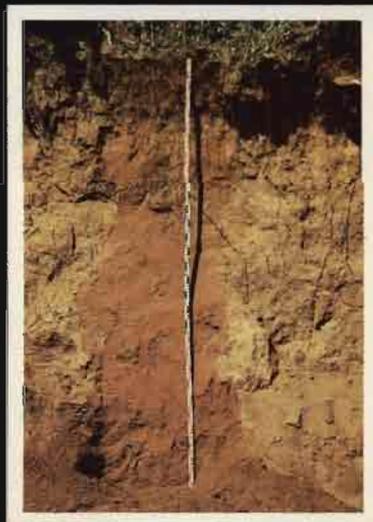
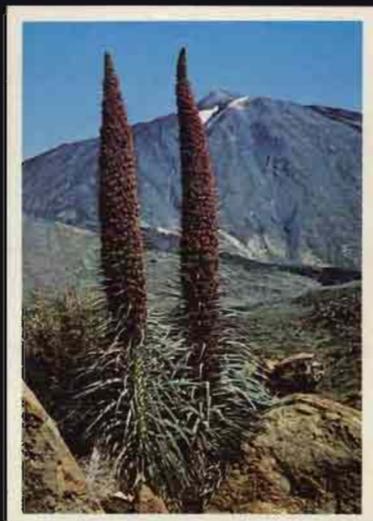


# SUELOS DE REGIONES VOLCANICAS

## TENERIFE

ISLAS CANARIAS



E. FERNANDEZ CALDAS

M. L. TEJEDOR SALGUERO

P. QUANTIN

COLECCION VIERA Y CLAVIJO

IV

#### **E. FERNANDEZ CALDAS**

Catedrático y Director del Departamento de Edafología.

Ex-Rector de la Universidad de La Laguna y Consejero de Número del C.S.I.C.

Director del Instituto Universitario de Desarrollo Regional y Director Honorario del Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife del C.S.I.C.

Ha realizado estudios de especialización en las Universidades de Gante (Belgica), Birmingham, Bristol y Cambridge (Inglaterra), Berkeley, Riverside, Los Angeles y Davies en Estados Unidos, Francia y Alemania.

Ha publicado y traducido varios libros de su especialidad, es autor de numerosos trabajos de investigación y miembro de diversas sociedades científicas nacionales e internacionales.

#### **M.ª LUISA TEJEDOR SALGUERO**

Profesor Adjunto de Edafología y Colaborador Científico del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

En la actualidad es Profesora del Departamento de Edafología de la Universidad de La Laguna y Colaborador Científico del Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife

Ha realizado estudios de especialización en l'ORSTOM Paris, en el Centro del INRA de Versailles, en la Universidad Paris VII y en el Centro de Edafología de Madrid.

Ha presentado comunicaciones científicas en diferentes Congresos Científicos Nacionales e Internacionales y es autora de libros de su especialidad.

Ha dirigido varias tesis doctorales y de licenciatura y su amplia labor científica se recoge en numerosas publicaciones en revistas nacionales e internacionales.

#### **P. QUANTIN**

Director de Investigación en el Centro de Edafología de l'ORSTOM (Paris).

Ingeniero Agrónomo y Diplomado por la Universidad de Nancy.

Ha realizado diferentes misiones científicas en Africa y el Pacífico para el estudio de la génesis, clasificación y cartografía de los suelos de estas regiones.

Ha sido investigador invitado en España e Italia. Miembro de diferentes Academias científicas y autor de un gran número de trabajos científicos en el campo de la Edafología.

SECRETARIADO DE PUBLICACIONES DE LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS

SUELOS DE REGIONES VOLCANICAS  
TENERIFE  
ISLAS CANARIAS

E. FERNANDEZ CALDAS · M. L. TEJEDOR SALGUERO · P. QUANTIN

COLECCION VIERA Y CLAVIJO

IV

Fotocomp.  
e impresión *ALGOL, S.A.*  
*Pasaje de Ojeda, 8*  
*Teléfono 27 22 57*  
*Santa Cruz de Tenerife*

*ISBN 84-600-27-49-X*  
*D. L. TF 2.046-1982*

## COLABORACIONES Y AGRADECIMIENTOS

1. A los doctores Antonio Rodríguez y Carmen M<sup>a</sup> Rodríguez Hernández, por la información facilitada en relación con los suelos fersialíticos y vertisoles, respectivamente.
2. A la doctora Josefina Benayas y al doctor Antonio Rodríguez agradecemos su colaboración en los estudios micromorfológicos.
3. A la doctora Covadonga Rodríguez Pascual agradecemos su colaboración en el estudio de los minerales de arcilla. Igualmente agradecemos a la Srta. Concepción Roca Pérez-Alcalde, Auxiliar del Instituto de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife (C.S.I.C.), su inestimable ayuda en la identificación de los minerales primarios de los suelos estudiados.
4. Al doctor José Manuel Hernández Moreno, por su colaboración en el estudio de los materiales amorfos.
5. Los autores agradecen al personal científico y auxiliar del laboratorio de la «Office de Recherche Scientifique et Technique Outre-Mer» en París, al Departamento de Edafología de la Universidad de La Laguna, al Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife (C.S.I.C.) y al Departamento de Botánica de la Universidad de La Laguna, la información suministrada y las facilidades ofrecidas para la utilización de diferentes técnicas.



## PROLOGO

Los suelos del archipiélago canario constituyen para E. FERNANDEZ CALDAS, Profesor de Edafología de la Universidad de La Laguna en Tenerife, y para sus colaboradores españoles y franceses, el objeto de un estudio realizado pacientemente durante casi veinte años. El medio insular y volcánico estudiado se encuentra en pleno Océano Atlántico, a poca distancia, al Norte, del Trópico de Cáncer, y bajo una influencia tanto mediterránea como de la zona intertropical.

La obra que nos presenta E. FERNANDEZ CALDAS se refiere únicamente a la edafología de la Isla de Tenerife, una isla que a pesar de su limitada superficie (2.057 Km<sup>2</sup>) presenta tal diversidad de suelos, que se han podido reconocer y estudiar siete clases de suelos diferentes.

Como método de trabajo se han seleccionado diferentes secuencias altitudinales y climáticas, que permiten estudiar las variaciones e interdependencias de los suelos en las principales vertientes de la Isla. Este estudio se basa en la observación de numerosos perfiles, analizados en todos sus aspectos, morfológicos (macro y micro), físicos, químicos y mineralógicos. Se han utilizado las técnicas más modernas para examinar las estructuras, caracterizar la materia orgánica y estudiar los constituyentes minerales; las que han permitido identificar los suelos y clasificarlos por los sistemas francés y americano, hasta el nivel de subgrupo. Las técnicas utilizadas han permitido igualmente proponer interpretaciones sobre la génesis e historia de los suelos.

Este libro abre el camino para un estudio detallado de los suelos de la isla de Tenerife, al identificar sus principales categorías.

Los lectores de esta obra habrán de agradecer a los autores el haber realizado un estudio exhaustivo y rico en enseñanzas de todo género.

Los cartógrafos encontrarán en este libro las unidades superiores de los suelos, definidas con precisión, y localizadas en su contexto geográfico, lo que les permitirá, la delimitación y caracterización de las unidades inferiores en trabajos de campo. Asimismo se encuentran en este libro los datos esenciales que permiten prever la utilización de estos suelos con fines prácticos.

Aunque este estudio ha sido realizado en una superficie relativamente reducida, significa sin embargo, una contribución muy importante al conocimiento de los suelos volcánicos de las regiones subtropicales y de los suelos en general.

Los autores deben ser felicitados, por haber emprendido y realizado esta obra de una manera tan esclarecedora.

Prof. P. Segalen

Servicios Científicos Centrales de L'O.R.S.T.O.M.  
Paris, Francia



# I. INTRODUCCION

La gran variedad bioclimática de las distintas zonas del archipiélago canario, juntamente con los factores topográficos, litológicos y cronológicos, hacen de estas islas, y en particular de la isla de Tenerife, un lugar ideal para el estudio de la génesis, evolución y distribución de los suelos formados sobre materiales volcánicos.

Esta acusada diferenciación de los factores ecológicos determina la existencia en las islas de una amplia gama de suelos que ocupan diferentes pisos altitudinales a lo largo de las vertientes. El estudio de la distribución altitudinal de estos suelos en la isla de Tenerife nos indica la existencia de diferentes secuencias edafológicas, tanto en la vertiente Norte como en la vertiente Sur de la isla. Estas secuencias, vienen determinadas en unos casos, por una influencia cronológica, constituyendo cronosecuencias, y en otros por una diferenciación climática, para formar climatosecuencias.

En cualquier caso, los suelos formados responden a una tipología netamente diferenciada, cuya génesis se explica por la conjunción de factores climáticos, cronológicos y litológicos.

Igualmente, es de interés destacar, que los suelos formados a lo largo de las vertientes meridionales presentan una tipología característica de las regiones *mediterráneas*, mientras que los suelos de las vertientes septentrionales son típicamente *tropicales*.

Esta circunstancia permite estudiar en la isla de Tenerife una gran variedad de suelos en una superficie relativamente reducida, y establecer una correlación entre las diferentes zonas bioclimáticas y la distribución de los suelos.

Un estudio de esta naturaleza a escala continental exigiría observaciones en áreas considerablemente más extensas y una pérdida de perspectiva en el contexto general.

Los primeros estudios de carácter general sobre los suelos de las Islas Canarias fueron realizados por A. Hoyos, 1945, 1948 y W.L. Kubierna, 1956.

Posteriormente, se llevaron a cabo algunos trabajos sobre problemas particulares, tales como la alteración y formación de minerales secundarios a partir de rocas volcánicas (M.C. Sanchez Calvo, 1958, 1961).

En el año 1971, la aparición de un trabajo general sobre las condiciones de formación de los suelos de Tenerife (E. Fernández Caldas y col., 1971) marca el comienzo de un intenso desarrollo de la investigación sobre los suelos de Canarias, tanto desde el punto de vista edafológico como agronómico, llevada a cabo por el Departamento de Edafología de la Universidad de La Laguna y por el Centro de Edafología y Biología Aplicada de Tenerife (C.S.I.C.).

De estos trabajos citaremos algunos de carácter general:

E. Fernández Caldas, 1962-1980; A. Borges Pérez, 1970-1980; V. Pérez García, 1967-1979; F. Gutierrez Jerez, 1971-1980; J.J. Bravo Rodriguez, 1970-1979; V. Gar-

cia García, 1970-1979; M.L. Tejedor Salguero, 1974-1980; P. Quantin, 1974-1979; J.M. Hernández Moreno, 1974-1980; A. Díaz Domínguez, 1975-1977; J. Sánchez Díaz, 1975-1979; O. Cabezas Viaño, 1975-1979; M. Fernández Falcón, 1975; A. Rodríguez Rodríguez, 1976-1980; C.E. Alvarez González, 1977-79; I. Trujillo Jacinto del Castillo, 1977-1979; G. Vivancos Gallego, 1977-1979; A.M. Borges Alvarez, 1976-1979; M.J. Rodríguez Romero, 1976; A.González Batista, 1978-1980; L. García López, 1978; C. Santana Pérez, 1979.

El presente libro pretende destacar y dar a conocer la génesis, evolución, distribución y clasificación de los suelos de Tenerife, como contribución a un mejor conocimiento del medio natural y del ecosistema de las Islas Canarias.

El conocimiento de estos suelos constituye, por otra parte, un documento de base importante para la realización de acciones posteriores encaminadas a una mejor ordenación del territorio.

## II. GENERALIDADES

### 1.- SITUACION

Las Islas Canarias están situadas frente al desierto del Sáhara, cerca del trópico de Cáncer, entre 27°38' y 29°25' de latitud Norte, y 13°20' y 18°16' de longitud Oeste según el meridiano de Greenwich.

La isla más oriental, Fuerteventura, se encuentra sólo a 115 Km de la costa de África.

La isla de Tenerife, con una extensión superficial de 2.057 Km<sup>2</sup>, es la mayor del archipiélago y ocupa una posición central.

Son islas de origen volcánico. La más antigua, la isla de la Gomera, data probablemente del Mioceno o del principio del Plioceno. En la isla de Tenerife, las penínsulas de Anaga y Teno corresponden a este mismo período geológico.

La isla más reciente, Hierro, ha sufrido erupciones volcánicas durante el último período geológico, al igual que la zona central de la isla de Tenerife, y otras islas del archipiélago.

Abdel-Monen, Wathins y Gast (1972), atribuyen una edad que oscila entre 4,5 y 16 millones de años, para las formaciones basálticas del complejo basal de la isla de Tenerife. Por el contrario atribuyen una edad inferior a 200.000 años para las zonas más recientes, que corresponden a las proximidades del Teide.

### 2.- CLIMA

En una primera aproximación podría definirse el clima como subtropical y marítimo; sin embargo, no se puede hablar realmente de un clima general para el archipiélago, sino de diferentes zonas climáticas perfectamente definidas.

El que existan climas tan variados obedece a diferentes factores. Los más importantes son: 1º Los vientos alisios regulares que vienen del ecuador, 2º la corriente marina fría de las Canarias, 3º la existencia de una zona de inversión térmica aproximadamente a 1.500 metros de altitud, y 4º la orografía de las islas.

Este último factor determina, por la altitud y orientación de los sistemas montañosos, dos situaciones opuestas. Una corresponde a las vertientes Norte y Nordeste, donde los vientos alisios contribuyen a mantener un clima húmedo, y otra a las vertientes occidentales y meridionales, protegidas de estos vientos, y que presentan una climatología más seca y árida.

Dentro de la gran diversidad climática de las islas, podemos establecer en una primera aproximación dos grupos de islas con caracteres comunes. De una parte las islas Canarias Occidentales, Tenerife, La Palma, Hierro y Gomera, incluyendo la Gran Canaria, y de otra las islas de Lanzarote y Fuerteventura, que se encuentran en la región más oriental del archipiélago. En estas últimas islas, de topografía poco accidentada, la ausencia de sistemas orográficos hace que los alisios no descarguen en ellas su humedad, y en consecuencia, las características climáticas son de extrema aridez, y recuerdan a las vertientes Sur de las islas Occidentales.

### 3.- GEOLOGIA

Los materiales geológicos, todos de origen volcánico, están constituidos principalmente por basaltos alcalinos, formados por coladas de lavas o productos de proyección aérea, piroclastos y cenizas; se encuentran igualmente diferenciados, sálicos, traquitas y fonolitas (Fuster y col., 1968). Estos últimos materiales ácidos están siempre subordinados, en volumen, a los basaltos.

Los basaltos pueden ser de tipo oceanítico (ricos en olivino), ankaramítico (ricos en augita) o plagioclásicos.

Las fonolitas contienen fenocristales de feldespatoides, hornblendas, augitas, feldspatos potásicos (sanidinas) y plagioclasas sódicas.

Las traquitas, menos frecuentes que las fonolitas, contienen feldspatos muy alcalinos (potásicos y sódicos), hornblendas, y augitas. Presentan igualmente biotitas y algunas veces apatitos.

La composición química de los basaltos y fonolitas varía dentro de los límites indicados en la tabla 1. (Bravo, 1964; Cabezas Viaño, 1975). Las fonolitas se caracterizan por valores importantes de  $\text{SiO}_2$  y de alcalinos ( $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ ), mientras que los basaltos tienen valores más elevados de  $\text{CaO}$ ,  $\text{TiO}_2$ , y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ .

### 4.- VEGETACION

La vegetación varía considerablemente de una vertiente a otra, y dentro de cada vertiente en los diferentes pisos altitudinales. Haremos referencia a la vegetación, al estudiar cada una de las vertientes separadamente.

### 5.- TOPOGRAFIA

La topografía es, en general, muy accidentada, y las cotas altitudinales son suficientemente amplias para establecer una correlación entre la variabilidad climática y la formación y evolución de los diferentes tipos de suelos.

Haremos uso de esta última circunstancia para estudiar tres catenas de suelos situadas en la isla de Tenerife, dos en la vertiente Norte y una en la vertiente Sur, que incluyen prácticamente la totalidad de los suelos canarios.

Hemos elegido la isla de Tenerife como representativa del conjunto. La orientación de sus sistemas montañosos (E-O), nos ofrece grandes contrastes entre la zona Norte y Sur, y su altitud superior a las restantes islas, nos permite igualmente estudiar las características de los suelos de la región subalpina.

Tabla 1

COMPOSICION QUIMICA DE ROCAS VOLCANICAS,  
LIMITES DE VARIACION

	BASALTOS		FONOLITAS	
	L/m. inf.	L/m. sup.	L/m. inf	L/m. sup.
SiO <sub>2</sub> % .....	41	48	57	64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % .....	8	18	16	20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> % .....	4	8	1,5	3
FeO % .....	4	9	1,5	2
MgO % .....	6	10	1	2
CaO % .....	12	16	1	2
Na <sub>2</sub> O % .....	1	3	6	7
K <sub>2</sub> O % .....	0,2	0,8	4	5,5
TiO <sub>2</sub> % .....	2	4	0,5	1

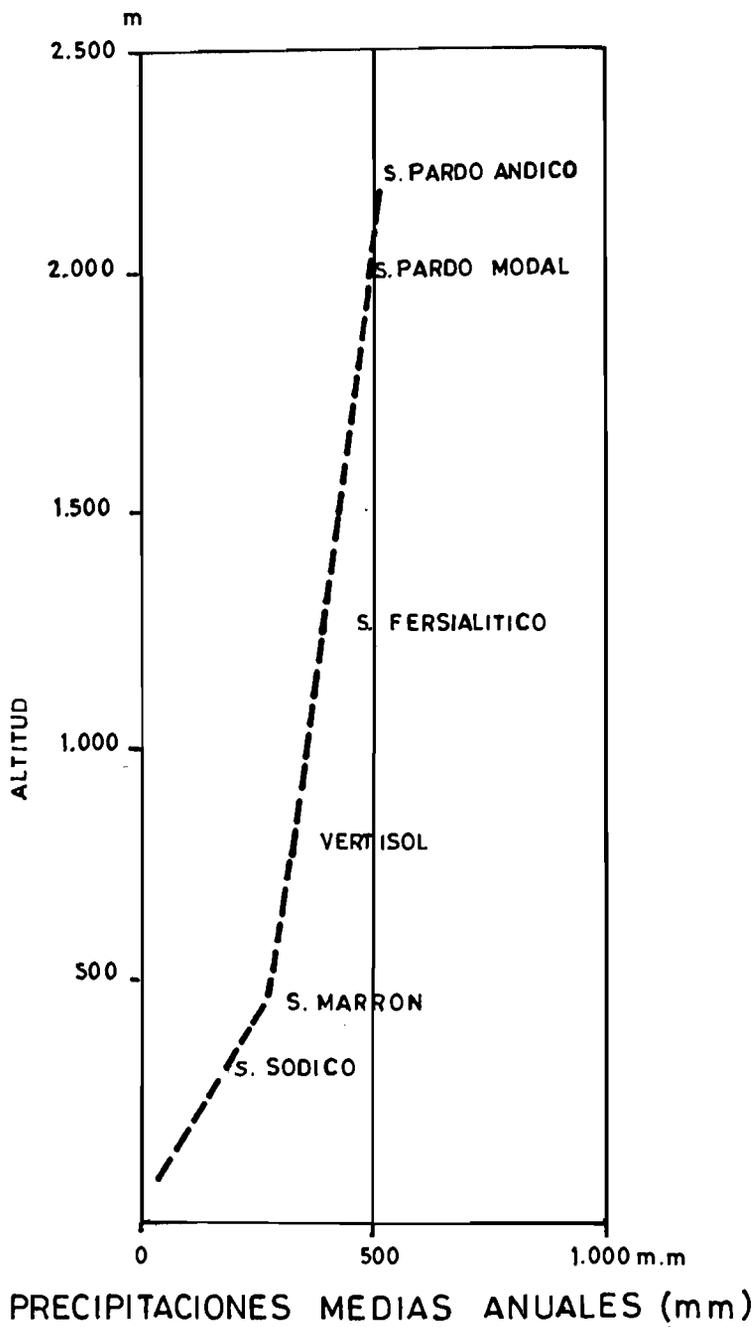


Fig.1.- Distribución de los suelos en función de la pluviometría media anual

### III. SECUENCIA CLIMATICA DE SUELOS DE LA REGION MERIDIONAL

#### A. CARACTERISTICAS ECOLOGICAS DE LA VERTIENTE SUR

##### 1.- CLIMA

En las vertientes occidental y meridional se observan dos zonas climáticas altitudinales bien definidas, una zona baja árida y una zona alta más húmeda, donde las precipitaciones son todavía escasas y poco abundantes.

Existe, además, una tercera zona con clima subalpino, que comienza a una altitud aproximada de 2.500 metros; en esta zona, el clima es netamente más árido y frío. En invierno, cuando el aire polar marítimo invade esta región, pueden producirse importantes precipitaciones en forma de nieve.

En la figura 1, se representa la curva de precipitaciones medias anuales (Kunkel, 1976), en función de la altitud. Sobre ella se sitúan los perfiles de suelos estudiados en esta secuencia.

Las temperaturas que corresponden a las diferentes altitudes de esta vertiente son:

0 m.	- 250 m.	20-25°C
250 m.	- 600 m.	15-25°C
600 m.	- 1.000 m.	15-18°C
1.500m.	- 2.500 m.	12-15°C
	> 2.500 m.	4-18°C

Kunkel distingue seis zonas climáticas, que se indican en la figura 2.

De una manera general, se puede decir que la gran aridez, característica de la región meridional y occidental de la isla, es debida a que los vientos húmedos que vienen del norte no llegan a esta zona, como consecuencia de la barrera montañosa central de la isla, que se interpone en su paso.

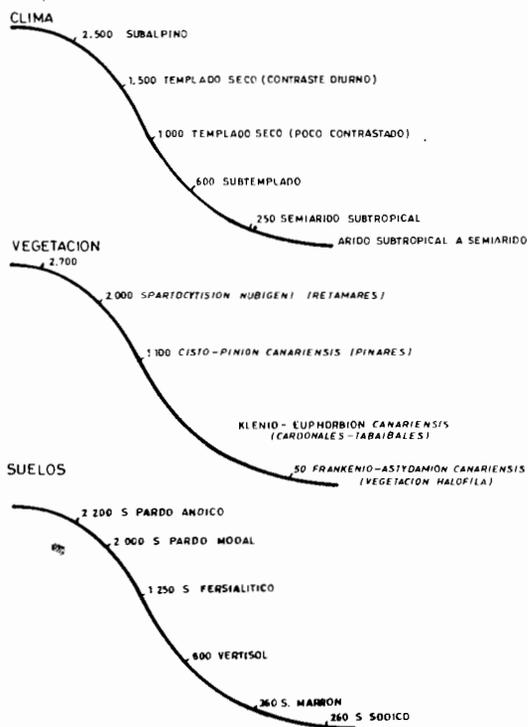


Fig.2.- Distribución de climas, vegetación y suelos en función de la altitud

## 2.- VEGETACION

La variabilidad climática se manifiesta también en la vegetación, que forma estratos bien definidos a diferentes altitudes, como se indica en la figura 2.

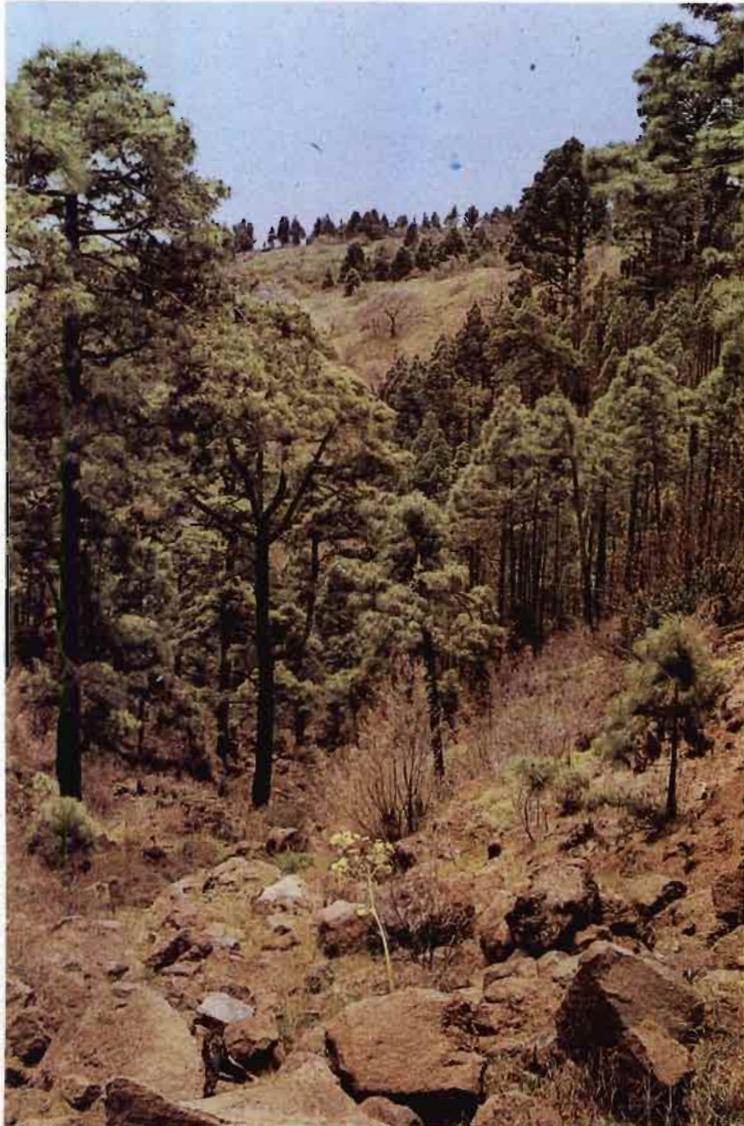
De una manera general se pueden establecer los siguientes pisos de vegetación para esta vertiente meridional:

- Próximo al litoral, se encuentran las comunidades halófilas en las que son frecuentes las siguientes especies: *Franquenya ericifolia* (tomillo de mar), *Astidamia latifolia* (lechuga de mar), *Limonium pectinatum* (siempre viva de mar), entre otras.
- Por encima, en el « piso basal », caracterizan el paisaje vegetal *Euphorbia Canariensis* (cardón) *E. balsamifera* (Tabaiba dulce), *Klenia neriifolia* (verde), *Plocama pendula* (balo) etc.
- Progresivamente se alcanzan los pinares, caracterizados en su estrato arbóreo por *Pinus Canariensis*.
- En las cumbres, por encima de los 1900-2000 m. el pinar da paso paulatinamente a las leguminosas arbustivas de alta montaña: *Spartocytisus nubigenus* (retama del Teide), *Adenocarpus viscosus* (codeso de cumbre) y otros endemismos más o menos locales.



*Paisaje de la Región Sur. Piso basal de vegetación*





*Vegetación de Pinus Canariensis. Vertiente Sur*





*Paisaje subalpino*





*Suelo pardo*



### 3.- GEOLOGIA

La región meridional se caracteriza desde el punto de vista litológico por una gran abundancia de materiales ácidos en superficie, especialmente cenizas y pómez fonolíticos, que recubren formaciones basálticas. Los materiales básicos ocasionalmente, afloran en superficie.

Consecuentemente, los suelos de esta vertiente se forman principalmente sobre materiales ácidos.

#### B. SECUENCIA EDAFOLÓGICA DE LA VERTIENTE SUR

En la vertiente meridional de la isla de Tenerife hemos estudiado una zona comprendida entre 2.500 y 100 m. de altitud, aproximadamente, entre las cumbres de Vilaflor y las costas de Arona, donde se encuentran representadas las diferentes zonas climáticas y unidades edafológicas de esta región, como indica la figura 2.

La secuencia climática estudiada comprende los siguientes tipos de suelos: vitrandepts\*, suelo pardo andico, suelo pardo modal, suelo fersialítico, vertisol, suelo marrón y suelo sódico. La distribución de estos suelos en la isla a escala 1:100.000 se encuentra en el mapa que se adjunta en el anexo. Algunos de estos suelos han sido ya citados en trabajos anteriores (Fernández Caldas, Guerra Delgado, 1971; Pérez García, Fernández Caldas, García, 1975; Fernández Caldas, Rodríguez Hernández, 1977; Quantin y col., 1976; etc.).

#### 1.- CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS

##### 1.1 CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

###### 1.1.1. suelo pardo andico

###### *Perfil pino 57*

Situación: Ruta de Las Cañadas a Vilaflor, vertiente del Lomo de Retamas

Altitud: 2.200 m.

Pendiente: Aproximadamente de un 30%

**Vegetación:** Pinar (*Pinus canariensis*) y Retama (*Spartocytisus nubigenus*)

Material de origen: Fonolitas.

Se observan abundantes fragmentos de rocas fonolíticas en superficie

Descripción:

0-12 cm. Horizonte A<sub>11</sub>

- Color pardo oscuro (10 YR 3/3); seco; abundantes rocas y gravas fonolíticas poco alteradas; textura areno-limosa, muy humifera; estructura particular o grumosa fina, poco desarrollada y muy friable; abundantes raíces; ensayo con NaF: medianamente positivo.

12-20 cm. Horizonte A<sub>12</sub>

- Color pardo amarillento (10 YR 5-4/4); seco; abundantes gravas, con fracción inferior a 2 mm. areno-limosa; estructura particular, muy friable; abundantes raíces; ensayo con NaF: débilmente positivo.

\* No incluimos en este trabajo una descripción de los vitrandepts (andosoles vitricos) por haber sido estudiados ampliamente en una publicación anterior: «Andosoles de las Islas Canarias» (Fernández Caldas E.; M.L. Tejedor Salguero, Caja General de Ahorros de Santa Cruz de Tenerife, 1975).

20-40 cm. Horizonte (B)C

- Color amarillo intenso, algo rojizo, (7,5 YR 5-4/4); presencia de gravas, el suelo es ligeramente más arcilloso que en el horizonte A<sub>12</sub> (limo-arcilloso); estructura masiva o poliédrica fina poco desarrollada; cohesión bastante fuerte, friable; raíces gruesas dispersas; ensayo con NaF: ligeramente positivo.

1.1.2. suelo pardo modal

*Perfil Dornajido*

Situación: Ruta de Las Cañadas a Vilaflor, entre los conos volcánicos de Las Lajas y montaña Colorada.

Altitud: 2.030 m.

Pendiente: 20-30%

Vegetación: Pinar (*Pinus canariensis*) y Escobón (*Cytisus proliferus*), con caracteres xerofíticos de altitud.

Material de origen: Basalto.

La erosión es importante; en superficie se observan fragmentos rocosos fonolíticos.

Descripción:

0-3/4 cm. Horizonte A<sub>11</sub>

- Color pardo gris oscuro; presencia de cenizas volcánicas finas; estructura particular; ensayo con NaF: negativo.

3/4-23 cm. Horizonte A<sub>12</sub>

- Color pardo oscuro (10 YR 3/3-4); ligeramente húmedo: textura arcillo-arenosa y humifera; estructura grumosa o granular media, friable; importante porosidad y permeabilidad; enraizamiento medio; ensayo con NaF: negativo.

23-60 cm. Horizonte (B)

- Color pardo (10 YR 3/4); ligeramente húmedo; textura arcillo-arenosa; estructura poliédrica gruesa con tendencia a prismática y cohesión fuerte; presencia de lapillis alterados; raíces gruesas dispersas; ensayo con NaF: negativo.

60-80/90 cm. Horizonte (B)C

- Transición: se observan bolsas de arcilla de color pardo que rodean las gravas y fragmentos de basalto muy alterado: limite irregular.

> 90 cm. Horizonte C

- Lavas basálticas alteradas con coloraciones pardas y grises que conservan aún su forma original, pero friables.

1.1.3. suelo fersialítico

*Perfil Trevejo*

Situación: Ruta Vilaflor-Arona, por la Escalona.

Altitud: 1.250 m.

Pendiente: Menos de 5%; erosión nula.

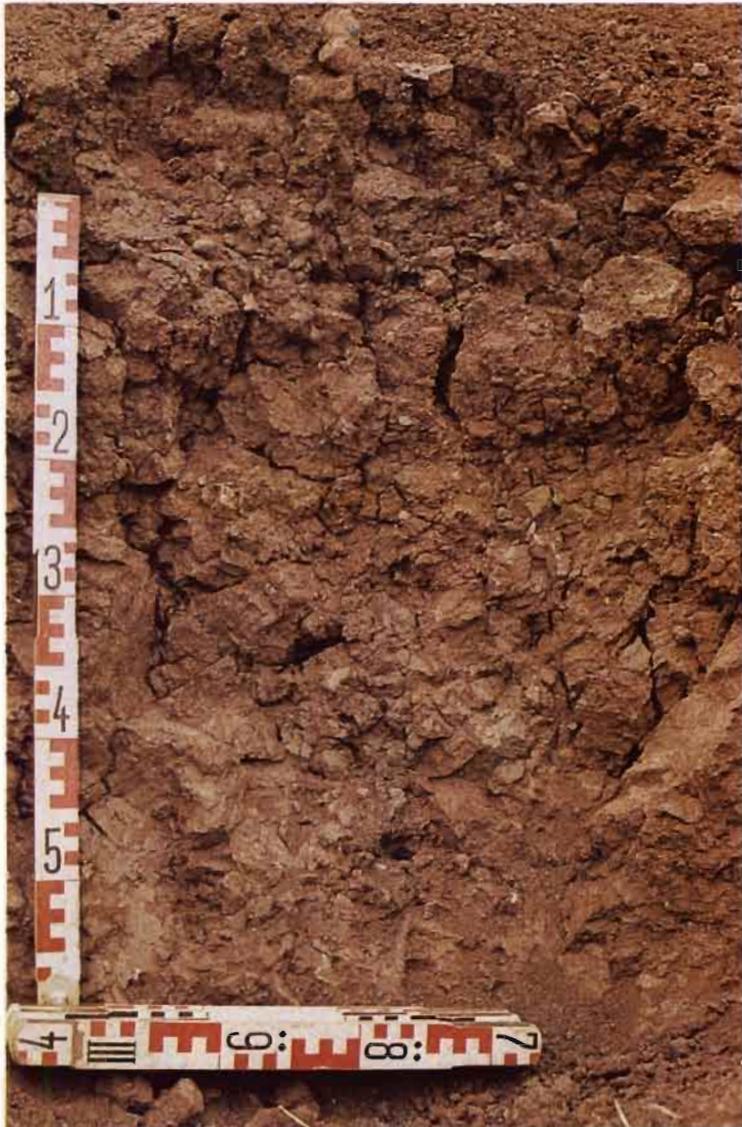
Vegetación: Terraza cultivada.

Material de origen: Cenizas fonolíticas.

Descripción:

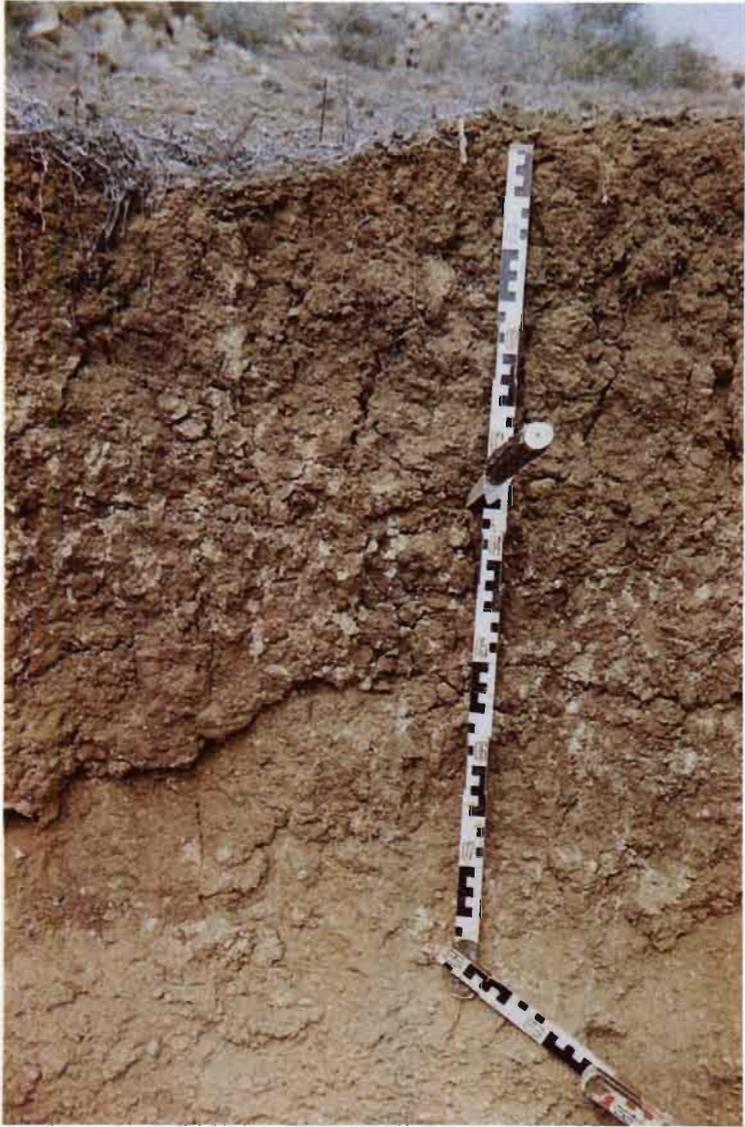
0-25 cm. Horizonte A<sub>p</sub>

- Color pardo (7,5 YR 4/4); abundantes gravas de pómez; textura arcillo-



*Vertisol*





*Suelo marrón*



arenosa; estructura granular fina y media; muchas raíces de diferentes tamaños.

25-80 cm. Horizonte (B)

- Color pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4); algunos elementos gruesos; presencia de minerales alterables; textura arcillo-arenosa; estructura prismática-poliédrica gruesa; fisuras finas; fuerte cohesión; algunas raíces.

80-130 cm. Horizonte (B)C

- Color pardo oscuro (7,5 YR 4/3); muchas gravas y piedras pequeñas; textura limosa; estructura masiva; algunas fisuras finas; pocas raíces y siempre muy finas.

#### 1.1.4. vertisol

##### *Perfil Arona*

Situación: Ruta Vilaflor-Arona.

Altitud: 800m.

Pendiente: 10%

Vegetación: Zona cultivada.

Descripción:

0-50 cm. Horizonte  $A_p$ /(B)

- Color pardo oscuro (7,5 YR 4/2-3); se observan feldespatos alterados y gravas; textura arcillosa; estructura poliédrica gruesa con principio de estructura vértica.

50-80 cm. Horizonte (B)

- Color pardo oscuro (7,5 YR 4/2); textura arcillosa; estructura típicamente vértica, slickensides. Los prismas tienen de 5 a 10 cm., grietas de retracción de 1 a 3 cm.; cohesión muy fuerte; pocas raíces.

80-100 cm. Horizonte (B/C)<sub>Ca</sub>

- Corresponde a la alteración pardo-rojiza, con bolsas de arcilla pardo oscura y con nódulos friables de caliza, de algunos centímetros, entre los prismas.

#### 1.1.5. suelo marrón

##### *Perfil Yaco*

Situación: Ruta de Granadilla a San Isidro.

Altitud: 350 m.

Pendiente: Moderada, de 10%.

Vegetación: El perfil se ha observado bajo una terraza cultivada.

Material de origen: Material ácido de tipo fonolítico.

Descripción:

0-20/25 cm. Horizonte  $A_p$

- Color pardo oscuro (7,5 YR 5/2); seco; textura arcillo-arenosa, con algunas gravas de basalto; estructura granular media, con consistencia media, friable; muy poroso y permeable; raíces finas, medianamente densa; límite irregular.

20-60/70 cm. Horizonte (B)<sub>Ca</sub>

- Color pardo, débilmente rojizo (5 YR 4/4), con manchas blanquecinas de nódulos calizos friables (diámetro 1-4 cm) situados preferentemente entre los prismas; textura arcillosa; estructura cúbica media y poliédrica gruesa.

sa, con cohesión fuerte; ausencia de caracteres vérticos; grietas poco abiertas y permeabilidad limitada; muy pocas raíces; límite irregular. 70-100/120 cm. Material de origen, cenizas fonolíticas.

#### *Perfil Tapao*

Situación: Km. 58 de la autopista, en posición de parte baja de pendiente, cerca de un cono volcánico reciente.

Altitud: 160 m.

Pendiente: 10-20%.

Vegetación: Xerofítica, alianza «*Klenio Euphorbion*».

Material de origen: Cenizas fonolíticas.

En la parte superior de la pendiente, los suelos están intensamente erosionados y recubiertos en superficie por fragmentos de rocas; tienen un color pardo-rojizo y presentan carbonato cálcico en la parte inferior del perfil. En la parte inferior de las pendientes los mismos suelos están coluvionados, son profundos y complejos, y pueden presentar dos o más acumulaciones de carbonatos.

La descripción que indicamos a continuación corresponde a un suelo de pendiente erosionada.

Descripción:

- 0-25 cm. Horizonte A<sub>p</sub>/(B)
  - Color pardo-rojizo (5 YR 5-4/4); seco y friable; textura gravosa y arcillo-arenosa; estructura granular y poliédrica redondeada, media y fina; porosidad elevada; muchas raíces.
- 25-50 cm. Horizonte (B)
  - Color ocre (5 YR 4/6); seco; textura arcillo-arenosa y gravosa; estructura prismática, con grietas de un centímetro; cohesión fuerte, poco friable; pocas raíces.
- 50-60 cm. Horizonte (B)<sub>Ca</sub>
  - Color pardo-rojizo más pálido (5 YR 5/4); textura arcillo-arenosa, parece menos arcillosa que el (B), hace transición hacia el horizonte C; estructura poliédrica-prismática, con cohesión bastante fuerte; parece más ligero que el horizonte (B); se observan pseudomicelios de caliza sobre las caras de los poliedros.
- 60-100 cm. Horizonte C
  - Basalto alterado.

Se ha tomado igualmente una muestra del horizonte (B)<sub>Ca</sub> del suelo situado en la parte inferior de la pendiente (IIB<sub>Ca</sub>).

#### *Perfil Fasnía*

Situación: El perfil está situado en la parte inferior del cono volcánico de Fasnía.

Altitud: 250 m.

Material de origen: Lapillis basálticos, con fenocristales de augita de aproximadamente un centímetro de diámetro.

En esta zona se observa, por una parte, un suelo marrón que como consecuencia de la fuerte erosión puede quedar reducido al horizonte humífero superficial. Su profundidad nunca es superior a 50 cms. Y por otra parte, un suelo marrón enterrado por capas de materiales fonolíticos cementados.

El Horizonte A<sub>p</sub> se ha tomado en el suelo marrón superficial.

La descripción que indicamos a continuación corresponde al suelo enterrado.



*Suelo sódico*



#### Descripción:

- Capa de materiales pumíticos (de algunos centímetros a varios metros) que recubren un estrato de cinerita endurecida.
- 0-60 cm. Horizonte (B) (a partir del límite inferior de la capa endurecida)
  - Color pardo-rojizo, con gravas basálticas rubificadas; se observan piroxenos de gran tamaño poco alterados; textura limo-arenosa; estructura granular media, friable.
- 60-150 cm. Horizonte C
  - Gravas de escorias rubificadas y piroxenos de gran tamaño poco alterados; algo de suelo cementado intensamente y poco friable.
- 150 cm. Película blanca de sílice y encostramiento calizo friable en pseudomicelios discontinuos, que recubren una capa de lava poco alterada.

#### 1.1.6. suelo sódico

##### *Perfil Los Olivos*

Situación: Ruta de Adeje.

Altitud: 260 m.

Pendiente: 15%.

Vegetación: Especies xerofíticas, del género *Euphorbia* y *Launea spinosa*, dispersas.

Material de origen: Material coluvial de arcillas y fragmentos de basalto, estratificados, sobre lava basáltica.

#### Descripción:

- 0-30 cm. Horizonte A<sub>p</sub>
  - Color (5 YR 6/5); seco; textura arcillosa; estructura poliédrica fina; consistencia endurecida; algunas raíces; poca materia orgánica. Se observan fragmentos de basalto, angulosos y pocos alterados, de gran tamaño, de origen coluvial. También se encuentra carbonato cálcico, en pequeñas proporciones.
- 30-70 cm. Horizonte (B)<sub>Ca</sub>
  - Color pardo-rojizo claro (5 YR 6/4); textura arcillosa; estructura prismática fina, con tendencia a columnar; consistencia muy dura; sin raíces; límite irregular. Como en el horizonte anterior se observa carbonato cálcico en forma difusa. En la base de este horizonte comienzan a aparecer nódulos de yeso.
- 70-85 cm. Horizonte C<sub>Ca</sub>
  - Acumulación de carbonato friable; estructura masiva.
- 85-125 cm. Horizonte IIB
  - Color pardo-rojizo oscuro (5 YR 3/4); textura arcillosa; estructura prismática-columnar; nódulos de yeso; caliza difusa o en pequeños nódulos dispersos.
- 125-135 cm. Horizonte IIC<sub>Ca</sub>
  - Acumulación de carbonato similar a la anterior; friable, pero más densa que la primera.
- 135-215 cm. Horizonte IIIB
  - Color pardo oscuro (7,5 YR 3/2) seco. Este horizonte tiene la misma estructura que el IIB, pero más desarrollada y con escasos y pequeños slickensides. Los nódulos de yeso son más abundantes, y se acumulan preferentemente por debajo de los trozos de basalto angulosos que existen en la parte inferior del perfil. Existe caliza difusa o en pequeños nódulos dispersos. Límite irregular.

- 215-245 cm. Horizonte IIIC<sub>Ca</sub>
- Acumulación caliza laminar dura, que incluye trozos de basalto duro y gruesos nódulos de yeso. Límite irregular.
- 245-260 cm. Horizonte IVC<sub>Ca</sub>
- Alteración de basalto, encostrado de caliza friable y de yeso difuso (seudomicelios) o en forma de nódulos. Límite irregular.
- > 260 cm.
- Lava basáltica, con cristales de yeso y calcedonia en los huecos.

#### 1.1.7. variación de la morfología a lo largo de la secuencia

A medida que se desciende en la secuencia, los suelos tienen una textura más arcillosa, y su estructura es más neta y está más desarrollada; evolucionando de una estructura continua, en los suelos pardos ándicos, a una estructura prismático-columnar en los suelos sódicos, pasando por una estructura vértica muy desarrollada en los vertisoles con slickensides y grietas de retracción, y por una estructura prismática en el caso de los suelos marrones. (Tabla 2).

En los vertisoles, suelos marrones y suelos sódicos, se observan acumulaciones de carbonato cálcico. En los suelos sódicos se encuentran igualmente concreciones de yeso.

El color varía de pardo-amarillento a pardo (7,5 YR 5-4/4) en los suelos de altitud, tomando un color pardo gris oscuro (7,5 YR 4/2) el horizonte B de los vertisoles. Los suelos fersialíticos y los suelos marrones presentan una coloración rojiza (5 YR 3/4, 5 YR 4/4) en los horizontes B, que es muy característica de esta tipología. En los suelos marrones, esta coloración se acentúa al disminuir el contenido de carbonatos. En los suelos sódicos, el color es de nuevo claro (5 YR 6/4).

La reacción con el NaF muestra la existencia de productos alofánicos únicamente en el perfil Pino 57, aunque se encuentran en pequeñas proporciones, ya que el medio no es suficientemente húmedo para permitir la estabilización de los productos amorfos que se producen en la alteración de los materiales volcánicos.

Por debajo de los 1.500 metros los suelos están frecuentemente erosionados o muy modificados por los cultivos. A menudo se observa una delgada capa blanquecina de sílice, de algunos milímetros, sobre los materiales que forman el horizonte C.

Los suelos de la zona inferior de la secuencia presentan generalmente perfiles complejos, debido a fenómenos de coluvionamiento, mostrando acumulaciones calizas y nódulos de yeso intercalados dentro de cada suelo.

En algunas regiones, los suelos marrones están cubiertos de cenizas volcánicas, como en el caso del perfil Fasnía. En estas ocasiones, la evolución queda frenada y el suelo fosilizado.

## 1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

### 1.2.1. materia orgánica

Las variaciones de la materia orgánica en esta secuencia se indican en la tabla 3.

Los valores más elevados de materia orgánica se observan en los horizontes superficiales de los suelos de altitud, suelo pardo ándico y suelo pardo modal (10,66% y 18,02%, respectivamente).

Sin embargo, en los horizontes profundos, donde las características de estos suelos están mejor definidas, se observa una gran diferencia entre ellos. El suelo pardo

Tabla 2

EVOLUCION MORFOLOGICA DEL HORIZONTE B EN LA SECUENCIA

TIPO DE SUELO	HORIZONTES	CARACTERISTICAS DEL HORIZONTE B		
		COLOR	ESTRUCTURA	TEXTURA
Suelo Pardo ándico	A <sub>11</sub> , A <sub>12</sub> , (B)C	7,5 YR 5-4/4	Continua	Areno-arcillosa
Suelo Pardo modal	A <sub>11</sub> , A <sub>12</sub> , (B), (B)/C	10 YR 3/4	Poliédrica gruesa a prismática	Arcillo-arenosa
Suelo Fersialítico	A <sub>p</sub> , (B), (B)/C	5 YR 3/4	Prismática	Arcillo-limosa
Vertisol	A <sub>p</sub> /(B), (B), (B/C) <sub>Ca</sub>	7,5 YR 4/2	Prismática, slickensides	Arcillosa
Suelo Marrón (Yaco)	A <sub>p</sub> , (B) <sub>Ca</sub> , C	5 YR 4/4	Cúbica media y poliédrica gruesa	Arcillosa
(Tapao)	A <sub>p</sub> , (B), (B) <sub>Ca</sub>	5 YR 4/6	Prismática	Arcillosa
Suelo Sódico	Ap <sub>Ca</sub> , (B) <sub>Ca</sub> , C <sub>Ca</sub> , IIB, IIC <sub>Ca</sub> , IIIB, IIIC <sub>Ca</sub> , IVC <sub>Ca</sub>	5 YR 6/4	Prismática con tendencia columnar superficial	Arcillosa

Tabla 3

MATERIA ORGANICA

PERFIL	TIPO DE SUELO	HORIZONTE	% C	% M.O.	% N	C/N
Pino 57	S. Pardo ándico	A <sub>11</sub>	6,20	10,66	0,43	14,4
		A <sub>12</sub>	3,86	6,33	0,29	12,7
		(B)C	1,16	1,99	0,14	8,3
Dornajido	S. Pardo modal	A <sub>11</sub>	10,48	18,02	1,04	10,1
		A <sub>12</sub>	1,12	1,93	0,11	10,2
		(B)	0,46	0,79	0,05	9,8
		(B)C	0,28	0,48	0,04	7,0
Trevejo	S. Fersialítico	(B)	0,24	0,41	0,04	6,0
		(B)C	0,21	0,35	0,02	10,5
Arona	Vertisol	(B)	0,26	0,45	0,02	13,0
		B/C	0,31	0,53	---	---
Yaco	S. Marrón	A <sub>p</sub>	0,38	0,65	0,08	4,7
		(B) <sub>Ca</sub>	0,11	0,19	0,03	3,7
		C	0,06	0,10	0,02	3,0
Tapao	S. Marrón	A <sub>p</sub>	0,34	0,58	0,07	4,8
		(B)	0,25	0,43	0,04	6,2
		(B) <sub>Ca</sub>	0,26	0,45	0,05	5,2
		II B <sub>Ca</sub>	0,07	0,12	0,02	3,5
Fasnia	S. Marrón (enterrado)	A <sub>p</sub>	1,16	1,99	0,10	11,6
		(B)	0,03	0,05	0,03	1,0
		C	0,02	0,04	0,02	1,1
Los Olivos	S. Sódico	A <sub>pCa</sub>	0,38	0,66	0,05	7,2
		(B) <sub>Ca</sub>	0,22	0,38	0,03	6,7
		II B	0,06	0,11	0,03	2,2
		III B	0,04	0,08	0,03	1,6

Tabla 4

PH, CAPACIDAD DE CAMBIO, BASES CAMBIABLES Y GRADO DE SATURACION

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	pH		Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	T	S/T (%)	Na <sup>+</sup> /T (%)
			H <sub>2</sub> O	KCl								
Pino 57	S. Pardo ándico	A <sub>11</sub>	5,6	4,5	3,96	0,96	0,34	1,53	6,79	27,09	25,06	— —
		A <sub>12</sub>	6,3	4,6	2,62	0,70	0,30	1,38	5,00	25,04	19,97	— —
		(B)C	6,8	4,8	4,28	1,53	0,40	2,14	8,35	23,81	35,07	— —
Dornajido	S. Pardo modal	A <sub>11</sub>	5,3	4,3	9,03	2,28	0,43	1,48	13,22	39,96	33,08	— —
		A <sub>12</sub>	5,7	4,3	3,37	1,70	0,31	2,32	7,70	24,62	31,27	— —
		(B)	6,9	5,2	8,06	2,96	0,47	3,45	14,94	26,65	56,06	— —
		(B)/C	6,7	5,1	8,42	3,16	0,45	3,34	15,37	27,29	56,32	— —
Trevejo	S. Fersialítico	(B)	6,6	5,4	9,45	4,56	0,75	1,59	16,25	22,90	70,9	— —
		(B)/C	6,7	5,1	9,36	4,14	1,00	1,44	15,94	10,20	83,0	— —
Arona	Vertisol	(B)	8,2	7,6	35,99	24,09	7,31	0,92	68,31	51,60	— —	14,16
		(B)/C	8,6	7,8	56,27	17,71	3,90	0,53	78,41	40,80	— —	9,55
Yaco	S. Marrón	A <sub>p</sub>	8,4	7,3	33,40	16,28	4,65	4,11	58,44	37,17	— —	12,50
		(B) <sub>Ca</sub>	9,3	7,7	41,75	16,11	12,78	2,77	73,41	33,30	— —	38,37
		C	9,1	7,6	16,77	10,74	27,23	4,87	59,52	41,72	— —	65,29
Tapáo	S. Marrón	A <sub>p</sub>	8,7	6,5	21,14	12,01	3,16	2,61	38,92	38,78	— —	8,14
		(B)	8,8	6,9	23,31	17,03	10,52	1,94	52,80	50,53	— —	20,82
		(B) <sub>Ca</sub>	8,8	7,2	25,04	16,73	14,62	1,86	58,25	52,50	— —	27,84
		II B <sub>Ca</sub>	9,8	7,7	43,42	16,11	19,62	9,12	88,27	47,57	— —	41,24
Fasnía	S. Marrón	A <sub>p</sub>	8,3	6,2	11,55	15,22	1,69	3,16	31,62	31,45	— —	5,3
		(B)	9,2	7,4	7,41	13,66	10,35	4,83	36,25	31,05	— —	33,33
		C	8,8	6,6	5,85	13,74	18,50	7,84	45,93	35,85	— —	51,60
Los Olivos	S. Sódico	A <sub>p</sub> Ca	9,0	7,8	— —	13,20	11,90	4,00	— —	36,00	— —	32,20
		(B) <sub>Ca</sub>	8,6	7,9	— —	13,00	19,60	4,70	— —	39,70	— —	49,30
		II B	8,4	7,7	9,93	14,70	26,70	6,30	— —	48,30	— —	55,70
		III B	8,7	7,9	27,70	15,70	23,00	5,80	— —	50,30	— —	49,50

ándico tiene valores elevados de materia orgánica en todo el perfil, mientras que en el suelo pardo modal la disminución en el contenido de materia orgánica es neta, pasando de 18,02% en el horizonte  $A_{11}$  a 0,79% en el horizonte (B).

En los restantes suelos de la secuencia, los porcentajes de materia orgánica son muy bajos, como es característico en estos tipos de suelos. Por otra parte, están modificados por el cultivo y por la erosión superficial. Los valores son siempre inferiores al 1%.

En lo que se refiere a la relación C/N, existe una diferencia muy clara entre los perfiles de altitud y los de la zona baja. Los horizontes superficiales de los perfiles Pino 57 y Dornajido presentan una relación C/N de 14,4 y 10,1, que corresponden a un humus de tipo mull.

En el resto de los perfiles, esta relación es casi siempre inferior a 10, llegando en algunos casos a valores netamente bajos, como en algunos horizontes de los suelos marrones.

### 1.2.2. pH, complejo de cambio, bases cambiables (tabla 4)

Al pasar de los suelos pardos ándicos a los suelos marrones y suelos sódicos, se observa una tendencia muy clara a aumentar el pH, y paralelamente el grado de saturación y la acumulación de sales.

Este aumento de la saturación del complejo de cambio en la zona baja de la secuencia es debido a la concentración de sales, que resultan esencialmente de una insuficiencia pluviométrica en estas zonas áridas de baja altitud, con una intensa evaporación.

Los valores más bajos de pH corresponden a los horizontes más ricos en materia orgánica (horizonte  $A_{11}$  del perfil Pino 57 y Dornajido), los más elevados aparecen en los horizontes  $(B)_{Ca}$  de los suelos marrones, que presentan caracteres de suelos sódicos.

De una manera general, el pH es más bajo en la parte superior de los perfiles, con excepción del perfil Los Olivos.

La diferencia entre el pH en  $H_2O$  y en KCl es superior a la unidad, exceptuando el vertisol y algunos horizontes del suelo sódico. Esta diferencia tiende a aumentar en los suelos marrones donde alcanza valores superiores a 2 unidades. Una acidez de cambio que pone de manifiesto la existencia de arcillas de elevada capacidad de cambio (montmorillonita).

La suma de bases cambiables está en relación inversa con la importancia de la pluviometría y la alteración. Los valores más bajos aparecen en el suelo pardo ándico, aumentando progresivamente en los suelos pardos modales y suelos fersialíticos. En los demás suelos, la saturación es total.

En general, la suma de bases cambiables aumenta al pasar de los horizontes superficiales a los horizontes (B) y (B)/C, con excepción de los horizontes  $A_{11}$  de los perfiles Pino 57 y Dornajido, ligeramente superiores.

Los suelos pardos ándicos y suelos pardos modales, se caracterizan por contener cantidades importantes de  $Ca^{++}$  y porcentajes relativamente pequeños de  $Na^+$ . En los suelos fersialíticos y especialmente en los vertisoles, se observa un aumento considerable del contenido de  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ , y una acumulación relativa de  $Mg^{++}$ . A partir del vertisol, el  $Na^+$  es más importante que el  $K^+$ . En los suelos marrones y suelos sódicos, el contenido de  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  es también importante, sin embargo, en algunos horizontes del perfil, el  $Na^+$  es el elemento principal.

Debe destacarse, que en los suelos marrones el sodio cambiante representa más del 15% de la capacidad de cambio, que implica un carácter alcalino, principalmen-

te en los horizontes profundos. Sin embargo, esta propiedad no se refleja en las características morfológicas. En los suelos sódicos se sobrepasa netamente este valor a lo largo de todo el perfil. Una característica de esa tipología de suelos.

En algunos casos (horizonte C del perfil Arona y  $(B)_{Ca}$  del perfil Yaco), el contenido de  $Ca^{++}$  sobrepasa el valor de la capacidad de cambio, como consecuencia de la existencia de caliza en el perfil.

En el perfil Fasnia, el  $Ca^{++}$  disminuye considerablemente en comparación con los suelos de la misma tipología; el  $Mg^{++}$  baja ligeramente también, y la proporción de  $Na^+$  y  $Mg^{++}$  se hace similar. En este perfil la suma de bases es inferior en valor relativo al resto de los suelos marrones, correspondiente a una alteración menos avanzada.

La capacidad de cambio de los suelos pardos y de los suelos fersialíticos es similar, del orden de 25 meq/100 gr.; índice de una composición mineralógica con predominio de arcillas haloisíticas e ilíticas, respectivamente.

El horizonte  $A_{11}$  del perfil Dornajido, que contiene un porcentaje más importante de materia orgánica y pequeñas proporciones de minerales de arcilla de tipo 2/1, presenta un valor más elevado de capacidad de cambio.

En los vertisoles, suelos marrones y suelos sódicos, con un predominio de arcillas de tipo montmorillonítico, estos valores aumentan considerablemente.

### 1.2.3. $CaCO_3$ , conductividad, sales solubles

Los valores de  $CaCO_3$ , conductividad y sales solubles se indican en la tabla 5.

La acumulación de carbonato se produce únicamente en los suelos situados en la zona baja de la secuencia, como ya habíamos indicado anteriormente.

La diferenciación de carbonatos se presenta bajo forma de nódulos friables en el caso del perfil Yaco, y bajo forma de pseudomicelios en el perfil Tapao. En la base de este último perfil existe un encostramiento calizo friable. Como hemos indicado anteriormente, en la zona baja de las vertientes se observan perfiles complejos formados por diferentes aportes coluviales. Cada aporte ha diferenciado un nuevo suelo que presenta un encostramiento calizo friable o parcialmente endurecido en su base. Este es el caso del perfil Los Olivos. En este perfil se observa una intensa carbonación de los horizontes superficiales, con valores de 18,10% y 17,80% de  $CaCO_3$ . Estos porcentajes disminuyen considerablemente en los suelos enterrados. A partir del horizonte  $B_{Ca}$  se encuentran nódulos de yeso, que son muy abundantes en el horizonte IIIB.

Los suelos marrones alcanzan valores importantes de conductividad en los horizontes profundos, especialmente en los horizontes C (a más de 60 cm. de profundidad), que llegan incluso a valores de 9,7mmhos/cm. a 25° C. Estos suelos están evidentemente afectados por fenómenos de salinidad en profundidad, cuya influencia en la morfología del perfil es muy pequeña.

Ruellan (1971) ha observado fenómenos de salinización y alcalinización en los suelos marrones, que como en nuestro caso, no afectan a la morfología del perfil; esta circunstancia hace que no se les considere como suelos sódicos.

En el perfil Los Olivos, la conductividad aumenta considerablemente alcanzando valores de 19,0mmhos/cm en el horizonte  $B_{Ca}$ . También el contenido en iones solubles es mucho más elevado, especialmente en  $Na^+$  y  $Cl^-$ . Consecuentemente, este perfil sí es clasificado como suelo sódico.

### 1.2.4. análisis total

Los resultados del análisis total, así como las principales relaciones aparecen en



la tabla 6. Los valores, generalmente elevados, de  $\text{SiO}_2$ , del orden de 45%-57%, y los valores medios, relativamente bajos, de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , de un 8% a 14%, indican que estos suelos se han formado sobre materiales fonolíticos, muy abundantes en esta zona. El  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$ , alcanzan igualmente valores importantes.

· Únicamente los horizontes (B) y (B)C del perfil Dornajido, se han desarrollado sobre un material basáltico, como lo evidencian los bajos porcentajes de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  y los más elevados de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y de  $\text{TiO}_2$ . El horizonte  $\text{A}_{11}$  de este perfil presenta también una proporción baja de  $\text{SiO}_2$ , que es sólo aparente, debido a que la pérdida por calcinación (31,2%) corresponde a cantidades importantes de materia orgánica.

La relación molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  en el suelo total, tiende a aumentar ligeramente al pasar de la zona superior a la inferior de la vertiente. Esta variación es mucho más acusada en la fracción inferior a  $2\mu$ , donde la influencia de los minerales primarios es menor.

Por otra parte, en la fracción arcilla (Tabla 7) los valores de la relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  disminuyen frente a los encontrados en el suelo total. Sin embargo, en los suelos predominantemente haloisíticos (Dornajido), estos valores son aún superiores a 2 (oscila entre 2,5 y 2,8), debido a que en la fracción fina se encuentran todavía minerales primarios, principalmente cuarzo y feldespatos, así como algo de montmorillonita (horizonte  $\text{A}_{11}$ ).

Al pasar del suelo total a la fracción arcilla de los perfiles Dornajido y Yaco, aumentan los contenidos de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Este fenómeno es menos acusado en los horizontes superficiales del perfil Dornajido. El comportamiento del  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  es diferente. En el perfil Yaco, los valores se mantienen más o menos constantes, mientras que en el suelo pardo modal disminuyen considerablemente con la profundidad.

Los porcentajes de  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  disminuyen igualmente al pasar a la fracción fina.

Un estudio de las relaciones molares  $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$  en la fracción arcilla, nos indica que el suelo pardo contiene aproximadamente dos veces más hierro que el suelo marrón.

### 1.2.5. granulometría

El análisis granulométrico indica que, a medida que se desciende en la secuencia, aumentan los porcentajes de la fracción inferior a  $2\mu$ , alcanzándose el valor máximo en el vertisol. Paralelamente, los suelos se empobrecen en fracción arena (tabla 8).

En el perfil Fasnía, se observan valores de arcilla inferiores a los encontrados en otros suelos marrones, así como una mayor proporción de fracción arena. Esta circunstancia revela una evolución mucho menos intensa de este perfil.

En algunos casos se encuentran en superficie porcentajes importantes de fracción arena, lo que puede explicarse por fenómenos de erosión superficial o eventualmente por un rejuvenecimiento debido a nuevos aportes.

## 1.3. EVOLUCION DE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS Y FISICO-QUIMICAS.

Un estudio de los datos morfológicos y físico-químicos de los suelos de esta secuencia meridional de Tenerife, pone de manifiesto una diferenciación muy marcada en la evolución de estas características a lo largo de la vertiente.

### 1.3.1. evolución de la morfología

En primer lugar, se observa una evolución de la estructura, especialmente en el

Tabla 6

ANÁLISIS QUÍMICO TOTAL

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR	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	Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Pérdida por calcinación 105° C/ 1000° C	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiC <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.	TiO <sub>2</sub> mol	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Pino 57	S. Pardo ándico	A <sub>11</sub>	46,59	16,69	7,59	3,36	1,39	1,56	0,27	3,60	2,91	17,0	4,74	16,36	18,47	3,67	3,06
		A <sub>12</sub>	47,88	18,31	8,23	3,88	1,49	1,98	0,28	3,81	2,96	12,1	4,44	15,48	16,40	3,45	2,85
		(B)C	50,09	19,57	9,78	5,29	1,60	1,95	0,27	3,41	2,67	7,4	4,34	13,62	12,59	3,29	2,61
Dornajido	S. Pardo modal	A <sub>11</sub>	34,09	15,60	9,25	4,44	1,28	1,49	0,22	1,93	1,68	31,2	3,71	9,80	10,23	2,69	2,13
		A <sub>12</sub>	42,71	20,40	14,53	9,00	1,39	1,30	0,28	2,27	2,02	8,6	3,55	7,81	6,31	2,44	1,76
		(B)	34,12	20,66	21,03	13,28	1,73	1,39	0,22	0,52	0,73	8,3	2,80	4,32	3,42	1,69	1,13
		(B)/C	31,58	21,45	21,84	13,36	1,55	1,09	0,23	0,36	0,67	7,9	2,49	3,85	3,11	1,51	1,02
Trevejo	S. Fersialítico	(B)	51,00	21,10	14,25	5,40	1,52	2,10	0,26	2,76	2,84	5,5	4,30	9,52	12,65	2,96	2,40
		(B)/C	57,60	22,39	8,73	3,90	1,61	2,10	0,23	- -	4,20	6,6	4,37	17,74	19,95	3,51	2,98
Arona	Vertisol	(B)	55,29	20,20	11,10	4,80	2,46	2,55	0,15	2,00	1,50	9,6	4,64	13,33	15,33	3,44	2,81
		(B)/C	48,30	14,02	8,94	4,45	2,44	2,81	0,10	2,57	1,22	13,6	5,86	14,33	14,33	4,16	3,22
Yaco	S. Marrón	A <sub>p</sub>	50,67	16,10	9,41	4,21	2,80	1,82	0,17	2,30	2,60	8,8	5,34	14,32	16,04	3,89	3,13
		(B) <sub>Ca</sub>	50,50	17,47	8,90	4,01	2,68	1,86	0,17	2,84	2,36	9,10	4,91	15,00	16,80	3,70	3,03
		C	49,48	17,88	7,60	3,14	2,52	2,48	0,16	3,61	2,18	7,60	4,69	17,30	21,01	3,69	3,14
Tapao	S. Marrón	A <sub>p</sub>	51,50	16,20	8,87	4,54	2,85	2,86	0,19	2,33	2,47	7,70	5,39	15,45	15,09	3,99	3,16
		(B)	51,09	16,88	8,46	3,96	3,37	2,33	0,16	1,78	2,30	7,72	5,14	16,08	17,16	3,89	3,17
		(B) <sub>Ca</sub>	54,40	15,67	8,36	3,71	3,33	2,53	0,13	2,18	2,45	7,75	5,89	17,32	19,52	4,39	3,59
		IIB <sub>Ca</sub>	50,34	14,84	7,34	3,69	1,79	3,78	0,12	1,60	3,09	9,39	5,76	18,26	18,15	4,38	3,53
Fasnía	S. Marrón	A <sub>p</sub>	44,98	16,51	9,16	4,93	3,15	3,48	0,20	1,80	2,20	9,00	4,62	13,07	12,14	3,42	2,66
		(B)	47,99	16,98	9,97	5,75	3,08	3,23	0,24	2,76	2,32	5,58	4,79	12,80	11,11	3,49	2,66
		C	48,33	16,54	8,53	4,78	3,28	3,56	0,22	2,87	2,38	5,78	4,96	15,07	13,46	3,73	2,92

Tabla 7

ANALISIS QUIMICO TOTAL DE LA FRACCION INFERIOR A 2 $\mu$

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	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 (%)	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	Pérdida por cal- cinación 105° C/ 1000° C *	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
													Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.	TiO <sub>2</sub> mol.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + TiO <sub>2</sub> mol.
Dornajido	S. Pardo modal	A <sub>11</sub>	34,38	20,68	9,26	4,61	2,21	1,54	0,18	0,73	1,08	27,4	2,83	9,86	10,00	2,21	1,81
		A <sub>12</sub>	42,82	27,02	11,06	5,80	1,63	1,78	0,22	0,90	1,11	16,3	2,68	10,31	9,88	2,13	1,75
		(B)	39,22	26,39	12,27	8,28	1,38	1,19	0,08	0,44	0,49	15,1	2,59	8,55	6,31	1,95	1,48
		(B)/C	41,60	27,00	12,12	8,40	1,40	1,51	0,07	0,72	0,65	14,7	2,61	9,20	6,57	2,03	1,55
Yaco	S. Marrón	A <sub>p</sub>	54,60	19,95	9,03	3,44	3,22	2,42	0,12	1,26	2,85	10,0	4,65	16,21	21,11	3,61	3,08
		(B) <sub>Ca</sub>	51,48	21,41	9,77	3,68	3,96	2,09	0,14	0,64	2,22	11,5	4,09	14,03	18,61	3,17	2,71
		C	52,43	19,99	9,72	2,59	3,45	2,07	0,15	1,08	1,66	12,3	4,44	20,76	27,25	3,66	3,22

Tabla 8

GRANULOMETRIA

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	Arcilla $\leq 2\mu$	Limo 2-20 $\mu$	Arena fina 20-200 $\mu$	Arena gruesa 200 $\mu$ - 2000 $\mu$
Pino 57	S. Pardo ándico	A <sub>11</sub>	24,9	19,9	33,9	21,6
		A <sub>12</sub>	23,7	18,7	32,6	21,6
		(B)C	27,6	23,8	24,4	22,2
Dornajido	S. Pardo modal	A <sub>11</sub>	19,5	39,4	26,5	11,5
		A <sub>12</sub>	35,8	24,1	22,8	16,6
		(B)	43,4	29,7	16,4	8,1
		(B)/C	39,6	30,4	14,4	12,1
Trevejo	S. Fersialítico	(B)	54,6	27,7	5,7	8,7
		(B)/C	44,4	28,9	10,4	16,8
Arona	Vertisol	(B)	69,3	14,3	6,8	9,6
Yaco	S. Marrón	A <sub>p</sub>	63,0	20,9	8,9	7,6
		(B) <sub>Ca</sub>	62,5	21,3	7,1	9,4
		C	38,9	16,7	19,8	32,8
Tapao	S. Marrón	A <sub>p</sub>	49,2	30,8	13,6	6,5
		(B)	64,6	21,2	7,2	4,8
		(B) <sub>Ca</sub>	53,7	31,7	8,4	4,7
		II B <sub>Ca</sub>	65,8	26,2	5,3	2,9
Fasnia	S. Marrón	A <sub>p</sub>	40,4	26,8	13,2	18,3
		(B)	33,0	35,5	16,0	18,8
		C	30,0	35,5	11,3	26,0
Los Olivos	S. Sódico	A <sub>pCa</sub>	59,0	28,0	6,5	6,5
		(B) <sub>Ca</sub>	66,0	25,0	5,0	4,0
		II B	60,0	32,5	3,5	4,0
		III B	67,0	27,5	3,0	2,5

horizonte B: los suelos pardos ándicos tienen una estructura masiva y microporosa, poco diferenciada; en los suelos pardos modales aparece una estructura poliédrica bien diferenciada. A continuación, en los suelos fersialíticos se desarrolla una estructura poliédrica o prismática muy diferenciada; los vertisoles tienen la estructura más desarrollada y mejor caracterizada de toda la secuencia (prismática, con caras inclinadas y estriadas muy desarrolladas). En los suelos marrones, la estructura es todavía prismática y poliédrica gruesa, muy neta, a pesar de tener un porcentaje importante de sodio cambiante. Finalmente, en los suelos sódicos la estructura prismática comienza a degradarse tomando forma columnar en la parte superior del horizonte B.

Es de destacar la desaparición del horizonte húmico. Bien diferenciado en los suelos pardos bajo bosque de pino, se reduce a lo largo de la vertiente, como consecuencia de cultivos en terraza o por la aridificación del clima.

Finalmente, el color pasa de un tono oscuro en los suelos pardos, a cromas mucho más vivos en los suelos fersialíticos y suelos marrones.

### 1.3.2. distribución de la materia orgánica

El porcentaje de la materia orgánica en el horizonte húmico superficial es muy importante en los suelos pardos (de 10% a 20% en  $A_{11}$ ), y sus valores decrecen marcadamente a lo largo de la vertiente, en especial, en los suelos marrones y suelos sódicos, donde a menudo se encuentran valores inferiores al 1% (0,8%-1% en  $A_p$ ). La distribución de la materia orgánica en el perfil de los diferentes suelos varía igualmente. En el suelo pardo ándico, la distribución es progresiva; en el suelo pardo modal, disminuye muy rápidamente; mientras que en los suelos marrones y suelos sódicos la disminución es muy poco sensible (isohumismo). La relación Carbono/Nitrógeno muestra una evolución correlativa con el clima a lo largo de la secuencia. Los valores más elevados aparecen en los horizontes  $A_{11}$  y  $A_{12}$  (12-14) del suelo pardo ándico, sometido al clima más húmedo y frío de la secuencia. En el suelo pardo modal y en el suelo fersialítico oscila alrededor de 10. En los suelos marrones y suelos sódicos, situados en la zona inferior de la secuencia, en un clima subárido, esta relación es siempre inferior a 10.

### 1.3.3 evolución de la textura

A medida que se desciende en la secuencia, se observa un aumento progresivo del porcentaje de elementos finos; correspondiente a una argilificación cada vez más intensa, directamente relacionada, más con la edad de los suelos y naturaleza de los materiales, que con las actuales condiciones climáticas. En efecto, los suelos pardos ándicos son más limosos y arenosos, tanto como consecuencia de la erosión, como por aportes volcánicos superficiales recientes. El suelo pardo modal presenta un aumento del contenido de arcilla en el horizonte (B). Los restantes suelos, fersialíticos, vérticos, marrones y sódicos, son muy arcillosos, con excepción de algunos casos particulares de suelos intensamente rejuvenecidos por la erosión, por coluvios, o por una capa de cenizas fonolíticas.

### 1.3.4. evolución de las propiedades químicas y de las acumulaciones salinas

Esta secuencia pone de manifiesto igualmente una evolución en las características químicas. Al pasar de un clima más húmedo, en el caso de los suelos pardos ándicos, a un clima más árido, como es el caso en los suelos sódicos, se observa correlativamente un aumento del pH, que de ácido (5-6) pasa a neutro, y posteriormente a

alcalino (8-9), y paralelamente del grado de saturación en bases cambiables (de 20% pasa a 100%). Al mismo tiempo, se observa una elevación de los valores de la capacidad de cambio catiónica (de 25 a 50 meq/100 gr.), pero de una manera menos progresiva, debido al aumento del porcentaje de arcillas y especialmente de montmorillonitas. Los suelos pardos son ácidos y desaturados en bases. Los suelos fersialíticos son poco ácidos y desaturados en bases. Los vertisoles, suelos marrones y suelos sódicos, son alcalinos y totalmente saturados en bases. Es justamente, en estos suelos de la zona inferior de la secuencia, donde aparecen las acumulaciones salinas: primero de carbonatos en los vertisoles y suelos marrones, y después de carbonatos y yeso en los suelos sódicos. En los vertisoles y suelos marrones el carbonato se diferencia fundamentalmente en la base del horizonte B, mientras que en los suelos sódicos tiende a invadir todo el perfil, al mismo tiempo que se intensifica el contenido de yeso en el horizonte B. Simultáneamente, aumenta la saturación en  $\text{Na}^+$  del complejo de cambio: de menos de 15% en los vertisoles, pasa a 20%-40% en los suelos marrones y sobrepasa el 40% en los suelos sódicos. La conductividad aumenta correlativamente. Es inferior a 7mmhos/cm en los vertisoles y suelos marrones, y oscila entre 10 mmhos/cm y 20 mmhos/cm en los suelos sódicos. En los vertisoles y suelos marrones se encuentran únicamente trazas de sales solubles (sulfatos, y principalmente cloruros). Valores importantes aparecen en los suelos sódicos (1%-2%), pero sin formar eflorescencias netamente visibles.

### 1.3.5. evolución geoquímica

Los valores de la relación Silice/Alúmina de la fracción inferior a  $2\mu$  a lo largo de la secuencia, ponen igualmente de manifiesto una evolución muy bien caracterizada. En el suelo pardo, este valor es del orden de 2,5, en el horizonte B, y de 4 a 4,5 en el suelo marrón. Consecuentemente, la alteración conduce a una desilicificación bastante acusada del material de origen en las condiciones más húmedas, que corresponden a los suelos pardos; por el contrario, este fenómeno disminuye y es prácticamente nulo en los suelos marrones, situados en clima subárido. Los contenidos de óxidos de hierro, aluminio y titanio, son aproximadamente dos veces mayores en los suelos pardos que en los suelos marrones.

## 2. CARACTERISTICAS MINERALOGICAS

### 2.1. NATURALEZA DE LAS ARENAS

Se ha estudiado la composición mineralógica de la fracción arena de los suelos de esta secuencia. Las partículas de diámetro inferior a 0,5 mm. han sido divididas en dos fracciones utilizando bromoformo de densidad 2,9.

#### 2.1.1. fracción densa (Tabla 9)

Las características de la fracción densa son similares en todos los perfiles de la secuencia. Los piroxenos y anfíboles son los minerales transparentes que predominan. La augita es el más representativo de los primeros, en especial la augita basáltica. Se han observado igualmente algunos granos de la variedad augita-titanífera.

En menor proporción se han encontrado otros piroxenos como: egrina, enstatita y diópsido, en el suelo pardo modal.

La hornblenda basáltica es el anfíbol más característico; predomina especialmente en el suelo fersialítico. En el perfil Pino 57 (suelo pardo ándico) aparece algunas veces incluido en el vidrio volcánico.

Tabla 9

MINERALOGIA DE LA FRACCION DENSA

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	OPACOS NATURALES	OPACOS DE ALTERACION	ALTERITAS	MINERALES DENSOS TRANSPARENTES				
						PIROXENOS	ANFIBOLES	TITANITAS	OLIVINO	MICAS
Pino 57	S. Pardo ándico	A <sub>11</sub>	76	3	34	68	19	1	8	4
		A <sub>12</sub>	62	4	33	68	18	—	10	4
		(B)C	61	3	35	70	15	1	11	3
Dornajido	S. Pardo modal	A <sub>11</sub>	205	3	18	75	13	3	5	4
		A <sub>12</sub>	324	1	6	75	14	3	6	2
		(B)/C	471	—	—	77	1	—	20	2
Trevejo	S. Fersialítico	(B)	621	4	5	26	46	10	12	6
		(B)/C	187	8	7	12	29	17	5	37
Yaco	S. Marrón	A <sub>p</sub>	29	2	12	51	36	5	6	2
		(B) <sub>Ca</sub>	48	1	7	61	20	2	11	4
		C	28	—	13	52	32	7	5	2

Tabla 10

**PORCENTAJE DE FRACCION MAGNETICA  
DE LOS MINERALES OPACOS**

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	FRACCION MAGNETICA	FRACCION NO MAGNETICA
Pino 57	S. Pardo ándico	A <sub>11</sub>	31,2	68,8
		A <sub>12</sub>	22,0	77,9
		(B)C	33,5	66,5
Dornajido	S. Pardo modal	A <sub>11</sub>	58,0	41,9
		A <sub>12</sub>	67,9	32,1
		(B)	93,6	6,4
		(B)/C	77,9	22,1
Trevejo	S. Fersialítico	(B)	60,3	39,6
		(B)/C	47,2	52,8
Yaco	S. Marrón	A <sub>p</sub>	35,7	64,3
		(B) <sub>Ca</sub>	25,9	74,0
		C	31,5	68,5
Tapao	S. Marrón	A <sub>p</sub>	31,6	68,4
		(B)	23,2	76,8
		(B) <sub>Ca</sub>	36,2	63,8
		C	22,7	77,3
Fasnia	S. Marrón	A <sub>p</sub>	13,6	86,4
		(B)	23,7	76,3
		C	14,5	85,5

Se han identificado olivinos, especialmente en el horizonte (B)C del perfil Dornajido (suelo pardo modal), y biotitas, en porcentaje importante en el horizonte (B)C del suelo fersialítico; también en el suelo fersialítico es relativamente importante la titanita.

En el suelo pardo ándico se ha observado la presencia de vidrio volcánico con pequeñas inclusiones de minerales transparentes. En este perfil y en el suelo fersialítico se han encontrado trazas de pseudobroquita.

Los opacos naturales son muy importantes en los suelos pardos modales y en los suelos fersialíticos, donde constituyen prácticamente toda la fracción densa de estos perfiles. La magnetita es el mineral principal; la fracción magnética domina sobre la fracción no magnética en estos dos perfiles (tabla 10). Se han encontrado igualmente granos de ilmenita.

La gran abundancia de opacos naturales frente a los minerales transparentes, en el horizonte B del perfil Dornajido, ha impedido dar un porcentaje de ellos.

Los opacos de alteración son muy escasos; se observan hematites y leuco xenos.

### 2.1.2. fracción ligera

a) En la fracción ligera del suelo pardo ándico, abundan los fragmentos de vidrio volcánico, en diferentes grados de alteración y generalmente con inclusiones de minerales transparentes o de opacos naturales. Se observan igualmente muchos feldespatos calcosódicos (principalmente andesina) y feldespatos potásicos (sanidina) en menor proporción.

b) En los dos horizontes superficiales del suelo pardo modal, se encuentran también algunos granos de vidrio volcánico que desaparecen prácticamente en los horizontes profundos. En general, en este perfil presentan un grado mayor de alteración que en el suelo pardo ándico.

En los horizontes (B) y (B)/C se observan casi exclusivamente granos clorotizados y arcillas 2:1 ferríferas. Hay una menor proporción de feldespatos.

c) Por el contrario, la fracción ligera del suelo fersialítico está dominada por feldespatos, tanto potásicos (sanidina) como calcosódicos (andesina). Se observan también algunos granos alterados clorotizados y algunas alteritas o granos no identificables, que corresponden probablemente a feldespatos con diferentes grados de alteración.

d) En los suelos marrones se observan, tanto granos alterados clorotizados y arcillas cloríticas, como feldespatos calcosódicos.

e) En el perfil Los Olivos (suelo sódico) hay una proporción similar de feldespatos calcosódicos (29%-32%) y de feldespatos potásicos (26%-31%). Se encuentran igualmente vidrios volcánicos y arcillas cloríticas.

## 2.2 MINERALOGIA DE ARCILLAS

A continuación se estudiarán los minerales que aparecen en la fracción inferior a  $2\mu$  de los diferentes perfiles.

### 2.2.1. suelo pardo ándico

En este perfil predominan los minerales caoliniticos (haloisita); se observa igualmente, aunque en menor proporción, la presencia de productos amorfos tipo alofana, y arcillas 2/1 (montmorillonita) en los horizontes superiores.

*Diagramas de Rayos X* (fig. 3): Los horizontes  $A_{11}$  y  $A_{12}$  de este perfil presentan prácticamente la misma composición: predominio de metahaloesita (a 7,3 Å). Se ob-

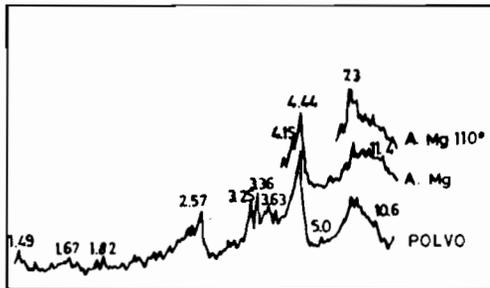
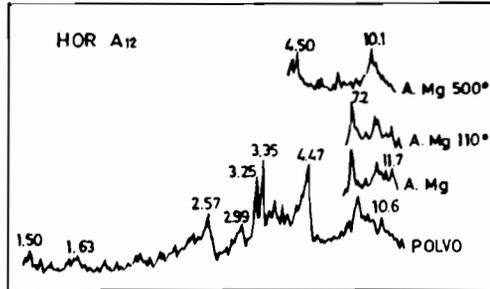
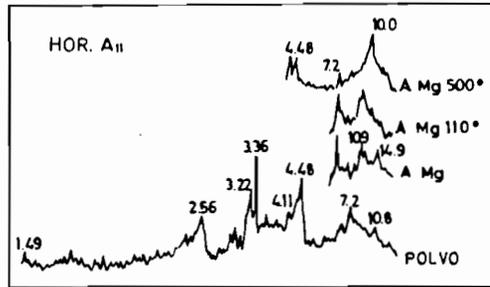


Fig.3.- PERFIL PINO 57 (Suelo Pardo ándico). Diagrama de difracción de rayos X. Fracción <math> < 2 \mu </math>

serva igualmente algo de montmorillonita y trazas de clorita. Abundantes minerales primarios, principalmente cuarzo y feldespatos, así como trazas de anfíboles.

En el horizonte (B)C aumenta la proporción de metahalosita; sin embargo, se encuentra también halosita hidratada (a 10 Å). No se observa la existencia de minerales 2/1. A temperaturas elevadas se aprecian efectos entre 11 y 13 Å, que pueden atribuirse a minerales interstratificados cloríticos. En este horizonte, disminuye notablemente la proporción de feldespatos y cuarzo con relación a los horizontes superiores.

En todo el perfil, se aprecian pequeñas cantidades de illita. Se han observado, relativamente, pocos hematites en los horizontes A<sub>12</sub> y (B)C y algo de goetita en los horizontes A<sub>11</sub> y (B)C.

PINO 57

HOR. A<sub>11</sub> —————  
A<sub>12</sub> - - - - -  
(B) C - · - · - ·

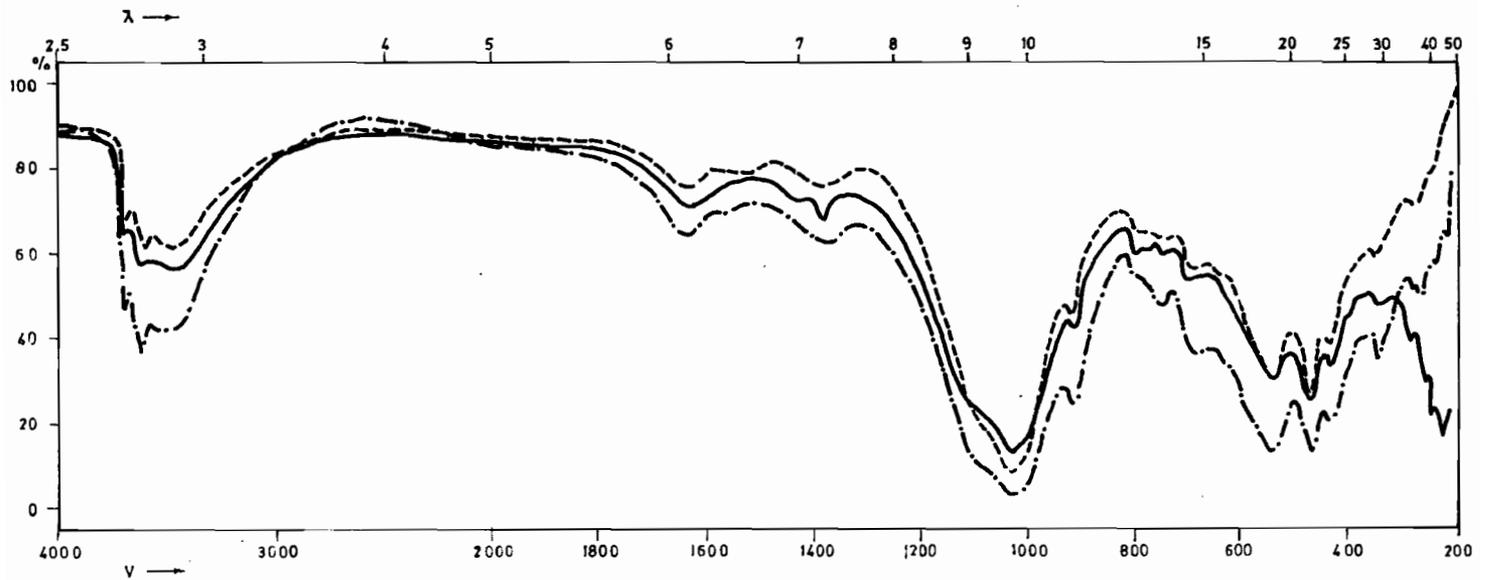


Fig. 4.- Diagramas de espectroscopía infrarroja del suelo pardo ándico

Los espectros de absorción infrarroja (fig. 4) muestran bandas de absorción entre 3.695 y 3.620  $\text{cm}^{-1}$ , que caracterizan las vibraciones de los grupos OH de las arcillas caoliniticas, y cuya forma es típica de la metahalosita. Estas bandas son más intensas en el horizonte (B)C. En este horizonte, la vibración de Al-OH a 910  $\text{cm}^{-1}$ , que caracteriza igualmente a los minerales caoliniticos, es también más aguda. Este hecho confirma las observaciones realizadas por Rayos X, que indican la mayor proporción de material caolinitico en este horizonte profundo.

Las bandas que aparecen a 3.450  $\text{cm}^{-1}$  y 1.640  $\text{cm}^{-1}$ , debidas a vibraciones de deformación del agua interlaminar, nos indican la presencia de halosita hidratada, especialmente en el horizonte (B)C.

La banda principal de los silicatos a 1.030  $\text{cm}^{-1}$ , debida a vibraciones de tensión Si-O, aparece muy claramente.

Existen igualmente bandas a 535, 467 y 430  $\text{cm}^{-1}$ , que indican que los filosilicatos son principalmente aluminicos (dioctaédricos). El doblete 798-778  $\text{cm}^{-1}$ , característico del cuarzo, se encuentra más desarrollado en los horizontes superficiales.

Las observaciones hechas al microscopio electrónico muestran nuevamente el predominio de halosita y la presencia, en pequeña proporción, de productos amorfos tipo alofana. En los dos primeros horizontes se observan también algunas formas de montmorillonita. Trazas de illita se encuentran en todo el perfil.

## 2.2.2. suelo pardo modal

Diagramas de Rayos X (fig. 5). Los minerales caoliniticos predominan en este perfil, principalmente la metahalosita, aunque en proporciones mucho más importantes que en el perfil anterior. Esta arcilla aumenta considerablemente con la profundidad; también se observa algo de halosita hidratada (a 10 Å) en los horizontes (B) y (B)C.

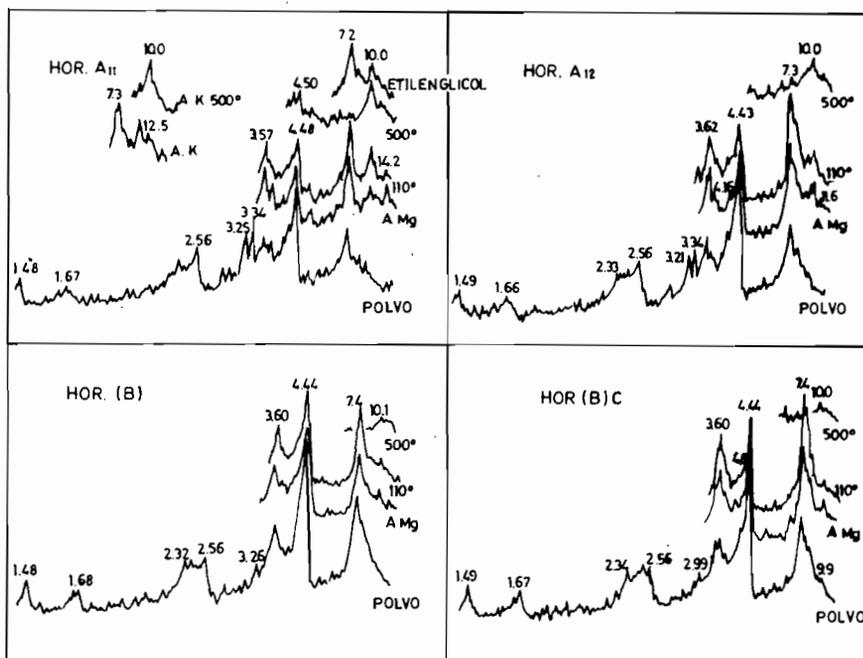


Fig. 5.- PERFIL DORNAJIDO (Suelo Pardo modal) Diagramas de difracción de rayos X. Fracción <math> < 2\mu </math>

# DORNAJIDO

HOR. A<sub>11</sub> —————  
A<sub>12</sub> - - - - -  
(B) - · - - - -  
(BYC) ·······

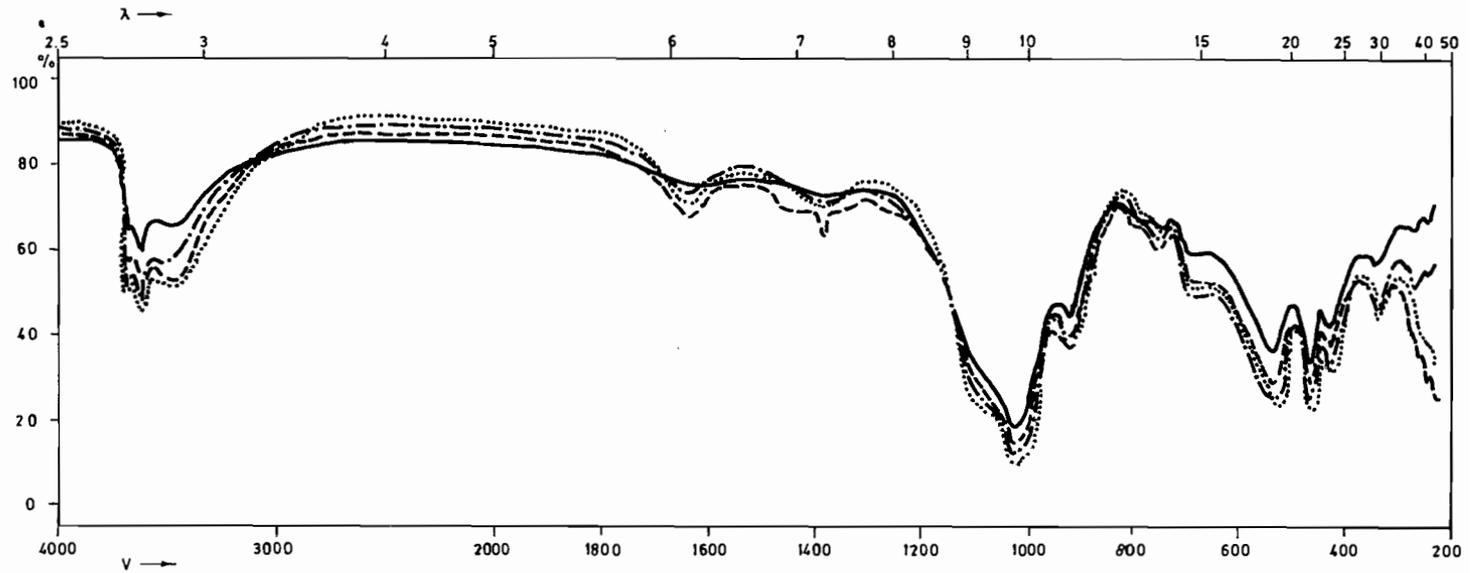


Fig.6.- Diagramas de espectroscopía infrarroja del suelo pardo modal

En el horizonte  $A_{11}$  se aprecia claramente algo de montmorillonita y trazas de caolinita, que no aparecen en los otros horizontes.

En todo el perfil, y especialmente en el horizonte  $A_{11}$ , aparecen pequeñas cantidades de illita y también trazas de minerales interestratificados cloríticos (I-C,M-C).

Son evidentes en el horizonte  $A_{12}$  pequeñas cantidades de goetita fina. En el horizonte  $A_{11}$  únicamente, se encuentran trazas.

Con respecto a los minerales primarios, se encuentran cuarzo y feldespatos en el suelo total del horizonte  $A_{11}$ . La proporción de estos minerales disminuye en el horizonte  $A_{12}$ . Mientras el cuarzo desaparece totalmente en los horizontes profundos, los feldespatos permanecen.

Los *diagramas de espectroscopía infrarroja* confirman netamente el predominio de minerales caoliniticos (principalmente haloisita, y pequeñas proporciones de caolinita). Fig. 6.

Las dos bandas de absorción de los OH de la haloisita, aproximadamente a  $3.695-3.620\text{ cm}^{-1}$ , son muy intensas y más netas que en el perfil anterior. La banda a  $910\text{ cm}^{-1}$  que corresponde a la deformación Al-OH, está muy marcada, al igual que la triple banda a  $535, 467$  y  $430\text{ cm}^{-1}$ . Todo ello evidencia una cantidad importante de arcilla caolinitica netamente cristalizada.

Las bandas a  $3.450\text{ cm}^{-1}$  y  $1.630\text{ cm}^{-1}$  son más pequeñas que en el perfil anterior, e indican un menor grado de hidratación de la haloisita.

El doblete característico del cuarzo a  $798-778\text{ cm}^{-1}$  se observa únicamente en el horizonte  $A_{11}$ .

### 2.2.3. suelo fersialítico

*Diagramas de Rayos X:* En este suelo el mineral de arcilla que predomina es un interestratificado, probablemente de tipo illita-vermiculita, acompañado de minerales caoliniticos (caolinita y metahaloisita).

En el *suelo total* de este perfil, se han observado igualmente abundantes feldespatos. Sus efectos son muy numerosos e intensos y aumentan muy netamente con la profundidad. Por el contrario, el cuarzo, que es muy importante en el horizonte (B), disminuye en el horizonte profundo. Se observa igualmente un efecto a  $10\text{ \AA}$  (haloisita o illita), así como los efectos correspondientes a los minerales caoliniticos. La reflexión a  $2,70\text{ \AA}$  indica la existencia de hematites y una muy pequeña a  $4,16\text{ \AA}$  muestra la presencia de pequeñas proporciones de goetita, en el horizonte (B). Fig. 7.

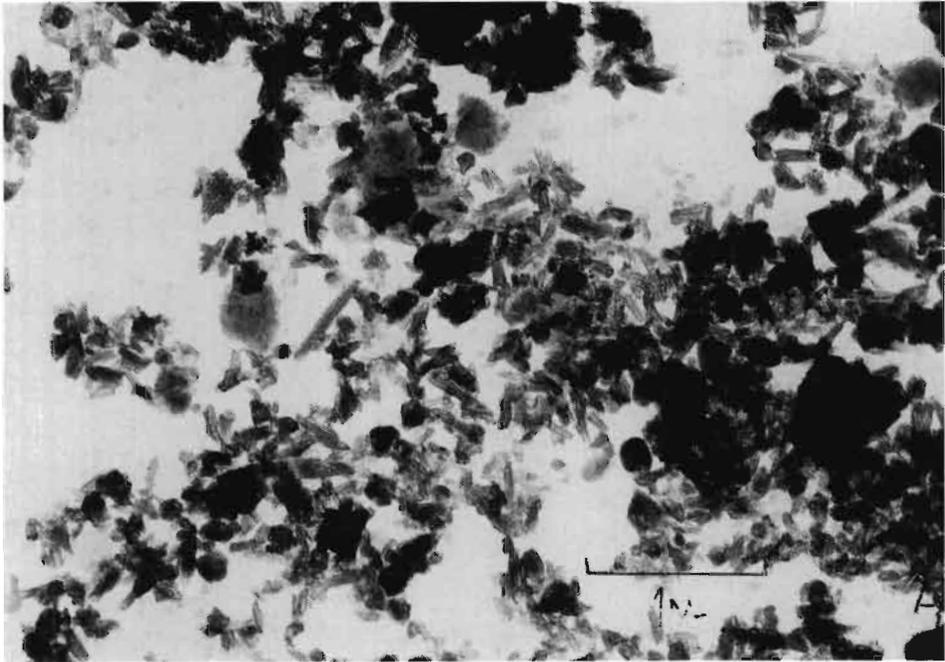
En la *fracción inferior a  $2\mu$*  se observan muy pocos feldespatos, y trazas de cuarzo, únicamente en el horizonte B. En estos diagramas aparecen los efectos a  $10\text{ \AA}$ ,  $4,48\text{ \AA}$ ,  $2,57\text{ \AA}$ , etc., correspondientes a la illita. Sin embargo, el efecto a  $5\text{ \AA}$  no se observa, y la reflexión a  $10\text{ \AA}$  es demasiado ancha para corresponder a la illita clásica. Consecuentemente, nos encontramos en presencia de una «illita abierta». Fig. 8. Los minerales caoliniticos están formados por una mezcla de caolinita desordenada y metahaloisita. No se observan minerales a  $14\text{ \AA}$ .

### 2.2.4. vertisol

*Diagramas de Rayos X:* Este suelo está constituido casi exclusivamente por montmorillonita, mineral característico de los vertisoles. Esta arcilla está bien cristalizada (fig. 9). Se encuentran también pequeñas cantidades de minerales caoliniticos e illita.

---

I - C = Illita-Clorita; M - C = Montmorillonita - Clorita



*Halosites tubulares y glomerulares*

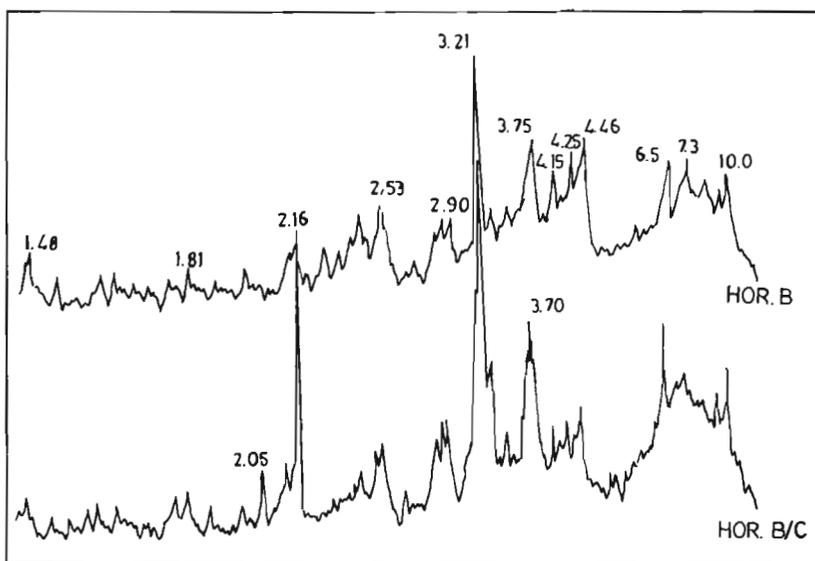


Fig. 7.- P. Trevejo (S. Fersialítico). Diagramas de difraccion de rayos X. Suelo total

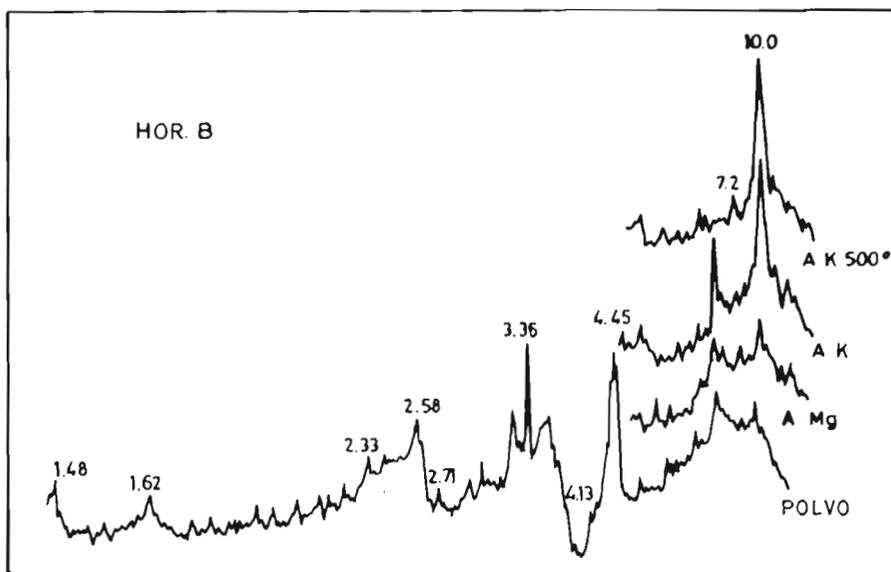


Fig. 8.- PERFIL TREVEJO (S. Fersialítico). Diagramas de rayos X Fraccion  $< 2 \mu$

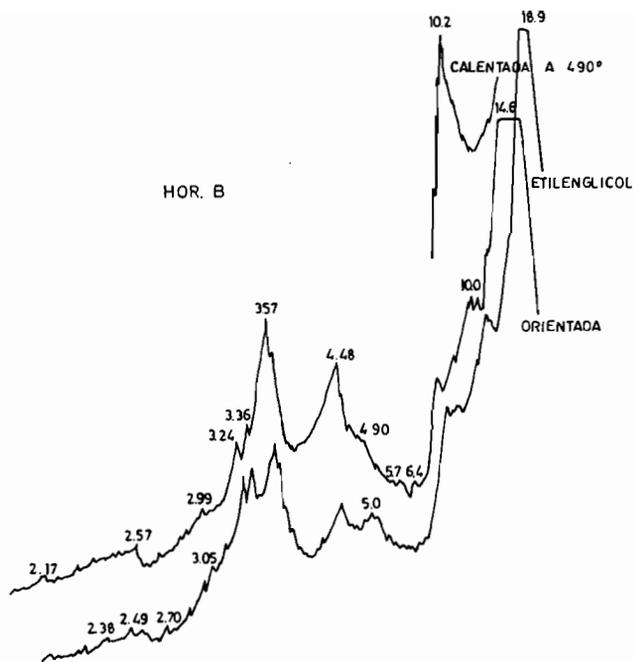


Fig. 9 PERFIL ARONA (Vertisol). Diagramas de difraccion de rayos X.  
Fraccion <math> < 2 \mu </math>

## 2.2.5. suelos marrones

### Perfil YACO

**Diagramas de Rayos X:** Al estudiar los diagramas de Rayos X de la fracción arcilla por el método de Debye-Sherrer, se observan una serie de efectos característicos de minerales dioctaédricos (4,48 Å, 2,56 Å, 1,69 Å, 1,49 Å); sin embargo, no se aprecia un efecto basal neto. Al orientar las muestras se comprueba que las arcillas de tipo montmorillonítico son las que predominan netamente en el suelo. Sin embargo, su comportamiento varía a lo largo del perfil. Así, en los agregados orientados magnésicos, que es donde mejor se observan las reflexiones (001), se encuentra el efecto principal de la montmorillonita a 14,5 Å en el horizonte Ap, mientras que en los horizontes (B)<sub>ca</sub> y C, este efecto aparece alrededor de 16Å, debido a un grado dife-

rente de hidratación, ya que la característica esencial de esta arcilla es la variabilidad de su espacio interfoliar (fig. 10 y 11).

Al tratar las muestras a diferentes temperaturas, se observa un desplazamiento de estos efectos hacia 10 Å. A 500 °C se mantiene además el efecto a 4,50 Å, que corresponde principalmente a la reflexión (002) de la montmorillonita, sin que se observe claramente otro efecto a equidistancias superiores; exceptuando el horizonte (B)<sub>Ca'</sub>, donde se destaca más netamente la aparición de un efecto a 19,6 Å. Al saturar las muestras con potasio, la reflexión principal de la montmorillonita se desplaza a equidistancias más pequeñas (entre 10 y 13 Å).

Los diagramas ponen igualmente de manifiesto la existencia de pequeñas proporciones de minerales caoliniticos (caolinita desordenada y metahalosita).

En los tres horizontes, se detecta la presencia de clorita y de minerales interstratificados, probablemente de tipo M-C. Se observa también la presencia de illita en todo el perfil.

Se observa cuarzo y feldespatos en el horizonte A<sub>p</sub>, únicamente trazas de estos minerales en los restantes horizontes.

Los espectros de absorción infrarroja muestran bandas a 3.695 cm<sup>-1</sup>, 915 cm<sup>-1</sup>, etc., que confirman la presencia de pequeñas cantidades de minerales caoliniticos (fig. 12).

La banda a 3.620 cm<sup>-1</sup>, bien definida en relación con la de 3.675 cm<sup>-1</sup>, corresponde principalmente a las vibraciones de los OH de los minerales de tipo montmorillonítico.

La banda de absorción a 870 cm<sup>-1</sup>, característica de la montmorillonita, es debida a la vibración Al-Fe<sub>3</sub>-OH e indica una arcilla ferrífera.

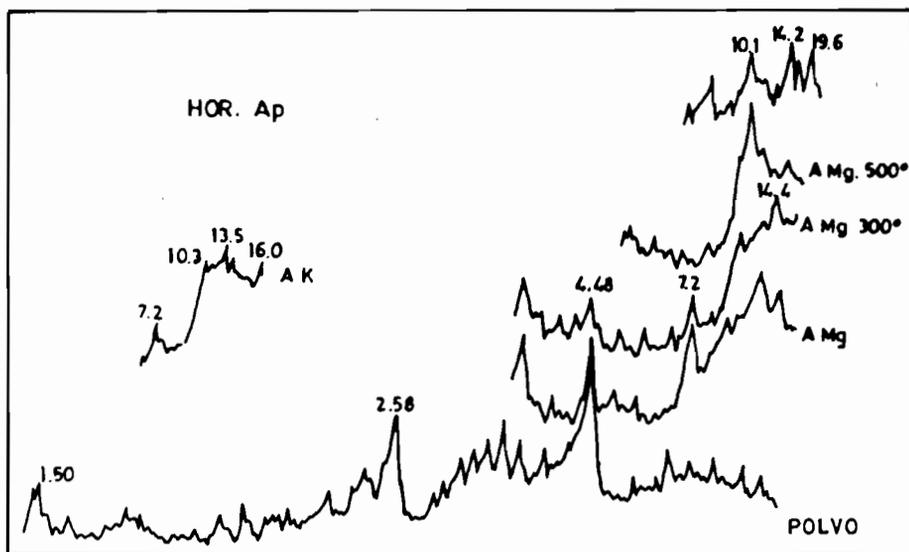


Fig. 10 PERFIL YACO.- (S. Marron). Diagramas de difracción de rayos X. Fracción < 2 μ

\* M-C = Montmorillonita-Clorita

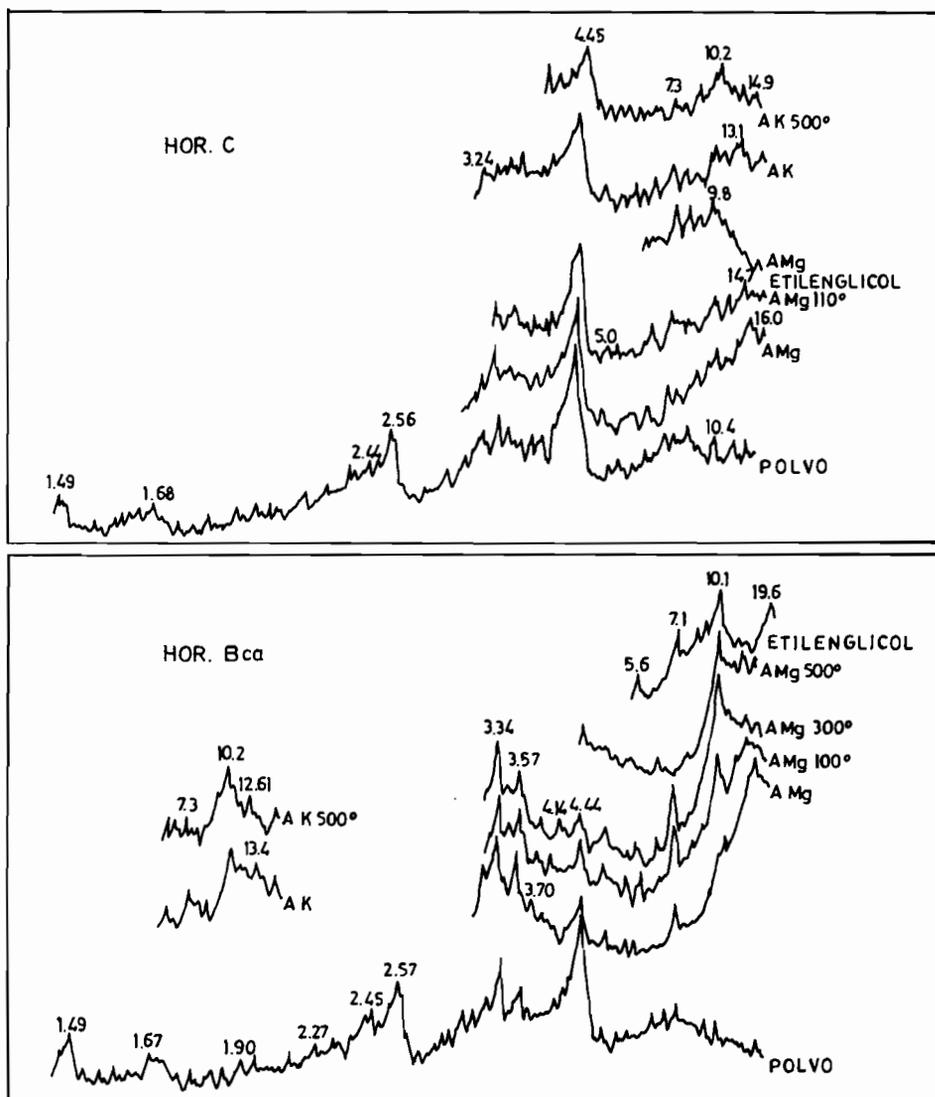


Fig. 11.- PERFIL YACO.- (S. Marrón). Diagramas de difracción de rayos X. Fracción  $< 2\mu$

La banda principal de los silicatos a  $1.030\text{ cm}^{-1}$  tiene tendencia a desdoblarse aproximadamente a  $1.012\text{ cm}^{-1}$ , aunque no de una manera muy pronunciada. Este desdoblamiento probaría la existencia de pequeñas cantidades de caolinita.

Se destacan igualmente bandas a  $3.450\text{ cm}^{-1}$  y  $1.660\text{ cm}^{-1}$ , que corresponden a vibraciones de deformación debidas al agua interlamilar principalmente de la montmorillonita.

El doblete característico del cuarzo es visible en todo el perfil.

# Y A C O

HOR. Ap —————  
(B)Ca - - - - -  
C - · - · - · - ·

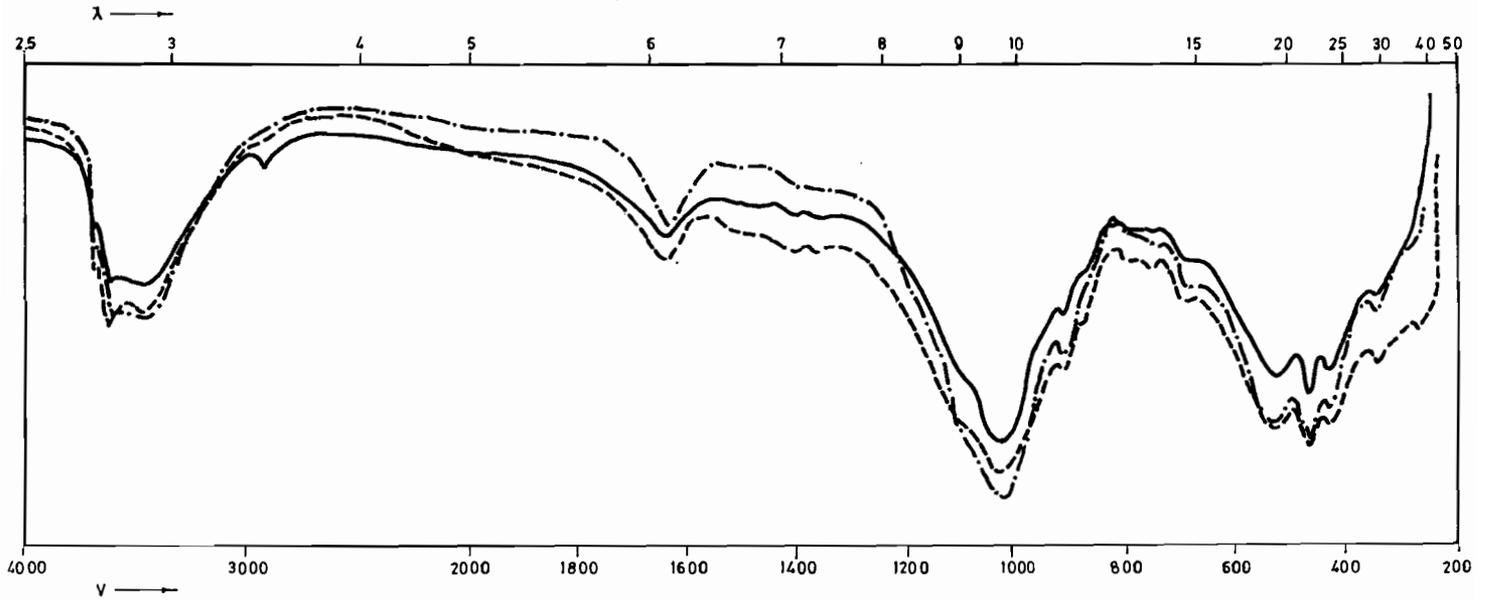


Fig. 12.- Diagramas de espectroscopía infrarroja de un suelo marrón (Yaco)

## Perfil TAPAO

**Diagramas de difracción de Rayos X:** Como en el perfil anterior, predominan claramente las arcillas montmorilloníticas (fig. 13).

En los diagramas de agregados magnésicos, aparece la reflexión principal de esta arcilla aproximadamente a 15,7 Å. Este es el valor dado por diferentes autores, principalmente Hendricks, Alexander, etc., para la equidistancia basal de las montmorillonitas magnésicas hidratadas. Bajo el efecto de la temperatura, se produce un desplazamiento hacia una equidistancia de 10 Å, lo que es característico de este tipo de arcilla. A 500° C el desplazamiento es total, quedando únicamente pequeños efectos entre 11 y 12 Å, que corresponden a minerales interstratificados (M-C). Al tratar los agregados magnésicos con glicerol se produce un desplazamiento del efecto principal de 15,7 Å a 19,6 Å; este desplazamiento es muy neto en los horizontes (B) y (B)<sub>Ca</sub>. En el caso del horizonte IIB<sub>Ca</sub> desaparece el efecto principal, pero no se observa otro a equidistancias superiores.

En el horizonte (B)<sub>Ca</sub>, tanto en los diagramas de polvo desorientado como en los agregados magnésicos orientados, aparece un efecto muy neto a 12,6 Å, que se mantiene después del tratamiento con glicerol. Esta circunstancia nos hace pensar en la existencia de arcillas fibrosas del tipo de la sepiolita (lo que ha sido confirmado posteriormente con el microscopio electrónico).

Además de la montmorillonita, se encuentran pequeñas cantidades de minerales caoliniticos (metahaloisita y caolinita desordenada). En los tres primeros horizontes se trata especialmente de caolinita desordenada (7,1 Å y 3,58 Å); en el horizonte B<sub>Ca</sub> es más neta la presencia de metahaloisita.

En todo el perfil, aparecen las reflexiones características de la illita, ligeramente más netas en los dos primeros horizontes, lo que indica una mayor proporción en superficie de este mineral. Se observa también algo de goetita fina y hematites (4,16 Å y 2,70 Å).

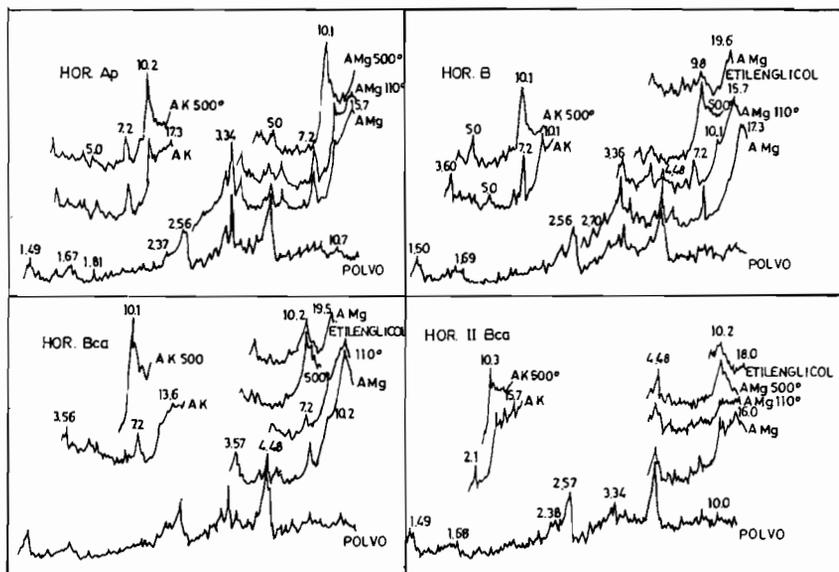


Fig 13.- PERFIL TAPAO. (S. Marrón). Diagramas de difracción de rayos X. Fracción < 2 μ

\* M-C = Montmorillonita-Clorita

Entre los minerales primarios se encuentra cuarzo y feldespatos, que disminuyen con la profundidad, y trazas de anfíboles.

Los espectros de absorción infrarroja presentan las mismas características que en el perfil anterior.

La observación al microscopio electrónico de la fracción arcilla confirma el predominio de montmorillonita. Se destacan, en pequeña proporción, formas de caolinita, bastante mal cristalizada, así como haloisita.

En los horizontes (B)<sub>Ca</sub> y IIB<sub>Ca</sub> se observan algunas formas fibrosas de atapulgita o sepiolita. Estos minerales, aún mal cristalizados en el horizonte (B)<sub>Ca</sub>, están más individualizados, mejor cristalizados y son más abundantes en el horizonte IIB<sub>Ca</sub>.

Se ve también illita, así como algunos cristales de calcita y de cloruro sódico.

**Perfil FASNIA**

**Diagramas de Rayos X:** En este perfil, como en los anteriores, predomina la montmorillonita (a 15,7 Å), aunque en proporciones menores (fig. 14). También se observan arcillas caoliniticas (caolinita y metahaloisita).

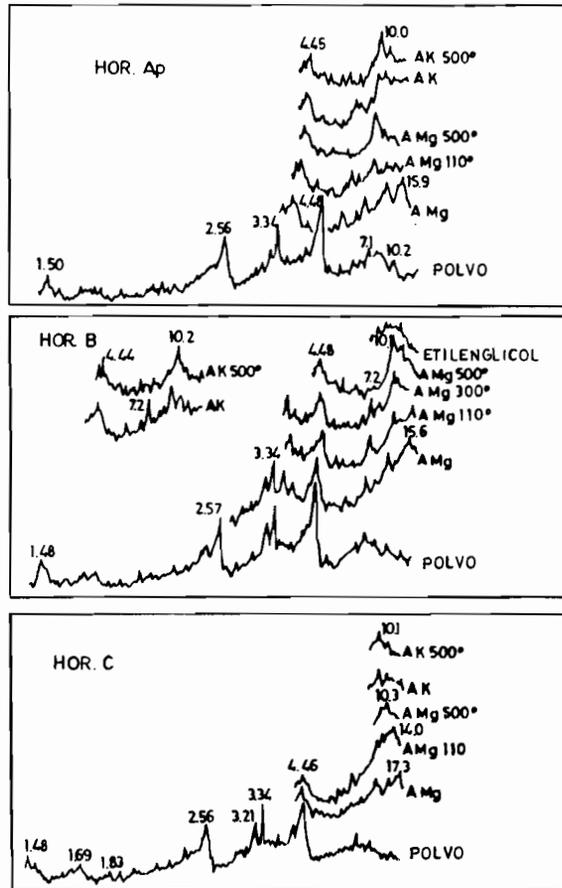


Fig. 14.-PERFIL FASNIA. - (S. Marrón enterrado). Diagramas de rayos X. Fracción < 2 μ

En los diagramas de la fracción arcilla calentados a 500° C, aparece un efecto muy neto a 11,4 Å, que indica la existencia de pequeñas cantidades de minerales interestratificados (M-C o I-C); se observa igualmente en estos diagramas un efecto a 14 Å debido a pequeñas cantidades de clorita.

La proporción de montmorillonita disminuye en el horizonte C, y está mejor caracterizada que en los horizontes superiores. En los agregados potásicos de este horizonte aparece un efecto a 12 Å que se mantiene muy claramente cuando se calienta la muestra a 500° C. Esta circunstancia nos hace pensar en un mineral interestratificado (M-C) o en la existencia de sepiolita, que no se ha observado al microscopio electrónico.

En todo el perfil se observan cantidades pequeñas de illita, así como de goetita, hematites, cuarzo y feldespatos que aparecen en proporciones constantes a lo largo de los diferentes horizontes. Existen también trazas de anfíboles y piroxenos, en el horizonte A<sub>p</sub>.

Los espectros de absorción infrarroja no presentan diferencias con los de los perfiles anteriores.

Las observaciones al microscopio electrónico confirman el predominio de montmorillonita, muy bien cristalizada. La menor proporción de esta arcilla se observa en el horizonte C. Se observan igualmente formas de caolinita desordenada así como de haloisita e illita. No se han encontrado arcillas fibrosas.

#### 2.2.6. suelo sódico

*Diagramas de Rayos X:* En estos suelos, al igual que en los vertisoles y suelos marrones, predomina la montmorillonita.

En los diagramas de polvo desorientado (fig. 15), se observa la presencia constante de illita y de arcillas caoliniticas, trazas de cuarzo y feldespatos. En la parte superior del perfil [A<sub>p</sub> y (B)<sub>Ca</sub>] se encuentran cantidades importantes de calcita. Los diagramas de arcilla orientada (fig. 16 y 17), además de permitir la caracterización de la montmorillonita, sugieren la posible presencia de atapulgita e illita.

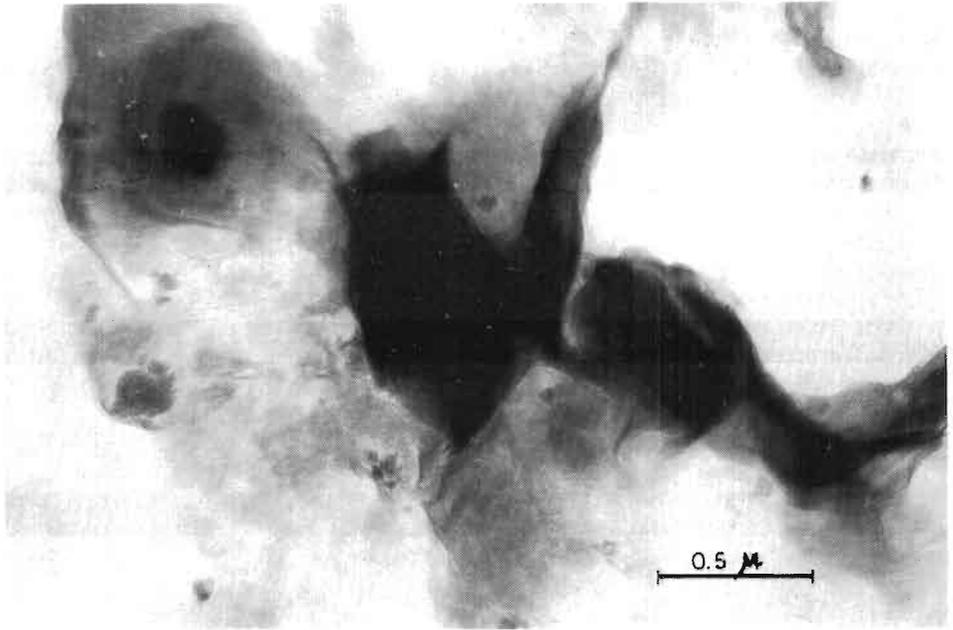
La observación al microscopio electrónico (Rodríguez Hernández C.M., 1976) muestra la presencia neta y abundante de fibras de atapulgita en los horizontes superiores [A<sub>p</sub> y (B)<sub>Ca</sub>]; en el suelo subyacente (IIB y IIIB) sólo se observan trazas de este mineral.

En resumen, la fracción arcilla de este suelo contiene aproximadamente un 60%-70% de montmorillonita, 10%-20% de illita, 5%-6% de caolinita y una cantidad pequeña y variable de atapulgita.

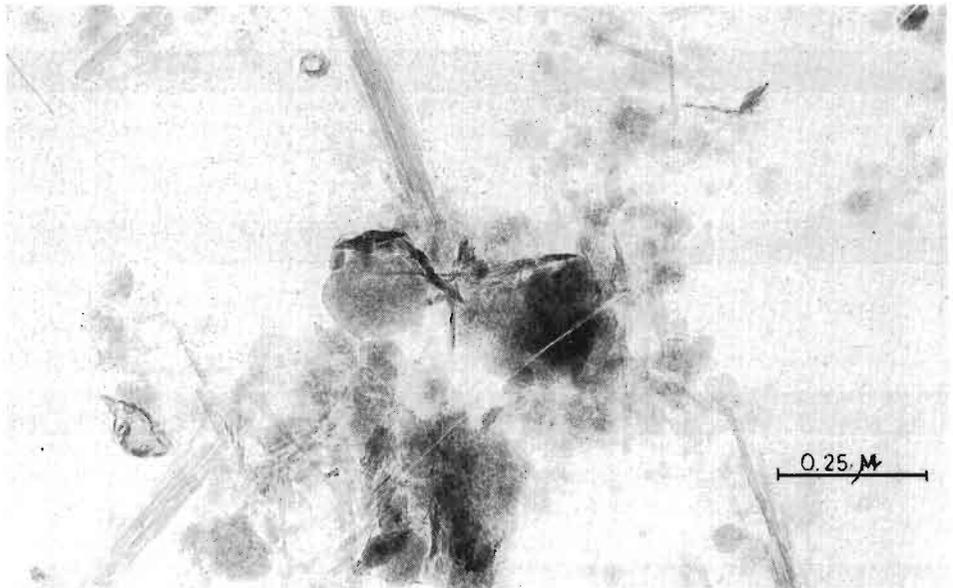
### 3. CARACTERÍSTICAS MICROMORFOLOGICAS

En la tabla 11 se resumen las observaciones micromorfológicas realizadas en algunos de los perfiles estudiados, (Benayas y col., 1979).

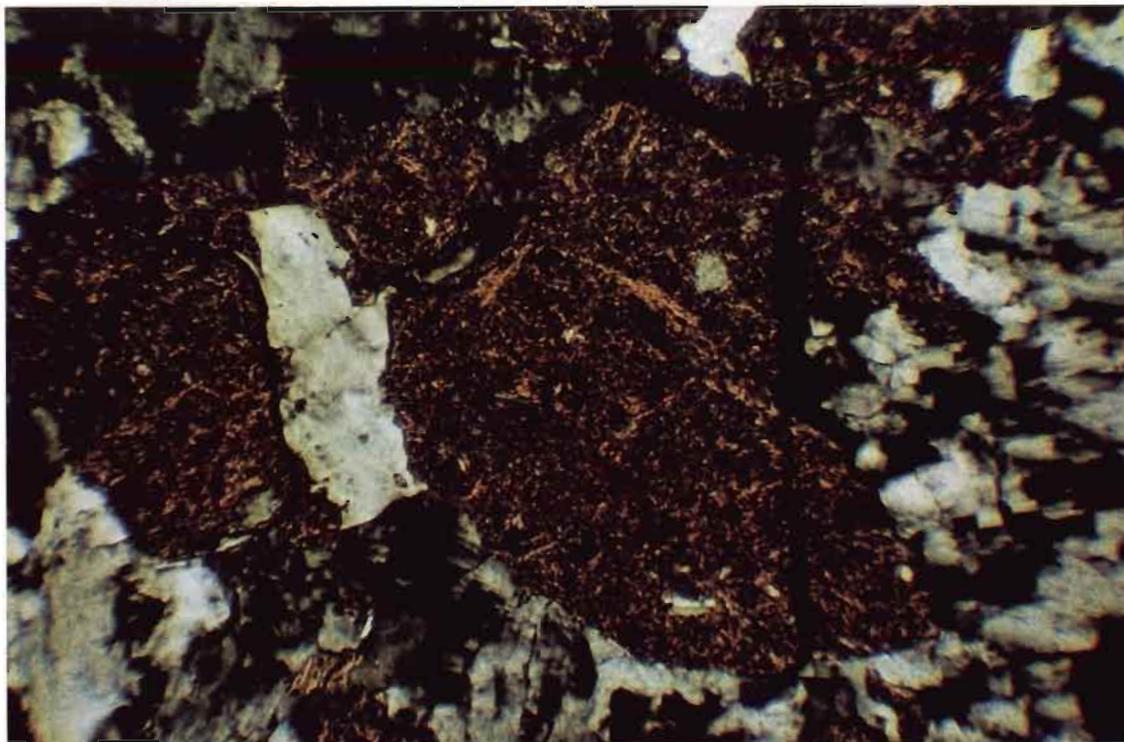
A medida que se desciende en la secuencia, los suelos son más compactos y menos porosos, pasando de una distribución relativa normal de tipo porfírica en los suelos pardos e intergradados plásmicos en el resto de la secuencia. De igual manera, la distribución relativa específica pasa de congélica a aglutinica.



*Montmorillonita*



*Atapulgita*



*Suelo sódico. Macrocristales de yeso entre las grietas*



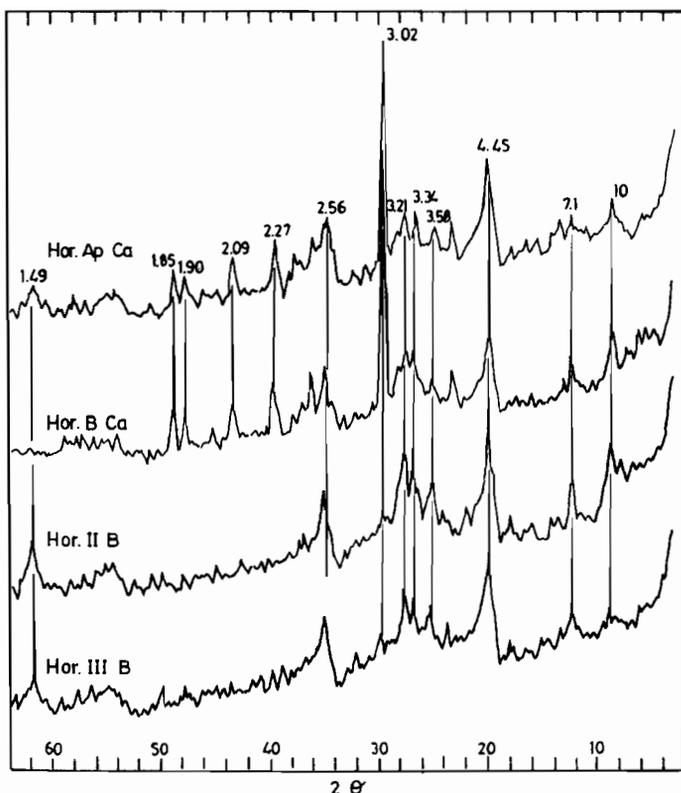


Fig. 15.- Diagramas de Difracción de rayos X, de la fracción  $< 2\mu$  del suelo sodico.

La relación existente entre los elevados valores de materia orgánica y la materia mineral se pone de manifiesto en los suelos situados en la parte superior de la vertiente, por una contextura plásmica isótica. En los restantes perfiles hay un mayor desarrollo de las contexturas plásmicas sépicas, como consecuencia de las presiones a que se encuentran sometidos estos suelos ricos en montmorillonita.

Con relación a la iluviación, es mínima o nula en los suelos pardos ándicos, y manifiesta en los horizontes profundos del suelo pardo modal. Los suelos fersialíticos de esta región presentan siempre menos del 1% de arcilla iluvial. En los vertisoles, dado el movimiento de masa, no se detecta la iluviación. Los suelos marrones presentan trazas de iluviación en todo el perfil; los cutanes se encuentran integrados en el fondo matricial, lo que indica que posterior a la iluviación ha tenido lugar una edafoturbación. Como dijimos anteriormente, las condiciones químicas existentes actualmente en estos suelos, porcentaje importante de  $\text{Ca}^{++}$ , hacen muy difícil la movilización de las arcillas dado su elevado estado de floculación.

Las características micromorfológicas confirman de nuevo una cierta discontinuidad litológica a nivel del horizonte  $A_{12}$  del suelo pardo modal. Este se ha formado a partir del basalto augítico subyacente; sin embargo, la traquita-fonolita que aparece en superficie tiene gran influencia en las características de los horizontes superiores.

Tabla 11

CARACTERÍSTICAS MICROMORFOLÓGICAS

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	MODELOS DE DISTRIBUCION RELATIVA		TEXTURA PLÁSMICA	CUTANES Y NEOCUTANES	NOÓULOS SESQUIÓXIDOS	PAPULAS
			DRN	ORE				
Pino 57	S. Pardo ándico	A <sub>11</sub> A <sub>12</sub> (B)/C	Porfírica Porfírica Porfírica	Congélica Congélica(D) Congélica(D)	Isótica Isótica Isótica	— — — — — —	— — —	R R R
Dornajido	S. Pardo modal	A <sub>11</sub> A <sub>12</sub> (B) (B)/C	Porfírica Porfírica Porfírica Porfírica	Congélica(A) Aglutinica(D) Aglutinica(D)	Isótica(D) Isótica(D) Isótica(D) Isótica(D)	Ferriargilanes vesiculares(R) Ferriargilanes vesiculares(R) Ferriargilanes vesiculares(R) Ferriargilanes vesiculares(F) neosescuanes(F)	— — — —	— — — —
Trevejo	S. Fersialítico	(B) (B)/C	Plásmico-porfírica Porfírica	Aglutinica(A) Aglutinica	Isótica Masépica	— — Ferriargilanes de fisuras	F F	— —
Arona	Vertisol	(B) (B)/C	Porfírico-plásmica Porfírico-plásmica	Aglutinica(A) Aglutinica	Bimasépica, esquelsépica Bimasépica, esquelsépica	de tensión(F) de tensión(D)	F F	— —
Yaco	S. Marrón	A <sub>p</sub> (B) <sub>Ca</sub> C	Porfírico-plásmica Porfírico-plásmica Porfírica	Aglutinica(A) Aglutinica(A)	Masépica Masépica Masépica(F)	— — Ferriargilanes(F), neosescuanes(F) Ferriargilanes(R)	R F D	— — —

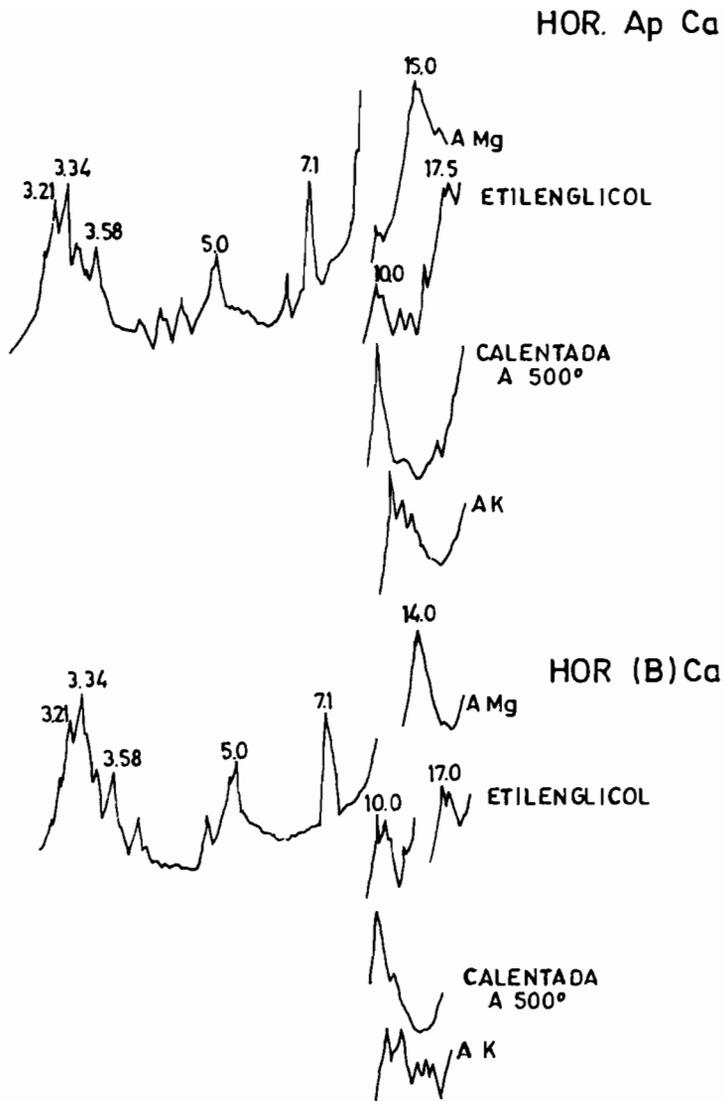


Fig. 16.- Diagramas de rayos X de la fracción  $< 2\mu$  del suelo sodico

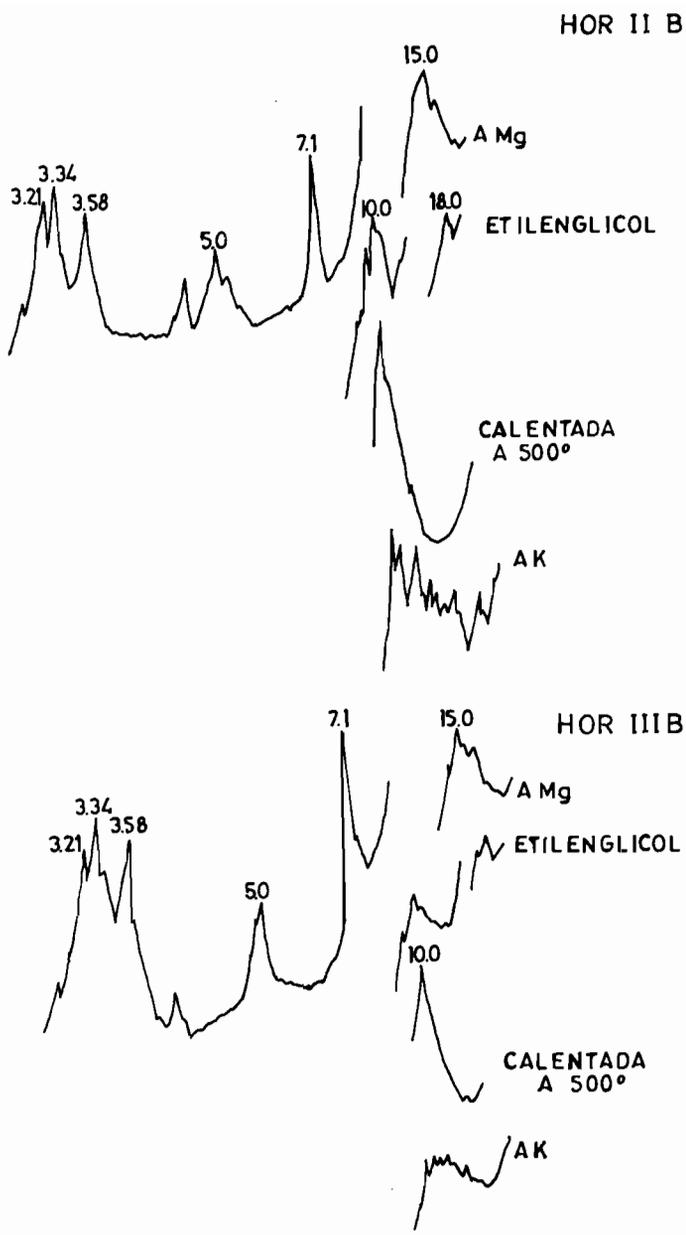


Fig.17.- Diagramas de rayos X de la fracción  $< 2 \mu$  del suelo sodico

## 4. INTERPRETACION GENERAL Y CLASIFICACION

Se compara, a lo largo de la secuencia topográfica, la evolución de las características de los suelos, desde los pardos ándicos, de altura, hasta los suelos sódicos, que ocupan el piso inferior de la secuencia.

### 4.1. SUELO PARDO ANDICO

#### 4.1.1. interpretación

El suelo Pino 57, formado en una vertiente sometida a intensa erosión, tiene un perfil poco diferenciado y poco desarrollado:  $A_{11}$ ,  $A_{12}$ , (B)C. Presenta una estructura masiva en el horizonte (B)C y grumosa fina cerca de la superficie, poco consistente al estado seco.

El ensayo de Fieldes y Perrot es ligeramente positivo en los tres horizontes, debido a la presencia de pequeñas cantidades de material amorfo de tipo alofánico.

En este medio biológicamente activo, el contenido de materia orgánica es elevado, y se incorpora profundamente en el perfil. Esta materia orgánica está íntimamente ligada a la materia mineral, y su estabilidad puede atribuirse a la formación de complejos órgano-alofánicos.

Sin embargo, las diferencias de pH en  $H_2O$  y KCl son superiores a la unidad. Observándose incluso, una diferencia de 2 unidades en el horizonte (B)C, que pone en evidencia el predominio de arcillas bien cristalizadas sobre el material amorfo.

La capacidad de cambio, aproximadamente de 25 meq/100 gr., indica la existencia de una pequeña proporción de productos alofánicos, ya que este valor es ligeramente superior al que tendría el suelo si hubiera únicamente arcillas haloisíticas.

En este perfil, situado en la zona de máxima pluviometría de la secuencia, el complejo de cambio está relativamente desaturado; predominan los iones  $Ca^{++}$  y las concentraciones de  $Na^+$  son bajas. La concentración de ión potasio, procedente de la alteración de la illita y sanidinas, es ligeramente superior a la de  $Na^+$ .

La granulometría, de tipo areno-arcillosa, indica una edafogénesis en curso. Hay abundantes minerales primarios, especialmente en superficie, lo que prueba un cierto rejuvenecimiento.

La alteración es debida a una hidrólisis ácida, en un medio con intenso drenaje, y lleva a la formación de minerales de arcilla, especialmente de tipo 1/1 (haloisita), bien cristalizada. Se observa igualmente algo de montmorillonita en superficie. Se aprecia también material amorfo, en pequeñas proporciones, debido a unas condiciones climáticas contrastadas que favorecen su evolución al estado cristalino. Entre los productos residuales de alteración se distinguen igualmente pequeñas cantidades de goetita y hematites.

Nos encontramos, por tanto, en presencia de un suelo poco diferenciado, en curso de evolución, como consecuencia del carácter reciente del material de origen y de la intensa erosión. Sin embargo, debido a las condiciones climáticas, predomina la metahaloesita como producto secundario, junto a pequeñas cantidades de alofana y montmorillonita.

#### 4.1.2. clasificación

##### *Clasificación francesa*

Las características mineralógicas (predominio de arcillas 1/1 en la fracción fina, además de productos amorfos, de algunos minerales de tipo 2/1 y de pequeñas cantidades de óxidos e hidróxidos de hierro), así como las características físico-

químicas, principalmente la existencia de un humus de intensa actividad biológica de tipo «mull», con una relación C/N aproximadamente de 14, e íntimamente ligado a la materia mineral, nos permiten clasificar este perfil en:

*Clase:* «suelos empardecidos»

*Subclase:* «suelos empardecidos de clima templado»

*Grupo:* «suelos pardos». Pues no se observa desplazamiento de arcilla.

*Subgrupo:* «suelos pardos ándicos». Debido a la presencia de alofana en su complejo de alteración.

Teniendo en cuenta el escaso desarrollo del perfil, y el bajo grado de saturación en bases, habría que añadir: «poco diferenciado, oligotrófico», por lo que en definitiva lo clasificaríamos como:

*«Suelo pardo ándico, poco diferenciado, oligotrófico»*

### *Clasificación americana*

Según las consideraciones anteriores, este suelo pertenecen al orden: «Inceptisol». Una primera alternativa conduce a *Ochrepts* o *Umbrepts*.

1.

*Suborden:* «OCHREPTS». El horizonte úmbrico no tiene el espesor suficiente para incluirlo en los Umbrepts, sin embargo generalmente se encuentra en el límite. Su complejo de cambio está dominado por arcillas cristalinas, y hay más de 5° C de diferencia entre la media de temperatura del verano y del invierno.

La ausencia de datos climáticos, suficientemente precisos, de estas regiones impide establecer una clasificación única a nivel de Gran Grupo. Por consiguiente, indicamos dos alternativas a este nivel de clasificación.

1. Si consideramos que el régimen hídrico es de tipo «xeric»:

*Gran Grupo:* «Xerochrepts»

*Subgrupo:* «Andic Lithic Xerochrepts». Puesto que tiene caracteres ándicos y un contacto lítico a menos de 50 cm. de la superficie.

- Pero si el régimen climático es «ustic»:

*Gran Grupo:* «Ustochrepts»

*Subgrupo:* «Andic Udic Ustochrepts»

2. Sin embargo, el espesor del horizonte úmbrico está en el límite de los Umbrepts y es posible encontrar en esta región perfiles con un epipedón úmbrico de 25 cm.

En este caso habría que clasificarlos en:

*Suborden:* «Umbrepts»

*Gran Grupo:* «Haplumbrepts». Si el suelo no está seco durante 60 días consecutivos, condiciones no probables.

*Subgrupo:* «Andic Lithic Haplumbrepts»

- Pero si el régimen climático fuera más seco, que es probablemente el caso, se les incluiría en:

*Gran Grupo:* «Xerumbrepts»

*Subgrupo:* «Andic Entic Xerumbrepts».

## 4.2. SUELO PARDO MODAL

### 4.2.1. interpretación

A diferencia del suelo pardo ándico, el perfil Dornajido presenta una diferenciación neta, con los siguientes horizontes: A<sub>11</sub>, A<sub>12</sub>, (B), (B)C.

La estructura es grumosa o granular media y presenta una consistencia bastante

fuerte en superficie. El horizonte (B) tiene una estructura poliédrica gruesa y una fuerte cohesión.

La morfología del perfil es la de un suelo pardo modal típico. Está caracterizado por un humus de tipo mull, producto de una intensa actividad biológica, íntimamente ligado a la materia mineral. El horizonte (B) tiene muy poca materia orgánica y un pH débilmente ácido.

La diferencia de pH en  $H_2O$  y en KCl es superior a la unidad, lo que indica la presencia de minerales de arcilla bien cristalizados.

El contenido en bases cambiables es superior al del perfil anterior; el ión  $Ca^{++}$  es el elemento dominante. La capacidad de cambio, alrededor de 25 meq/100 gr., corresponde a la presencia dominante de haloisita. El grado de saturación en bases oscila entre 31%-33% en superficie y 56% en profundidad.

La relación molar  $SiO_2/Al_2O_3$  es más elevada que la correspondiente a un suelo haloisítico, tanto en el suelo total ( $\sim 3$ ) como en la fracción arcilla ( $\sim 2,5$ ); lo que puede explicarse por la existencia de minerales primarios, algunos de pequeño tamaño que pasan a la fracción fina, y trazas de arcillas 2:1.

Los valores de  $Fe_2O_3$  son más importantes en este perfil que los correspondientes al suelo pardo ándico. El análisis químico de la fracción fina pone de manifiesto la importancia de este óxido en los productos secundarios.

El porcentaje elevado de arcillas es índice de un mayor grado de alteración que en el suelo pardo ándico.

La metahaloisita es el principal producto secundario, y está acompañada de pequeñas proporciones de haloisita hidratada, de caolinita y de minerales 2/1 interstratificados. La montmorillonita aparece claramente en el horizonte de superficie y probablemente hay trazas en el resto del perfil.

Se observa también goetita en el horizonte  $A_{12}$  y trazas en el horizonte (B). En todo el perfil se detectan pequeñas cantidades de illita.

Como consecuencia de la posición de este perfil, en la zona superior de la vertiente está sometido a un rejuvenecimiento superficial permanente debido a aportes coluviales de materiales fonolíticos. Este rejuvenecimiento se pone en evidencia por: 1) Los valores del análisis total, más elevados en  $SiO_2$  y alcalinos en los primeros horizontes, y más bajos en  $Fe_2O_3$  y  $TiO_2$ ; 2) la presencia de algo de alofana, observada al microscopio electrónico; 3) la mayor proporción de minerales primarios y la presencia de montmorillonita en superficie.

Las características de este perfil, en un medio biológicamente activo, con un humus de tipo mull, un contenido relativamente elevado de cationes básicos y de hierro y una fracción fina importante, constituida principalmente por metahaloisita, favorecen la formación de un complejo arcilla-humus-hierro, que caracteriza el proceso de «empardecimiento» (Duchaufour, 1968).

Podemos, por tanto, estimar que el perfil Dornajido es un suelo pardo típico, netamente diferenciado, pero con un ligero rejuvenecimiento superficial como consecuencia de la situación de pendiente en que se encuentra.

#### 4.2.2. clasificación

##### *Clasificación francesa*

Teniendo en cuenta que el empardecimiento es el proceso característico de este suelo, habrá que clasificarlo en:

*Clase:* «suelos empardecidos»

*Subclase:* «suelos empardecidos de clima templado»

*Grupo:* «suelos pardos». Ya que no hay desplazamiento de arcilla.

*Subgrupo*: «suelos pardos modales mesotróficos». El pH es superior a 5,5 en el horizonte (B) y el grado de saturación oscila entre 31% y 56%.

Como consecuencia de la contaminación superficial, habría que añadir: «con un cierto rejuvenecimiento superficial por materiales volcánicos». Consecuentemente, el suelo puede ser clasificado como:

*«Suelo pardo modal, mesotrófico, con un cierto rejuvenecimiento superficial por materiales volcánicos».*

#### *Clasificación americana*

Como en el perfil anterior, el epipedón úmbrico es frecuentemente poco profundo, aunque sin embargo, puede a veces estar en el límite requerido para incluirlo en el suborden Umbrepts. Por tanto, hay todavía una primera posible alternativa; entre *Ochrepts* y *Umbrepts*.

1. Si consideramos que el epipedón úmbrico mide menos de 25 cm., habría que incluirlo en:

*Orden*: «Inceptisol»

*Suborden*: «Ochrepts»

A nivel de Gran Grupo tenemos dos alternativas, dependiendo de las condiciones climáticas todavía no muy claras a esta altitud:

- Si consideramos que el régimen hídrico es «xeric»:

*Gran Grupo*: «Xerochrepts»

*Subgrupo*: «Dystric Xerochrepts»

- Si el régimen hídrico es «ustic»:

*Gran Grupo*: «Ustochrepts»

*Subgrupo*: «Udic Ustochrepts»

2. Si el epipedón úmbrico es superior a 25 cm., el perfil lo debemos clasificar en:

*Suborden*: «Umbrepts»

- Si no está seco durante 60 días consecutivos, condiciones no probables.

*Gran Grupo*: «Haplumbrepts»

*Subgrupo*: «Typic Haplumbrepts»

- Pero si el régimen climático fuera más seco, de tipo xeric, condiciones muy probables:

*Gran Grupo*: «Xerumbrepts»

*Subgrupo*: «Typic Xerumbrepts»

### 4.3. SUELO FERSIALITICO

#### 4.3.1. interpretación

El perfil Trevejo se encuentra situado en una zona muy antropizada por cultivos intensivos en terrazas. La superficie de estos suelos suele estar recubierta por cenizas volcánicas (pumíticas), que se utilizan para evitar la evaporación. No se ha tomado el horizonte superficial, por la existencia de esta capa alóctona.

Se trata de un perfil de tipo A<sub>p</sub>, (B), (B)/C, bien diferenciado, situado en una zona prácticamente llana (pendiente ≤ 5%).

El horizonte (B) tiene un color 5 YR 3/4 (pardo rojizo), una textura arcillosa y una estructura prismática bien desarrollada que se vuelve poliédrica gruesa en superficie.

Su morfología corresponde a la de un suelo fersialítico, aunque debemos destacar

que presenta un color menos intenso que los suelos del mismo tipo situados en la región de mayor pluviometría.

El porcentaje de materia orgánica es pequeño y el pH ligeramente ácido y próximo a la neutralidad. Una capacidad de cambio de 22,9 meq/100 gr. en el horizonte (B) y un grado de saturación de 70,9%. Los cationes dominantes en el complejo de cambio son  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ , y en menor proporción  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$ .

La textura arcillosa y el bajo porcentaje de arena nos indican una alteración muy intensa. La argilificación del horizonte (B) es debida principalmente a una alteración *in situ* de los materiales.

La fracción fina está constituida, esencialmente, por un mineral 2:1 interestratificado de tipo illita-vermiculita; y en menor proporción por minerales caoliniticos y sesquióxidos de hierro bajo forma de goetita fina y hematites.

Entre los minerales primarios se encuentra cuarzo y feldespatos.

El mineral de la arcilla dominante en este suelo puede formarse mediante un doble proceso de herencia y degradación. El paso de mica a illita (herencia) se realiza, en medios poco ácidos y biológicamente activos, sin variaciones importantes en la estructura del mineral (Duchaufour, 1968). Sin embargo, la degradación de illita a vermiculita, requiere condiciones elevadas de pluviometría, que favorecen la eliminación del ión  $\text{K}^+$ . En un estudio realizado por Lamouroux, 1971, en los suelos del Líbano, se precisa que esta degradación no se produce cuando las precipitaciones son menores de 1.000 mm. al año.

Si tenemos en cuenta, que el perfil Trevejo, dominado por el complejo illita-vermiculita, está situado en una zona donde la pluviometría actual es de aproximadamente 400 mm. anuales, y que no existen acumulaciones de carbonatos y sales, podemos pensar que este suelo se ha formado en unas condiciones climáticas diferentes de las que existen actualmente. Podríamos, por tanto, considerar a estos suelos como formaciones paleoedáficas.

#### 4.3.2. clasificación

##### *Clasificación francesa*

1. El color rojizo (5 YR 3/4) del horizonte (B), la ausencia de carbonatos en la fracción fina, el elevado grado de saturación, el predominio de minerales arcillosos 2/1 de tipo illita-vermiculita y la presencia de sesquióxidos de hierro, nos permiten clasificar a este perfil en:

*Clase:* «suelos ricos en sesquióxidos»

*Subclase:* «suelos fersialíticos»

*Grupo:* «suelos fersialíticos sin reserva cálcica». Presentan un grado de saturación de 70,9%-83%.

*Subgrupo:* «modal». No tiene acumulación de carbonatos, ni están lavados.

2. En 1971, Lamouroux propuso elevar los suelos fersialíticos al nivel de clase. Si adoptamos su propuesta incluiríamos este perfil en:

*Clase:* «suelos fersialíticos»

*Subclase:* «suelos fersialíticos medianamente desaturados». Ya que su grado de saturación es inferior al 90%, y el pH oscila de 6,6 a 6,7.

*Grupo:* «suelos fersialíticos modificados». Puesto que han sido sometidos a transformaciones antrópicas.

3. Aunque preferiríamos clasificarlo como:

*Clase:* «suelos fersialíticos»

*Subclase:* «débilmente desaturados»

*Grupo:* «rubificados»

*Subgrupo:* «antropizado»

O como ha sido indicado por Rodríguez Rodríguez y col., 1979:

*Clase:* «suelos fersialíticos»

*Subclase:* «saturados»

*Grupo:* «no lavados» (con muy poca o ninguna emigración de arcilla)

*Subgrupo:* «antropizado o modal»

#### *Clasificación americana*

Si tenemos en cuenta que el horizonte (B) no cumple los requisitos para ser considerado como argílico, este perfil debemos incluirlo en:

*Orden:* «inceptisol»

*Suborden:* «Ochrepts»

Considerando que la estación climática de Vilaflor, situada cerca de la localización del perfil, tiene un régimen hídrico de tipo «xeric», podemos clasificar este suelo como:

*Gran Grupo:* «Xerochrepts»

*Subgrupo:* «Typic Xerochrepts»

#### 4.4. VERTISOL

##### 4.4.1. interpretación

El perfil Arona corresponde a un vertisol típico, con un perfil A<sub>p</sub>, (B), (B)/C.

El horizonte (B) con una profundidad de 50-80 cm., presenta una estructura prismática, con caras inclinadas estriadas (slickensides) y grietas de retracción de 1 a 3 cm. debidas a una reducción importante de su volumen por desecación. La textura es arcillosa, muy plástica y adherente en estado húmedo, pero muy dura cuando está seca. Es muy compacto y tiene una porosidad pequeña.

El horizonte (B)/C tiene manchas blancas de CaCO<sub>3</sub>, una textura igualmente arcillosa y una estructura menos desarrollada.

En lo que se refiere a las características físico-químicas y mineralógicas de estos suelos, se observa que el contenido de materia orgánica es relativamente bajo y no existe una relación directa con el color oscuro del suelo. El porcentaje de nitrógeno es muy pequeño, en especial en los horizontes profundos.

La reacción del suelo es alcalina; saturado en bases cambiables; tiene un porcentaje de arcilla muy elevado; y gran riqueza en potasio.

El predominio de arcillas montmorilloníticas, condiciona una capacidad de cambio muy elevada. Contiene pequeñas cantidades de illita y minerales caoliniticos (metahalosita y caolinita).

En las islas Canarias, estos suelos se forman, generalmente, sobre materiales coluviales asociados a determinadas formas del relieve, especialmente de pie de vertiente, y están situados en el piso inferior a los suelos fersialíticos. En la región Sur, los vertisoles se encuentran a una altitud aproximada de 800 mts., mientras que en la vertiente Norte de la isla, aparecen a un nivel más bajo (300/400 m.).

Si tenemos en cuenta las condiciones en las que se forman los vertisoles típicos, que no se corresponden con la climatología actual en esta región, deberíamos pensar que estos suelos se han formado durante periodos de mayor humedad que la actual, con una alternancia de periodos secos y de lluvias intensas. Es ésta la razón por la cual, quizás, podríamos considerarlos, también, como formaciones paleoedáficas.

#### 4.4.2. clasificación

##### *Clasificación francesa*

La estructura prismática, con caras inclinadas y estriadas (slickensides), la presencia de grietas de retracción y el predominio de arcillas 2/1 expansibles, nos permiten clasificar a este suelo en:

*Clase:* «Vertisoles»

*Subclase:* «Vertisoles con drenaje externo posible». Se encuentra sobre pendiente.

*Grupo:* «Vertisol con drenaje externo posible y con estructura angulosa en los 15 cm. superiores».

*Subgrupo:* «Con auto-división al menos en los primeros 20 cm.» (grumosoles).

Consecuentemente, el suelo puede clasificarse como:

*«Vertisol con drenaje externo posible, con estructura angulosa en los 15 cm. superiores, y con auto-división al menos en los primeros 20 cm.»*

##### *Clasificación americana*

Por las mismas consideraciones que acabamos de hacer, habría que incluirlo en:

*Orden:* «Vertisoles»

*Suborden:* «Xererts». Consideramos que la diferencia de temperatura entre la media del verano y del invierno es superior a 5° C

*Gran Grupo:* «Chromoxererts»

*Subgrupo:* «Typic Chromoxererts»

#### 4.5. SUELOS MARRONES

##### 4.5.1. interpretación

Los perfiles Yaco, Tapao y Fasnía pueden ser incluidos dentro del mismo grupo de suelos. El perfil Fasnía, enterrado bajo una gruesa capa de material fonolítico tiene un menor grado de evolución.

Son suelos de perfil A<sub>p</sub>, (B)<sub>Ca</sub>, C, generalmente antropizados y erosionados en superficie.

En lo que se refiere a las características morfológicas, conviene destacar su color rojizo (5 YR 4/4-5, 4/4), especialmente en el horizonte (B), que se acentúa al disminuir la proporción de carbonatos. Este horizonte presenta una estructura prismática o poliédrica gruesa y su textura es arcillosa.

Estos suelos están muy débilmente carbonatados en superficie, y presentan el máximo de diferenciación calcárea en la zona media del perfil, bajo forma de nódulos o de micelios. En la zona profunda del perfil Tapao, aparece una acumulación caliza friable. Es muy frecuente, en esta región, encontrar el basalto cubierto por una película «*rubané*» de carbonato.

La morfología de estos perfiles es característica de los suelos marrones.

El contenido en materia orgánica es muy bajo, inferior al 1% en los horizontes superficiales, con excepción del perfil Fasnía. La relación C/N tiene valores muy bajos, en general inferiores a 10, que puede interpretarse como un índice de una buena actividad biológica, o como consecuencia de una larga evolución sin renovación de las reservas orgánicas. Sin embargo, es preciso mucha precaución al interpretar esta relación, teniendo en cuenta las cantidades tan pequeñas de materia orgánica presente.

El porcentaje de bases cambiables es importante, especialmente, de iones Ca<sup>++</sup> y

Mg<sup>++</sup>. El sodio, que representa más del 15% de la capacidad de cambio, junto a los valores elevados de pH, pone de manifiesto una alcalinización de los suelos, que afecta más a los horizontes profundos que a los superficiales.

La conductividad alcanza valores importantes en los horizontes profundos, C<sub>Ca</sub> (a > 60 cm), sobrepasando los límites indicados para los suelos sódicos, por la influencia principalmente del NaCl.

El origen de esta salinidad puede ser debido, por una parte a la alteración del material superficial, principalmente de tipo fonolítico, rico por tanto en Na<sup>+</sup> y K<sup>+</sup>, y por otra, a la influencia marina, puesta de manifiesto por la correlación observada entre los valores de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>.

Vemos por tanto, que estos suelos están afectados por fenómenos de alcalinización y salinización, especialmente en profundidad. Por esta circunstancia, podíamos en principio haberlos considerado como suelos halomorfos; sin embargo, la morfología del perfil, que no refleja estos fenómenos, impide tal clasificación.

Ruellan, al estudiar los suelos de Marruecos (1971), describe perfiles típicamente halomorfos, en los que la salinidad y alcalinidad afectan francamente a la morfología; sin embargo, encuentra igualmente suelos, que a pesar de estar afectados por una cierta alcalinización y salinización, no lo manifiestan en sus características morfológicas; y por esta razón, no los considera como suelos halomorfos. Boulaine (1957) encuentra también valores similares de sales solubles en suelos de este tipo.

La relación SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, tiene valores próximos a 5 en el suelo total, y disminuye aproximadamente a 4 en la fracción arcilla, valor característico de los minerales de tipo montmorillonítico.

Morfológicamente no se observan revestimientos de arcilla en el horizonte B. El estado altamente floculado de las arcillas, como consecuencia de una elevada concentración de iones Ca<sup>++</sup> en el medio, hace muy difícil su emigración vertical, especialmente en una zona de baja pluviometría.

El estudio mineralógico de los suelos marrones, nos indica un predominio de montmorillonita, acompañada de muy pequeñas proporciones de minerales caoliniticos (caolinita y metahalosita) y en algunos casos clorita, goetita fina y hematites.

Debemos destacar la presencia de pequeñas cantidades de minerales fibrosos, de tipo atapulgita-sepiolita, en los horizontes más carbonatados. Con un origen evidente de neoformación, teniendo en cuenta la naturaleza volcánica de los materiales.

Minerales primarios, como cuarzo y feldespatos, se observan especialmente en los horizontes de superficie. En todo el perfil se detecta la presencia de illita.

Erupciones volcánicas antiguas, fosilizan algunos de estos suelos, lo que nos indica la gran antigüedad de su formación, que por otra parte se ha confirmado mediante la datación de nódulos calizos. Para uno de estos suelos enterrados, la utilización de esta técnica, nos ha permitido atribuirle una edad de aproximadamente 19.000 ± 400 años (Delibras, 1976).

Por otra parte, si tenemos en cuenta las condiciones climáticas necesarias para la formación de estos suelos y la diferenciación caliza observada actualmente, hemos de pensar que se han formado en condiciones climáticas diferentes, con una pluviometría más importante que en la actualidad.

Podríamos, por tanto, considerar que las actuales condiciones climáticas, más áridas, son responsables de la alcalinización que se observa en estos suelos.

#### 4.5.2. clasificación

##### *Clasificación francesa*

Estos suelos presentan las características siguientes: complejo saturado (espe-

cialmente en Ca<sup>++</sup>); contenidos muy bajos de materia orgánica; porcentaje importante de arcilla, principalmente de neoformación; horizonte de acumulación caliza en la zona media e inferior del perfil; poca carbonatación de los horizontes superficiales; estructura granular y friable en superficie, poliédrica o prismática en profundidad. Además, como los fenómenos de salinización y alcalinización no afectan la morfología del perfil y la conductividad es < 7 mmhos/cm en el solum, podemos clasificarlos en:

*Clase:* «Suelos isohúmicos»

*Subclase:* «Suelos isohúmicos de clima cálido»

*Grupo:* «Suelos marrones»

*Subgrupos:* «Suelos marrones débilmente salinos o alcalinos»

### *Clasificación americana*

#### Perfiles TAPAO, YACO

Si tenemos en cuenta que es mínimo el fenómeno de lavado de arcilla en estos suelos, la gran proporción encontrada en el horizonte (B) es debida principalmente a un proceso de neoformación. No podemos considerar a este horizonte consecuentemente como «argílico», sino como un horizonte «cámbico».

Podemos, por tanto, clasificarlos en:

*Orden:* «Aridisoles»

*Suborden:* «Orthids»

*Gran Grupo:* «Camborthids»

*Subgrupo:* «entre Typic y Anthropic Camborthids», en el límite con «Natric Camborthids»

#### Perfil FASNIA

Si tenemos en cuenta que este perfil presenta un horizonte humífero superficial con un contenido en materia orgánica superior al 1% y un S/T superior al 50%, habría que clasificarlo en:

*Orden:* «Molisoles»

*Suborden:* «Ustoll»

*Gran Grupo:* «Haplustoll»

*Subgrupo:* «entre Typic y Lithic Haplustoll», según el espesor

Pero si consideramos que este perfil es probablemente una excepción, ya que como consecuencia de la intensa erosión, los valores de materia orgánica son habitualmente inferiores al 1% y el epipedón es en general menor de 18 cm.; habría que incluir la mayoría de los perfiles de esta región en:

*Orden:* «Aridisol»

*Suborden:* «Orthids»

*Gran Grupo:* «Camborthids»

*Subgrupo:* «Ustollic Camborthids»

## 4.6. SUELOS SODICOS

### 4.6.1. interpretación

El perfil Los Olivos, situado en la zona climática más árida de la secuencia, es un perfil complejo formado por la superposición coluvial de varios suelos, con diferenciación sucesiva de carbonato y yeso.

Comienzan a observarse nódulos de yeso en el horizonte IIB, que aumentan con la profundidad.

Como carácter morfológico, debemos destacar la presencia de una estructura columnar, aunque poco desarrollada, en la parte superior del horizonte B, estructura que caracteriza a los suelos sódicos.

El pH es importante en todo el perfil, en especial en el horizonte de superficie (9,0). La capacidad de cambio oscila entre 36,8 y 50,3 meq/100 gr., que corresponde a un predominio de arcillas montmorilloníticas; los valores más bajos del suelo superficial son debidos a un mayor porcentaje de carbonato. Las cantidades de  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$  cambiables son importantes; sin embargo, conviene destacar la importante saturación en  $\text{Na}^+$  del complejo de cambio ( $\text{Na}^+/\text{T}$  de 20% a 40%), que en este caso afecta ya débilmente a la morfología del perfil.

El porcentaje de  $\text{CaCO}_3$  es muy elevado en el suelo superficial, y disminuye considerablemente en el suelo profundo.

Los valores de conductividad (10-20 mmhos/cm) y sales solubles (1%-2%), ricas en iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  principalmente, son netamente superiores a los observados en el grupo de suelos precedentes, e indican ya una neta salinización del suelo; sin embargo, hay algo menos de 2 gr. de sales solubles y la conductividad es inferior a 20 mmhos/cm. Si exceptuamos el horizonte superficial, los valores de conductividad sobrepasan netamente los límites inferiores indicados en las diversas clasificaciones para los suelos sódicos.

Los valores importantes de fracción arcilla y bajos de fracción arena, prueban una intensa alteración del material de origen. Se observa un cierto aumento del porcentaje de arcilla al pasar del horizonte  $A_{pCa}$  al horizonte  $(B)_{Ca}$ ; sin embargo, el estudio micromorfológico no ha puesto de manifiesto ningún indicio de iluviación (Fernández Caldas y col., 1977). No se trata por tanto de un horizonte argílico.

En la fracción arcilla predomina la montmorillonita, asociada a pequeñas cantidades de minerales caolíníticos (caolinita y metahalosita) y de illita.

Se han encontrado también minerales fibrosos de tipo atapulgita-sepiolita, en mayor proporción que en los suelos marrones, principalmente en el suelo superficial más reciente. Su proporción disminuye en el horizonte IIB, y prácticamente no quedan sino trazas en el suelo más antiguo.

En un trabajo anterior (Quantin y col., 1976), se ha indicado que la presencia de atapulgita es debida a un proceso de neoformación, ligado no solamente a la existencia importante de  $\text{CaCO}_3$  (Ruellan, 1971), sino a un contenido elevado de  $\text{Na}^+$ .

Las acumulaciones de  $\text{CaCO}_3$  han debido formarse a partir de la alteración de los materiales *in situ* y de posibles contribuciones de lavado lateral, en condiciones de clima probablemente más húmedo que el clima actual, alternando con estaciones secas.

El hecho de que se encuentre una proporción menor de atapulgita en los suelos enterrados, junto con una cantidad más pequeña de carbonato en su horizonte B, indica igualmente que se han formado en condiciones climáticas más húmedas que el suelo superficial. Por otra parte, la acumulación de carbonatos, que se observa en el suelo superficial, nos permite pensar que éste se ha formado igualmente en condiciones más húmedas que las actuales, y que posteriormente, ha estado sometido a una mayor aridez climática. Este es el motivo por el que podemos considerar que la elevada concentración de sales en el suelo es un proceso secundario actual.

Las dataciones realizadas en las acumulaciones calizas indican una edad de  $22.200 \pm 600$ , para las más superficiales, de aproximadamente 31.000 años para la segunda y 33.000 años o probablemente más para la tercera; lo que confirma, por otra parte, la antigüedad de estos suelos (Delibras, 1976).

#### 4.6.2. Clasificación

##### *Clasificación francesa*

Considerando el elevado contenido de sales, que se traduce por una conductividad superior a 7 mmhos/cm en la mayor parte del perfil, salvo en el horizonte  $A_p$ , y la saturación del complejo de cambio en  $Na^+$ , superior al 15%, que afecta ya la morfología del perfil, debemos clasificar a este suelo en:

*Clase:* «Suelos sódicos»

*Subclase:* «Suelos sódicos con estructura degradada»: La presencia de  $Na^+$  cambiante en el perfil es importante.

*Grupo:* «Suelos salinos-alcálinos». El ión  $Na^+$  ocupa más del 10% de la capacidad de cambio; estos suelos son bastante ricos en sales solubles.

*Subgrupo:* «Salino-alcálico», con estructura friable en superficie. Sería conveniente precisar: con acumulación de carbonato y de yeso.

##### *Clasificación americana*

Al igual que para los suelos marrones, no podemos considerar el horizonte (B) como horizonte argílico, ya que no hay lavado de arcilla, y además, el contenido elevado de arcilla en el horizonte (B) es debido a un proceso de neoformación. Debemos, por tanto, clasificar a este perfil en:

*Orden:* «Aridisoles»

*Suborden:* «Orthids»

*Gran Grupo:* «Calciorthids», puesto que hay un horizonte cálcico.

Proponemos un nuevo subgrupo:

*Subgrupo:* «Natric Calciorthids», debido a la presencia en el perfil de una relación  $Na^+/T$  muy superior al 15%, y una conductividad elevada (12-20 mmhos/cm) en los horizontes (B).

## 5. CONCLUSION GENERAL DE LA SECUENCIA DE SUELOS DE LA VERTIENTE SUR

En esta secuencia formada sobre materiales volcánicos, principalmente basálticos en profundidad y materiales piroclásticos fonolíticos en superficie, se ha observado que el clima es el factor responsable de la diferencia altitudinal.

Se destacan en esta climatosecuencia dos zonas perfectamente diferenciadas, en cuanto a las características físico-químicas y a los productos de alteración: una zona superior, de reacción ácida, que comprende los suelos pardos ándicos, suelos pardos modales y suelos fersialíticos, constituidos esencialmente por arcillas de neoformación, haloisíticas y arcillas de transformación derivadas de ilitas (I-V e I-M). Y una zona inferior, constituida por vertisoles, suelos marrones y suelos sódicos, donde son las montmorillonitas de neoformación las que predominan, y únicamente hay pequeñas cantidades de haloisita, caolinita e ilita.

Por otra parte, conviene destacar que la formación de los suelos fersialíticos, vertisoles y suelos marrones exige unas condiciones climáticas que no corresponden probablemente a las condiciones actuales, demasiado áridas; lo que nos hace pensar que su formación ha debido producirse en periodos de mayor contraste climáti-

---

*\*Pero es preciso destacar, que la estructura está muy poco degradada en (B)<sub>Ca</sub> y que no hay indicios de movimiento de arcillas; consecuencia de la abundancia de  $CaCO_3$ . Sería necesario, por tanto, reconsiderar esta clasificación.*

co y especialmente de mayor pluviometría, durante los periodos pluviales del Cuaternario. Sin embargo, los suelos pardos ándicos, suelos pardos modales y suelos sódicos corresponden mejor a las actuales condiciones de formación.

La aridez actual del clima, con una intensa evaporación que favorece la concentración de elementos alcalinos y alcalinotérreos, ha contribuido a que los suelos marrones evolucionen hacia suelos sódicos. Estos ocupan zonas bastante extensas, por debajo de los 300 m. de altitud en toda la región Sur de Tenerife.

Sería interesante comparar los suelos de esta climatosecuencia del Sur de Tenerife sobre roca volcánica, con los suelos formados en condiciones climáticas análogas, pero sobre rocas sedimentarias, en Africa del Norte y en el Medio Oriente, a lo largo de la cuenca mediterránea.

## IV. SECUENCIA CLIMATICA DE SUELOS RECIENTES DE LA REGION SEPTENTRIONAL

### A. CARACTERISTICAS ECOLOGICAS DE LA VERTIENTE NORTE

#### 1. CLIMA

En la vertiente Norte y Nordeste de Tenerife, las condiciones climáticas, como ya habíamos indicado, son diferentes a las de la vertiente meridional. La humedad ambiente y la pluviometría son más elevadas, determinando una influencia muy acusada en la vegetación y en las características de los suelos, que contrasta con la región Sur.

El clima de esta vertiente está muy influenciado por los vientos alisios del Nordeste, que chocan en su desplazamiento con las masas insulares, remontándose por las laderas y enfriándose progresivamente hasta que se produce una condensación adiabática de su humedad, dando lugar a las formaciones de nubes en las regiones que abarcan las cotas comprendidas entre 750 m. y 1500 m., aproximadamente, ascendiendo ocasionalmente hasta los 1.800 m. La existencia de una zona de inversión térmica producida por el contraalivio ecuatorial, impide que esta zona de condensación de humedad o zona de nieblas se extienda a cotas superiores.

Los vientos fríos del Norte, que llegan a las islas en los meses de invierno, al establecerse sobre el Atlántico regímenes ciclónicos en esta estación, producen lluvias abundantes en esta vertiente y provocan igualmente precipitaciones en forma de nieve en las regiones alpinas.

En la figura 18, se indica la situación de los suelos más característicos\* de esta secuencia, en función de la altitud y pluviometría. Se observa una pluviometría de alrededor de 1.000 mm. en la región de las nubes; sin embargo, hay que tener también muy en cuenta en esta zona, la importancia de las precipitaciones ocultas por condensación. La falta de datos precisos da lugar a opiniones muy controvertidas, es-

---

\* Los suelos derivados de materiales antiguos aparecen entre paréntesis.

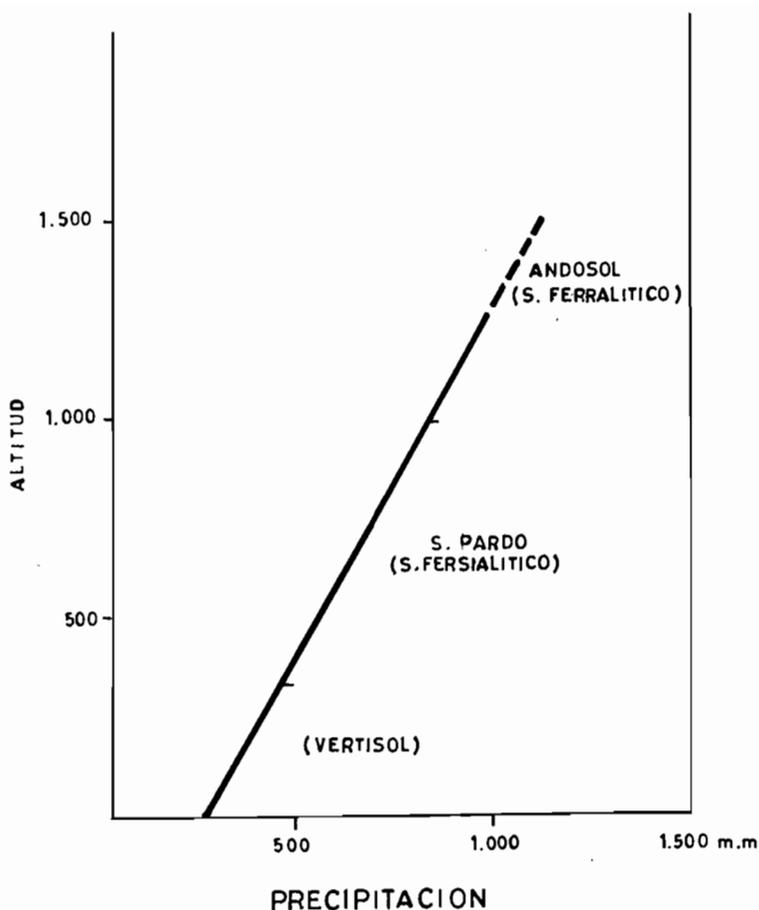


Fig. 18.- Distribución de los suelos en función de la pluviosidad media anual

pecialmente en función de la vegetación. F. Kämmer, recientemente, observa incrementos pluviométricos de 300mm., aproximadamente, en los bosques de laurisilva, y de aproximadamente 2.500 mm. en bosques de pinares.

Las temperaturas medias que corresponden a las diferentes altitudes de esta vertiente son (Kunkel, 1976):

0 m.	-	250 m.	20-22°C
250 m.	-	600 m.	15-20°C
600 m.	-	1.000 m.	15-18°C
1.500 m.	-	2.500 m.	12-15°C

En la figura 19, se observan las secuencias climáticas, de vegetación y de suelos correspondientes a esta vertiente Norte.



*Paisaje de la Región Norte*

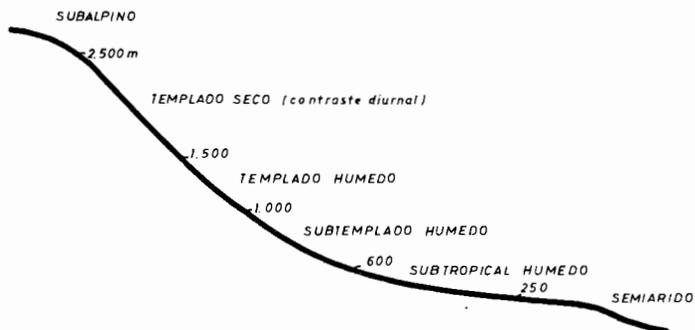




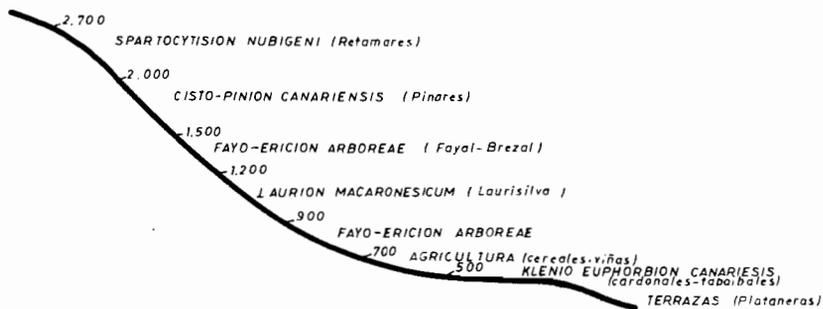
*Vertiente Norte. Mar de nubes*



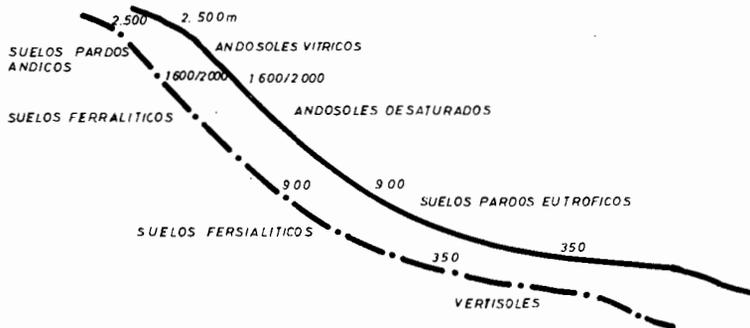
### CLIMA



### VEGETACION



### SUÉLOS



- SUELOS RECIENTES
- SUELOS ANTIGUOS

Fig. 19. DISTRIBUCION DE CLIMA, VEGETACION Y SUELOS EN FUNCION DE LA ALTITUD.

## 2. VEGETACION

Al igual que en la vertiente Sur, la secuencia de vegetación que puede establecerse para el Norte tiene aproximadamente las mismas comunidades, con la importante inclusión de las de «*Monte verde*» que quedan ligadas al mar de nubes y que están prácticamente ausentes en el Sur. Esto trae consigo un reajuste en lo que se refiere a la distribución altitudinal de los pisos de vegetación, pues la climatología al menos de las zonas bajas y medias, difiere sensiblemente de una vertiente a otra.

Es importante destacar que gran parte de los cultivos insulares se establecen en las zonas bajas y medias de esta vertiente Norte, por lo que la vegetación potencial de las mismas ha quedado muy reducida y acantonada principalmente en las laderas abruptas de barrancos donde el cultivo se hace muy difícil y costoso. Siguiendo la pauta propuesta en el esquema y refiriéndonos a la vegetación potencial, de costa a cumbre, distinguimos:

a) Comunidades del «cinturón halófilo costero»: se trata principalmente de comunidades petranas, donde las mismas plantas que mencionamos para la vertiente Sur son frecuentes y características.

b) Matorral xerófilo-suculento del «piso basal». Caracterizan a este piso diferentes especies del género *Euphorbia* (*E. canariensis*, *E. obtusifolia*, ssp. *regis-jubae* (tabaiba amarga), *E. balsamifera*, *Klenia neriifolia*, *Periploca laevigata* (cornical), *Rubia fruticosa* (tasaigo), etc.

c) Bosque subhigrófilo ligado a la zona de nieblas, de árboles laurifolios, denominado «*Laurisilva*»: se distinguen en él, a grandes rasgos dos formaciones vegetales:

1) «*Fayal Brezal*», que ocupa las zonas más xéricas y las más agredidas por talas. Son especies frecuentes, entre otras: *Erica arborea* (brezo), *Myrica faya* (faya) e *Ilex canariensis* (acebiño).

2) «*Laurisilva s.s.*», que ocupa los lugares más higrófilos. Entre las especies del estrato arbóreo podemos citar: *Laurus azorica* (loro), *Apollonias barbujana* (barbuzano), *Persea indica* (viñatigo), *Ocotea foetens* (til), etc.

d) Pinar, que poco a poco, al ganar altitud, se establece tras una previa fase ecotónica de «pinar mixto» (pinar-fayal brezal). La especie arbórea característica es el «*Pinus Canariensis*», y en parte su actual extensión es el resultado de repoblaciones forestales, en las que es frecuente la aparición de manchones de pinares disclimáticos, principalmente de «*Pinus radiata*».

e) Leguminosas de alta montaña, denominación que en sentido amplio incluye formaciones de altura que portan un cortejo de especies endémicas, rico y variado. Las mismas leguminosas que citamos para la vertiente Sur son características.

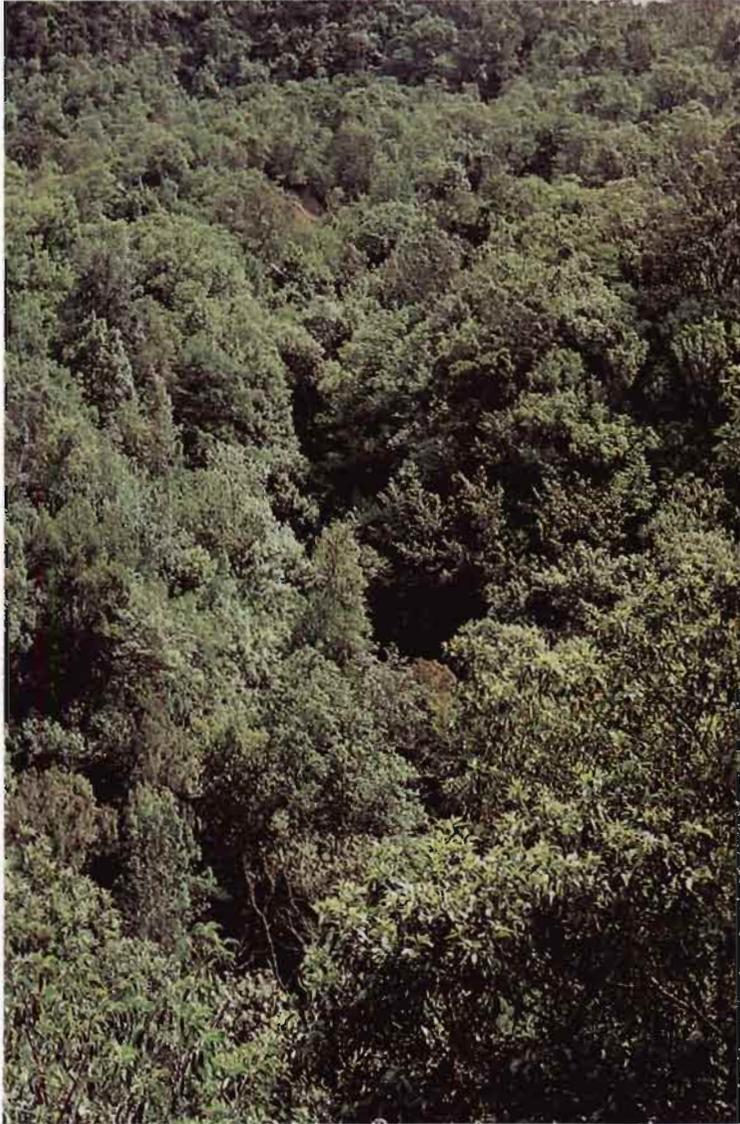
## 3. GEOLOGIA

Los suelos de esta climatosecuencia se han formado principalmente sobre materiales básicos, al contrario de la secuencia estudiada en la vertiente meridional, donde los suelos están a menudo muy contaminados en superficie por materiales fonolíticos. No obstante, se encuentran también en esta región interstratificaciones de materiales ácidos, formados principalmente por cenizas y piroclastos traquíticos.



*Vertiente Norte. Vegetación de Pinus Canariensis*





*Vegetación de Laurisilva*



## B. SECUENCIA EDAFOLOGICA DE LA VERTIENTE NORTE

En esta climatosecuencia se encuentran los siguientes tipos de suelos: suelos de evolución reciente, formados por andosoles\* y suelos pardos; y formaciones más antiguas, constituidas por suelos ferralíticos, suelos fersialíticos y vertisoles. El conjunto de estos suelos juntamente con los de la secuencia Sur están representados en el mapa del anexo a escala 1 : 100.000.

En la región de los *andosoles desaturados*, entre 900/1000 m. y aproximadamente 1600/1800 m. de altitud, se observa sobre los materiales más antiguos alteraciones de tipo *ferralítico*, que pueden estar rejuvenecidas en superficie por materiales más recientes, con una alteración de tipo ándico, formando andosoles desaturados. Cuando este rejuvenecimiento es de mayor antigüedad, los andosoles superficiales pueden haber evolucionado a suelos pardos ácidos (oligotróficos) con caracteres ándicos.

En el piso inferior a los andosoles, donde se encuentran los *suelos pardos eutróficos*, actualmente muy antropizados, se observan también alteraciones muy desarrolladas de tipo *fersialítico*, que cubren grandes extensiones entre las cotas de 300/400 m y 900/1000 m. de altitud.

Por debajo de los 300/400 m. de altitud, en un clima de tipo semiárido y en situación topográfica de pie de vertiente, que favorece la acumulación lateral, se forman *vertisoles*, a veces con acumulación de carbonatos, que predominan normalmente en esta región.

Las grandes extensiones agrícolas de esta región Norte, situadas en las zonas próximas a las costas, y las prácticas utilizadas por los agricultores canarios de fabricar terrazas artificiales\*\* con suelos transportados de las zonas montañosas, han hecho desaparecer prácticamente los vertisoles; no obstante quedan aún testimonios importantes en Bajamar (N-O), Buenavista y Teno.

En la secuencia edafoclimática septentrional de Tenerife, nos ha parecido interesante estudiar separadamente los suelos formados sobre materiales volcánicos recientes, de aquellos que se forman sobre los materiales más antiguos. En la región Norte de Tenerife hemos podido observar la influencia del clima en los suelos formados sobre materiales recientes, que en la zona media de la secuencia, entre 600 y 1.200 m. aproximadamente, pasan progresivamente de andosoles desaturados típicos, en las zonas de nubes y monteverde, a suelos pardos eutróficos en la zona inferior menos húmeda, con dos estaciones, húmeda y seca alternativamente, y donde la vegetación natural ha sido totalmente sustituida por plantas cultivadas. Entre las dos zonas hemos distinguido el suelo pardo «de transición».

---

\* En la región subalpina dominan los andosoles vitricos (E. Fernández Caldas, ML Tejedor Salguero, 1975) y los suelos pardos ándicos de altitud que han sido considerados en la secuencia meridional.

\*\* Principalmente para cultivo de plátanos, que exige un suelo más ligero que el vertisol, pero también un clima más soleado y cálido que el de montaña.

## C. SECUENCIA CLIMATICA DE SUELOS RECIENTES DE LA REGION SEPTENTRIONAL

### 1. CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS Y FISICOQUIMICAS

#### 1.1. CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS

De los perfiles estudiados en la secuencia (dos andosoles desaturados, un suelo pardo ándico y dos suelos pardos eutróficos), describiremos únicamente el más representativo de cada uno de los tres grupos.

##### 1.1.1. andosol desaturado crómico

###### *Perfil Las Aves*

Situación: Montes de Agua García

Altitud: 1.100 m.

Clima: Templado perhúmedo, zona de nubes

Vegetación: Pinar (*Pinus canariensis*)

Orientación: Norte

Material de origen: Cenizas y lapilli basáltico

Descripción:

0-50 cm. Horizonte  $A_{11}/A_{12}$

El color varía de pardo-gris muy oscuro a pardo oscuro (7,5 YR 2/3); textura aparentemente limo-arenosa y muy húmida; estructura migajosa suelta muy friable; muy baja densidad aparente y elevada microporosidad; muchas raíces finas; límite neto.

50-70/90 cm. Horizonte (B)C

Color rojo intenso (2,5 YR 3/4), con paso lateral hacia pardo intenso; textura gravo-limosa; estructura particular, sin cohesión; raíces gruesas y finas; límite irregular, ondulado.

90-> 120 cm. Horizonte II(B)

Color pardo (7,5 YR 4/5); húmedo; textura limo-arcillosa; estructura masiva, friable, microporosa; baja densidad aparente; ligeramente plástico y adherente; poco «tixotrópico»; raíces escasas y dispersas.

En todo el perfil, la reacción con el NaF es importante; más intensa y rápida en el horizonte (B)C.

##### 1.1.2. suelo pardo ándico

###### *Perfil Transición*

Situación: Montes de Agua García

Altitud: 920 m.

Clima: Límite inferior de la zona de nubes

Vegetación: Laurisilva degradada

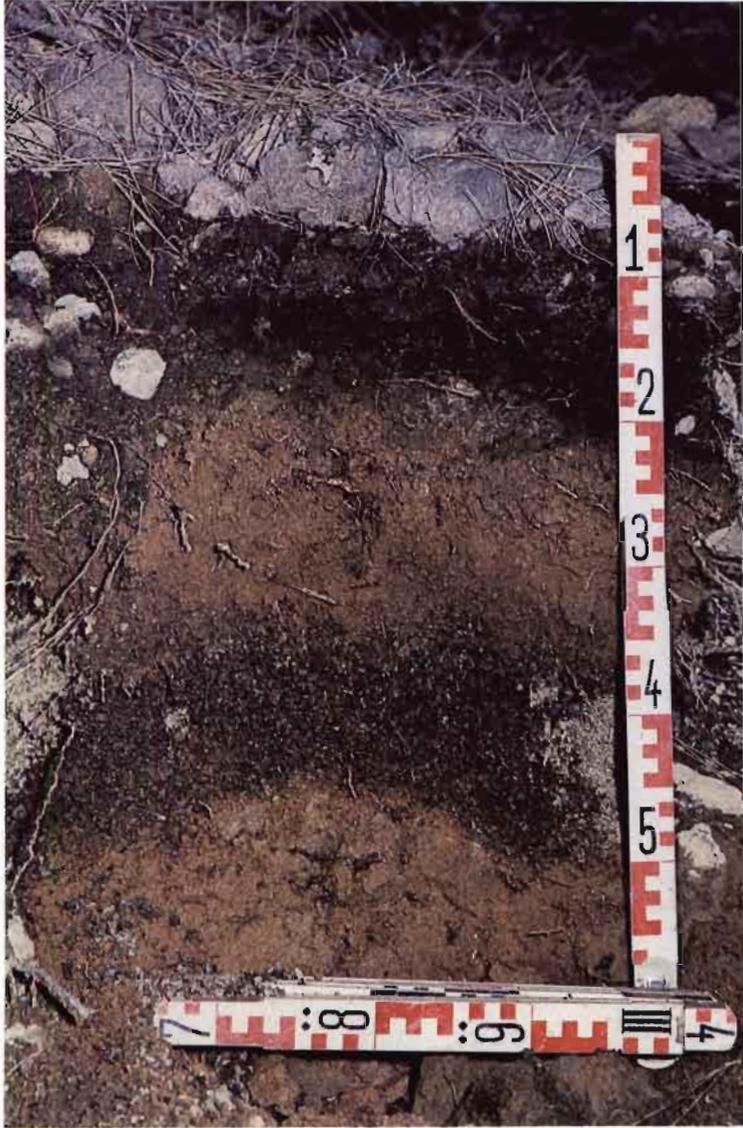
Orientación: Norte

Material de origen: Cenizas basálticas

Descripción:

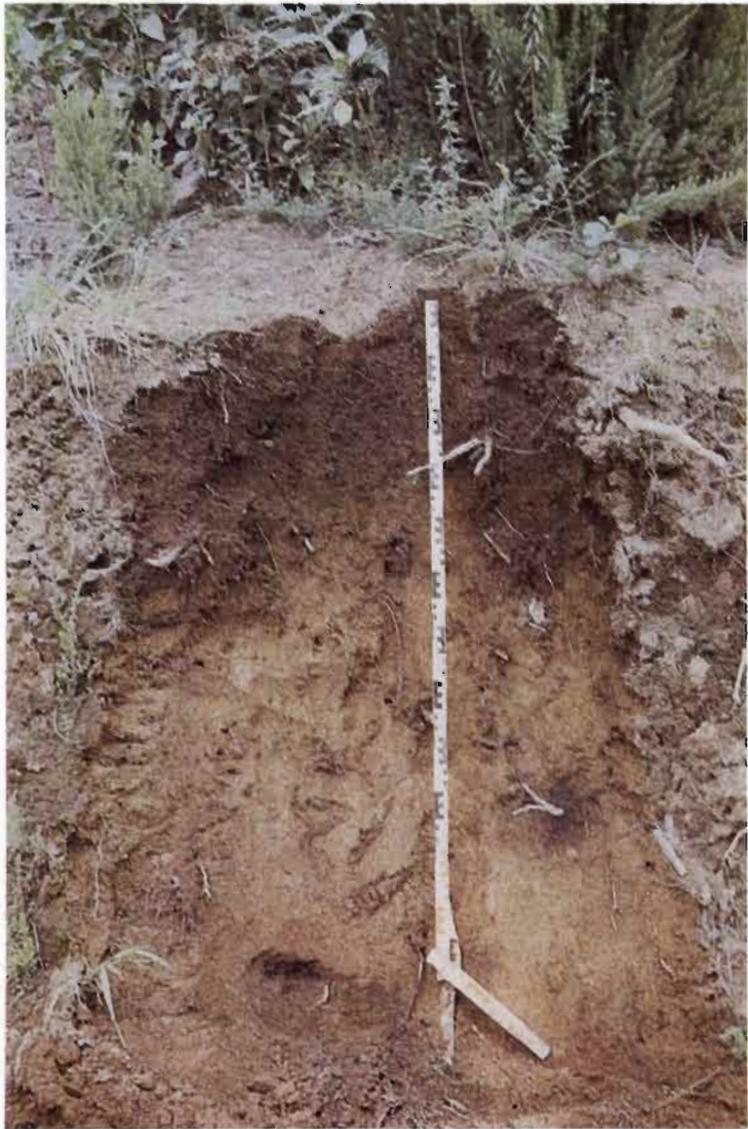
0-40/50 cm. Horizonte  $A_1$

Color pardo muy oscuro (7,5 YR 2/3); textura aparentemente limosa y muy



*Andosol vitrico*





*Andosol desaturado*



humifera; estructura grumosa fina, más desarrollada y más coherente que en el andosol, aún friable; baja densidad aparente y elevada porosidad; muchas raíces finas; límite neto, irregular.

50-120 cm. Horizonte (B)<sub>1</sub>

Color pardo (7,5 YR 4/6); textura aparentemente limo-arcillosa; estructura masiva con tendencia poliédrica media poco desarrollada, muy friable y microporosa; raíces dispersas.

120-> 160 cm. Horizonte (B)<sub>2</sub>

Color pardo rojizo (5 YR 4/8); textura arcillo-limosa; estructura poliédrica media netamente desarrollada; cohesión media; aún friable; más adherente y plástico; porosidad fina; raíces dispersas.

Reacción con NaF: intensa en los dos primeros horizontes y baja en el horizonte (B)<sub>2</sub>.

### 1.1.3. suelo pardo eutrófico rubificado

#### *Perfil Birmagen*

Situación: Llano del Moro, al pie de un cono volcánico reciente

Altitud: 750 m.

Clima: Intergrado mediterráneo-subtropical con estaciones contrastadas

Vegetación: Terraza cultivada

Orientación: Sur, mucha insolación

Material de origen: Cenizas y lapillis basálticos

Descripción:

0-10 cm. Horizonte A<sub>11</sub>

Color pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4); textura arcillo-limosa y humifera; estructura granular fina y media, muy friable; intensa macroporosidad; muchas raíces finas; límite irregular.

10-35 cm. Horizonte A<sub>12</sub>

Color pardo rojizo, menos oscuro que el anterior (5 YR 4/4); textura arcillo-limosa, con presencia de minerales alterables, un poco humífero; estructura subpoliédrica y coherente; menos poroso y friable; raíces aún densas; límite neto.

35-85 cm. Horizonte (B)

Color pardo rojizo (5 YR 4/7); textura arcillo-limosa; presencia de minerales alterables; estructura poliédrica media con fuerte cohesión; revestimientos pardo oscuro; raíces menos densas, dispersas.

85-110 cm. Horizonte (B)C

Color pardo con manchas rojizas de lapillis alterados (con el interior aún negro); mezcla de gravas y suelo arcillo-limoso; estructura mal definida, con tendencia poliédrica poco desarrollada, friable; porosidad menor; raíces dispersas.

110-140 cm. Horizonte C<sub>1g</sub>

Color pardo claro, con manchas grises, lapillis finos rubificados; húmedo; textura arcillo-limosa; estructura masiva, plástica, poco permeable y adherente; no se observan raíces.

140-160 cm. Horizonte C<sub>2</sub>R

Lapilli gris oscuro poco alterado, cementado por una arcilla blanca (haloisi-ta).

El ensayo con NaF es negativo en todo el perfil.

#### 1.1.4. variación de la morfología a lo largo de la secuencia

a) Los andosoles se sitúan en la zona más húmeda, bajo una vegetación de «Laurisilva» «Fayal brezal» o «Pinar».

Son suelos de perfil: A, (B) o/y (B)C sobre material volcánico piroclástico. Frecuentemente, como en el caso del perfil Las Aves, se observan perfiles complejos: A, (B)/C, II (B), C, debido a sucesivos aportes volcánicos.

Los criterios morfológicos más frecuentes son los siguientes: estructura fina, poco desarrollada y débilmente cementada; migajosa («fluffy») en los horizontes humíferos, particular o masiva, microporosa y muy friable en los horizontes (B)C y (B). La densidad aparente es muy baja en todo el perfil, y corresponde a un gran desarrollo de la porosidad fina. La textura no parece arcillosa; el suelo no es adherente, ni plástico; muy friable. En el horizonte (B), cuando está húmedo, se puede apreciar el fenómeno de «tixotropía»; el color varía de rojo intenso a pardo intenso, dependiendo del material de origen. La reacción con el NaF (Fieldes y Perrott, 1966), muy intensa en todo el perfil, indica la presencia abundante de alofanas.

b) Los suelos pardos ándicos de transición, en el límite inferior de la laurisilva, presentan todavía caracteres ándicos netos en los horizontes de superficie. No obstante, se observa un mejor desarrollo de la estructura: grumosa fina y más coherente. Además, se observa en profundidad un horizonte (B)<sub>2</sub> de color pardo rojizo, con estructura poliédrica fina bien desarrollada y mucho más coherente. El suelo es plástico y menos friable, lo que pone de manifiesto la presencia de abundantes filitas arcillosas. La reacción con el NaF es también mucho más débil y lenta, indicando aún la presencia de un poco de alofana.

c) El suelo pardo eutrófico, situado en la zona de dos estaciones climáticas contrastadas, se diferencia aún más de los andosoles. El horizonte (B) tiene una estructura poliédrica media bien desarrollada, con fuerte cohesión y consistencia plástica. Además, la densidad aparente es relativamente más elevada y la porosidad es más pequeña. Se destaca igualmente el carácter hidromorfo del horizonte C<sub>2</sub>, que puede indicar una probable iluviación de arcillas.

Se observa, por tanto, una evolución muy neta de las características morfológicas de los suelos de edad reciente, en íntima relación con la secuencia climática actual (tabla 12).

## 1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

### 1.2.1. materia orgánica (tabla 13)

Los valores de materia orgánica son muy elevados en los andosoles y en los horizontes superficiales de los suelos pardos, con un valor máximo de 13,24% en el horizonte A del perfil Dos Cupresos. Los suelos pardos eutróficos presentan valores mucho más bajos (2,32%-3,16%, en los horizontes A).

En los andosoles, la materia orgánica está profundamente incorporada en el perfil, alcanzando valores muy elevados en profundidad, como se puede observar en el perfil Dos Cupresos, con 6,02% de materia orgánica en el horizonte (B), a más de un metro de profundidad. Por el contrario, en los suelos pardos los porcentajes de materia orgánica disminuyen rápidamente al pasar del horizonte A a los B.

La relación C/N, próxima a 10 en los horizontes superficiales, corresponde a un humus de tipo mull. Los valores son ligeramente más bajos, en general, en los suelos pardos eutróficos, debido a una mayor facilidad de mineralización de la materia orgánica.

**Tabla 12**

**EVOLUCION DE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS**

TIPO DE SUELO	HORIZONTES	CARACTERISTICAS DEL HORIZONTE (B)			
		COLOR	ESTRUCTURA	TEXTURA	ENSAYO CON NaF
<b>ANDOSOLES</b>					
Las Aves . . . . .	A <sub>11</sub> , A <sub>12</sub> , (B)/C, II(B), C	Rojo (2,5 YR 3/4)	Masiva, muy friable	Limo-arenosa	Muy intenso
Dos Cupresos. . . . .	A <sub>11</sub> , A(B), (B), C	Pardo intenso (7,5 YR 4/4)	Masiva, muy friable	Limosa	Muy intenso
<b>S. PARDO ANDICO</b>					
Transición . . . . .	A <sub>11</sub> , (B) <sub>1</sub> , (B) <sub>2</sub>	Pardo rojizo (5 YR 4/8)	Poliédrica fina, friable	Arcillo-limosa	Débil
<b>S. PARDOS EUTROFICOS</b>					
Dos Postes . . . . .	A <sub>11</sub> , A/(B), (B), II(B)	Pardo intenso (5 YR 3/6)	Poliédrica gruesa, gran cohesión	Arcillo-limosa	Negativo
Birmagen . . . . .	A <sub>11</sub> , A <sub>12</sub> , (B), (B)/C, C <sub>1g</sub>	(5 YR 4/7)	Poliédrica media, gran cohesión	Arcillo-limosa	Negativo

Tabla 13

MATERIA ORGANICA

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	MATERIA ORGANICA TOTAL				% DE EXTRACTO HUMICO			
			%C	%M.O.	%N	C/N	%C <sub>H</sub>	%C A.H.	%C A.F.	AH AF
Las Aves	Andosol	A <sub>11</sub> /A <sub>12</sub>	3,99	6,86	0,43	9,28	1,75	0,80	0,95	0,84
		(B) C	0,73	1,25	0,07	10,89	0,13	0,04	0,09	0,51
		II (B)	0,99	1,70	0,14	7,07	0,23	— —	0,23	— —
Dos Cupresos	Andosol	A	7,70	13,24	0,72	10,69	4,26	1,09	3,17	0,34
		A/(B)	4,20	7,23	0,42	10,00	2,33	— —	2,33	— —
		(B)	3,50	6,02	0,28	12,50	1,32	— —	1,32	— —
Transición	S. Pardo ándico	A	6,94	11,94	0,63	11,01	3,23	0,82	2,41	0,34
		(B) <sub>1</sub>	1,06	1,82	0,12	8,83	0,53	— —	0,53	— —
		(B) <sub>2</sub>	1,06	1,82	0,06	17,38	0,46	— —	0,46	— —
Dos Postes	S. Pardo eutrófico	A <sub>1</sub>	1,35	2,32	0,20	6,75	0,75	0,19	0,56	0,34
		A/(B)	0,46	0,79	0,08	5,97	0,17	— —	0,17	— —
		(B)	0,32	0,55	0,06	5,61	0,11	— —	0,11	— —
		II B	0,25	0,43	0,04	5,81	0,12	— —	0,12	— —
Birmagen	S. Pardo eutrófico	A <sub>11</sub>	1,84	3,16	0,19	9,68	0,73	0,13	0,60	0,22
		A <sub>12</sub>	0,74	1,27	0,10	7,47	0,39	0,16	0,23	0,69
		(B)	0,34	0,58	0,04	8,29	0,14	0,01	0,13	— —
		(B)/C	0,08	0,14	0,02	3,20	0,04	0,01	0,03	0,33
		C	0,19	0,33	0,02	11,17	0,03	— —	0,03	— —

En todos los casos, predominan los ácidos fúlvicos frente a los ácidos húmicos, con valores importantes en el perfil Dos Cupresos y en el horizonte A del perfil Transición. En consecuencia, la relación AH/AF es siempre inferior a 1. Estos resultados coinciden con los obtenidos por diferentes autores para estos tipos de suelos en las regiones de clima tropical y subtropical húmedo (Quantin, 1972; Sieffermann, 1969; Tan, 1966; Gutierrez Jerez, 1971).

### 1.2.2. pH, bases cambiables y grado de saturación (tabla 14)

En los *andosoles*, es característico que el pH sea elevado en relación con el bajo grado de saturación en bases. Se observa en estos dos perfiles un ligero descenso del pH al pasar de los horizontes A a los (B).

En los *suelos pardos*, los valores son aproximadamente constantes a lo largo del perfil. En los horizontes profundos del perfil Birmagen, el pH es cercano a la neutralidad y corresponde a un grado de saturación en cationes más elevado.

La diferencia de pH en H<sub>2</sub>O y KCl (N) en los andosoles oscila entre 0,2 y 1,2, encontrándose los valores más bajos en los horizontes (B). La menor diferencia (0,2 unidades de pH) se observa en el horizonte II(B) del perfil Las Aves, característico de los andosoles desaturados ricos en sesquióxidos.

En los suelos pardos, sin embargo, los valores de pH medidos en KCl son netamente más bajos que en H<sub>2</sub>O, alcanzando más de dos unidades de diferencia en el perfil Birmagen, que corresponde a un grado mayor de cristalización de los minerales de arcilla.

La reacción con el NaF (Fieldes y Perrott, 1966) es netamente positiva en los andosoles y en algunos de los suelos pardos, elevándose el pH hasta un valor máximo de 11,1. La alcalinidad de cambio en estos casos está condicionada no solamente por la presencia de alofanos, sino también por la existencia en estos suelos de hidróxidos de aluminio libre (gibbsite).

Los contenidos de bases cambiables aumentan al pasar de los andosoles a los suelos pardos eutróficos. En los andosoles y suelo pardo de transición, la suma de bases cambiables es relativamente importante en los horizontes superficiales, y disminuye al pasar a los horizontes de alteración. Por el contrario, en los suelos pardos eutróficos estos valores aumentan en profundidad.

A lo largo de la secuencia, los cationes dominantes son el Ca<sup>++</sup> y el Mg<sup>++</sup>, con excepción de los horizontes (B)<sub>1</sub> y (B)<sub>2</sub> del perfil Transición, donde el Na<sup>+</sup> supera al Mg<sup>++</sup>.

En los andosoles, los contenidos de cationes alcalinos, especialmente Na<sup>+</sup>, son muy pequeños; pero sus valores aumentan en los suelos pardos de transición y en los suelos pardos eutróficos.

El grado de saturación es bajo en los andosoles, con un valor mínimo de 7,8% en el horizonte (B) del perfil Dos Cupresos. Aumenta en el suelo pardo ándico y es superior al 50% en los suelos pardos eutróficos.

### 1.2.3. capacidad de cambio catiónica (tabla 14)

La capacidad de cambio catiónica a pH 7 calculada sobre muestra seca al aire es muy elevada en los andosoles (38,71-58,59 meq/100 gr.), exceptuando el horizonte de alteración del perfil Las Aves que presenta un contenido muy bajo de fracción inferior a 2  $\mu$ .

Estos valores disminuyen un poco en el suelo pardo ándico, aunque se mantienen aún elevados, debido a la influencia de productos alofánicos. En los suelos pardos

Tabla 14

PH, CAPACIDAD DE CAMBIO (pH=7), BASES CAMBIABLES Y GRADO DE SATURACION

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	PH			meg/100 gr.						S/T
			H <sub>2</sub> O	KCl	NaF	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	T	
Las Aves	Andosol	A <sub>11</sub> /A <sub>12</sub>	6,7	5,6	10,9	6,28	4,00	0,51	1,90	12,69	44,93	28,24
		(B) C	6,3	5,8	10,9	1,33	0,94	0,25	0,66	3,18	28,40	11,19
		II B	5,8	5,6	10,8	1,74	3,19	0,41	1,05	6,39	38,71	16,50
Dos Cupresos	Andosol	A	6,1	5,1	11,0	8,45	4,82	0,70	0,97	14,94	58,59	25,49
		A/(B)	6,4	5,2	11,1	6,41	2,95	0,55	0,97	10,88	48,30	22,52
		(B)	5,6	5,0	10,9	1,89	1,58	0,50	0,13	4,10	52,58	7,79
Transición	S. Pardo ándico	A	5,9	4,9	11,0	9,38	4,14	0,62	1,81	15,95	38,86	41,04
		(B) <sub>1</sub>	6,4	5,1	10,8	4,25	2,91	3,44	2,10	12,70	37,97	33,44
		(B) <sub>2</sub>	6,3	5,0	10,7	3,40	2,27	2,52	1,67	9,86	31,49	31,31
Dos Postes	S. Pardo eutrófico	A <sub>1</sub>	5,4	4,2	10,7	2,15	1,41	0,64	1,09	5,29	27,23	19,42
		A/B	6,5	5,0	10,7	4,98	3,25	1,36	0,76	10,35	24,77	41,78
		(B)	6,5	5,2	10,5	7,48	4,90	3,13	0,51	16,02	28,22	56,76
		II B	6,8	5,4	10,7	7,31	4,46	4,08	0,25	16,10	29,64	54,31
Birmagen	S. Pardo eutrófico	A <sub>11</sub>	6,3	5,0	9,9	8,21	4,04	0,36	0,64	13,25	27,14	48,82
		A <sub>12</sub>	5,7	4,3	9,9	5,44	3,22	0,38	1,80	10,84	24,67	43,94
		(B)	6,1	4,9	9,9	7,95	6,11	2,35	1,65	18,06	30,61	59,00
		(B)/C	7,0	5,1	9,7	6,77	6,15	1,26	1,41	15,59	21,79	71,54
		C	6,7	4,6	9,2	13,39	9,07	4,51	4,79	31,76	42,08	75,47

eutróficos se alcanzan valores cercanos a la capacidad de cambio de la haloisita (alrededor de 26 meq/100 gr.).

Teniendo en cuenta la importancia que en la capacidad de cambio de los andosoles tienen una serie de factores, como el grado de hidratación de la muestra o el pH de la solución extractora (Quantin, 1972; Sherman y col., 1964; Yoshinaga, Aomine, 1962, etc.), hemos determinado también la capacidad de cambio sobre muestras conservadas húmedas, en los andosoles y en algunos suelos pardos (tabla 15). Con excepción del horizonte A del perfil Transición, no se observan variaciones importantes entre los valores obtenidos sobre muestra seca y húmeda.

En la tabla 16, se indican los valores de capacidad de cambio a pH 10,5 y a pH 3,5 de dos andosoles de la región de Aguamansa (Fernández Caldas, Tejedor Sal-

Tabla 15

CAPACIDAD DE CAMBIO EN FUNCION DEL GRADO DE HIDRATAION, En meq/100 gr.

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	CTC EN MUESTRA HUMEDA	CTC EN MUESTRA SECA AL AIRE
Las Aves	Andosol	A <sub>11</sub> /A <sub>12</sub>	44,95	44,93
		(B)C	25,99	28,40
		IIB	35,46	38,71
Dos Cupresos	Andosol	A	56,51	58,59
		A/(B)	49,25	48,30
		(B)	50,60	52,58
Transición	S. Pardo ándico	A	53,18	38,86
		(B) <sub>1</sub>	31,43	37,97
		(B) <sub>2</sub>	27,17	31,49

Tabla 16

CAPACIDAD DE CAMBIO EN FUNCION DEL PH DE LA SOLUCION EXTRACTORA "VALOR Δ" (ANDOSOLES DE AGUAMANSA), En meq/100 gr.

HOR.	CTC pH 10,5 (A)	CTC PH 3,5 (B)	A/B	"Valor Δ"
A	69,0	34,5	2,0	34,5
(B) <sub>1</sub>	90,5	48,5	1,9	42,0
(B) <sub>2</sub>	96,4	54,7	1,8	41,7
(B)C	81,5	38,6	2,1	42,9
A	89,0	47,1	1,9	41,9
(B)C	79,5	37,1	2,1	42,4

guero, 1975) similares a los perfiles «Las Aves» y «Dos Cupresos». Se observa que los valores de capacidad de cambio a pH 10,5 son aproximadamente el doble de los obtenidos a pH 3,5. La diferencia  $\Delta$  entre estos dos valores de capacidad de cambio es de aproximadamente 42 meq/ 100 gr., característico de este tipo de suelos (Aomine, Jackson, 1959)

#### 1.2.4. análisis químico total (tabla 17-18)

En los *andosoles*, frente a los materiales basálticos originales, se observa una disminución importante de los porcentajes de sílice y bases; y un gran enriquecimiento en aluminio, hierro y titanio. En el suelo total, el valor de la relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  varía de 1,4 a 2,5; pero en la fracción inferior a  $2\mu$  oscila entre 0,8 y 1,3, valores muy característicos de los *andosoles* desaturados ricos en aluminio (Quantin, 1972). Estos suelos están, en efecto, constituidos por alofana, imogolita y gibsita.

En el *suelo pardo ándico* «de transición», el valor de la relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  del suelo total, es ligeramente superior a 2 (2,2-2,4). Este suelo es rico en haloisita.

En los *suelos pardos eutróficos*, la relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  del suelo total es aproximadamente 3 (3-4). Aunque en la fracción inferior a  $2\mu$  este valor varía de 2 a 3, y corresponde a una mezcla de haloisita y esmectitas ferríferas.

Se observa, por tanto, un aumento muy sensible de la relación molar sílice/alúmina en toda la secuencia, desde valores próximos a 1 en los *andosoles* desaturados a valores del orden de 3 en los *suelos pardos eutróficos*.

#### 1.2.5. granulometría (Tabla 19)

En los *andosoles*, debido a dificultades de dispersión características de estos suelos, se ha efectuado el análisis granulométrico en medio alcalino utilizando agitación ultrasónica. Sin embargo, el horizonte II(B) del perfil Las Aves no ha podido ser dispersado sino en medio ácido, como consecuencia del contenido importante de imogolita, y de hidróxidos de hierro. En estos suelos predomina la fracción limo (2-20  $\mu$ ).

El contenido en arcillas es menor y oscila entre 13,3% y 40,4%.

En el *suelo pardo ándico* «de transición», el porcentaje de arcilla aumenta sensiblemente, y es predominante en los horizontes (B), (50%-60%).

En los *suelos pardos eutróficos*, domina igualmente la fracción arcilla (40%-60%) en los horizontes A y (B).

Se observa, por tanto, una evolución de la textura a lo largo de la secuencia: de limosa o limo-arcillosa en los *andosoles*, a arcillosa o arcillo-limosa en los *suelos pardos*. Los porcentajes de arena son, en general, más elevados en los horizontes superiores, lo que indica un rejuvenecimiento superficial por cenizas volcánicas.

#### 1.2.6. características hídricas (tabla 20)

La capacidad de retención de agua del suelo ha sido determinada a dos valores de pF: 2,5 y 4,2, tanto sobre muestra seca al aire como sobre muestra conservada en su estado de humedad natural (fig. 20).

Los *andosoles* presentan una capacidad de retención de agua a pF 2,5 próxima al 100% y a pF 4,2 del orden del 65%, en los horizontes (B) y II(B) mantenidos húmedos. Estos valores muy elevados caracterizan a los suelos ricos en alofana (Colmet-Daage, 1972). La desecación al aire reduce sensiblemente esta propiedad, y la retención de agua a pF 2,5 en los horizontes (B) y II(B) no alcanza más que un

Tabla 17

ANALISIS QUIMICO TOTAL (%)

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	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	Mn <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Pérdida por calcinación 105° C/ 1000° C	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiC <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>
														Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.	TiO <sub>2</sub> mol.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.
Las Aves	Andosol	A <sub>11</sub>  A <sub>12</sub>	32,51	21,67	14,03	6,78	1,99	1,84	0,48	0,74	1,23	0,37	18,06	2,55	6,16	6,38	1,80
		(B) C	30,50	30,33	16,32	8,65	2,12	0,98	0,34	0,74	1,03	0,43	8,89	1,70	4,97	4,69	1,27
		II B	30,42	28,22	12,84	6,76	1,97	1,01	0,22	0,86	1,17	0,37	14,15	1,83	6,29	5,98	1,42
Dos Cupresos	Andosol	A	31,06	20,78	11,76	5,55	2,50	1,62	0,19	1,03	1,10	0,34	23,45	2,54	7,02	7,44	1,86
		A (B)	32,12	23,97	11,86	5,48	2,47	1,48	0,19	0,86	1,15	0,35	17,56	2,27	7,21	7,80	1,73
		(B)	24,69	28,92	13,00	5,47	1,94	1,08	0,08	0,55	0,75	0,27	19,53	1,45	5,05	6,01	1,12
Transición	S. Pardo ándico	A	31,28	23,89	8,72	3,55	1,71	1,18	0,23	0,76	1,33	0,28	22,82	2,22	9,54	11,73	1,80
		(B) <sub>1</sub>	38,72	27,65	9,22	4,83	1,24	1,05	0,10	0,72	1,12	0,27	11,98	2,38	11,17	10,67	1,96
		(B) <sub>2</sub>	38,10	26,98	11,82	6,34	1,63	1,00	0,10	0,59	0,87	0,13	9,65	2,39	8,57	7,99	1,87
Dos Postes	S. Pardo eutrófico	A <sub>1</sub>	41,68	23,58	12,03	5,03	2,02	1,08	0,45	1,04	1,85	0,36	12,00	3,00	9,21	11,03	2,26
		A/B	45,10	23,73	12,23	6,78	1,86	1,45	0,23	1,96	2,09	0,34	7,50	3,22	9,80	8,85	2,43
		(B)	49,49	26,49	9,39	4,00	1,79	1,41	0,24	1,66	1,65	0,21	8,10	3,17	14,01	16,48	2,59
		II B	42,71	26,41	9,22	4,66	1,27	0,84	0,25	1,13	1,36	0,20	10,62	2,74	12,32	12,19	2,24
Birmagen	S. Pardo eutrófico	A <sub>11</sub>	42,52	21,39	13,23	7,37	1,93	1,21	0,23	1,55	1,77	0,13	8,51	3,37	8,55	7,68	2,42
		A <sub>12</sub>	44,14	22,75	13,59	7,47	1,89	1,35	0,23	1,68	1,85	0,12	5,17	3,29	8,63	7,86	2,38
		(B)	41,12	22,77	16,62	10,41	1,51	1,37	0,15	1,38	1,17	0,14	6,16	3,06	6,58	5,25	2,09
		(B)/C	48,20	18,53	13,15	8,22	1,41	1,20	0,09	2,53	2,07	0,11	5,90	4,41	9,75	7,79	3,04

Tabla 18

ANALISIS QUIMICO. FRACCION ARCILLA (%)

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	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	Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Pérdida por calcinación 105° C/ 1000° C	SiO <sub>2</sub>	
													Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.
Las Aves	Andosol	A <sub>11</sub>  A <sub>12</sub> (B)/C	25,00	33,23	10,71	2,70	1,82	1,44	0,69	0,34	0,95	26,20	1,27	6,21
			22,16	44,19	19,60	7,55	1,45	1,60	0,41	0,91	0,84	— —	0,84	3,01
Birmagen	S.Pardo eutrófico	A <sub>11</sub> (B)	38,86	31,08	12,09	6,63	1,53	1,03	0,21	0,69	1,47	13,20	2,12	8,62
			39,48	21,41	16,39	10,82	1,29	1,44	0,15	0,99	0,84	13,30	3,14	6,44

Tabla 19

GRANULOMETRIA

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	ARCILLA ≤ 2 μ	LIMO 2-20 μ	ARENA FINA 20-200 μ	ARENA GRUESA 200 -2000 μ	HUMEDAD	MATERIA ORGANICA
Las Aves	Andosol	A <sub>11</sub> /A <sub>12</sub>	34,20	36,70	9,20	4,20	12,30	6,86
		(B)C	13,30	53,70	14,82	4,40	11,90	1,25
Dos Cupresos	Andosol	A	28,00	40,00	9,00	2,70	14,20	13,24
		A/(B)	35,80	39,90	4,80	1,80	14,20	7,23
		(B)	40,40	32,90	3,31	1,40	19,90	6,02
Transición	S. Pardo ándico	A	37,50	37,00	7,02	2,60	12,60	11,94
		(B) <sub>1</sub>	53,70	28,70	2,10	1,30	14,70	1,82
		(B) <sub>2</sub>	57,10	25,80	2,10	1,60	13,70	1,82
Dos Postes	S. Pardo eutrófico	A <sub>1</sub>	38,90	31,00	10,10	9,90	6,70	2,32
		A/B	44,70	26,10	6,80	11,60	7,90	0,79
		(B)	61,70	20,10	2,80	3,00	11,40	0,55
		IIB	52,40	22,50	5,10	5,50	12,10	0,43
Birmagen	S. Pardo eutrófico	A <sub>11</sub>	42,80	27,30	6,30	10,10	8,80	3,16
		A <sub>12</sub>	49,00	27,50	4,40	6,10	11,90	1,27
		(B)	41,10	38,90	6,40	3,70	11,20	0,58
		(B)/C	32,40	26,10				
		C	33,90	24,80	11,70	18,50	9,90	0,33

Tabla 20

CONTENIDO DE AGUA POR 100 gr. DE SUELO SECO  
A 105°C, A pF 2,5 y pF 4,2

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	MUESTRA CONSERVADA HUMEDA			MUESTRA SECA AL AIRE		
			pF 2,5	pF 4,2	Agua útil	pF 2,5	pF 4,2	Agua útil
Las Aves	Andosol	A <sub>11</sub> /A <sub>12</sub>	57,70	36,80	20,90	56,00	34,20	21,80
		(B)C	49,00	34,00	15,00	47,50	31,40	16,10
		IIB	90,10	66,40	23,70	53,40	36,80	16,60
Dos Cupresos	Andosol	A	66,90	39,70	27,20	62,30	40,00	22,30
		A/(B)	67,80	43,30	24,50	57,70	41,00	16,70
		(B)	99,60	63,70	35,90	74,50	45,80	28,70
Transición	S. Pardo ándico	A	70,60	39,90	30,70	65,80	35,70	30,10
		(B) <sub>1</sub>	64,50	48,80	15,70	54,80	39,50	15,30
		(B) <sub>2</sub>	62,10	43,70	18,40	54,10	37,00	17,10
Dos Postes	S. Pardo eutrófico	A <sub>1</sub>	34,60	22,40	12,20	34,40	20,20	13,50
		A/(B)	34,20	26,40	7,80	32,60	22,80	9,80
		(B)	40,30	34,90	5,40	40,30	30,40	9,90
		IIB	42,20	35,90	6,30	42,00	30,50	11,50
Birmagen	S. Pardo eutrófico	A <sub>11</sub>	28,70	18,60	10,10	30,50	18,60	11,90
		A <sub>12</sub>	27,20	19,90	7,30	28,20	19,90	8,30
		(B)	40,80	33,10	7,70	44,10	33,10	11,10
		(B)/C	27,20	18,10	9,10	33,10	20,80	12,30

50%-75%. Debemos señalar que este efecto es muy poco sensible en los horizontes humíferos.

El *suelo pardo ándico* de «transición» tiene propiedades similares a los andosoles en la parte superior del perfil. Sin embargo, el horizonte (B)<sub>2</sub> tiene una capacidad de retención de agua mucho menor, a pesar de tener un porcentaje de arcilla muy superior al de los horizontes (B) de los andosoles. Además el efecto de la deshidratación irreversible es también mucho menor.

Los *suelos pardos eutróficos* tienen una capacidad de retención de humedad (30%-40% a pF 2,5) dos o tres veces más baja que la de los andosoles. En estos suelos no se pone de manifiesto ya el fenómeno de deshidratación irreversible.

En resumen, se observa a lo largo de la secuencia una disminución muy neta de la capacidad de retención de agua y del efecto irreversible de la deshidratación al pasar de los andosoles a los suelos pardos eutróficos.

### 1.3. EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FÍSICO-QUÍMICAS

El estudio de la secuencia edafoclimática de los suelos de edad reciente derivados de materiales basálticos en la vertiente septentrional de Tenerife, pone de manifiesto una evolución significativa de sus características morfológicas y físico-químicas, al pasar de los andosoles, en la zona climática perhúmeda, a los suelos pardos eutróficos, en la zona climática con dos estaciones alternas.

La evolución morfológica resalta claramente este paso: de una textura aparentemente limosa a arcillosa y de una estructura poco desarrollada y muy friable, a poliédrica, muy consistente y plástica, y un aumento de la densidad aparente, debido a una disminución de la microporosidad.

La capacidad de retención de agua disminuye fuertemente, de dos a tres veces, y en especial el fenómeno de deshidratación irreversible, que se atenúa y desaparece.

La capacidad de cambio catiónica, en relación con los valores de la fracción arcilla, disminuye sensiblemente. Se destaca igualmente el aumento de la diferencia entre el pH (H<sub>2</sub>O) y pH (KCl), correlativo a la aparición de los filosilicatos, e inversamente, la disminución de la respuesta al ensayo con el NaF.

La evolución geoquímica, caracterizada por el valor de la relación molar sílice/alumina, en el suelo y en la fracción inferior a 2 $\mu$ , pone de manifiesto, por el contrario, una disminución relativa del proceso de alteración, desde los andosoles (K<sub>i</sub>  $\sim$  1 a 2) a los suelos pardos (K<sub>i</sub>  $\sim$  3).

## 2. CARACTERISTICAS MINERALOGICAS

### 2.1. PRODUCTOS «AMORFOS»

a) La extracción de productos amorfos se ha realizado según el método de Segalen (1968) tablas 21, 22, 23. Los resultados se han representado en curvas acumulativas y de velocidad de disolución. Los porcentajes de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> extraídos y los porcentajes de producto disuelto en cada extracción con relación al producto restante, se expresan en función del número de extracciones.

Las figuras 21 y 22, representan la disolución de SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Se observan dos tipos de curvas:

- Aquellas en las que el cambio de pendiente es rápido y neto, correspondientes a los perfiles de andosoles (Las Aves, Dos Cupresos) y horizonte A del perfil Transición. Estas curvas indican claramente la fracción de productos «amorfos» que han sido rápidamente disueltos.

- Las que presentan un cambio de pendiente progresivamente decreciente, que corresponden a los suelos pardos eutróficos (Dos Postes, Birmagen) y a los horizontes (B)<sub>1</sub> y (B)<sub>2</sub> del perfil Transición. En este caso, la estimación de la fracción de productos «amorfos», mezclados con sustancias criptocristalinas o finamente cristalizadas y moderadamente solubles, es mucho más difícil (Lamouroux, Quantin, 1973).

También, las curvas de velocidad de disolución de SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (fig. 23 y 24) ponen de manifiesto esta diferencia entre los andosoles y los suelos pardos.

En el primer caso, la velocidad de disolución inicial es muy elevada y desciende bruscamente, para mantenerse constante en las subsiguientes extracciones.

Por el contrario, en los suelos pardos las velocidades de disolución son más lentas a lo largo de todas las extracciones.

La interpretación de estos resultados es la siguiente:

- En los andosoles y horizonte A del perfil Transición, se ha extraído una cantidad importante de elementos amorfos, de 7,6% a 19,8% de Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y entre 5% y 11,3% de SiO<sub>2</sub>. Estos productos se han disuelto muy rápidamente, en una o dos extracciones. Hemos de destacar igualmente, que la sílice «amorfa» que proviene de los horizontes (B) y II(B) de los andosoles que contiene imogolita, es soluble en la fase ácida (HCl-8N); mientras que en los restantes horizontes de los andosoles, con alofana, la sílice se extrae preferentemente por vía alcalina (NaOH-0,5 N), tabla 21. En general,

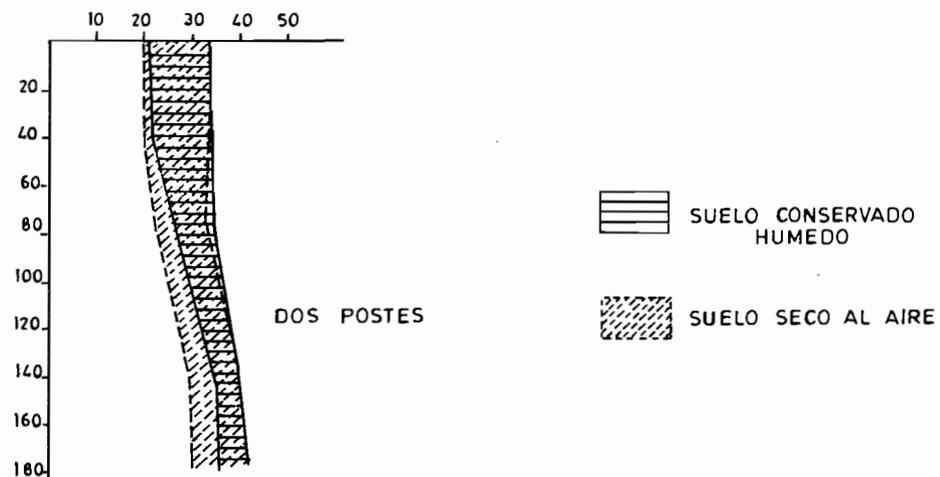
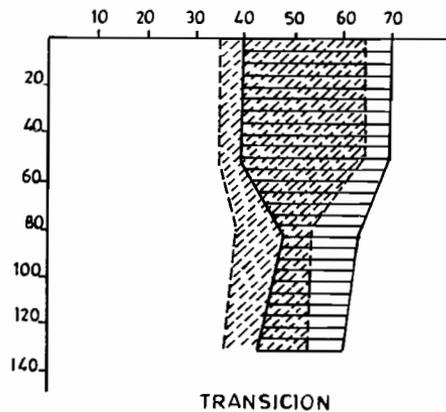
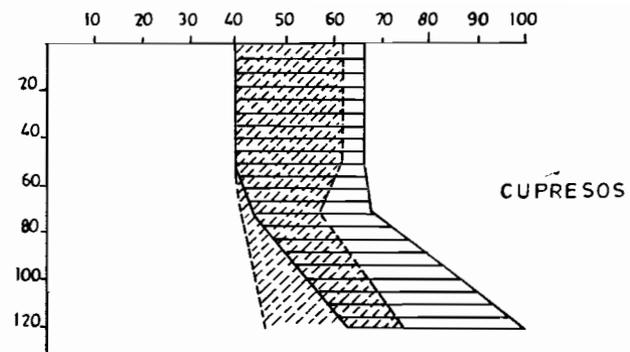
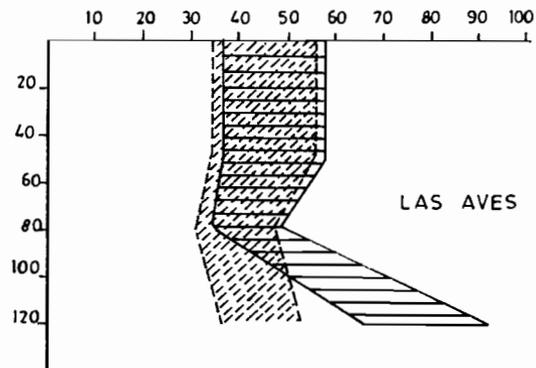


Fig. 20.- Diferencia de pF 2,5 - pF 4,2 o "agua útil"

Tabla 21

ANALISIS DE AMORFOS: SiO<sub>2</sub>%

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	REACTIVO DE DISOLUCION	EXTRACCIONES							TOTAL
				1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	
Las Aves	Andosol	A	HCl	1,62	0,36	0,24	0,17	0,13	0,11	0,10	2,73
			NaOH	3,45	1,01	0,68	0,61	0,37	0,35	0,25	6,72
		(B)C	HCl	1,73	0,39	0,24	0,17	0,11	0,12	0,09	2,85
	NaOH		3,54	0,93	0,39	0,39	0,25	0,19	0,19	5,88	
	IIB	HCl	4,83	0,43	0,20	0,13	0,12	0,08	0,08	5,87	
		NaOH	1,42	1,03	0,58	0,47	0,32	0,24	0,18	4,24	
Dos Cupresos	Andosol	A	HCl	2,43	0,27	0,25	0,15	0,13	0,14	0,12	3,49
			NaOH	1,69	1,17	0,65	0,56	0,53	0,41	0,28	5,29
		A(B)	HCl	3,63	0,36	0,27	0,17	0,12	0,13	0,09	4,77
	NaOH		2,00	1,28	0,79	0,64	0,49	0,35	0,30	5,85	
	(B)	HCl	7,44	0,72	0,42	0,16	0,08	0,10	0,06	8,98	
		NaOH	1,80	1,39	0,57	0,38	0,33	0,25	0,20	4,89	
Transición	S. Pardo ándico	A	HCl	1,62	0,29	0,22	0,24	0,17	0,17	—	2,71
			NaOH	2,08	2,20	1,52	1,22	1,08	0,88	0,88	9,81
		(B) <sub>1</sub>	HCl	1,58	0,46	0,36	0,23	0,12	0,08	—	2,83
	NaOH		5,74	6,04	3,04	1,68	1,02	0,70	0,47	18,69	
	(B) <sub>2</sub>	HCl	0,94	0,45	0,32	0,22	0,14	0,11	—	2,18	
		NaOH	6,01	6,19	3,38	1,93	1,16	0,88	0,71	20,26	
Dos Postes	S. Pardo eutrófico	A	HCl	0,35	0,33	0,19	0,16	0,15	0,12	0,11	1,41
			NaOH	2,64	2,13	1,48	1,09	1,09	0,87	0,67	9,97
		A/B	HCl	0,47	0,30	0,19	0,15	0,15	0,13	0,08	1,47
	NaOH		3,74	2,28	1,23	0,84	0,84	0,61	0,45	9,99	
	(B)	HCl	0,44	0,31	0,28	0,18	0,15	0,15	0,12	1,63	
		NaOH	3,67	4,74	2,71	1,68	1,32	0,93	0,71	15,76	
IIB	HCl	0,47	0,43	0,25	0,21	0,15	0,11	0,12	1,74		
	NaOH	5,65	4,93	2,75	1,68	1,16	0,87	0,67	17,71		
Birmagen	S. Pardo eutrófico	A <sub>11</sub>	HCl	0,32	0,28	0,16	0,18	0,14	0,14	0,15	1,37
			NaOH	1,84	2,39	1,58	1,42	1,19	1,06	1,09	10,57
		A <sub>12</sub>	HCl	0,29	0,33	0,16	0,13	0,10	0,09	0,09	1,19
			NaOH	2,19	2,32	1,60	1,48	1,06	1,26	1,09	11,00
	(B)	HCl	0,81	0,35	0,27	0,31	0,27	0,18	0,18	2,37	
		NaOH	4,40	5,09	3,47	2,03	1,45	0,90	0,78	18,12	
	(B)/C	HCl	0,35	0,31	0,24	0,21	0,18	0,14	0,17	1,50	
		NaOH	3,59	2,89	1,85	1,06	0,90	0,58	0,45	11,32	
C	HCl	0,24	0,38	0,41	0,30	0,28	0,23	0,31	2,15		
	NaOH	5,32	6,94	4,63	2,78	2,01	1,06	0,86	23,60		

Tabla 22

ANALISIS DE AMORFOS: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	REACTIVO DE DISOLUCION	EXTRACCIONES							TOTAL
				1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	
Las Aves	Andosol	A	HCl	10,00	0,65	0,44	0,32	0,25	0,18	0,15	11,99
			NaOH	0,66	0,25	0,22	0,12	0,11	0,08	0,07	1,51
		(B)C	HCl	8,33	0,89	0,53	0,46	0,39	0,36	0,37	11,33
			NaOH	0,65	0,46	0,33	0,35	0,29	0,23	0,20	2,51
		IIB	HCl	11,10	1,32	0,47	0,23	0,16	0,12	0,10	13,50
			NaOH	2,65	1,62	0,56	0,41	0,30	0,10	—	5,64
Dos Cupresos	Andosol	A	HCl	9,05	0,93	0,47	0,36	0,29	0,21	0,18	11,49
			NaOH	0,87	0,45	0,26	0,20	0,13	0,10	0,07	2,08
		A/(B)	HCl	10,90	1,16	0,65	0,39	0,31	0,19	0,16	13,76
			NaOH	0,78	0,54	0,35	0,24	0,08	0,10	0,10	2,19
		(B)	HCl	14,40	1,55	0,71	0,35	0,22	0,15	0,10	17,48
			NaOH	1,43	0,65	0,36	0,22	0,12	0,06	0,05	2,89
Transición	S. Pardo ándico	A	HCl	6,47	1,35	0,60	0,50	0,39	0,26	0,30	9,87
			NaOH	0,96	0,60	0,47	0,49	0,48	0,45	0,33	3,78
		(B) <sub>1</sub>	HCl	6,65	3,47	1,49	0,87	0,46	0,26	0,23	12,43
			NaOH	3,58	1,58	0,62	0,37	0,26	0,26	0,10	6,77
		(B) <sub>2</sub>	HCl	4,24	3,18	1,29	0,78	0,40	0,23	0,22	10,34
			NaOH	3,76	2,08	1,08	0,64	0,43	0,42	0,29	8,70
Dos Postes	S. Pardo eutrófico	A <sub>1</sub>	HCl	3,09	1,11	0,60	0,48	0,35	0,32	0,26	6,21
			NaOH	1,33	0,83	0,58	0,36	0,42	0,31	0,22	4,05
		A/B	HCl	3,29	1,15	0,53	0,40	0,28	0,25	0,19	6,09
			NaOH	1,77	0,94	0,48	0,24	0,31	0,22	0,16	4,12
		(B)	HCl	2,89	2,08	1,17	0,75	0,46	0,35	0,26	7,96
			NaOH	1,32	1,68	0,83	0,45	0,46	0,33	0,25	5,32
		IIB	HCl	3,91	2,27	1,21	0,75	0,43	0,28	0,20	9,05
			NaOH	1,88	1,44	0,76	0,50	0,34	0,32	0,29	5,53
Birmagen	S. Pardo eutrófico	A <sub>11</sub>	HCl	1,64	0,87	0,58	0,51	0,40	0,37	0,32	4,69
			NaOH	0,59	0,56	0,55	0,56	0,43	0,43	0,49	3,61
		A <sub>12</sub>	HCl	1,64	0,83	0,58	0,49	0,41	0,35	0,32	4,62
			NaOH	0,72	0,82	0,54	0,56	0,34	0,52	0,47	3,97
		(B)	HCl	2,33	1,81	1,25	0,72	0,42	0,28	0,26	7,07
			NaOH	1,48	1,23	0,89	0,61	0,49	0,30	0,29	5,22
		(B)/C	HCl	1,19	1,10	0,59	0,40	0,25	0,15	0,14	3,82
			NaOH	1,16	0,65	0,39	0,27	0,22	0,15	0,13	2,97
C	HCl	1,15	1,74	1,38	0,96	0,51	0,27	0,22	6,23		
	NaOH	0,97	0,64	0,47	0,37	0,24	0,13	0,10	2,92		

Tabla 23

ANALISIS DE AMORFOS: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	REACTIVO DE DISOLUCION	EXTRACCIONES							TOTAL
				1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	
Las Aves	Andosol	A	HCl	3,21	0,47	0,27	0,21	0,21	0,17	0,13	4,67
		(B)C	HCl	2,41	0,84	0,60	0,61	0,55	0,36	0,28	5,65
		IIB	HCl	3,41	1,39	0,81	0,39	0,29	0,27	0,21	6,77
Dos Cupresos	Andosol	A	HCl	2,25	1,45	0,88	0,40	0,40	0,33	0,19	5,90
		A/(B)	HCl	2,44	1,28	1,03	0,49	0,47	0,32	0,18	6,21
		(B)	HCl	3,15	1,05	0,63	0,38	0,34	0,20	0,11	5,86
Transición	S. Pardo ándico	A	HCl	2,41	1,77	0,45	0,23	0,18	0,15	0,20	5,39
		(B) <sub>1</sub>	HCl	3,56	1,62	0,38	0,15	0,17	0,10	0,15	6,13
		(B) <sub>2</sub>	HCl	4,72	1,97	0,38	0,20	0,17	0,13	0,17	7,74
Dos Postes	S. Pardo eutrófico	A <sub>1</sub>	HCl	3,13	1,33	0,67	0,59	0,29	0,22	0,18	6,41
		A/B	HCl	3,38	1,28	0,67	0,55	0,34	0,23	0,19	6,64
		(B)	HCl	3,14	0,90	0,43	0,38	0,24	0,15	0,11	5,35
		IIB	HCl	3,11	0,73	0,44	0,29	0,19	0,12	0,08	4,96
Birmagen	S. Pardo eutrófico	A <sub>11</sub>	HCl	4,26	1,17	0,73	0,49	0,35	0,21	0,15	7,36
		A <sub>12</sub>	HCl	4,73	1,06	0,64	0,42	0,30	0,17	0,13	7,45
		(B)	HCl	8,00	1,30	0,65	0,39	0,27	0,21	0,14	10,96
		(B)/C	HCl	3,52	2,56	0,85	0,39	0,27	0,21	0,14	7,94
		C	HCl	0,49	0,65	0,49	0,31	0,23	0,19	0,16	2,52

Tabla 24

DISOLUCION DE PRODUCTOS AMORFOS  
POR LA TECNICA DE SEGALEN Y POR CIH (2N)

HOR.	REACTIVO DE DISOLUCION	% SiO <sub>2</sub>	% Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	% Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.
A	HCl (8N) + NaOH (0,5N)	9,45	13,50	4,67	1,19
	HCl (2N)	6,16	7,78	1,86	1,34
(B)C	HCl (8N) + NaOH (0,5N)	8,73	13,84	5,65	1,07
	HCl (2N)	3,74	8,12	2,04	0,78
II(B)	HCl (8N) + NaOH (0,5N)	10,11	19,14	6,77	0,89
	HCl (2N)	3,55	9,35	1,35	0,64

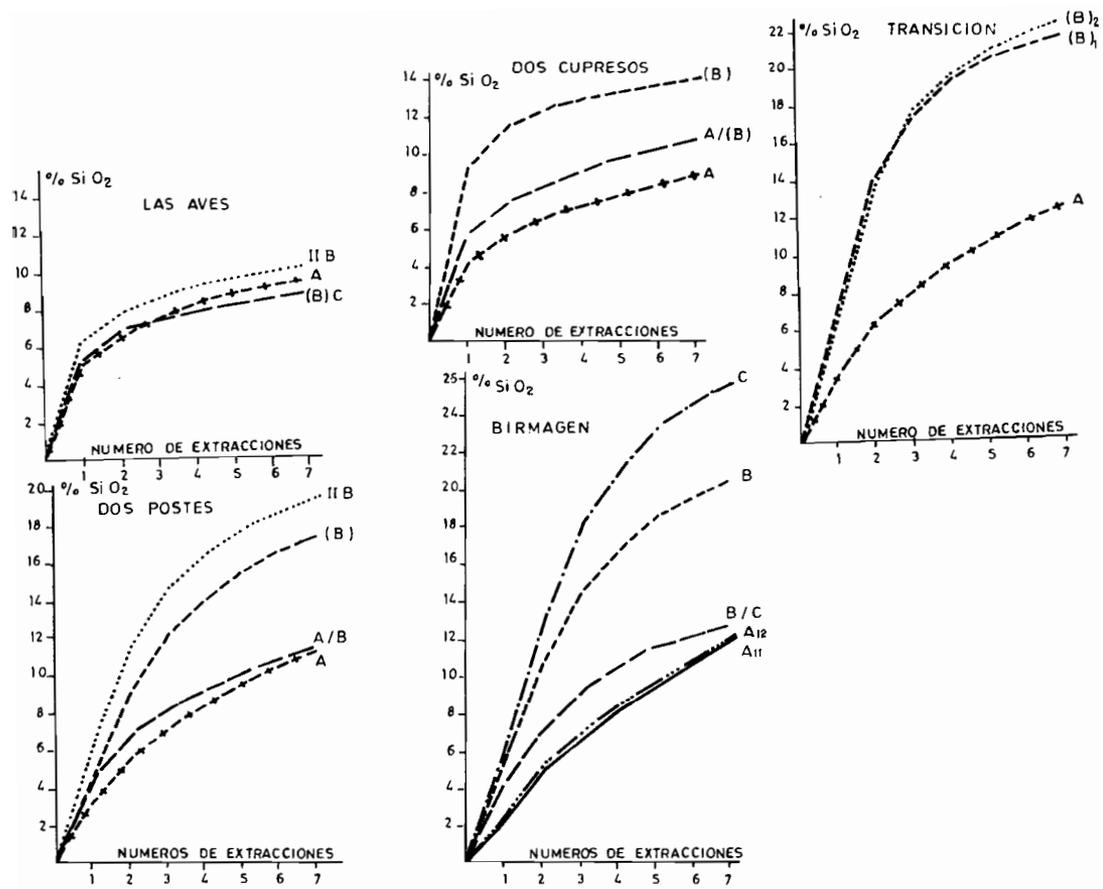


Fig. 21.- Curvas acumulativas de disolución:  $\text{SiO}_2$

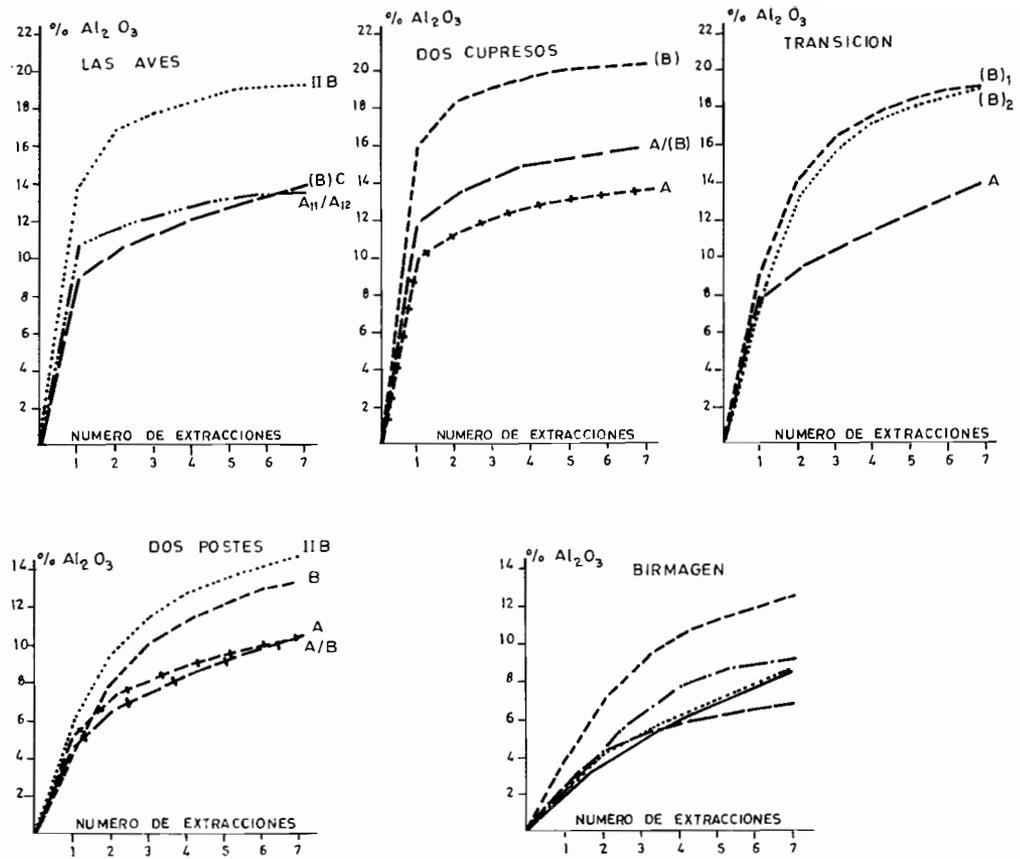


Fig. 22 - Curvas acumulativas de disolución:  $\text{Al}_2\text{O}_3$

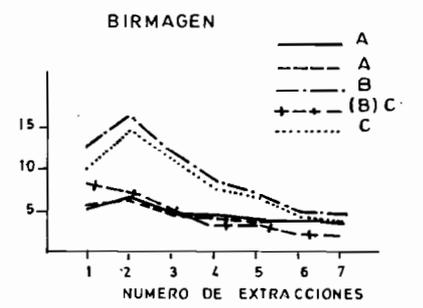
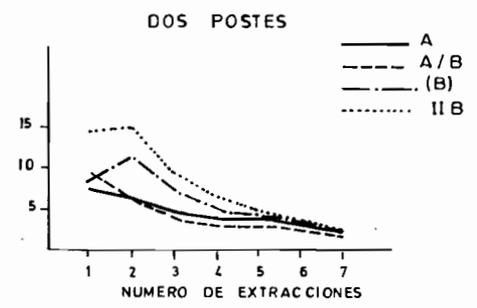
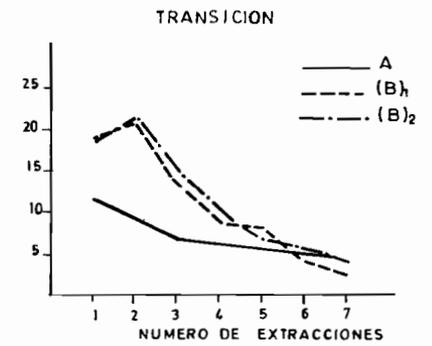
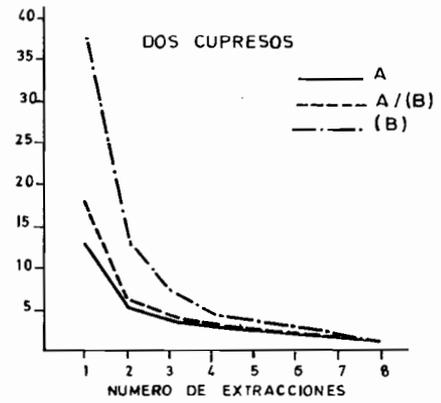
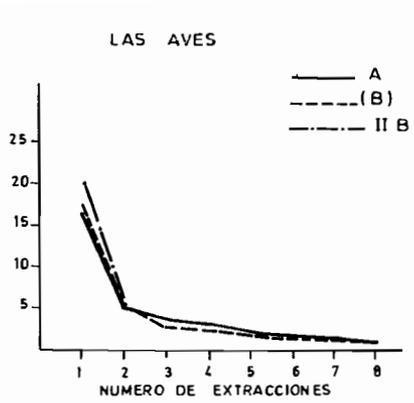


Fig. 23.- Curvas de velocidad de disolucion: Si O<sub>2</sub>

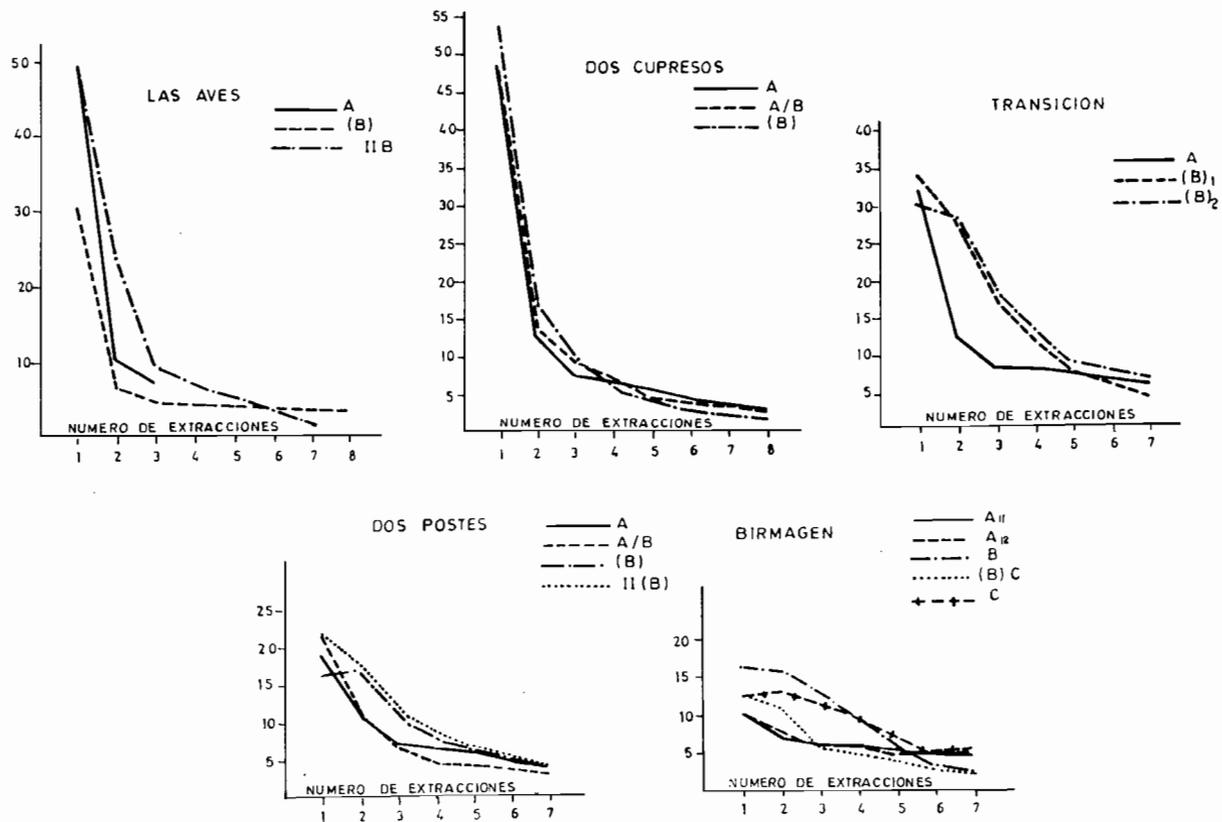


Fig. 24.— Curvas de velocidad de disolución:  $Al_2O_3$

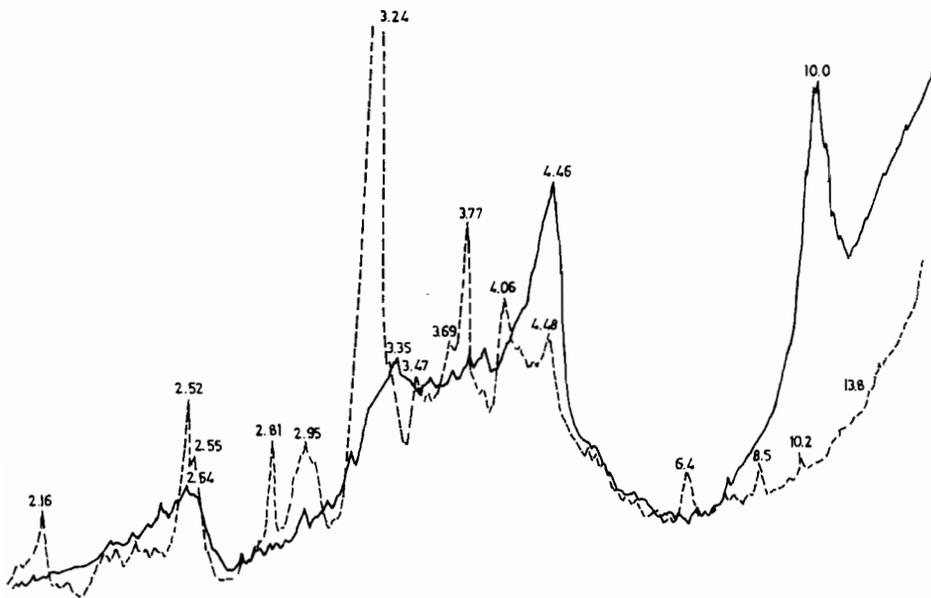
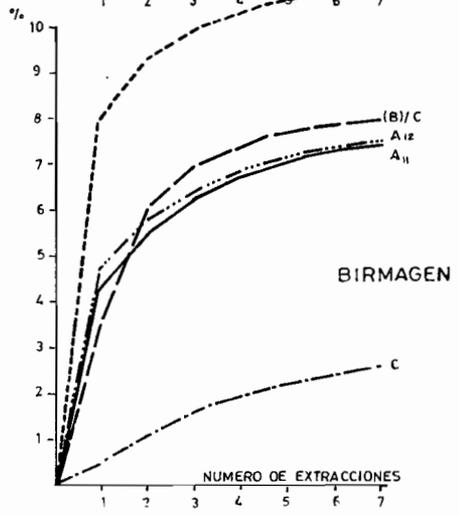
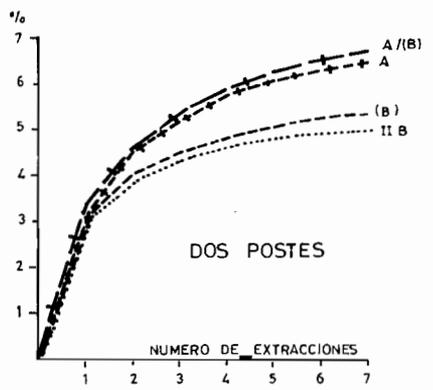
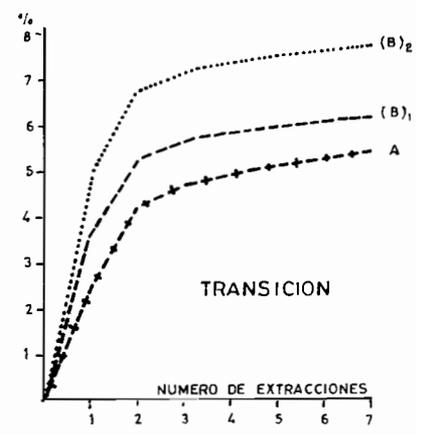
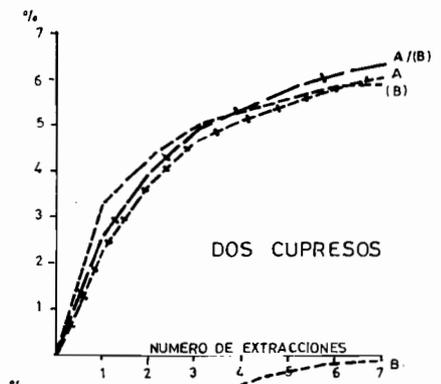
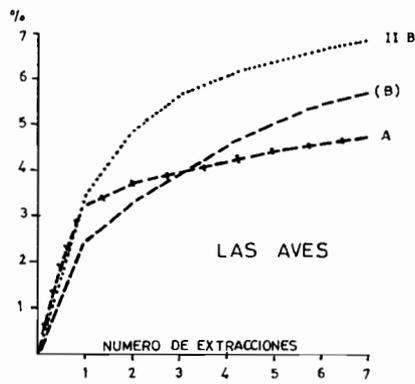


Fig. 25.- PERFIL BIRMA GEN.Hor.C. Diagramas de rayos X antes y despues del tratamiento con HCl(8N) + NaOH (0,5N).



CURVAS ACUMULATIVAS DE DISOLUCION DE HIERRO  
 FIG. 26

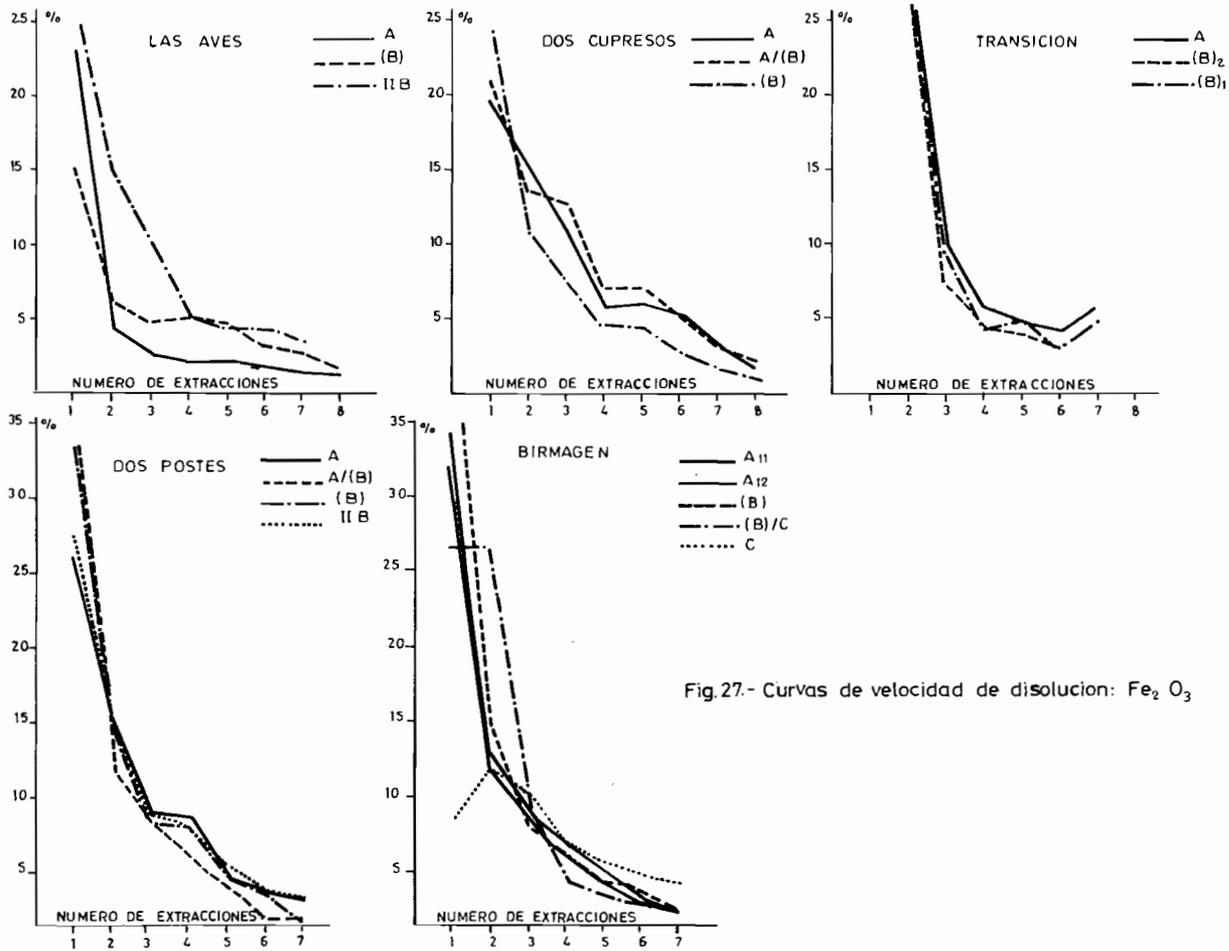


Fig.27.- Curvas de velocidad de disolucion: Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub>

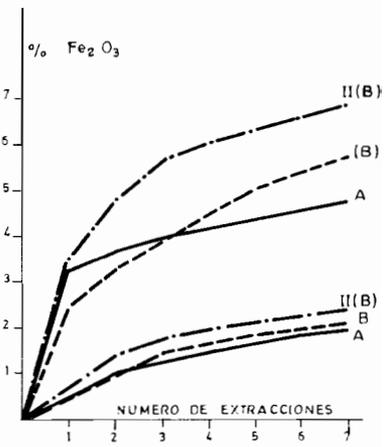
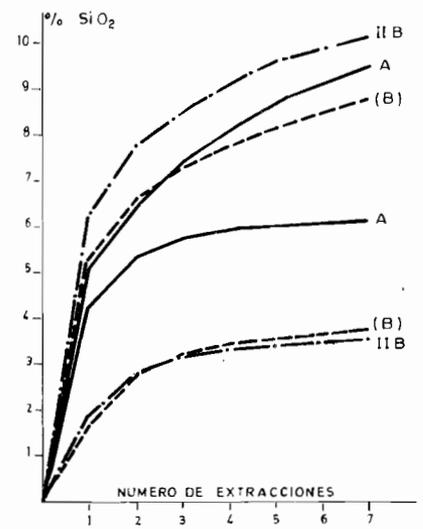
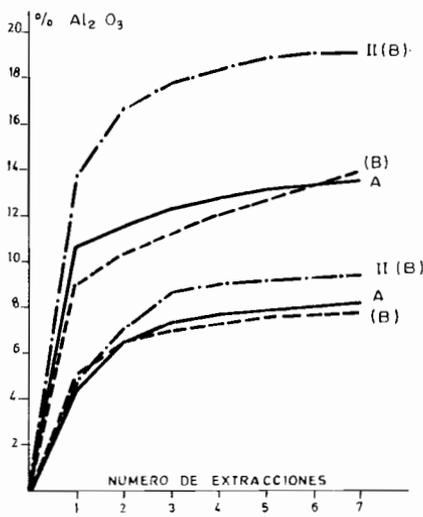


Fig. 28.- Curvas acumulativas de disolucion de  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  con H Cl (0.5N) + NaOH (0.5) con H Cl (0.5 N)

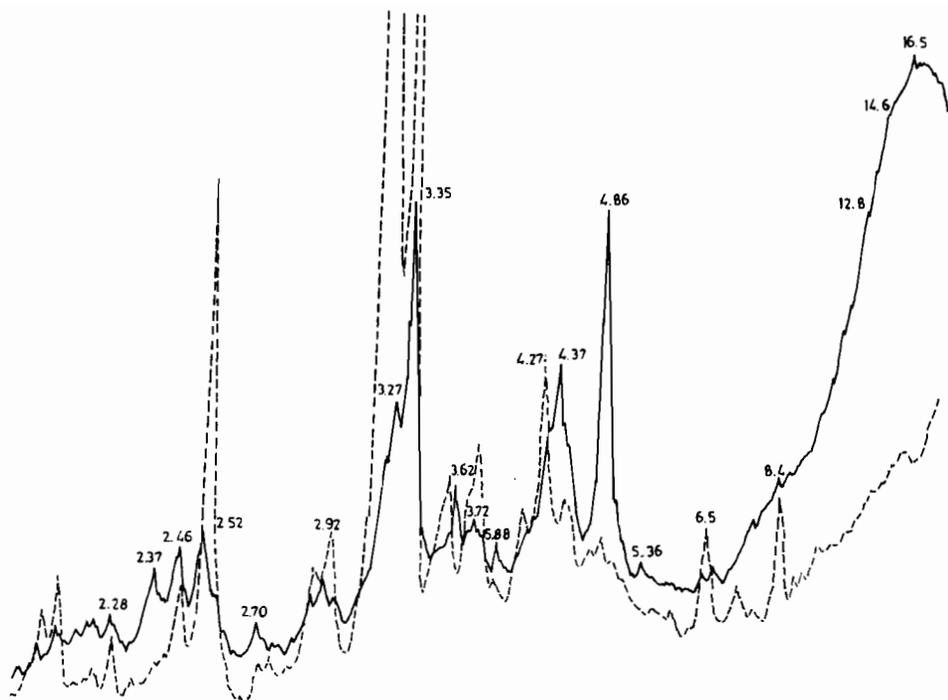


Fig. 29.- Diagramas de difracción de rayos X antes y despues del tratamiento con HCl (8N)+ NaOH (0.5). Hor II(B) P. Las Aves



se observa un aumento del contenido de productos amorfos disueltos, al pasar de los horizontes A a los (B) o II(B), que están relativamente más evolucionados.

- En los suelos pardos, la disolución es mucho más progresiva, obteniéndose valores aún importantes en las últimas extracciones, como consecuencia del predominio de minerales cristalinos, algunos de ellos como la haloisita, fácilmente solubles. La curva sigmoidea de la sílice es característica de la disolución de una arcilla ferrífera (Quantin, Lamouroux, 1974). Estos suelos no contienen, efectivamente, sino muy pocos silicatos «amorfos». La solubilidad de la haloisita se pone de manifiesto en la figura 25.

- Los horizontes (B)<sub>1</sub> y (B)<sub>2</sub> del suelo de transición corresponden a un caso intermedio, donde predominan las arcillas fácilmente solubles (haloisita), mezcladas con un poco de alofana.

En resumen, se observa una clara evolución de las curvas de disolución de alúmina y sílice, que ponen de manifiesto la abundancia de aluminosilicatos amorfos en los andosoles y su casi desaparición en los suelos pardos.

Por el contrario, las curvas acumulativas de disolución de los óxidos de hierro (figura 26) no manifiestan una evolución tan evidente. Prácticamente todas las curvas (salvo la del horizonte C del perfil Birmagen) ponen en evidencia una cantidad relativamente importante de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (3%-8%) que se disuelve fácilmente y que podría considerarse como «amorfo». Pero estas curvas muestran igualmente una parte importante de óxidos de hierro más difícilmente solubles, y que pueden considerarse como criptocristalinos o finamente cristalizados (goetita, hematites y magnetitas finas). Estas consideraciones últimas se ven confirmadas en las curvas cinéticas (fig. 27).

b) El perfil Las Aves (andosol) lo hemos sometido a extracciones sucesivas exclusivamente con HCl (2N), según el método preconizado por uno de nosotros (Quantin, 1975), con el fin de distinguir mejor los productos amorfos y las sustancias finamente cristalizadas\*. En la tabla 24 aparece la suma de los porcentajes de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> obtenidos después de siete extracciones con HCl (8N) + NaOH (0,5N) y con HCl (2N)

Al comparar los resultados con los obtenidos en el método anterior, observamos las siguientes diferencias: la forma de las curvas de disolución de SiO<sub>2</sub> y Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> son similares (fig. 28), el cambio de pendiente es mucho más neto utilizando HCl (2N); además, la cantidad de amorfos extraídos por este tratamiento es más pequeña, ya que el reactivo no extrae la gibsita fina ni la imogolita como con el primer método. Hemos comprobado esta solubilización diferencial mediante difracción de rayos X y microscopía electrónica del residuo (fig. 29). La extracción de Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es importante, aunque la curva de forma sigmoidea indica la naturaleza más bien criptocristalina (goetita y hematites finos) del producto disuelto.

## 2.2. ANALISIS PETROGRAFICO DE LAS ARENAS

Se ha estudiado la composición mineralógica de la fracción arena de los suelos de esta secuencia. Se ha utilizado bromoformo de densidad 2,9 para separar la fracción ligera de la fracción densa.

Los resultados se han resumido en la tabla 25. A lo largo de la secuencia, los opacos naturales predominan sobre los granos transparentes, exceptuando el caso del horizonte C del perfil Birmagen. La magnetita es el mineral principal. Entre los mine-

---

\* En una publicación posterior trataremos con detalle este fraccionamiento.

rales ferromagnesianos podemos destacar: los piroxenos (augita basáltica y algunas veces hornblenda basáltica).

En la fracción ligera, los feldespatos calcosódicos son más importantes que los feldespatos potásicos (sanidina).

### 2.3 MINERALOGIA DEL SUELO (DIFRACCION DE RAYOS X, MICROSCOPIA ELECTRONICA)

#### 2.3.1. andosoles (perfiles Las Aves y Dos Cupresos)

Los *diagramas de rayos X* de estos dos perfiles muestran una gran abundancia de minerales primarios en todos los horizontes, principalmente: cuarzo, feldespatos, magnetita y anfíboles. Figura 30 y 31.

En ellos no se observa la presencia de arcilla. A lo largo de los dos perfiles estudiados, especialmente en profundidad, aparecen unos efectos dominantes entre 14 Å y 17 Å, así como a 4,50 Å que indican la presencia de una cierta organización cristalina. Se podría pensar inicialmente en la existencia de una arcilla de tipo 2:1; sin embargo, al someter la muestra a diferentes temperaturas, el efecto entre 14 Å y 17 Å desaparece, sin producirse ningún desplazamiento. Es ésta la razón, por la que atribuímos estos efectos a la existencia de imogolita descrita por Yoshinaga y Aomine (1962) y observada posteriormente en diferentes regiones volcánicas del mundo (Colmet-Daage, 1970; Quantin, 1972; Besoain, 1968; Sieffermann, 1968). Su proporción aumenta considerablemente en los horizontes profundos (B) y II(B).

En todos los horizontes de estos dos perfiles, se observan efectos a 3,70 Å y 2,70 Å, característicos de hematites y goetita fina. Su proporción es mucho más importante en el perfil Las Aves. El efecto a 4,16 Å de la goetita está frecuentemente enmascarado; es más evidente en el horizonte (B) del perfil Dos Cupresos, de color pardo; mientras que los hematites predominan en el perfil Las Aves, de color rojo, especialmente en superficie ( $A_{11}/A_{12}$ ) y en el horizonte (B)C.

La individualización de la gibsita es muy importante en la zona profunda de los dos perfiles, y más destacada en el horizonte II(B) del perfil Las Aves. En los horizontes de superficie aparece igualmente, aunque en más pequeña proporción.

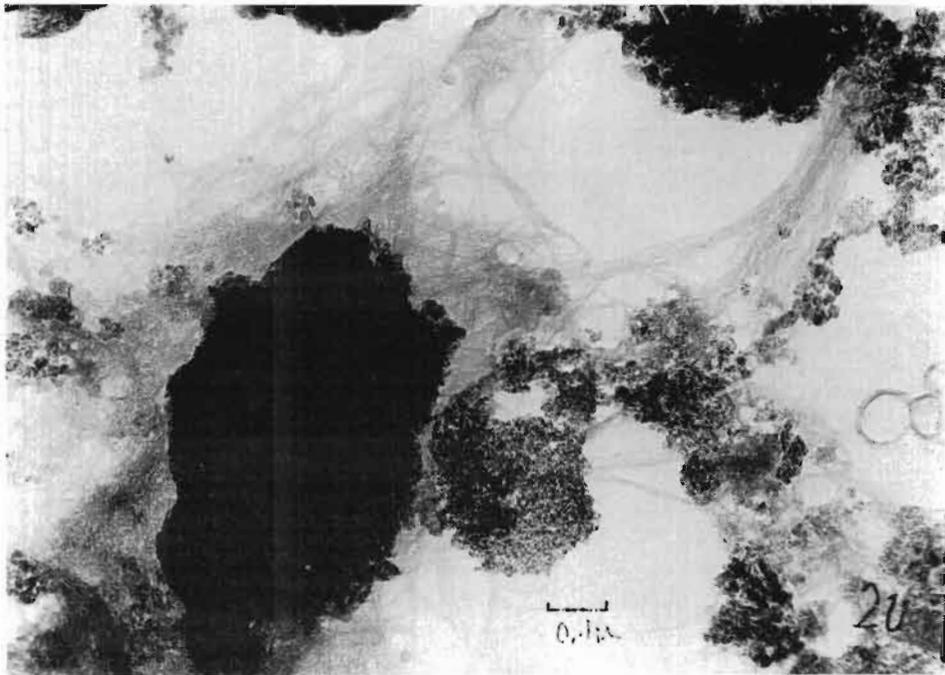
Un *examen al microscopio electrónico* revela en los dos perfiles un gran predominio de productos amorfos de tipo alofana, asociados a fibras finas anastomosadas, que aparecen en todos los horizontes, especialmente en los horizontes profundos, donde son muy abundantes, están mejor cristalizadas y más desarrolladas. Estas fibras son análogas a las que Yoshinaga y Aomine (1962) consideran como imogolita. La mayor abundancia de imogolita en profundidad, coincide con la mayor intensidad de las reflexiones entre 14 Å y 17 Å, que observábamos en los diagramas de rayos X.

En estos perfiles no se ha observado la haloisita, mientras que en el perfil Dos Cupresos aparecen algunas formas de montmorillonita. Sin embargo, a través de las formas opacas de productos amorfos, se adivinan algunas figuras ultramicroscópicas de haloisita, en forma tubular o glomerular muy finas.

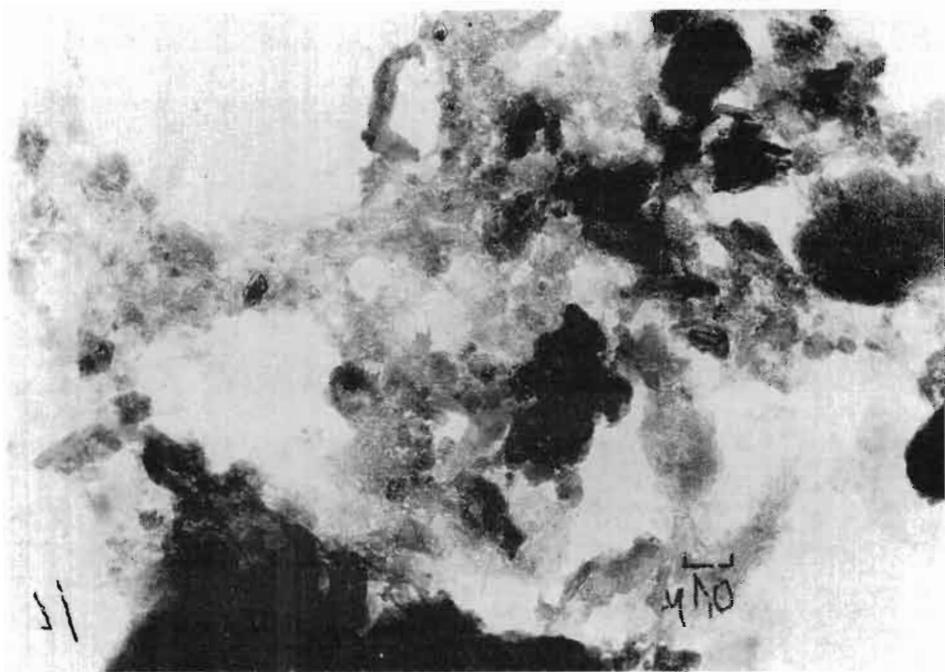
#### 2.3.2. suelo pardo ándico (perfil transición)

Los *diagramas de rayos X* de este perfil (fig. 32) muestran una cierta diferencia entre el horizonte de superficie y los horizontes profundos, como ya había sido indicado anteriormente al estudiar sus características físico-químicas.

En el horizonte A predominan los productos amorfos, mientras que en los horizontes (B)<sub>1</sub> y (B)<sub>2</sub> abundan las arcillas de tipo haloisita. En el horizonte A los efectos a



*Fibras de imogolita*



*Alofana e imogolita*

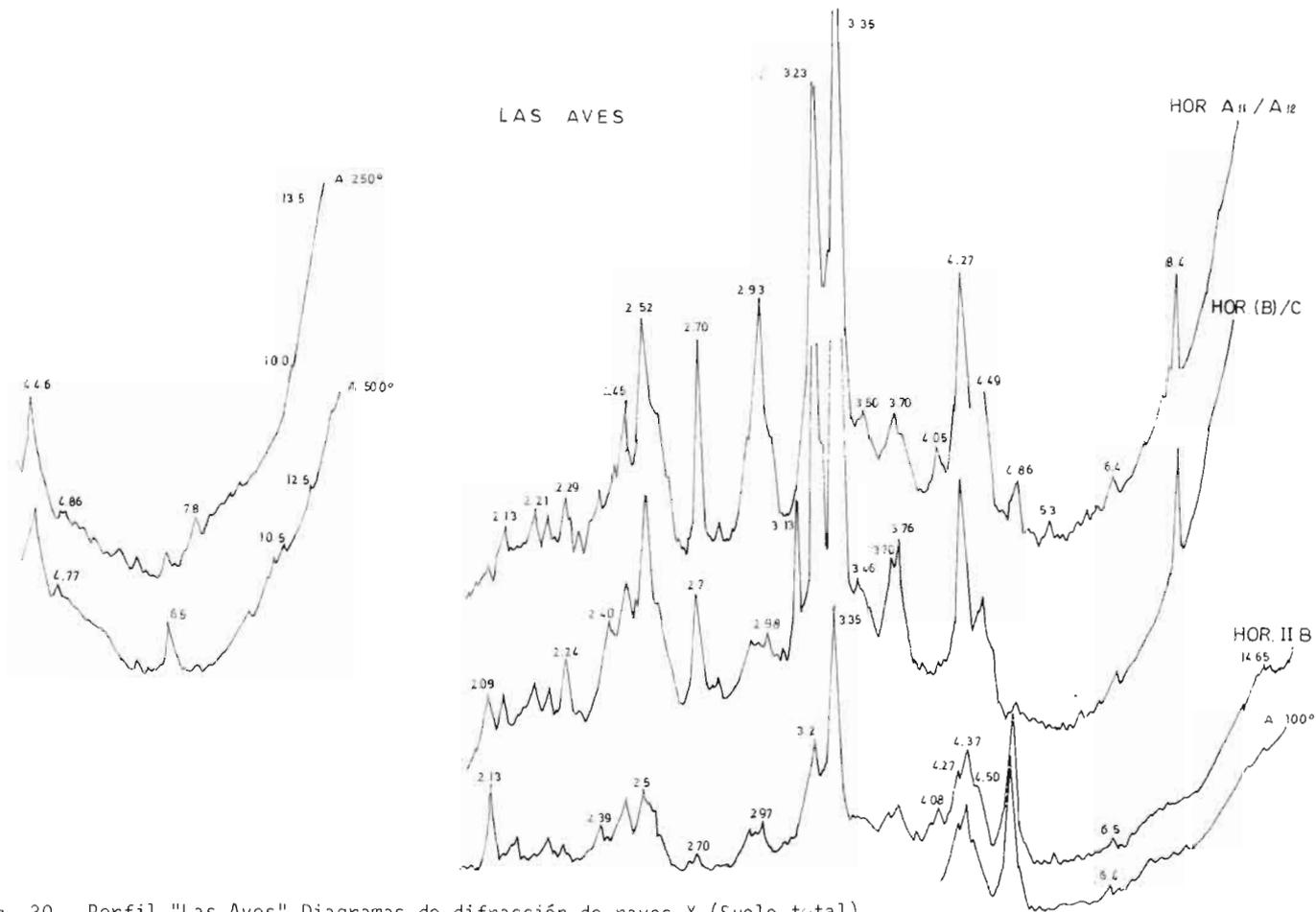


Fig. 30.- Perfil "Las Aves". Diagramas de difracción de rayos X (Suelo total)

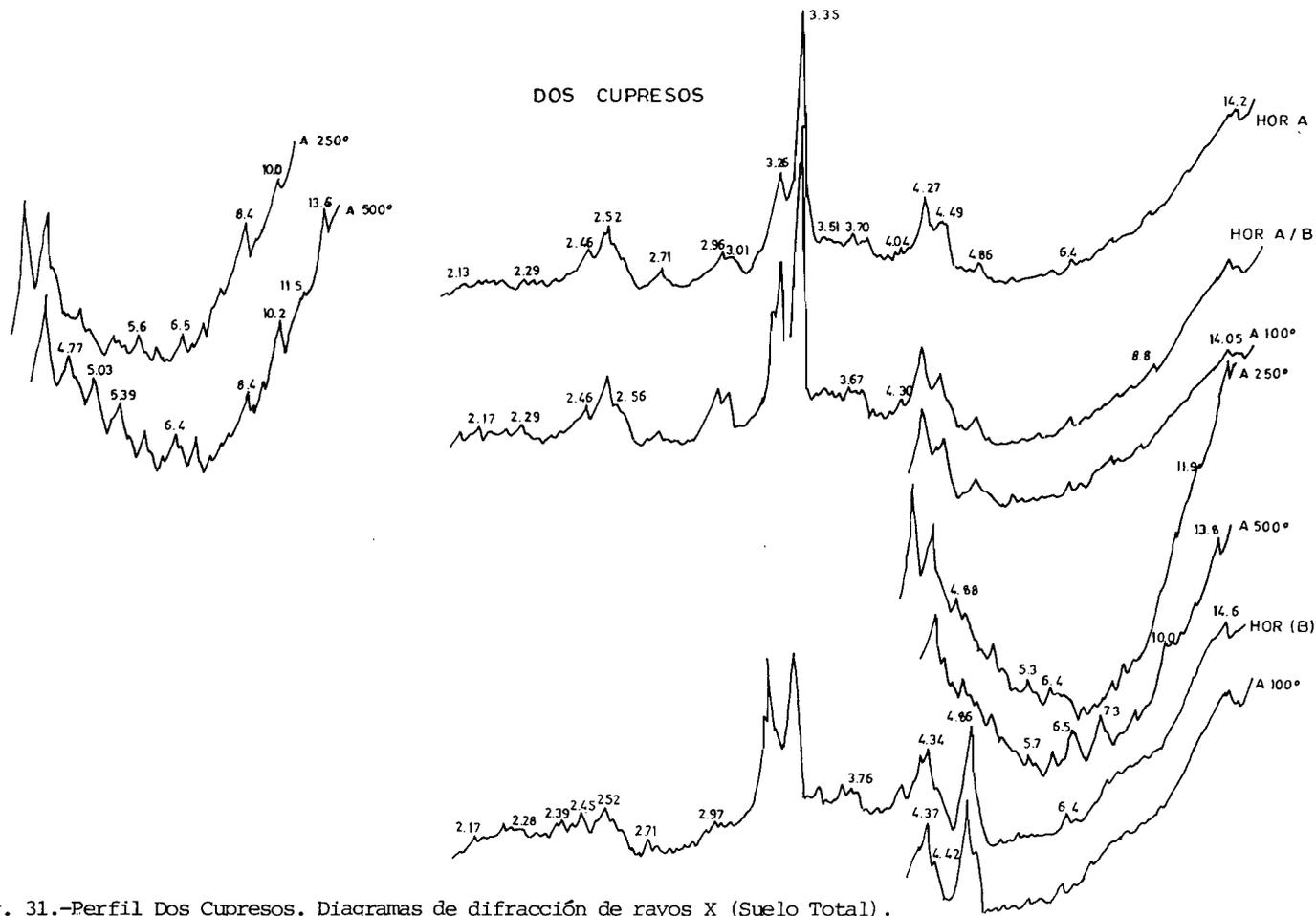


Fig. 31.—Perfil Dos Cupresos. Diagramas de difracción de rayos X (Suelo Total).

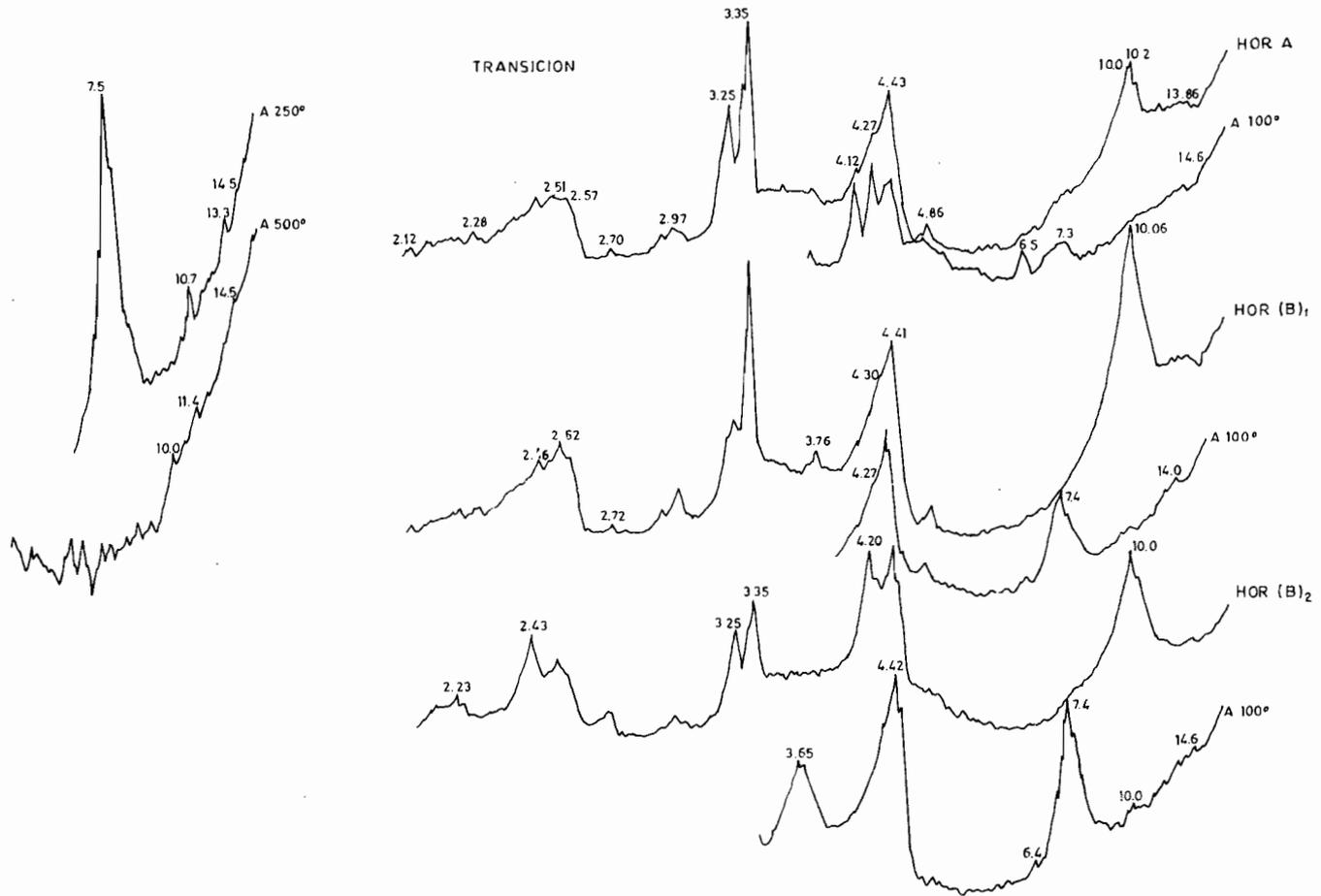


Fig. 32.- Perfil Transición. Diagramas de difracción de rayos X (Suelo Total)

Fig. 33.- Perfil Birmagen. Diagramas de rayos X (Suelo total)

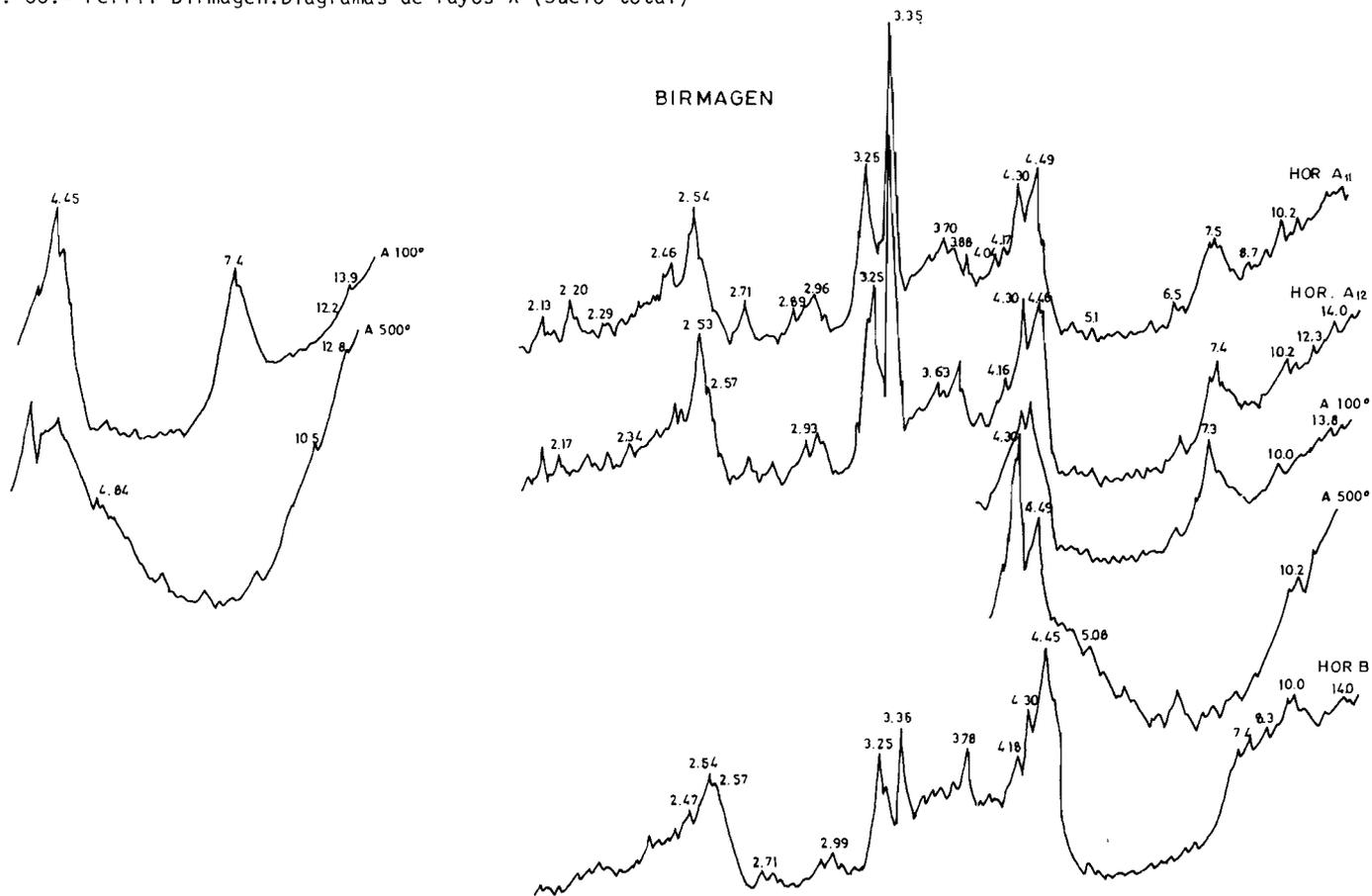
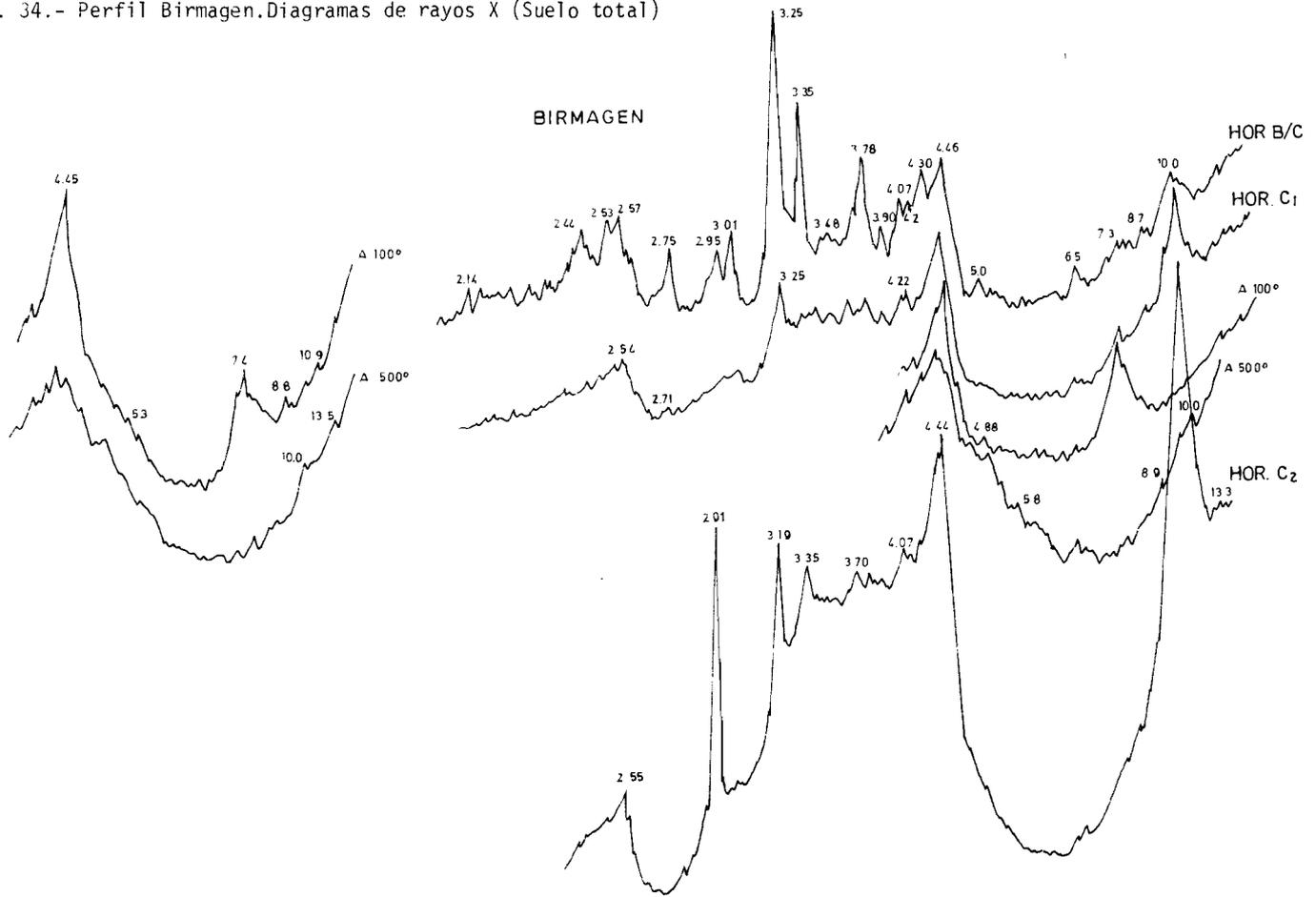


Fig. 34.- Perfil Birmagen. Diagramas de rayos X (Suelo total)



10Å y 7,3 Å en los diagramas de polvo, revelan igualmente la existencia de una pequeña cantidad de haloisita hidratada, así como algo de metahaloisita.

En los horizontes (B)<sub>1</sub> y (B)<sub>2</sub> se produce un aumento considerable de haloisita, que se encuentra únicamente bajo su forma hidratada. En todo el perfil se observa un pequeño efecto a 14,2 Å, que nos hace pensar en la presencia de arcillas 2:1, probablemente de tipo montmorillonítico.

La presencia de un pequeño efecto alrededor de 4,16 Å, principalmente en el horizonte (B)<sub>2</sub>, así como otro a 2,70 Å, indican la existencia de algo de goetita fina (y quizás también de hematites). Aparecen únicamente trazas de gibsita (efecto a 4,86 Å) en los horizontes A y (B)<sub>1</sub>.

El cuarzo es abundante en los tres horizontes, aunque disminuye en el horizonte (B)<sub>2</sub>. Los feldespatos están también muy bien representados, y se encuentran en proporciones similares a lo largo del perfil. La magnetita aparece únicamente en los horizontes (B)<sub>1</sub> y (B)<sub>2</sub>.

Las observaciones al microscopio electrónico confirman los resultados de la difracción de rayos X; es decir, un predominio de alofanas frente a la haloisita, en el horizonte A. En los horizontes (B)<sub>1</sub> y (B)<sub>2</sub> se observan igualmente formas alofánicas, pero la haloisita es ya dominante. Se puede indicar que en la fracción inferior a 2µ, de estos horizontes profundos, se encuentra aproximadamente 2/3 de haloisita y 1/3 de alofana. La haloisita aparece principalmente bajo su forma tubular, aunque se observan también algunos glomerulos. Su grado de cristalinidad aumenta considerablemente con la profundidad. En los tres horizontes aparecen algunas formas de montmorillonita. Se observan también algunas formas de gibsita mal cristalizadas. Son muy frecuentes el cuarzo y los feldespatos; y se distinguen en el horizonte A diatomeas de aproximadamente 0,8µ, de ancho y 1,5µ de largo.

### 2.3.3. suelos pardos eutróficos

#### *Perfil «Dos Postes»*

En este perfil debemos distinguir los horizontes superficiales A y A/(B) de los horizontes (B) y IIB. Los horizontes A y A/B están formados por una mezcla de haloisita hidratada (a 10 Å) y metahaloisita, en proporciones no muy elevadas. En los horizontes (B) y IIB, el contenido de haloisita aumenta considerablemente en su forma hidratada.

En todo el perfil, se observa algo de illita y de arcillas 2:1 que se comportan como una arcilla interestratificada (illita-clorita o illita-vermiculita).

Se observan trazas de gibsita y de hematites, y probablemente de goetita en el horizonte (B).

El cuarzo aparece especialmente en los dos horizontes de superficie. En el horizonte A no abundan los feldespatos; sin embargo, aumentan netamente en el horizonte A/(B). Se observa también la presencia de magnetita.

#### *Perfil «Birmagen»*

A lo largo del perfil (fig. 33 y 34) predominan igualmente las arcillas haloisíticas. Como en el caso anterior, esta arcilla se encuentra en mucha menor proporción en los horizontes A<sub>11</sub> y A<sub>12</sub>, y bajo forma de metahaloisita. La presencia de un pequeño efecto a 10 Å en el diagrama de polvo podría hacer pensar en haloisita hidratada; sin embargo, al calentar a 110° C, este efecto se mantiene, indicando la presencia de illita.

En estos dos horizontes, hay un pequeño efecto alrededor de 14 Å, que corresponde a una mezcla de montmorillonita, clorita e interestratificados (probablemente illita-clorita). Se encuentran pequeñas cantidades de hematites y de goetita. El cuarzo

zo y los feldespatos son abundantes en el horizonte  $A_{11}$ , y disminuyen en el horizonte  $A_{12}$ .

En el horizonte (B) la proporción de haloisita, la mayor parte hidratada (10 Å) aumenta considerablemente a expensas de los minerales primarios (feldespatos, cuarzo). En los horizontes de alteración, (B)/C y  $C_1$ , disminuye nuevamente la cantidad relativa de arcilla. Debemos destacar que la haloisita se encuentra en profundidad, cada vez más en su forma hidratada, especialmente al nivel del depósito de arcilla blanca en  $C_2$ . Se observa todavía un pequeño efecto alrededor de 14 Å que indica la presencia de trazas de arcilla 2/1 (M y M-C). Se aprecia ligeramente la presencia de hidróxidos de hierro (goetita y hematites).

Los feldespatos aumentan muy sensiblemente en los horizontes (B)/C y  $C_2$ , mientras que el cuarzo desaparece progresivamente.

Una observación al microscopio electrónico pone en evidencia un aumento considerable de haloisita, al pasar desde los horizontes de superficie hacia la zona profunda del perfil; ésta se encuentra predominantemente bajo su forma tubular y a veces bajo forma globular.

En el horizonte A, se observan trazas de caolinita fina y de alofana, así como de montmorillonita en el horizonte  $C_1$ .

Resumiendo, el análisis mineralógico pone en evidencia, especialmente, la evolución de los aluminosilicatos desde una forma criptocristalina (alofana, imogolita) en los andosoles, a la aparición cada vez más abundante de haloisita en los suelos pardos. La presencia de gibsita en la parte superior de la secuencia desaparece posteriormente. Los minerales primarios, feldespatos, pagioclasas y cuarzo especialmente, son evidentes en todos los suelos, disminuyendo en los horizontes (B) y II(B). Finalmente, no es muy evidente la presencia de formas secundarias y cristalinas de hidróxidos de hierro (goetita); son frecuentes, sin embargo, las hematites y magnetitas, heredadas probablemente del material original.

### 3. CARACTERÍSTICAS MICROMORFOLÓGICAS

Hemos seguido el método descriptivo de Brewer (1964), complementado con las observaciones de Eswaran y Baños (1976).

En la tabla 26 se resumen las observaciones que hemos realizado en tres perfiles de la secuencia: un andosol, un suelo de transición y un suelo pardo eutrófico (Tejedor Salguero, Benayas, Fernández Caldas, 1977).

Se observa una neta evolución de la microorganización del suelo, especialmente en la textura plásmica: isótica en los andosoles, argilasépica o silasépica en el suelo pardo de transición e insépica en el suelo pardo eutrófico.

Por otra parte, la distribución relativa de los elementos es fundamentalmente: porfírica y congélica en el andosol, porfiro-plásmica y aglutinada en el suelo de transición y plásmica y aglutinada en los suelos pardos.

También desde el punto de vista micromorfológico, igual que habíamos visto en las características físico-químicas, se pone de manifiesto una discontinuidad litológica en los perfiles Dos Postes y Birmagen. Así, en el primero se pasa de una distribución relativa normal de tipo porfírica en los horizontes superficiales a plásmica en los horizontes profundos.

---

M = montmorillonita; M-C = Montmorillonita - Clorita

Tabla 26

CARACTERISTICAS MICROMORFOLOGICAS

PERFIL	HOR.	DISTRIBUCION RELATIVA		TEXTURA PLASMICA	RASGOS EDAFICOS			PRINCIPALES CONSTITUYENTES ORGANICOS		
		NORMAL	ESPECIFICA		CUTANES	EDAFO-TUBULOS	GLEBULAS MANCHAS NODULOS	ESQUELETO ORGANICO	HUMUS COLOIDAL	MULL COLOIDAL
Dos Cupresos	A	Porfirica	Congélica (A)	Isótica	—	—	—	D	A	F
	A/(B)	Porfirica	Congélica (A)	Isótica	—	—	—	F	D	F
	(B)	Plásmico-Porfirica	Congélica (A) Aglutinada (D)	Isótica	—	—	—	F	D	F
Transición	A <sub>1</sub>	Porfirica	Congélica (D) Aglutinada (F)	Argilasépica	—	—	—	D	A	D
	(B) <sub>1</sub>	Porfiro-Plásmica	Aglutinada (A)	Argilasépica	—	—	R	F	—	F
	(B) <sub>2</sub>	Porfiro-Plásmica	Aglutinada (A)	Argilasépica	—	—	F	—	—	F
Dos Postes	A <sub>1</sub>	Porfirica	—	Insépica	—	—	F	F	R	—
	A/(B)	Porfirica	Congélica (F) Aglutinada (D)	Insépica	R	—	F	R	—	—
	(B)	Plásmica	Aglutinada (A)	Insépica	—	R	D	R	—	—
	IIB	Plásmica	Aglutinada (A)	Insépica	R	—	D	—	—	R

A= Muy abundante. D= Dominante. F= Frecuente. R= Raro.

Finalmente debemos destacar la importancia de las microorganizaciones orgánicas, de tipo mull en todo el perfil de los andosoles, que desaparecen en el suelo pardo, a excepción del horizonte humífero donde se encuentran poco desarrolladas.

## 4. INTERPRETACION GENERAL Y CLASIFICACION

### 4.1. ANDOSOLES

#### 4.1.1. tipología

Los perfiles «Las Aves» y «Dos Cupresos», situados en la región de condensación de humedad, se han formado sobre materiales basálticos piroclásticos de edad reciente y presentan las características típicas de los andosoles:

*propiedades morfológicas:* Horizonte humífero muy desarrollado, de color oscuro y con estructura migajosa («fluffy»); baja densidad aparente; textura aparentemente limosa o arenosa; estructura poco diferenciada en el horizonte (B), masiva, microporosa, con consistencia muy friable y no plástica; reacción muy fuerte al ensayo de Fieldes y Perrott.

*Propiedades fisico-químicas:* presentan concentraciones elevadas de materia orgánica que forman complejos estables con la materia mineral, incluso en el horizonte (B); pH ligeramente ácido ( $\sim 6$ ) y desproporcionado con la saturación de bases (10% a 20% de la capacidad de cambio); la diferencia de pH en  $H_2O$  y KCl es inferior a la unidad (entre 0,2 y 1 unidad); la capacidad de cambio es elevada, especialmente en relación con el bajo porcentaje de fracción inferior a  $2\mu$  ( $\sim 100$  meq/100 gr.) y varía ampliamente en función del pH a que se efectue la medida ( $\Delta \sim 40$  meq/100 gr.); la relación molar  $SiO_2/Al_2O_3$  en la fracción inferior a  $2\mu$  es  $\sim 1$ , que corresponde a un proceso de alitización de los productos de alteración; los horizontes más alíticos [horizonte II(B)] se dispersan en medio ácido; la capacidad de retención de agua en el horizonte (B) es elevada ( $\sim 100\%$  del peso seco) y muy neto el fenómeno de deshidratación irreversible.

*Composición mineralógica:* Predominan los silicatos aluminicos y sustancias ferríferas en estado amorfo (alofana) o criptocristalino (imogolita), e hidróxidos criptocristalinos o finamente cristalizados (gibbsite y goetite finas); abundan los minerales primarios residuales alterables (plagioclasas, piroxenos y anfíboles) y están ausentes, o no son evidentes, los filosilicatos arcillosos.

*Características micromorfológicas:* Contextura plásmica isótica, distribución porfirico-congética y abundancia de constituyentes orgánicos humíferos.

#### 4.1.2. génesis

Debemos destacar la frecuente complejidad de los perfiles, debido a un rejuvenecimiento volcánico superficial, que explica la menor evolución geoquímica y mineralógica de la zona superior de los suelos (más rica en minerales primarios). La zona inferior, en los horizontes (B) o II(B), está más evolucionada y más intensamente alitizada, indicando una orientación de la génesis hacia una ferralitización, en la zona climática donde actualmente predominan los andosoles.

#### 4.1.3. clasificación

*Clasificación francesa* (C.P.C.S., proposición de 1972)

*Clase:* «Andosoles»

*Subclase:* «Andosoles con perfil diferenciado»

*Grupo:* «Andosoles desaturados, no perhidratados»

*Subgrupo:* «Crómicos»

*Clasificación americana* (Soil Taxonomy, 1975)

*Orden:* «Inceptisoles»

*Suborden:* «Andepts»

*Gran Grupo:* «Dystrandeps»

*Subgrupo:* «Typic Dystrandeps»

## 4.2. SUELO PARDO ANDICO, DE TRANSICION

### 4.2.1. tipología

Entre los andosoles y los suelos pardos eutróficos se observa una transición progresiva.

El perfil «Transición» se encuentra en una zona intermedia entre el clima regularmente húmedo y el clima de contrastes estacionales. Este perfil presenta, por tanto, características intermedias entre los andosoles y los suelos pardos.

*Propiedades morfológicas:* El horizonte humífero presenta todavía características próximas a los andosoles, aunque la estructura esté más desarrollada. En los horizontes (B)<sub>1</sub> y especialmente (B)<sub>2</sub>, las diferencias con los andosoles son más marcadas: una textura limo-arcillosa o arcillo-limosa, debido a la presencia de arcillas (plasticidad); una estructura netamente desarrollada, poliédrica fina o media, más coherente, pero aún friable. La reacción al ensayo de Fieldes y Perrott, importante en el horizonte A, se atenúa en profundidad y es muy débil en el horizonte (B)<sub>2</sub>.

*Propiedades físico-químicas:* Con relación a los andosoles desaturados, la capacidad de cambio catiónica en el horizonte (B)<sub>2</sub> disminuye muy sensiblemente (en proporción al porcentaje de fracción arcilla) y aumenta el grado de saturación en bases cambiables (≈ 30 a 40%). La diferencia de pH en H<sub>2</sub>O y en KCl es superior a la unidad; el contenido de materia orgánica (de tipo mull) disminuye bruscamente al pasar del horizonte A (12%) al (B)<sub>1</sub> (2%); la relación molar SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> es ligeramente superior a 2 (2,2-2,4); la retención de humedad, aunque aún elevada, es bastante más baja que en el caso de los andosoles, en especial en los horizontes (B)<sub>1</sub> y (B)<sub>2</sub> (≈ 60%) y es relativamente poco sensible al efecto de la deshidratación.

*Composición mineralógica:* Los minerales de la arcilla, ya abundantes en el horizonte A, aumentan considerablemente en los horizontes (B)<sub>1</sub> y (B)<sub>2</sub>. Se trata especialmente de haloisita (10 Å) y algo de arcilla 2/1 interestratificada. El suelo contiene pequeñas cantidades de alofana, que son más abundantes en el horizonte A. Se observan trazas de gibsita, goetita fina y minerales primarios alterables (plagioclasas).

*Características micromorfológicas:* Se pasa a una contextura plásmica argilasépica, y disminuyen los constituyentes orgánicos.

### 4.2.2. génesis

Debemos destacar la aparición importante de minerales arcillosos, especialmente haloisita (a 10 Å), aunque la alofana esté aún presente. El rejuvenecimiento superficial del suelo le da un carácter ándico neto. La orientación de la génesis, aunque poco alítica, tiene aún tendencia ferralítica.

### 4.2.3. clasificación

*Clasificación francesa* (C.P.C.S., 1967)

Las características de este suelo de transición: color pardo, humus de tipo «mull»,

arcillas 1/1 y 2/1, les asemejan a los suelos empardecidos. Pero las afinidades con los andosoles en el horizonte A, la presencia de alofana y la reacción positiva al ensayo de NaF, nos inclinan a proponer un intergrado ándico.

*Clase:* «Suelos Empardecidos»

*Subclase:* «Suelos Empardecidos de países templados, húmedos»

*Grupo:* «Suelos Pardos»

*Subgrupo:* «Suelos pardos ándicos, intergrado con los Suelos Pardos ácidos»

#### *Clasificación americana (Soil Taxonomy, 1975)*

El horizonte humífero de color muy oscuro, rico en humus, y con un grado de saturación inferior al 50%, cumple los requisitos del horizonte úmbrico. Se trata de un suelo joven, en curso de evolución y que es intergrado con los Andepts.

*Orden:* «Inceptisol»

*Suborden:* «Umbrepts»

*Gran Grupo:* Haplumbrepts»

*Subgrupo:* «Andic Haplumbrepts»

### 4.3. SUELOS PARDOS EUTROFICOS

#### 4.3.1. tipología

Los perfiles «Dos Postes» y «Birmagen» se han formado, como los anteriores, sobre materiales piroclásticos recientes, y se encuentran situados en la zona climática de estaciones contrastadas, netamente menos húmeda que las anteriores. Además, los suelos están cultivados.

*Propiedades morfológicas:* El horizonte humífero está menos desarrollado y es menos oscuro que en los andosoles; el color es pardo-rojizo; la textura arcillo-limosa o arcillosa; la estructura está netamente desarrollada, es poliédrica media o gruesa con fuerte cohesión; densidad aparente importante; existen eventualmente, aunque muy pequeños, cutanes arcillo-ferruginosos en la base del perfil. No hay reacción al ensayo de Fieldes y Perrott.

*Propiedades físico-químicas:* El contenido de materia orgánica en todo el perfil es muy inferior al de los andosoles, observándose una gran diferencia entre los horizontes A (3%) y los (B) (0,5%); el pH es ligeramente ácido y la diferencia de pH en H<sub>2</sub>O y en KCl es netamente superior a 1; la capacidad de cambio catiónica en el horizonte B es sensiblemente menor que en los andosoles y el grado de saturación en bases cambiables es próximo o superior al 50% en todo el perfil; la relación molar SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> en la fracción inferior a 2 μ es del orden de 3; la capacidad de retención de humedad (30%-40% de suelo seco) es muy inferior a la observada en los andosoles, y no es sensible al efecto de la deshidratación.

*Composición mineralógica:* Predominan las mezclas de minerales arcillosos de tipo 1/1 y 2/1; metahalosita en el horizonte A, o halosita hidratada (a 10 Å) en los horizontes (B) y (B)C, asociada con arcillas interstratificadas (M-C)\*. Se observa, todavía, la presencia de algo de goetita fina y de minerales primarios alterables (plagioclasas), especialmente en la zona superior del perfil. El cuarzo es más abundante en superficie.

*Características micromorfológicas:* Se pasa a una contextura plásmica inséptica y a una distribución plásmico-aglutínica en el horizonte (B). Los constituyentes orgánicos humíferos son de poca importancia.

\* M-C = Montmorillonita-Clorita

#### 4.3.2. génesis

Es muy notable la gran abundancia de minerales de arcilla del tipo 1/1 y 2/1, que coexisten con algunos minerales alterables. Los hidróxidos de hierro (goetita), así como la materia orgánica humificada, se encuentran en menor proporción que en los andosoles. El rejuvenecimiento superficial es evidente, aunque menos aparente que en los casos anteriores. La orientación probable de la génesis, en estas condiciones climáticas subtropicales, tiende a ser fersialítica.

#### 4.3.3. clasificación

##### *Clasificación francesa* (C.P.C.S., 1967)

La presencia de un horizonte humífero tipo «mull eutrófico», de mezcla de minerales de arcilla 2/1 y 1/1, así como la existencia de pequeñas cantidades de sesquióxidos de hierro libres, permiten clasificar a estos suelos como Suelos Empardecidos. Las condiciones climáticas subtropicales y el grado de saturación en bases próximo del 50% les asemejan a los Suelos Pardos Eutróficos Tropicales.

*Clase:* «Suelos Empardecidos»

*Subclase:* «Suelos Empardecidos de países tropicales»

*Grupo:* «Suelos Pardos eutróficos tropicales»

*Subgrupo:* «Suelos Pardos eutróficos tropicales, *penevolué* o rubificados»

##### *Clasificación americana* (Soil Taxonomy, 1975)

*Orden:* «Inceptisol»

Si tenemos en cuenta que la diferencia de temperatura entre la media del verano y del invierno, en el aire, es ligeramente superior a 5, podemos considerar a estos suelos entre los *Tropepts* y los *Ochrepts*. En el primer caso sería:

*Suborden:* «Tropepts»

*Gran Grupo:* Perfil «Dos Postes»: «Dystropepts»

Perfil «Birmagen»: «Ustropepts»

*Subgrupo:* Perfil «Dos Postes»: «Ustic Dystropepts», intergrado Andico\*

Perfil «Birmagen»: «Typic o Aquic Ustropepts», integrado Andico\*

En el segundo caso sería:

*Suborden:* «Ochrepts»

*Gran Grupo:* Perfil «Dos Postes»: «Ustochrepts»

Perfil «Birmagen»: «Ustochrepts»

*Subgrupo:* Perfil «Dos Postes»: «Andic Ustochrepts»

Perfil «Birmagen»: «Aquic Andic Ustochrepts»

## 5. CONCLUSION: EVOLUCION DE LA SECUENCIA EDAFOCLIMATICA RECIENTE

Un estudio de los suelos más recientes de la secuencia septentrional de Tenerife destaca claramente la evolución de sus características, en relación con la zonalidad climática actual. Al tratarse de suelos de edad similar formados sobre un mismo tipo de material volcánico, piroclástico y basáltico, esta interrelación permite nuevamente poner de manifiesto la incidencia de las condiciones climáticas sobre la génesis.

---

\* Andic, como consecuencia del ligero rejuvenecimiento superficial.

Los principales rasgos de esta evolución edafoclimática, desde los andosoles a los suelos pardos eutróficos, son los siguientes:

*Características morfológicas:* El horizonte humífero, muy profundo y oscuro, casi negro, con estructura migajosa y muy friable, pasa a ser poco profundo, de color pardo rojizo oscuro y adquiere una estructura grumosa más desarrollada y más consistente. El horizonte (B) normalmente pardo amarillento\*, limoso, masivo, microporoso, no plástico y muy friable se vuelve pardo rojizo, arcilloso, plástico, y adquiere una estructura poliédrica muy desarrollada, más densa y muy consistente.

*Materia orgánica:* el contenido en materia orgánica pasa de ser muy importante (> 10% en A) y profundamente incorporado [ $>1\%$  en (B)] en el perfil de los andosoles, a tener valores muy bajos (3%-5% en A) y a disminuir bruscamente con la profundidad [ $\leq 0,5\%$  en (B)] en el caso de los suelos pardos.

*Características físicas:* La textura pasa de areno-limosa a arcillosa; mientras que la capacidad de retención de humedad disminuye muy netamente (de 100% a 35%) y desaparece el efecto de deshidratación irreversible.

*Características químicas:* La diferencia de pH en  $H_2O$  y en el KCl aumenta sensiblemente al mismo tiempo que el porcentaje de filosilicatos; mientras que la capacidad de cambio catiónica y el valor  $\Delta$ , dependientes del pH, disminuyen progresivamente. Por el contrario, el grado de saturación en bases aumenta. La respuesta al ensayo de NaF (Fieldes y Perrott) pasa de ser muy positiva en los andosoles, a nula en los suelos pardos. La evolución geoquímica, marcada por la alitización en los andosoles, tiene una tendencia fersialítica en los suelos pardos.

*Características mineralógicas:* La fracción arena es siempre rica en minerales alterables, especialmente en los horizontes superiores de los andosoles, muy intensamente rejuvenecidos por cenizas volcánicas. Sin embargo, la evolución de la fracción mineral secundaria es espectacular. En los andosoles, predominan las sustancias «amorfás» (alofanas) o criptocristalinas (imogolita, hidróxidos de hierro) y gibsitina fina en el horizonte (B). Esta fracción, posteriormente, se enriquece en minerales de la arcilla, especialmente haloisita y algo de arcilla 2/1 interestratificada, en los suelos pardos. La haloisita, hidratada en el suelo de transición, se deshidrata a metahaloisita en la zona superior de los suelos pardos.

*Características micromorfológicas:* Los andosoles, con una organización porfirico-congéllica, con una contextura plásmica isótica y ricos en materia orgánica humificada, se diferencian claramente de los suelos pardos, que se caracterizan por una organización plásmica-aglutinica de tipo argilasépica o insépica y por un bajo contenido de materia orgánica.

En conclusión, la secuencia genética sobre materiales recientes a que nos venimos refiriendo, conduce a dos diferenciaciones edafológicas muy contrastadas: a) andosoles desaturados en la zona climática templada perhúmeda y b) suelos pardos eutróficos en la zona climática subtropical con dos estaciones. Es interesante observar que la zona de transición muestra una progresividad (aunque muy rápida) en el paso de los andosoles a los suelos pardos, de la misma forma que lo han observado otros autores como Colmet-Daage en las Antillas (1965), Sieffermann en el Camerún (1969), Quantin en las Nuevas Hébridas (1972-1974), Moinereau en el Macizo Central Francés (1977), etc.

Por una parte, la alteración de materiales tan rápidamente alterables como las cenizas volcánicas en un clima perhúmedo conduce a la formación preferente de pro-

---

\* Exceptuando los suelos rojos litocromos, donde el color es heredado de una ceniza rica inicialmente en hematites.

ductos amorfos o criptocristalinos y complejos órgano-minerales estables, que caracterizan a los andosoles. Los andosoles de las islas Canarias que tienen imogolita y gibsita en cantidad importante, parecen dirigirse a largo plazo hacia un proceso de ferralitización.

Y por otra, zonas climáticas con estaciones contrastadas favorecen la aparición precoz de arcillas, principalmente haloisita y algo de arcilla 2/1 interestratificadas, al mismo tiempo que una descomposición rápida de materia orgánica, características ambas de los suelos pardos. Los suelos de este tipo, en las islas Canarias, que presentan una rubefacción reciente y un bajo contenido de sesquióxidos de hierro libre, parecen orientarse hacia un proceso de fersialitización.

Esta diferenciación edafoclimática es aún más evidente en los suelos más antiguos de esta misma secuencia del Norte de Tenerife constituida por suelos ferralíticos y suelos fersialíticos.



## V. SECUENCIA CLIMATICA DE SUELOS ANTIGUOS DE LA REGION SEPTENTRIONAL

En el presente capítulo estudiamos los suelos más evolucionados de la región Norte de la isla de Tenerife, distribuidos según la siguiente secuencia climática: suelos ferralíticos, fersialíticos y vertisoles.

En el capítulo anterior, estudiamos los suelos menos evolucionados de esta misma región, que constituyen igualmente una secuencia, formada por andosoles y suelos pardos. Como ya indicábamos, estos suelos representan una forma de evolución reciente y se encuentran sobre materiales jóvenes, que generalmente fosilizan a los suelos más antiguos.

Por el contrario, los suelos que estudiamos a continuación aparecen sobre materiales antiguos y se encuentran en un avanzado estado de evolución.

Si tenemos en cuenta la edad relativamente importante de estos suelos, como se deduce de su desarrollo, de su profundo grado de alteración y de la cronología de los materiales de origen, debemos pensar que a lo largo de su formación han podido variar, en intensidad, las condiciones climáticas; fenómeno muy frecuente durante el Cuaternario.

Es por tanto probable que la secuencia climática representada en la figura 35, que corresponde a las condiciones actuales, no se haya mantenido invariable durante todo el período de formación de estos suelos. En consecuencia, es actualmente muy difícil establecer las condiciones climáticas que han condicionado su alteración y atribuir una climatología determinada a la formación específica de estos suelos.

### 1. CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS Y FISICO-QUIMICAS

#### 1.1. CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS

Se han estudiado dos perfiles de suelos ferralíticos (Poleo, Las Lajas), tres de suelos fersialíticos (Las Rosas, Carboneras y La Mina) y un vertisol (Bajamar).

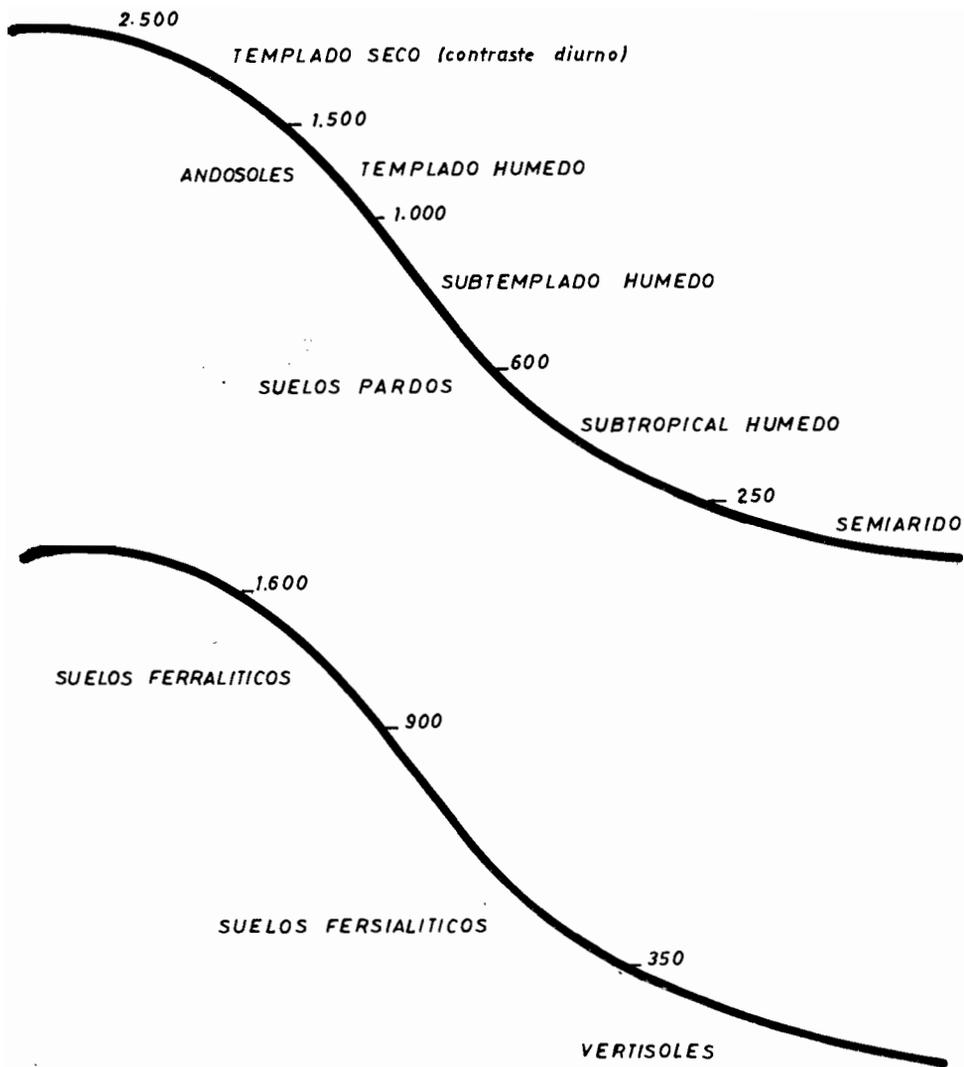


Fig. 35.- COMPARACION DE LAS CONDICIONES CLIMATICAS ACTUALES Y DE LAS SECUENCIAS DE SUELOS RECIENTES Y ANTIGUOS DE LA REGION NORTE DE TENERIFE.

Describiremos los más característicos, y posteriormente indicaremos las posibles variaciones morfológicas que se puedan encontrar.

#### 1.1.1. suelos ferralíticos

##### *Perfil Poleo*

Situación: Esperanza-Agua García

Altitud: 1000 m.

Vegetación: Laurisilva

Descripción:

0-10/20 cm. Horizonte A

Horizonte humífero; color pardo (7,5 YR 4/6); textura limo-arcillosa; estructura grumosa, muy friable; baja densidad aparente.

20-80 cm. Horizonte (B)

Color pardo-amarillento (5YR 3/6); textura limo-arcillosa; estructura poliédrica fina; densidad aparente ligeramente superior a la del horizonte A.

80-2 m. Horizonte II B

Color pardo-rojizo (2,5 YR 3/4); textura limo-arcillosa; estructura poliédrica media.

##### *Perfil Las Lajas*

Situación: Las Mercedes, camino Moquinal, bifurcación Las Lajas

Altitud: 1000 m.

Pendiente: 30%

Vegetación: Laurisilva

Orientación: NO

Material de origen: Basalto muy alterado (después 1<sup>er</sup> sequum)

Descripción:

2-50 cm. Horizonte A<sub>11</sub>

Gran actividad biológica; textura limo-arcillosa; estructura continua, muy friable, ligera y porosa; baja densidad aparente.

50-90 cm. Horizonte A<sub>12</sub>

Color pardo muy oscuro (10 YR 2/2); textura limo-arcillosa y humífera; estructura continua, friable, porosa y «harinosa»; abundantes raíces; se observan partículas carbonizadas; baja densidad aparente.

90-120 cm. Horizonte (B)

Color pardo rojizo oscuro (5 YR 3/4); textura arcillo-limosa; estructura muy desarrollada, poliédrica, muy friable, porosa; no se observan cutanes.

120-170 cm. Horizonte IIB<sub>1</sub>

Muy difusa la transición; color rojo-amarillento (5 YR 4/6); textura arcillosa; estructura poliédrica que se deshace en grumosa, poco densa, friable.

170-190 cm. Horizonte IIB<sub>2</sub>

Color rojo amarillento (5 YR 4/6); textura arcillosa; estructura poliédrica media; se observan abundantes concreciones de gipsita de diámetro variado ( $\sigma$  5-20 mm).

190-210 cm. Horizonte IIB/C

Capa de cenizas, probablemente fonolíticas, muy alteradas. Color amarillento.

210-290 cm. Horizonte IIIB

Depósito coluvio-aluvial argílico estratificado; color pardo oscuro (7,5 YR

4/4); textura arcillosa; estructura poliédrica; se observan abundantes concreciones de gibsita.

>290 cm. Horizonte IVB

Suelo antiguo «in situ»; color pardo rojizo oscuro (2,5 YR 3/4); textura arcillosa; estructura poliédrica muy desarrollada, angular, consistente; untuosa al tacto.

Sólo se consideran en este perfil los horizontes correspondientes al suelo ferralítico IIB<sub>1</sub>, IIB<sub>2</sub>, IIB/C.

### 1.1.2. suelos fersialíticos

#### Perfil «Las Carboneras»

Situación: Pequeño cono volcánico, bien conservado que domina La Esperanza

Altitud: 825 m.

Pendiente: Importante de 30% a 40%

Vegetación: Secundaria, de pradera con gramíneas y helechos.

Orientación: Norte

Material de origen: Lapilli basáltico

Descripción:

0-30 cm. Horizonte A<sub>p</sub>

Color pardo-rojizo oscuro (5 YR 4/4) en húmedo, y (5 YR 3/3,5) en seco; textura limo-arcillosa, con algo de gravas; estructura intermedia entre gruesa y granular media fina; con consistencia mediana; muy poroso; abundantes raíces finas.

30-55 cm. Horizonte B/A

Color pardo-rojizo (2,5 YR 4/4); transición progresiva hacia suelos más rojos; es más arcilloso y coherente que el horizonte anterior; estructura poliédrica y prismática media; existen raíces dispersas.

55-120 cm. Horizonte B

Color rojo (2,5 YR 3/6) en húmedo y (5 YR 4,5/6) en seco; textura arcillo-limosa; estructura de prismática fina a poliédrica media; consistencia bastante fuerte; más húmedo y plástico que los horizontes anteriores; se observan algunos revestimientos negros (MnO<sub>2</sub>) que indican una cierta hidromorfía temporal; menor permeabilidad; pocas raíces, finas y dispersas.

120-160 cm. Horizonte B/C

Color rojo (2,5 YR 4/6) en húmedo; se encuentran lapillis alterados y friables; textura arcillosa; más húmedo y menos permeable aún que el horizonte B.

#### Perfil «La Mina»

Situación: Cono volcánico

Altitud: 700 m.

Pendiente: 15%

Vegetación: Terraza cultivada

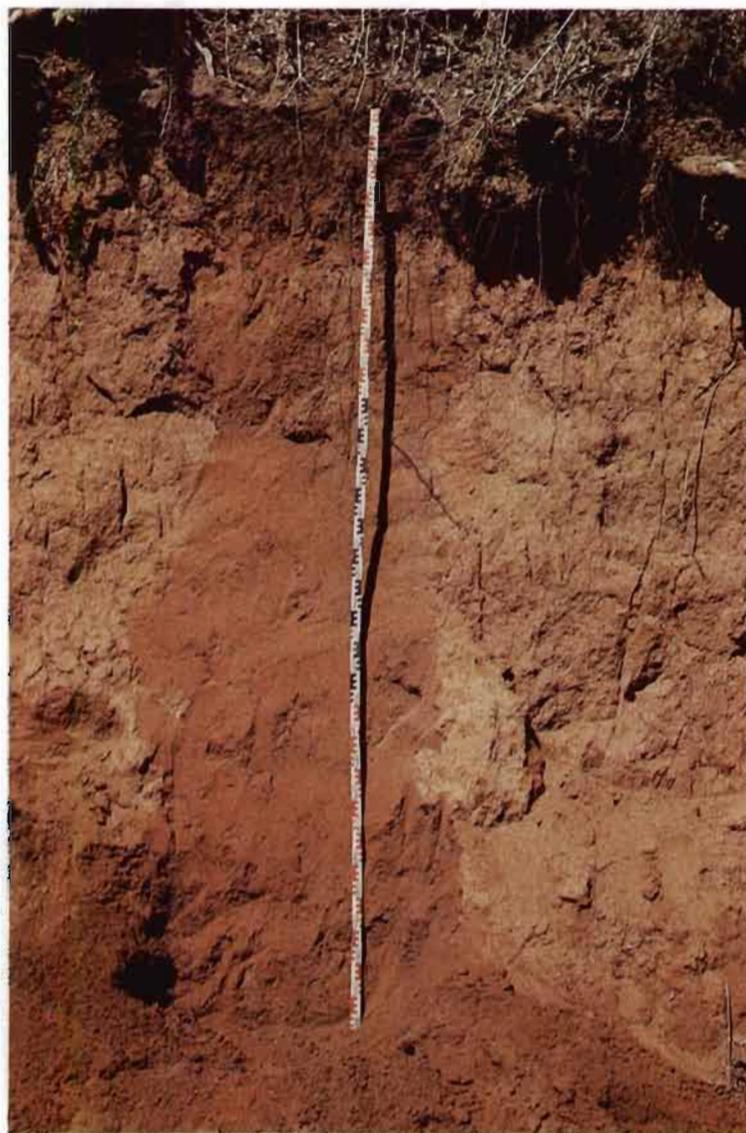
Orientación: Sur

Material de origen: Lapillis basálticos escoriáceos

Descripción:

0-20/22 cm. Horizonte A<sub>p</sub>

Color pardo rojizo un poco oscuro (5-2,5 YR 4/4) en húmedo y (5 YR 3,5/4)



*Suelo ferralítico*





*Suelo ferralítico. Alterita*



en seco; textura arcillo-arenosa; estructura granular fina y media; cohesión mediana; friable; muy permeable; enraizamiento medio.

22-48 cm. Horizonte  $A_p/B$

Transición; color pardo rojizo (5-2,5 YR 4/4); seco y un poco friable; textura arcillo-arenosa, con algunas gravas; estructura poliédrica media; cohesión fuerte; muy permeable; pocas raíces.

48-82 cm. Horizonte  $B_1$

Color rojo ligeramente pardificado (2,5 YR 4/4); seco y poco friable; textura arcillosa con algunas gravas; estructura poliédrica gruesa y prismática aún poco desarrollada; cohesión fuerte; se observan algunos cutanes pardos sobre los poliedros; contienen feldespatos parcialmente alterados; aún permeables; pocas raíces.

82-125 cm. Horizonte  $B_2$

Color rojo oscuro (2,5 YR 3/6); textura arcillosa, con algunas gravas (lapillis alterados) y arenas (feldespatos alterados); estructura poliédrica gruesa; cohesión muy fuerte; no hay revestimientos pardos; permeabilidad menor; escasas raíces.

125-180 cm. Horizonte  $B_3$

Color rojo oscuro (2,5 YR 3/6); textura arcillosa con algunas gravas de escorias muy alteradas; estructura más gruesa que en el horizonte anterior, poliédrica con tendencia a prismática, con aparición discreta de caras brillantes un poco inclinadas y estriadas; se observan algunos cutanes pardo-rojizos, aunque poco desarrollados; poca permeabilidad; escasas raíces.

180-250 cm. Horizonte B/C

Color rojo (2,5 YR 4/6); formado por zonas arcillosas rojas y lapillis escoriáceos pardo-rojizos, alterados y friables; estructura poliédrica gruesa; fuerte cohesión.

### 1.1.3. vertisol

#### *Perfil «Bajamar»*

Situación: Bajamar

Altitud: 50 m.

Pendiente: Muy pequeña

Vegetación: Xerofítica

Orientación: Norte

Descripción:

0-8 cm. Horizonte  $A_p/(B)$

Color gris (10 YR 5/1); textura arcillosa; estructura de granular a poliédrica media poco desarrollada; friable; muy pocas raíces.

8-50 cm. Horizonte (B)

Color gris (10 YR 5/1); textura arcillosa; estructura prismática gruesa muy bien desarrollada, agregados de 10 cm., y ancho de las grietas superior a 1 cm.; muy duro en estado seco; se observan nódulos de  $CaCO_3$ ; límite irregular.

50-90 cm. Horizonte  $IB_{Ca}$

Encostramiento de la base del perfil por carbonato cálcico friable, que rellena una parte de las grietas que existen en el suelo.

Tabla 27

CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS

PERFIL	TIPO DE SUELO	ALTITUD	VEGETACION	HOR.	CARACTERISTICAS DEL HORIZONTE A			CARACTERISTICAS DEL HORIZONTE B		
					COLOR	ESTRUCTURA	TEXTURA	COLOR	ESTRUCTURA	TEXTURA
Poleo	S. Ferralítico	1000 m	Laurisilva	A (B) IIB	7,5 YR 4/6	Grumosa fina, harinosa	Limo-arcillosa	2,5 YR 3/4	Poliédrica media	Limo-arcillosa
Las Lajas	S. Ferralítico	1000 m	Laurisilva	A <sub>11</sub> A <sub>12</sub> (B) IIB <sub>1</sub> IIB <sub>2</sub> IIB/C	10 YR 2/2	Granular fina, harinosa	Limo-arcillosa	5 YR 4/6	Poliédrica media	Arcillo-limosa
Las Rosas	S. Ferralítico	1050 m	Pinar	A B/A B B/C	5 YR 4-3/4	Granular gruesa y fina	Arcillo-limosa	5 YR 4/6	Prismática cúbica, vértica	Arcillosa
Carboneras	S. Ferralítico	825 m	Gramineas	A <sub>p</sub> B/A B B/C	5 YR 4/4	Granular sub- poliédrica	Limo-arcillosa	2,5 YR 3/6	Prismática fina a poliédrica media	Arcillo-limosa
La Mina	S. Ferralítico	700 m	Terraza cultivada	A <sub>p</sub> A/B B <sub>1</sub> B <sub>2</sub> B <sub>3</sub> B/C	5-2,5 YR 4/4	Granular fina y media, sub- poliédrica	Arcillo arenosa con gravas	2,5 YR 4/4	Poliédrica gruesa y prismática poco desarrollada	Arcillosa, con algunas gravas
Bajamar	Vertisol	50 m	Xerofítica	A <sub>p</sub> /(B) (B) IIB <sub>ca</sub>	10 YR 5/1	Granular a poliédrica media	Arcillosa	10 YR 5/1	Prismática gruesa muy desarrollada con slickenside	Arcillosa



*Paisaje de suelo fersialítico*





*Suelo fersialítico*





*Detalle de suelo fersialítico (Manganes)*



#### 1.1.4. variación de la morfología a lo largo de la secuencia

En la tabla 27 se resumen las principales características de estos suelos.

Esta secuencia se encuentra sobre formaciones volcánicas antiguas. Es éste el motivo por el que debemos resaltar la complejidad de estos perfiles, que están constituidos en su base por alteraciones antiguas, ferralíticas o fersialíticas, recubiertas generalmente por formaciones volcánicas más recientes, que presentan a menudo caracteres de suelos ándicos o de suelos pardos en la parte superior y húmeda de la secuencia. En la zona de los vertisoles es frecuente ver suelos complejos formados por varios depósitos coluviales, con sucesivas acumulaciones de carbonatos. Los suelos fersialíticos y vertisoles están más a menudo en superficie, o con un rejuvenecimiento menor que los suelos ferralíticos, ya que se encuentran en la zona de máximo cultivo y están sometidos a una mayor acción antrópica y erosiva.

A lo largo de la secuencia, se observa cómo la estructura se desarrolla progresivamente, pasando de poliédrica media y friable en los suelos ferralíticos, a prismática muy desarrollada y coherente, con slickensides y grietas de retracción en los vertisoles, a través de una estructura intermedia poliédrica gruesa con tendencia prismática y vértica, en el caso de los suelos fersialíticos.

De un color pardo-rojizo, o incluso en ocasiones amarillento, en los suelos ferralíticos, se pasa a un tono netamente rojo en los suelos fersialíticos y gris o pardogrisáceo oscuro en los vertisoles.

Los suelos ferralíticos son, en general, muy friables y presentan una baja densidad aparente y una gran microporosidad. La consistencia aumenta al descender en la secuencia, especialmente en los vertisoles.

En los horizontes profundos de algunos de los suelos fersialíticos (perfiles Las Rosas y La Mina), se observan caracteres netamente vérticos, con caras brillantes, estriadas e inclinadas. En algunos de estos suelos, principalmente en los que se encuentran en las zonas de planicie, mal drenadas, se observan revestimientos negros de óxido de manganeso, que indican una cierta hidromorfia temporal.

Los vertisoles, como consecuencia de su posición en la parte inferior de las vertientes (altitud < 300/400 m. y pendiente  $\leq$  5%), se han formado a menudo sobre coluvios arcillosos, que recubren la alteración del basalto (Rodríguez Hernández, 1976). Es éste el motivo por el que los perfiles son generalmente complejos. Pueden presentar uno o varios horizontes de acumulación calizos entre los diversos depósitos, cuya formación puede explicarse por emigraciones, al mismo tiempo verticales y laterales de carbonato cálcico. En ocasiones, al nivel de la alteración se observa también un horizonte «moteado» hidromorfo (B/C)<sub>g</sub>.

La extensión de los vertisoles en esta región Norte es muy reducida, como consecuencia de la construcción de terrazas artificiales con suelos transportados de la zona montañosa.

El paso de una unidad edafológica a otra en la secuencia, tiene lugar de una manera progresiva, por lo que se encuentran diferentes suelos de transición: ferralítico-fersialítico, fersialítico-vertisol y vertisol-suelo marrón con carbonato cálcico y rico en ión Na<sup>+</sup> en algunas posiciones de la zona baja de la secuencia.

Los suelos fersialíticos de esta secuencia, situada al Norte, presentan un color rojo mucho más intenso y un mayor desarrollo que los observados en la secuencia de suelos del Sur de la isla (Quantín, Tejedor Salguero, Fernández Caldas, 1977; Tejedor Salguero, Quantín, Fernández Caldas, 1978).

Los vertisoles también están más desarrollados y su color es más oscuro. Los suelos ferralíticos no se observan en la secuencia meridional, debido a las condiciones climáticas de gran aridez.

## 1.2. CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

### 1.2.1. materia orgánica (tabla 28)

El contenido de materia orgánica en superficie es similar en los suelos ferralíticos y fersialíticos (2%-6%); en los vertisoles es mucho menor (0,8%).

En general, la proporción de materia orgánica decrece rápidamente con la profundidad del perfil (hasta 0,2%-0,8%), salvo en el caso del perfil Las Lajas, donde se mantienen valores importantes (2,7%) aún en profundidad. En este caso, la materia orgánica está formada principalmente por ácidos fúlvicos que provienen del suelo ándico superficial. También en el vertisol, la disminución es más progresiva (de 0,8% a 0,3%).

La relación C/N oscila en superficie entre 6,6 y 11,8 (no se considera el suelo rejuvenecido del perfil Poleo), lo que nos indica una materia orgánica bastante evolucionada, generalmente de tipo mull.

Vemos, por tanto, que a lo largo de la secuencia el contenido de materia orgánica es relativamente más bajo que en los suelos jóvenes, y especialmente los andosoles. Además, los suelos son tanto más humificados cuanto el clima es más húmedo.

### 1.2.2. pH, complejo de cambio (tabla 29)

El pH es ácido o moderadamente ácido en los suelos ferralíticos y suelos fersialíticos, oscilando entre 5,3 y 6,9; aumenta considerablemente en los vertisoles, alcanzando un valor de 8,8.

La diferencia de pH medido en  $H_2O$  y KCl es superior a la unidad, salvo en algunos horizontes de los suelos ferralíticos. Esta diferencia llega a tener valores cercanos a 2, índice de minerales de arcilla con elevada capacidad de cambio.

La suma de bases cambiables aumenta considerablemente al pasar de los suelos ferralíticos a los vertisoles. Oscila entre 5,1 y 11,4 meq/100 gr. en los suelos ferralíticos, entre 10,6 y 21,8 meq/100 gr. en los suelos fersialíticos y supera los 45 meq/100 gr. en los vertisoles.

Se observa una disminución brusca en el contenido de bases cambiables en el horizonte B del perfil Las Rosas (5 meq/100 gr.). En efecto, este suelo está en el límite de los intergradados hacia los suelos ferralíticos.

Los iones  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  son los mejor representados en el complejo absorbente a lo largo de la secuencia. Debemos exceptuar el perfil Las Lajas, donde el  $Na^+$  es también importante. La distribución del  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$  en cada perfil es irregular en los suelos ferralíticos y suelos fersialíticos. En los vertisoles, estos iones aumentan con la profundidad.

En general, los iones  $Na^+$  y  $K^+$  están en menor proporción que el  $Ca^{++}$  y  $Mg^{++}$ . Sin embargo, el  $Na^+$  tiene tendencia a aumentar con la profundidad en algunos de los suelos fersialíticos y especialmente en los vertisoles. En el resto de los perfiles su distribución es irregular. En cuanto al ión  $K^+$ , disminuye con la profundidad en todos los perfiles.

La capacidad de cambio más baja corresponde al suelo ferralítico Poleo (18,9 meq/100 gr.) y aumenta en el perfil Las Lajas. En los suelos fersialíticos estos valores son muy similares. El primer caso correspondió a una mineralogía con predominio de haloisita y/o gibsita, y el segundo a la presencia de arcillas haloisíticas con algo de arcillas 2/1. Se observa, excepcionalmente, una discontinuidad en los valores de capacidad de cambio a nivel del horizonte B en el perfil Las Rosas. En el vertisol, la capacidad de cambio aumenta notablemente, con valores alrededor de 42

Tabla 28

**MATERIA ORGANICA**

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	%C	%M.O.	%N	C/N
Poleo	S. Ferralítico	A	3,82	6,57	0,28	13,64
		(B)	0,64	1,10	0,09	6,73
		II B	0,42	0,72	0,05	8,75
Las Lajas	S. Ferralítico	II B <sub>1</sub>	2,12	3,64	0,19	11,15
		II B <sub>2</sub>	1,58	2,71	0,12	13,16
		II B/C	1,55	2,66	0,08	17,61
Las Rosas	S. Fersialítico	A	2,00	3,44	0,17	11,76
		A/B	0,34	0,58	0,04	8,95
		B	0,12	0,21	0,02	7,06
		B/C	0,21	0,36	0,02	8,40
Carboneras	S. Fersialítico	A <sub>11</sub>	3,65	6,28	0,37	9,86
		B	0,42	0,72	0,04	12,00
		B/C	0,21	0,36	0,03	7,50
Mina	S. Fersialítico	A <sub>p</sub>	1,60	2,75	0,18	8,89
		B <sub>1</sub>	0,49	0,84	0,07	7,00
		B <sub>2</sub>	0,33	0,57	0,05	6,60
		B <sub>3</sub>	0,20	0,34	0,03	6,67
		B/C	0,21	0,36	0,03	8,08
Bajamar	Vertisol	A <sub>p</sub> /(B)	0,48	0,83	0,07	6,60
		(B)	0,48	0,83	0,07	6,90
		II B <sub>Ca</sub>	0,19	0,34	0,03	6,40

Tabla 29

PH, CAPACIDAD TOTAL DE CAMBIO, BASES CAMBIABLES Y GRADO DE SATURACION

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	H <sub>2</sub> O	KCl	CO <sub>3</sub> Ca%	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	S	T	S/T
			PH			meq/100 gr.						
Poleo	S. Ferralítico	A	6,0	5,2		3,73	3,00	0,58	1,95	9,26	37,99	24,37
		(B)	6,1	5,4		3,47	1,97	4,84	1,17	11,45	38,44	29,78
		II B	6,2	5,5		2,55	2,67	1,06	0,88	7,16	18,93	37,82
Las Lajas	S. Ferralítico	II B <sub>1</sub>	5,3	4,2		1,56	2,07	2,17	0,93	6,73	35,90	18,70
		II B <sub>2</sub>	5,5	4,4		2,12	2,63	3,80	0,19	8,74	32,80	26,70
		II B/C	5,4	4,5		1,12	1,43	2,38	0,09	5,08	26,30	19,20
Las Rosas	S. Fersialítico	A	5,9	4,3		4,79	3,19	0,75	1,91	10,64	27,36	38,88
		A/B	5,9	4,6		4,61	3,81	3,73	1,05	13,20	23,63	55,86
		B	5,3	3,6		1,34	1,72	1,78	0,34	5,18	14,74	35,14
		B/C	5,7	4,7		4,48	4,63	1,31	0,56	10,98	22,17	49,52
Carboneras	S. Fersialítico	A <sub>11</sub>	6,2	4,7		6,66	4,58	0,86	1,37	13,47	34,45	39,10
		B	6,8	5,3		4,98	3,69	2,47	2,37	13,51	29,13	46,38
		B/C	6,8	5,3		6,13	5,03	3,28	1,24	15,68	29,68	52,83
Mina	S. Fersialítico	A <sub>p</sub>	6,5	5,5		7,55	5,00	1,01	4,89	18,45	28,24	65,33
		B <sub>1</sub>	6,5	5,4		6,45	4,68	1,15	1,43	13,71	24,78	55,33
		B <sub>2</sub>	6,6	5,4		6,12	5,49	2,11	2,12	15,84	31,34	50,54
		B <sub>3</sub>	6,8	5,7		8,44	7,34	3,59	1,95	21,32	34,17	62,39
		B/C	6,9	5,8		8,75	6,84	4,65	1,54	21,78	30,58	71,22
Bajamar	Vertisol	A <sub>p</sub> /(B)	8,8	7,3	1,06	26,60	10,90	3,06	0,69	41,25	37,40	— —
		(B)	8,1	7,3	1,24	28,70	12,10	4,10	0,59	45,49	41,50	— —
		II B <sub>Ca</sub>	8,6	7,6	34,25	*	19,00	5,40	0,22	*	41,60	— —

\* La presencia de CaCO<sub>3</sub> secundario impide la determinación de Ca<sup>2+</sup> cambiabile.

Tabla 30

ANALISIS QUIMICO TOTAL

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	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 (%)	Mn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)	Pérdida por cal- cinación 105° C/ 1000° C	Oxidos		
														SiO <sub>2</sub> Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.	SiO <sub>2</sub> Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol.	SiO <sub>2</sub> TiO <sub>2</sub> mol.
Poleo	S. Ferralítico	A	28,65	27,67	13,03	8,29	1,16	1,98	0,31	2,86	1,05	0,29	16,00	1,76	5,85	4,59
		(B)	33,62	26,40	13,94	10,07	1,11	0,75	0,75	0,16	0,66	0,65	13,02	2,16	6,41	4,44
		II B	30,12	29,52	16,08	10,92	1,50	1,44	0,28	0,84	0,94	0,16	11,80	1,73	4,98	3,67
Las Lajas	S. Ferralítico	II B <sub>1</sub>	35,90	25,62	8,41		0,40	0,11	0,06	0,15	0,61		17,44	2,37	11,48	
		II B <sub>2</sub>	33,61	28,77	7,75		0,18	0,03	0,03	0,15	0,24		18,50	2,13	7,35	
		II B/C	25,81	35,36	8,16		0,13	0,03	0,06	0,15	0,24		22,98	1,24	8,41	
Las Rosas	S. Ferralítico	A	39,78	25,36	13,28	8,74	1,33	0,97	0,10	0,97	1,27	0,12	8,05	2,66	7,97	6,05
		A/B	40,72	29,68	8,21	4,77	1,37	0,86	0,04	0,89	1,14	0,06	11,93	2,33	13,19	11,37
		B	47,85	27,25	7,56	4,36	1,39	1,31	0,07	3,00	2,13	0,07	6,10	2,98	16,84	14,62
		B/C	39,95	23,63	14,90	9,40	1,73	0,99	0,12	0,51	0,83	0,19	8,06	2,87	7,13	5,66
Carboneras	S. Ferralítico	A <sub>11</sub>	31,12	18,42	22,03	9,59	1,49	1,45	0,30	0,77	0,89	0,17	15,00	2,87	3,76	4,31
		B	29,84	21,26	24,58	12,00	0,79	0,82	0,14	0,46	0,27	0,13	11,00	2,38	3,23	3,31
		B/C	32,16	20,71	23,45	8,72	1,19	1,42	0,17	1,25	0,39	0,11	11,01	2,64	3,65	4,91
Mina	S. Ferralítico	A <sub>p</sub>	37,65	17,14	20,52	10,90	2,38	1,61	0,23	0,87	1,82	0,16	10,00	3,73	4,88	4,56
		B <sub>1</sub>	41,27	16,55	21,48	12,34	2,50	1,62	0,22	1,74	2,05	0,12	7,30	4,23	5,11	4,41
		B <sub>2</sub>	33,64	17,81	22,34	12,73	2,49	1,15	0,21	0,90	1,57	0,13	7,80	3,21	4,00	3,46
		B <sub>3</sub>	36,30	22,20	23,80	14,00	3,40	1,42	0,30	0,72	1,01	0,12	8,00	2,80	4,08	3,48
		B/C	35,16	18,05	22,49	14,30	4,32	1,76	0,28	0,54	1,26	0,13	7,00	3,31	4,16	3,26
Bajamar	Vertisol	A <sub>p</sub> /(B)	52,23	14,56	10,25	8,27	2,36	2,08	0,26	1,44	2,62	0,14	6,60	6,09	13,57	8,40
		(B)	53,25	14,41	10,25	8,06	2,36	2,23	0,24	1,96	2,77	0,13	6,60	6,27	13,83	8,79

meq/100 gr., lo que corresponde a una composición mineralógica con predominio de arcillas 2/1.

Existe una relación muy estrecha entre el grado de saturación y las condiciones climáticas. Así, los suelos situados en las regiones más húmedas (suelos ferralíticos) están fuertemente o medianamente desaturados (18,7%-37,8%); los suelos fersialíticos están medianamente o débilmente desaturados, y finalmente, los vertisoles, situados en la zona más seca de la secuencia, están totalmente saturados.

### 1.2.3. análisis químico total

En la tabla 30, se indican los resultados del análisis químico de los suelos de esta secuencia. Se observan diferencias muy netas entre las tres tipologías de suelos.

En los suelos ferralíticos, la pérdida de sílice y de bases es importante, produciéndose una acumulación relativa de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{TiO}_2$ . Debemos destacar el elevado valor de aluminio del horizonte IIB/C del perfil Las Lajas, que corresponde a un contenido importante de gibsita.

En los suelos fersialíticos, la lixiviación es mucho menor, y consecuentemente los porcentajes de sílice y bases son más elevados; por el contrario, los valores de aluminio son menores. El hierro está en una proporción importante y representa prácticamente la cuarta parte de la composición del suelo, lo que coincide también con el cromógeno rojo muy intenso que presentan.

Debemos señalar que el análisis químico del perfil Las Carboneras muestra un lavado de sílice y bases mayor que en el resto de los perfiles fersialíticos; se trata de un intergrado hacia los suelos ferralíticos. Por el contrario, en el perfil Las Rosas, observamos una discontinuidad a nivel del horizonte B, que nos indica la existencia de un material original fonolítico con sanidina, más ácido y menos alterable, con un mayor contenido de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  y  $\text{K}_2\text{O}$  y menor de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  que los basaltos.

Los vertisoles, dada su situación topográfica de pie de vertiente, pueden estar enriquecidos por los productos de lixiviación lateral de los suelos situados a una mayor altitud. Esta circunstancia podría explicar, en parte, su mayor porcentaje de  $\text{SiO}_2$  y de bases, y la proporción menor de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , aunque también puede explicarse por una menor «agresividad» del clima, relativamente árido.

La relación molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  nos permite diferenciar claramente los tres tipos de suelos de la secuencia: así, los suelos ferralíticos presentan una relación inferior a 2, o muy ligeramente superior; en los suelos fersialíticos está comprendida entre 2,3 y 4,2; y en los vertisoles es de alrededor de 6.

El análisis químico en el suelo total, por fusión en reactor a presión, conduce a la disolución de los minerales primarios contenidos en las muestras, principalmente cuarzo, sanidina y micas. De aquí, que la relación molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  sea superior a la que cabría esperar, si se considera solamente la mineralogía de sus constituyentes secundarios (arcillas y sesquióxidos de alteración).

### 1.2.4. granulometría (tabla 31)

Todos los suelos de la secuencia presentan una textura arcillosa. El perfil ferralítico «Las Lajas» tiene el porcentaje más elevado (85%) de fracción inferior a  $2\mu$ , y el más pequeño de fracción arena, por lo que podemos pensar que tiene el mayor grado de alteración.

De igual manera que habíamos observado en las propiedades físico-químicas anteriores, también desde el punto de vista granulométrico se observa una discontinuidad muy marcada a nivel del horizonte B del perfil Las Rosas, que presenta un por-

Tábla 31

GRANULOMETRIA

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	ARCILLA < 2 $\mu$	LIMO 2-20 $\mu$	ARENA FINA 20-200 $\mu$	ARENA GRUESA 200 $\mu$ - 2000 $\mu$
Poleo	S. Ferralítico	A	42,3	38,9	14,5	3,9
		(B)	46,7	32,5	10,7	5,7
		II B	55,5	28,7	6,6	6,9
Las Lajas	S. Ferralítico	II B <sub>1</sub>	83,5	10,9	0,8	1,9
		II B <sub>2</sub>	84,9	9,8	0,8	1,8
		II B/C	59,8	27,8	2,9	6,2
Las Rosas	S. Fersialítico	A	60,8	21,1	5,9	7,2
		A/B	76,3	12,5	2,2	5,8
		B	61,5	10,7	3,2	24,2
		B/C	63,8	26,0	3,9	2,9
Carboneras	S. Fersialítico	A <sub>11</sub>	41,6	49,2	4,4	3,4
		B	49,9	36,9	4,2	4,4
		B/C	52,4	35,3	5,4	4,8
Mina	S. Fersialítico	A <sub>p</sub>	48,1	40,6	5,1	5,6
		B <sub>1</sub>	46,3	43,2	8,1	4,5
		B <sub>2</sub>	50,5	42,9	1,6	3,4
		B <sub>3</sub>	58,2	37,2	1,2	2,2
		B/C	57,7	34,6	2,4	3,2
Bajamar	Vertisol	A <sub>p</sub> /(B)	61,2	33,6	2,5	3,4
		(B)	64,7	32,4	2,3	2,6
		II B <sub>Ca</sub>	62,2	18,5	6,2	14,3

centaje mucho más elevado de fracción arena que los horizontes superiores, pero menor de limo y de arcilla.

El perfil Las Carboneras presenta un contenido de arcilla menor que los otros dos suelos fersialíticos. La fracción limo está muy bien representada y supera en el horizonte de superficie a la fracción inferior a 2  $\mu$ . Por consiguiente, este perfil tiene los valores más bajos de la relación arcilla/limo, que oscila entre 0,84 y 1,48. En el perfil La Mina, estos valores son ligeramente superiores. Los más altos corresponden al suelo ferralítico de Las Lajas (2,1-8,6) y al suelo fersialítico Las Rosas (2,4-6,1), que presentan, como hemos indicado anteriormente, el mayor grado de alteración. El vertisol presenta valores intermedios (1,8-3,4).

La relación arcilla/limo tiene tendencia a aumentar regularmente con la profundidad en todos los suelos, salvo en los perfiles Las Lajas y Las Rosas, donde el valor máximo aparece en el centro del perfil. Este aumento de la relación arcilla/limo al pasar de la parte superior a la inferior del perfil, indica un probable rejuvenecimiento de los suelos en superficie, más que una iluviación de arcilla.

La granulometría de los horizontes superficiales del perfil La Mina, no se corresponde con la textura arcillo-arenosa que se había estimado sobre el terreno; lo que podría corresponder a una microestructura de pseudoarenas.

### 1.3. EVOLUCION DE LAS CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS Y FISICO-QUIMICAS

Las características morfológicas y físico-químicas que acabamos de considerar, junto con las propiedades mineralógicas y micromorfológicas que trataremos a continuación, nos permitirán disponer de criterios suficientes para llegar a la interpretación y clasificación de los suelos de esta secuencia.

Sin embargo, estos primeros datos han permitido ya diferenciar netamente tres grupos de suelos: ferralíticos, fersialíticos y vertisoles, todos formados sobre materiales volcánicos antiguos. Estos tres grupos de suelos están íntimamente ligados entre sí, según una toposecuencia y una variación progresiva del clima que varía de regularmente húmedo en la zona superior, a más árido en la parte baja de la pendiente.

Resumiendo este primer grupo de propiedades, la secuencia topoclimática septentrional de Tenerife muestra la evolución siguiente de las características de los suelos:

*Características morfológicas:* el color, de rojo pasa a pardo, y posteriormente a muy oscuro. La estructura inicialmente fina, friable y microporosa, se desarrolla a vértica y muy consistente. Se observa una disminución en la intensidad de la alteración. En la zona inferior de la secuencia, aparece un encostramiento calizo.

*Materia orgánica:* el porcentaje muy importante en la zona superior de la secuencia, es mucho más pequeño en los vertisoles. Al mismo tiempo que disminuye ligeramente la relación C/N.

*Características químicas:* el pH netamente ácido en los suelos ferralíticos (de 4 a 5) pasa a ser ligeramente alcalino en los vertisoles (de 7 a 8), al mismo tiempo que aparece una acumulación de carbonato cálcico, y se produce una elevación del contenido en ión  $\text{Na}^+$ . La capacidad de cambio catiónica aumenta progresivamente, de 15-20 meq/100 gr. a 40 meq/100 gr., al mismo tiempo que el grado de bases cambiables, que pasa de 20%-30% a la saturación total. La relación molar sílice/alúmina, característica del grado de evolución geoquímica de la alteración, es próxima a 2 en los suelos ferralíticos, y aumenta progresivamente a más de 4 en los vertisoles.

*Granulometría:* la distribución granulométrica no pone de manifiesto una evolución significativa; todos estos suelos son ricos en arcilla y limo. La evolución de la relación arcilla/limo refleja en realidad la naturaleza del material original (fonolítico o basáltico) y la duración de su alteración, más que la naturaleza de los minerales secundarios formados.

## 2. CARACTERISTICAS MINERALOGICAS

### 2.1. PRODUCTOS «AMORFOS»

Se estudia un perfil de cada una de las tipologías de suelos representadas en la secuencia. A partir de los valores que se indican en las tablas 32, 33 y 34, se repre-

sentan las curvas acumulativas y de velocidad de disolución de los óxidos de Si, Al y Fe.

### 2.1.1. suelo ferralítico

En la figura 36 se han representado las curvas acumulativas de disolución de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  correspondientes al suelo ferralítico (perfil Las Lajas). Las curvas de sílice y de alúmina muestran un cambio de pendiente muy progresivo, con una cierta tendencia a ser rectilíneas, lo que nos indica que estos elementos no se encuentran verdaderamente bajo forma amorfa en este perfil. Se observa un paralelismo muy marcado entre ambas curvas en los horizontes IIB<sub>1</sub> y IIB<sub>2</sub>. Dado que estos horizontes son ricos en haloisita, podemos atribuir tal comportamiento a la disolución de esta arcilla. Otros autores, Lamouroux, Quantin, 1973; Colmet-Daage y col., 1972; Zebrowski, 1975, han observado este mismo comportamiento en suelos similares.

Los valores elevados de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en el horizonte B/C son debidos a la disolución de la gibsita que domina en este horizonte. La forma de la curva nos indica una alta solubilidad para este hidróxido y consecuentemente una baja cristalinidad. Debemos señalar que la extracción máxima de alúmina en este perfil tiene lugar en medio alcalino, probablemente debido a la presencia de gibsita, tabla 33.

Los valores tanto de sílice como de alúmina fácilmente solubles, se mantienen importantes hasta la última extracción.

Las curvas cinéticas (fig. 37) de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ponen de manifiesto igualmente la disolución de un producto cristalino. Las curvas de velocidad de disolución de  $\text{SiO}_2$ , con un máximo en la 2ª extracción y cuya velocidad disminuye irregularmente en las restantes extracciones, las atribuimos a la disolución de haloisita hidratada. Por otra parte, debemos señalar el aumento considerable de la velocidad de disolución de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  en la 4ª extracción.

Las curvas acumulativas de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  son mucho menos progresivas que las de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y de  $\text{SiO}_2$  (fig. 36). Las curvas de velocidad de disolución (fig. 37) nos indican que el hierro es fácilmente soluble, principalmente en los horizontes IIB<sub>2</sub> y IIB/C. En el horizonte IIB<sub>1</sub> se observa un aumento de la velocidad de disolución a partir de la cuarta extracción. Se puede, por tanto, afirmar que el hierro se encuentra en este perfil en estado amorfo o criptocristalino y muy soluble. Las curvas de disolución no indican ninguna relación evidente entre la extracción de hierro y la de alúmina.

### 2.1.2. suelo fersialítico

En el perfil fersialítico (Las Rosas), igual que en el suelo ferralítico, las curvas acumulativas de disolución de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y de  $\text{SiO}_2$  presentan un comportamiento similar (fig. 38). Como ya dijimos anteriormente, estas curvas corresponden a la disolución de una arcilla muy soluble, haloisita. Podemos señalar que estas curvas en el horizonte A son ya prácticamente rectilíneas.

Se observa cómo en principio, las curvas de  $\text{SiO}_2$  presentan una forma sigmoidea, lo que es muy característico, según Quantin y Lamouroux, 1974, de la disolución de formas cristalizadas. Los valores de alúmina extraídos en medio ácido y alcalino, son muy próximos. En los horizontes A y B, son ligeramente superiores en medio alcalino.

Las curvas cinéticas de  $\text{SiO}_2$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , Fig. 39, como en el caso anterior, presentan un máximo en la 2ª extracción que nos hace pensar que este tipo de curvas es característico de la disolución de haloisita hidratada (Fernandez Caldas y col., 1978).

Tabla 32

ANALISIS DE AMORFOS: SiO<sub>2</sub>%

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR	REACTIVO DE DISOLUCION	EXTRACCIONES							TOTAL
				1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	
Las Lajas	S. Ferralítico	IIB <sub>1</sub>	HCl	0,40	0,48	0,29	—	—	—	—	1,17
			NaOH	2,61	2,48	1,65	1,62	0,62	0,69	0,76	10,43
		IIB <sub>2</sub>	HCl	0,43	0,69	0,40	—	—	—	—	1,52
			NaOH	4,22	4,11	2,49	2,27	0,59	0,72	0,74	15,14
		IIB/C	HCl	1,03	0,46	0,32	—	—	—	—	1,81
			NaOH	2,45	1,91	1,19	1,08	0,42	0,26	0,32	7,63

Las Rosas	S. Fersialítico	A	HCl	0,35	0,30	0,24	0,15	0,25	0,17	0,14	1,60
			NaOH	1,39	2,54	1,73	1,51	1,42	1,46	1,40	11,45
		A/B	HCl	0,28	0,41	0,29	0,21	0,30	0,15	0,21	1,85
			NaOH	3,47	6,20	3,24	2,89	1,56	1,23	0,78	19,37
		B	HCl	0,26	0,40	0,49	0,19	0,15	0,12	0,17	1,78
			NaOH	4,74	4,10	2,19	1,45	0,92	0,61	0,45	14,46
		B/C	HCl	0,27	0,30	0,37	0,18	0,17	0,14	0,19	1,62
			NaOH	3,24	3,06	2,31	1,45	1,29	1,06	1,03	13,44

Bajamar	Vertisol	A <sub>p</sub> /(B)	HCl	0,23	0,20	0,21	0,17	0,15	0,15	0,23	1,34
			NaOH	2,08	1,73	1,50	1,31	1,68	1,26	1,12	10,68
		(B)	HCl	0,25	0,20	0,14	0,13	0,14	0,13	0,18	1,17
			NaOH	1,83	1,53	1,48	1,30	1,20	1,07	1,01	9,42
		IIB <sub>Ca</sub>	HCl	0,26	0,25	0,21	0,18	0,18	0,16	0,16	1,40
			NaOH	1,73	1,49	1,25	1,15	0,96	0,86	0,55	7,99

Tabla 33

ANALISIS DE AMORFOS: Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	REACTIVO DE DISOLUCION	EXTRACCIONES							TOTAL
				1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	
Las Lajas	S. Ferralítico	II B <sub>1</sub>	HCl	3,02	1,32	0,66	0,55	0,37	0,27	0,21	6,40
			NaOH	3,25	2,28	1,35	1,61	0,43	0,43	0,62	9,97
		II B <sub>2</sub>	HCl	3,02	1,79	1,13	0,92	0,41	0,26	0,20	7,73
			NaOH	4,29	3,15	1,96	2,14	0,52	0,57	0,79	13,42
		II B/C	HCl	3,44	1,41	0,85	0,75	0,36	0,25	0,19	7,25
			NaOH	3,93	3,11	2,14	2,75	0,72	0,77	1,13	14,55

Las Rosas	S. Fersialítico	A	HCl	1,43	1,17	0,72	0,49	0,42	0,57	0,35	5,15
			NaOH	0,95	1,33	0,64	0,71	0,64	0,51	0,54	5,32
		A/B	HCl	1,81	2,12	1,50	1,00	0,57	0,51	0,32	7,83
			NaOH	2,05	1,94	0,91	0,94	0,57	0,36	0,33	7,10
		B	HCl	1,39	1,47	1,08	0,44	0,23	0,17	0,13	4,91
			NaOH	2,19	1,43	0,73	0,57	0,38	0,27	0,20	5,77
		B/C	HCl	1,33	1,32	1,11	0,56	0,38	0,33	0,31	5,34
			NaOH	1,55	1,15	0,83	0,54	0,52	0,24	0,42	5,25

Bajamar	Vertisol	A <sub>p</sub> /(B)	HCl	0,70	0,49	0,45	0,32	0,31	0,26	0,28	2,81
			NaOH	0,08	0,10	0,06	0,06	0,12	0,09	0,08	0,59
		(B)	HCl	0,60	0,45	0,36	0,35	0,30	0,28	0,23	2,57
			NaOH	0,12	0,11	0,10	0,11	0,12	0,09	0,15	0,80
		II B <sub>Ca</sub>	HCl	0,54	0,39	0,34	0,24	0,23	0,17	0,16	2,07
			NaOH	0,10	0,15	0,11	0,13	0,12	0,10	0,10	0,81

Tabla 34

ANALISIS DE AMORFOS: Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>%

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	REACTIVO DE DISOLUCION	EXTRACCIONES							TOTAL
				1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	
Las Lajas	S. Ferralítico	IIB <sub>1</sub>	HCl	3,62	1,17	0,62	0,58	0,17	0,09	0,09	6,34
		IIB <sub>2</sub>	HCl	3,63	1,18	0,53	0,32	0,14	0,07	0,06	5,93
		IIB/C	HCl	3,33	1,54	0,74	0,40	0,11	0,07	0,05	6,24
Las Rosas	S. Fersialítico	A	HCl	2,82	2,52	1,14	0,57	0,26		0,10	7,41
		A/B	HCl	2,19	1,70	0,69	0,29	0,13		0,06	5,06
		B	HCl	2,02	1,49	0,57	0,32	0,14		0,07	4,61
		B/C	HCl	3,45	2,23	1,22	1,01	0,52		0,22	8,65
Bajamar	Vertisol	A <sub>p</sub> / (B)	HCl	0,80	0,49	0,49	0,38	0,33	0,32	0,27	3,08
		(B)	HCl	0,62	0,40	0,39	0,38	0,34	0,31	0,28	2,72
		IIB <sub>Ca</sub>	HCl	0,77	0,33	0,31	0,27	0,26	0,23	0,22	2,39

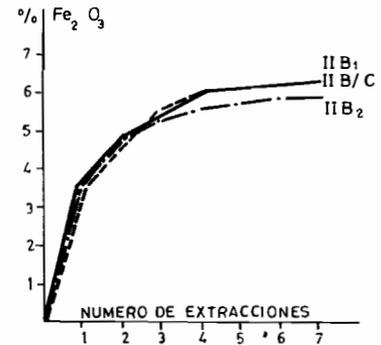
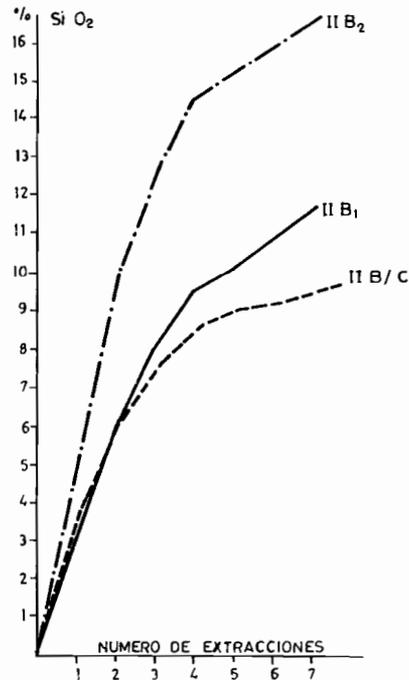
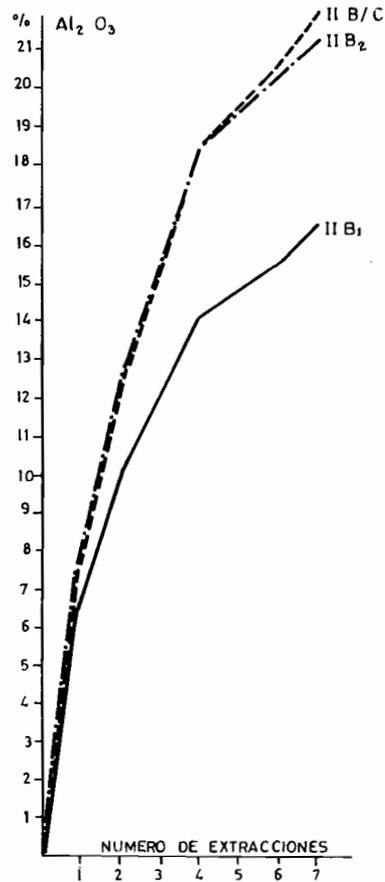


Fig. 36.- PERFIL LAS LAJAS.- Curvas acumulativas de disolución  $Al_2O_3$   $SiO_2$  y  $Fe_2O_3$

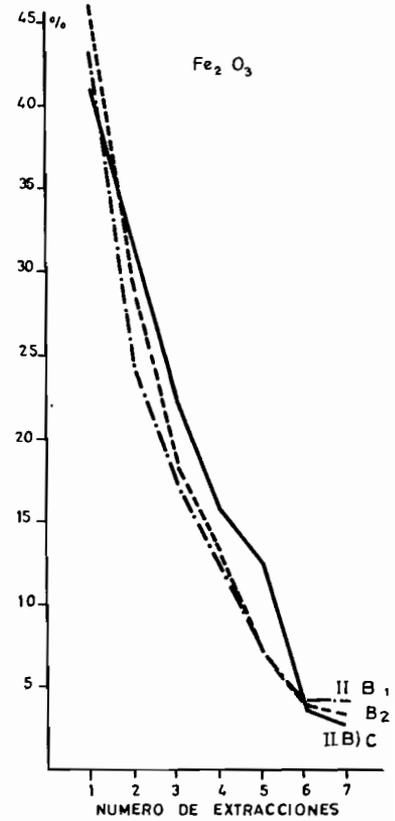
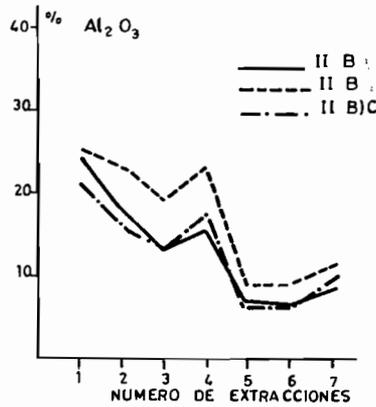
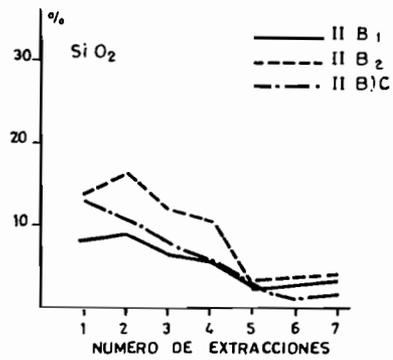


Fig. 37.- PERFIL LAS LAJAS.- Curvas de velocidad de disolución:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

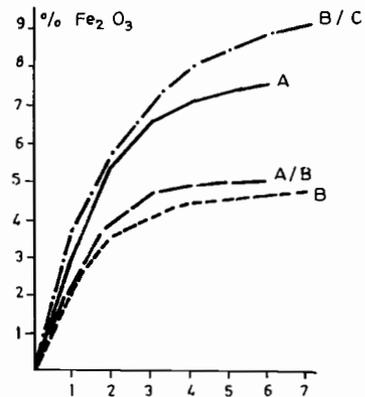
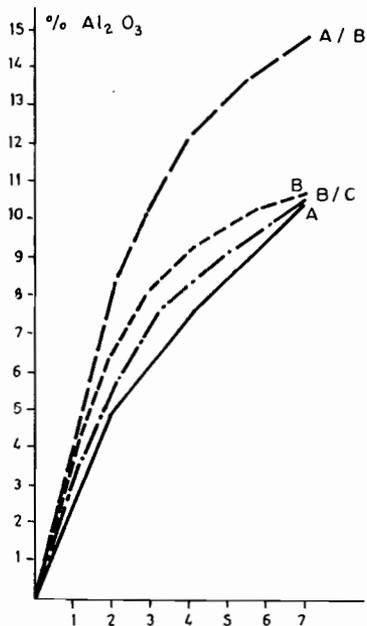
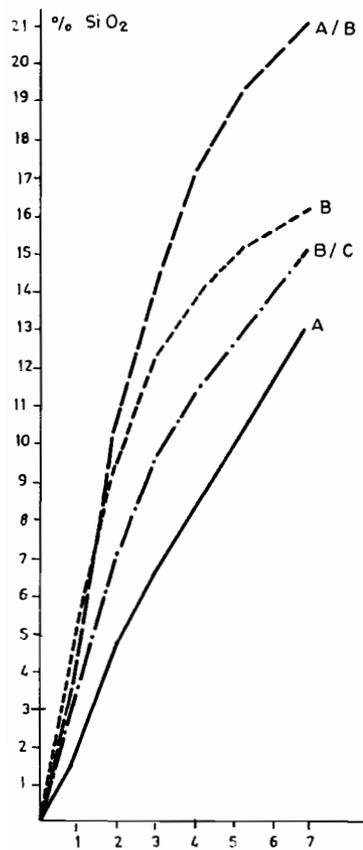


Fig. 38.- PERFIL LAS ROSAS.- Curvas acumulativas de SiO Al O y Fe O extraídos por el metodo Segalen

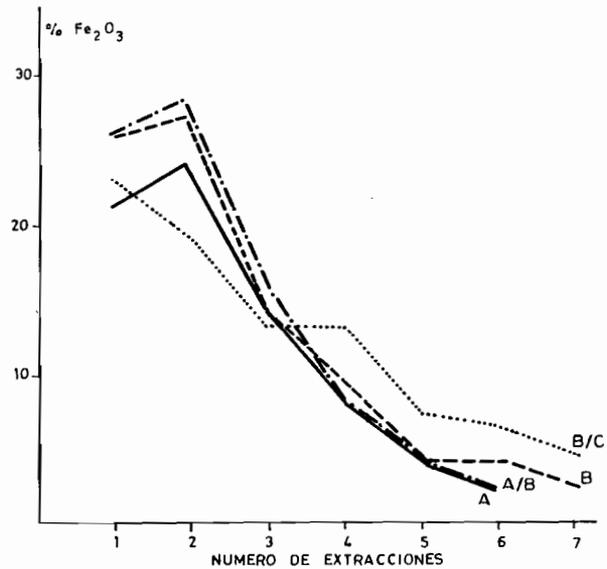
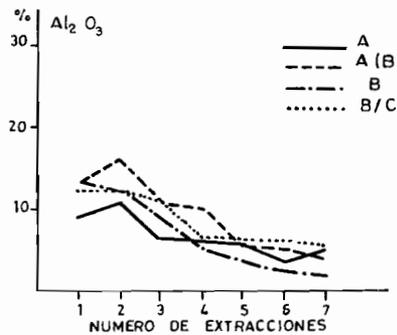
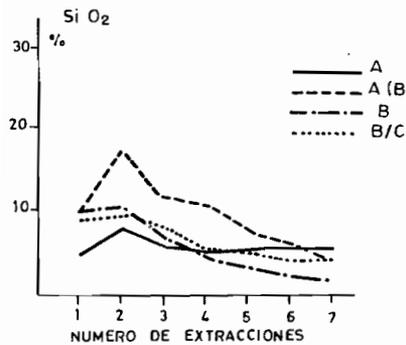


Fig. 39.- PERFIL LAS ROSAS.- Curvas de velocidad de disolución de SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

Las curvas acumulativas y de velocidad de disolución de hierro aparecen en las figuras 38 y 39. Las primeras muestran en los horizontes A, A/B y B, un aumento de velocidad de disolución hasta la tercera extracción, que se estabiliza en la cuarta y la séptima extracción. Este comportamiento corresponde a formas criptocristalinas de hierro. Por el contrario, en el horizonte B/C hay una disminución progresiva de la velocidad de disolución hasta la tercera extracción, que se estabiliza en la cuarta y de nuevo disminuye en las otras extracciones; lo que indica la existencia en este horizonte de dos formas de hierro, una de ellas más soluble. Se puede pensar en un paso progresivo de un estado amorfo a un estado cristalino.

### 2.1.3. vertisol

En el perfil Bajamar, las cantidades de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  extraídas son mucho más pequeñas que en los suelos ferralíticos y fersialíticos.

Las curvas acumulativas, tanto de  $\text{SiO}_2$  como de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  son rectilíneas e indican que estos elementos se encuentran bajo forma cristalizada (fig. 40), correspondiendo a una esmectita ferrífera, como se ha comprobado por difracción de rayos X (fig. 41).

La velocidad de disolución es prácticamente constante a lo largo de todas las extracciones (fig. 42).

Podemos, por tanto, decir que en el vertisol no se encuentran productos amorfos.

### 2.1.4. evolución de la secuencia

Si comparamos los tres grupos de suelos, se observa la siguiente evolución: la cantidad de alúmina fácilmente soluble disminuye notablemente al pasar de los suelos ferralíticos a los suelos fersialíticos, y posteriormente a los vertisoles. La cantidad de óxidos de hierro fácilmente extraíble es menos importante que la de alúmina; similar en los suelos ferralíticos y fersialíticos, disminuye sensiblemente en los vertisoles. La cantidad de sílice fácilmente soluble es siempre importante, es bastante similar en los suelos ferralíticos y suelos fersialíticos y disminuye en los vertisoles.

De una manera general, las curvas presentan un cambio de pendiente más marcado en los suelos situados en el clima más húmedo, indicando la presencia de una fase criptocristalina más importante. El contenido de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  es el que más varía, decreciendo muy netamente al pasar de los suelos ferralíticos a los suelos fersialíticos y vertisoles.

El estado del hierro varía muy poco al pasar de los suelos ferralíticos a los fersialíticos y se hace más estable (o menos abundante) en los vertisoles. La sílice es fácilmente soluble. Se pasa de curvas acumulativas con dos pendientes, en el caso de suelos ferralíticos, que indican la presencia abundante de sustancias criptocristalinas e inestables, a curvas sigmoideas en el caso de los suelos fersialíticos y de los vertisoles, que indican una fase arcillosa mejor cristalizada; se trata de minerales de arcilla sensibles al tratamiento con NaOH, después que la alteración con HCl (8N) haya degradado la capa octaédrica en el caso de las arcillas ferríferas.

Hemos utilizado igualmente HCl (2N) para estudiar la disolución de estos materiales en un perfil ferralítico con haloisita (Las Lajas), figura 43. En la tabla 35, aparece la suma de los contenidos de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtenidos en siete extracciones con HCl (8 N) + NaOH (0,5 N) por una parte, y con HCl (2 N) por otra. Debemos destacar los bajos valores de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  obtenidos por el segundo tratamiento lo que pone de manifiesto el poco contenido de productos realmente amorfos, al

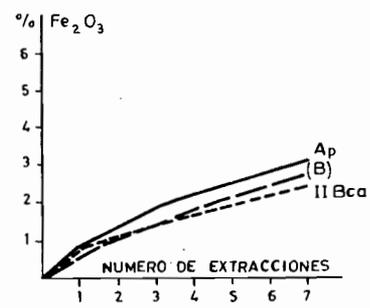
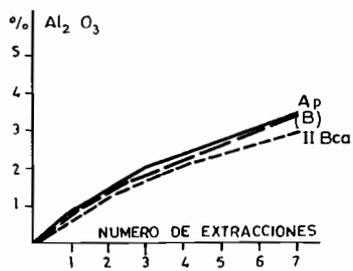
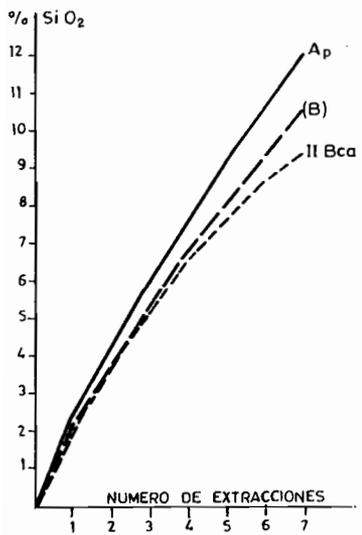


Fig. 40.- PERFIL BAJAMAR.- Curvas acumulativas de disolucion: Si O<sub>2</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub>

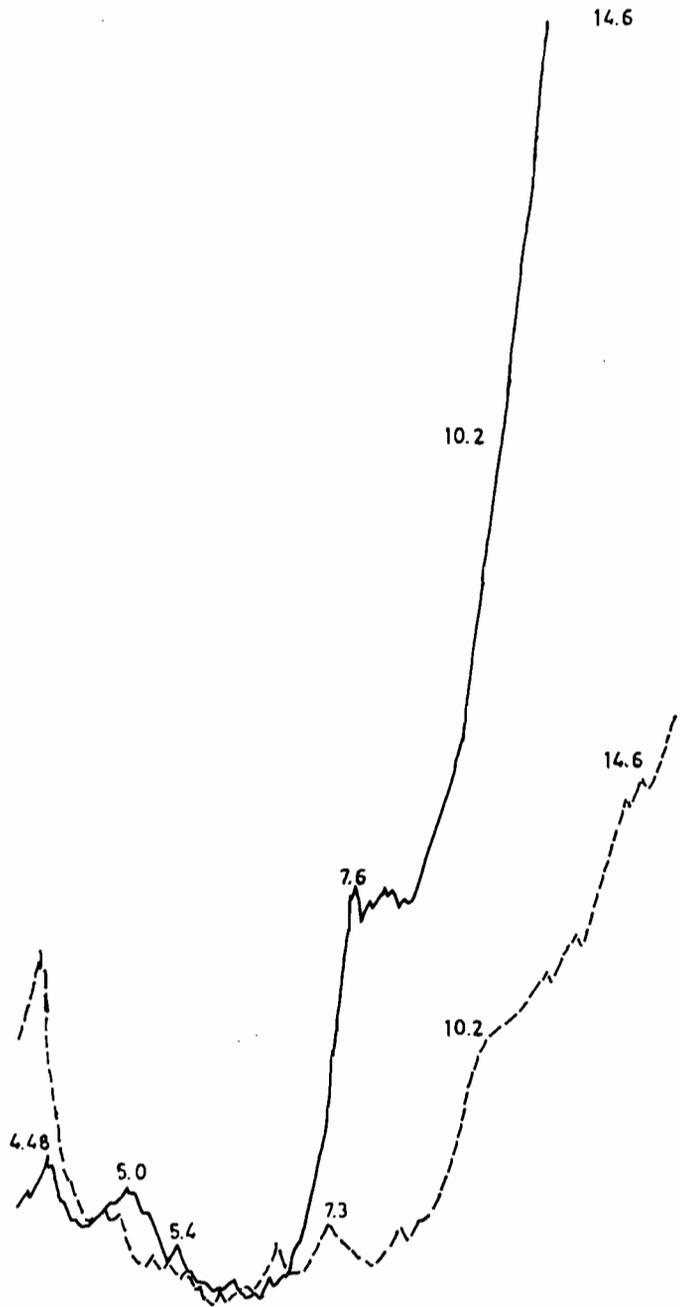


Fig. 4l.- PERFIL BAJAMAR.- Difracción de rayos X antes y despues del tratamiento con HCl (8N)+ Na OH (0.5 N)

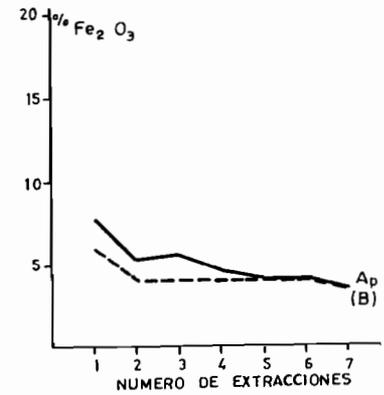
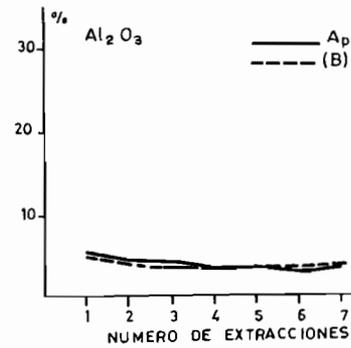
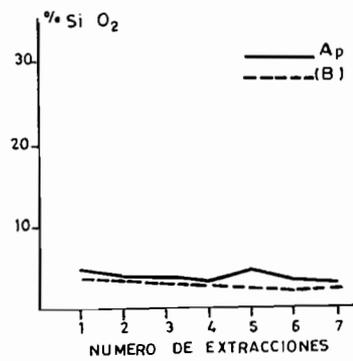


Fig. 42.- PERFIL BAJAMAR.- Curvas de velocidad de disolución de  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

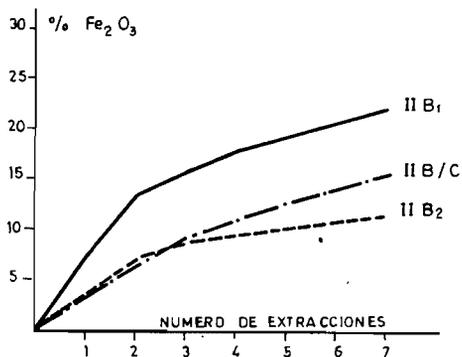
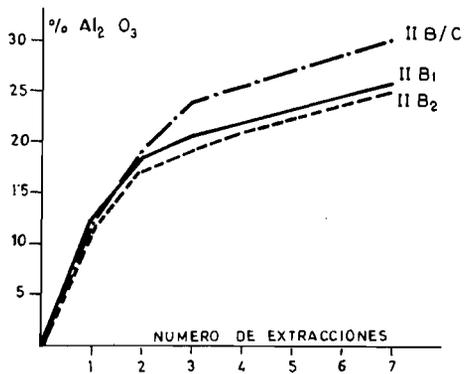
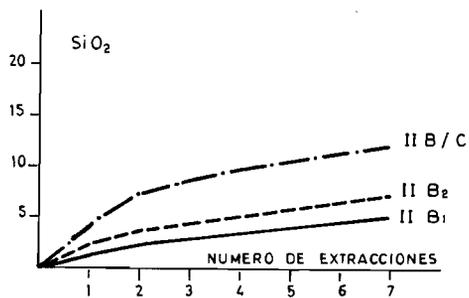


Fig. 43.- PERFIL LAS LAJAS.- Curvas acumulativos de disolucion de SiO<sub>2</sub> Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> y Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> con HCl (2N)

Tabla 35

DISOLUCION DE PRODUCTOS "AMORFOS"  
 CON HCl (8N) + NaOH (0,5N) Y CON HCl (2N)

HOR.	REACTIVO DE DISOLUCION	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mol
IIB <sub>1</sub>	HCl (8N) + NaOH (0,5N)	11,60	16,37	6,34	1,18
	HCl (2N)	0,15	1,52	1,10	0,17
IIB <sub>2</sub>	HCl (8N) + NaOH (0,5)	16,66	21,15	5,93	1,34
	HCl (2N)	0,24	1,36	0,52	0,29
IIB/C	HCl (8N) + NaOH (0,5)	9,44	21,80	6,24	0,73
	HCl (2N)	0,52	1,90	0,32	0,46

contrario de lo que observamos en los andosoles (tabla 24). Por otra parte, al calcular la relación molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  en cada extracción (con HCl 2 N), se obtienen siempre valores inferiores a 1, lo que indica que se trata de productos ricos en hidróxidos y pobres en alofana.

## 2.2. MINERALOGIA DE ARENAS

Se ha estudiado la fracción arena de todos los suelos de la secuencia, a excepción del perfil Las Carboneras. Únicamente hemos podido expresar los porcentajes de fracción densa y ligera de algunos perfiles. El enorme contenido de opacos naturales en los restantes perfiles nos ha impedido hacer este estudio.

En los suelos ferralíticos y algunos suelos fersialíticos (Las Rosas) se observa un predominio de opacos naturales en la fracción densa, especialmente magnetita y en menor proporción ilmenita y hematites. Sólo en los horizontes superficiales ándicos del perfil Poleo se observan algunos minerales transparentes, aunque ya en un estado muy avanzado de alteración.

La fracción ligera está dominada por granos alterados clorotizados. También se encuentran algunos feldespatos potásicos y calcosódicos.

La composición mineralógica de los restantes perfiles se indica en la tabla 36.

Los suelos fersialíticos presentan en la parte superior del perfil ( $A_p$  y  $B_1$ ) un porcentaje importante de minerales alterables aún identificables, especialmente olivino, piroxenos y plagioclasas. El olivino predomina en la fracción densa, mientras que los productos cloríticos de alteración de los piroxenos abundan en la fracción ligera. Esta circunstancia significa que el suelo ha sido rejuvenecido por aportes recientes de cineritas.

El vertisol es, relativamente, menos rico en minerales alterables. Sin embargo, se observan algunos piroxenos y anfíboles en la fracción densa, y feldespatos potásicos y plagioclasas en la fracción ligera. Este suelo no presenta la capa superior cinerítica, como consecuencia del efecto de erosión superficial. Sin embargo, la alteración mineral está aún sin terminar.

## 2.3. MINERALOGIA DE LA FRACCIÓN INFERIOR A $2\mu$ , Y DEL SUELO TOTAL POR DIFRACCIÓN DE RAYOS X

El análisis por difracción de rayos X se ha efectuado en la fracción inferior a  $2\mu$  en todos los perfiles. En algunos casos se ha realizado también en la totalidad del suelo.

### 2.3.1. suelos ferralíticos

El perfil Poleo (figs. 44 y 45) se caracteriza por una individualización muy importante de gibsita. Se observan prácticamente todas las reflexiones características de este hidróxido de aluminio (4,86 Å, 4,37 Å, 2,46 Å, 2,39 Å, 2,05 Å). Junto a él aparecen, aunque en menor proporción haloisita (a 10 Å), así como algo de hidróxidos de hierro.

Se observan únicamente trazas de arcilla 2/1 no identificadas y la presencia de minerales primarios difícilmente alterables como cuarzo, sanidina y magnetita.

Debemos destacar que el suelo superficial (fig. 44), aunque presenta caracteres ándicos evidentes, como la presencia de alofana, tiene sin embargo una composición muy similar al suelo ferralítico profundo. La haloisita está parcialmente deshidratada (a 7,4 Å) y la presencia de arcillas 2/1 parece más importante. Se observa un efecto a 14 Å que corresponde a la presencia de montmorillonita e imogolita, ob-

servadas al microscopio electrónico. En el horizonte B se han observado igualmente caolinitas de pequeño tamaño.

Estas circunstancias nos permiten pensar que hay una continuidad en la génesis de los minerales secundarios, entre la zona superficial rejuvenecida del perfil y la zona profunda, más antigua.

En el perfil Las Lajas (fig. 46), los productos secundarios están representados igualmente por una asociación de metahaloisita y gibsita. La primera domina en los horizontes IIB<sub>1</sub> y IIB<sub>2</sub>. La gibsita aumenta con la profundidad y es el producto secundario mejor representado en el horizonte B/C. La importancia de la gibsita en este horizonte se había puesto ya de manifiesto en las características físico-químicas.

### 2.3.2. suelos fersialíticos

Todos los perfiles de los suelos fersialíticos contienen haloisita. Se trata de metahaloisita en los horizontes de superficie y haloisita hidratada en profundidad. (Figs. 47, 48, 49).

Además de la haloisita, los suelos fersialíticos contienen también arcillas 2/1 que corresponden a una mezcla mal determinada de illita abierta, illita-vermiculita y montmorillonita. La presencia de óxidos e hidróxidos de hierro, especialmente hematites finos es frecuentemente evidente.

Estos suelos contienen algo de minerales primarios, sobre todo cuarzo y feldespatos, así como trazas de micas. La presencia de cuarzo y micas es más neta y abundante en el suelo superficial (A<sub>1,1</sub>). Los feldespatos aumentan con la profundidad, especialmente en el horizonte (B) del perfil Las Rosas, que es excepcionalmente rico en sanidina (cenizas fonolíticas). Esta discontinuidad mineralógica del perfil Las Rosas concuerda con la anomalía observada anteriormente en sus características físico-químicas.

### 2.3.3. vertisoles (figs. 50 y 51)

La arcilla predominante es la montmorillonita, particularmente neta en el horizonte IIB<sub>Ca</sub> (fig. 51). Al microscopio electrónico se observa que esta arcilla es más fina y transparente en el horizonte A, y más opaca y mejor cristalizada en el horizonte (B).

Este suelo contiene también algo de metahaloisita en todo el perfil y trazas de illita abierta en el horizonte A. Se observa cuarzo en superficie, trazas de feldespatos en todo el perfil y calcita en profundidad (B<sub>Ca</sub>).

### 2.3.4. evolución mineralógica a lo largo de la secuencia

El estudio de la secuencia septentrional de suelos antiguos de Tenerife pone de manifiesto la siguiente evolución mineralógica:

Los suelos fersialíticos contienen pocos minerales primarios alterables. Sus productos secundarios son fundamentalmente haloisita, gibsita e hidróxido de hierro. Además, los hidróxidos de hierro y aluminio son fácilmente solubles por el método Segalen.

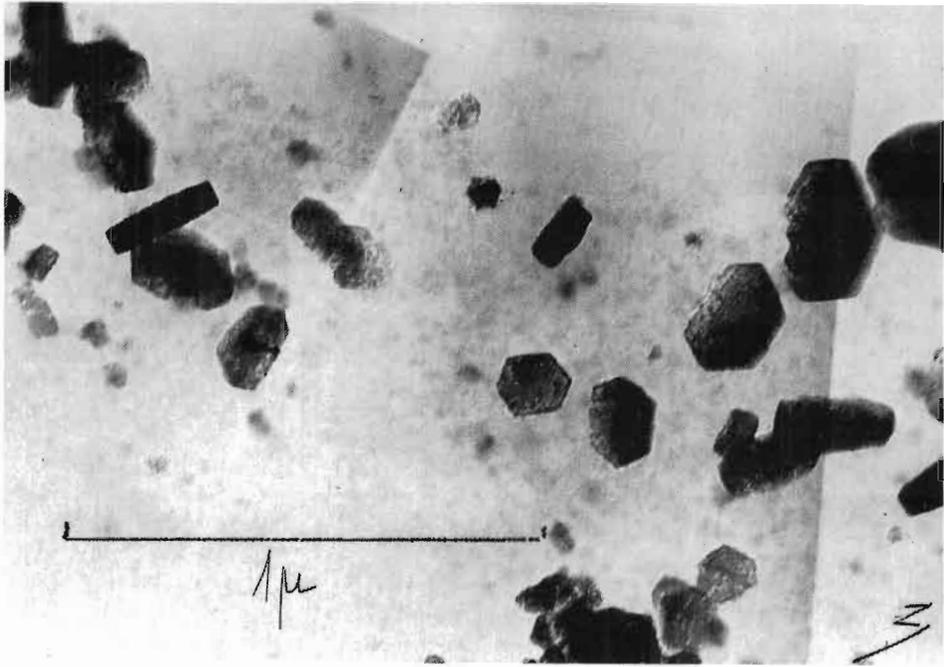
Los suelos fersialíticos contienen más minerales primarios alterables que los fersialíticos. Una parte importante está constituida por haloisita, acompañada de arcillas 2/1, especialmente esmectitas ferríferas. No contienen gibsita, pero sí hematites. Sus óxidos de hierro y aluminio son menos solubles por la técnica de Segalen.

Los vertisoles están formados especialmente por esmectitas ferríferas, no contienen sino algo de metahaloisita y de óxidos de hierro, solubles por el método de Segalen. A menudo presentan calcita en profundidad.

Tabla 36

CARACTERISTICAS MINERALOGICAS DE LA FRACCION ARENA

PERFIL	TIPO DE SUELO	HOR.	FRACCION DENSА									FRACCION LIGERA				
			PIROXENOS	ANFIBOLES	TITANITA	VIDRIO VOLCANICO	OLIVINO	MICA	OPACOS NATURALES	OPACOS DE ALTERACION	ALTERITAS	FELDES-PATOS K	FELDES-PATOS Ca-Na	VIDRIO VOLCANICO	LAMINAS CLORITICAS	ALTERITAS
Las Rosas	S. Fersialítico	A	40	41	3		12	4	1007	33	12	26	39	1	33	—
La Mina	S. Fersialítico	A <sub>p</sub>	18	3	3	3	72	1	64	14	15	8	20	2	70	—
		B <sub>1</sub>	12	5	1	2	79	1	94	9	3	18	30	2	50	—
		B <sub>2</sub>	6	2	3		89	—	105	10	4	9	27	—	64	—
		B <sub>3</sub>	5	1	1	3	90	—	74	5	—	5	12	—	80	—
		B/C	4	—	—	3	93	—	9	4	—	—	—	—	—	—
Bajamar	Vertisol	A <sub>p</sub> /(B)	32	51	7	—	10	—	60	20	29	22	55	1	8	14
		(B)	46	43	6	—	5	—	57	11	16	41	28	—	—	31
		IIB <sub>Ca</sub>	88	6	3	—	3	—	37	6	23	—	—	—	—	—



Caolinitas

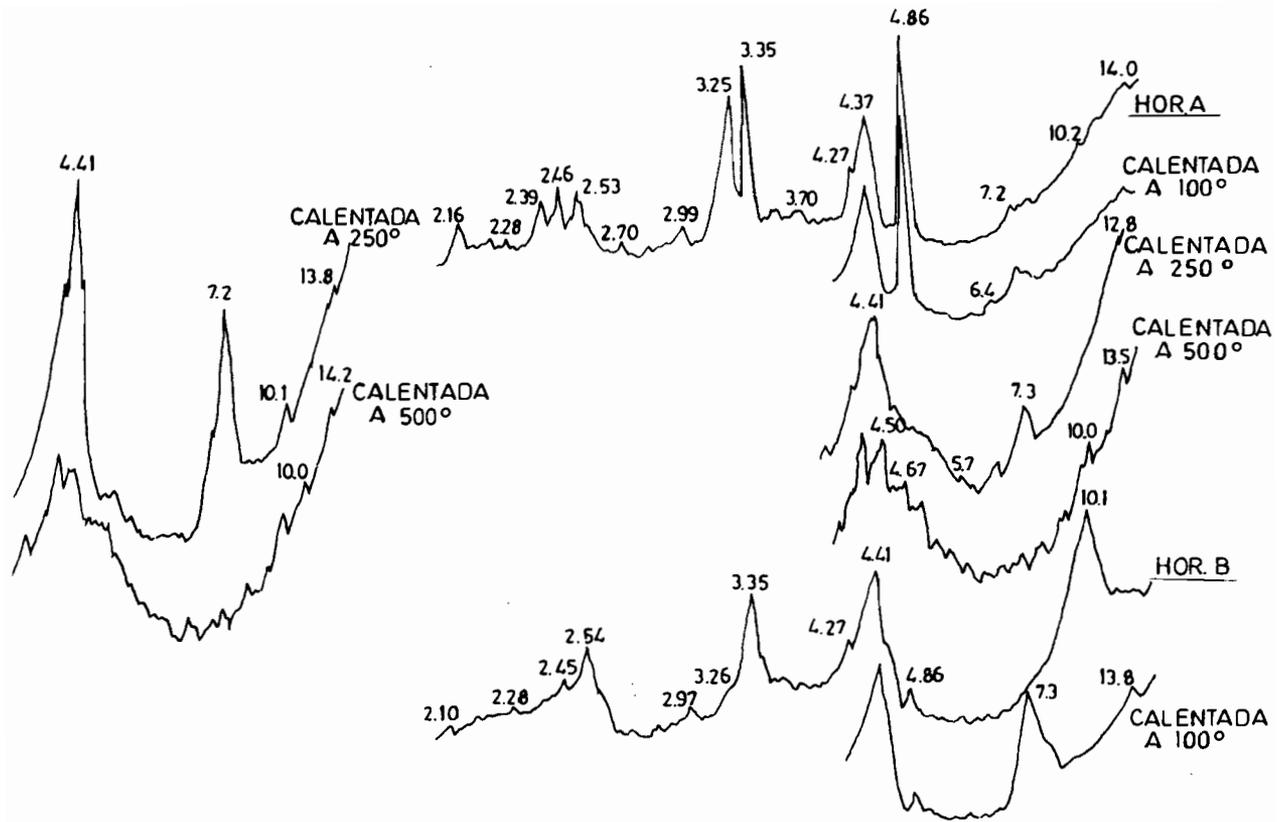


FIG. 44.- P. Poleo. Diagramas de difraccion de rayos X (Suelo total)

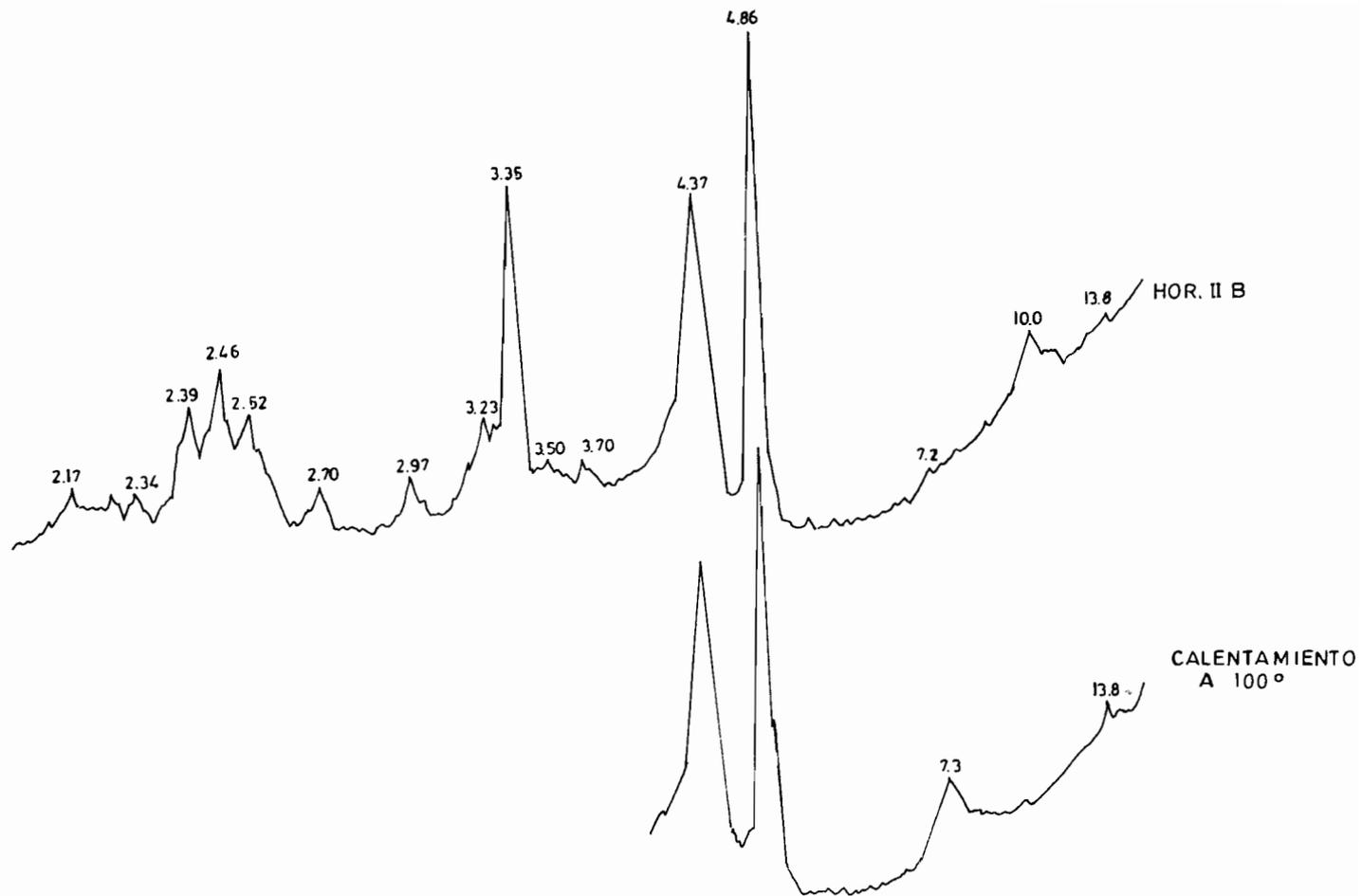


Fig.45.- P.Poleo. Diagramas de difracción de rayos X (Suelo total)

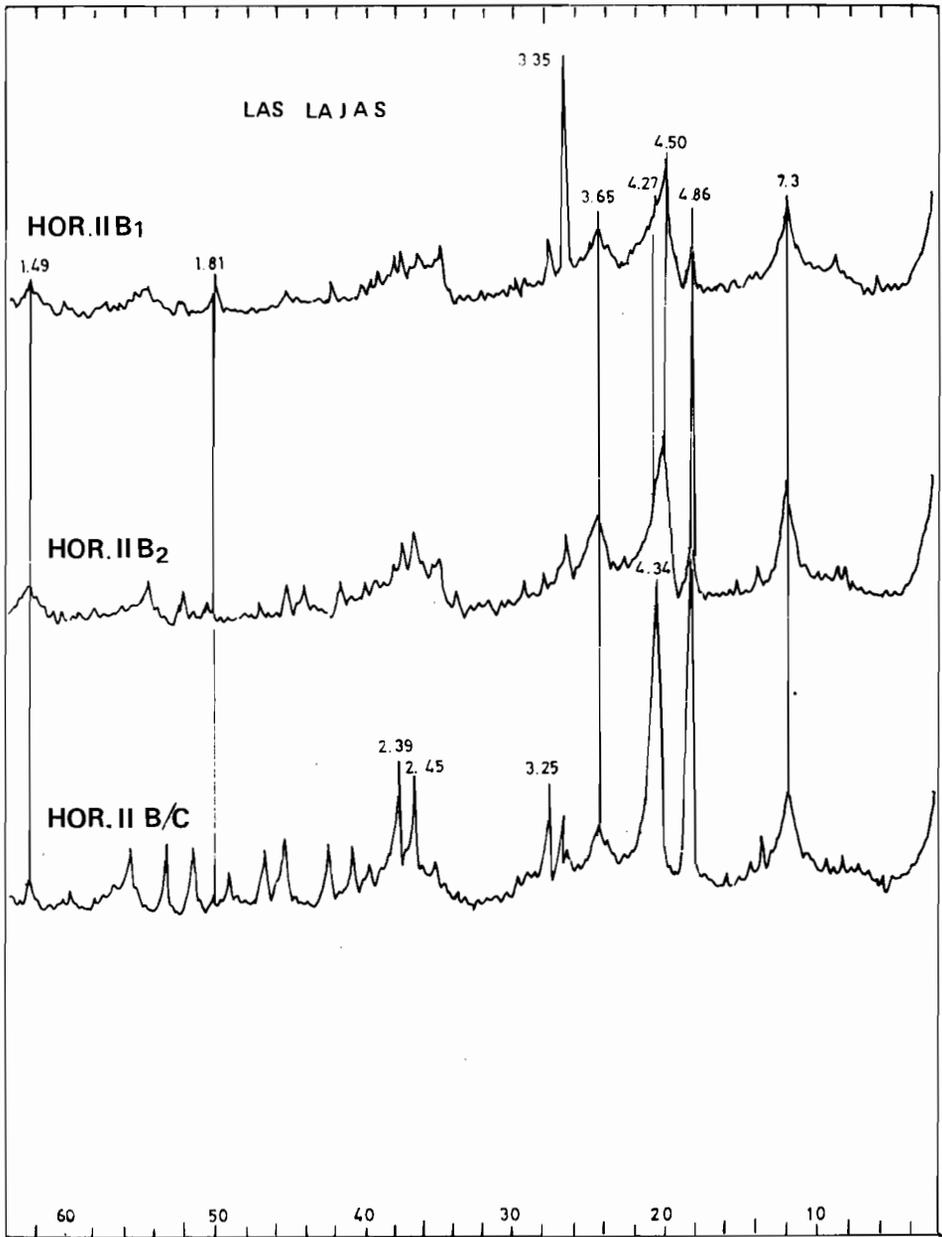


Fig. 46.-Diagramas de difracción de rayos X (Suelo total)

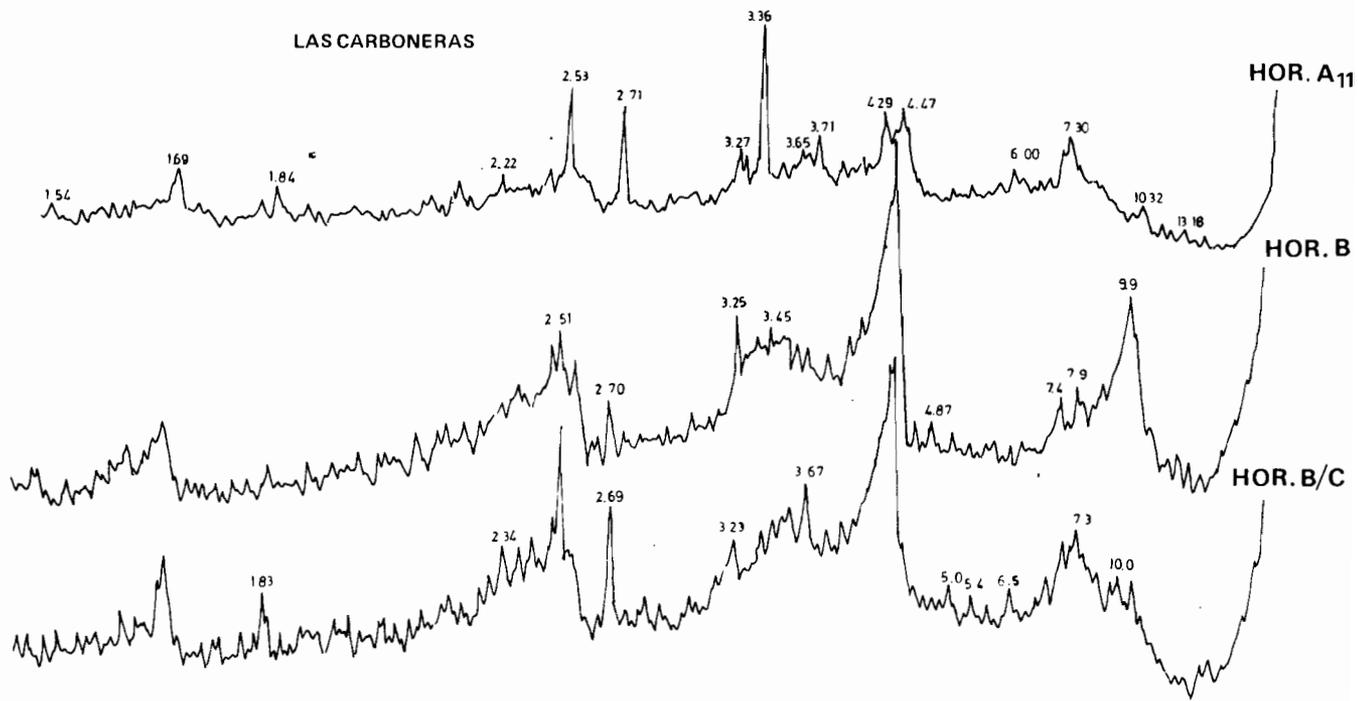


Fig. 47.- Perfil "Las Carboneras". Diagramas de difracción de rayos X (Suelo total)

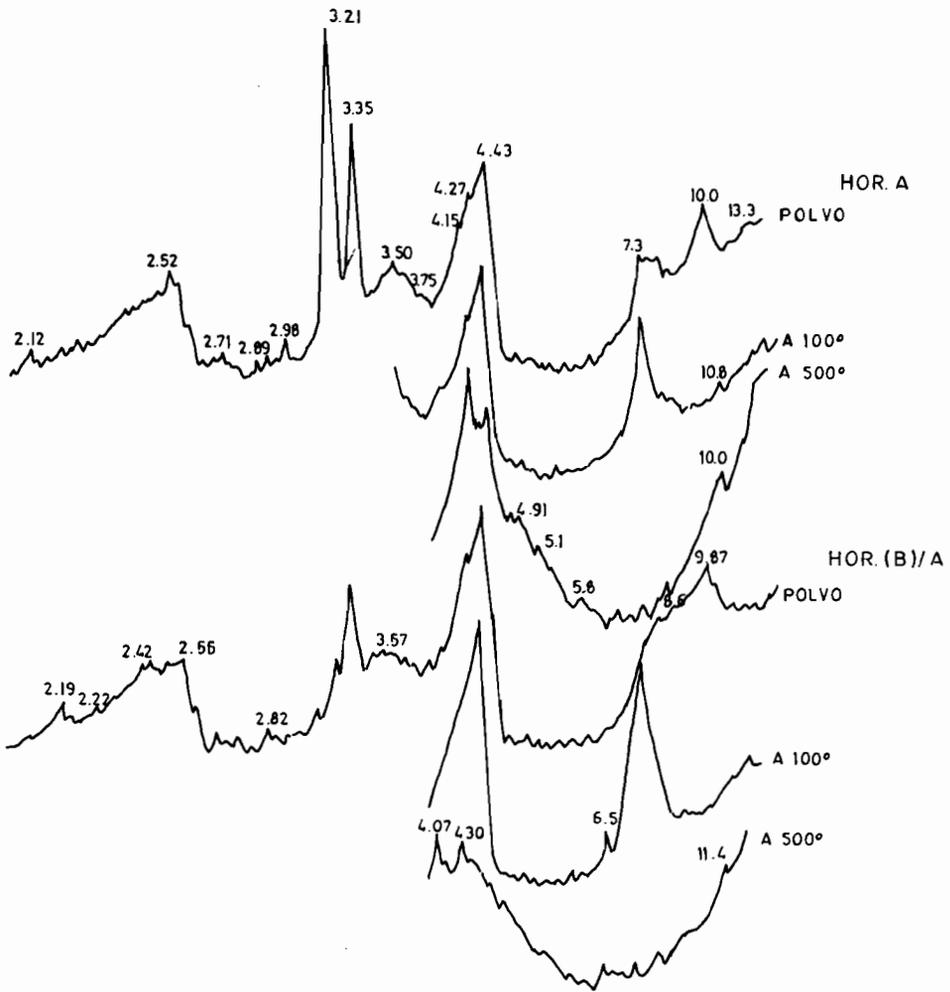


Fig. 48.— PERFIL LAS ROSAS.— Diagramas de difracción de rayos X. Suelo total

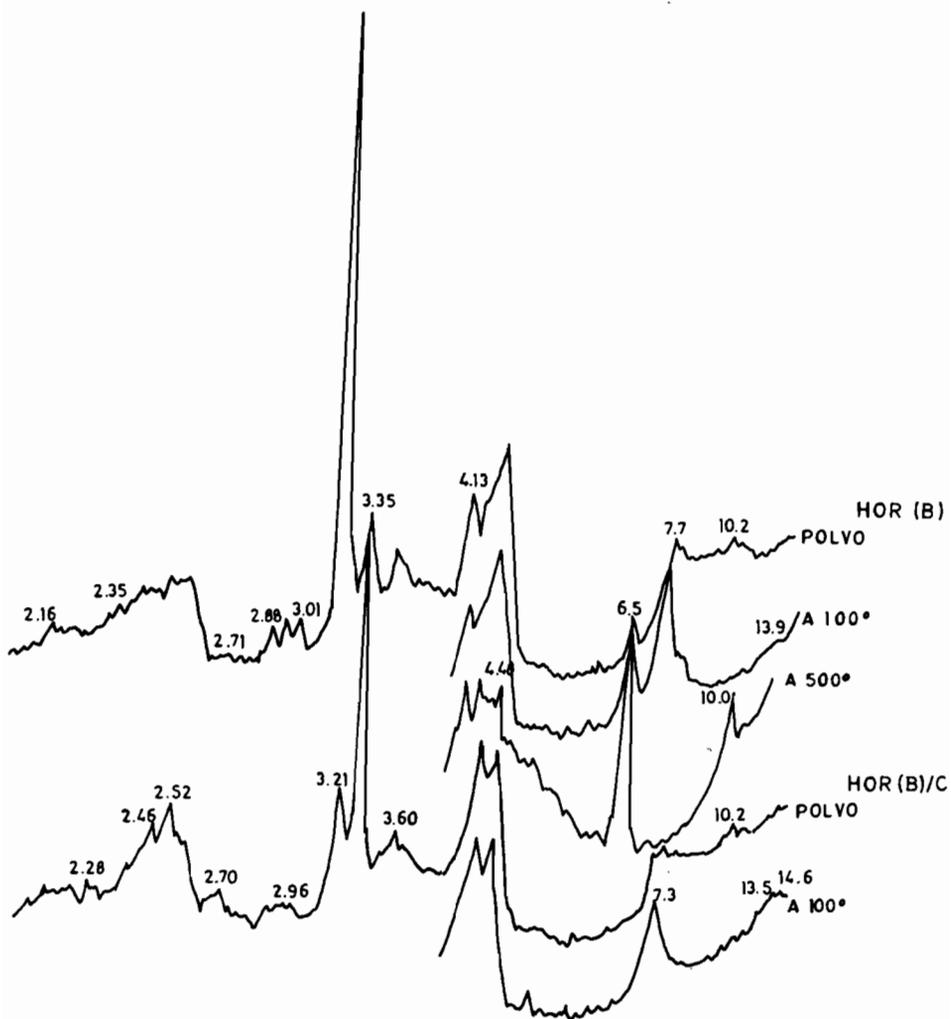


Fig. 49.— PERFIL LAS ROSAS.— Diagramas de difraccion de rayos X. Suelo total

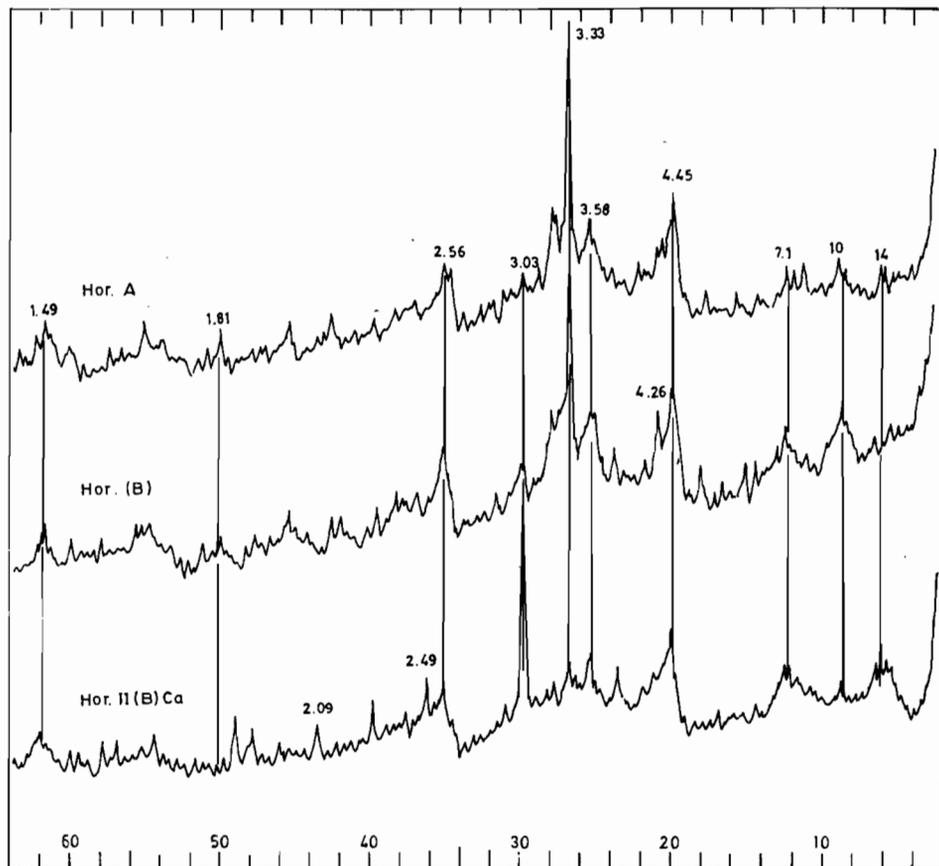


Fig. 50.- Perfil Bajamar. Diagramas de rayos X (Fracción arcilla)

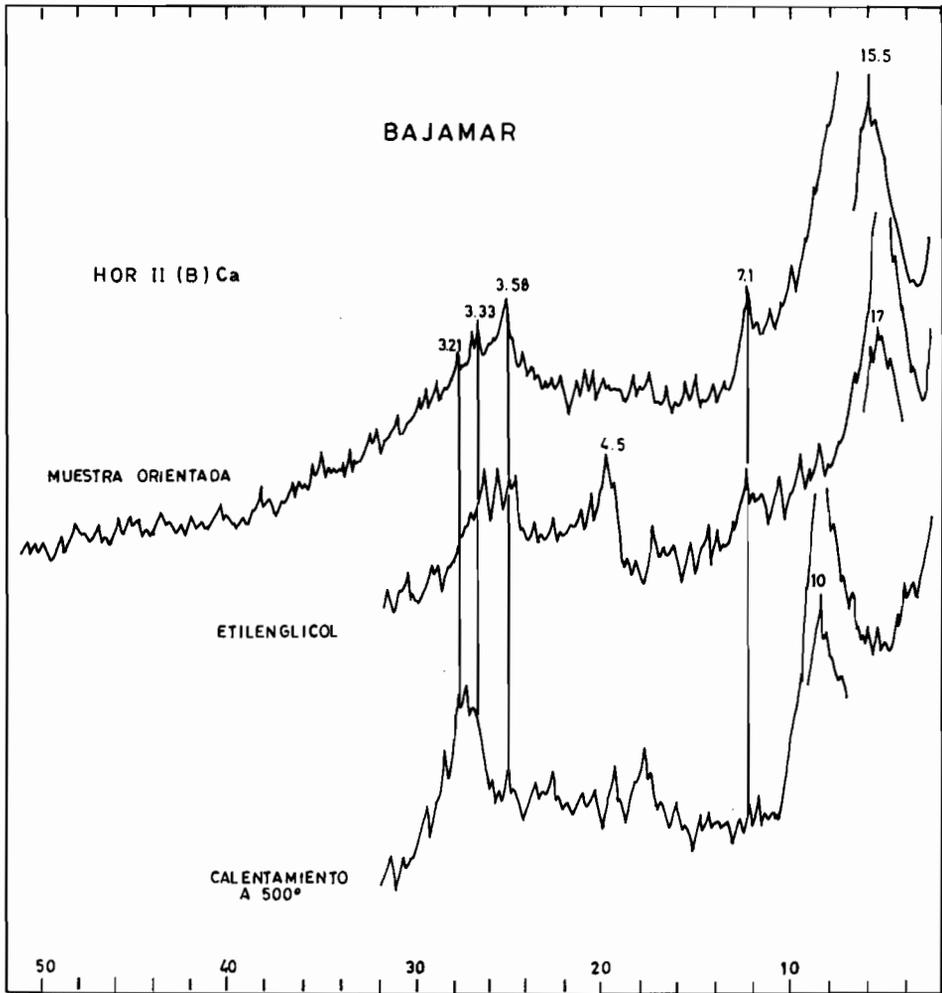


Fig. 51.-PERFIL BAJAMAR.Hor. IIB<sub>Ca</sub>.Diagramas de difracción de rayos X. Fracción arcilla.

### 3. CARACTERISTICAS MICROMORFOLOGICAS

3.1. *los suelos ferralíticos* ponen de manifiesto una alteración muy acusada del material de origen y cristalizaciones de gibsita (gibsitanes) sobre las paredes de los huecos.

3.2. *los suelos ferralíticos*, según las observaciones realizadas por A. Rodríguez (A. Rodríguez, 1977), presentan una alteración casi tan intensa como los suelos ferralíticos, especialmente los que derivan de lapillis basálticos. Las plagioclasas suministran productos secundarios transparentes, que no se observan al microscopio óptico; la augita se altera en productos ferríferos rojizos y el olivino en idingsita.

Por otra parte, la iluviación de arcilla puede ser importante en estos suelos, en especial en la base del perfil, en el horizonte B/C; es del orden de 5%-10% en el perfil La Mina y del orden del 20% en el perfil Las Carboneras. Se observan argilanes amarillos y pardos amarillentos o ferriargilanes rojos, que revisten las vesículas de la roca y las fisuras más finas.

Sin embargo, debemos destacar también que son muy frecuentes los suelos ferralíticos sin iluviación.

3.3 Los vertisoles no presentan ni siquiera trazas de iluviación de arcillas (Rodríguez Hernández, 1976). Se observa una contextura plásmica típica, caracterizada por grandes dominios birrefringentes orientados según varias direcciones (stress-cutanes). Se observa igualmente la yuxtaposición de dos unidades matriciales diferentes, como consecuencia de la mezcla de materiales por efecto del coluvionamiento superficial. Además, la presencia de calcitanes en todo el perfil, que provienen del horizonte B<sub>Ca</sub>, indica el efecto de movimientos importantes de masa en el conjunto del perfil.

### 4. TIPOLOGIA, GENESIS Y CLASIFICACION

#### 4.1. SUELOS FERRALITICOS

##### 4.1.1. tipologia

Los suelos ferralíticos presentan fundamentalmente un perfil complejo, debido a un rejuvenecimiento superficial. En general, se encuentran enterrados por un andosol o un suelo pardo ándico. Unicamente se observan en superficie en regiones muy afectadas por la erosión especialmente en el macizo de Anaga.

Sus propiedades recuerdan a los suelos ferralíticos formados sobre rocas básicas en las regiones tropicales:

*Características morfológicas:* color pardo-rojizo; textura arcillosa; estructura poliédrica media o fina, muy friable; baja densidad aparente y una gran microporosidad. La agregación en seudopartículas finas y friables es a veces tal que el suelo tiene una apariencia limosa (estructura *aliática*, característica de los oxisoles). Algunos suelos presentan concreciones blancas de gibsita en la base del perfil, pudiendo alcanzar 1 cm. de diámetro (Las Lajas).

*Características físico-químicas:* estos suelos son ácidos o moderadamente ácidos (pH de 5 a 6). La diferencia de pH, de 0,7 a 1,1 unidades, entre los valores medidos en H<sub>2</sub>O y en solución de KCl (N), indica la presencia importante de minerales de arcilla (haloisita) de buena cristalización.

Su capacidad de cambio catiónico de 20 a 25 meq/100 gr. sobrepasa frecuentemente los valores habitualmente observados en los suelos ferralíticos con caolinita;

debido en este caso a la haloisita y a la presencia eventual de algo de alofana, que procede de los aportes superficiales de cenizas volcánicas. Sólo el horizonte IIB del perfil Poleo, particularmente rico en gibsita, presenta una capacidad de cambio más baja (18,9 meq/100 gr.). La suma de bases cambiables, de 5 a 7 meq/100 gr., no es despreciable; y el grado de saturación de la capacidad de cambio es de alrededor de 20% en el horizonte B. Son suelos medianamente y fuertemente desaturados en bases.

Son suelos ricos en materia orgánica en el horizonte humífero ( $\sim 10\%$ ), presentan una relación C/N de 12 a 14 y una relación AH/AF  $< 1$ .

La relación molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 \leq 2$ , indica que los productos de alteración, en relación con el material basáltico de origen, han sufrido una intensa lixiviación de sílice y un enriquecimiento de aluminio, así como de óxidos de hierro y titanio.

*Composición mineralógica:* los suelos ferralíticos están constituidos especialmente por haloisita y goetita y, eventualmente, por hematites y gibsita. Contienen igualmente muy pequeñas cantidades de minerales primarios alterables residuales, arcillas 2/1 (vermiculita aluminica) y alofana. Pueden presentar cantidades importantes de alúmina fácilmente extraíble.

#### 4.1.2. génesis

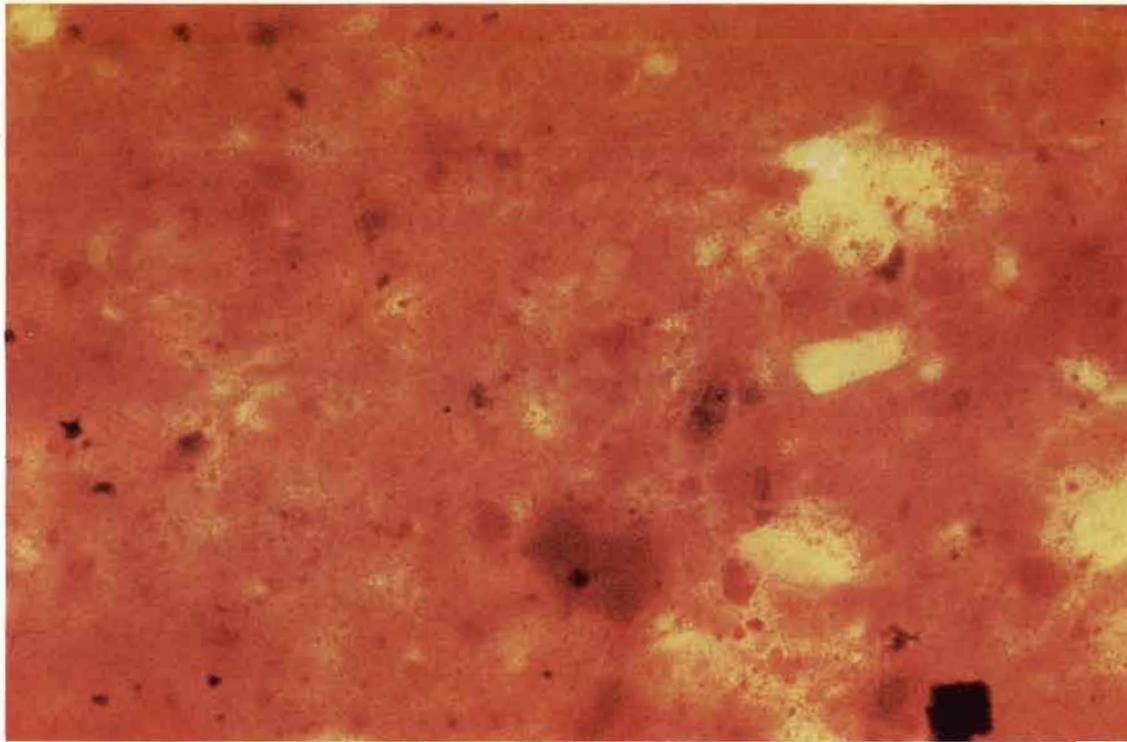
Por sus características geoquímicas y mineralógicas (relación molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 < 2$  en B, arcillas 1/1, óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio) estos suelos corresponden netamente a la clase de suelos ferralíticos.

Se encuentran únicamente en la vertiente Norte de las islas, entre 800 y 1.600 metros de altitud, sobre los materiales volcánicos más antiguos, con una vegetación actual de pinar y laurisilva y en un clima perhúmedo.

Sin embargo, la complejidad de los perfiles y algunas propiedades físico-químicas excepcionales, debidas al rejuvenecimiento volcánico superficial, hacen que estos suelos presenten caracteres intermedios entre los suelos ferralíticos humíferos y los andosoles. Suelos análogos con haloisita, han sido descritos en otras regiones volcánicas, pero en clima tropical, especialmente por Colmet-Daage en las Antillas (1965), Siefferman en el Camerún (1969) y Quantin en las Nuevas Hébridas (1972-1976).

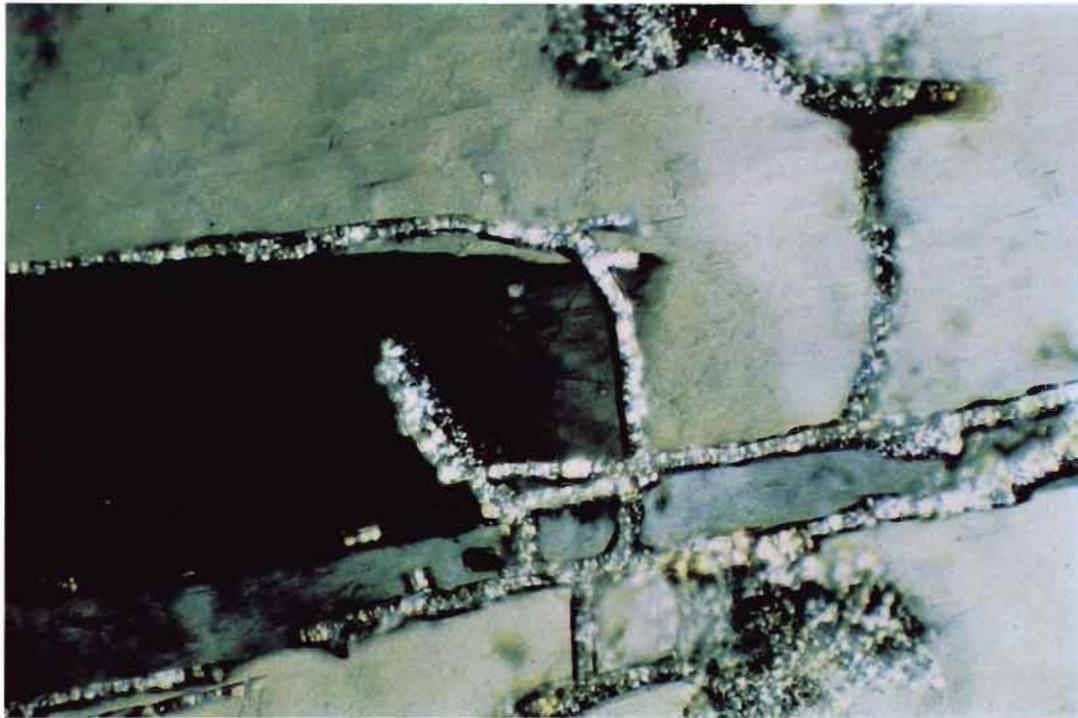
Chatelin (1974) en su síntesis bibliográfica sobre los procesos de alteración de los suelos ferralíticos, destaca claramente que el proceso ferralítico está favorecido por la geoquímica particular de las rocas básicas, un buen drenaje interno del suelo y una pluviometría suficiente, pero fundamentalmente bien repartida. Por su parte, Sieffermann (1969) señala que las rocas volcánicas básicas favorecen la génesis de haloisita más que de caolinita. La formación de los suelos ferralíticos con haloisita puede producirse por evolución de los andosoles desaturados en un largo período de tiempo (Quantin, 1974). Por otra parte, unas condiciones climáticas tropicales y húmedas son las más frecuentemente admitidas por Segalen para la formación de estos suelos.

En las islas Canarias, estos suelos se encuentran en unas condiciones de clima subtropical y regularmente húmedo, intermedio entre el clima mediterráneo y el clima tropical. La asociación sistemática de estos suelos a materiales antiguos nos indica por otra parte un proceso muy prolongado para su génesis. El rejuvenecimiento volcánico superficial hace difícil en ocasiones la clasificación de estos suelos.



*Matriz de un horizonte ferralítico*





*Alteración de Sanidina a Gibsita. Suelo ferralítico*



#### 4.1.3. clasificación

##### *Clasificación francesa*

La morfología del perfil, junto con la intensa alteración de los minerales primarios, la eliminación de una gran parte de la sílice y las bases, la presencia de minerales de arcilla de tipo 1/1 y la individualización importante de óxidos e hidróxidos de hierro (goetita, hematitas) y especialmente de aluminio (gibbsite) nos hacen clasificar a estos suelos en:

*Clase:* «Suelos Ferralíticos»

##### *Perfil Poleo*

*Subclase:* «Suelos ferralíticos medianamente desaturados en (B)». Se encuentra en el límite de la subclase de suelos ferralíticos débilmente desaturados.

*Grupo:* «Suelos ferralíticos medianamente desaturados en (B), rejuvenecidos».

*Subgrupo:* «Con erosión y aporte eólico volcánico, con carácter ándico superficial poco desarrollado».

Por lo que en definitiva se clasifica como *Suelo ferralítico medianamente desaturado en (B), rejuvenecido, con erosión y aporte eólico volcánico, y con carácter ándico superficial poco desarrollado*.

##### *Perfil Las Lajas*

*Subclase:* «Suelos ferralíticos fuertemente desaturados en (B)».

*Grupo:* «Suelos ferralíticos fuertemente desaturados humíferos, rejuvenecidos».

*Subgrupo:* «Con erosión y aporte eólico volcánico y con carácter ándico superficial bien desarrollado».

Consecuentemente se clasificará este perfil como *Suelo ferralítico fuertemente desaturado en (B), humífero, rejuvenecido, con erosión y aporte eólico volcánico y con carácter ándico superficial bien desarrollado*.

##### *Clasificación americana*

La presencia de haloisita y de pequeñas cantidades de alofana, que aumentan la capacidad de cambio a más de 16 meq/100 gr. hace difícil la clasificación de muchos de estos perfiles en los Oxisoles. Sin embargo, presentan muchas características de estos suelos como son: un grado importante de alteración, dejando únicamente pequeñas cantidades de minerales primarios muy resistentes como el cuarzo y la sanidina; una intensa lixiviación de bases; un contenido importante de arcillas, etc.

Si se admite la elevación del límite superior de la capacidad de cambio de los Oxisoles, en el caso de los suelos ricos en haloisita, a valores próximos de la capacidad de cambio de esta arcilla (25 meq/100 gr.), se podría clasificar a estos suelos en el orden de los *Oxisoles*.

*Suborden:* «Humox»

##### *Perfil Poleo*

*Gran Grupo:* «Gibbsihumox»

*Subgrupo:* «Andeptic Gibbsihumox»

##### *Perfil Las Lajas*

*Gran Grupo:* «Sombrihumox»

*Subgrupo:* «Andeptic Sombrihumox»

En la actual clasificación americana, estos suelos habría que clasificarlos más bien como:

*Orden:* «Ultisoles»

*Perfil Poleo*

*Suborden:* «Udults»

*Gran Grupo:* «Paleudults»

*Subgrupo:* «Andeptic Paleudults»

*Perfil Las Lajas*

*Suborden:* «Humults»

*Gran Grupo:* «Palehumults»

*Subgrupo:* «Andic Orthoxic Palehumults»

Se encuentran también ciertos suelos ferralíticos que habría que incluirlos en el Orden Inceptisol, según la actual Taxonomía, lo que no resulta lógico dada la intensa alteración que presentan.

## 4.2. SUELOS FERSIALITICOS

### 4.2.1. tipología

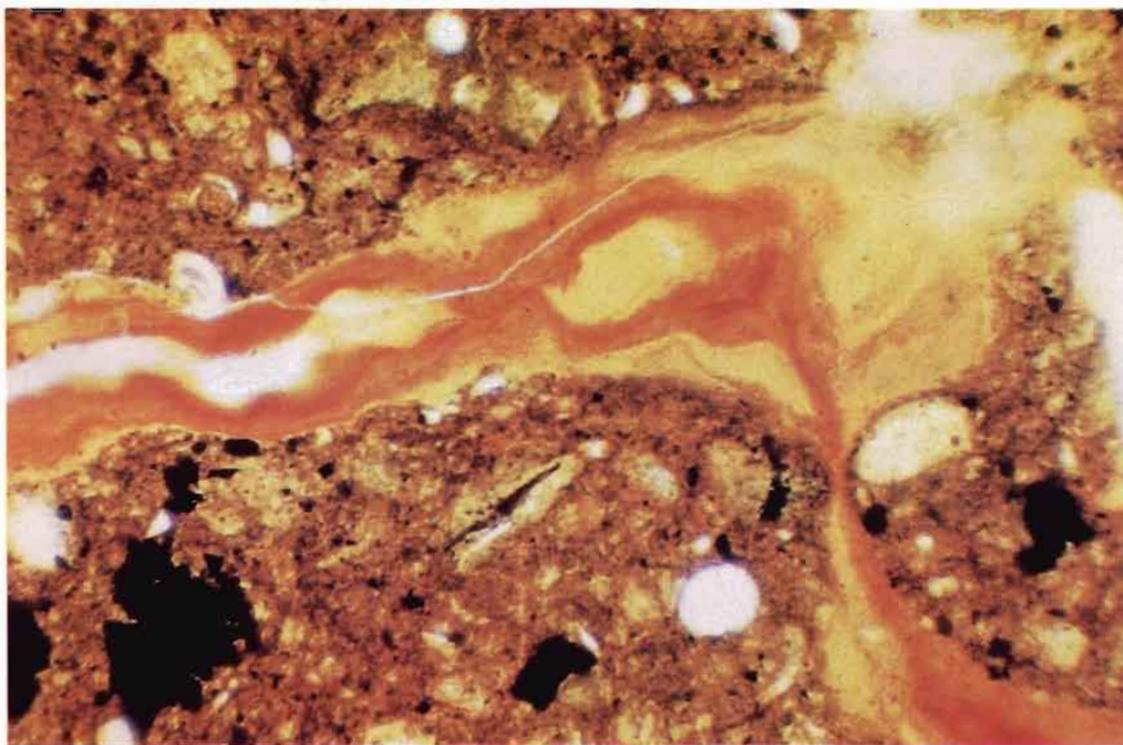
*Características morfológicas:* los suelos fersialíticos más próximos a la región de los ferralíticos presentan un color rojizo muy intenso, que se vuelve más oscuro al descender hacia los vertisoles. Algunos de estos suelos están ligeramente rejuvenecidos y son más limosos en la parte superior del perfil; sin embargo, este efecto desaparece a menudo como consecuencia de los cultivos y de la erosión. La textura es normalmente muy arcillosa y la estructura aparece más densa, más desarrollada y más coherente que en los suelos ferralíticos; generalmente es poliédrica gruesa y a veces prismática con caracteres vérticos netos (superficies inclinadas y estriadas). En los suelos situados en la zona inferior de la secuencia, los prismas pueden estar revestidos por cutanes negruzcos (ferromanganes). Muy pocas veces se observan cutanes arcillosos debidos a la iluviación; únicamente, en algunos casos, en la base del perfil (Horizonte B/C).

*Características físico-químicas:* estos suelos son moderadamente ácidos ( $\text{pH} \sim 6$ ). Su capacidad de cambio catiónica, próxima a 30 meq/100 gr. en el horizonte B, es debida a la presencia en el suelo de una mezcla de arcillas de tipo 1/1 y 2/1. El grado de saturación en bases en el horizonte B varía de 35% a 60%; son por tanto, suelos moderadamente desaturados.

El contenido de materia orgánica en el horizonte A, de 2% a 6%, es sensiblemente menor que en los suelos ferralíticos. La relación C/N, próxima a 10, y la relación AH/AF próxima a 1, indican una rápida evolución de la materia orgánica.

El valor de la relación molar  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  en el suelo total (minerales primarios incluidos) que oscila entre 2,3 y 4,2, indica una evolución importante de los productos de la alteración por efecto de la lixiviación de la sílice y de las bases, sin llegar al estado de alteración de los suelos ferralíticos. Estos suelos son igualmente ricos en hierro y especialmente en óxidos e hidróxidos de hierro libre (de 6% a 16% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

*Composición mineralógica:* en los suelos fersialíticos próximos a los suelos ferralíticos predomina la haloisita (de 10 Å y 7 Å), observándose igualmente arcillas interes-



*Iluviación en un horizonte B argílico. Suelo fersialítico*



stratificadas (I-V, I-M) y algo de montmorillonita. A medida que se desciende en la secuencia, estos suelos se enriquecen progresivamente en estos últimos minerales.

En estos suelos también están presentes la goetita y los hematites (que les dan un color rojo intenso) así como algo de minerales primarios residuales (cuarzo, sanidina, micas, piroxenos y anfíboles muy alterados). El enriquecimiento en sanidinas, micas y cuarzo indica la contaminación por cenizas fonolíticas u otro tipo de contaminación eólica.

Es interesante destacar que los suelos rojos con predominio de haloisita presentan una estructura vértica de hinchamiento tan desarrollada como los suelos con montmorillonita.

#### 4.2.2. génesis

Por sus características geoquímicas y mineralógicas: relación  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3 > 2$ , mezcla de arcillas 1/1 y 2/1, cantidad de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre  $> 3\%$  y color rojo debido a los hematites, estos suelos han de ser clasificados como fersialíticos, según el criterio de Botelho da Costa (1959). A pesar de una intensa alteración mineral, la desilicificación está menos avanzada que en los suelos ferralíticos, pero la individualización de óxidos de hierro es muy acusada.

Estos suelos presentan también en algunos casos cutanes (ferriargilanes) de iluviación en la base del horizonte B.

Los suelos fersialíticos se encuentran en zonas climáticas bien definidas: clima con dos estaciones, húmeda y seca, muy contrastadas. La vegetación natural de estas zonas en Tenerife, inicialmente de tipo forestal, ha sido totalmente destruida y los suelos cultivados, modificándose así la estructura del suelo y, en general, las características de los horizontes superiores rejuvenecidos con anterioridad por cenizas volcánicas. Algunos suelos presentan aún trazas de este rejuvenecimiento.

La presencia en esta misma zona climática de suelos más jóvenes, menos evolucionados, de tipo pardo-eutrófico o pardo-ándico, indica que los suelos rojos son relativamente más antiguos.

Los suelos fersialíticos rojos de las islas Canarias se forman en condiciones climáticas análogas a las establecidas por Lamouroux (1972) en el Líbano para suelos similares. Suelos análogos han sido observados en clima tropical por Botelho da Costa (1959), por Martin (1966) y por Quantin (1972-76). Se trata de climas más lluviosos (1200-1800 mm./año) y más cálidos, pero también con una estación seca importante. Estos suelos se han formado sobre materiales básicos.

#### 4.2.3. clasificación

##### *Clasificación francesa*

La clasificación del C.P.C.S. (1967) limita la definición de los suelos fersialíticos al caso de los suelos mediterráneos y los sitúa al nivel de subclase dentro de la clase de los suelos ricos en sesquióxidos, junto a los suelos ferruginosos tropicales.

Nos ha parecido más lógico elevar los suelos fersialíticos al nivel de clase, en el mismo plano que los suelos ferralíticos y ampliar el concepto, como ya lo había propuesto Botelho da Costa para los suelos rojos tropicales. Las subclases las definiremos en función del grado de saturación en bases de la capacidad de cambio catión-

---

I-V - *Ilita-vermiculita*; I-M - *Ilita-montmorillonita*

nica; así, distinguimos: suelos saturados, débilmente desaturados y medianamente desaturados. Los grupos, según la existencia o no de horizonte argílico y los subgrupos por la intensidad del proceso fundamental o por la existencia de un proceso secundario: modal, hidromorfo, vértico, ándico...etc.

Los tres perfiles de suelos fersialíticos que hemos descrito en este estudio se incluyen como «suelos medianamente desaturados, con horizonte B/C argílico, rubificados».

El perfil Las Rosas se distingue por caracteres vérticos en el horizonte B/C.

Los perfiles Las Carboneras y La Mina presentan caracteres ándicos poco acusados en el horizonte A, como consecuencia de un rejuvenecimiento volcánico superficial; además, las características mineralógicas y estructurales del horizonte B son intermedias con los suelos ferralíticos.

#### *Clasificación americana*

Los tres perfiles estudiados tienen un horizonte argílico y un grado de saturación superior al 35%, por lo que los clasificamos en:

*Orden:* «Alfisoles»

*Suborden:* «Ustalfs», si consideramos que el régimen climático es de tipo «ustic». (Observaciones en la primera parte de la Memoria del mapa)

*Gran Grupo:* «Rhodustalfs», porque el color en estado húmedo es de 2,5 YR

#### *Perfil Las Rosas*

*Subgrupo:* «Oxic Rhodustalfs», ya que la capacidad de cambio en el horizonte argílico es inferior a 24 meq/100 gr.

#### *Perfiles Las Carboneras y La Mina*

*Subgrupo:* «Andic Udic Rhodustalfs», a causa del carácter ándico muy neto del horizonte de superficie»

Además de estos perfiles anteriores, existen en Tenerife suelos fersialíticos sin horizonte argílico, con unas características físico-químicas y mineralógicas similares a los anteriores. Por esta razón incluimos a continuación un perfil representativo de los suelos fersialíticos sin horizonte argílico, sólo a nivel de clasificación.

#### *Clasificación francesa*

Si adoptamos la propuesta de Lamouroux, 1971, y las modificaciones indicadas en un trabajo anterior (Rodríguez Rodríguez y col., 1978), estos suelos se incluirían en:

*Clase:* «Suelos fersialíticos»

*Subclase:* «Suelos fersialíticos medianamente desaturados»

*Grupo:* «Suelos fersialíticos medianamente desaturados, no lavados»

*Subgrupo:* Hay diferentes tipos: «con carácter ándico», «con carácter vértico», «modal», etc.

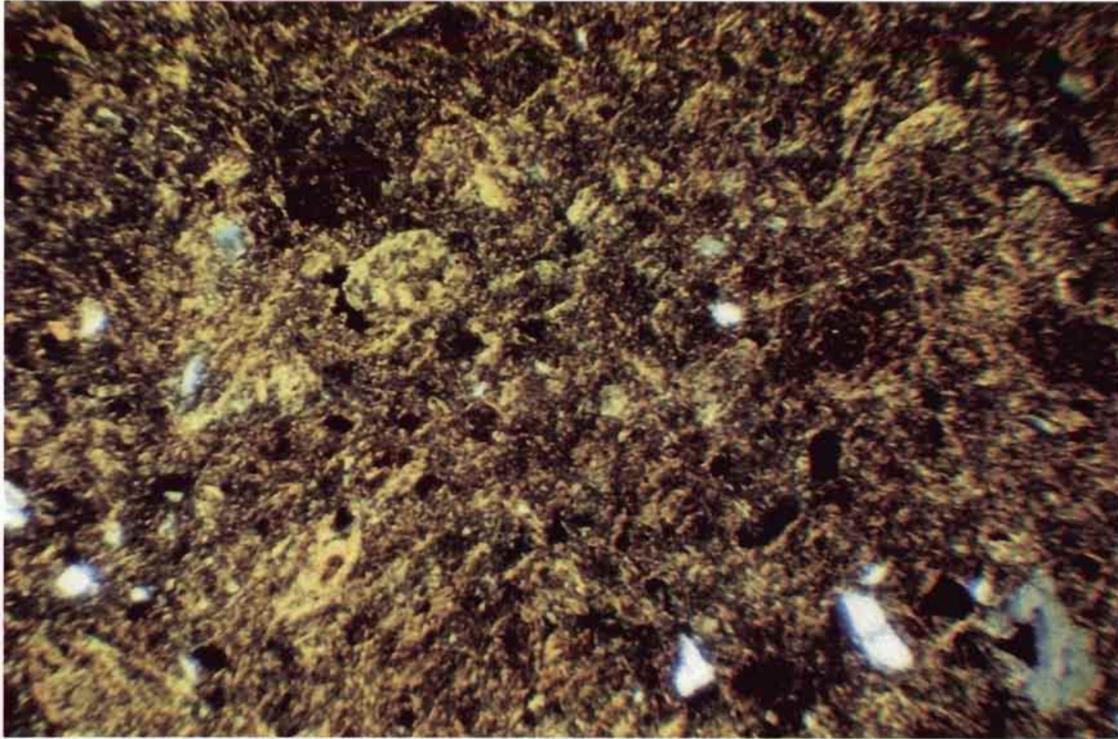
#### *Clasificación americana*

*Orden:* «Inceptisol»

*Suborden:* Según la diferencia anual de temperaturas medias mensuales: «Ochrepts» o «Tropepts»

*Gran Grupo:* «Ustochrepts» o «Ustropepts»

*Subgrupo:* Hay diferentes tipos: «andic», «vertic», «aquic», etc.



*Contextura plásmica en un horizonte B de un vertisol (Stress-Cutans)*



### 4.3. VERTISOLES

#### 4.3.1. tipología

*Características morfológicas:* suelos de color gris oscuro o pardo muy oscuro, muy arcillosos, con estructura prismática en el horizonte (B), caracterizada por caras de deslizamiento inclinadas y estriadas, muy desarrolladas, con consistencia muy fuerte. Presentan amplias grietas de retracción en estado seco; en estado húmedo se vuelve muy plástico y adherente. El perfil presenta casi siempre una acumulación caliza friable en la base del horizonte B, lo más a menudo bajo forma de nódulos o encostramiento friable.

*Características físico-químicas:* el contenido de materia orgánica del suelo superficial es generalmente bajo (1%-2%) y tiene una relación C/N  $\leq 10$ .

El pH es débilmente alcalino en la zona superior del perfil (de 7 a 8), pero puede alcanzar valores de 8 y 9 en el horizonte calizo ( $B_{Ca}$ ). El porcentaje de  $CaCO_3$  es muy bajo (1%-2%) o nulo fuera del horizonte de acumulación de carbonato.

La capacidad de cambio catiónica es muy elevada, debido a un contenido importante de montmorillonita; varía de 40 meq./100 gr. a más de 60 meq./100 gr. Los vertisoles más próximos a los suelos fersialíticos están ligeramente desaturados en la zona superior del perfil, aunque es frecuente que el suelo esté saturado en bases, principalmente en calcio y magnesio. Sin embargo, el contenido en  $Na^+$  aumenta con la profundidad, llegando a alcanzar un valor de 5 a 6 meq/100 gr, índice de un principio de alcalinización ( $Na^+/T \simeq 10\%$ ).

La relación molar  $SiO_2 / Al_2O_3$ , superior a 4, indica una evolución geoquímica muy limitada. Prácticamente, no se encuentra «hierro libre».

*Composición mineralógica:* la montmorillonita (ferrífera) es la arcilla que predomina netamente, conjuntamente con algo de caolinita y metahalosita en todo el perfil, y cantidades variables de illita en la zona superior, junto con cuarzo de polución eólica. A menudo se observan también trazas de minerales primarios poco alterados (feldespatos, piroxenos y anfíboles) en los perfiles; se trata de minerales extraídos de la zona de alteración del basalto por los movimientos de masa que se producen en los vertisoles.

La observación micromorfológica pone de manifiesto contexturas plásmicas caracterizadas por dominios birrefringentes con múltiples orientaciones (Rodríguez Hernández y col., 1978), lo que indica claramente el efecto de presiones y movimientos de masa.

#### 4.3.2. génesis

Los vertisoles están situados en el piso inferior de la secuencia septentrional, por debajo de los 300/400 m. de altitud y una pendiente aproximada de un 5%.

Una parte de las arcillas de la base del perfil puede formarse por la alteración del basalto «in situ» y el resto por evolución de los materiales coluviales.

Las actuales condiciones climáticas, con una pluviometría inferior o igual a 300 mm/año, no parecen favorables a la evolución de estos materiales en arcilla, exceptuando un breve periodo anual en que el suelo puede alcanzar la saturación. En la actualidad es el proceso de acumulación de carbonatos el que parece predominar, acompañado incluso de un principio de alcalinización en profundidad. Estas circunstancias nos llevan a emitir la hipótesis de que la argilificación se haya produci-

do durante un período climático más húmedo, previo a la acumulación actual de calizas.

La vegetación actual, a menudo modificada por el cultivo en terrazas, corresponde a plantas xerofíticas de la asociación *Klenio-Euphorbion*, que indican condiciones climáticas subáridas.

#### 4.3.3. clasificación

##### *Clasificación francesa*

Las características morfológicas (grietas de retracción, slickensides, etc.) y mineralógicas (predominio de montmorillonita) nos permiten clasificar el perfil Bajamar en:

*Clase:* «Vertisoles»

*Subclase:* «Con drenaje externo posible»

*Grupo:* «Con estructura fina y redondeada en los primeros 15 cm.»

*Subgrupo:* Es necesario proponer el subgrupo «Con acumulación caliza» e «intergrado halomorfo»

Consecuentemente, el perfil se clasifica como *Vertisol con drenaje externo posible, estructura fina y redondeada en los primeros 15 cm., con acumulación caliza, e intergrado halomorfo.*

##### *Clasificación americana*

*Orden:* «Vertisoles»

*Suborden:* «Usterts»

*Gran Grupo:* «Pellusterts»

*Subgrupo:* «Typic Pellusterts». Proponemos el subgrupo «Calcic Pellusterts»

## 5. CONCLUSION: EVOLUCION DE LA SECUENCIA TOPO-CLIMATICA DE SUELOS ANTIGUOS DEL NORTE DE TENERIFE

Como conclusión del estudio de las características de los suelos más antiguos de la secuencia septentrional de Tenerife, trataremos en primer lugar del sentido de la evolución de las características en función del gradiente climático aparente y, a continuación consideraremos la relación entre la génesis y las actuales condiciones climáticas.

### 5.1. EVOLUCION DE LAS CARACTERISTICAS

La comparación de los suelos correspondientes a las tres zonas ecológicas de la secuencia septentrional, es decir, desde la parte superior a la inferior de la vertiente: suelos ferralíticos, suelos fersialíticos y vertisoles, pone de manifiesto muy claramente la siguiente evolución de sus características:

*Morfología:* el perfil, complejo en los suelos ferralíticos, como consecuencia de un rejuvenecimiento volcánico superficial muy evidente, se simplifica y es poco profundo en los vertisoles.

Los suelos ferralíticos presentan frecuentemente un horizonte humífero muy desarrollado con caracteres evidentes de andosol y a veces de suelo pardo ándico, que corresponde a un aporte reciente de cenizas volcánicas: el suelo ferralítico «sensu estricto» podemos considerarlo como un suelo enterrado. El suelo rojo fersialítico, ligeramente empobrecido en arcilla o rejuvenecido en el horizonte  $A_p$  y, en ocasiones, con una iluviación de arcilla en la base del horizonte B, tiene la morfología de un suelo ligeramente lavado. El vertisol con frecuencia no tiene horizonte A y presenta una acumulación de carbonatos en la base del perfil, en el horizonte B. Ade-

más, el paso del horizonte arcilloso a la roca madre subyacente es rápido y muy neto, casi sin horizonte de alteración.

Por tanto, el horizonte humífero, muy desarrollado en la parte superior de los suelos ferralíticos, en condiciones ecológicas forestales y perhúmedas, desaparece prácticamente en los vertisoles, en condiciones climáticas subáridas.

El horizonte B (o IIB) de los suelos ferralíticos es pardo rojizo (o rojo litocromo), arcillo-limoso, con estructura poliédrica fina, microporosa, poco densa y muy friable. El suelo fersialítico es más rojo, parece más arcilloso y más denso, la estructura está más desarrollada, es poliédrica, gruesa o prismática, con evidentes caracteres vérticos en la base (slickensides) y frecuentes revestimientos pardos o negruzcos; la cohesión es fuerte. El vertisol adquiere un color muy oscuro, una estructura prismática muy coherente y presenta slickensides muy desarrollados. A lo largo de la secuencia se produce, por tanto, un aumento de la densidad y un desarrollo muy acentuado de la estructura.

El horizonte C de alteración, muy desarrollado en los suelos ferralíticos y fersialíticos, desaparece prácticamente en los vertisoles. Una acumulación caliza friable aparece en la base de los vertisoles.

**Materia orgánica:** el contenido de materia orgánica en el horizonte humífero es del orden de 10% en los suelos ferralíticos, de 2% a 6% en los suelos fersialíticos y siempre inferior a 2% en los vertisoles. En el mismo sentido, la relación C/N pasa de 12-14 a 10, y en los vertisoles es inferior a 10. La relación AH/AF, de ser claramente inferior a 1, pasa a valores superiores a 1.

**Características físicas:** la textura aparente del horizonte B, arcillo-limosa en los suelos ferralíticos, se vuelve cada vez más arcillosa al pasar a los vertisoles. Por el contrario, la porosidad y la capacidad de retención de agua disminuye mucho, al mismo tiempo que se desarrollan caracteres de hinchamiento y retracción de las arcillas.

**Características químicas:** el pH, francamente ácido (5-6) en los suelos ferralíticos se eleva ligeramente en los suelos fersialíticos ( $\sim 6$ ) y se vuelve alcalino en los vertisoles (7-8). La capacidad de cambio catiónica aumenta sensiblemente en el mismo sentido: de 15-20 meq/100 gr. en los suelos ferralíticos, pasa a más de 40 meq/100 gr. en los vertisoles. El grado de saturación en bases, próximo al 20% en la zona superior de la secuencia llega a 100% en su zona inferior, al mismo tiempo que aparecen acumulaciones de carbonatos y una ligera alcalinización ( $\text{Na} + \text{T} \sim 10\%$ ) del suelo en profundidad.

La evolución geoquímica de la alteración, marcada por una pérdida relativa de bases y sílice en los productos minerales secundarios, se pone de manifiesto por la evolución de la relación molar sílice/alúmina. En los suelos ferralíticos, esta relación es inferior a 2; en los suelos fersialíticos varía entre 2, 3 y 4, y sobrepasa 4 en los vertisoles.

**Características mineralógicas:** los suelos ferralíticos están caracterizados por el predominio de haloisita, gibsita, hematites y goetita. Los suelos fersialíticos presentan una mezcla de haloisita (predomina) y arcillas 2/1 (ilita y montmorillonita) asociadas a hematites. Los vertisoles están constituidos fundamentalmente por montmorillonita, estando en ellos prácticamente ausentes los óxidos de hierro libres.

La evolución mineralógica, al igual que la evolución geoquímica, aparentemente ligadas a una variación de intensidad de la percolación del agua en los suelos, es muy rápida y está bien caracterizada en esta secuencia.

## 5.2. RELACION ENTRE LA GENESIS DE LOS SUELOS MAS ANTIGUOS Y LA ACTUAL ZONALIDAD CLIMATICA

La correlación existente entre la distribución de los suelos antiguos de esta se-

cuencia y la zonalidad climática actual nos lleva a pensar que durante la formación de estos suelos la climatología se ha mantenido dentro de unas características próximas a las actuales.

Al estudiar en el capítulo anterior los suelos formados sobre materiales volcánicos recientes, en esta misma zona climática, establecíamos que los andosoles desaturados con gibsita, podrían evolucionar a suelos ferralíticos a lo largo de un período de tiempo suficientemente prolongado (Tejedor Salguero, Fernández Caldas, Quantin, 1978; Quantin, Fernández Caldas, Tejedor Salguero, 1979). Esta evolución ha sido observada en diferentes islas volcánicas tropicales. De la misma manera, los suelos pardos ándicos, que se encuentran en el piso altitudinal inmediatamente inferior, con un clima estacional contrastado y una mineralogía dominada por arcillas de tipo haloisita, arcillas 2/1 interestratificadas y goetita, podrían evolucionar a suelos fersialíticos.

Los vertisoles aparecen en el piso inferior de la secuencia, en una posición topográfica equivalente a la que ocupan en la región de «barlovento» de las Islas tropicales (Colmet-Daage, 1965) o en las regiones tropicales con una estación seca prolongada (Bocquier, 1973).

Sin embargo, esta analogía, aparentemente perfecta, entre la distribución de los suelos canarios más antiguos y determinadas secuencias de suelos volcánicos en las regiones tropicales, plantea algunos problemas de correlaciones climáticas. Actualmente en Tenerife el clima es subtropical, e incluso templado en altitud. La intensidad pluviométrica anual es sensiblemente inferior a la admitida para la formación de estos suelos: de 600 a 1000 mm. en la zona de los suelos ferralíticos, de 300 a 600 mm. para la zona de los suelos fersialíticos y de 200 a 300 mm. en la región de los vertisoles. No obstante, estos datos pluviométricos, especialmente en la región de las nubes donde se encuentran los suelos ferralíticos, pueden incrementarse considerablemente por efecto de las condensaciones ocultas, como ya habíamos indicado en la página 86, alcanzando valores de hasta 3.000 mm. anuales (Kämmer, 1972). Pluviometría suficiente para el desarrollo de un proceso de ferralitización en un medio subtropical perhúmedo.

Por otra parte, se observa también una coherencia en la distribución anual de las lluvias: clima perhúmedo en la zona superior de la secuencia, clima estacional contrastado en la región media de suelos fersialíticos y un predominio de la estación seca en la zona inferior de los vertisoles.

Podríamos concluir, que la zonalidad climática ha persistido, al menos durante la formación de estos suelos, bajo el efecto de un gradiente topoclimático producido por la orientación predominante de los vientos del Norte y la persistencia de una zona de nubes de altitud constante y condensaciones horizontales que condicionan un clima perhúmedo. Por otra parte, a lo largo de las fluctuaciones climáticas del Cuaternario, la intensidad pluviométrica ha podido variar muy sensiblemente, pero manteniéndose un mismo régimen anual de distribución en cada una de las zonas. Durante los períodos de intensa pluviometría, el proceso de alteración y génesis de los constituyentes minerales secundarios ha podido intensificarse considerablemente.

En el estudio de los suelos formados sobre materiales recientes de esta misma secuencia, indicábamos que el proceso de ferralitización prosigue aún en los andosoles desaturados de la zona perhúmeda, aunque menos intensamente. De igual manera, el proceso de fersialitización en el momento actual, parece atenuado en la zona intermedia, donde se observan otros procesos secundarios, como iluviación de arcillas y desarrollo de estructuras vérticas en la base del perfil que correspon-

den a una evolución climática hacia una mayor aridez. Finalmente, en los vertisoles, en el piso inferior de la secuencia, la génesis de las arcillas parece prácticamente detenida, aunque la estructura vértica se ha desarrollado al máximo. La presencia de acumulaciones de carbonatos y un principio de alcalinización en la base del perfil son procesos consecuentes a una aridificación creciente del clima, favorecida por una modificación importante de la vegetación natural.

La reconstrucción de la génesis de estos suelos nos lleva a pensar que se han formado en condiciones aparentemente análogas a las actuales, aunque con una variación importante en las intensidades pluviométricas, sin un cambio sensible del gradiente topoclimático, ni del régimen anual de distribución de las lluvias, observándose, no obstante, una aridificación reciente y progresiva del clima en el piso inferior de la secuencia.

Consecuentemente, la historia de los suelos «antiguos» puede presentar una cierta complejidad, especialmente en lo que se refiere a la correspondencia entre las condiciones actuales del medio y la génesis de estos suelos, una génesis que puede corresponder a un proceso monogenético o policíclico. En el caso de nuestra secuencia septentrional de suelos «antiguos» de Tenerife, caracteres evidentes indican que en una gran extensión se encuentran enterrados bajo materiales más recientes. Algunos procesos, como la ferralitización de los andosoles desaturados, parece proseguir en la actualidad, aunque probablemente atenuados. Otros nuevos, como la acumulación de carbonato cálcico y posteriormente la alcalinización en los vertisoles, han aparecido recientemente.

Podría compararse la secuencia de suelos «antiguos» del Norte de Tenerife a una secuencia climática tropical modificada por dos fenómenos recientes: de una parte, un rejuvenecimiento volcánico en la zona superior de la secuencia y, de otra, una aridificación del clima en el piso inferior.

La secuencia meridional descrita en el capítulo segundo de este libro, de un carácter más árido, presenta grandes analogías con los suelos mediterráneos de África del Norte (Ruellan, 1971). Esta circunstancia tiene el gran interés de mostrarnos que en las zonas limítrofes de las regiones tropicales y mediterráneas, existen analogías cuyo estudio podría contribuir al esclarecimiento de la génesis del suelo en estas áreas, circunstancialmente separadas por el desierto del Sáhara.



## VI. TECNICAS EXPERIMENTALES

La materia orgánica se determinó por el método de Walkey y Black; el nitrógeno mineralizado por ataque sulfúrico se analizó siguiendo el método Kjeldahl. Para el fraccionamiento de los ácidos húmicos se siguió el método de Kononova (Kononova, 1968).

El pH se midió en suspensión acuosa (1/2,5), en KCl (N) (1/2,5) y una solución de NaF (1/50) (Fieldes y Perrott, 1966).

La capacidad de cambio catiónica se determinó con acetato sódico de pH 8,2, mientras que los cationes de cambio se extrajeron con acetato amónico (N) a pH = 7 (Richards, 1954).

En algunos suelos se ha medido también la capacidad de cambio a pH 10,5 y pH 3,5, como indican Aomine y Jackson, 1959. El «valor  $\Delta$ » es la diferencia entre estas dos medidas. Las determinaciones han sido hechas en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer, modelo 290.

El análisis químico total se efectuó por fusión con  $\text{FH} + \text{NO}_3\text{H}$ .

El estudio de los productos «amorfo» se ha realizado siguiendo el método de Segalen, 1968, alternando la acción de los reactivos HCl (8 N) y NaOH (0,5 N) durante siete extracciones. En algunos suelos se ha utilizado igualmente HCl (2 N).

El carbonato cálcico se determinó con el calcímetro de Bernard.

En el extracto de la pasta saturada obtenido por el método Richards (1954), se midió la conductividad en un conductímetro Meter LBR WTW. Los resultados se expresan en mmhos/cm a 25° C. El Ca y Mg se determinaron por complexometría, el Na y K por fometría de llamas; los cloruros por el método Mohr y los sulfatos por el método de Asghar y col. (1957).

El análisis granulométrico de los andosoles se ha realizado por dispersión ultrasónica (Bonfils, Dupuis, 1969), en medio alcalino, exceptuando algunos horizontes ricos en imogolita e hidróxidos de hierro, que dispersaron en medio ácido. Para los restantes suelos se ha utilizado el método clásico de la «pipeta de Robinson», dispersando con hexametafosfato sódico.

Las determinaciones de humedad a diferentes valores de pF han sido obtenidas por succión sobre placas porosas, modelo de Soil Moisture Equipment Corporation.

El estudio de los minerales primarios se ha realizado siguiendo la técnica de Pérez Mateos, 1965, y las modificaciones introducidas por Aleixandre y Pinilla, 1968.

Para el estudio mineralógico de la totalidad del suelo y/o de la fracción arcilla se han seguido las técnicas siguientes:

- Difracción de rayos X: los análisis de las muestras se han realizado sobre polvo desorientado y sobre agregados orientados de muestras saturadas previamente con  $Mg^{2+}$  o  $K^+$ ; se han sometido a diferentes tratamientos (Brown, 1961).
- Espectroscopía de absorción infrarroja (Hidalgo y Serratos, 1955); utilizando como célula de absorción comprimidos de BrK (Stubican, Roy, 1961; Farmer, Russell, 1964).

## VII. BIBLIOGRAFIA

- ABDEL MONEN, A., WATKINS, S.D., GAST, P.W. (1972): «Potassium-Argon ages, volcanic stratigraphy and geomagnetic polarity history of Canary Islands: Tenerife, La Palma and Hierro». Amer. Journ. of Soil Sci., vol. 272, págs. 805-825.
- ALEIXANDRE, T., PINILLA, A. (1968): «Algunas modificaciones en las técnicas aplicadas al estudio de las fracciones gruesas o arenas». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXVIII. 812-821.
- ALVAREZ GONZALEZ, C.E. (1977): «Influencia de las características de los suelos sobre la incidencia del Mal de Panamá». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Canarias), 267 págs.
- AOMINE, S., JACKSON, M.L. (1959): «Allophane determination in Ando Soil by cation exchange capacity delta value». Soil Sci. Soc. Amer. Proc., vol. 23: 210-214 p.
- ASGHAR, A.G., QAYYUM, M.A., RANA, G.M. (1957): «A method for volumetric estimation of sulphates in soils and irrigation water». Soil Sci. V, 83, pp. 239-241.
- BATES, T.F. (1960): «Rock weathering and clay formation in Hawaii». Mineral Ind. 29, 8, págs. 4-6.
- BENAYAS, J., ALONSO, J., and FERNANDEZ CALDAS, E. (1973): «Effect of the ecological environment on the micromorphology and mineralogy of Andosols (Tenerife Island)». IV Intern. Work. Meet. on Soil Microm. (G.K. Rutherford Ed.), Canadá, págs. 306-319.
- BENAYAS, J., FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1978): «Estudio micromorfológico de Vitrandepts (I. Tenerife)». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVII, nº 3-4, p. 295-303.
- BENAYAS, J., FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L., RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A. (1980): «Características micromorfológicas de una climatosecuencia de suelos de la vertiente meridional de la isla de Tenerife». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIX, nº 1-2, 51-74.
- BESOAIN, E. (1968): «Imogolite in volcanic soils of Chile». Geoderma, 2, 69: 151-169.

- BOCQUIER, G. (1973): «*Genese et évolution de deux tóposéquences des sols tropicaux du Tchad. Interprétation biogédynamique*». These, Mémoire ORSTOM, nº 62, 350 p.
- BONFILS, P., DUPUIS, M. (1969): «*Etude de la Dispersion des colloïdes du sol a l'aide de vibrations ultra-sonores*». Bulletin de l'Association Française pour l'étude du sol, nº 1.
- BORGES ALVAREZ, A.M. (1976): «*Estudio de los Eumycetes en los Andosoles de Tenerife*». Memoria de Licenciatura. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Canarias), 125 págs.
- BORGES PEREZ, A., TRUJILLO, I., PEREZ MENDEZ, J.A., GUTIERREZ, F. (1980): «*Estudio de la absorción de Cu y Zn en andosoles de las Islas Canarias II*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIX, nº 5-6, p. 945-956.
- BORGES PEREZ, A., TRUJILLO, I., GUTIERREZ, F., PEREZ MENDEZ, J.A. (1980): «*Estudio de la distribución y dinámica de los micronutrientes Cu y Zn en andosoles de las I. Canarias III*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIX, nº 5-6, p. 957-964.
- BORGES PEREZ, A. (1971): «*Estudio de las reservas de potasio asimilable en suelos de Tenerife y La Palma (Islas Canarias)*». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Canarias), 162 págs.
- BOTELHO DA COSTA, J. (1959): «*Ferralitic, tropical fersiallitic and tropical semiarid soil*». C.R. III Conf. Interfr. Sols, Dalaba, págs. 371-419.
- BOULAIN, J. (1957): «*Etude des sols de la Plaine du Chélif*». Ministère de l'Algérie. Serv. des Etudes Scientifiques. Travaux des sections d'Agrologie et de Pédologie. Etude Régionale nº 7.
- BRAVO, T. (1964): «*Estudio geológico y petrográfico de la isla de La Gomera*». Estudios Geológicos. Vol. XX, p. 1-56.
- BRAVO RODRIGUEZ, J.J. (1974): «*Estudios agrobiológicos de la isla de La Palma (Islas Canarias)*». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Canarias), 277 págs.
- BRAVO RODRIGUEZ, J.J., FERNANDEZ CALDAS, E., MONTURIOL, F. (1976): «*Distribución y características de los suelos canarios IV. Isla de la Palma*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXV, nº 5-6.
- BREWER, R. (1964): «*Fabric and Mineral Analysis of soils*». John Wiley, New York, 470 p.
- BRUCKERT, S., HETIER, J.M., GUTIERREZ JEREZ, F. (1974): «*Dynamique de l'humification des Andosols du Massif Central Français et des Iles Canaries: caracterisation physico-chimique des complexes organo-minéraux*». Sc. du Sol, nº 4, págs. 225-245.
- BROWN, G. (1961): «*The X-Ray identification and crystal structures of clay minerals*». Mineralogical Society (Clay Minerals Group), London.
- CABEZAS VIAÑO, O. (1975): «*Estudio mineralógico de Andosoles de las Islas Canarias*». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Canarias), 283 págs.
- CABEZAS VIAÑO, O., HERNANDEZ MORENO, J.M., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1977): «*Características mineralógicas de la fracción arena en una secuencia cronológica de Andepts de las Islas Canarias*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVI, 7-8, págs 787-803.

- CABEZAS VIAÑO, O., FERNANDEZ CALDAS, E., HERNANDEZ MORENO, J.M., RODRIGUEZ PASCUAL, C. (1977): «*Características mineralógicas de la fracción inferior a  $2\mu$  en Dystrandepts*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVI, nº 10-11, págs. 804-824.
- CABEZAS VIAÑO, O., FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L., HERNANDEZ MORENO, J.M. (1979): «*Disolución diferencial de Si, Al y Fe. I. Secuencia climática: Andosol, Suelos Pardos*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVIII, nº 9-10, p. 1573-1589.
- CEBALLOS, L., ORTUÑO, F. (1976): «*Vegetación y flora forestal de las Canarias Occidentales*». Excmo. Cabildo Insular, Santa Cruz de Tenerife, 433 págs.
- COLMET-DAAGE, F., LAGACHE, P. (1965): «*Caractéristiques de quelques groupes de sols dérivés de roches volcaniques aux Antilles Françaises*». Cah. ORSTOM, sér. Pedol. vol. III, nº 2: 91-121.
- COLMET-DAAGE, F. et al. (1970): «*Caractéristiques de quelques sols dérivés de cendres volcaniques de la Côte Pacifique du Nicaragua*». Cah. ORSTOM, sér. Pédo., vol. III, nº 2: 113-172.
- COLMET-DAAGE, F., GAUTHEYROU, J.M., KIMPE, C. (1972): «*Contribution à l'étude des propriétés et de la nature de sols à allophane des Antilles et d'Amérique Latine*». 2º Congreso sobre los suelos formados sobre cenizas volcánicas de America Latina. Pasto en Colombia, Junio, 1972.
- COLMET-DAAGE, F., et al. (1973): «*Etude des sols à allophane dérivés de matériaux volcaniques des Antilles et d'Amérique Latine à l'aide de techniques de dissolution différentielle*». Cah. ORSTOM, sér. Pedol., vol XI, nº 2: 92-120.
- C.P.C.S. (1967): «*Classification des sols*». Note ENSA Grignon, multigr. 87 p. inédit.
- CHATELIN, Y. (1974): «*Eléments d'épistomologie pédologique*». Thèse. Memoire ORSTOM, Paris.
- CHATELIN, Y. (1974): «*Les sols ferrallitiques. III Alteration*». Document. techniq. nº 24, ORSTOM, Paris, 144 págs.
- DELIBRAS, G. (1975): «*Datation par la méthode du  $^{14}\text{C}$  de charbons enterrés sous des cendres volcaniques altérées en sol brun andique, à Tenerife (Iles Canaries)*». Centre de Faibles Radioactivités, C.N.R.S., Gif-sur-Yvette (rapport inédit).
- DELIBRAS, G. (1976): «*Datations de croûtes calcaires de sols de Tenerife*». C.N.R.S., Laboratoire de Faibles Radioactivités, Gif-sur-Yvette (rapport inédit).
- DELVIGNE, J. et al. (1975): «*Report of the first meeting of the subgroup on rock and mineral alteration*». Gent, 23 págs.
- DIAZ-DOMINGUEZ, A. (1975): «*Estudio de la Fertilidad de los suelos y nutrición mineral en los cultivos de plátanos de Tenerife*». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Canarias). 324 págs.
- DIAZ DOMINGUEZ, A., FERNANDEZ CALDAS, E., GARCIA GARCIA, V., ROBLES, J. (1976): «*Los oligoelementos Fe, Mn, Zn y Cu en el plátano; factores que influyen en sus niveles foliares*». *Agrochimica*, vol XX, nº 6, Italia.
- DUCHAUFOR, Ph. (1968): «*L'évolution des sols. Essai sur la dynamique des profils*». Masson et Cie. Paris.
- ESWARAN, H., BAÑOS, C. (1976): «*Related distribution patterns in soils and their significance*». Anales de Edaf. y Agrob., 35: 33-45.
- FARMER, V.C., RUSSELL, J.D. (1964): «*The infrared spectra of layer silicates*». *Spectrochim. Acta* 20: 1149-1173.

- FEDOROFF, N., RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A. (1977): «*Micromorphologie des sols rouges de Tenerife et de La Palma (Iles Canaries). Comparaison avec les sols rouges méditerranéens*». V Intern. Woorck. Meet. on Soil Micromorph. Granada. España.
- FEDOROFF, N., BULLOCK, P. (1977): «*Principes et méthodologie de la description microscopique des sols*». V Intern. Work. on Soil Micromorph. Granada. España.
- FERNANDEZ CALDAS, E., FERNANDEZ TRUJILLO, F. (1962): «*Plátanos, fertilización y técnicas de cultivo en Canarias*». Anales de la primera Reunión Plenaria del Instituto Nacional de Edaf. y Agrob. Salamanca. Tomo V. 354-372.
- FERNANDEZ CALDAS, E., PEREZ GARCIA, V. (1967): «*Las aguas subterráneas de Tenerife. I. Origen y características químicas*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXVI, nº 1-4.
- FERNANDEZ CALDAS, E., BORGES PEREZ, A., BRAVO RODRIGUEZ, J.J. (1970): «*Estudio sobre el potasio asimilable en suelos de Tenerife y La Palma (I. Canarias)*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXIX, nº 5-6.
- FERNANDEZ CALDAS, E., BRAVO RODRIGUEZ, J.J. (1970): «*Las aguas subterráneas de la Isla de La Palma. Características químicas y geoquímicas*». Anales de Edaf. y Agrob. XXIX, nº 5-6.
- FERNANDEZ CALDAS, E., GARCIA, V. (1970): «*Contribution à l'étude de la fertilité des sols de bananeraies de l' ile de Tenerife*». Fruits, 25, nº 3, 175-185.
- FERNANDEZ CALDAS, E., PEREZ GARCIA, V., BORGES PEREZ, A. (1970): «*Las aguas subterráneas de Tenerife. II. Estudio sobre el empleo de las aguas bicarbonatadas*». Anales de Edaf. y Agrob., XXIX, nº 3-4, 193-207.
- FERNANDEZ CALDAS, E., BORGES PEREZ, A. (1971): «*Reservas de potasio asimilable en la Isla de La Palma. Influencia del material de origen*». Anales de Edaf. y Agrob. XXX, 1-2.
- FERNANDEZ CALDAS, E., BORGES PEREZ, A. (1971): «*Reservas de potasio asimilable en la Isla de Tenerife*». Anales de Edaf. y Agrob. XXX, 1-2.
- FERNANDEZ CALDAS, E., BRAVO RODRIGUEZ, J.J., GARCIA, V. (1971): «*Contribución al estudio de la fertilidad de los suelos de plátanos de la Isla de La Palma (I. Canarias)*». Anales de Edaf. y Agrob., XXX, 9-10, 937-949.
- FERNANDEZ CALDAS, E., GARCIA, V., GUTIERREZ JEREZ, F., BRAVO RODRIGUEZ, J.J. (1971): «*Etude comparative de la fertilité des sols de bananeraies aux iles Canaries*». Fruits, vol. 26, nº 9.
- FERNANDEZ CALDAS, E. GUERRA DELGADO, A. (1971): «*Condiciones de formación y evolución de los suelos de Tenerife*». Anales de Edaf. y Agrob., XXX, 5-6.
- FERNANDEZ CALDAS, E., GUTIERREZ JEREZ, F. (1971): «*La materia orgánica en andosoles de diferentes regiones climáticas de Tenerife*». Anales de Edaf. y Agrob., XXX, nº 7-8.
- FERNANDEZ CALDAS, E., GUTIERREZ JEREZ, F. (1971): «*Estudio de la fracción orgánica en andosoles de la zona húmeda de Tenerife*». Anales de Edaf. y Agrob., XXX, nº 7-8.
- FERNANDEZ CALDAS, E., PEREZ GARCIA, V., BORGES, A. (1971): «*Tolerance du bananier aux eaux bicarbonatées (eaux souterraines de Tenerife)*». Fruits, vol. 25, nº 1.
- FERNANDEZ CALDAS, E., GARCIA, V. (1972): «*Etudes sur la nutrition du bananier aux iles Canaries. I. Effect de la nutrition azotée sur la circonference du pseudo-tronc*». Fruits, 27, nº 7-8.

FERNANDEZ CÁLDAS, E., PEREZ GARCIA, V. (1972): «Las aguas subterráneas de la Isla de La Palma. II. Estudio comparativo y clasificaciones». Anales de Edaf. y Agrob., XXXI, nº 1-2.

FERNANDEZ CALDAS, BORGES PEREZ, A. (1973): «Interrelations entre divers indices du potassium assimilable dans les sols de bananeraies». Fruits, 28, nº 3.

FERNANDEZ CALDAS, E., GARCIA, V., PEREZ GARCIA, V. (1973): «Etude de l'état nutritionnel du bananier aux iles Canaries. II. Interactions entre cations». Fruits, 28, nº 5.

FERNANDEZ CALDAS, E., PEREZ GARCIA, V. (1973): «Las aguas subterráneas de la Isla del Hierro». Anales de Edaf. y Agrob., XXXII, nº 1-2.

FERNANDEZ CALDAS, E., PEREZ GARCIA, V. (1973): «Las aguas subterráneas de la Isla de La Gomera». Anales de Edaf. y Agrob., XXXII, nº 3-4.

FERNANDEZ CALDAS, E., PEREZ GARCIA, V., GARCIA, V. (1973): «Estudio de los métodos empleados en la caracterización de los suelos salinos y alcalinos de las Islas Canarias». Anales de Edaf. y Agrob., XXXII, nº 5-6.

FERNANDEZ CALDAS, E., SCHWAIGHOFER, B. (1974): «Minera lumwandlung im Zuge der Genese der Kanarischen Andosol (Tenerife)». Aus der Sitzungsberichten der Osterr Akademie der Wissenschaften, Mathem naturw.

FERNANDEZ CALDAS, E., PEREZ GARCIA, V. (1974): «Características químicas de las aguas subterráneas de las Islas Canarias Occidentales (Tenerife, La Palma, Gomera y Hierro)». Aula de Cultura de Tenerife. 181 págs.

FERNANDEZ CALDAS, E., MONTURIOL, F., GUTIERREZ JEREZ, F. (1974): «Distribución y caracterización de los suelos canarios. II. Isla del Hierro». Anales de Edaf. y Agrob., XXX, 5-6.

FERNANDEZ CALDAS, E., MONTURIOL, F., GUTIERREZ JEREZ, F. (1974): «Distribución y caracterización de los suelos canarios. III. Isla de La Gomera». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIII, nº 7-8.

FERNANDEZ CALDAS, E., BENAYAS, J., ALONSO, J. (1975): «Influencia del medio ecológico en la micromorfología de andosoles (I. Tenerife) con especial referencia a la materia orgánica y fracción arcilla». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, nº 1-2.

FERNANDEZ CALDAS, E., BORGES PEREZ, A., HERNANDEZ MORENO, J.M. (1975): «Relaciones Q/I de potasio en andosoles de la Isla de Tenerife. I.». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, nº 11-12.

FERNANDEZ CALDAS, E., GUTIERREZ JEREZ, F., PEREZ MENDEZ, J.A. (1975): «Fósforo orgánico en suelos naturales de Tenerife». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, nº 11-12.

FERNANDEZ CALDAS, E., HERNANDEZ MORENO, J.M., BORGES PEREZ, A. (1975): «Relaciones Q/I de potasio en vertisoles y suelos pardos de la isla de Tenerife. II». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, nº 11-12.

FERNANDEZ CALDAS, E., HERNANDEZ MORENO, J.M., BORGES PEREZ, A. (1975): «Relaciones Q/I de potasio en diferentes tipos de suelos de la isla de Tenerife». Revista de la Potasa, Sec. 4, 58 a, 4.

FERNANDEZ CALDAS, E., QUANTIN, P., RODRIGUEZ PASCUAL, C., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1975): «Andosoles canarios. X. Vitrandepts. Características mineralógicas, interpretación y clasificación». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, nº 5-6.

- FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1975): «*Andosoles de las Islas Canarias*». Serv. de Publ. de la Caja General de Ahorros de Santa Cruz de Tenerife, 207 p.
- FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1975): «*Andosoles canarios. I. Características generales de estos suelos*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, nº 3-4, p. 213.
- FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1975): «*Andosoles canarios. III. Intergrados andosol-tierra parda oligotrófica. Características físicas*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, nº 3-4, p.253.
- FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L., HERNANDEZ MORENO, J.M. (1975): «*Andosoles canarios. VII. Andosoles poco diferenciados vítricos, fuertemente desaturados. Características morfológicas y químicas*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, nº 5-6.
- FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1975): «*Andosoles canarios. IX. Vitrandepts. Características morfológicas y químicas*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, nº 5-6, p. 383.
- FERNANDEZ CALDAS, E., BORGES PEREZ, A., HERNANDEZ MORENO, J.M. (1976): «*Relaciones Q/I de potasio en suelos de la Isla de Tenerife. IV.*». Anales de Edafología y Agrob., XXXV, nº 1-2.
- FERNANDEZ CALDAS, E., DIAZ DOMINGUEZ, A., ROBLES, J., GARCIA, V. (1976): «*Factores que afectan a la asimilabilidad del potasio en los suelos de plátanos de Tenerife*». Revista de la Potasa, Sec. 5, 12.
- FERNANDEZ CALDAS, E., HERNANDEZ MORENO, J.M., BORGES PEREZ, A. (1976): «*Capacidad tampón de potasio en diferentes tipos de suelos de la Isla de Tenerife. V.*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXV, nº 1-2.
- FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L., HERNANDEZ MORENO, J.M. CABEZAS VIAÑO, O. (1976): «*Materiales amorfos ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  y  $Fe_2O_3$ ) en intergrados andosol-tierra parda oligotrófica de las islas de Tenerife y Gomera*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXV, nº 3-4.
- FERNANDEZ CALDAS, E., CABEZAS VIAÑO, O., TEJEDOR SALGUERO, M.L., RODRIGUEZ PASCUAL, C (1977): «*Características mineralógicas de la fracción inferior a  $2\mu$  en Vitrandepts evolucionados. III*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXVI, nº 5-6.
- FERNANDEZ CALDAS, E., CABEZAS VIAÑO, O., TEJEDOR SALGUERO, M.L., HERNANDEZ MORENO, J.M. (1977): «*I. Minerales primarios en intergrados andosol-tierra parda oligotrófica y productos de alteración*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXVI, nº 7-8.
- FERNANDEZ CALDAS, E., PEREZ MENDEZ, J.A., GUTIERREZ JEREZ, F., BORGES PEREZ, A. (1977): «*Estudio de formas y cantidades de fósforo en suelos naturales de las islas Canarias*». Revista Agrochimica, Vol. XXI, nº 5. Italia.
- FERNANDEZ CALDAS, E., PEREZ MENDEZ, J.A., GUTIERREZ JEREZ, F., BORGES PEREZ, A. (1979): «*Contenido en fósforo total y su relación con otros parámetros en una cronosecuencia de Andepts de las Islas Canarias*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVIII, nº 5-6.
- FERNANDEZ CALDAS, E., RODRIGUEZ HERNANDEZ, C.M. (1977): «*Vertisoles formados sobre materiales volcánicos. I. Características generales de estos suelos*». Anuario del Centro de Edafología y Biología Aplicada de Salamanca. C.S.I.C.

- FERNANDEZ CALDAS, E., QUANTIN, P., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1978): «*Séquences climatiques des sols volcaniques aux Illes Canaries*». Presentado al 11 Congreso Internacional de la Ciencia del Suelo, Edmonton, Canadá, Junio, 1978.
- FERNANDEZ CALDAS, E. TEJEDOR SALGUERO, M.L., RODRIGUEZ ROFRIGUEZ, A. (1978): «*Suelos de las Islas Canarias. Ecología, distribución geográfica y características*». Anuario de Estudios Atlánticos, nº 24.
- FERNANDEZ CALDAS, E., RODRIGUEZ HERNANDEZ, C.M. (1978): «*Suelos formados sobre materiales volcánicos (Islas Canarias). Aridisoles: Natrargids, Calciorthid-s.l.*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXVII, nº 7-8.
- FERNANDEZ CALDAS, E., RODRIGUEZ HERNANDEZ, C.M. (1978): «*Vertisoles formados sobre materiales volcánicos (Islas Canarias). Typic Chromusterts. II*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXVII, nº 7-8.
- FERNANDEZ CALDAS, E., RODRIGUEZ PASCUAL, C., RODRIGUEZ HERNANDEZ, C.M. (1979): «*Vertisoles formados sobre materiales volcánicos (Islas Canarias). Typic Pellusterts. Características físico-químicas y mineralógicas. Interpretación y clasificación*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIX, nº 9-10.
- FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L., QUANTIN, P. (1979): «*Séquence climatique des sols anciens de la région septentrionale de Tenerife (Iles Canaries). 1<sup>o</sup> Partie: Caractéristiques morphologiques et physico-chimiques*». Cahiers ORSTOM, Sér., Pédologie vol. XVII, nº 1, p. 37-46.
- FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L., HERNANDEZ MORENO, J.M. (1979): «*Disolución diferencial de Si, Al, y Fe. II. Secuencia climática: suelos ferralíticos, suelos fersialíticos y vertisoles*». Anales de Edaf. y Agrob., T. XXXVIII, nº 9-10. p. 1591-1606.
- FERNANDEZ CALDAS, E. GONZALEZ BATISTA, A., HERNANDEZ MORENO, J.M. (1980): «*Características electroquímicas de andosoles. I. Punto cero de carga. Método Potenciométrico*». Anales de Edaf. y Agrob.. Tomo XXXIX, nº 5-6, p. 825-834.
- FERNANDEZ CALDAS, E., GONZALEZ BATISTA, A., HERNANDEZ MORENO, J.M. (1980): «*Características electroquímicas de suelos ferralíticos*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIX, nº 9-10, p. 1.485.
- FERNANDEZ CALDAS, E., GONZALEZ BATISTA, A., HERNANDEZ MORENO, J.M. (1980): «*La tipología de los suelos y sus propiedades*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIX, nº 11-12.
- FERNANDEZ FALCON, M. (1975): «*Relación entre la composición mineral y el desarrollo de los frutos de los plátanos*». Memoria de licenciatura. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias).
- FIELDS, M., PERROTT, K.M. (1966): «*The nature of allophane in soils: 3. Rapid field and laboratory test for allophane*». New. Zeal. J. Sci., 9: 623-629.
- FONT-TULLOT, I. (1956): «*El tiempo atmosférico en las Islas Canarias*». Serv. Meteor. Nac. Public. Ser. A. (Memorias), nº 26, Madrid.
- FUSTER, J.M., ARAÑA, V., BRANDLE, J.L., NAVARRO, M., ALONSO, V., APARICIO, A. (1966): «*Geología y vulcanología de las Islas Canarias*». Instituto Lucas Mallada, C.S.I.C., Madrid, 218 págs.
- GARCIA GARCIA, V., FERNANDEZ CALDAS, E., ALVAREZ GONZALEZ, C.E. (1975): «*Desequilibres potassiques-magnésiques dans les cultures de bananiers de Tenerife*». Seminario Internacional de Análisis foliar. Tenerife.

- GARCIA GARCIA, V., FERNANDEZ CALDAS, E., DIAZ DOMINGUEZ, A., ALVAREZ GONZALEZ, C.E. (1976): «Efecto de la nutrición potásica en la nutrición del plátano». Revista Agrochimica. Italia.
- GARCIA GARCIA, V., DIAZ DOMINGUEZ, A., FERNANDEZ CALDAS, E., ALVAREZ GONZALEZ, C.E. (1977): «Características químicas de los suelos de plátanos de Tenerife». Anales de Edaf. y Agrob., XXXVI, nº 9-10.
- GARCIA LOPEZ, L. (1978): «Estudio morfológico, físico-químico, mineralógico y micromorfológico de los suelos ferralíticos de las Islas Canarias». Memoria de licenciatura. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias).
- GONZALEZ BATISTA, A. (1978): «Estudio de las cargas permanentes y variables en los suelos de Tenerife». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias).
- GONZALEZ BATISTA, A., HERNANDEZ MORENO, J.M., FERNANDEZ CALDAS, E. (1980): «Características electroquímicas de andosoles. Punto cero de carga y retención iónica». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIX, nº 5-6, p. 835-843.
- GONZALEZ BATISTA, A., HERNANDEZ MORENO, J.M., FERNANDEZ CALDAS, E. (1980): «Características electroquímicas de suelos con predominio de montmorillonita». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIX, nº 9-10. p. 1.497.
- GUTIERREZ JEREZ, F., PEREZ MENDEZ, J.A., FERNANDEZ CALDAS, E., TRUJILLO, I. (1979): «Fraccionamiento de los fosfatos orgánicos en andosoles de las Islas Canarias». Anales de Edaf. y Agrob., Tomo XXXVIII, nº 7-8.
- GUTIERREZ JEREZ, F., FERNANDEZ CALDAS, E., PEREZ MENDEZ, J.A., TRUJILLO, I. (1979): «Estudio comparativo de métodos para la determinación de fósforo orgánico total en Andepts». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVIII, nº 5-6.
- GUTIERREZ JEREZ, F., PEREZ MENDEZ, J.A., FERNANDEZ CALDAS, E., BORGES PEREZ, A. (1979): «Los fosfatos inorgánicos en relación con el grado de evolución de los Andepts». Anales de Edaf. y Agrob., Tomo XXXVIII, nº 9-10.
- HAUSEN, H. (1956): «Contribution to the geology of Tenerife (Canary Island)». Tenuca, XVIII, Helsingfors.
- HENDRICKS, S.B., NELSON, R.A., ALEXANDER, L.T. (1940): «Hydratation mechanism». J. Amer. Chem. Soc., 62: 1457-1464.
- HERNANDEZ MORENO, J.M. (1974): «Estudio de las relaciones Q/I de potasio en suelos naturales de las Islas Canarias». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias)., 224 págs.
- HERNANDEZ MORENO, J.M., FERNANDEZ CALDAS, E., BORGES PEREZ, A. (1976): «Estudio de las relaciones Q/I de potasio en diferentes tipos de suelos de la isla de Tenerife». Anales de Edaf. y Agrob., Tomo XXXV, nº 1-2.
- HERNANDEZ MORENO, J.M., FERNANDEZ CALDAS, E., BORGES PEREZ, A., TRUJILLO FERNANDEZ DEL CASTILLO, I. (1976): «Parámetros Q/I de potasio en diferentes tipos de Andepts de las I. Canarias». Agrochimica, XV, nº 4-5, p. 364-372.
- HERNANDEZ MORENO, J.M., FERNANDEZ CALDAS, E., BORGES PEREZ, A. (1976): «Estudio comparativo de las relaciones Q/I de potasio en diferentes tipos de suelos de la isla de Tenerife». Anales de Edaf. y Agrob., XXXV, nº 1-2.
- HERNANDEZ MORENO, J.M., CABEZAS VIAÑO, O., FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1976): «Características de los materiales amorfos ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  y  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) en diferentes tipos de andosoles». Anales de Edaf. y Agrob., XXXV, nº 9-10.

- HERNANDEZ MORENO, J.M., FERNANDEZ CALDAS, E., GONZALEZ BATISTA, A. (1980): «*Características electroquímicas de andosoles. III. Conductimetría*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIX, nº 7-8, p. 1174-1181.
- HERNANDEZ MORENO, J.M., FERNANDEZ CALDAS, E., GONZALEZ BATISTA, A. (1980): «*Características electroquímicas de suelos ferralíticos*». Anales de Edaf. y Agrob. (en prensa).
- HETIER, J.M. (1975): «*Formation et evolution des andosols en climat temperé*». These Univ. Nancy I, 194 p. multigr.
- HIDALGO, A., SERRATOSA, J.M. (1955): «*Espectros de absorción infrarroja de minerales de la arcilla, obtenidos mediante la técnica de comprimidos BrK*». Anales de Edaf. y Agrob.: 269-292.
- HOYOS, A. (1945): «*Condiciones de formación de los suelos canarios*». Anales de Edaf. y Agrob., IV, págs. 3-65.
- HOYOS, A. (1948): «*Contribución al estudio de los suelos canarios*». Anales de Edaf. y Agrob., VII, págs. 257-271.
- HUETZ de LEMPS, A. (1969): «*Le climat des iles Canaries*». Publ. Fac. Lett-Sci, Hum., Paris-Sorbonne. Sér. Recherches, 54.
- KAMMER, F. (1972): «*Ergänzungen zu O. Eriksson Cherklist of vascular plants of the Canary Islands*». Cuad. Bot. Canar., 16: 47-49.
- KONONOVA, M.M. (1966): «*Soil Organic matter*». Pergamon Press. Oxford.
- KUBIENA, W.L. (1956): «*Materialien zur Geschichte der Bodenbildung auf den Westkanaren*». VI Congr. Int. Sci., Paris (38), págs. 241-246.
- KUNKEL, G. (1976): «*Biogeography and ecology in the Canary Islands*». Dr. W. Junk b.v. Publishers the Hague. 511 pp.
- LAMOUREUX, M. (1971): «*Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogénese fersiallitique au Liban*». These Univ. Strasbourg, 314 págs.
- LAMOUREUX, M., QUANTIN, P. (1973): «*Utilisation des courbes de vitesse de dissolution dans la méthode cinétique de Segalen*». Cahiers ORSTOM, sér., Pédologie vol.XI, 1: 3-15.
- MAIGNIEN, R. (1966): «*Compte-rendu de recherches sur les laterites*». Rech. sur les Ressourc. Natur., IV, UNESCO, 155 págs.
- MARTIN, D., SIEFFERMANN, G., VALLERIE, M. (1966): «*Les sols rouges du Nord Cameroun*». Cahiers ORSTOM, sér. Pédologie, IV, 3: 3-26.
- MEHRA, O.F., JACKSON, M.L. (1960): «*Iron oxides removal from soils and clays by dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate*». Clays and Clay minerals, 7: 317-327.
- MILLOT, G., PAQUET, H., RUELLAN, A. (1969): «*Néof ormation de l'attapulgitte dans les sols à carapaces calcaires de la Basse Moulouya (Maroc Oriental)*». C.R.Ac. Sc., Paris, 268 D: 2771-2774.
- MOINEREAU, J. (1977): «*Altération des roches, formation et évolution des sols sur basalte, sous climat tempéré humide (Velay, Vivarais, Goirons)*». These Univ. Sci. et Techn. Languedoc, Montpellier, 139 p. multigr.
- PAQUET, H. (1969): «*Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées*». These Sci. Strasbourg, 348 págs.

- PEREZ GARCIA, V. (1971): «*Estudio de las características químicas de las aguas subterráneas de las Islas Canarias Occidentales*». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias), 268 págs.
- PEREZ GARCIA, V., FERNANDEZ CALDAS, E., GARCIA GARCIA, V. (1975): «*Distribución y características de los suelos salinos de la isla de Tenerife*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, 7-8.
- PEREZ MATEOS, J. (1965): «*Análisis mineralógico de arenas*». Manuales de Ciencia Actual nº i, C.S.I.C. Madrid.
- PEREZ MATEOS, J., FERNANDEZ CALDAS, E. (1972): «*Estudio de minerales primarios en suelos de Tenerife*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXI, nº 11-12.
- PEREZ MENDEZ, J.A. (1976): «*Estudio sobre el estado del fósforo en Andosoles de las Islas Canarias*». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias).
- PEREZ MENDEZ, J.M., GUTIERREZ JEREZ, F., FERNANDEZ CALDAS, E., BORGES PEREZ, A. (1979): «*Fraccionamiento de los fosfatos inorgánicos en andosoles de las Islas Canarias*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVIII, nº 7-8.
- PEREZ MENDEZ, J.A., GUTIERREZ JEREZ, F., FERNANDEZ CALDAS, E., TRUJILLO, I. (1979): «*Fósforo orgánico en andosoles y su relación con otros parámetros del suelo*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVIII, nº 7-8.
- PEREZ MENDEZ, J.A., GUTIERREZ JEREZ, F., FERNANDEZ CALDAS, E., TRUJILLO, I. (1978): «*Etude comparative de méthodes pour la détermination du phosphore total dans différents types d'andosols*». Science du Sol. Bulletin de l'A.F.E.S., nº 4.
- QUANTIN, P. (1972): «*Les andosols*». *Revue bibliographique des connaissances actuelles*. Cahiers ORSTOM, sér., Pédol. vol. X, nº 3: 273-301.
- QUANTIN, P. (1972): «*Note sur la nature et la fertilité des sols sur cendres volcaniques provenant d'éruptions récentes dans l'archipel des Nouvelles-Hébrides. 1<sup>re</sup> et 2<sup>e</sup> partie*». Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol. X, nº 2: 123-151. 3<sup>e</sup> partie Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol. X, nº 3: 207-217.
- QUANTIN, P. (1974): «*Hypothèses sur la genèse des andosols en climat tropical*». Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol. XII, nº 1: 3-12.
- QUANTIN, P., LAMOUREUX, M. (1974): «*Adaptation de la méthode cinétique de Ségalen à la détermination des constituants minéraux de sols variés*». Cahiers ORSTOM, sér., Pédol., vol. XII, nº 1: 13-46.
- QUANTIN, P. (1975): «*Problème de la détermination des substances minérales amorphes*». Comm. Journées Pédologiques ORSTOM, septembre 1975; résumé multigr. Centre ORSTOM, Bondy, 7 p.
- QUANTIN, P. (1975): «*Observations sur les sols de Tenerife, Lanzarote et La Palma*». Doc. Roneó, ORSTOM, 56 págs.
- QUANTIN, P., FERNANDEZ CALDAS, E., GUTIERREZ JEREZ, F., TEJEDOR SALGUERO, M.L., DELIBRAS, G. (1975): «*Problème du rajeunissement des sols issus de l'altération de roches volcaniques, par des éruptions récentes de cendres, aux Nouvelles-Hébrides et aux îles Canaries*». Bull. Ass. Géol. France. 426, p. 211-217.
- QUANTIN, P., RODRIGUEZ PASCUAL, C., FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1975): «*Andosoles Canarios. VIII. Andosoles poco diferenciados, vítricos, fuertemente desaturados. Características mineralógicas. Interpretación y clasificación*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, nº 5-6, p. 371-381.

- QUANTIN, P. (1976): «*Sols des Nouvelles Hébrides*». ORSTOM, Paris.
- QUANTIN, P., RODRIGUEZ HERNANDEZ, C.M., FERNANDEZ CALDAS, E., RODRIGUEZ PASCUAL, C. (1976): «*Signification pedogenética de l'attapulgitite d'un sol à différenciation saline de Tenerife (Iles Canaries), provenant d'altérations de basalte*». 4<sup>e</sup> Réunion Annuelle des Sciences de la Terre. Paris 13-16.
- QUANTIN, P., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1976): «*Séquence chronologique et climatique de sols sur roches volcaniques aux îles Canaries*». Comm. Ass. Fr. Et. Sols, el 2-XII-76.
- QUANTIN, P. TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1978): «*Observations sur la présence de sol ferrallitiques dérivés de matériaux volcaniques aux îles Canaries*». Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol. XVI, n° 2: 155-175.
- QUANTIN, P., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1977): «*Climatoséquence de la région méridionale de l'île de Tenerife (Iles Canaries). 1<sup>ère</sup> partie: écologie, morphologie, caractéristiques physico-chimiques*». Cahiers ORSTOM, sér., Pédol., vol. XV, n° 4: 391-407.
- QUANTIN, P., FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1978): «*Séquence climatique des sols récents de la région septentrionale de Tenerife (Iles Canaries). 2<sup>e</sup> partie: caractéristiques minéralogiques. Interprétation et classification*». Cahiers ORSTOM, sér. Pédol. vol. XVI, n° 4, p. 397-412.
- QUANTIN, P., FERNANDEZ CALDAS, E., TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1978): «*Relation entre la repartition des sols volcaniques et l'évolution climatique récentes a Tenerife*». Presentado al 4<sup>o</sup> Coloquio de Geomorfología volcánica. Clermont-Ferrand.
- RICHARDS, L.A. (1954): «*Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*». Agricultural Handbook, n° 60, p. 100 USDA.
- RODRIGUEZ HERNANDEZ, C.M. (1976): «*Estudio de los vertisoles y suelos con carácter vértico de las Islas Canarias Occidentales (Tenerife, La Palma, La Gomera)*». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias).
- RODRIGUEZ HERNANDEZ, C.M., RODRIGUEZ PASCUAL, C. FERNANDEZ CALDAS, E. (1979): «*Aridisoles formados sobre materiales volcánicos (Islas Canarias). Características morfológicas, físico-químicas, mineralógicas. Interpretación y clasificación*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXIX, n° 9-10.
- RODRIGUEZ HERNANDEZ, C.M., FERNANDEZ CALDAS, FEDOROFF, N., QUANTIN, P. (1979): «*Les vertisols des îles Canaries Occidentales. Etude physico-chimique, mineralogique et micromorphologique*». Pedologie, XXIX, 1, p- 71-197.
- RODRIGUEZ PASCUAL, C., QUANTIN, P., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1975): «*Andosoles Canarios. IV. Intergrados andosol-tierra parda oligotrófica. Características mineralógicas. Interpretación y clasificación*». Anales de Edaf. y Agrob., XXIV, n° 3-4, p. 263-279.
- RODRIGUEZ PASCUAL, C., CABEZAS VIAÑO, O., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1977): «*Características mineralógicas de la fracción inferior a 2  $\mu$  en intergrados andosol-tierra parda oligotrófica*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXV, n° 11-12, p. 1093-1113.
- RODRIGUEZ PASCUAL, C., FERNANDEZ CALDAS, E., RODRIGUEZ HERNANDEZ, C.M. (1979): «*Vertisoles formados sobre materiales volcánicos. Typic Chromusters. Mineralogía de arcillas. Interpretación y clasificación*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVIII, n° 3-4.

- RODRIGUEZ PASCUAL, C., GALVAN, J., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1978): «*Estudio mineralógico de las arcillas de andepts, en una secuencia cronológica, mediante microscopía electrónica*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXVII, nº 11-12, p. 989-1002.
- RODRIGUEZ PASCUAL, C., FERNANDEZ CALDAS, E., RODRIGUEZ HERNANDEZ, C.M. HERNANDEZ MORENO, J.M. (1978): «*Fibrous clays and montmorillonite-type clays in vertisols and vertic soils of the Canary Islands (Spain)*». 6th Intern. Clay Conference, Oxford.
- RODRIGUEZ PASCUAL, C., FERNANDEZ CALDAS, E., RODRIGUEZ HERNANDEZ, C.M. (1980): «*Suelos formados sobre materiales volcánicos (I. Canarias). Intergrados fersialíticos-vertico. Características físico-químicas y mineralógicas. Interpretación y clasificación*». Anales de Edaf. y Agrob., Tomo XXXIX, nº 3-4.
- RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A. (1977): «*Contribución al estudio de los suelos fersialíticos de las Islas Canarias Occidentales (Tenerife y La Palma)*». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias).
- RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1979): «*Características generales de los suelos fersialíticos de las Islas Canarias*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXVIII, nº 7-8, p. 1021-1137.
- RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1979): «*Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas. I. Características morfológicas y físico-químicas*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVIII, nº 9-10, p. 1607-1624.
- RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1979): «*Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas. II. Características mineralógicas*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXVIII, nº 9-10, p. 1625-1639.
- RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A., FEDOROFF, N., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1980): «*Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas. III. Características micromorfológicas. Interpretación y clasificación*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIX, nº 1-2. p. 37-49.
- RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A., QUANTIN, P., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1979): «*Suelos fersialíticos sobre lapillis basálticos. I) Características morfológicas, físico-químicas y mineralógicas*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVIII, nº 9-10.
- RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1979): «*Suelos fersialíticos sobre lapillis basálticos. II) Características micromorfológicas. Interpretación y clasificación*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVIII, nº 11-12, p. 945-950.
- RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1980): «*Suelos fersialíticos sobre materiales volcánicos. Ultisoles*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIX, nº 3-4, p.391-402.
- RODRIGUEZ RODRIGUEZ, A., FEDOROFF, N., TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1980): «*Observaciones preliminares sobre la alteración en los suelos fersialíticos sobre materiales volcánicos (Islas Canarias)*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIX, nº 11-12. p. 1.923-40.
- RODRIGUEZ ROMERO, M.J. (1976): «*Microflora fúngica en Andosoles de Tenerife*». Memoria de Licenciatura. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias). 120 pág.

- RUELLAN, A. (1971): «*Contribution à la connaissance des sols des régions méditerranéens: les sols à profil calcaire différencié des plaines de la Basse Moulouya (Maroc Oriental)*». Mém. ORSTOM, nº 54, 302 págs.
- SANCHEZ CALVO, M.C. (1958): «*El braulehm y las tendencias de su alteración en las Canarias Occidentales*». Anales de Edaf. y Agrob., XVII, págs. 407-437.
- SANCHEZ CALVO, M.C. (1961): «*Alofana y otros coloides en las arcillas de braulehm y sus alteraciones en las Canarias Occidentales*». Anales de Edaf. y Agrob., XX, págs. 189-208.
- SANCHEZ DIAZ, J. (1975): «*Características y distribución de los suelos en la Isla de Gran Canaria*». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias), 396 págs.
- SANCHEZ DIAZ, J., BENAYAS, J., GUERRA DELGADO, A. (1977).- «*Morphological and micromorphological study of the argillic horizons in the arid and subhumid areas of Gran Canaria*» V Intern. Work. Meet. on Soil Micromorph. Granada
- SANCHEZ DIAZ, J., GUERRA DELGADO, A., FERNANDEZ CALDAS, E. (1978): «*El orden aridisol en la Isla de Gran Canaria*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVII, nº 3-4, p. 231-249.
- SANCHEZ DIAZ, J., GUERRA DELGADO, A., FERNANDEZ CALDAS, E. (1978): «*El orden vertisol en la Isla de Gran Canaria*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVII, nº 3-4, p. 375.
- SANCHEZ DIAZ, J., GUERRA DELGADO, A., FERNANDEZ CALDAS, E. (1979): «*El orden alfisol en la Isla de Gran Canaria*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVIII, nº 11-12, p. 1887-1905.
- SANCHEZ DIAZ, J., GUERRA DELGADO, A., FERNANDEZ CALDAS, E. (1978).- «*El suborden Andeptis en la Isla de Gran Canaria*». Anales de Edaf. y Agrob. T. XXXVII, nº 3-4. p. 387
- SANCHEZ DIAZ, J., GUERRA DELGADO, A., FERNANDEZ CALDAS, E. (1979).- «*Capacidad de uso de los suelos en la Isla de Gran Canaria*». Anales de Edaf. y Agrob. T. XXXVIII, nº 7-8
- SANTANA PEREZ, C. (1979).- «*Enfermedades fúngicas de las cucurbitáceas en Canarias*». Memoria de Licenciatura. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna.
- SEGALEN, P. (1964).- «*Le fer dans les sols*». Init. Dòc. Tech. ORSTOM, 4, 150 págs.
- SEGALEN, P. (1968).- «*Note sur une méthode de détermination des produits minéraux amorphes dans certains sols a hydroxydes tropicaux*». Cahiers ORSTOM, sér. Pédol. vol., VI, nº 1:105-125.
- SEGALEN, P., PARROT, J.F., ICHTERTZ, M.N., VERDONI, P. (1972).- «*Effet de méthodes d'extraction cinétique utilisées pour la détermination des produits ferrugineux sur quelques minéraux purs*». Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol. X, nº 3: 251-271.
- SHERMAN, G.D., MATSUSAKA, Y., IKAWA, H., UEHARA, G. (1964).- «*The role of the amorphous fraction in the properties on the tropical soils*». Agrachimica, 8, nº 2: 148-262
- SIEFFERMANN, G. (1973): «*Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun*», These. Fac. Sc. Univ. Strasbourg. Mém. ORSTOM, nº 66, 183 págs.
- STUBICAN, V., ROY, R. (1961): «*Isomorphous substitution and infrared spectrometry of the layer lattice silicates*». Am. Mineral, 46, 32-51.

- TAN, K.H. (1966): «*On the pedogenetic role of organic matter in volcanic ash soils under tropical conditions*». Soil Sc. Pl. Nut. Jap., 12, nº 2: 80-84.
- TEJEDOR SALGUERO, M.L. (1974): «*Estudio de los andosoles de las Islas Canarias Occidentales*». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias).
- TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1975): «*Andosoles canarios. II. Intergrados andosol-tierra parda oligotrófica. Características morfológicas y químicas*». Anales de Edaf. y Agrob., Tomo XXXIV, nº 3-4, p. 237-252.
- TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1975): «*Andosoles canarios. V. Dystrandeps. Características morfológicas y químicas*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIV, nº 5-6, p. 335-346.
- TEJEDOR SALGUERO, M.L., QUANTIN, P., RODRIGUEZ PASCUAL, C., FERNANDEZ CALDAS, E. (1975): «*Andosoles canarios. VI. Dystrandeps. Características mineralógicas. Interpretación y clasificación*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIV, nº 5-6, p. 347-357.
- TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E. (1975): «*Andosoles canarios. XI. Características físicas de diferentes tipos de andosoles*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXIV, nº 5-6, p. 407-422.
- TEJEDOR SALGUERO, M.L., BENAYAS, J., FERNANDEZ CALDAS, E. (1975): «*Estudio físico-químico y micromorfológico de intergrados andosol-tierra parda oligotrófica en un perfil complejo*». Anales de Edaf. y Agrob., XXXIV, nº 9-10, p. 813-827.
- TEJEDOR SALGUERO, M.L., HERNANDEZ MORENO, J.M., FERNANDEZ CALDAS, E. (1976): «*Materiales amorfos de dystrandeps y vitrandeps evolucionados*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXV., nº 9-10, p. 877-887.
- TEJEDOR SALGUERO, M.L., BENAYAS, J., FERNANDEZ CALDAS, E. (1977): «*Physicochemical and micromorphological study of climatic and chronologic sequences of soils in Tenerife (Canary Islands)*». V. Int. Work. Meet. on Soil Micromorph. Granada.
- TEJEDOR SALGUERO, M.L., QUANTIN, P., FERNANDEZ CALDAS, E. (1978): «*Climatoséquence de la région méridionale de l'île de Tenerife (Iles Canaries). 2<sup>ème</sup> partie: Caractéristiques mineralogiques; interprétation et classification*». Cahiers ORSTOM, sér. Pédol., vol. XVI, nº 1: 83-106.
- TEJEDOR SALGUERO, M.L., FERNANDEZ CALDAS, E., QUANTIN, P. (1978): «*Séquence climatique des sols récents de la région septentrionale de Tenerife (Iles Canaries). 1<sup>re</sup> partie: Ecologie, morphologie, caractéristiques physico-chimiques*». Cahiers ORSTOM, sér. Pédol. vol. XVI, nº 3.
- TEJEDOR SALGUERO, M.L., QUANTIN, P., FERNANDEZ CALDAS, E. (1979): «*Séquence climatique des sols anciens de la région septentrionale de Tenerife (Iles Canaries). 2<sup>ème</sup> partie: «Caractéristiques minéralogiques et micromorphologiques*». Cahiers ORSTOM, sér., Pédol. vol. XVII, nº 2, p. 119-127.
- TEJEDOR SALGUERO, M.L., QUANTIN, P., FERNANDEZ CALDAS, E. (1979): «*Séquence climatique des sols anciens de la région septentrionale de Tenerife (Iles Canaries). 3<sup>ème</sup> partie: Typologie, pédogenese et classification*». Cahiers ORSTOM, sér., Pédol. vol XVII, nº 3.
- TRUJILLO JACINTO, I. (1977): «*Estudio de los micronutrientes Cu, Zn, y Mn en suelos de Tenerife*». Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Islas Canarias).

U.S.D.A. (1975): «*Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for marking and interpreting soils surveys*». 754 págs.

VIVANCOS GALLEGO, G., BORGES ALVAREZ, A.M. (1979): «*Estudio de la distribución vertical de Eumicetes en los andosoles de Tenerife: Perfil Izaña*». Anales de Edaf. y Agrob. Tomo XXXVIII, nº 1-2: 147-158.

YOSHINAGA, N., AOMINE, S. (1962): «*Allophane in some Ando Soils*». Soil Sci. Pl. Nut. Japan 8, nº 2: 6-13.

YOSHINAGA, N., AOMINE, S. (1962): «*Imogolite in some Ando Soils*». Soil Sci. Nut. Japan 8, nº 3: 114-121.



**SUELOS DE REGIONES VOLCÁNICAS  
TENERIFE  
ISLAS CANARIAS**

**ANEXO**

**Leyenda y mapa de suelos de  
Tenerife**

**Escala 1 : 100.000**



## **Observaciones sobre la Clasificación y Distribución de las Unidades Cartográficas**

La clasificación y distribución de los suelos de la isla de Tenerife plantea algunos problemas dada la gran variedad de microclimas, no siempre bien definidos y de materiales de origen de diferentes edades. Hay que añadir igualmente los recubrimientos por materiales volcánicos recientes que dan lugar generalmente a suelos polifásicos, que según los criterios a seguir pueden ser clasificados de diferentes maneras.

Aunque en el texto se clasifican los suelos por el sistema francés y Taxonomía americana, en el mapa hemos utilizado exclusivamente la clasificación americana (Soil Taxonomy).

Dada la gran diversidad y complejidad de los suelos, no ha sido siempre posible dibujar separadamente cada unidad de clasificación; en consecuencia, muchas veces, ha sido necesario agrupar varias unidades de suelos sin que existan entre ellas verdaderas relaciones genéticas.

En el texto hemos hecho referencia a los prototipos de cada una de las principales unidades de suelos de la isla. En este anexo nos vamos a referir a los regímenes climáticos en Tenerife como base para un estudio de la clasificación de los suelos, considerando igualmente la distribución y agrupamiento de las diferentes unidades.

## **Observaciones sobre la aplicación de los regímenes climáticos de la Soil Taxonomy en Tenerife.**

La determinación de los regímenes hídricos según la Soil Taxonomy es con frecuencia delicada si no se disponen de suficientes datos de temperatura y humedad del suelo. Es este el caso de algunas de las estaciones que se han utilizado para este estudio, ya que la toma de datos climáticos directamente del suelo se ha iniciado recientemente y en consecuencia en ocasiones ha sido necesario

realizar interpretaciones.

Pondremos de ejemplo algunas de las estaciones más completas que abarquen los diferentes microclimas existentes en la isla.

La vertiente meridional está bastante bien definida. El piso inferior cumple perfectamente los requisitos que la taxonomía americana exige para el régimen «aridic», como puede observarse en los diagramas de Thornthwaite correspondientes a la estación de Santa Cruz de Tenerife y Granadilla.

A 1.616 metros se encuentra situada la estación de Vilaflor que se incluye en el régimen hídrico «xeric», ya que el suelo está saturado durante más de 45 días consecutivos después del 21 de diciembre, hay déficit de agua después del solsticio de verano y está húmedo parcialmente durante más de 90 días consecutivos. Por otra parte, la diferencia de temperatura entre el verano y el invierno es de aproximadamente 12° C en el aire, por lo que suponemos que supera los 5° C en el suelo a 50 cm. de profundidad.

El problema se plantea en algunas situaciones de la vertiente Norte, como por ejemplo la estación climática de Los Rodeos (641 m.) y La Guancha (300 m.).

Aunque las formas de los diagramas nos hacen pensar en un clima de tipo mediterráneo, sin embargo, las temperaturas están muy atenuadas. Por la distribución de las lluvias corresponderían a un régimen «xeric», sin embargo, la diferencia de temperatura a 50 cm. de profundidad entre el verano y el invierno es ciertamente inferior a 5° C, ya que en el aire en la primera estación esta diferencia es de 5,3° C y en La Guancha es de 3,9° C. Por otra parte, estas zonas están también muy próximas del régimen «ustic», sin embargo, no siempre se corresponden absolutamente con él.

En realidad, nos encontramos con un clima mediterráneo, con un invierno muy suave durante el cual no se interrumpe el desarrollo vegetativo. Este tipo de clima no está considerado en la «Soil Taxonomy».

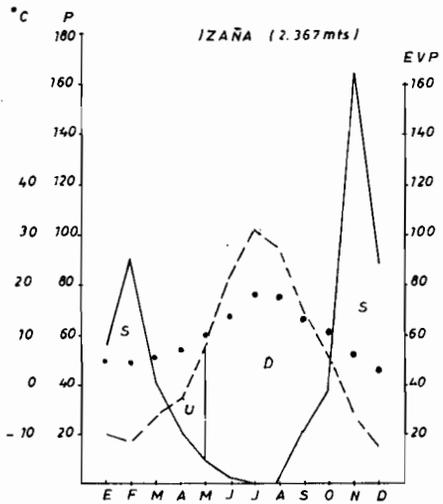
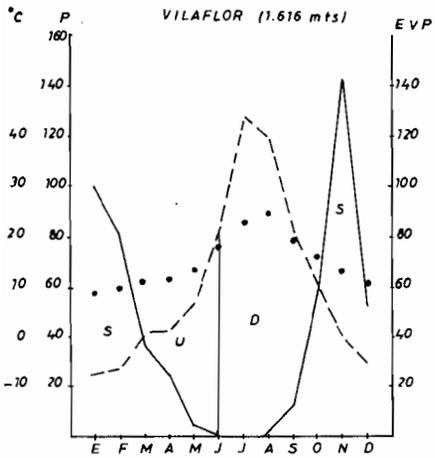
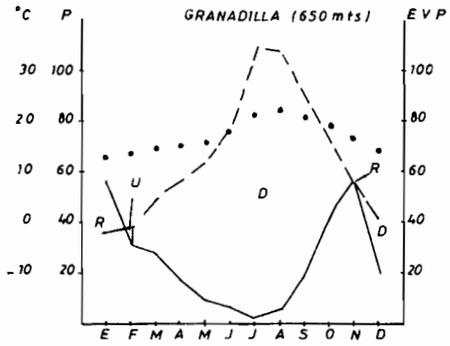
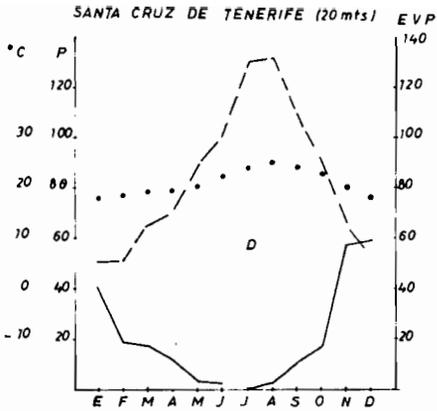
El régimen más próximo parece ser el «ustic». Este hecho junto con la circunstancia de encontrar dos estaciones en esta zona que cumplen los requisitos de este régimen nos ha llevado a considerar que esta franja media-baja de la vertiente norte presenta un régimen hídrico de tipo «ustic».

Por otra parte, esta definición nos permite comprender mejor el gran contraste climático existente entre las dos vertientes de la isla, que se manifiesta a su vez en la tipología de los suelos que como ya habíamos indicado en el texto corresponden a suelos de tipo tropical en el Norte y mediterráneo en el Sur.

Por último, se debe tener en cuenta que en algunas zonas de bosque de la vertiente norte, tal como se indica en el texto de este libro es importante el efecto de la condensación, dándose cifras incluso de 2.500 mm. anuales de agua, por lo que puede pensarse que estamos en estas regiones en presencia de un régimen de tipo «udic». Este caso sería, por ejemplo, el del Monte de las Mercedes.

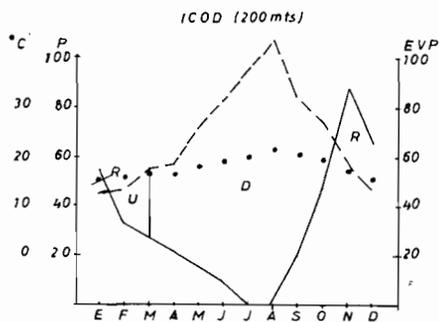
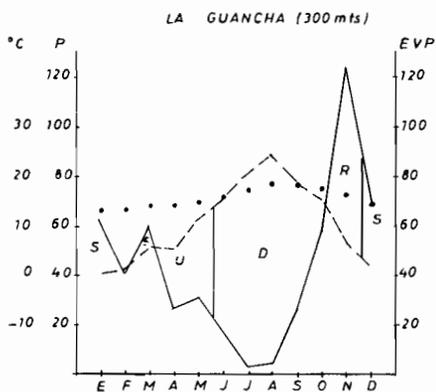
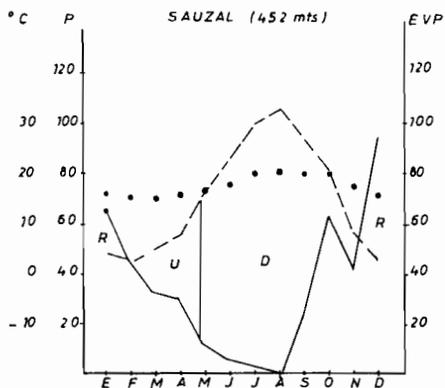
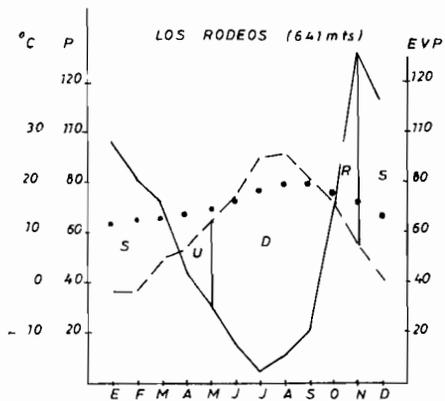
## Unidades Taxonomicas.

En este anexo incluimos también algunos niveles de clasificación que no han podido ser diferenciados en el mapa, pero que su comentario puede contribuir a



- PRECIPITACION
- - - - - EVAPOTRANSPIRACION
- • • • • TEMPERATURA

DIAGRAMAS DE THORNTHWAITTE



————— PRECIPITACION  
 - - - - - EVAPOTRANSPIRACION  
 . . . . . TEMPERATURA

DIAGRAMAS DE THORNTHWAITE

una mejor comprensión de la variabilidad y distribución de las unidades cartografiadas.

## **ENTISOLES.**

Los suelos de este orden corresponden a rocas superficialmente alteradas o sin alterar, recubiertas normalmente solo de líquenes o de una vegetación arbustiva baja. En ellos no es evidente, o muy poco, el desarrollo de horizontes de diagnóstico.

Dentro de este orden podemos distinguir los siguientes subórdenes: ORTHENTS, PSAMMENTS y FLUVENTS.

### *Orthents.*

Este suborden corresponde a menudo a zonas de fuerte pendiente sobrepasando incluso los 45°. Es el caso de Teno o Anaga, de los bordes de los barrancos, etc. También se incluyen las formaciones muy recientes, como las coladas basálticas de las Montañas Negras, Las Cañadas, etc.

Las cenizas y familias de materiales piroclásticos sin evolución se encuentran igualmente en los Orthents, es el caso por ejemplo del volcán Chinyero.

Se puede, por tanto, decir que estos suelos son el resultado de una intensa erosión o de aportes de materiales muy recientes.

Este suborden se encuentra en Tenerife bajo todo tipo de clima. Los Grandes Grupos principales son: Torriorthents y Xerorthents en la vertiente Sur y algún Udorthents en la región Norte.

Corresponden a los suelos minerales brutos del sistema francés, ya sean de erosión o de aporte volcánico. No tienen ningún interés agrícola.

En la región meridional de la isla, son muy abundantes diferentes tipos de depósitos pumíticos, especialmente en Fasnia y Arico. Dadas sus características (contacto paralítico a menos de 25 cm., más de 35% en volumen de material, etc.) se incluyen también en los Orthents. Sin embargo, algunos de estos depósitos (de proyección aérea) se utilizan intensamente para la agricultura. Esta circunstancia nos ha llevado a separar los Orthents\*, que comprenden los depósitos pumíticos piroclásticos. Esta diferenciación local es muy útil desde un punto de vista práctico. Estos suelos se vienen utilizando con fines agrícolas con rendimiento satisfactorio. Por otra parte, estos suelos absorben fácilmente la humedad atmosférica y evitan posteriormente su evaporación (self-mulching). Por este motivo, se suelen utilizar para el recubrimiento de suelos en las regiones donde la evaporación es muy intensa y el agua escasa.

Los Orthents\* corresponden a los suelos minerales brutos y algunos a suelos poco evolucionados de aporte friable, vítricos.

La importancia cartográfica de la unidad Orthents, en general, es evidente dada la gran superficie que ocupa. Aunque su interés económico (exceptuando el caso de las cenizas) es muy bajo.

Se encuentra asociado a prácticamente todos los suelos de la isla, aunque no

siempre se ha señalado en el mapa.

### *Psamments.*

Corresponde a las arenas de las playas del litoral, y ocupa una superficie muy limitada. Están incluidos en los Regosoles del sistema francés.

### *Fluvents.*

Existen en Tenerife, algunos enclaves de sedimentos localizados principalmente en las zonas de topografía más llana, generalmente asociados a cauces de aguas intermitentes.

En general, son formaciones recientes que inician su evolución. Teniendo en cuenta su profundidad (siempre superior a 1 m.), su situación en zonas de muy poca pendiente y la irregularidad en cuanto a la distribución de materiales, materia orgánica, etc., los hemos incluido en el suborden Fluvents.

Dentro de estos suelos poco evolucionados de aporte aluvial debemos distinguir dos tipos: 1) aquellos formados por sedimentación de capas de materiales de talla muy variada, caso del valle de Guimar, y 2) los sedimentos más finos. En algunos casos estos últimos tienen ya una cierta evolución, sin embargo, hemos querido resaltar su origen.

Este conjunto de suelos, aunque ocupa poca superficie, es muy utilizado. Es el caso, por ejemplo, de los sedimentos de Erjos, en vías de desaparición como consecuencia de su transporte hacia la vertiente Sur de la isla. Los sedimentos del barranco de Guimar son utilizados para la extracción de áridos.

## **INCEPTISOLES.**

Se incluyen en este orden suelos que aunque con perfiles diferenciados, presentan una evolución relativa.

Hemos observado los siguientes subórdenes: ANDEPTS, OCHREPTS, TROPEPTS y UMBREPTS.

### *Andepts.*

Los Andepts se encuentran siempre asociados a materiales volcánicos recientes, normalmente productos piroclásticos (cenizas y lapillis).

En la isla de Tenerife se encuentran dos Grandes Grupos principales de andosoles: Dystrandeps y Vitrandeps.

Los Dystrandeps, con una densidad aparente menor de 0,85 gr/cc y un predominio de materiales amorfos en el complejo de cambio, se encuentran únicamente en la vertiente Norte, en la región de las brumas, caso de la zona de Aguamaña, Agua García o de Ruigomez. Son dos los subgrupos que se observan principalmente: Typic Dystrandeps y Lithic Dystrandeps en las zonas de pendiente.

Los Vitrandeps (más de 60% de cenizas volcánicas), caracterizados por tener una retención de agua a 15atmósferas menor de 20% y no presentar tixotropía, se encuentran muy extendidos en la isla, en zonas recientes, aunque no necesari-

riamente húmedas (factor que limitaba la presencia de Dystrandeps). Así ocupan extensas superficies en la zona alta de La Guancha, Icod, etc., asociados normalmente a suelos de erosión (Lithic Haplumbrepts). Es frecuente ver estos suelos en los conos recientes de lapilli basáltico, distribuidos por toda la isla, tanto en la región norte como en la región sur y a diferentes altitudes.

Los subgrupos que hemos observado son los siguientes: Typic Vitrandeps, Umbric Vitrandeps, Lithic Umbric Vitrandeps y Lithic Vitrandeps, normalmente en los conos volcánicos.

Aunque menos destacados que los dos Grandes Grupos anteriores se observan algunos Durandeps y Etrandeps, en la vertiente meridional, asociados también a conos volcánicos.

El suborden Andeps corresponde a los andosoles, que según su grado de diferenciación se dividen en andosoles poco evolucionados y andosoles con perfil bien diferenciado. Dentro de los primeros se sitúan los andosoles vitricos que corresponden a los Vitrandeps, y en los segundos se incluyen los Dystrandeps y Etrandeps, en función del grado de saturación.

### *Ochrepts, Tropepts.*

La diferencia fundamental entre estos dos subordenes radica en el carácter tropical o no de su régimen climático. En los primeros existe normalmente una diferencia de temperatura de 5° C entre la media del verano y del invierno, mientras que en los Tropepts la temperatura es mucho más regular y es menor esta variación.

De acuerdo con las observaciones sobre los regímenes climáticos a que nos hemos referido, podemos indicar que el carácter tropical corresponde a una franja de la vertiente Norte. En esta situación se ha definido únicamente el suborden Tropepts.

Teniendo en cuenta el carácter «ustic» que hemos dado para el régimen de humedad en esta zona, el Gran Grupo principal es Ustrophepts. Se ha observado diferentes subgrupos, destacamos Andic Ustrophepts (propuesta) para aquellos suelos con contaminaciones de materiales piroclásticos y Vertic Ustrophepts, para suelos con marcado carácter vértico, grietas, pequeños slickensides, etc. Suelen encontrarse en zonas de pendiente en la región de los vertisoles y consecuentemente se encuentran muchas veces asociados a ellos. En el noroeste de la isla se sitúan sobre los derrubios de la zona terciaria de Teno. Este subgrupo está normalmente muy antropizado.

El suborden Ochrepts se ha definido a cotas elevadas en la vertiente Sur y Suroeste, e incluye suelos con epipedón ocrico o epipedón umbrico menor de 25 cm. y con un complejo de cambio no dominado por productos amorfos. Por otra parte, el régimen térmico no es «iso».

Dado el carácter «xeric» de la zona el Gran Grupo predominante es el Xerochrepts. Estas condiciones climáticas en la zona Sur llegan aproximadamente hasta 900-1000 m. ya que la estación de Granadilla indica un régimen «aridic».

Dentro de este Gran Grupo hemos podido distinguir:

–Vertic Xerochrepts– Suelos intergradados hacia vertisoles, asociados a veces a xererts.

–Lithic Xerochrepts– Suelos situados en zonas de mucha pendiente que hemos asociado a Xerumbrepts en la zona alta forestal. En esta situación son muy frecuentes también los litosoles (orthents), aunque no se indican en la coloración del mapa para destacar las otras dos tipologías existentes y para evitar mayor número de asociaciones.

–Typic Xerochrepts– caso concreto del perfil estudiado en el texto.

### *Umbrepts*

Suelos eminentemente forestales, distinguimos dos Grandes Grupos: Haplumbrepts y Xerumbrepts.

Los primeros se sitúan en las zonas más húmedas de la vertiente Norte, donde la humedad por condensación es muy elevada. Los subgrupos más frecuentes son: Andic Haplumbrepts, que se encuentran situados fundamentalmente en el Macizo de las Mercedes, en la Esperanza y en el Monte del Agua, entre Erjos y El Palmar. Estos suelos formados sobre materiales algo más antiguos que los Andepts, tienen marcado carácter ándico, aunque no predominan ya en ellos los productos amorfos.

Lithic Haplumbrepts, que corresponden a los clásicos rankers, con un contacto lítico a menos de 50 cm. de la superficie. Se encuentran normalmente en zonas de acusada pendiente.

Es muy frecuente ver asociados estos dos subgrupos de Haplumbrepts.

Los Xerumbrepts, como indicamos anteriormente, se encuentran asociados a los Xerochrepts en las zonas altas de bosques de la región Sur. Se trata normalmente del subgrupo Lithic Xerumbrepts, dada la fuerte pendiente de la zona.

Esta asociación de suelos presenta en algunas zonas carácter andico, por lo que habría que añadirle el prefijo Andic.

Los subordenes Ochrepts, Tropepts, y Umbrepts se corresponden normalmente con los suelos empardecidos, concretamente con los suelos pardos. En los casos de mayor evolución coinciden con los suelos fersialíticos.

## **ALFISOLES**

Dentro de este orden se incluyen suelos muy evolucionados y diferenciados, arcillosos, con estructura bien desarrollada. Presentan un horizonte argílico con un S/T mayor del 35%. Es frecuente en estos suelos la individualización de sesquióxidos de Fe y Mn, que les dan un color muy acusado, normalmente rojo.

Se encuentran situados fundamentalmente en zonas antiguas de acumulación, como la planicie de Los Rodeos, Valle del Palmar o Tierra del Trigo en el Norte. Estos suelos están asociados a materiales antiguos y a condiciones climáticas dentro de los regímenes hídricos «ustic» y «xeric».

Encontramos, por tanto, dos subordenes: USTALFS y XERALFS.

### *Ustalfs*

Se sitúan en las zonas de altitudes medias de la vertiente Norte, con un régimen de humedad que se ha considerado como «ustic». Por su color rojo intenso se incluyen fundamentalmente en el Gran Grupo Rhodustalfs, siendo el subgrupo Udic Rhodustalfs el mejor representado, ya que son suelos sin horizonte cálcico.

Los suelos de algunos conos muy evolucionados, con una CTC menor de 24 meq/100 gr., como el caso de Las Carboneras, se incluyen en los Oxic Rhodustalfs, aunque no son representativos en la escala del mapa.

En estas regiones encontramos igualmente Paleustalfs, suelos sin horizonte petrocalcico, sin contacto lítico a menos de 1 m. de la superficie y con una distribución regular de la arcilla con la profundidad. Son varios los subgrupos que observamos en este Gran Grupo, especialmente Udic Paleustalfs.

Los suelos de estos dos Grandes grupos (ligados a materiales antiguos) se encuentran normalmente asociados entre si, así como a Ustropepts. Estos últimos aparecen muchas veces superpuestos a los Ustalfs, ya que se encuentran ligados a materiales de erupciones posteriores.

Teniendo en cuenta la coexistencia frecuente de estos tres Grandes Grupos de suelos en la vertiente Norte, los hemos asociado en una unidad cartográfica.

### *Xeralfs*

El suborden Xeralfs se observa en las zonas medias del sureste de la isla, en condiciones climáticas «xeric» o «aridic» próximas a «xeric». Son suelos menos desarrollados que los anteriores y ocupan una superficie mucho menor. Se han observado tres Grandes Grupos: Rhodoxeralfs, Palexeralfs y Haploxeralfs.

Este orden no se encuentra representado en el Sur y Suroeste de la isla, dadas las extremas condiciones de aridez que frenan actualmente el lavado de arcilla. La abundancia en la isla de recubrimientos con materiales más arenosos hace que algunos perfiles presenten el aspecto de un horizonte argílico, sin embargo, su estudio micromorfológico indica la falta de relación entre estos horizontes y consecuentemente no pueden incluirse en este orden.

Los Alfisoles se corresponden con los suelos ricos en sesquióxidos y muy concretamente con los suelos fersialíticos del sistema frances. Son muy utilizados con fines agrícolas, tanto in situ como trasportados para la construcción de terrazas en las zonas de costa.

## **ULTISOLES**

Corresponden a los suelos más evolucionados de las zonas regularmente húmedas de la isla; por tanto únicamente aparecen en la zona Norte. Se encuentran al igual que los Alfisoles asociados a materiales muy antiguos.

No ocupan grandes superficies, estando limitados al Macizo de las Mercedes y Monte de la Esperanza. En el Macizo de Teno, aunque muy antiguo, no aparecen estos suelos dada la intensa erosión a que han estado sometidos y las condiciones climáticas más secas. Quedan, sin embargo, algunos testigos de alteraciones profundas.

Por otra parte, estos suelos se encuentran generalmente rejuvenecidos por profundos depósitos recientes de cenizas volcánicas, que han evolucionado a Andepts (Dystrandeps) los más jóvenes y a Andic Haplumbrepts los menos recientes.

En consecuencia, debemos hablar no de asociación de suelos, sino de yuxtaposición de suelos.

Los subordenes que hemos observado son principalmente: HUMULTS y UDULTS, por lo que la yuxtaposición sería:

Andic Haplumbrepts / Humults y Dystrandeps / Udults.

Dada la intensa evolución de estos suelos corresponden a los suelos ferralíticos, suelos que contienen muy pocos minerales primarios alterables y están formados por arcillas de tipo 1/1, e hidróxidos, fundamentalmente de hierro y aluminio. Son suelos pobres en bases, ácidos, con macroporosidad mediocre y una importante capacidad de retención de agua, dados los elevados valores de arcilla, que pueden plantear problemas de hidromorfismo. Son suelos con vocación eminentemente forestal.

## **OXISOLES**

Los suelos de este orden forman pequeños enclaves, no representativos en la escala del mapa. Se encuentran al igual que los Ultisoles en las zonas más húmedas y geológicamente más antiguas. Se limitan a aquellos suelos muy evolucionados con abundancia de gipsita, ya que la presencia abundante de haloisita eleva los valores de capacidad de cambio por encima de los valores permitidos para el horizonte óxico. Se plantea en estos suelos una problemática existente en las demás regiones volcánicas mundiales.

## **VERTISOLES**

Los vertisoles se localizan en las dos vertientes de la isla, aunque a cotas muy diferentes. Presentan las características clásicas de este orden: amplias grietas, slickensides, predominio de montmorillonita, etc, aunque dada su situación geográfica favorable a la implantación humana, están generalmente muy antropizados y son difíciles de reconocer.

Al igual que los Ultisoles y Alfisoles, se han formado sobre materiales muy antiguos, normalmente coluvios. En función de su situación tenemos dos subordenes: USTERTS Y XERERTS.

### ***Usterts***

Corresponden a los vertisoles de la región septentrional de la isla, a cotas inferiores a los 400 mts.

Es el Gran Grupo Pellusterts, color gris oscuro, el más ampliamente distribuido, y dentro de éste, el subgrupo Typic Pellusterts.

### ***Xererts***

Esta categoría corresponde a los suelos de la vertiente Sur y Sureste. Están representados los dos Grandes Grupos: Chromoxererts y Pelloxererts, y en algunas zonas forman incluso asociación. Se trata normalmente del subgrupo «typic».

En la zona alta de Teno se encuentran núcleos de suelos con caracteres muy vérticos que hemos incluido en el suborden Usterts. Sobre los coluvios de estos suelos se encuentran actualmente Vertic Ustrophepts en la zona de Buenavista y Vertic Camborthids en la orientación Suroeste.

## **ARIDISOLES**

Este orden ocupa una gran superficie en la vertiente meridional de Tenerife. Desde el nivel del mar a cotas superiores a Granadilla en el Sur, descendiendo

de altitud hacia la región Sureste.

La estación climática de Granadilla corresponde claramente a un régimen de humedad «aridic».

Aunque dentro de este orden hay suelos arcillosos, el estudio micromorfológico ha indicado que se trata fundamentalmente de arcilla formada in situ, y que los procesos de lavado de arcilla están muy limitados.

Esta circunstancia nos lleva a incluir estos suelos principalmente en el suborden ORTHIDS. Los Grandes Grupos más frecuentes son:

Camborthids y Calciorthids.

Aunque se encuentran suelos con elevadas proporciones de sales no incluimos el Gran Grupo Salorthids, ya que no es representativo a esta escala. El carácter halomorfo lo incluimos a nivel de subgrupo en los Grandes Grupos anteriores.

### *Camborthids*

Estos suelos con horizonte cambico y epipedón ócrico, están muy bien representados. Existen diferentes tipos de perfiles, lo que nos ha llevado a concretar más en algunos casos:

–Tenemos, por una parte, suelos sin acumulaciones de carbonato, con cierta profundidad (mayor de 1 mts.), con un SAR menor o igual a 45, una disminución regular del % de carbono, etc, que pueden incluirse en los Typic Camborthids.

–Suelos con acumulación de carbonato, bajo diferentes formas pero sin llegar a un horizonte cálcico, y suelos con acumulación de carbonato formando horizonte cálcico, pero sin ser netamente carbonatado el resto del perfil.

En estos dos casos, habría de nuevo que incluir los suelos en los Camborthids y sería interesante añadir un nuevo subgrupo Calcic Camborthids (no existe en la Soil Taxonomy), considerado en algunas regiones mundiales.

–Suelos con caracteres vérticos: Vertic Camborthids.

–Suelos con elevada conductividad eléctrica y con importante saturación en Na del complejo de cambio: Natric Camborthids.

### *Calciorthids*

Menos extendidos que los anteriores, aunque ocupando una superficie no despreciable. Tiene un horizonte cálcico y el perfil está totalmente carbonatado.

Se encuentran generalmente asociados al Gran Grupo anterior. Aquellos suelos que presentan un horizonte petrocálcico habría que incluirlos en los Paleorthids.

Dada la localización de estos suelos con la altitud, hemos formado dos unidades cartográficas.

–a cotas bajas, inferior normalmente a 200 m. por el sureste y a 300 m. por el suroeste:

Camborthids + Calciorthids + Paleorthids.

–a cotas superiores, variables dependiendo también de la orientación.

Camborthids.

## **MOLISOLES**

Este orden no está prácticamente representado en la isla, ya que en las zonas donde podría estar (fundamentalmente en la vertiente meridional) los problemas

de erosión son importantes y limitan el porcentaje de materia orgánica a valores normalmente inferiores al 1 %, consecuentemente el color queda afectado, así como el espesor del epipedón.

Esta circunstancia hace difícil la presencia de epipedón mólico y de Molisoles.

Sin embargo, en algunas zonas más llanas de la vertiente Sur a cotas entre 200 y 400 mts., pueden encontrarse estas características.

## **SORRIBAS**

Las sorribas responden a una preparación artificial de suelos de cultivo, que son transportados desde zonas más o menos próximas, por lo tanto, no representan generalmente los suelos de la localidad en que se encuentran.

Estas superficies, aunque no responden a un proceso genético, tienen un interés agronómico.

Generalmente, las sorribas se construyen sobre coladas volcánicas, suelos sódicos y otros tipos de suelos que presenten grandes dificultades para su puesta en cultivo.

Estas unidades cartografiables de naturaleza artificial pueden ser incluidas en el suborden Arents de la Taxonomía Americana. Sin embargo, hemos mantenido en el mapa la denominación de sorriba para conservar el término utilizado localmente.

## ÍNDICE

	Págs
PRÓLOGO .....	7
I. INTRODUCCIÓN .....	9
II. GENERALIDADES .....	11
III. SECUENCIA CLIMÁTICA DE SUELOS DE LA REGIÓN MERIDIONAL	
A. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS DE LA VERTIENTE SUR .....	15
B. SECUENCIA EDAFOLÓGICA DE LA VERTIENTE SUR	
1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISICO-QUÍMICAS	
1.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS .....	26
1.2. CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS .....	36
1.3. EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISICO-QUÍMICAS .....	43
2. CARACTERÍSTICAS MINERALÓGICAS	
2.1. NATURALEZA DE LAS ARENAS .....	48
2.2. MINERALOGÍA DE ARCILLAS .....	51
3. CARACTERÍSTICAS MICROMORFOLÓGICAS .....	65
4. INTERPRETACIÓN Y CLASIFICACIÓN .....	73
5. CONCLUSIÓN GENERAL DE LA SECUENCIA DE SUELOS DE LA VERTIENTE SUR .....	83

#### IV. SECUENCIA CLIMÁTICA DE SUELOS RECIENTES DE LA REGIÓN SEPTENTRIONAL

A. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS DE LA VERTIENTE NORTE .....	85
B. SECUENCIA EDAFOLÓGICA DE LA VERTIENTE NORTE .....	97
C. SECUENCIA CLIMÁTICA DE SUELOS RECIENTES DE LA REGIÓN SEPTENTRIONAL DE TENERIFE	
1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISICO-QUÍMICAS	
1.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS .....	98
1.2. CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS .....	104
1.3. EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISICO-QUÍMICAS .....	114
2. CARACTERÍSTICAS MINERALOGICAS	
2.1. PRODUCTOS AMORFOS .....	115
2.2. ANÁLISIS PETROGRÁFICO DE LAS ARENAS .....	131
2.3. MINERALOGÍA DEL SUELO (DIFRACCIÓN DE RAYOS X, MICROSCOPIA ELECTRÓNICA) .....	132
3. CARACTERÍSTICAS MICROMORFOLÓGICAS .....	140
4. INTERPRETACIÓN Y CLASIFICACIÓN .....	142
5. CONCLUSION: EVOLUCIÓN DE LA SECUENCIA EDAFOCLIMÁTICA RECIENTE .....	145

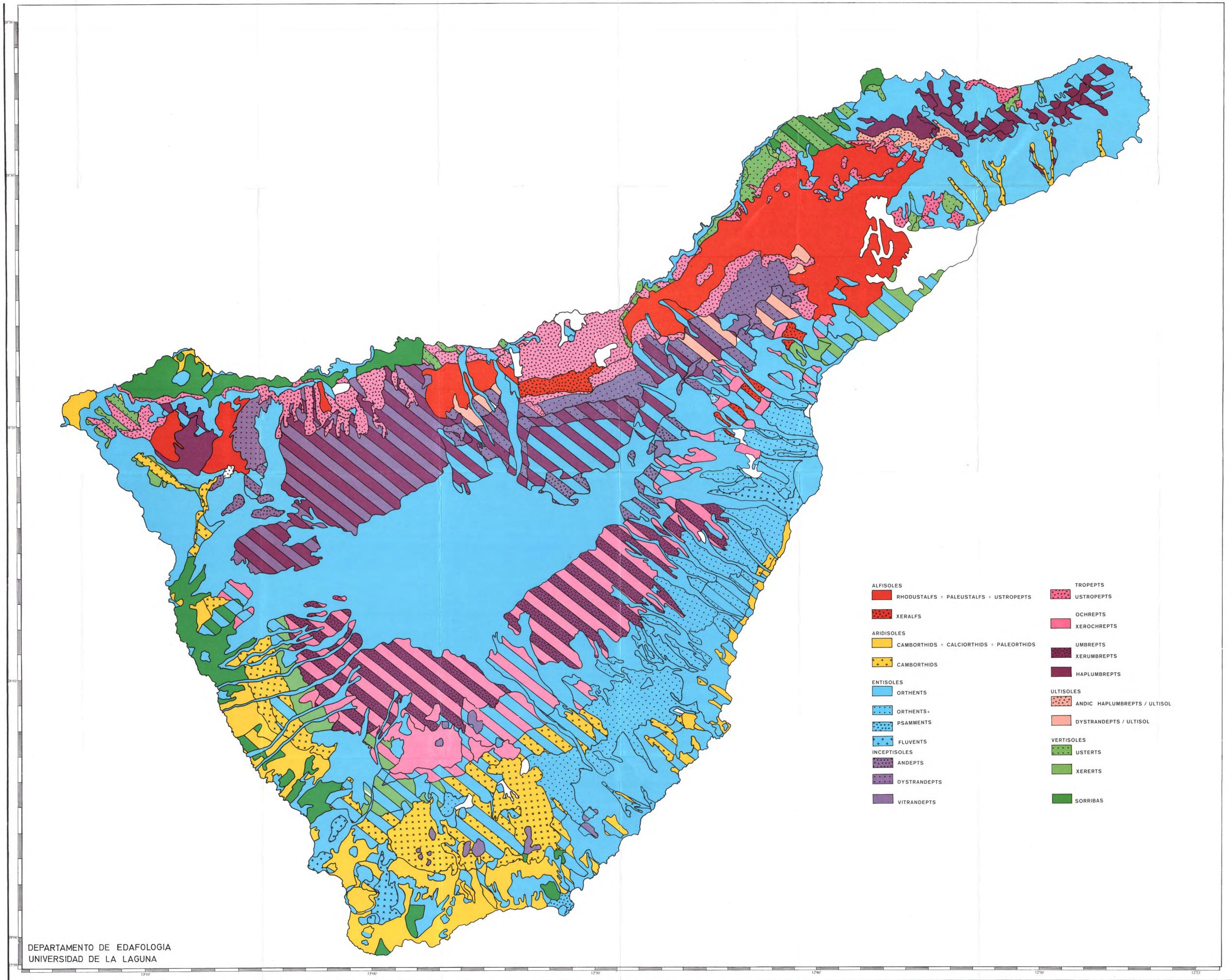
#### V. SECUENCIA CLIMÁTICA DE SUELOS ANTIGUOS DE LA REGIÓN SEPTENTRIONAL

1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISICO-QUÍMICAS	
1.1. CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS .....	149
1.2. CARACTERÍSTICAS FISICO-QUÍMICAS .....	166
1.3. EVOLUCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y FISICO-QUÍMICAS .....	172
2. CARACTERÍSTICAS MINERALOGICAS	
2.1. PRODUCTOS AMORFOS .....	172
2.2. MINERALOGÍA DE LA FRACCIÓN INFERIOR A 2 $\mu$ Y DEL SUELO TOTAL .....	187
3. CARACTERÍSTICAS MICROMORFOLÓGICAS .....	199
4. TIPOLOGÍA, GÉNESIS Y CLASIFICACIÓN .....	199
5. CONCLUSIÓN: EVOLUCIÓN DE LA SECUENCIA TOPOCLIMÁTICA DE SUELOS ANTIGUOS .....	214

VI. TÉCNICAS EXPERIMENTALES .....	219
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	221
ANEXO: LEYENDA DEL MAPA DE SUELOS DE LA ISLA DE TENERIFE A ESCALA 1:100.000. ....	237

**Este libro se terminó de  
imprimir el día 5 de No-  
viembre de 1982, en los  
talleres de ALGOL, S.A.  
Tenerife, Islas Canarias.**

# MAPA DE SUELOS DE TENERIFE



- |  |                              |
|--|------------------------------|
| <b>ALFISOLES</b>                         | <b>TROPEPTS</b>              |
| RHODUSTALS + PALEUSTALS + USTROPEPTS     | USTROPEPTS                   |
| XERALFS                                  | OCHREPTS                     |
| <b>ARIDISOLES</b>                        | XEROCHREPTS                  |
| CAMBORTHIDS + CALCIORTHIDS + PALEORTHIDS | UMBREPTS                     |
| CAMBORTHIDS                              | XERUMBREPTS                  |
| <b>ENTISOLES</b>                         | HAPLUMBREPTS                 |
| ORTHENTS                                 | <b>ULTISOLES</b>             |
| ORTHENTS -                               | ANDIC HAPLUMBREPTS / ULTISOL |
| PSAMMENTS                                | DYSTRANDEPTS / ULTISOL       |
| FLUVENTS                                 | <b>VERTISOLES</b>            |
| <b>INCEPTISOLES</b>                      | USTERTS                      |
| ANDEPTS                                  | XERERTS                      |
| DYSTRANDEPTS                             | SORRIBAS                     |
| VITRANDEPTS                              |                              |

DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGIA  
UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA

COLECCION  
VIERA Y CLAVIJO

- 1 Victor Fuentes: GALDOS DEMOCRATA Y REPUBLICANO (escritos y discursos 1907-1913).
- 2 ESTUDIOS COLOMBINOS 1981.
- 3 LA PESCA EN CANARIAS (II Jornadas de Estudios Económicos Canarios).
- 4 E. Fernández Caldas, M.<sup>a</sup> Luisa Tejedor Salguero y P. Quantin: SUELOS DE REGIONES VOLCÁNICAS TENERIFE, ISLAS CANARIAS.

**SECRETARIADO DE PUBLICACIONES  
DE LA UNIVERSIDAD DE LA LAGUNA**

**CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTIFICAS**

La Colección Viera y Clavijo es una expresión de la actividad de cooperación universitaria de la Sociedad Canaria, realizada entre la Universidad de La Laguna y las entidades regionales, locales y culturales de las islas.

El presente libro se edita en colaboración entre el Secretariado de Publicaciones de La Laguna y el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.