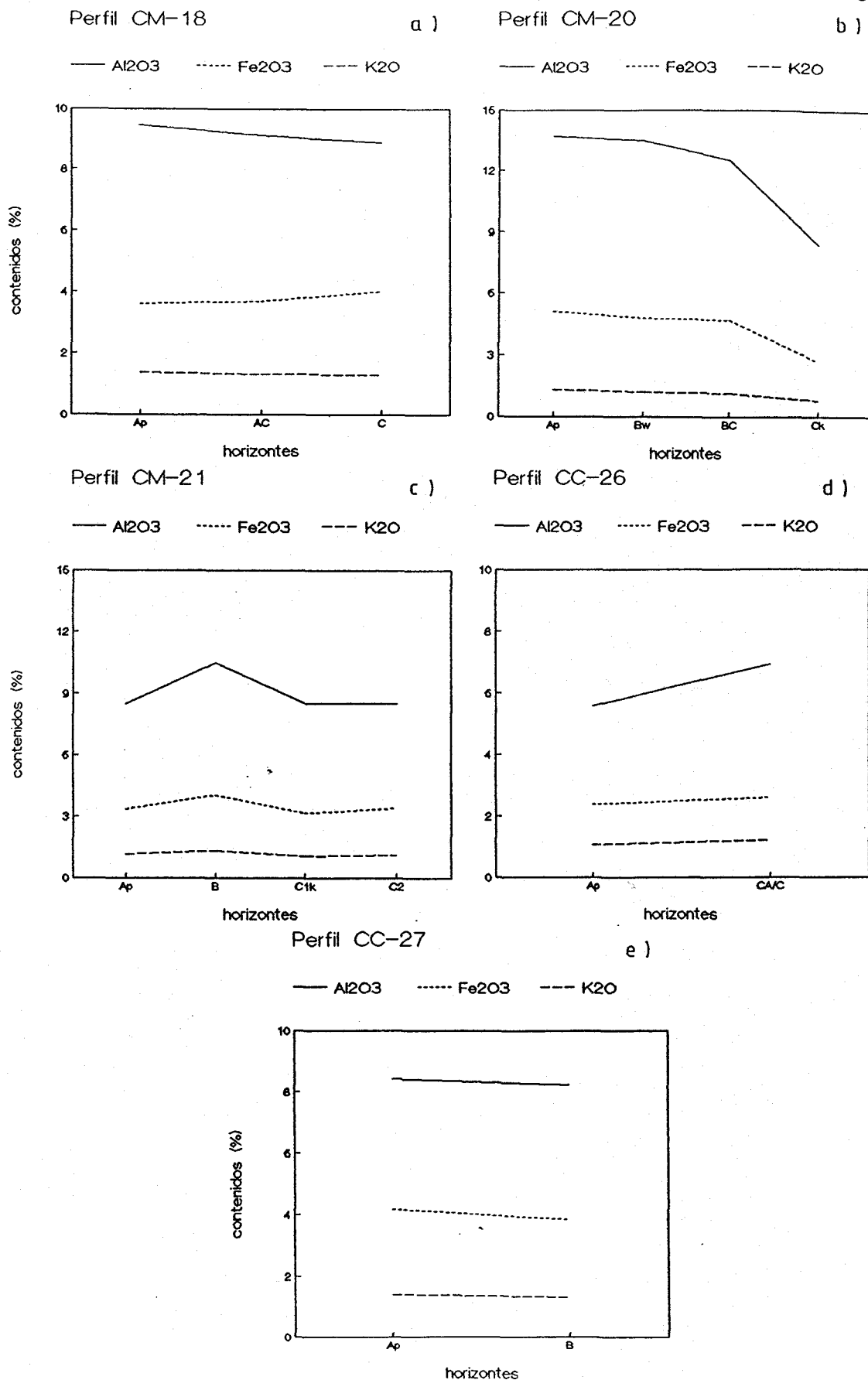


Fig. 49.- Valores de Fe, Al y K (expresados en óxidos) de los distintos horizontes en los perfiles de suelo sobre calizas y margas.



El  $TiO_2$  presenta un valor medio de 0,60%, con un rango entre 0,32% y 0,90% muy parecido al de la totalidad de suelos estudiados (tabla XII) y de acuerdo con AUBERT y PINTA (1977) se acumulan en el horizonte B. No obstante, se podría definir mejor su variación diciendo que sigue al  $\%Fe_2O_3$  en contenido, confirmado por el estudio estadístico realizado. Disminuyendo con la profundidad en el perfil CM-20 y acumulándose algo más en el horizonte arcilloso del CM-21. Para el resto es menos pronunciada su variación. Se correlaciona positivamente a nivel máximo con la arcilla, con  $Fe_2O_3$  y  $Al_2O_3$ , no lo hace con las otras fracciones más gruesas del suelo.

Los elementos Ga, La, Cr, Ni y Co pueden sustituir isomórficamente al Ti en sus minerales, sobre todo en la ilmenita, de ahí su significativa correlación con ellos.

Para el MgO se observa un aumento de forma análoga a la mayor proporción de dolomita existente en el perfil CM-18, con un valor máximo de 3,09%. La calcita es el mineral predominante que llega a tener el 55% en el perfil CC-26 (tabla IV-3), netamente calizo y concordante con los valores de CaO. Igualmente, en el perfil CM-20, destaca la acumulación de CaO en su horizonte más profundo, de acuerdo también con un gran aumento en el valor de la

calcita hacia el último horizonte y que a su vez genera una disminución, en este mismo horizonte, de minerales filíticos y con una disminución de elementos minoritarios a excepción de Sr y Cd. Estos elementos presentan correlaciones significativas con el %CaO (99,9% y 99%, respectivamente).

El elemento Cd se ha detectado tan sólo en algunos de los perfiles de este grupo y de forma casi exclusiva para los suelos de este estudio, lo que parece claramente vinculado al carácter calcáreo. ANDREU et al. (1988) obtienen esta misma vinculación en un estudio de suelos de la Sierra de Negrete (Valencia) con correlaciones altamente positivas y con valores en contenidos análogos a los aquí encontrados.

Los valores de alcalinos ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ) en este grupo de perfiles son bastante uniformes, con medias similares a la totalidad de suelos contemplados en este trabajo.

Según las figuras 50 y 51, en las que se representan los índices de variación de contenidos de los elementos minoritarios, además de Fe y Al, respecto al horizonte C. Hay un enriquecimiento casi general de los elementos en el perfil CM-20, esto coincide con valores claramente más altos en el contenido de arcilla y

filosilicatos causado, probablemente, por una descarbonatación de los horizontes superficiales.

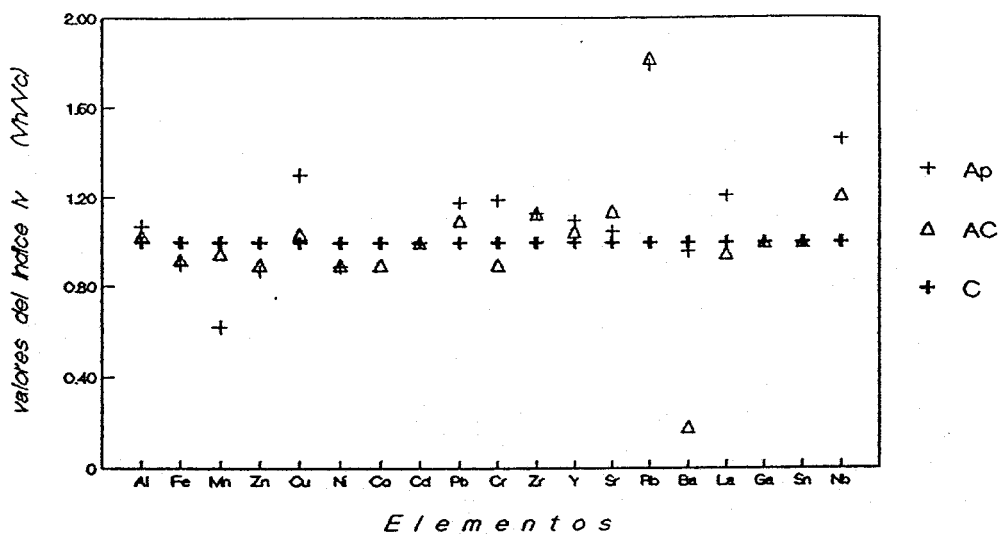
El Sr, normalmente vinculado a los carbonatos, está enriquecido en el horizonte C de los perfiles CM-20 y CM-21, con un empobrecimiento en el resto de los horizontes. En este mismo perfil CM-21 destacan también aquellos elementos que están vinculados a la fracción más gruesa, de acuerdo con una mayor abundancia en esta fracción (Rb y Sn son los más claros).

En el perfil CM-18 no se encuentra una definición precisa de variación en los elementos, tan sólo el Rb y Nb se enriquecen en todos los horizontes y en el caso del Ba en su horizonte intermedio, debido probablemente a un menor desarrollo del perfil.

Con respecto al último perfil representado CC-26 (figura 51) se detecta un claro aumento en los casos de Cu y Pb, ligados a una mayor proporción de la M.O. en el horizonte superficial, acusando un empobrecimiento en los elementos Rb, Ba, La, Sn y Nb. Aunque dada la pequeña profundidad del perfil no se pueden ligar estas variaciones a procesos edafológicos intensos, sino más bien a situaciones locales.

Los contenidos de los elementos minoritarios se representan en las figuras 52, 53 y 54. Podemos destacar en

## Perfil CM-18



## Perfil CM-20

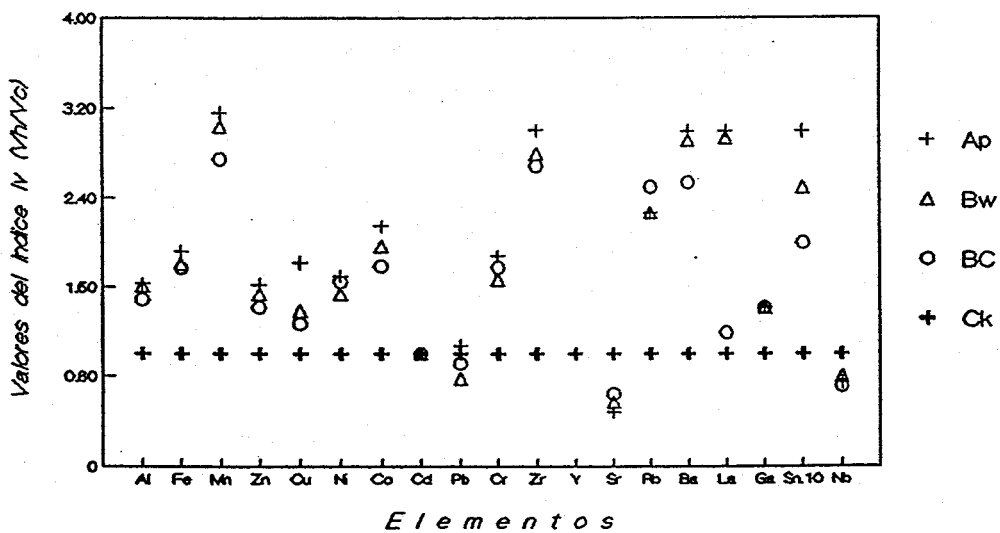
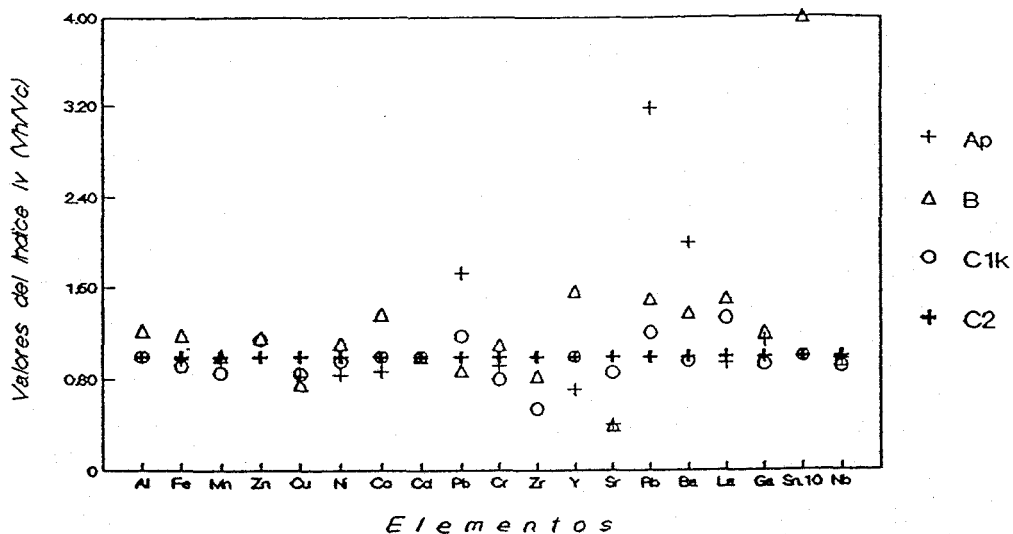


Fig. 50.- Representación de los índices de variación para Fe, Al y elementos minoritarios de los perfiles CM-18 y CM-20.

Perfil CM-21



Perfil CC-26

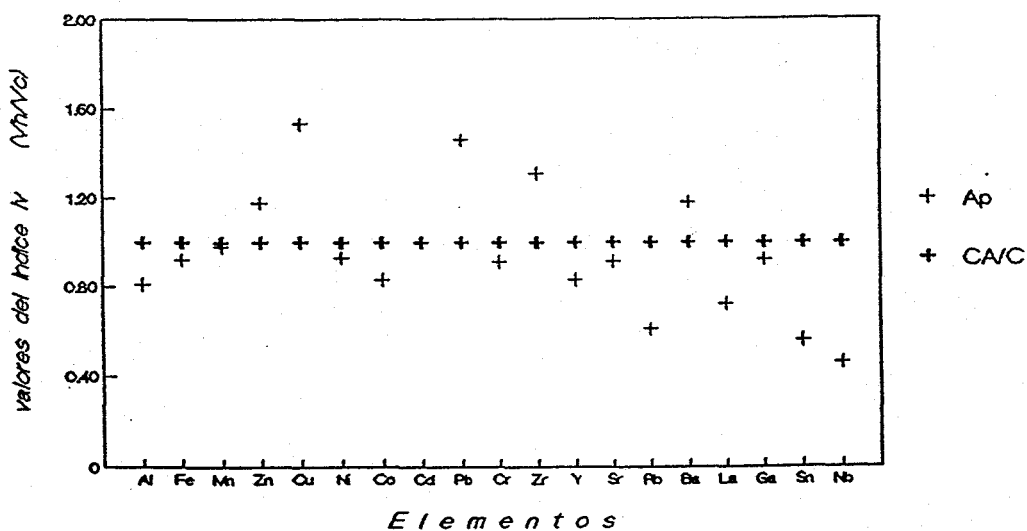


Fig. 51.- Representación de los índices de variación para Fe, Al y elementos minoritarios de los perfiles CM-21 y CC-26.

el perfil CC-27 la presencia de un alto valor en Mn (1632 y 1444 ppm), claramente diferenciado de los demás perfiles del grupo y del mismo orden que el obtenido por BARRAGAN LANDA (1973) en suelos sobre calizas del Flych. También GALLEGO y BUENO (1959), en su amplio estudio de suelos encuentra valores de Mn entre 20 y 959ppm con una mayor frecuencia entre 100 y 200ppm. GONZALEZ y MAZUELOS (1960) estudian suelos calizos del valle del Guadalquivir formados sobre calizas sedimentarias del terciario con unos contenidos medios entre 250 y 1000ppm, aumentando con la meteorización.

Según BARRAGAN LANDA (1973) frecuentemente el  $Mn^{2+}$  se encuentra dentro de las redes de los constituyentes minerales de las calizas y dolomías, que al desarrollarse como resultado de la descomposición de los carbonatos aportan Mn que se acumula conjuntamente con los sesquióxidos. La distribución del Mn en un perfil es, por tanto, un buen índice de la dinámica y condiciones edáficas del mismo.

Los suelos brutos poco evolucionados o con características de pH y potencial redox propios para la inmovilización de Mn, tendrán una distribución prácticamente uniforme.

Según AUBERT y PINTA (1977), en los suelos de

España desarrollados sobre materiales calizos, los contenidos de Mn varían inversamente a la cantidad de carbonatos y de arcilla. BENCINI y TURI (1974) y CHURNET et al. (1982) encuentran una mayor presencia de este elemento cuando existe dolomita.

De acuerdo con la bibliografía, las margas y calizas margosas son las que presentan un menor contenido en Mn. En los cinco perfiles del grupo este elemento varía entre 166ppm y 1632ppm con un valor medio de 487,84ppm, superiores a los encontrados en los suelos de areniscas y arenas objeto de este estudio (tabla XII).

El Mn presenta correlaciones positivas muy significativas con el pH y la fracción más gruesa, de acuerdo con lo anteriormente dicho (tabla VIII-3).

En estos suelos, el Pb junto al Sr son los que presentan los valores medio más altos de todos los suelos estudiados en este trabajo, como se puede observar en el conjunto de datos presentados en la tabla XII. En el caso del Pb (33.95ppm) y con un rango de 25,6 a 50,4ppm. AUBERT y PINTA (1977) da un promedio de 50ppm para suelos similares.

No existen grandes cambios en los contenidos de Pb en el grupo, si bien en todos los perfiles presenta una

acumulación en el horizonte más superficial y en aquellos con amplia presencia de carbonatos (horizontes C<sub>k</sub>).

Tan sólo con la M.O. y a nivel de  $P < 0.1$  presenta correlación en este grupo.

Según la bibliografía consultada, este elemento se encuentra con valores muy diversos en los materiales calizos: 10ppm en calizas dolomitizadas y 5ppm en dolomías de Cantabria (BUSTILLO, 1985). ENGEL y PATTERSON (1957) dan valores de 1,9ppm en suelos sobre calizas del Colorado y según HARTREE y VEIZER (1982), 3,1ppm para dolomías de Australia. ANDREU et al. (1988) dan valores entre 36 y 48ppm en suelos calizos de la Sierra de Negrete (Valencia). Según estos últimos autores el Pb puede reemplazar al Ca en lugares de adsorción.

El Zn presenta contenidos del mismo orden que el Pb como se aprecia en la figura 52 c y e, con una variabilidad entre 40 y 64,7ppm, siendo el valor medio de 52,13ppm en este grupo. GRAF (1960) da valores inferiores (24ppm) recogido en revisión bibliográfica. Generalmente este elemento disminuye con la profundidad excepto en el perfil CM-18 variando desde 50ppm hasta 57ppm en el horizonte C (tabla VII-15).

Este elemento (Zn) se correlaciona a nivel de  $P < 0.01$  con el Co, Ni y Fe, siguiendo en su variación



la relación  $Fe^{2+}$  a  $Fe^{3+}$  en el suelo. Con menor significación se encuentran correlaciones Zn-%Arcilla, Zn-Cr y Zn-% $TiO_2$ .

Los valores encontrados para el Cu son relativamente bajos, destacando los del perfil CC-26 con 54 y 35,20ppm, mientras que el resto de las muestras no sobrepasan los 25ppm. El valor medio para los cinco perfiles de este grupo es 19,12ppm, con disminución hacia los horizontes más profundos (figura 53).

El Cu se correlaciona negativamente con los filosilicatos y de forma positiva con la M.O. y el Ca, confirmando la observación de LOSSAINT (1959) y JAMBU (1971) sobre la extraordinaria sensibilidad de todo tipo de complejo a la acción del calcio en disolución. Según el primero de los autores, el poder complejante de la disolución del suelo disminuye enormemente cuando el contenido en calcio disuelto aumenta, produciendo también un aumento de pH. Esto explica la uniformidad de algunos valores de Cu en los perfiles.

Los elementos Ni, Co y Cr, presentan en estos suelos variaciones relativas muy similares en los cinco perfiles del grupo, aunque en contenido siguen el orden  $Cr > Ni > Co$  como puede observarse en la figura 52, estos tres elementos varían inversamente a la proporción de

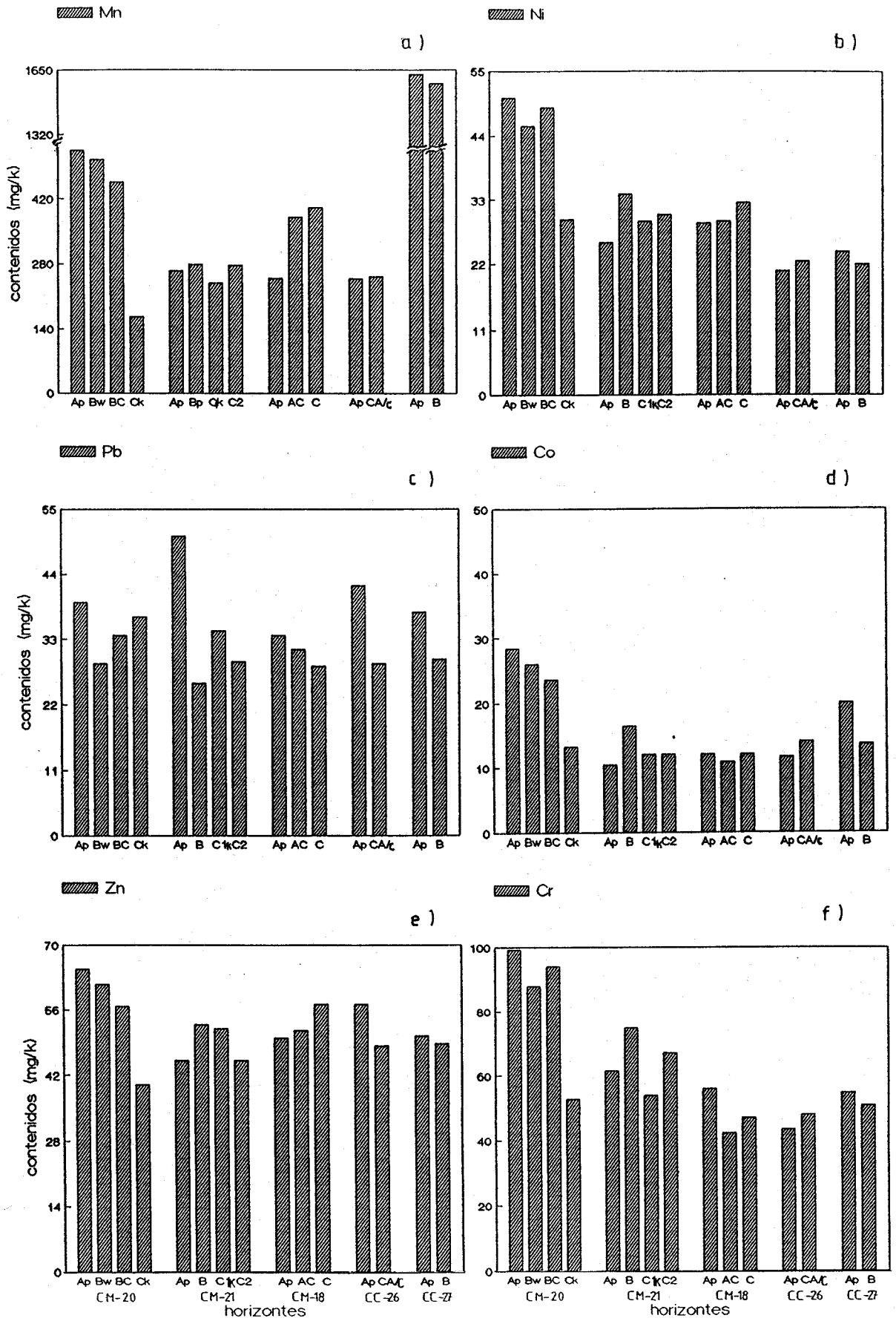


Fig. 52.- Histogramas de contenidos de los elementos Mn; Ni, Pb, Co, Zn y Cr en los perfiles de suelos sobre calizas y margas.

carbonatos, explicando las correlaciones negativas con este parámetro. Igualmente, una mayor proporción de arcilla en el perfil CM-20 explica la abundancia de ellos (KABATA-PENDIAS y PENDIAS, 1984).

Al ser la illita y esmectita los minerales predominantes en estos suelos calizos, (RODRIGUEZ RUBIO, 1990), confirman las correlaciones de estos minerales con Ni, Co y Cr, a niveles entre el 95% y 99% de significación. Con significación máxima y también de forma positiva con filosilicatos, %Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, %TiO<sub>2</sub> y C.C., además de otros elementos. La afinidad que presentan para sustituir isomórficamente y la facilidad de entrada en las capas de los minerales de la arcilla justifican las posibilidades de correlación.

El Rb y La (figura 53), siguen una línea semejante a los elementos anteriormente comentados, disminuyendo los valores hacia los horizontes más profundos, si no tenemos en cuenta los perfiles menos desarrollados (CC-26 y CC-27).

El Rb se correlaciona significativamente (99%) con la proporción de arcilla, lo que puede explicar el valor alcanzado en el horizonte superficial del perfil CM-21 (tabla VII-17).

El rango de variación para este elemento en el grupo está entre 28 y 110ppm, con un valor medio de 57,20ppm (tabla XII), similar al encontrado para las areniscas y en suelos semejantes (60ppm de valor medio) según AUBERT y PINTA (1977).

Con un valor medio de 24,27ppm, el contenido de La es similar a los demás suelos estudiados. Este elemento presenta correlaciones a nivel máximo con Zr y Co, además de la capacidad de cambio, hecho ya repetido en otros tipos de suelos. Con el pH y carbonatos es del 95% de forma negativa.

El valor medio para el Zr es de 201ppm y con un margen no demasiado amplio que puede expresar una uniformidad en el grupo, siendo el horizonte superficial algo más abundante de forma general. Algunos autores asignan a este elemento un reparto equitativo en las distintas fracciones del suelo, (MAQUEDA, 1970) entre otros.

Cabe destacar las correlaciones negativas del Zr con calcita, %CaO y Sr. De forma positiva, a nivel de 99%, con el Ba.

El elemento Sr junto al Cd sigue en su variación a la proporción de los carbonatos, con correlaciones positivas muy significativas y algo menores con el pH.

En el caso del Cd la bibliografía consultada, destacando (MALTIGOD (1971), REUTHER et al. (1981), FORSTER et al. (1982), SOON y BATES (1982), KUO y HELMAN (1983), ALVAREZ et al. (1985) Y CALA et al. (1985), entre otros, señalan ampliamente esta tendencia por la fracción carbonatada. Igualmente se observa una buena correlación positiva del Sr con el mineral dolomita, esto puede deberse a posibles sustituciones con el Mg, al igual que puede ocurrir con el Ca.

La mayor solubilidad del Sr frente al Ba, hace que el primero pueda ser lixiviado hacia horizontes inferiores del suelo, mientras que el Ba se acumula en los horizontes más superficiales, siendo el perfil sobre caliza dura en el que se constata este hecho (figura 53).

Los valores de Sr en este grupo son superiores a los demás, con un rango entre 27 y 240ppm., coincidiendo un mayor contenido con la presencia de dolomita en el perfil CM-18, al contrario que lo observado por BUSTILLO (1985), según el cual destaca un fuerte descenso de los contenidos de Sr en los procesos de dolomitación.

Los rangos de variación de este elemento en suelos según la bibliografía son muy amplios. En suelos calizos paleozoicos TUREKIAN y KULP (1956) encuentran valores entre 400 y 700ppm, y CHESTER (1965) entre 100 y

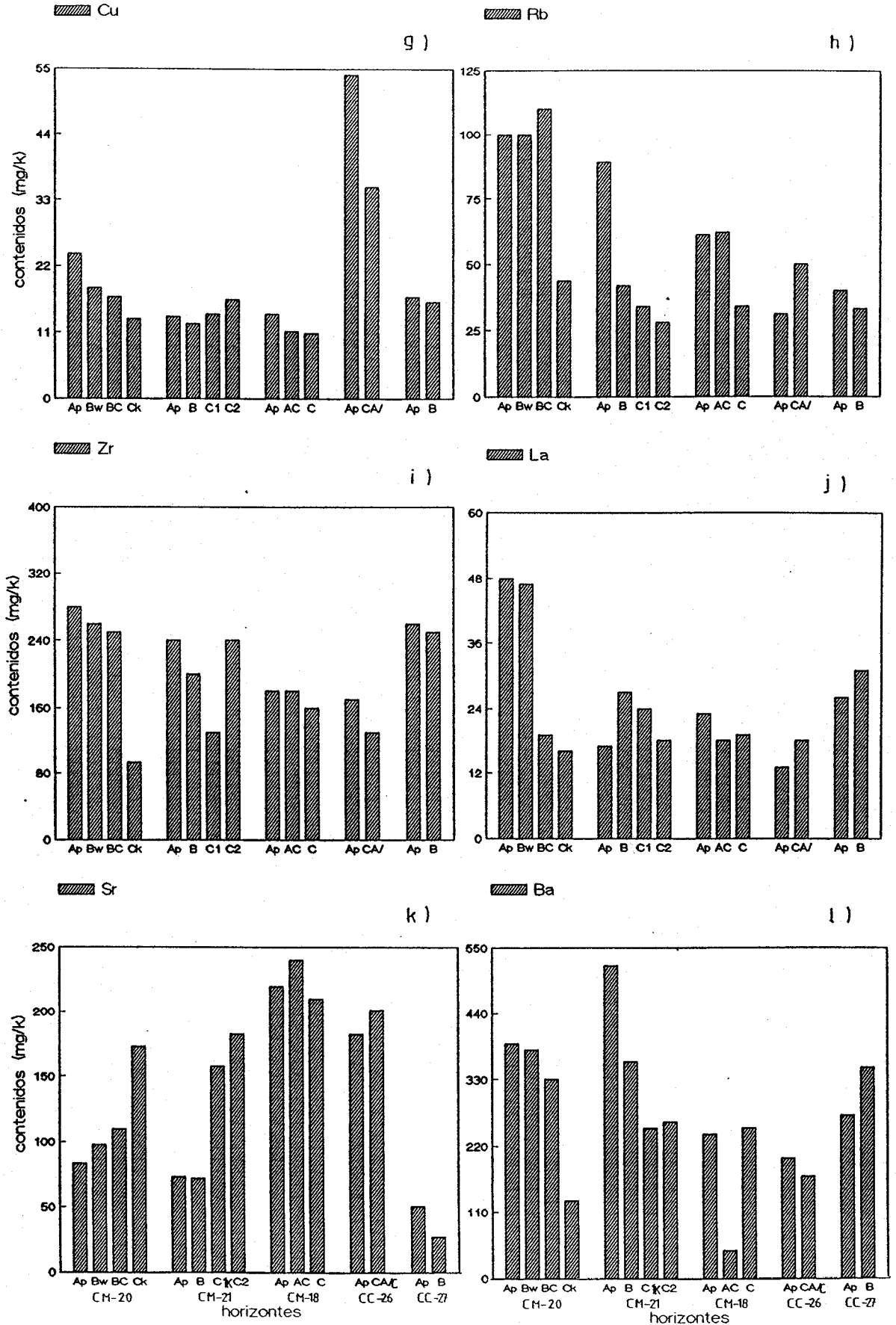


Fig. 53.- Histogramas de contenidos de los elementos Cu, Rb, Zr, La, Sr y Ba en los perfiles de suelos sobre calizas y margas.

3000ppm. Correlaciones positivas a nivel del 99% de significación se encuentran entre Sr-pH, Sr-%Na<sub>2</sub>O y Sr-%MgO; negativas y del mismo orden con %SiO<sub>2</sub>, Ba y Zr. No se encuentra correlación alguna entre este elemento y la proporción de arcilla (tabla VIII-3).

El Ba presenta un mayor contenido que el Sr, con una proporción más alta en el horizonte superficial, sobre todo, en el perfil CM-21 (520ppm), disminuyendo hacia los horizontes bajos.

En términos generales, las correlaciones para este elemento suelen coincidir con las del Sr, aunque de forma opuesta. De forma positiva al 99 % con %SiO<sub>2</sub> y Ga, no alcanzando una significación destacada con la proporción de arcilla.

Los elementos Y y Sn según la figura 54, presentan una acumulación hacia el horizonte B, aunque poco pronunciada.

Para el Y, se sigue observando, en su comportamiento, una tendencia a la asociación con el La, análoga a la de otros suelos comentados, confirmándose por la correlación entre ambos al máximo nivel. El contenido medio para estos suelos calizos es el más bajo de todos los estudios. Se comprueba la tendencia de este elemento a acumularse en las fracciones intermedias, de acuerdo con

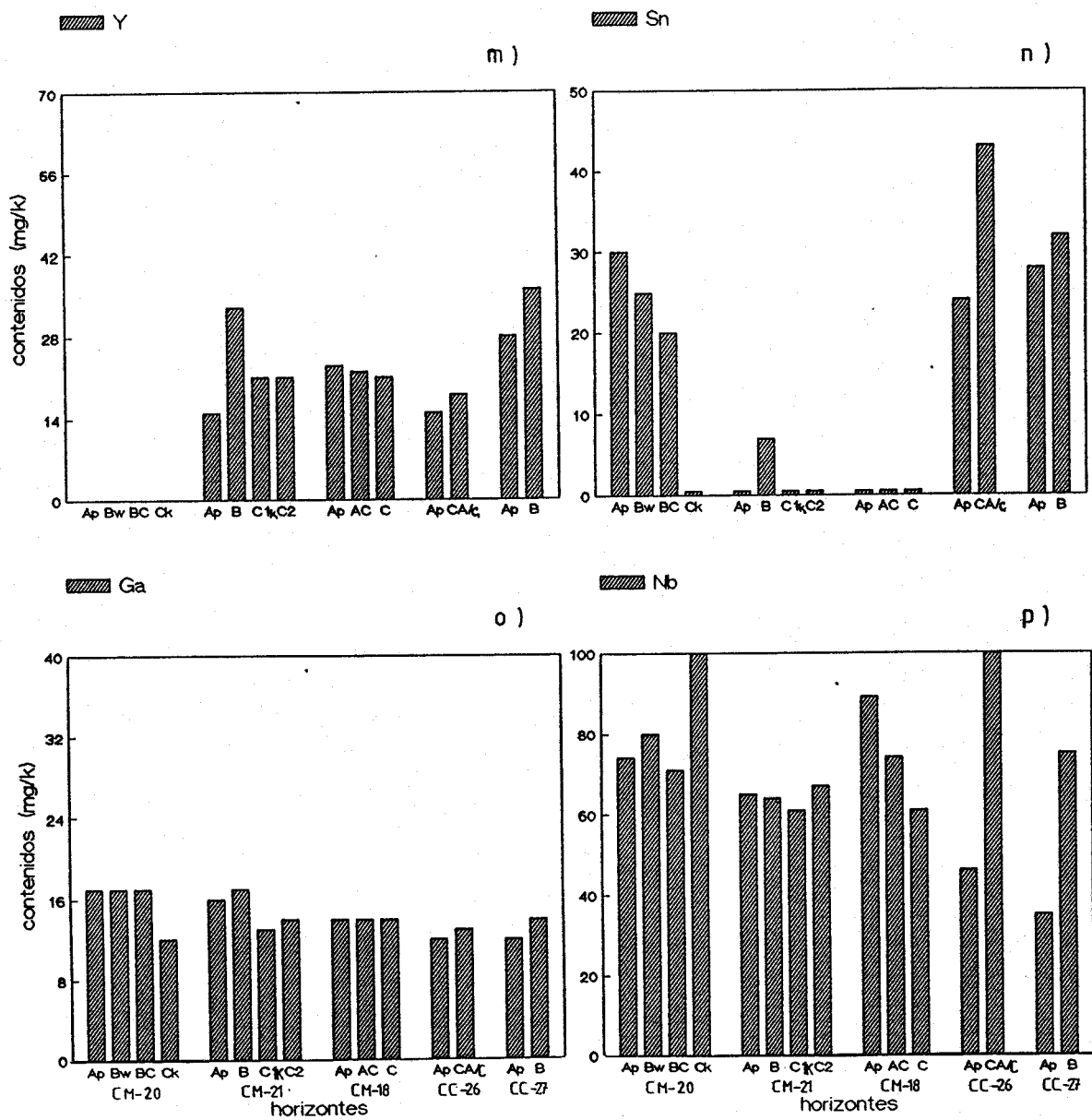


Fig. 54.- Histogramas de contenidos de los elementos Y, Sn, Ga y Nb en los perfiles de suelos sobre calizas y margas.



los datos encontrados por MAQUEDA (1970) en suelos semejantes.

Por otra parte, el Sn tiende a aumentar hacia los horizontes menos básicos (figura 54), su correlación negativa con el pH lo confirma.

El Ga y Nb siguen un comportamiento similar a otros perfiles no calizos (figura 54), con rangos y valores medios muy similares. Quizá en el caso del Nb se puede detectar una acumulación hacia los horizontes más bajos, excepto en el perfil CM-18. No se encuentra para este elemento ninguna correlación con significación aceptable.

Para el Ga son muy significativas las correlaciones positivas existentes con %TiO<sub>2</sub>, sesquióxidos, Cr y Ni, intermedia con filosilicatos y arcilla, además de la capacidad de cambio catiónico. Esto se puede justificar por la posibilidad de sustituir isomórficamente a otros elementos y formar parte de procesos de adsorción.



TABLA. VIII-3 (cont.).- MATRIZ DE CORRELACIONES DE LOS PARAMETROS ANALIZADOS EN PERFILES DE SUELOS SOBRE CALIZAS Y MARGAS.

	Valores de r para 15 casos																			NIVELES DE SIGNIFICACION	
	A.G.	A.F.	L.	A.	M.O.	CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	pH(a)	pH(s)	C.C.	Q	F	Ca	D	filo.	Fe(o)	Fe(d)	Al(o)	esmec	ilita		
A.F.	0.133																				
L.	-0.672	-0.518																			
A.	-0.518	-0.695	0.281																		
M.O.	0.604	-0.195	-0.471	0.067																	
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-0.634	0.025	0.768	-0.121	-0.555																
pH(a)	-0.850	0.102	0.439	0.327	-0.600	0.475															
pH(s)	-0.704	0.164	0.511	0.071	-0.428	0.670	0.855														
C.C.	-0.312	-0.728	0.146	0.943	0.167	-0.321	0.140	-0.165													
Q	0.869	0.428	-0.690	-0.666	0.495	-0.537	-0.741	-0.610	-0.471												
F	0.508	0.732	-0.631	-0.697	0.287	-0.161	-0.426	-0.304	-0.582	0.734											
Ca	-0.449	0.154	0.543	-0.197	-0.356	0.860	0.269	0.571	-0.408	-0.354	-0.002										
D	-0.405	0.541	0.073	-0.244	-0.509	0.309	0.526	0.448	-0.312	-0.081	0.195	0.042									
filo.	0.111	-0.466	-0.229	0.567	0.203	-0.686	-0.003	-0.366	0.702	-0.101	-0.409	-0.883	-0.157								
Fe(o)	0.920	0.022	-0.545	-0.441	0.620	-0.580	-0.881	-0.763	-0.210	0.870	0.529	-0.476	-0.279	0.120							
Fe(d)	0.764	0.320	-0.563	-0.591	0.359	-0.503	-0.589	-0.530	-0.375	0.858	0.608	-0.527	0.207	0.107	0.866						
Al(o)	0.671	-0.489	-0.375	0.201	0.741	-0.722	-0.749	-0.782	0.422	0.490	0.067	-0.628	-0.596	0.513	0.771	0.470					
esmec	-0.875	-0.433	0.630	0.758	-0.445	0.361	0.729	0.519	0.570	-0.912	-0.772	0.205	0.073	0.221	-0.843	-0.836	-0.377				
ilita	0.803	0.427	-0.476	-0.815	0.376	-0.199	-0.685	-0.402	-0.658	0.876	0.757	-0.053	0.001	-0.371	0.817	0.826	0.305	-0.969			
caol.	0.843	0.353	-0.821	-0.478	0.500	-0.622	-0.671	-0.655	-0.266	0.797	0.647	-0.478	-0.209	0.135	0.725	0.683	0.453	-0.857	0.702		

# UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Reunido el Tribunal integrado por los abajo firmantes  
en el día de la fecha, para juzgar la Tesis Doctoral de  
D. Roque Jimenez Peret  
titulada *Contenido de elementos mayoritarios y minoritarios y su  
relación en propiedades físico químicas en perfiles de suelos de  
la Provincia de Huelva*  
acordó otorgarle la calificación de *Apto cum laude*

Sevilla, 14 de Noviembre 1970

El Vocal,

El Vocal,

El Vocal,

El Presidente

El Secretario,

El Doctorado,

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*  
*[Handwritten signature]*