

EDAFOLOGIA

SUELOS DE LAS ISLAS CANARIAS

Ecología, distribución geográfica y características

P O R

**E. FERNANDEZ-CALDAS, M. L. TEJEDOR SALGUERO
y A. RODRIGUEZ RODRIGUEZ**

INTRODUCCIÓN

Los primeros estudios de carácter general, sobre los suelos de las Islas Canarias, fueron realizados por A. Hoyos, 1945, 1948, y W. L. Kubiena, 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. Sánchez 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 et al., 1971 a) marca el comienzo de un intenso desarrollo de la investigación sobre los suelos de Canarias, tanto desde el punto de vista general 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 Santa Cruz de Tenerife (C. S. I. C.).

De estos trabajos citaremos algunos de carácter general:

E. Fernández Caldas et al., 1970; A. Borges Pérez, 1971; E. Fernández Caldas et al., 1971 c, d, e; V. Pérez García, 1971; E. Fernández Caldas et al., 1972, 1973 a, b; J. J. Bravo Rodríguez, 1974; E. Fernández Caldas et al., 1974 b; J. M. Hernández Moreno, 1974; M. L. Te-

jedor Salguero, 1974; J. O. Cabezas Viaño, 1975; A. Díaz Domínguez, 1975; V. García García et al., 1975; J. Sánchez Díaz, 1975; A. M. Borges Alvarez, 1976; A. Díaz Domínguez et al., 1976; E. Fernández Caldas et al., 1976; V. García García et al., 1976; J. A. Pérez Méndez, 1976; C. M. Rodríguez Hernández, 1976; M. J. Rodríguez Romero, 1976; C. E. Alvarez González, 1977; A. Rodríguez Rodríguez, 1977; M. I. Trujillo Jacinto, 1977; L. García López, 1978; G. Vivancos Gallego et al., 1978.

En el presente trabajo, se hace una descripción de los suelos de Canarias, considerando no sólo sus características intrínsecas, que nos llevan a diferenciar suelos de muy diversa tipología, sino también estudiando de manera detallada, las relaciones que estos suelos presentan con el medio ecológico, y que, en definitiva, son las que condicionan su distribución geográfica.

Es bien sabido que la situación geográfica del archipiélago, así como sus especiales condiciones orográficas y topográficas, originan una diferenciación climática en altura, que condiciona una zonación altitudinal de la vegetación en estratos, que en gran medida se corresponde con la de los suelos.

Esta distribución de las distintas formaciones edáficas en pisos o estratos nos ha llevado a estudiar la distribución geográfica de las mismas, basándonos en la existencia de secuencias climáticas altitudinales y de secuencias cronológicas, condicionadas por la diferente edad de los materiales volcánicos, dentro de la misma zona climática (P. Quantin et al., 1978).

ECOLOGÍA

Los suelos de las Islas Canarias pueden dividirse en una primera aproximación, y en función de su génesis, en dos grandes categorías: suelos tropicales y suelos mediterráneos (P. Duchaufour, 1975).

Una génesis de tipo tropical es característica de los suelos observados en la vertiente Norte de las islas montañosas, mientras que los suelos de la vertiente Sur están representados por formaciones edáficas típicas de la cuenca mediterránea.

Estas diferencias observadas son debidas a las distintas características ecológicas que pravelecen en estas dos vertientes.

Entre estas características ecológicas, *el clima* es el factor más importante en la diferenciación de los suelos. El clima de las islas, en principio, podría definirse como subtropical y marítimo, sin embargo debido a la orografía de las islas, a su situación en plena región de los vientos alisios de procedencia ecuatorial, a la existencia de una zona de inversión térmica a 1.500 m. de altitud y a la corriente marina fría de Canarias, es más riguroso hablar de zonas climáticas bien delimitadas.

La altitud y orientación de los sistemas montañosos determina la existencia de grandes contrastes climáticos (A. Huetz de Lemp, 1969).

En las vertientes Norte y Nordeste, la incidencia directa de los vientos alisios contribuye a mantener un clima húmedo, mientras que en las vertientes Sur y Occidental, donde estos vientos no llegan por efecto de estas barreras montañosas, la climatología es más seca y árida (I. Font-Tullet, 1956).

Cuando los vientos alisios chocan con las masas insulares en la región Norte, se remontan a lo largo de las vertientes, enfriándose progresivamente hasta que se produce una condensación de la humedad, dando lugar a la formación de estratocúmulos en la región de las nieblas.

La existencia de una zona de inversión térmica a 1.500 m. de altitud, impide el desarrollo vertical de los estratocúmulos y contribuye a la permanencia del «mar de nubes».

Este mar de nubes presenta variaciones estacionales en su potencia y límites altitudinales. En general comprende cotas entre 500 y 1.500 m., ascendiendo ocasionalmente hasta 1.800 m. de altitud.

Los efectos de esta capa de nubes quedan de manifiesto por el tipo de vegetación higrófila de la zona, que constituye el «monte verde».

Por encima del mar de nubes el clima es más seco. El fuerte contraste que supone, en estas cotas superiores, la sequedad y temperaturas elevadas del verano, con los hielos y nieves invernales, hace que el carácter continental resulte cada vez más acusado al aumentar la altitud.

También en los meses de invierno pueden producirse precipitaciones abundantes en la totalidad de las islas, especialmente en la región Norte de las Occidentales, debido a la invasión de vientos

fríos polares, que llegan al archipiélago como consecuencia del régimen ciclónico que suele establecerse sobre el atlántico en los meses de invierno.

Respecto a las temperaturas medias anuales, pueden generalizarse en las dos vertientes climáticas. Las mayores diferencias de temperatura corresponden a sus amplitudes diurnas. En líneas generales podemos afirmar que existen diferencias de 2º C. aproximadamente durante el invierno y 4º C. en verano entre estas dos vertientes.

Dentro de los factores ecológicos que contribuyen a la formación del suelo hemos de considerar, igualmente, la naturaleza de los materiales geológicos y el tiempo de alteración, la vegetación y la topografía.

Los *materiales geológicos* de las islas, todos de origen volcánico, están constituidos fundamentalmente por basaltos, que forman coladas de lavas y productos piroclásticos.

Se encuentran igualmente rocas sálicas (materiales fonolíticos y traquitas). Estos últimos materiales ácidos están siempre subordinados en volumen a los basaltos, siendo la fonolita el material ácido más frecuente (J. M. Fuster et al., 1968).

Es necesario considerar igualmente la influencia que la cronología de estos materiales tiene en la formación de los suelos, ya que materias de igual composición y de edad diferente pueden llevar a tipologías muy distintas, como consecuencia del grado de evolución del suelo.

La isla más antigua es La Gomera, probablemente del Mioceno o principios del Plioceno. En la isla de Tenerife, las penínsulas de Anaga y Teno son de la misma época (H. Hausen, 1956; A. Abdel-Monem et al., 1972). En estas zonas es probable que no se hayan producido erupciones volcánicas durante períodos de tiempo muy largos, y los suelos formados en las mismas son precisamente los más evolucionados.

La vegetación varía considerablemente de una vertiente a otra, y dentro de cada vertiente en los diferentes pisos climáticos a que antes nos referíamos (L. Ceballos et al., 1976). Si tomamos como ejemplo la isla de Tenerife, de máxima altitud, observamos en la región Sur los siguientes pisos de vegetación: una zona baja donde predomina la Kleinio-Euphorbion, cuyas especies más características

son la *Euphorbia canariensis* L., *Aeonium canariensis* (L.) Webb et Berth., *Launaea arborescens* (Batt.) Murb., *Kleinia neriifolia* Haw., etcétera, que deja paso progresivamente al pinar (*Pinus canariensis* Chr. Sm. ex DC.) a través de una zona de degradación, típicamente mediterránea, dominada por tomillares y matorrales de *Cistus*. Ya en las zonas más elevadas de carácter subalpino predominan las leguminosas de alta montaña, *Spartocytisus supranubius* (L.) Webb et Berth., así como otras especies: *Adenocarpus viscosus* (Willd.) Webb et Berth., *Dichranthus plocamoides* Webb., etc.

En la región Norte, además de la vegetación a que nos acabamos de referir, aparece intercalada en una franja que corresponde a la zona de nubes permanentes, un nuevo tipo de vegetación que constituye la «laurisilva», que en ocasiones puede ser invadida por el pinar. Las principales especies son: *Laurus azórica* (Seub.) Franco., *Persea indica* (L.), Spreng., *Apollonia barbujana* (Cav.) Bornm., etc.

Como zona de transición de la laurisilva tanto a cotas superiores como inferiores, se encuentra el «fayal-brezal», formado principalmente por *Myrica faya* Ait., *Erica arborea* L., *Ulex europaeus* L., etcétera.

La topografía es también importante, principalmente por su influencia en los fenómenos microclimáticos y erosivos que contribuyen a la diversidad de los suelos.

Las consideraciones anteriores, referidas principalmente para las islas montañosas, excluyen a las islas de Lanzarote y Fuerteventura de topografía más llana, en donde el clima es de extrema aridez y de una mayor uniformidad.

Todas estas consideraciones en las que se pone de manifiesto la gran variabilidad de los factores ecológicos que más directamente contribuyen a la formación del suelo, explica la diversa tipología de formaciones edáficas que observamos, no solamente entre las vertientes Norte y Sur, sino también entre los diferentes pisos altitudinales.

SUELOS

Con objeto de simplificar en la descripción y estudio de los suelos de las Islas Canarias, podemos considerar la isla de Tenerife como representativa del conjunto. En esta isla se encuentran repre-

sentados la casi totalidad de los suelos existentes en Canarias (E. Fernández Caldas et al., 1974 b, c; P. Quantin, 1975).

La isla de Tenerife tiene una zona Norte y otra Sur muy bien diferenciadas, y todas las altitudes de las restantes islas, e incluso alturas superiores que nos permiten igualmente conocer las formaciones edáficas de las zonas alpinas en Canarias.

Para sistematizar la distribución geográfica de los suelos en la isla de Tenerife, estudiaremos a continuación tres secuencias, dos corresponden a la vertiente Norte, y una a la vertiente Sur, y donde están representados la totalidad de los suelos de esta isla.

Secuencias de suelos en la vertiente Norte

En la región Norte de la isla de Tenerife debemos distinguir entre suelos de evolución reciente, andosoles y suelos pardos y los suelos formados sobre materiales más antiguos constituidos por suelos ferralíticos, suelos fersialíticos y vertisoles (E. Fernández Caldas et al., 1977 b; M. L. Tejedor Salguero et al., 1977 b, c).

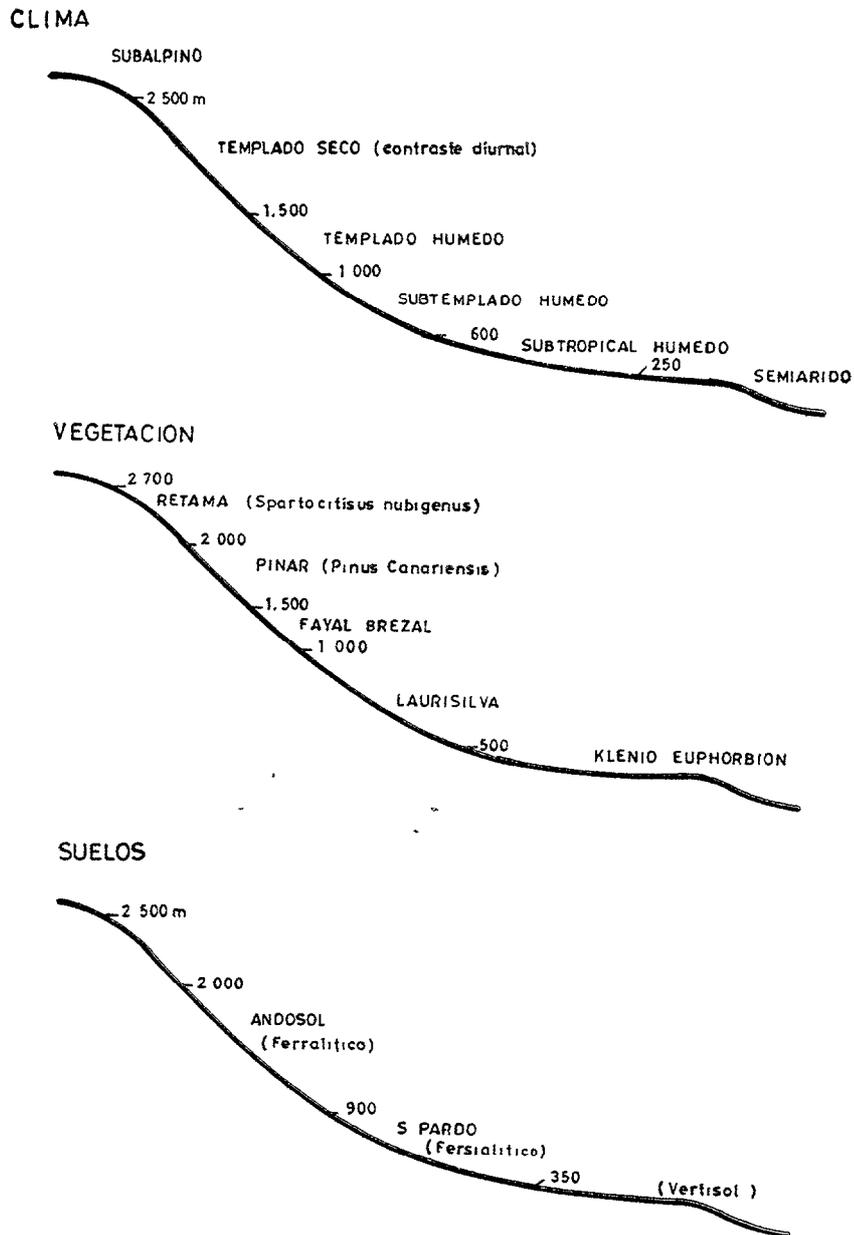
En la región de los andosoles entre 900-1.000 m. y 2.000 m. de altitud, se observan sobre los materiales más antiguos, alteraciones de tipo ferralítico (R. Maignien, 1966), que pueden estar rejuvenecidas por materiales más recientes con alteración ándica (P. Quantin et al., 1975), formando andosoles desaturados. Cuando este rejuvenecimiento es más antiguo, los andosoles superficiales pueden haber evolucionado a suelos pardos (P. Quantin et al., 1976).

En la región inferior a los andosoles, entre 300-400 m. y 900-1.000 metros, que corresponde a los suelos pardos, actualmente transformados por el hombre, se observan alteraciones de tipo fersialítico, muy desarrolladas (M. Lamouroux, 1971).

Por debajo de los 300-400 m. de altitud, en un clima de tipo semiárido y en situación topográfica de pie de vertiente, se forman los vertisoles, que dominan en esta región (R. Dudal, 1967).

En la figura 1 se indican las secuencias edafológicas, conjuntamente con las secuencias climáticas y de vegetación asociadas a cada uno de los suelos.

En primer lugar estudiaremos la *secuencia de suelos formados sobre materiales recientes*.



Los suelos entre parentesis estan formados sobre materiales antiguos

FIG. 1

Andosoles

Estos suelos se forman en una zona regularmente húmeda, y sobre materiales de edad reciente, especialmente piroclastos (P. Quantin, 1971).

Los andosoles se caracterizan por el predominio en su fracción mineral de silicatos aluminicos amorfos hidratados, conocidos como «alofanas», que dan al suelo propiedades muy específicas (T. F. Bates, 1960; E. M. Besoain, 1964; M. Fieldes, 1955; E. Fernández Caldas et al., 1976).

Entre los andosoles presentes en las Islas Canarias, los más frecuentemente observados presentan las siguientes características:

Los perfiles son de tipo A, (B)C o A, (B), C. Todos los horizontes son muy friables, poco adherentes y presentan una consistencia muy débil. La porosidad es muy elevada y tienen caracteres de tixotropía (E. Fernández Caldas et al., 1975 b).

La densidad aparente en estos suelos es extremadamente baja, inferior a 0,85 g/cm.³ y solamente en los horizontes de alteración debido a la influencia del material de origen este valor aumenta.

Los horizontes A presentan colores muy oscuros debido a la presencia de grandes cantidades de materia orgánica.

En general este horizonte tiene un gran espesor y a medida que nos alejamos de la zona típica de formación de estos suelos el horizonte A tiene menor profundidad. La estructura es generalmente grumosa y la textura limo-arenosa.

Los horizontes (B) o (B)C presentan colores más intensos, rojizos o amarillentos, la textura es limosa o areno-gravosa y la estructura continua o maciza.

El horizonte de alteración presenta un color muy próximo al del material de origen. La textura es más gruesa que la del horizonte (B) y se mantiene la estructura del material original.

Todo el perfil da reacción positiva y muy rápida con el FNa, lo que indica una elevada alcalinidad de cambio.

Respecto a las características físico-químicas, estos suelos presentan un contenido importante de materia orgánica en superficie, que oscila entre 7 y 14 por 100, y está repartida profundamente en el perfil. Se han encontrado valores del 6 por 100 de materia orgánica incluso en el horizonte (B).

Otra característica importante es que la materia orgánica está íntimamente asociada a la materia mineral (E. Fernández Caldas et al., 1971 e; J. Benayas et al., 1973; S. Bruckert et al., 1974).

En general, el pH de estos suelos es elevado (6,5) y no se corresponde con el bajo grado de saturación (< 30 por 100), como consecuencia del elevado punto isoeléctrico de las alofanas (M. L. Tejedor Salguero et al., 1976).

La capacidad de cambio es muy elevada, pero lo que es más importante y característico de estos suelos es la variación de la capacidad de cambio en función del pH, o «valor Δ », que oscila alrededor de 42 meq/100 g. en los andosoles más típicos.

El análisis químico de estos suelos, en relación con el material de origen, indica una lixiviación importante de sílice y bases, y un enriquecimiento relativo en Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 (P. Ségalen, 1964; J. M. Hernández Moreno, 1974; E. Fernández Caldas et al., 1975 a; J. M. Hernández Moreno et al., 1976; E. Fernández Caldas et al., 1977 a; J. A. Pérez Méndez et al., 1977 a).

La formación de complejos orgánicos muy estables, con la alofana, hace muy difícil la dispersión de estos suelos con métodos clásicos, y es necesaria la utilización de ultrasonidos para obtener una dispersión satisfactoria. Los contenidos de arcilla son muy bajos (13-40 por 100), y predomina la fracción limo.

Presentan una importante capacidad de retención de agua, principalmente en los horizontes profundos (99,6 por 100 a pF 2,5 y 66,4 a pF 4,2, sobre muestra conservada húmeda).

La mineralogía de estos suelos incluye compuestos amorfos tipo alofana en proporciones elevadas. Se observa igualmente una individualización importante de hidróxidos de aluminio (gibbsite) y de hierro (goethita y hematites), y en algunos perfiles la presencia de arcillas haloisíticas en forma tubular y glomerular. En los andosoles más saturados se han observado algunas formas de montmorillonita, y en los más desaturados es frecuente la presencia de finas fibrillas de imogolita (Y. Tardy, 1969; J. Trichet, 1969; C. Gense, 1976; M. L. Tejedor Salguero, 1977 a).

Los minerales primarios son muy abundantes en estos suelos, observándose principalmente feldespatos y cuarzo (J. O. Cabezas Viano et al., 1976). Este último probablemente de origen eólico (E. Fernández Caldas et al., 1974 a). En los andosoles más recientes, ricos

aún en sílice y bases es frecuente la presencia de fragmentos de diatomeas.

Estos suelos formados en condiciones de humedad elevada y permanente a lo largo de todo el año, presentan una alteración que se caracteriza por la lixiviación de bases y sílice y la acumulación relativa de Al_2O_3 , Fe_2O_3 y TiO_2 .

La intensidad de estos procesos determina el grado de evolución de estos suelos (J. A. Pérez Méndez et al., 1977 b), encontrando en la isla de Tenerife una secuencia cronológica que va desde los Vitrandepts (andosoles poco evolucionados y poco diferenciados) hasta suelos intergradados entre los andosoles y los suelos pardos, pasando por suelos de alteración intermedia como los Vitrandepts evolucionados y los Dystrandeps (Andosoles más típicos) (C. P. C. S., 1967; U. S. D. A., 1975).

Esta secuencia cronológica se extiende desde las Cañadas del Teide hasta el Macizo de Anaga.

Suelos pardos

Dentro de esta secuencia de suelos, debemos distinguir entre los suelos pardos situados en condiciones climáticas más contrastadas que las de los andosoles (suelos pardos eutróficos) y los suelos que hacen transición entre estas dos tipologías (suelos pardos ándicos).

Nos referiremos únicamente a los primeros, ya que los suelos pardos ándicos presentan características más o menos próximas a los andosoles, según su situación.

Los suelos pardos eutróficos se forman sobre materiales recientes, y como acabamos de indicar, en condiciones climáticas más contrastadas que las de los andosoles y suelos pardos de transición.

Son suelos de perfil A, (B), (B)C, con un color pardo-rojizo en superficie y netamente más rojizo en el horizonte (B). La estructura de este horizonte es de tipo poliédrica y la textura arcillosa. En algunos de los perfiles observados en Tenerife se han encontrado revestimientos, probablemente de hierro o manganeso, lo que es un carácter de hidromorfía.

Los valores de materia orgánica son mucho más bajos que para los andosoles (2-3 por 100) y presentan una relación C/N inferior a 10, lo que es típico de una materia orgánica muy evolucionada.

La suma de bases cambiables es más elevada que en el caso anterior, son suelos eutróficos o mesotróficos ($S/T = 70$ por 100). En este caso el grado de saturación sí se corresponde con los valores de pH (cercaos a la neutralidad).

El análisis total indica una pérdida de sílice menor, y una relación sílice/alúmina más elevada que en los suelos ándicos.

Los minerales secundarios están constituidos por metahalosita en superficie y halosita hidratada en profundidad. Se encuentran también minerales de tipo 2:1 (montmorillonita y arcillas interstratificadas), así como pequeñas cantidades de goethita y hematites.

En estos suelos prácticamente no se observan compuestos amorfos de tipo alofana (únicamente trazas en superficie). Los minerales secundarios se encuentran ya muy bien cristalizados.

Se encuentra también en estos suelos minerales primarios, principalmente cuarzo y feldespatos.

Estos suelos, aunque formados sobre materiales recientes, presentan un grado de evolución de la cristalinidad de las arcillas mucho más avanzado que en los casos anteriores, y por el contrario una alteración geoquímica menos acusada. Sin embargo, tienen aún bastantes minerales primarios.

En esta secuencia de suelos formados sobre materiales recientes, se observa una correlación muy estrecha entre el tipo de suelo formado y las condiciones climáticas actuales. Las características climáticas constituyen por tanto el factor determinante que diferencia los andosoles de los suelos pardos eutróficos. Se distingue igualmente una región intermedia donde predominan los suelos intergradados entre estos dos tipos principales y que hemos clasificado como suelos pardos ándicos.

Los andosoles se asocian a la región de nubes, con humedad elevada y permanente a lo largo del año, y en un piso inferior, fuera de la influencia de las nubes, con veranos secos e inviernos húmedos, se sitúan los suelos pardos eutróficos.

Como es bien conocido, los productos de alteración de los materiales volcánicos llevan a la formación de alofanos, cuya estabilidad está influenciada por las condiciones de humedad ambiental.

La humedad permanente de la región de los andosoles tiende a

estabilizar estas alofanas que constituyen los minerales dominantes, mientras que los contrastes climáticos que existen en la región de los suelos pardos eutróficos favorecen por desecación del perfil, la evolución de los silicatos amorfos, a formas cristalinas que en este caso están representadas por haloisita.

En los suelos de la zona intermedia se observa la presencia simultánea de alofanas y haloisita.

En la *secuencia de suelos sobre materiales antiguos*, aparecen los suelos ferralíticos, fersialíticos y vertisoles, que presentan un grado de evolución muy avanzado.

Suelos ferralíticos

Como indicamos anteriormente, estos suelos están situados en las zonas de altitud media de la región Norte de la isla de Tenerife, en el mismo piso climático que los andosoles, pero sobre materiales mucho más antiguos.

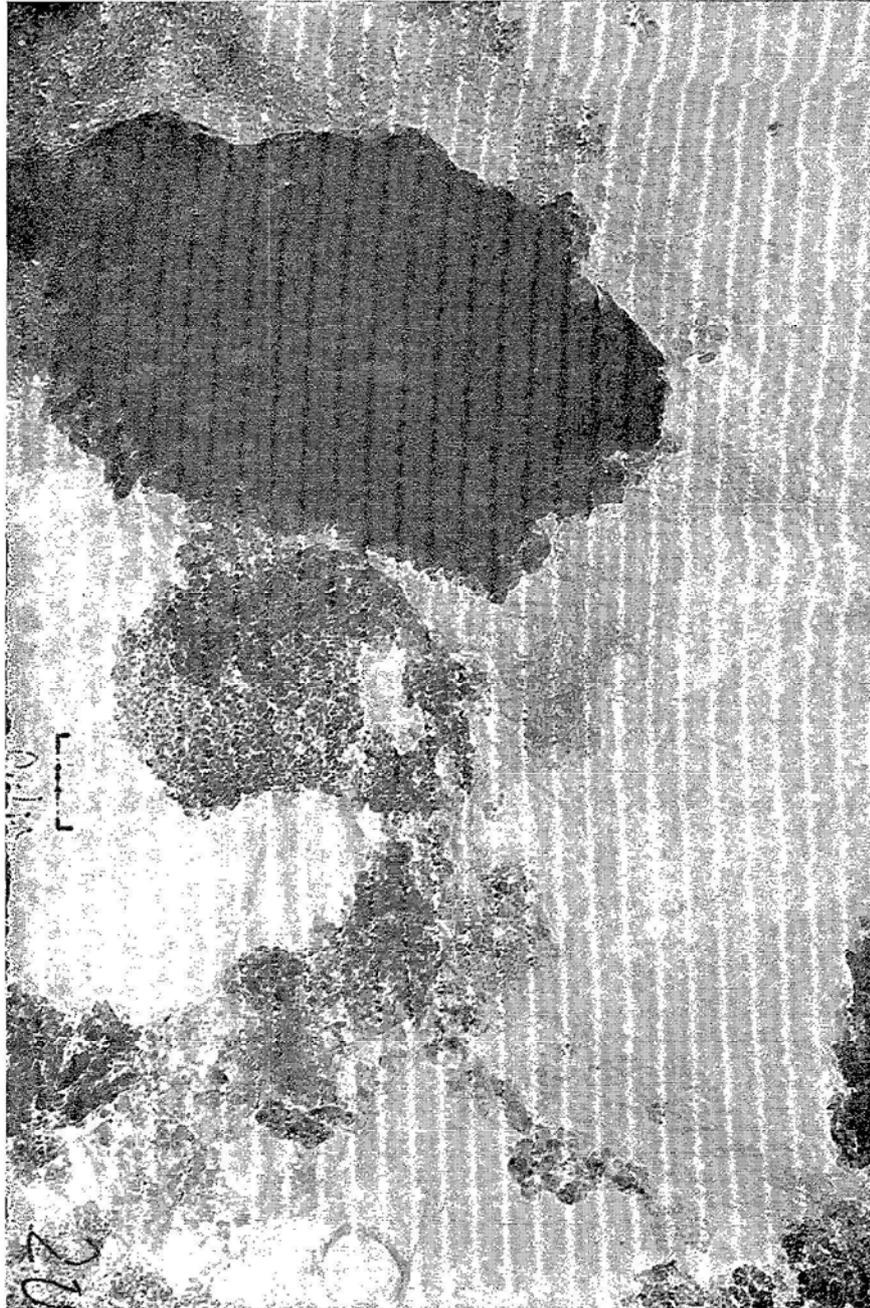
Es importante destacar en estos suelos la complejidad que presentan sus perfiles, debido a fenómenos de rejuvenecimiento. Los suelos ferralíticos están generalmente enterrados por los andosoles o por los suelos pardos ándicos. Se encuentran en la superficie, únicamente en las zonas antiguas muy afectadas por la erosión.

Encontramos por tanto, bajo las mismas condiciones climáticas y sobre rocas volcánicas de igual composición, suelos de naturaleza muy diferente.

Los suelos ferralíticos observados en Tenerife presentan perfiles de tipo A, (B), (B)C, generalmente muy profundos, algunos de los perfiles estudiados tienen más de 4 m.

Morfológicamente debemos destacar la estructura relativamente fina, de tipo poliédrica media, muy friable, una textura netamente arcillosa y una densidad aparente muy baja. En algunos perfiles se han observado concreciones de gibsita que llegan a alcanzar 1 centímetro de diámetro. La gran friabilidad de estos perfiles hace que en algunas ocasiones suelos con un porcentaje muy elevado de arcilla tengan aparentemente una textura limosa.

Son suelos ácidos y moderadamente ácidos. Los contenidos de ma-



Andosol, Imogolita.



Suelo pardo. Halosita glomerular.

teria orgánica son bajos (< 5 por 100) y hay un predominio de ácidos fúlvicos sobre los ácidos húmicos, lo que es característico de una humificación en medio subtropical.

La suma de bases cambiables es muy baja en estos suelos y oscila entre 5 y 7 meq/100 g. aproximadamente, en los más desaturados y alrededor de 12 meq/100 g. en los más saturados. Esta es una de las propiedades más características de este tipo de suelos.

Sin embargo, en general los valores de capacidad de cambio (24 meq/100 g.) de los suelos ferralíticos estudiados en Tenerife, son superiores a los obtenidos en los suelos ferralíticos clásicos (< 16 meq/100 g.), debido a la abundancia de haloisita y a la existencia probable de algo de alofana.

Los minerales primarios fácilmente alterables, prácticamente han desaparecido. Como minerales secundarios se encuentran arcillas haloisíticas y óxidos e hidróxidos de aluminio y de hierro. Fundamentalmente gibsitita y goethita (J. Delvigne, 1965; Y. Chatelin, 1974).

En relación con los materiales de origen, el análisis químico indica una lixiviación importante de sílice y bases, originando una acumulación relativa de alúmina y óxidos de hierro y titanio.

Las características físico-químicas y mineralógicas que acabamos de indicar para estos suelos, ponen de manifiesto un grado de evolución muy avanzado.

Algunas propiedades podrían hacer pensar en andosoles, sin embargo la gran proporción de haloisita así como la baja capacidad de cambio no dependiente del pH les separa netamente de los suelos de aquella tipología.

Los suelos ferralíticos observados en Tenerife, que presentan una capacidad de cambio más elevada de lo esperado para ferralíticos clásicos, han sido igualmente descritos en otras regiones volcánicas del mundo, dada la importancia que la haloisita tiene como producto secundario, en la alteración de los materiales volcánicos (A. Lévêque, 1967; P. Quantin, 1975).

Suelos fersialíticos

Estos suelos en la región Norte se sitúan en cotas inferiores a los suelos ferralíticos. A menudo están rejuvenecidos, aunque con un

espesor menor que en aquéllos, y es más frecuente observarlos en superficie dado que se encuentran en una zona ya antropizada (A. Rodríguez Rodríguez et al., 1978 a, b, c, d, e).

Los suelos fersialíticos presentan mayor diferenciación estructural que los suelos ferralíticos (J. Botelho da Costa, 1959; C. Sys, 1967). La estructura es de tipo poliédrica gruesa o prismática en el horizonte B.

En ocasiones, especialmente en profundidad no se observa correlación entre el tipo de estructura y la composición mineralógica. Es frecuente una estructura vértica, bastante acusada, con un porcentaje mínimo de montmorillonita.

Teniendo en cuenta que las arcillas haloisíticas y las ilitas son las que dominan, se puede hablar de un fenómeno de hinchamiento de estas arcillas.

Una de las características morfológicas principales de estos suelos es el color rojo muy intenso que presenta el horizonte B (2,5 YR 3/6) y su textura francamente arcillosa.

Los suelos fersialíticos más frecuentes en Tenerife presentan perfiles de tipo A, (B), (B)C o A, B, BC. En general el proceso de lavado de arcillas en estos suelos es pequeño para la potencia que presenta el horizonte B (N. Fedoroff et al., 1977; J. Sánchez Díaz et al., 1977).

Los suelos fersialíticos más típicos son en general medianamente saturados, con un contenido en bases cambiables mayor que el observado en el nivel superior y un porcentaje de materia orgánica muy bajo.

El análisis químico indica que la pérdida de sílice es mucho menor que en los suelos ferralíticos.

Debemos destacar el elevado contenido de hierro que presentan estos suelos, que llega incluso a constituir la cuarta parte de la composición química del suelo total, lo que coincide con una gran individualización de hidróxidos de hierro (hematites) que generalmente se encuentran en mayor proporción en las fracciones gruesas.

La fracción inferior a 2μ está formada esencialmente por arcillas haloisíticas, ilita abierta y algo de montmorillonita y a veces minerales arcillosos con comportamiento de interestratificados.

Los minerales primarios se encuentran en un estado avanzado de alteración, aunque sin embargo menor al observado en los suelos fe-

rralíticos y es posible aún observar minerales alterables (A. Rodríguez Rodríguez et al., 1978 f).

La ilita abierta se encuentra en proporciones importantes en todos los perfiles. Al principio se pensó en un origen eólico, sin embargo se encuentra en todos los horizontes, incluso a varios metros de profundidad.

Estos suelos, a veces formados sobre materiales fonolíticos contienen abundantes sanidinas y micas (biotitas), lo que nos permite pensar que la ilita se origina a partir de las micas, mediante un proceso de herencia y degradación.

Vertisoles

Los vertisoles se encuentran situados en la zona más baja de la vertiente Norte. Con frecuencia, la parte superior del suelo se ha formado a partir de coluvios que provienen de zonas más elevadas. Pero la parte inferior puede provenir de la alteración del basalto subyacente (C. M. Rodríguez Hernández, 1976, 1978).

Este grupo de suelos se caracteriza por la dominancia de montmorillonita en su fracción arcilla, que se forma en unas condiciones físico-químicas en las que los iones calcio y magnesio son los dominantes en la solución del suelo y en el complejo de cambio (B. Kallaga, 1966; P. Buringh, 1970; E. C. J. Mohr et al., 1972; G. Bocquier, 1973).

Estos suelos presentan perfiles de tipo A, (B), C. El color es gris oscuro y la consistencia es muy fuerte. En estado húmedo presentan plasticidad y una gran adherencia. Son suelos netamente arcillosos y con estructura prismática en el horizonte (B).

En la superficie de los vertisoles se observa el fenómeno de self-mulching, apareciendo igualmente en período seco las grietas, características de los fenómenos de contracción típicos de las arcillas expansibles que dominan estos suelos.

Estos fenómenos de dilatación y contracción dan lugar igualmente a la aparición de cutanes de presión (slicken-sides), en la superficie de las unidades estructurales.

Los vertisoles estudiados en la región Norte de Tenerife presentan siempre una acumulación friable de carbonato cálcico, en la base del horizonte (B).

Comparando con los otros suelos de la secuencia, el contenido de materia orgánica es mínimo (0,5 por 100), los pH son ya netamente alcalinos (8,6). Su situación topográfica y el déficit pluviométrico durante una gran parte del año favorece la acumulación lateral y vertical, puesta de manifiesto por el elevado contenido de bases cambiables, especialmente calcio, magnesio y eventualmente sodio.

La capacidad de cambio corresponde a una composición mineralógica con predominio de montmorillonita. El análisis químico total pone de manifiesto variaciones muy pequeñas de sílice, alúmina y óxidos de hierro, con relación a la roca madre.

Los minerales secundarios, como ya hemos indicado, están constituidos fundamentalmente por montmorillonita, acompañada de ilita abierta, y algunos minerales caolíníticos (caolinita y metahalosita).

Las grandes extensiones agrícolas en la zona de los vertisoles en esta región Norte de la isla, y las terrazas artificiales utilizadas por los agricultores canarios con suelos transportados desde las zonas montañosas, prácticamente han hecho desaparecer los vertisoles de esta región, exceptuándose las zonas de Bajamar, Buenavista y Teno, donde están bien representados.

La secuencia de suelos que acabamos de estudiar sobre materiales antiguos, obedece igual que la secuencia anterior a la variabilidad climática en las diferentes zonas altitudinales de la isla.

Se observa una evolución desde los suelos ferralíticos en las regiones más húmedas hacia los vertisoles en las más áridas, pasando por una climatología intermedia, más contrastada, en la zona de los suelos fersialíticos.

Los suelos de esta secuencia son los más evolucionados geoquímicamente de los observados en Canarias, su génesis es típicamente tropical. Secuencias análogas se han descrito en las islas volcánicas tropicales, especialmente en las Antillas.

Alteraciones tan desarrolladas como aparecen en los suelos ferralíticos y fersialíticos y acumulaciones tan diferenciadas de carbonato cálcico en los vertisoles, nos hacen pensar que quizá estos suelos se han formado en unas condiciones climáticas más húmedas que las actuales.

Sin embargo, se observa una cierta continuidad en la génesis de los minerales secundarios, al menos en las regiones relativamente

más húmedas, entre los suelos formados sobre materiales recientes y los suelos sobre materiales antiguos de la misma zona climática, concretamente entre los andosoles y los suelos ferralíticos y entre los suelos pardos eutróficos y los suelos fersialíticos.

Es por tanto probable que en la actualidad esta evolución se siga produciendo aunque mucho más lentamente que en ciertas épocas anteriores, probablemente de clima más tropical.

Se puede por tanto hablar, en función del tiempo, de una tendencia a la ferralitización de los andosoles y a la fersialitización de los suelos pardos eutróficos.

Podemos pues, imaginarnos las consecuencias siguientes:

Andosol vítrico → Andosol desaturado → Suelo ferralítico,
en la zona perhúmeda.

Suelo pardo ándico → Suelo pardo eutrófico o mesotrófico →
→ Suelo fersialítico, en clima húmedo y contrastado.

Vemos, por tanto, que las dos climatosecuencias estudiadas en esta región Norte de la isla de Tenerife, sobre materiales recientes y sobre materiales antiguos, forman entre sí una cronosecuencia.

El mismo proceso que lleva a la transformación de los andosoles en suelos ferralíticos, conduciría a la evolución de los suelos fersialíticos a los ferralíticos, hecho confirmado por la existencia de suelos de características próximas a los ferralíticos al mismo nivel altitudinal de los suelos fersialíticos (A. Rodríguez Rodríguez, 1977).

Secuencia de suelos en la vertiente Sur

La secuencia de suelos de la región Sur de la isla de Tenerife, situada fuera de la acción de los vientos alisios y por tanto bajo unas condiciones climáticas mucho más secas que la región Norte, está formada fundamentalmente sobre materiales volcánicos de tipo fonolítico. En la figura 2 se representan las secuencias de suelos, de vegetación y de clima de esta región (P. Quantin et al., 1977).

La secuencia climática estudiada comprende los siguientes tipos de suelos: Suelos pardos ándicos, suelos pardos modales, suelos fersialíticos, vertisoles, suelos marrones y suelos sódicos.

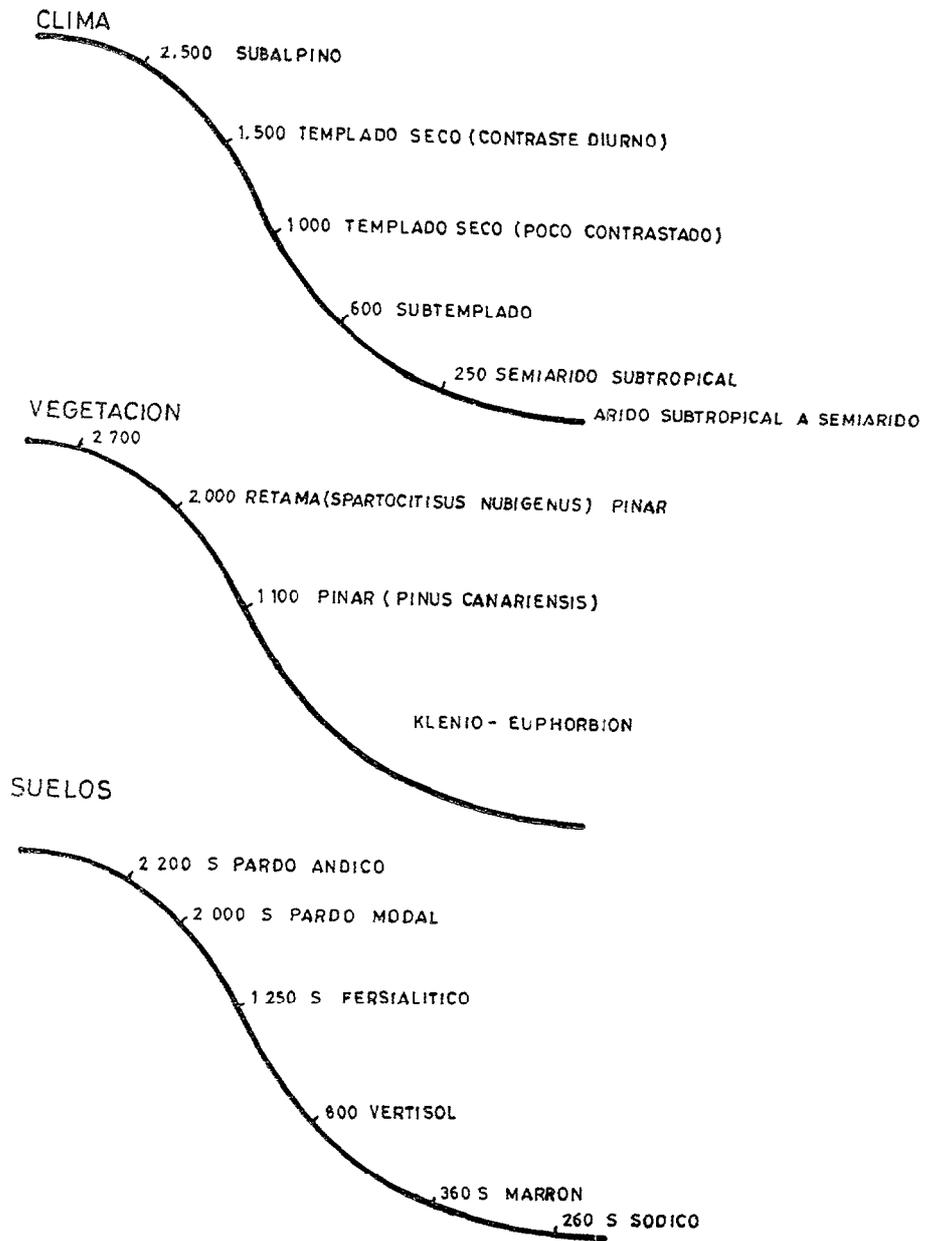


FIG 2

Suelos pardos ándicos

Por encima de los 2.000 m. de altitud, el clima es de tipo subalpino y la vegetación de retamar (*Spartocytisus supranubius* [L.] Webb et Berth.) y pinar (*Pinus canariensis* Chr. Sm. ex DC.).

Los suelos están muy erosionados y próximos a los rankers o litosoles de erosión. Algunos suelos más diferenciados presentan un perfil complejo con caracteres de suelos pardos oligotróficos en profundidad y de suelos pardos ándicos en superficie.

Este tipo de perfiles complejos es sustituido a medida que nos acercamos a las Cañadas del Teide por perfiles formados por superposición de andosoles poco diferenciados, vítricos.

Estos suelos situados en la región subalpina son comunes a las dos vertientes de la isla.

Los suelos pardos ándicos de superficie son suelos de perfil poco diferenciado y poco desarrollado, generalmente de tipo A, (B)C. Presentan una estructura particular o grumosa fina en superficie y continua o poliédrica fina en profundidad.

Los valores de materia orgánica son elevados, y ésta aparece íntimamente ligada a la materia mineral.

La capacidad de cambio aproximadamente de 25 meq/100 g. indica una proporción pequeña de alofana y por el contrario valores importantes de arcillas haloisíticas.

Los productos secundarios de estos suelos son fundamentalmente haloisita bien cristalizada, junto con algo de montmorillonita en superficie. Se han observado igualmente compuestos alofánicos aunque en pequeña proporción, ya que las condiciones climáticas contrastadas, en lo que se refiere a pluviometría y temperatura, favorecen la evolución de las formas amorfas a cristalinas.

Entre los compuestos residuales de alteración se distingue igualmente goethita y hematites. Hay abundantes minerales primarios, especialmente en superficie, lo que prueba su rejuvenecimiento.

Se trata por tanto de suelos poco diferenciados, en curso de evolución, a causa del carácter reciente del material o de la intensa erosión. Sin embargo, debido a las condiciones climáticas, los minerales secundarios están constituidos fundamentalmente por haloisita.

Suelos pardos modales

Estos suelos se encuentran en un piso inferior a los suelos pardos ándicos. En un clima relativamente más húmedo y más cálido y con una vegetación dominada por el *Pinus canariensis* Chr. Sm. ex DC. (L. Ceballos et al., 1976).

Se tratan de los suelos pardos más típicos observados en la isla. Presentan ya una diferenciación neta con perfiles de tipo A, (B), (B)C.

La estructura es grumosa en superficie y poliédrica gruesa en el horizonte (B). La consistencia es fuerte en todo el perfil.

Muy característico de los suelos de esta tipología es la presencia de un humus de tipo «mull» de intensa actividad biológica, íntimamente ligado a la materia mineral, un horizonte (B) con un contenido muy bajo de materia orgánica y un pH cercano a la neutralidad (J. Boulaine, 1957; A. Ruellan, 1971).

El contenido en bases cambiables es superior al de los suelos anteriores siendo el calcio el catión dominante. El grado de saturación oscila entre 31-33 por 100 en superficie y 56 por 100 en profundidad.

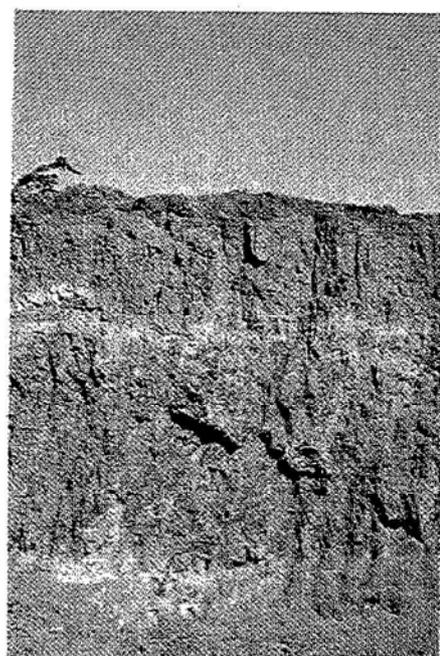
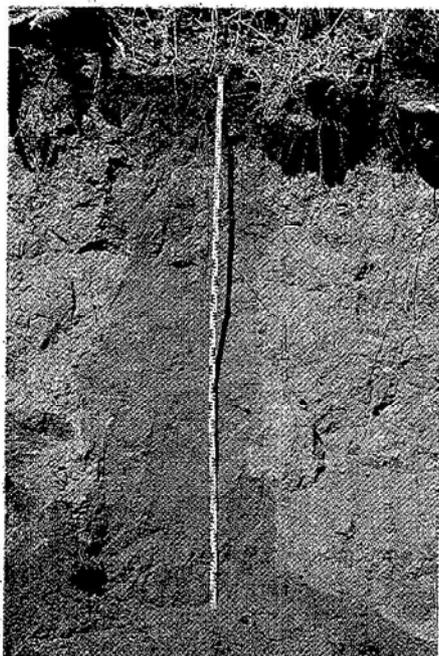
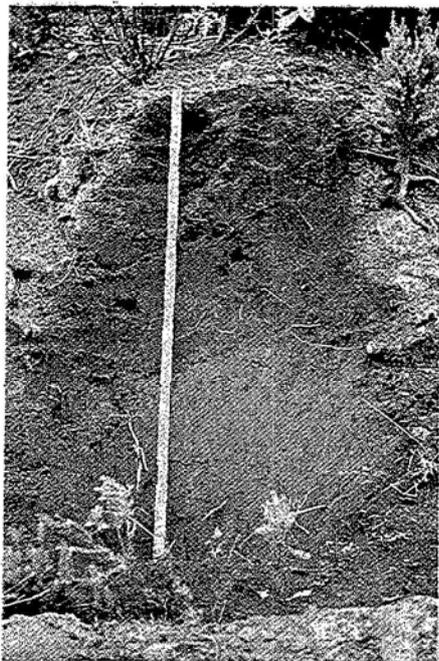
Los valores de Fe_2O_3 son más elevados en estos suelos, que los que corresponden a los pardos ándicos. El análisis químico de la fracción fina del suelo indica la importancia de este elemento entre los productos secundarios.

El contenido de arcilla, elevado, es un índice de un mayor grado de alteración.

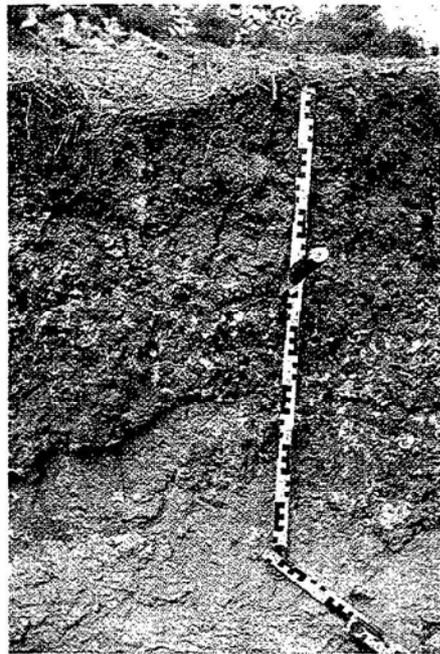
La matahaloisita es el producto secundario principal, acompañada de cantidades menores de haloisita hidratada, caolinita y minerales con comportamiento de arcillas interstratificadas. La montmorillonita suele aparecer igualmente en estos suelos, especialmente en los horizontes superficiales, así como algo de ilita.

Las condiciones que se observan en estos suelos, de medio biológicamente activo, con un humus de tipo «mull», contenido relativamente elevado en cationes y en hierro y una fracción fina importante constituida principalmente por matahaloisita, favorecen la formación de un complejo arcilla-humus-hierro que caracteriza el proceso de la pardificación.

En algunos conos volcánicos muy recientes que se encuentran en



Superior izquierda: Andosol. Derecha: Suelo pardo eutrófico.—Inferior izquierda: Suelo ferralítico. Derecha: Suelo fersialítico.



Superior izquierda: Vertisol. *Derecha:* Suelo pardo modal.—*Inferior izquierda:* Suelo marrón. *Derecha:* Suelo sódico.

esta franja de suelos pardos, los suelos están aún poco diferenciados y recuerdan a los andosoles vítricos.

Suelos fersialíticos

Los suelos fersialíticos de la región Sur de Tenerife se sitúan a altitudes más elevadas (1.250 m.) que los observados en la región Norte. Como la mayor parte de aquéllos, están también sometidos a cultivos intensivos, pero en este caso están recubiertos artificialmente con materiales fonolíticos de tipo piedra pómez, para evitar la evaporación.

Las diferencias fundamentales con los perfiles de la misma tipología de la región septentrional son: un grado de desarrollo mucho menor, color rojo menos intenso, pH próximo a la neutralidad y un mayor porcentaje de saturación.

La capacidad de cambio es menor, ya que en este caso predominan las ilitas abiertas, probablemente hacia vermiculita. La textura es igualmente arcillosa, pero la estructura está mucho menos marcada. La argilificación del horizonte (B) se produce por alteración «in situ» del material de origen, no observándose en estos perfiles fenómenos de iluviación.

Si tenemos en cuenta que estos suelos están situados en una zona donde la pluviometría es de aproximadamente 400 mm. anuales, que la abertura de la ilita, según algunos autores se produce a precipitaciones superiores a 1.000 mm., y que no existen acumulaciones de carbonatos ni de sales, podemos pensar que estos suelos se han formado en unas condiciones climáticas cuantitativamente diferentes a las actuales (N. Fedoroff, 1966).

Vertisoles

Estos suelos son similares a los vertisoles observados en la región Norte de la isla, por lo que no haremos muchas consideraciones sobre ellos.

Unicamente resaltar, que igualmente que en el caso de los suelos fersialíticos, los vertisoles de la región meridional alcanzan altitudes mucho mayores, concretamente se ha estudiado un perfil a 800 metros de altitud.

Este desfase en altitud, de los suelos con respecto a la vertiente Norte, es consecuencia de una climatología más árida.

Los perfiles están menos desarrollados, son menos profundos, la acumulación de carbonato cálcico es menos marcada y no se observa en ningún caso un horizonte moteado hidromorfo, que aparece en algunos suelos de esta misma tipología en la región Norte.

A estos suelos se pueden aplicar las mismas consideraciones respecto al clima actual que se hacían en los suelos fersialíticos.

Suelos marrones

Están situados en altitudes próximas a los 300 m., generalmente antropizados y probablemente erosionados en superficie.

Son suelos de perfil A_p, B_{ca}, C. Respecto a su morfología conviene destacar el color rojizo del horizonte B, que se acentúa con la disminución del contenido en carbonato. Este horizonte presenta una estructura prismática o poliédrica gruesa y su textura es arcillosa.

Están débilmente carbonatados en superficie y presentan un máximo de diferenciación calcárea en la zona media del perfil, bajo forma de nódulos o micelios. En algunos perfiles es posible observar en profundidad costras calizas friables (A. Ruellan, 1971). Es muy frecuente en esta región la presencia de basalto recubierto de láminas de carbonato cálcico.

El contenido de materia orgánica es muy bajo, en general inferior al 1 por 100. El porcentaje de bases cambiables es importante, especialmente calcio y magnesio. Debemos señalar que en general el sodio representa más del 15 por 100 de la capacidad de cambio, lo que junto a los elevados valores de pH indica una alcalinización de los suelos, que afecta sobre todo a los horizontes profundos. La conductividad puede alcanzar también valores importantes (8 mhos/cm.)

Esta salinidad es debida, por una parte a la alteración del material, de tipo fonolítico, por tanto rico en sodio y potasio y por otra a la influencia marina, manifestada por la correlación entre los contenidos de sodio y cloro.

Estos fenómenos de alcalinización y salinización en profundidad podría hacernos pensar en suelos halomorfos, sin embargo la morfología del perfil no refleja los fenómenos de halomorfía, por lo que han sido clasificados dentro de otra tipología.

No se han observado revestimientos arcillosos en el horizonte B, como consecuencia del estado muy flocculado de las arcillas, provocado por la concentración elevada de iones calcio, lo que hace que su desplazamiento vertical sea muy difícil especialmente en un medio donde la pluviometría es poco intensa.

En la mineralogía de estos suelos domina la montmorillonita, acompañada de pequeñas cantidades de minerales caoliníticos en algunos casos, clorita, goethita fina y hematites (H. Paquet, 1969).

Debemos señalar la presencia de pequeñas proporciones de minerales fibrosos de tipo sepiolita-atapulgita en los horizontes más carbonatados, debido a una neoformación (C. M. Rodríguez Hernández et al., 1976; C. Rodríguez Pascual et al., 1978).

Algunas capas de cenizas volcánicas, procedentes de erupciones fonolíticas antiguas, han recubierto varios de estos suelos, lo que nos indica la antigüedad de su génesis. La datación de uno de los nódulos calizos de uno de estos suelos enterrados nos permite atribuirles una edad de 19.000 ± 400 años (G. Delibras, Comunicación privada).

Suelos sódicos

Se encuentran situados en la zona climática más árida de la secuencia (V. Pérez García et al., 1975).

En general son suelos coluviales, con perfil complejo formado por la superposición de varios suelos, con diferenciación de carbonato cálcico y de yeso. Los nódulos de yeso se observan fundamentalmente en profundidad (J. Sánchez Díaz et al., 1976).

Como carácter morfológico debemos señalar la estructura columnar no muy desarrollada que presenta el horizonte B de estos suelos.

Son suelos francamente alcalinos (pH 9). Los valores de calcio y magnesio son importantes, sin embargo conviene destacar la saturación muy elevada en sodio que presenta el complejo de cambio ($Na/T = 50$ por 100) (E. Fernández Caldas et al., 1971 b) y que ya afecta a la morfología del perfil.

Los valores de la conductividad y sales solubles, en especial sodio y cloro, son claramente superiores a los observados en los suelos precedentes, e indican ya una neta salinización del suelo. Hay apro-

ximadamente 2 g. de sales solubles y la conductividad oscila entre 12 y 20 mhos/cm. (E. Fernández Caldas et al., 1969, 1973 c).

La arcilla predominante es la montmorillonita y está acompañada de pequeñas cantidades de minerales caoliníticos (caolinita y meta-haloisita) y de ilita.

Se han encontrado minerales fibrosos de tipo atapulgita-sepiolita en mayor proporción que en los suelos marrones. La presencia de atapulgita por un proceso de neoformación está ligada no solamente al contenido elevado de carbonato cálcico sino también a proporciones importantes de sodio.

No se han encontrado en estos suelos indicios de iluviación de arcillas.

Las acumulaciones de carbonato cálcico se han formado probablemente a partir de los materiales originarios, junto con posibles contribuciones del lavado lateral, en condiciones de clima más húmedo que el actual, alternando con estaciones secas.

Todas estas circunstancias hacen pensar que estos suelos se han formado en unas condiciones climáticas más húmedas que las actuales, y que posteriormente el suelo ha sido sometido a una gran aridización, por lo que podemos considerar que la concentración tan elevada de sales en el suelo es un proceso secundario actual.

Se han realizado dataciones de varias de las costras calizas que aparecen superpuestas en estos suelos, concretamente las más superficiales presentan una edad de 22.200 ± 600 años, de 31.000 años aproximadamente las segundas y de 33.000 años o más para la tercera, lo que confirma la antigüedad de estos suelos.

También en esta secuencia el responsable de la diferenciación altitudinal es el clima.

Se observan dos zonas perfectamente diferenciadas en cuanto a los productos de alteración: una zona superior de reacción ácida, que comprende los suelos pardos ándicos, los suelos pardos modales y los suelos fersialíticos, constituidos esencialmente por arcillas de neoformación haloisíticas y de transformación derivadas de las ilitas. Y una segunda zona más baja que comprende los vertisoles, los suelos marrones y los suelos sódicos, constituidos por montmorillonitas de neoformación y un poco de haloisita e ilita.

Respecto a la evolución geoquímica en la secuencia, el valor de



Suelo sódico. Atapulgita.

la relación sílice/alúmina de la fracción inferior a 2μ manifiesta también una evolución muy característica. Es próxima a 2,5 en el horizonte (B) del suelo pardo, en lo alto de la secuencia y llega a 4-4,5 en el suelo marrón, en la zona baja.

Esto significa que la alteración encadena una desilicificación bastante acusada del material de origen en las condiciones más húmedas, que son las de los suelos pardos, y al contrario este fenómeno disminuye, y es ya muy débil en los suelos marrones de clima sub-árido.

Correlativamente los contenidos en óxidos de hierro, aluminio y titanio son relativamente dos veces mayores en los suelos pardos que en los suelos marrones.

Conviene destacar que la formación de los suelos fersialíticos, vertisoles y suelos marrones, exige condiciones climáticas que no corresponden a las actuales y por tanto han debido formarse en épocas de mayor contraste climático y sobre todo de mayor pluviometría.

En el caso de los suelos sódicos, la aridez actual del clima, con una intensa evaporación y la situación en la parte inferior de la secuencia, ha contribuido a una evolución de los suelos marrones hacia suelos sódicos.

Es interesante la similitud de los suelos de esta climatosecuencia del Sur de Tenerife sobre rocas volcánicas, con los suelos formados en condiciones climáticas análogas, pero sobre rocas sedimentarias en Africa del Norte y en la Cuenca mediterránea (J. Boulaine, 1957; A. Ruellan, 1971).

CONCLUSIONES

El resultado del estudio de estas tres climatosecuencias muestra aparentemente una buena correspondencia entre las diferentes zonas bioclimáticas y la distribución de los suelos en las Islas Canarias.

En ellas se resalta la evolución de las características de los suelos desde las zonas más húmedas a las más áridas. Sin embargo, la comparación de los suelos recientes con los más antiguos pone en evidencia un cierto desfase entre los procesos actuales y los anteriores.

En la zona perhúmeda y húmeda contrastada de la región Norte

de la isla hemos pensado, como indicamos anteriormente, en las siguientes secuencias cronológicas:

Andosol vítrico → Andosol desaturado → Suelo ferralítico.

Suelo pardo ándico → Suelo pardo eutrófico o mesotrófico →
→ Suelo fersialítico.

En la parte inferior de las secuencias septentrional y meridional es preciso emitir la hipótesis de un período climático anterior más húmedo, que haya permitido la alteración de los materiales y la síntesis de arcilla. Posteriormente, el clima se ha hecho más árido y ha permitido las acumulaciones de carbonato cálcico, de yeso y la alcalinización de los suelos.

La comparación de las climatosecuencias Norte y Sur de Tenerife puede llevar a consecuencias importantes, ya que al ser la secuencia climática Norte relativamente húmeda, análoga a las secuencias tropicales, y la secuencia Sur más árida, similar a las observadas en las zonas del Norte de África y mediterráneas, nos permite establecer un puente de unión entre los conocimientos actuales sobre la génesis de los suelos tropicales y la de los suelos mediterráneos.

BIBLIOGRAFIA

1. Abdel Monem, A.; Watkins, S. D., and 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
2. Alvarez González, 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
3. Bates, T. F. (1960). *Rock weathering and clay formation in Hawaii*, «Mineral Ind», 29 (8), págs. 4-6.
4. Benayas, J.; Alonso, J., and Fernández 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

- 5 Besoain, E. M. (1964): *Clay formation in some Chilean soils derived from volcanic materials*, «New Zeal Jour. Sci», 7, págs. 79-86.
- 6 Bocquer, G. (1973): *Génèse et évolution de deux toposéquences de sols tropicaux du Tchad* *Interprétation biogéodynamique*. Mém. ORSTOM, 62, 350 págs.
7. 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
8. Borges Pérez, 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.
9. Botelho da Costa, J. (1959): *Ferrallitic, tropical fersiallitic and tropical semi-arid soils*, «C R. III Conf. Interafr. Sols.», Dalaba, págs. 371-419.
- 10 Boulaine, J. (1977): *Etude des sols des plaines du Chélf*. Thèse Sci., Alger, Ser. Et. Scient., 582 págs.
- 11 Bravo Rodríguez, 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.
12. Bruckert, S.; Hetier, J. M., et Gutiérrez Jerez, F. (1974): *Dynamique de l'humification des Andosols du Massif Central Français et des Iles Canaries: caractérisation physico-chimique des complexes organo-minéraux*, «Sc. du Sol.», núm. 4, págs. 225-245.
13. Buringh, P. (1970): *Introduction to the study of soils in Tropical and Subtropical regions*. Wageningen Center for Agricultural Publishing and Documentation.
- 14 Cabezas Viaño, J. O. (1975): *Estudio mineralógico de Andosoles de las Islas Canarias* Tesis Doctoral Departamento de Edafología Universidad de La Laguna (Canarias) 283 págs
- 15 Cabezas Viaño, J. O.; Hernández Moreno, J. M.; Tejedor Salguero, M. L., y Fernández Caldas, E. (1977): *Características mineralógicas de la fracción arena en una secuencia cronológica de Andosoles de las Islas Canarias*, «Anales de Edaf. y Agrob.», XXXVI, 7-8, págs. 787-803
16. Ceballos, L., y Ortuño, F. (1976): *Vegetación y flora forestal de las Canarias Occidentales*. Excmo Cabildo Insular, Santa Cruz de Tenerife, 433 págs
- 17 Chateln, Y. (1974): *Les sols ferrallitiques III) Altération*, «Document techniq.», núm 24, ORSTOM (Paris), 144 págs
- 18 C P C. S. (1967): *Classification des sols*. ENSA, Grignon-78 (Francia), 96 págs.
19. Delvigne, J. (1965): *Pédogénèse en zone tropicale. La formation des minéraux secondaires en milieu ferrallitique*. Mém. ORSTOM, 13, 177 páginas

- 20 Díaz Domínguez, 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.
- 21 Díaz Domínguez, A.; Fernández Caldas, E.; García García, V., y Robles, J. (1976): *Los oligoelementos Fe, Mn, Zn y Cu en el plátano: factores que influyen en sus niveles foliares*, «Revista Agroquímica», vol XX, núm. 6, Itaha (Centro de Edaf. y Biol. Apl de Tenerife)
- 22 Duchaufour, P. (1975): *Manuel de Edafología*. Traducción española por T. Carballas. Toray-Masson, Barcelona, 476 págs.
- 23 Dudal, R. (1967): *Suelos arcillosos oscuros de las regiones tropicales y subtropicales* FAO, «Cuadernos de Fomento Agropecuario», núm 83, 172 págs.
- 24 Fedoroff, N. (1966): *Sols rouges à la limite nord du bassin méditerranéen*. C. R. Conf. Suelos Medit. Madrid, págs. 443-451.
- 25 Fedoroff, N., et Rodríguez Rodríguez, A. (1977): *Micromorphologie des sols rouges de Tenerife et de La Palma (Iles Canaries)*. Comparaison avec les sols rouges méditerranéens. V Intern. Work Meet on Soil Micromorph (M. Delgado Ed.). Granada, España.
- 26 Fernández Caldas, E., and Pérez García, V. (1969): *The subterranean waters of Tenerife. I) Origin and chemical characteristics*, «Talanta», V, 16, págs. 1067-1078 (Centro de Edaf. y Biol. de Tenerife).
- 27 Fernández Caldas, E., et García García, V. (1970): *Contribution à l'étude de la fertilité des sols de bananiers de l'île de Tenerife*, «Fruits» 25, núm. 3, págs. 175-185 (Centro de Edaf. y Biol. Apl de Tenerife).
- 28 Fernández Caldas, E., y Guerra Delgado, A (1971 a): *Condiciones de formación y evolución de los suelos de Tenerife*, «Anales de Edaf. y Agrob.», XXX, 5-6, págs. 565.
- 29 Fernández Caldas, E.; Pérez García, V., et Borges Pérez, A. (1971 b): *Tolerance du bananier aux eaux bicarbonatées (eaux souterraines de Tenerife)*, «Fruits», 26, núm 1 (Centro de Edaf. y Biol Apl. de Tenerife).
- 30 Fernández Caldas, E.; García García, V.; Gutiérrez Jerez, F., et Bravo Rodríguez, J. J (1971 c): *Etude comparative de la fertilité des sols de bananeraies aux îles Canaries*, «Fruits», 26, núm. 9 (Centro de Edaf y Biol Apl. de Tenerife)
- 31 Fernández Caldas, E., et Borges Pérez, A. (1971 d): *Les reserves de potassium dans les sols de bananeraies aux Canaries*, «Fruits», 26, número 10 (Centro de Edaf y Biol Apl. de Tenerife).
- 32 Fernández Caldas, E., y Gutiérrez Jerez, F. (1971 e): *La materia orgánica en Andosoles de diferentes regiones climáticas de Tenerife*, «Anales de Edaf. y Agrob.» (Centro de Edaf. y Biol Apl. de Tenerife), XXX, 7-8.
- 33 Fernández Caldas, E., et García García, V. (1972): *Etude sur la nutrition du bananier aux îles Canaries I) Effect de la nutrition azo-*

- tée sur la circonference du pseudo-tronc*, «Fruits», 27, núm. 7-8 (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife).
34. Fernández Caldas, E., et Borges Pérez, A. (1973 a): *Interrelations entre divers indices du potassium assimilable dans les sols de bananeraies*, «Fruits», 28, núm. 3 (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife).
 35. Fernández Caldas, E.; García García, V., et Pérez García, V. (1973 b): *Etude de l'état nutritionnel du bananier aux îles Canaries. II) Interactions entre cations*, «Fruits», 28, núm. 5 (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife).
 36. Fernández Caldas, E.; Pérez García, V., y García García, V. (1973 c): *Estudio de los métodos empleados en la caracterización de los suelos salinos y alcalinos de las Islas Canarias*, «Anales de Edaf. y Agrob.» (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife), XXXII, 5-6.
 37. Fernández Caldas, E., und Schwaighofer, B. (1974 a): *Mineralumwandlung im Zuge der Genese der Kanarischen Andosol (Tenerife)*. Aus den Sitzungsberichten der Osterr. Akademie der Wissenschaften, Mathem naturw
 38. Fernández Caldas, E., y Pérez García, V. (1974 b): *Características químicas de las aguas subterráneas de las Islas Canarias Occidentales (Tenerife, La Palma, Gomera y El Hierro)*, Aula de Cultura de Tenerife (Santa Cruz de Tenerife) 181 págs
 39. Fernández Caldas, E.; Monturiol Rodríguez, F., y Gutiérrez Jerez, F. (1974 c): *Distribución y caracterización de los suelos canarios. II) Isla del Hierro*, «Anales de Edaf. y Agrob.», XXX, 5-6.
 40. Fernández Caldas, E.; Monturiol Rodríguez, F., y Gutiérrez Jerez, F. (1974 d): *Distribución y caracterización de los suelos canarios. III) Isla de La Gomera*, «Anales de Edaf. y Agrob.», XXXIII, 7-8.
 41. Fernández Caldas, E.; Hernández Moreno, J. M., y Borges Pérez, A. (1975 a): *Relaciones Q/I de potasio en diferentes tipos de suelos de la isla de Tenerife*, «Revista de la Potasa», Sec. 4, 58 a, 4 (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife).
 42. Fernández Caldas, E., y Tejedor Salguero, M. L. (1975 b). *Andosoles de las Islas Canarias*. Serv. de Publ. de la Caja Gral. de Ahorros de Santa Cruz de Tenerife, 207 págs
 43. Fernández Caldas, E.; Díaz Domínguez, A.; Robles, J., y García García, V. (1976): *Factores que afectan a la asimilabilidad del potasio en los suelos de plátanos de Tenerife*, «Revista de la Potasa», Sec. 5, 12 (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife).
 44. Fernández Caldas, E.; Pérez Méndez, J. A.; Gutiérrez Jerez, F., y Borges Pérez, A. (1977 a): *Estudio de formas y cantidades de fósforo en suelos naturales de las islas Canarias*, «Revista Agroquímica» 21-27, págs. 356, Itaha (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife).
 45. Fernández Caldas, E.; Tejedor Salguero, M. L., et Quantin, P. (1977 b): *Séquence climatique des sols anciens de la région septentrionale de Tenerife (Iles Canaries). 1^{re} Partie: Caractéristiques morphologi-*

- ques et physico-chimiques*. Cahiers ORSTOM, Sér Pédologie (en prensa).
46. Fieldes, M. (1955): *Allophane and related mineral colloids*, «N. Z. J. Sci. Techn.», B, 37, págs. 336-350
 47. Font-Tullos, I. (1956): *El tiempo atmosférico en las Islas Canarias*, «Serv. Meteor. Nac. Public.», Ser. A. (Memorias), núm. 26, Madrid.
 48. Fuster, J. M.; Araña, V.; Brande, J. L.; Navarro, M.; Alonso, V., y Aparicio, A. (1968): *Geología y volcanología de las Islas Canarias Tenerife*, Instituto «Lucas Mallada», CSIC, Madrid, 218 págs.
 49. García García, V.; Fernández Caldas, E.; Alvarez González, C. E., y Robles, J. (1975): *Desequilibrios potásicos-magnésicos dans les cultures de bananiers de Tenerife*. Seminario Internacional de Análisis foliar. Tenerife. Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife.
 50. García García, V.; Fernández Caldas, E.; Díaz Domínguez, A., y Alvarez González, C. E. (1976): *Efecto de la nutrición potásica en la nutrición del plátano*, «Revista Agroquímica», Italia (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife).
 51. García López, L. (1978): *Estudio morfológico, físico-químico, mineralógico y micromorfológico de los suelos ferralíticos de las Islas Canarias*. Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Canarias). En preparación.
 52. Gense, C. (1976): *L'altération des roches volcaniques basiques sur la côte orientale de Madagascar et à La Réunion*. Thèse, Univ. Strasbourg, 175 págs.
 53. Hausen, H. (1956) *Contribution to the geology of Tenerife (Canary Islands)*, «Tennica», XVIII, Helsingfors.
 54. Hernández 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, 224 págs.
 55. Hernández Moreno, J. M.; Fernández Caldas, E.; Borges Pérez, A., y Trujillo Jacinto, I. (1977): *Parámetros Q/I de potasio en diferentes tipos de Andepts de las Islas Canarias*, «Revista Agroquímica», XX, 4-5, págs. 364-372 (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife)
 56. Hoyos, A. (1945): *Condiciones de formación de los suelos canarios*, «Anales de Edaf. y Agrob.», IV, págs. 3-65
 57. Hoyos, A. (1948): *Contribución al estudio de los suelos canarios*, «Anales de Edaf. y Agrob.», VII, págs. 257-271.
 58. Huetz de Lemps, A. (1969): *Le climat des îles Canaries*. Publ. Fac. Lett.-Sci. Hum., Paris-Sorbonne, Sér. Recherches, 54
 59. Kaloga, B. (1966): *Etude pédologique des bassins versants des Volta blanche et rouge en Haute Volta, 2ème partie. Les Vertisols*, «Cah. ORSTOM», Sér. Pédologie, IV (3), 29
 60. Kubiena, W. L. (1956): *Materialien zur Geschichte der Bodenbildung auf den Westkanaren* VI Congr. Int. Sci. Sol., Paris (38), págs. 241-246.

61. Lamouroux, M (1971): *Etude des sols formés sur roches carbonatées. Pédogénèse fersiallitique au Liban*. Thèse Univ. Strasbourg, 314 págs.
62. Maignien, R. (1966): *Compte-rendu de recherches sur les laterites*, «Rech sur les Ressourc. Natur.», IV, UNESCO, 155 págs.
63. Mohr, E. C. J.; Van Baren, F. A., and Van Schuylenborgh (1972): *Vertisols. Tropical soils*. Publ. Mouton-Ichtiar Baru-Van Hoeve, Hague, 481 págs.
64. Paquet, H. (1969). *Evolution géochimique des minéraux argileux dans les altérations et les sols des climats méditerranéens et tropicaux à saisons contrastées*. Thèse Sci. Strasbourg, 348 págs.
65. Pérez García, 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 (Canarias). 268 págs.
66. Pérez García, V.; Fernández Caldas, E, y García García, V. (1975): *Distribución y características de los suelos salinos de la isla de Tenerife*, «Anales de Edaf. y Agrob.» (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife), XXXIV, 7-8.
67. Pérez Méndez, J. A. (1976): *Estudio sobre el estado del fósforo en Andosoles de las Islas Canarias*. Tesis Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Canarias). 450 págs.
68. Pérez Méndez, J. A.; Fernández Caldas, E.; Gutiérrez Jerez, F., et Trujillo Jacinto, I (1977 a): *Etude comparative des méthodes pour la détermination du phosphore total dans différents types d'Andepts*, «Science du Sol.» (en prensa) (Centro de Edaf y Biol. Apl de Tenerife).
69. Pérez Méndez, J. A.; Gutiérrez Jerez, F.; Fernández Caldas, E., y Trujillo Jacinto, I. (1977 b): *Los fosfatos inorgánicos en relación con el grado de evolución de los Andepts*, «Anales de Edaf. y Agrob.» (en prensa) (Centro de Edaf y Biol. Apl de Tenerife).
70. Quantin, P. (1971) *Les andosols*, «Rev Bibliog des Connaiss. Actuel», octubre, 13 págs.
71. Quantin, P. (1975): *Observations sur les sols de Tenerife, Lanzarote et La Palma*. Doc. Ronéo ORSTOM, 56 págs.
72. Quantin, P.; Fernández Caldas, E.; Gutiérrez Jerez, F.; Tejedor Salguero, M. L., et Dehbras, 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. Fran», 426, págs 211-217
73. Quantin, P, et Tejedor Salguero, M L. (1976): *Séquence chronologique et climatique de sols sur roches volcaniques aux îles Canaries*. Com. oral, AFES, el 2-XII-76.
74. Quantin, P.; Fernández Caldas, E., et Tejedor Salguero, M. L. (1977): *Climatoséquence de la region méridionale de l'île de Tenerife (Iles*

- Canaries). 1ere partie: *Ecologie, morphologie, caracteristiques physico-Chimiques*, «Cahiers ORSTOM», Sér. Pédologie (en prensa).
75. Quantin, P.; Fernández Caldas, E, and Tejedor Salguero, M L. (1978): *Climatic sequences of volcanic soils in the Canary Islands* 11th ISSS Congress, Edmonton, Canadá.
76. Rodríguez Hernández, C. M. (1976): *Estudio de los vertisoles y suelos con carácter vértico de las Islas Canarias Occidentales (Tenerife, La Palma y La Gomera)* Tesis Doctoral. Departamento de Edafología Universidad de La Laguna (Canarias), 396 págs.
77. Rodríguez Hernández, C. M ; Fernández Caldas, E.; Quantin, P, et Rodríguez Pascual, C. (1976): *Signification pédogénétique de l'atapul-gite d'un sol à différenciation saline de Tenerife (Iles Canarias), provenant d'altérations de basalte*. III Réunion Annuelle des Sciences de la Terre, Paris.
78. Rodríguez Hernández, C. M., y Fernández Caldas, E. (1977): *Vertisoles formados sobre materiales volcánicos (Islas Canarias). Características generales de estos suelos*, «Anuario del Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Salamanca», 1977 (Centro de Edaf y Biol. Ap. de Tenerife)
79. Rodríguez Hernández, C. M.; Fernández Caldas, E., et Fedoroff, N. (1978): *Les vertisols des Iles Canarias Occidentales. Etude physico-chimique, minéralogique et micromorphologique*, «Pédologie» (en prensa).
80. Rodríguez Pascual, C.; Fernández Caldas, E ; Rodríguez Hernández, C M, and Hernández 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
81. Rodríguez Rodríguez, 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 (Canarias), 519 págs.
82. Rodríguez Rodríguez, A.; Tejedor Salguero, M. L, and Fernández Caldas, E (1978 a) · *Fersiallitic soils on volcanic ash from Tenerife (Canary Islands). I) Without argillic horizon*, «Geoderma» (en prensa) (Centro de Edaf y Biol. Apl. de Tenerife).
83. Rodríguez Rodríguez, A ; Tejedor Salguero, M. L., and Fernández Caldas, E. (1978 b): *Fersiallitic soils on volcanic ash from Tenerife (Canary Islands). II) With argillic horizon*, «Geoderma» (en prensa) (Centro de Edaf. y Biol Apl de Tenerife)
84. Rodríguez Rodríguez, A.; Tejedor Salguero, M. L., y Fernández Caldas, E. (1978 c): *Características generales de los suelos fersialíticos de las Islas Canarias*, «Anales de Edaf y Agrob.» (en prensa) (Centro de Edaf. y Biol Apl de Tenerife)
85. Rodríguez Rodríguez, A ; Tejedor Salguero, M L., y Fernández Caldas, E. (1978 d): *Suelos fersialíticos sobre cenizas volcánicas I) Ca-*

- racterísticas morfológicas y físico-químicas*, «Anales de Edaf. y Agrob.» (en prensa) (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife).
86. Rodríguez Rodríguez, A.; Tejedor Salguero, M. L., y Fernández Caldas, E. (1978 e): *Suelos fersialíticos sobre lapillis basálticos. I) Características morfológicas y físico-químicas*, «Anales de Edaf. y Agrob.» (en prensa) (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife).
 87. Rodríguez Rodríguez, A.; Fedoroff, N.; Tejedor Salguero, M. L., y Fernández Caldas, E. (1978 f): *Observaciones preliminares sobre la alteración en los suelos fersialíticos sobre materiales volcánicos (Islas Canarias)*, «Anales de Edaf. y Agrob.» (en prensa).
 88. Rodríguez Romero, M. J. (1976): *Microflora fúngica en Andosoles de Tenerife*. Memoria de Licenciatura. Departamento de Edafología Universidad de La Laguna (Canarias), 120 págs.
 89. 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», núm. 54, 302 págs
 90. Sánchez 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.
 91. Sánchez 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.
 92. Sánchez Díaz, J (1975): *Características y distribución de los suelos en la isla de Gran Canaria* Tesis Doctoral Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Canarias), 396 págs.
 93. Sánchez Díaz, J.; Guerra Delgado, A., y Fernández Caldas, E. (1977): *El orden Aridisol en la isla de Gran Canaria*, «Anales de Edaf y Agrob.» (en prensa).
 94. Sánchez Díaz, J; Benayas, J, and 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. (M. Delgado, Ed.), Granada (España).
 95. Segalen, P (1964) *Le fer dans les sols* Init Doc Tech. ORSTOM, 4, 150 págs
 96. Sieffermann, G. (1973): *Les sols de quelques régions volcaniques du Cameroun* Mém ORSTOM, 66, 183 págs
 97. Sys, C. (1967): *The concept of ferralitic and fersiallitic soils in Central Africa. Their classification and their correlation with the 7th Approximation*, «Pédologie», 17, págs 284-325
 98. Tardy, Y. (1969): *Géochimie des altérations Etude des arènes et des eaux de quelques massifs cristallins d'Europe et d'Afrique* Thèse. Univ. Strasbourg, 274 págs.
 99. Tejedor Salguero, M. L (1974): *Estudio de los Andosuelos de las Islas Canarias Occidentales (Tenerife, La Gomera y El Hierro)*. Tesis

- Doctoral. Departamento de Edafología. Universidad de La Laguna (Canarias), 329 págs.
- 100 Tejedor Salguero, M. L.; Hernández Moreno, J. M.; Cabezas Viaño, J. O., y Fernández Caldas, E. (1976): *Materiales amorfos en Dys-trandepts y Vitrandepts evolucionados*, «Anales de Edaf. y Agrob», (Centro de Edaf. y Biol. Apl. de Tenerife), XXXV, 9-10
 101. Tejedor Salguero, M. L.; Benayas, J., and Fernández Caldas, E. (1977 a). *Physicochemical and micromorphological study of climatic and chronological sequences of soils in Tenerife (Canary Islands)*. V. Int. Work Meet. on Soil Micromorph (M Delgado Ed.), Granada (España).
 - 102 Tejedor Salguero, M. L.; Fernández Caldas, E., et Quantin, P. (1978 b): *Séquence climatique des sols récents de la région septentrionale de Tenerife (I Canarias) 1^{ère}: Ecologie, morphologie, caractéristiques physico-chimiques*, «Pédologie» (en prensa)
 103. Tejedor Salguero, M. L.; Quantin, P., et Fernández Caldas, E. (1978 c). *Séquence climatique des sols anciens de la région septentrionale de Tenerife (I. Canarias). 2^{ème} partie: Caractéristiques minéralogiques Interpretations et classifications*, «Pédologie» (en prensa).
 - 104 Trichet, J (1969). *Contribution à l'étude de l'altération des verres volcaniques*. Thèse. Paris, 232 págs.
 - 105 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 (Canarias).
 - 106 U S. D. A. (1975). *Soil Taxonomy A basic system of soil classification for making and interpreting soils surveys*, 175 págs.
 - 107 Vivancos Gallego, G, y Borges Alvarez, A (1977): *Estudio de la distribución vertical de Eumycetes en los Andosoles de Tenerife*, «Anales de Edaf y Agrob.» (en prensa) (Centro de Edaf y Biol Apl. de Tenerife)