

*UNIVERSIDAD DE MADRID*

---

*FACULTAD DE CIENCIAS*

ESTUDIO DE LA EVOLUCION DE LAS  
FORMAS DEL FOSFORO EN TRES  
CATENAS DE SUELOS

Memoria presentada por ingeniero  
**RUDOLPHE DE CLERCK**  
para aspirar al titulo de Doctor en  
Ciencias Químicas.

Madrid, mayo de 1966

*UNIVERSIDAD DE MADRID*

---

*FACULTAD DE CIENCIAS*

ESTUDIO DE LA EVOLUCION DE LAS  
FORMAS DEL FOSFORO EN TRES  
CATENAS DE SUELOS

Memoria presentada por ingeniero  
**RUDOLPHE DE CLERCK**  
para aspirar al título de Doctor en  
Ciencias Químicas.

Madrid, mayo de 1966

## P R O L O G O .

Dedico el presente estudio al eminente Investigador que fué el Prof. D. Jose Maria Albareda, gracias a él ,que siempre me ha apoyado tanto moral como materialmente se ha podido llevar a salvo el presente trabajo y mi estancia en el Consejo Superior de Investigaciones Cientificas asi como la solución de todos mis problemas de una forma muy satisfactoria. Me siento en el deber de rendirle homenaje en nombre de la Facultad de Ciencias Agronómicas de Gante y en particular en el del Prof. Dr. A. Van den Hende.

Los dos años que he permanecido en el Instituto de Edafología me han permitido tener contacto con los Centros de Investigación Españolas, esta estancia, rica en experiencias, permanecerá para mi inolvidable. Debido a la amplitud de mi trabajo, he tenido ocasión de tratar gran numero de Cientificos españoles, que siempre me han ayudado con el mismo interés y amabilidad.

La larga ausencia, por causa de enfermedad, de mi director de tesis Dr. Valentin Hernando no me ha permitido aprovechar hasta el máximo sus amplios conocimientos sobre el fósforo, pues estoy seguro de que este trabajo es susceptible de desarrollo más profundo que el dado al presente.

Agradezco sinceramente a mi director las sugerencias y el estudio critico de mi trabajo.

Doy las gracias a todos los miembros del departamento de Fertilidad, pues todos sin excepción han estado siempre dispuestos a prestarme su ayuda. No me olvidaré nunca y siempre alabaré la cortesía y amabilidad española.

Doy las gracias especialmente a D. Angel Guerra por solucionar todas mis problemas materiales de laboratorio, pues su ayuda no me ha faltado en ningún momento.

No quiero dejar de expresar mi agradecimiento a la Sección de Cartografía y en particular a D. Antonio Guerra y a D. Jose Monturiol a los cuales debo el haber sido factible la recogida de muestras para mi trabajo. Siempre me acordaré de su amabilidad sin límites. Su gran experiencia y su profundo conocimiento del suelo Español han sido para mi una ayuda preciosa.

Por último agradezco al Prof. Dr. F. Burriel el haber aceptado el padrinazgo de esta tesis.

.....

## C A P I T U L O I .

---

### PRESENTACION DEL PROBLEMA : GENERALIDADES DEL TERRENO ELEGIDO Y CONSIDERACIONES SOBRE LAS FORMAS DE FOSFORO A ESTUDIAR.

#### A. Generalidades.

La noción " suelo " es susceptible de diferentes definiciones. La mejor es la que presenta el "Soil Survey Staff" en el año 1960, en la "VII Approximation" : " El suelo es la capa superficial de la corteza de la tierra, distinto del material de partida en ciertas cualidades, que resultan de la influencia de causas que lo forman. "

Evidentemente, los horizontes A y B son diferentes -química y estructuralmente- del horizonte C o material original. El suelo es un cuerpo dinámico que experimenta una evolución por cinco causas generales, es decir el clima, la vegetación, la topografía, la material virgen y el tiempo. Matemáticamente, el suelo  $S = f(cl, v, r, m, t)$  y de ello se infiere la cantidad ilimitada de suelos distintos.

La evolución estriba en el paso progresivo de un suelo bruto a través de un suelo juvenil a un suelo maduro. La dirección regresiva es entonces la transición de un suelo maduro o suelo climax a suelos degradados y suelos muertos. Existen muchos sistemas de clasificación, ajustados según una característica principal y extensa.

Teniamos la intención de encontrar una secuencia de tipos de suelos en una zona con características comunes, a causa de que los factores tiempo y material original son eliminados, de manera que la vegetación, el clima y sobre todo la topo-

grafia influyan mucho en la evolución.

La provincia de Madrid contiene en su parte Norte y Nort-Oeste un territorio extenso con una material original o substrato que en parte es granito y en parte es gneis.

De tal manera que hemos dispuesto de 12 tipos de suelos sobre granito y de 9 tipos de suelos sobre gneis. En esta secuencia de tipos de suelos brutos en evolución progresiva, nuestra intención es estudiar la migración del fósforo en correlación con la migración típica de la materia orgánica, de los sesquióxidos y del silicio libre.

Todavía no se sabe si las formas distintas del fósforo tienen también una emigración típica, siguiendo líneas paralelas con la evolución del suelo mismo. Así podremos formarnos una idea sobre la utilidad de la determinación del fósforo para caracterizar los tipos distintos de suelo.

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

B. Generalidades del terreno elegido y preparación especial  
de las muestras de suelo.

La zona objeto de estudio se encuentra en la Sierra de Guadarrama, conjunto montañoso originado por sucesivas fracturas durante el Terciario superior, de un antiguo substrato rígido que se originó a su vez por metamorfismo y granitización de sedimentos paleozoicos durante la orogenia herciniana.

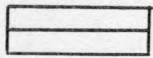
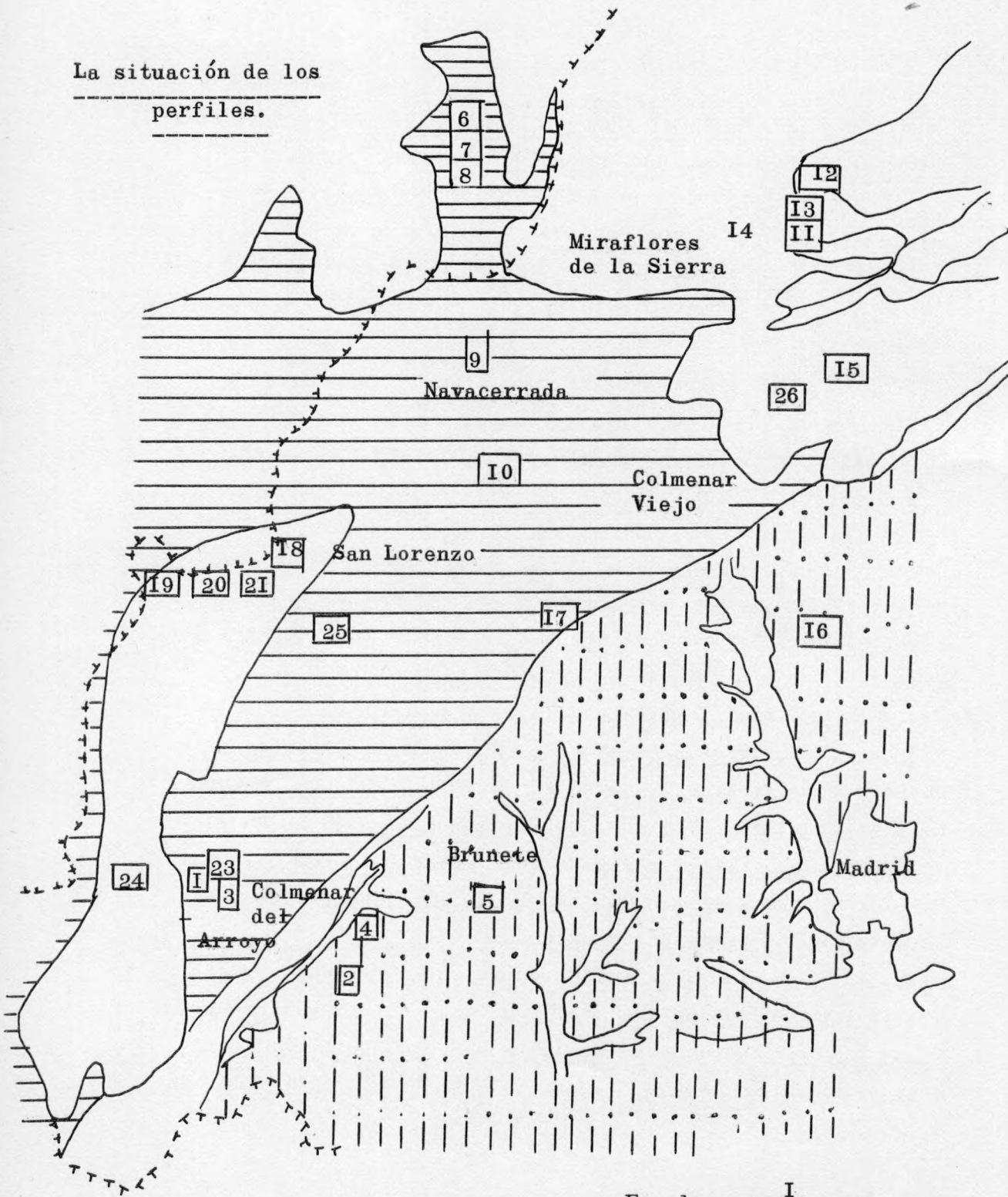
El substrato antiguo consiste en formaciones graníticas y de gneis que tienen composición mineralógica totalmente diferente unas de otras. El granito contiene sobre todo Plagiocas, Ortosa y Cuarzo que constituyen el 90 % de su composición y pequeñas cantidades de Biotita, Moscovita y Clorita. Por otra parte el gneis contiene un 78 % de Microclina, 7 % de Albita, 6 % de Cuarzo y pequeñas cantidades de Plagiocasa, Biotita y Moscovita.

Los perfiles sobre granito se pueden dividir a su vez en dos grupos que corresponden a dos zonas con clima diferente : una zona de clima seco y otra más húmeda debido a la altitud con alturas de 1.500m.

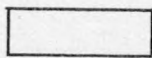
La situación de los perfiles está indicada en el mapa adjunto, pagina 4.

Como el análisis granulométrico demostraba que más del 50 % del suelo consiste en granos mayores de 1 mm, nosotros hemos pasado el suelo por un tamiz de 1 mm. La parte mayor de 1 mm, donde está la reserva de muchos elementos para el futuro, fué pulverizada hasta granos menores de 1 mm. Estamos seguros que esta fracción de suelo sera útil para una mejor idea sobre su evolución.

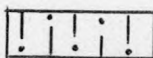
La situación de los  
perfiles.



granito



gneis

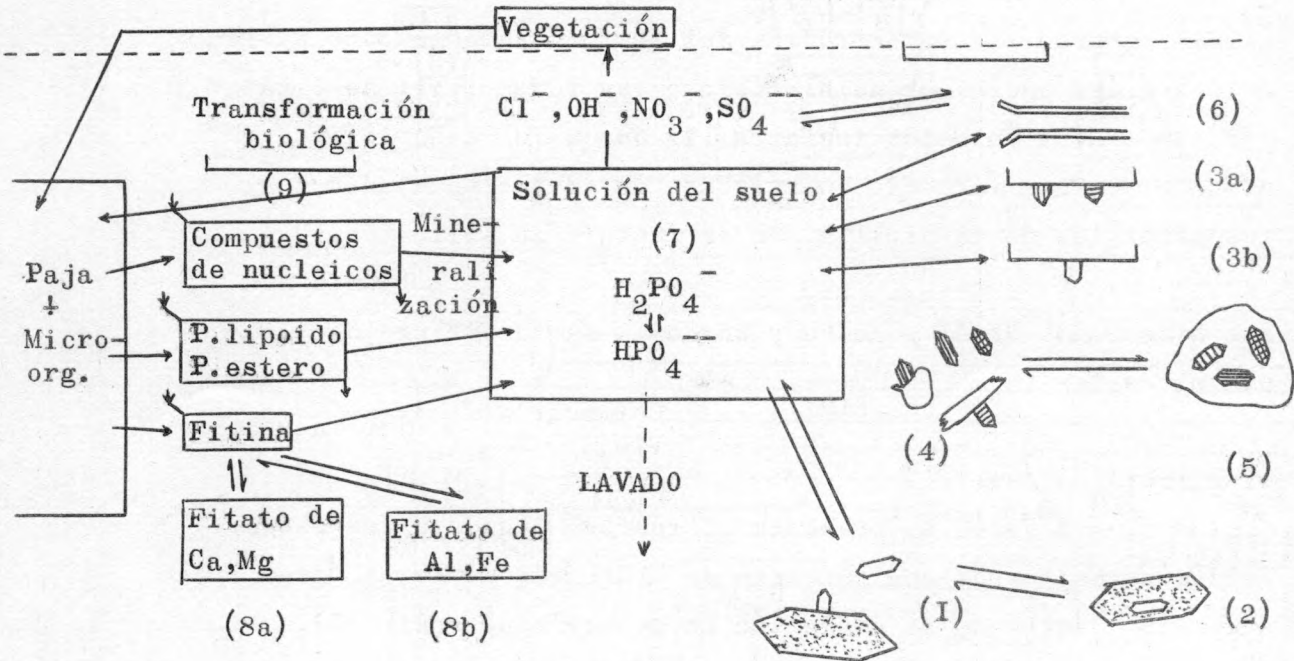


Sedimento detrítico

Escala  $\frac{1}{400.000}$

C. Consideraciones sobre las formas de fósforo a estudiar.

C.I. El ciclo de fósforo.



- ▣ = fósforo ligado al Aluminio.
- ◐ = fósforo ligado al Hierro
- = fósforo ligado al calcio.
- ◑ = fósforo ligado al hierro y al aluminio.

El material fundamental que dá origen a la presencia de fosfatos en el suelo, consiste en el mineral apatito (I).

Además de presentarse en muchas rocas, el apatito se encuentra también incluido en los silicatos (2).

Cuando se produce la disminución del valor del pH durante la evolución de un suelo, se observa también el fenómeno de que el apatito pasa a apatito libre y el producto se disuelve. Sin embargo, la concentración del fósforo aumenta poco en la solución del suelo, porque el fósforo en forma libre se liga a los iones Al y Fe. Estos fosfatos ligados a los sesquióxidos se encuentran interviniendo en procesos de adsorción a) unidos a los minerales de la arcilla con estructura de silicatos (3a)  
b) unidos a los hidroxidos de Al y de Fe y unidos a la superficie de algunos minerales (4).  
c) en la solución libre del suelo.

A veces se presenta el fósforo ligado a los sesquióxidos envuelto por una cubierta de hidroxido de Fe, en casos avanzados dentro de la evolución progresiva del suelo (5).

No se encuentra sólo el fósforo inorgánico en estas formas, sino además y sobre todo unido a superficies coloidales, con propiedades de cambio. Efectivamente, los geles organico-minerales con propiedades anfóteras (  $\text{>=}$  ) y los minerales de la arcilla (  $\text{—}$  ) tienen iones de fósforo canjeables en sus iones  $\text{OH}^-$  de la superficie (6).

Lo más difícil es saber si la adsorción de los iones de fósforo por los minerales de la arcilla consiste en un verdadero cambio de aniones o si es una adsorción de sesquióxidos (3a) o, en caso de alta saturación de calcio, si la razón es la formación de  $\text{CaP}$  (3b). Los iones de fósforo unidos a los geles anfóteros y con propiedades de cambio, pueden también formar conjuntos más estables. Estudios con  $\text{P}^{32}$  han puesto a prueba la transición

gradualmente entre el enlace de cambio y la adsorción de forma química.

Los iones de fósforo en la solución del suelo (7) tiene entonces un equilibrio con estos iones de fósforo de cambio y también con el fosfato adsorbido en las superficies. A pH inferiores a 6 se encuentran sobre todo los iones  $H_2PO_4^-$  y a partir del pH 8 los iones  $HPO_4^{--}$ .

Sin embargo, las plantas intervienen en esta sistema de equilibrio de un suelo. En efecto, de un lado las plantas retiran los iones de fósforo fuera de la solución y por otro lado dejan un resto que cierra el ciclo. Una parte de este resto es mineralizado por los microorganismos, mientras que otra parte (8-9) tiene una composición resistente a las transformaciones.

Hasta el momento se sabe solamente de la existencia de fitina y sus sales y ácidos nucleicos. La fitina se adsorbe como fitato de calcio y de magnesio (8a) o como fitato de aluminio y de hierro (8b).

Los compuestos nucleicos son estabilizados por cambios con los minerales de la arcilla. (9).

La ligazón y la distribución del fósforo se refleja en la evolución de un suelo. Evidentemente, la situación de la evolución es típica para cada horizonte de un perfil.

La liberalización y la lixiviación de los fosfatos ligados al calcio termina en el momento que hay una transformación en fosfatos ligados a los sesquióxidos en forma libre u ocluida y o bien en fósforo ligado a la materia orgánica como anión inorgánico.

## C.2.Los enlaces del fósforo.

### a) Generalidades.

El fósforo es el undécimo elemento en importancia de la corteza del Orbe. Su contenido oscila entre 0,02 y 0,08 % en el suelo.

El fósforo forma una gran gama de variedades de complejos con otros metales. La fuente más importante de fósforo y también la primordial la constituye el mineral apatito, cuya fórmula general es  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4, \text{CO}_3)_6(\text{F}, \text{Cl}, \text{OH})_2$ . El elemento  $\text{Ca}^{++}$  está sujeto a procesos de hidrólisis, oxidación y carbonatación y se substituye por Mg, Mn, Sr, Pb, Na y U, mientras que el  $\text{PO}_4^{---}$  se substituye por  $\text{VO}_4$ ,  $\text{AsO}_4$ ,  $\text{SiO}_4$ ,  $\text{SO}_3$ ,  $\text{CO}_3$  y por fin el F por Cl y OH.

El mineral apatito -siempre como inclusiones de otros minerales- constituye la reserva natural de un suelo. El fósforo secundario se forma entonces como consecuencia de procesos de sedimentación, mineralización y reacciones biológicas.

### b) Formas de fósforo.

#### b.I. Fósforo inorgánico.

La mayor parte del fósforo inorgánico existe en compuestos que son muy difícilmente solubles. Además solamente existe una pequeña parte de fosfatos definidos, mientras la mayor parte tiene una forma amorfa o se encuentra en la superficie de los minerales de la arcilla o como óxidos libres resultado de procesos de adsorción.

Como formas de fosfatos definidos existen en el suelo Fluorapatito  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ , hidroxiapatito  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$ , fosfatos de calcio secundarios como  $\text{CaHPO}_4$ ,  $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  y octocalciofosfato  $\text{Ca}_8\text{H}(\text{PO}_4)_6$ . También la variscita o fosfato ligado al aluminio con formula  $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , el esterretita o fosfato ligado al hierro con formula  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  y barrandito  $(\text{Al,Fe})\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

Los actividades del Al, Fe y Ca, la magnitud de la superficie de los óxidos, carbonatos y minerales de la arcilla tienen una grande influencia sobre la intensidad de adsorción. Colwell demostraba también en el año 1960 que, durante la adsorción de fosfatos con óxidos de hierro se forman compuestos con estructura de esterretita y durante la adsorción de fosfatos con óxidos de aluminio enlaces con composición de variscita.

La adsorción con  $\text{CaCO}_3$  fué demostrado por Cole en el año 1953, con la formación de fosfato dicalcio en la primera fase a fin de formar otros fosfatos de calcio.

La adsorción de los iones  $\text{PO}_4^{---}$  en la superficie de los minerales de la arcilla es posible por el intercambio con grupos de  $\text{OH}^-$ . Experiencias realizada por Scheffer y Schachtschabel (1960) demostraban que con montmorrillonita dentro de un pH 4-5 tiene lugar una adsorción de 16-20 mval/100g, mientras que con illita y caolinita su valor es de 5-10 mval/100g.

### b.2. Fósforo orgánico.

El porcentaje de fósforo orgánico en los suelos varía del 25 al 65 %. Las formas de fósforo orgánico de los suelos proceden de las plantas, de los animales o de los microorganismos y pueden distribuirse en tres grupos principales: -Fosfolípidos.

-Ácidos nucleicos y sus componentes: ácido fósforo-pentosas. También purinas y pirimidinas.

-Fosfatos de inositol y fitina.

La cantidad de fósforo disminuye la mayoría de las veces con la profundidad. Aunque no hay una evidencia total sobre la fijación del fósforo orgánico, podemos decir que parece ser que ciertos compuestos como fitina y sus derivados, forman compuestos insolubles con el Fe, Al, Ca, de forma similar a los ortofosfatos.

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

C A P I T U L O 2.

MÉTODOS ANALÍTICAS : ESTUDIO CRÍTICO.

A. Técnicas utilizados.

A.1. La determinación del fósforo en las soluciones  
.....  
extractoras.  
.....

Aunque existen muchos métodos colorimétricos para la determinación del fósforo, adoptamos la técnica de Burriel y Hernando (1947) por la estabilidad del color durante muchas horas.

La técnica general consiste en la formación de un complejo fósfomolibdico con color azul. Como la intensidad de este color es proporcional a la cantidad de fósforo presente, las determinaciones se hacen con un fotocolorímetro. La lectura puede hacerse entre media hora y 48 horas utilizando cubetas de 4,5 cm de anchura y filtro rojo Ilfor.

A.2. La determinación del fósforo total según Bohne (1958)  
.....

Una muestra de 2g de suelo se coloca en un vaso de 50 ml. Se añaden 10 ml  $\text{HClO}_4$  al 70 % y se tapa con un vidrio de reloj. La digestión se realiza en un baño de arena, hasta que la solución se hace incolora. Corrientemente una hora de digestión es suficiente.

La ventaja de esta técnica consiste en un menor consumo de  $\text{HClO}_4$ , porque el vapor se condensa constantemente y el peligro de explosión disminuye. Existen también métodos en los cuales se hace la digestión con sólo 5 ml (Hernando 1954).

A.3. La determinación del fósforo ligado a la materia orgánica.  
.....

Partiendo de una muestra de 2g de suelo se pueden hacer la determinación del fósforo ligado a la materia orgánica, utilizando la técnica de Heinenmann (1962), que consiste en una extracción con ácido sulfurico 2N. Esta técnica consiste de dos procesos diferentes :

a) Una muestra de 2g de suelo fué calentada durante dos horas en una capsula de porcelana a una temperatura de 500°C. Después de enfriar, se pone la muestra en un tubo de centrifugación y se añaden 50 ml  $H_2SO_4$  2N, se agita durante dos horas. En una parte alicuota se determinan el contenido de fósforo según la técnica de Burriel y Hernando.

b) De una muestra de 2g del mismo suelo se sigue la misma técnica, pero sin calentar, es decir se pone directamente la muestra en el tubo de centrifugación.

La diferencia, obtenido entre los dos valores en fósforo es atribuido al fósforo ligado a la materia orgánica.

A.4. La determinación de las fracciones de fósforo inorgánico.  
.....

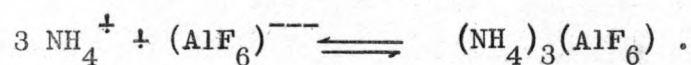
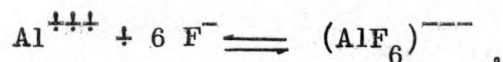
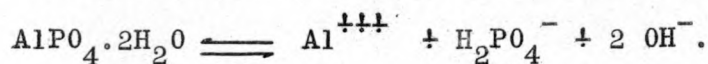
Las técnicas de S.C. Chang y M.L. Jackson (1957) y de M.L. Jackson (1958) han hecho posible la fraccionación de todas las formas inorgánicas de fósforo, es decir la fracción ligado al aluminio, AlP, al hierro, FeP, al calcio, CaP, la fracción ligada al hierro soluble en condiciones de reducción, FeP.2., y la fracción ocluida ligada al aluminio, AlP.2.

Antes, algunos autores estudiarón la posibilidad de una separación del fósforo inorgánico, como L.A. Dean (1938), Ghani

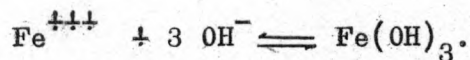
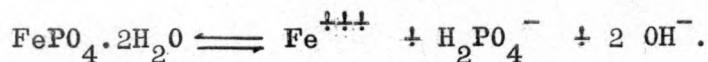
(1943), Williams (1950), Hernando (1954) y Jahn-Deesbach (1956).

Reacciones que se producen durante las distintas extracciones.

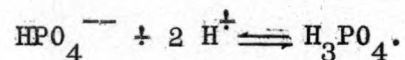
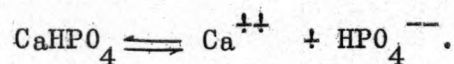
a/Durante la extracción de fósforo ligado al aluminio, se produce una formación de un complejo fluorídrico exclusivamente con formas de aluminio. El hierro y el fósforo ligado al hierro no forman un complejo fluorídrico, porque necesitan una solución ácida. Las reacciones son las siguientes:



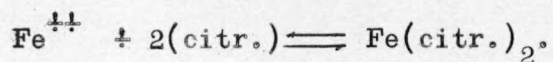
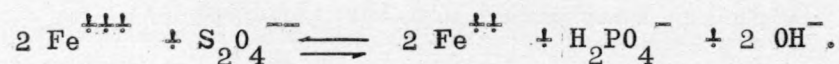
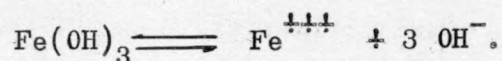
b/Durante la extracción de fósforo ligado al hierro se producen las reacciones siguientes :



c/Las reacciones que se producen durante la extracción del fósforo ligado al calcio son :



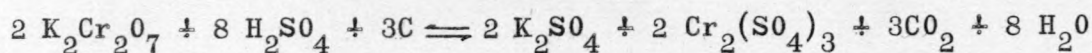
d/Las reacciones que se producen durante la extracción del fósforo ligado al hierro, soluble en condiciones de reducción, son las siguientes :



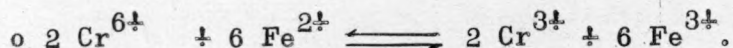
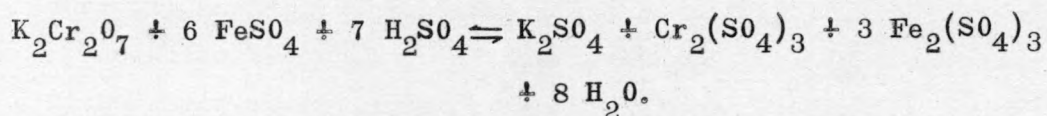
e/Las reacciones que se producen durante la extracción del fósforo ocluido ligado al aluminio son las mismas que en a/.

#### A.5. Determinación de la materia orgánica.

El principio de la técnica de Walkley y Black consiste en la oxidación del Carbono, presente en la materia orgánica, según la reacción siguiente :

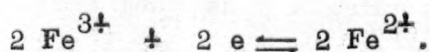
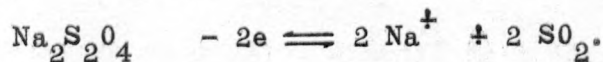


La titulación del excedente de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  se hace con  $\text{FeSO}_4$ :



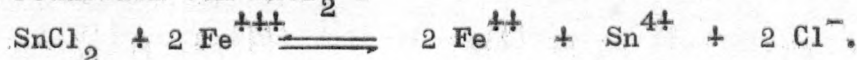
A.6. Determinación de los óxidos libres de hierro.  
.....

Adaptamos el método de Kilmer (1959), el cual consta de las reacciones siguientes:

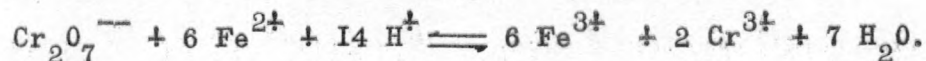


El excedente de ditionato fué descompuesto por  $\text{H}_2\text{O}_2$  la cual fué eliminada después por ebullición. Los iones ferricos se precipitan antes con  $\text{NH}_4\text{OH}$ .

La determinación de los iones ferricos se hace primero por una reducción con  $\text{SnCl}_2$  :



El excedente de  $\text{SnCl}_2$  se elimina por  $\text{HgCl}_2$ . La oxidación definitiva se hace titulando con  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  y difenilaminosulfonatobárrico, como indicador, según la reacción :



A.7. Determinación del hierro total.  
.....

En la misma solución, obtenida para la determinación de fósforo total, se hacen la determinación de hierro total según Mellon. El ácido tioglicólico permite la determinación colorimétrica de hierro con grande estabilidad, amplio campo de pH e independiente de la presencia de iones extraños.

Pasados 30 minutos se lee en el colorímetro en la zona de 540 mμ o con filtro Ilfor y cubetas de 2 o 4 cm.

B. Las reacciones secundarios del método de Jackson como causas de errores.

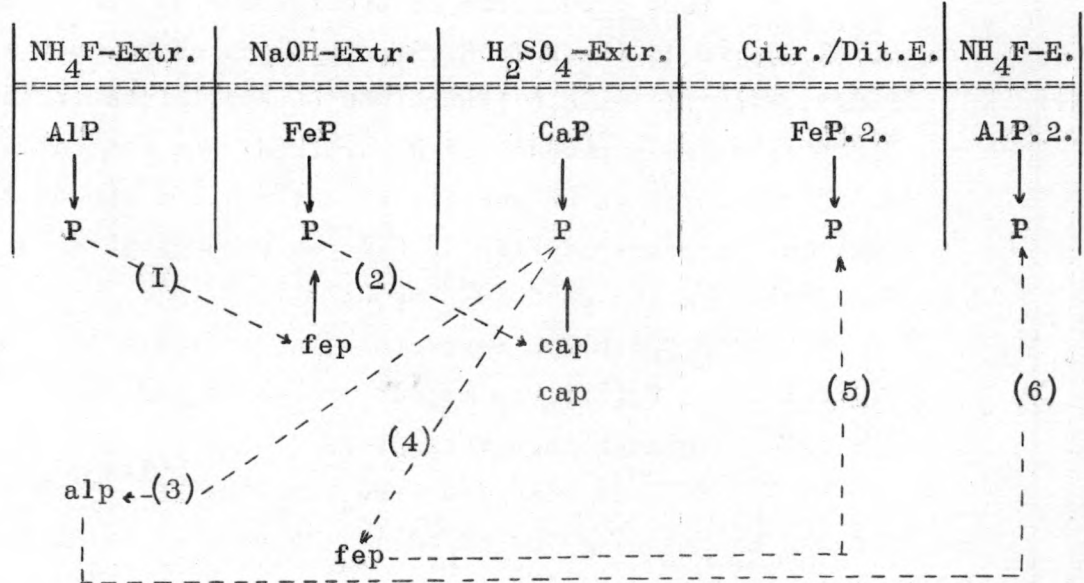
B. I. Generalidades.

El sistema de fraccionamiento se basa en la solubilidad de una cierta forma química y de otra parte en la insolubilidad de las otras formas. Esta suposición no puede evitar que las formas solubles se hagan insolubles por reacciones de cambio en solución, es decir por precipitaciones. De esta manera el fósforo puede quedar para las extracciones siguientes con lo que conduce a obtener una distribución errórea.

Efectivamente, los estudios de E. Truog (1936), L.A. Dean (1943), M.O. Ghani (1943), C.H. Williams (1950), Bhangoo y F.W. Smith (1957) han puesto de manifiesto las posibilidades de reacciones secundarias, por lo tanto se debe esperar que se producirán también reacciones secundarias durante la técnica de Jackson.

Existe un segundo aspecto que tiene quizás más importancia y es que no existen ni compuestos completamente insolubles, ni totalmente solubles. Esta relatividad química hace que los resultados sólo sean aproximados, pero siempre estamos en condiciones de aproximar nos más a la distribución real, cuando empleamos técnicas más precisas y sobre todo, si tenemos en cuenta el valor relativo de las medidas efectuadas y aplicamos correcciones a los datos obtenidos en función de la relatividad de la medidas.

B.2. Estudio crítico de la reacciones secundarias producidas en el método de Jackson.



B.2.a. Reacciones secundarias durante la extracción con  $\text{NH}_4\text{F}$ .

Se puede producir una pérdida del fósforo de los fosfatos de aluminio, durante la extracción con  $\text{NH}_4\text{F}$  0,5N, pues el fósforo soluble puede formar compuestos con los iones  $\text{Fe(III)}$  o con los iones de calcio.

B.2.a.a. Según Jackson, el lavado precedente con  $\text{NH}_4\text{Cl}$  es suficiente para producir un intercambio iónico con los iones de calcio, pero este intercambio iónico con los iones de calcio no es completo, cuando se trata de suelos con gran contenido de  $\text{CaCO}_3$ . En efecto la solución neutra de  $\text{NH}_4\text{F}$  0,5N disminuye la concentración de iones de calcio del suelo debido a la forma-

ción de  $\text{CaF}_2$ , impidiendo por tanto la de  $\text{CaHPO}_4$ , pero disminuye las posibilidades de solubilización del P, al no actuar sobre el aluminio.

Para producirse el precipitado de  $\text{CaF}_2$  se necesita un  $\text{pK}_L$  de 10,46 (Seel 1955), mientras que se produce la de  $\text{CaHPO}_4$  a un  $\text{pK}_L$  de 6,6 (Farr 1950). O sea, la precipitación de  $\text{CaHPO}_4$  empieza a producirse a partir de una concentración de  $4 \cdot 10^{-4}$  mg Ca/ml en un suelo que contenga 100 ppm de AlP, mientras que la precipitación de  $\text{CaF}_2$  se produce ya a partir de una concentración de  $3 \cdot 10^{-5}$  mg Ca/ml.

B.2.a.b. Con respecto a la precipitación del fósforo por los iones Fe(III) el método propuesto por Jackson puede dar lugar a graves inconvenientes.

Para la reacción  $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Fe}^{+++} + \text{H}_2\text{PO}_4^- + 2\text{OH}^-$  Jackson ha calculado un  $\text{pK}_L$  de 33-35, pero la solubilidad aumenta con la concentración de los reactivos precipitantes y dado que en este caso, el producto de solubilidad es el correspondiente a un equilibrio heterogéneo, nos demuestra aun más la importancia de la concentración de los reactivos precipitantes.

Por esta razón, hemos seguido las modificaciones de Hanotiaux (1961) y de Fife (1959) que utilizan una solución extractora de  $\text{NH}_4\text{F}$  a  $\text{pH} = 8,5$ . En este caso no se formará una unión entre el Fe(III) y el fósforo libre.

B.2.b. Reacciones secundarias durante la extracción con sosa.

Después de la extracción, el fósforo libre en la solución de sosa 0.1N se puede precipitar con los iones calcio. Sobre todo se debe considerar la formación de hidroxiapatito

insoluble. Para dicha formación Bjerrum (1949) ha calculado un  $pK_L$  de 6,5.

Se puede producir una pérdida de fósforo en el momento en que la concentración de calcio sobrepasa el valor de  $4.0 \cdot 10^{-3}$   $\gamma$  Ca/50 ml.

Frecuentemente, esta concentración tan pequeña de iones calcio se alcanza muy deprisa, sobre todo en presencia de plagiocasa, ricas en calcio y se forma un precipitado secundario de fosfatos de calcio.

Los minerales de la arcilla pueden formar igualmente un precipitado de fosfato de calcio se contienen una gran cantidad de calcio, así pues, si es elevada la cantidad de calcio residual, después del lavado previo con  $NH_4Cl$  se puede formar hidroxiapatito.

Según Seel (1955) el producto de solubilidad del  $CaCO_3$  tiene un valor de  $pK_L = 7,92$ .

En la solución de NaOH 0.1N casi todo el carbonato se encuentra bajo la forma del ion  $CO_3^{--}$ , mientras que el ion  $HCO_3^-$  no llega al 1 %.

Supongamos que la NaOH 0.1N no contiene carbonato, la concentración de los iones calcio es del orden de  $10^{-3,96}$  mg/ml en equilibrio con el  $CaCO_3$ . Así pues, la pérdida de fósforo en el sistema  $CaCO_3$  /hidroxiapatito, alcanza un valor de  $3 \cdot 10^{-8}$   $\gamma$  /ml.

Greenwald (1942) ha llegado a las mismas conclusiones. Según la ecuación  $pK_L = 3 pCa^{++} + 2 pHPO_4^- - 2pH^+$  para el  $Ca_3(PO_4)_2$  ha encontrado un valor de  $pK_L$  que varía de 5,97 a 14,43.

Para el sistema  $CaCO_3/Ca_3(PO_4)_2$  se ha calculado una solubilidad de fósforo desde  $1,83 \cdot 10^{-5}$   $\gamma$  /ml a  $9,9 \cdot 10^{-10}$   $\gamma$  /ml.

Por tanto es evidente, que se puede producir una precipitación de fosfato cálcico en la extracción de

NaOH 0.1N sobre todo cuando se trata de suelos ricos en calcio.

B.2.c.Reacciones secundarias en la extracción con  $H_2SO_4$ .

La unión entre los fosfatos y los iones de Fe(III), y aluminio puede dar lugar a la formación de un precipitado, lo cual produce una pérdida durante la extracción con  $H_2SO_4$  0.5N. Con respecto a la solubilidad del fosfato de Fe(III) en forma de  $Fe(OH)_2H_2PO_4$ , nos atenemos a los resultados de Jackson que da un valor de  $pK_L = 33-35$ .

Por otra parte Kittrich (1955) y Cole (1951) basándose en la ecuación  $pK_L = pAl^{+++} + pH_2PO_4^{---} + 2 pOH^-$  han calculado un valor de  $pK_L$  comprendido entre 28 y 33 para la solubilidad del fosfato de aluminio en forma de  $Al(OH)_2H_2PO_4$ .

Supongamos en la solución una concentración de 100 ppm de fósforo. Vemos que se producirá un precipitado de fosfato de hierro en el momento en que la concentración sobrepasa el valor de 300% Fe/ml.

En el caso de un precipitado de fosfato de aluminio será necesario sobrepasar una concentración de 13,2 g de Al/ml. Según estas cifras se puede asegurar que la probabilidad de precipitación es mayor para el fosfato de Fe(III) que para el fosfato de aluminio, pero puesto que el valor del  $pK_L$  del  $Al(OH)_3$  es 32,72 y el del  $Fe(OH)_3$  es de 37 se señala que para un mismo pH la precipitación de los iones de aluminio se produce con más facilidad que la de las de hierro.

Se puede decir finalmente, teniendo en cuenta lo que hemos dicho en la parte B.I. sobre la relatividad química, que hay una pequeña diferencia para la precipitación del fosfato de aluminio o la del fosfato de hierro. Estos precipitados se recuperan en forma ocluida durante la extracción 4 y 5.

B.2.d. Reacciones secundarias durante la extracción citrato/  
..... dithionato.  
.....

En casos extremos es posible la formación de  $\text{CaHPO}_4$ . Al final de la reacción el valor del pH es del orden de  $7.0 \pm 0.5$ .

Supongamos una concentración de 100 ppm de fósforo en el momento en que se sobrepasa el valor de  $400 \text{ } \mu\text{g Ca/ml}$  se producirá una precipitación del  $\text{CaHPO}_4$ . Este caso extremo no se presenta más que sobre muestras muy calizas en las cuales el lavado con  $\text{NH}_4\text{Cl}$  y el tratamiento con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  no destruyen totalmente los carbonatos. El fósforo precipitado no se disolverá durante la extracción con  $\text{NH}_4\text{F}$  0.5N, perdiéndose definitivamente.

La precipitación de los hidroxidos de hierro causa también una pérdida bastante grande, por lo cual hemos hecho la oxidación con  $\text{HClO}_4$  excluyendo la actividad de hierro añadiendo una cierta cantidad de  $\text{SnCl}_2$ .

B.2.e. Reacciones secundarias durante la extracción con  $\text{NH}_4\text{F}$ .  
.....4.

Durante la mayor parte del proceso la concentración de fósforo no tiene un valor elevado. Este método de trabajo elimina toda posibilidad de reacciones secundarias.

### C A P I T U L O 3.

---

#### VENTAJAS DE LA TECNICA PROPUESTA PARA EL FRACCIONAMIENTO.

##### A.2. Modificaciones de la técnica de Jackson.

---

A.1. Un medio eficaz para disminuir el contenido de iones de calcio de cambio, consiste en la solución tampón prescrita de A. Mehlich (1948) la cual contiene  $\text{NH}_4\text{Cl}$  y trietanolamino/HCl de pH 7.

Se agitan los suelos cuatro veces con esta solución durante cinco minutos, seguido por la solución  $\text{NH}_4\text{Cl}$  N de Jackson para evitar la interferencia del trietanolamino durante la determinación fotocolorimétrica.

A.2. Apoyando nos en los estudios de Hanotiaux (1961) y de Fife (1959) hemos empleado una solución  $\text{NH}_4\text{F}$  de pH 8,5 para la determinación del fósforo ligado al aluminio.

A.3. Para la determinación del fósforo ligado al hierro, soluble en condiciones de reducción, hemos cambiado el  $\text{H}_2\text{O}_2$  para el  $\text{HClO}_4$ , seguido por una valorización inmediata a fin de eliminar los errores por causa de la formación del precipitado de hidroxidos de hierro.

A.4. También hemos cambiado la cantidad de suelo, utilizando 2 g de muestra en lugar de 1 g.

A.5. A fin de eliminar pérdidas, hemos dividido las extracciones; repitiéndolas según el esquema de tiempo siguiente:

Extr.  $\text{NH}_4\text{F}$  : cambiar la solución a los 15 y 30 minutos.

Extr.  $\text{H}_2\text{SO}_4$  : cambiar la solución a los 15 y 30 minutos.

Extr.  $\text{NaOH}$  : cambiar la solución a los 1h30' 5h30' y 13h30'

B. Análisis y comparación de la técnica de Jackson y la técnica modificada.

B.1. La técnica original de Jackson. a/Perfil 23  
 .....

M	AlP	FeP	CaP	FeP2	AlP2	Total
90	6,5	1,7	98,9	27,5	18,1	152,7
91	7,2	2,9	135,6	50,2	49,8	245,7
92	10,7	7,8	135,1	29,4	29,4	254,7
93	3,1	9,3	108,7	27,2	89,3	237,6
94	3,9	6,4	167,5	21,6	118,1	317,5

b/Perfil 2I

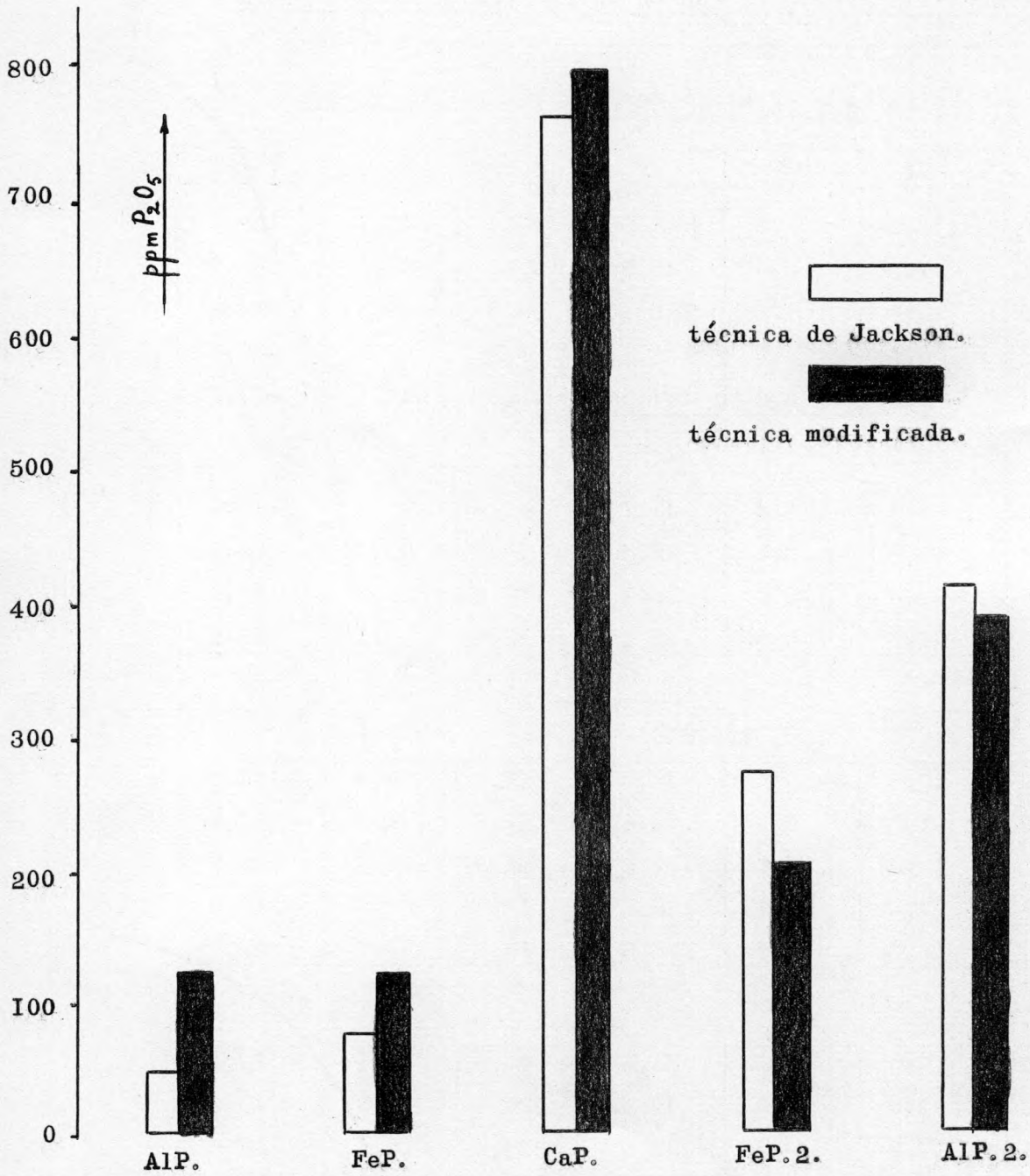
82	6,1	16,4	35,7	43,9	13,3	115,4
83	6,5	12,3	31,5	30,3	25,3	105,9
84	3,4	13,7	38,7	29,4	21,1	106,3
85	0,3	5,8	11,4	13,6	5,1	36,2

B.2. La técnica modificada. a/Perfil 23  
 .....

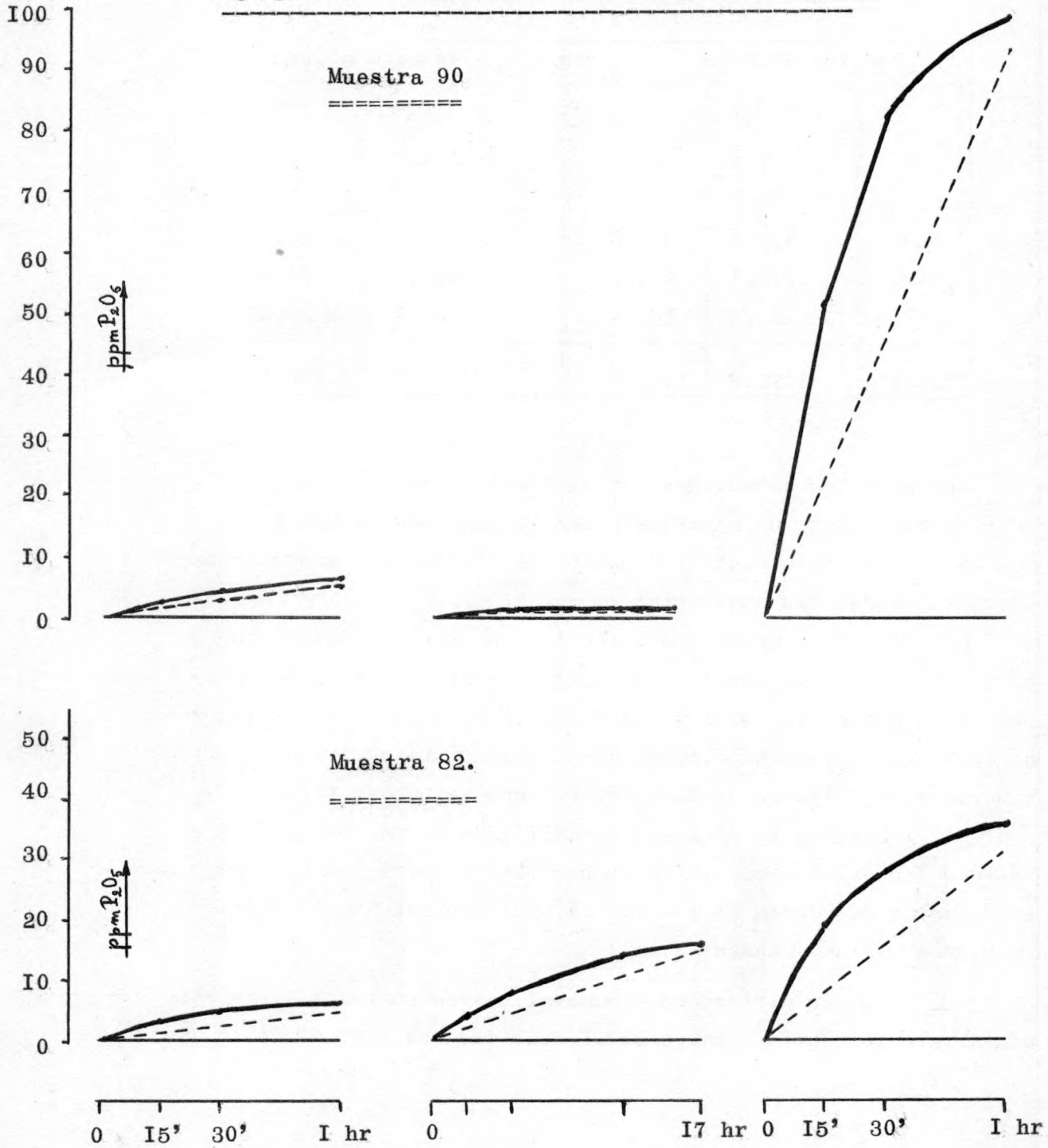
90	12,3	-	99,5	19,5	24,9	156,2
91	21,3	6,3	142,6	40,7	42,8	253,7
92	13,8	12,5	147,2	21,8	70,8	266,1
93	7,0	14,7	128,2	18,6	80,0	248,5
94	10,0	7,7	174,3	13,9	116,7	322,6

b/Perfil 2I.

82	19,3	18,5	34,4	37,8	9,1	119,1
83	21,1	21,8	30,8	24,2	15,9	113,8
84	17,3	29,4	32,5	20,4	16,8	116,4
85	2,6	12,0	7,2	8,0	8,7	38,5



Ejemplo de la repetición de solución extractora.



----- extracción sin modificación.

C. Conclusiones sobre la técnica de Jackson y la técnica modificada.

Técnica Jackson			Técnica mejorada	
	ppm P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	ppm P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%
AlP	47,7	3,03	124,7	7,63
FeP	76,3	4,86	122,9	7,52
CaP	763,1	48,55	796,7	48,73
FeP.2.	273,1	17,37	204,9	12,53
AlP.2.	411,8	26,19	385,7	23,59
Total	1572,0	100,00	1634,9	100,00

Los perfiles estudiados con este motivo, es decir los perfiles 23 y 2I, han puesto de manifiesto las ventajas de la modificación que hemos discutido punto por punto. Las diferencias que se han presentadas son las siguientes :

C.1. Por lo general vemos que los valores de fósforo inorgánico total (según método A3, Cap.2) son similares con los valores obtenidos de la técnica modificada. Con respecto a los valores de la técnica de Jackson, vemos una disminución, confirmada perfectamente por la teoría de las pérdidas que se pueden producir.

C.2. Durante la extracción modificada, se pueden ver que el fósforo ligado al aluminio en forma libre muestra valores que son mayores del doble de los que se obtienen durante la extracción original de Jackson.

C.3. También el fósforo ligado al hierro en forma libre presenta valores con la técnica modificada que son casi el doble que

los de la técnica de Jackson.

C.4. No se han producido grandes diferencias en las dos técnicas desde el punto de vista fósforo ligado al calcio.

C.5. Por supuesto, las pérdidas que se han producido durante las dos primeras extracciones, según el método original, se reflejan en el contenido de fósforo ligado al hierro soluble en condiciones de reducción. En efecto, estos valores superan los que hemos encontrado con la técnica modificada. Este fenómeno confirma claramente nuestro concepto desarrollado en el estudio crítico.

C.6. Las mismas conclusiones sirven para la determinación de fósforo ocluido ligado al aluminio. Confirmamos también el fenómeno de pérdidas definitivas, porque la diferencia entre las dos primeras extracciones y las dos últimas no son iguales.

C.7. Además de que hemos suprimido, las pérdidas que se producen por causas de reacciones secundarias en la técnica original de Jackson, las diferentes extracciones han sufrido alteraciones en el sentido de que hemos dividido el tiempo a fin de añadir una nueva solución extractora durante las tres primeras extracciones, eliminando así otras pérdidas. Los valores se muestran una vez más en favor de nuestra modificación, como se pueden ver en la figura precedente para las muestras 90 y 82.

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

C A P I T U L O 4.

---

LOS PERFILES SOBRE GRANITO.

Indicaciones de los abreviaciones utilizados:

M.:Numero de la muestra.La parte mayor de I mm del mismo suelo tiene el mismo numero de la parte menor de I mm incrementado en I00 unidades.

pH.:  $\text{pH}_{\text{KCl}}$ .

arc.:% arcilla.

M.O.: % de la materia orgánica en la parte menor de I mm.

P.T. :Fósforo total en partes por millón de  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

P.O. :Fósforo ligado a la materia orgánica,ppm  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

P.I. :Fósforo inorgánico en ppm  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

Fe.T. :Hierro total en mg/I00 g de suelo.

Fe.I. :Hierro total,teniendo en cuenta la proporción de las fracciones de suelo.

Fe.2. :Los óxidos libres de hierro,teniendo en cuenta la proporción de las dos fracciones de suelo.

AlP. :Fósforo ligado al aluminio en forma libre,ppm  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

FeP. :Fósforo ligado al hierro en forma libre,ppm  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

CaP. :Fósforo ligado al calcio,ppm  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

FeP.2. :Fósforo ligado al hierro,soluble en condiciones de reducción,ppm  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

AlP.2. :Fósforo ocluido ligado al aluminio,ppm  $\text{P}_2\text{O}_5$ .

---

A.-P E R F I L 25.

Localidad: Carretera Valdemorillo-Colmenarejo, km 4.

Altitud: 870 m.

Precipitación atmosférica: 400 mm. anual.

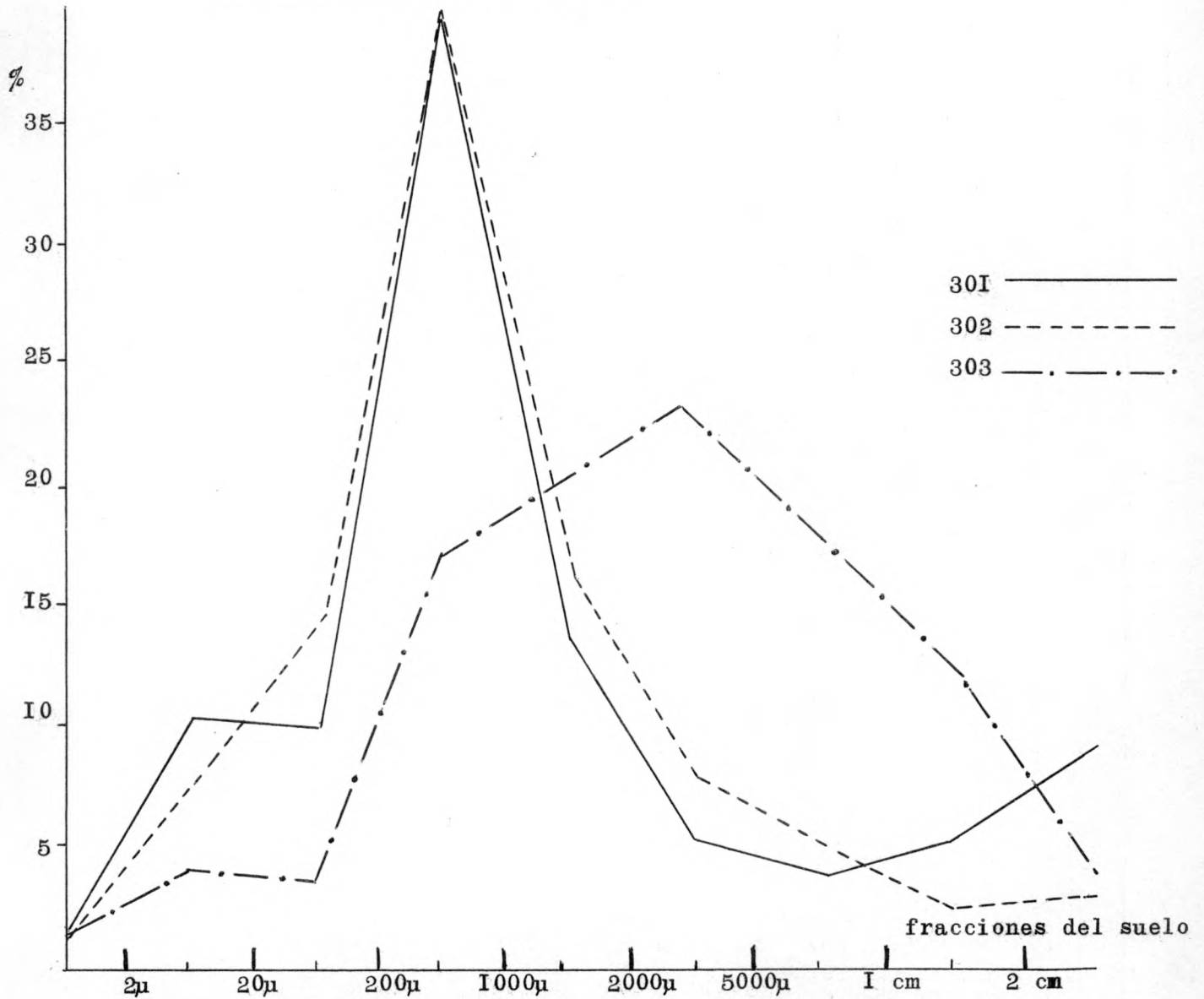
Muestra	Hor.
301	A <sub>I,1</sub>
302	A <sub>I,2</sub>
303	A <sub>I,3</sub>
304	C

Vegetación: *Sarothamnus scoparius*.  
*Lavandula pedunculata*.  
*Thymus masticlina*.  
*Brassica* cfr. *Barrelieri*.  
*Thapsia villosa*.  
 Suelos pobres.

Los componentes químicas .

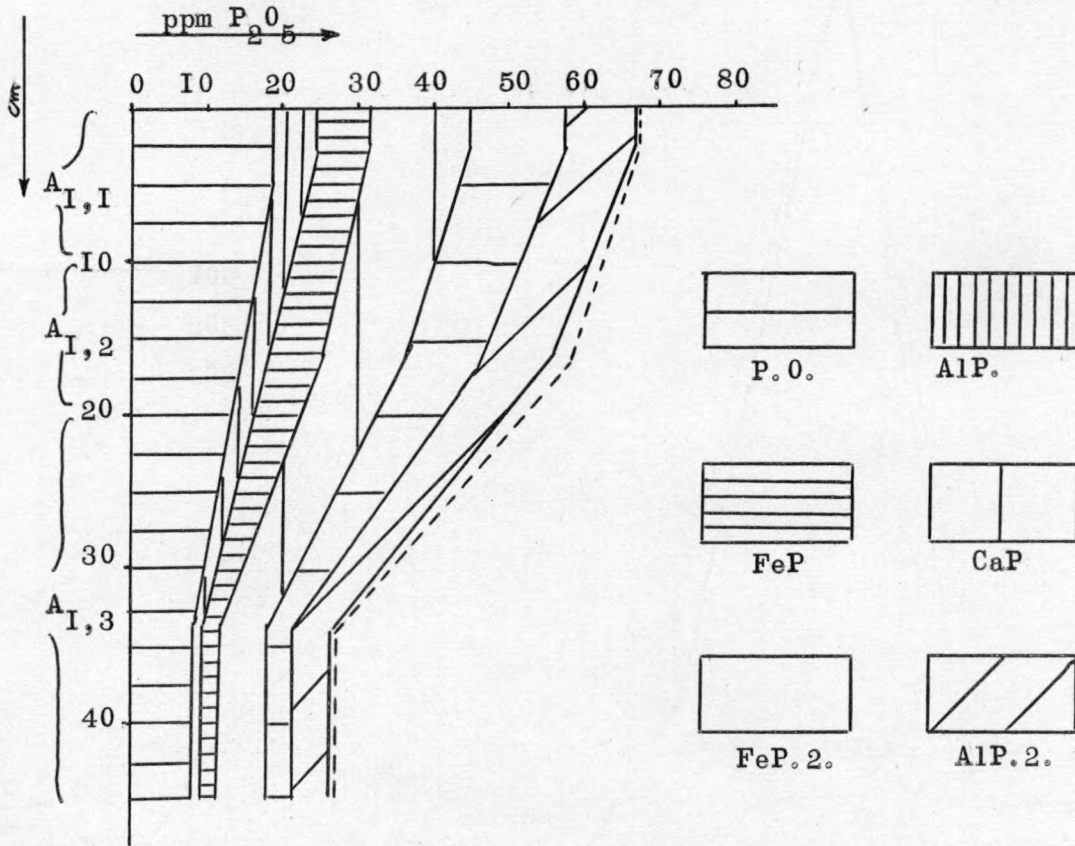
M.	M. %	pH	M. O.	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. I.	Fe. 2.
301	60,4	5.00	2,13	1,27	67,0	877	529	307
401	39,6	5.55			37,5	607	240	
302	62,1	4.90	1,43	1,08	58,5	958	595	228
402	37,9	4.60			43,7	809	307	
303	26,4	5.75	0,63	I, II	27,0	803	212	105
403	73,6	5.80			17,5	763	562	

La composición granulométrica.



M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
301	10,0	5,60	4,40	5,60	14,00	38,42	10,03	10,68	1,27
302	3,79	3,45	5,86	7,93	16,90	38,79	14,86	7,34	1,08
303	4,33	11,69	18,61	23,38	15,58	16,49	4,05	4,76	1,11

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	tot.
301	5,9	12,5	6,5	13,8	12,3	26,1	12,2	25,9	10,2	21,7	47,1
302	3,5	8,6	6,2	15,2	11,3	27,7	11,1	27,2	8,7	21,3	40,8
303	0,6	3,4	2,1	11,9	6,1	34,7	3,1	17,6	5,7	32,4	17,6

La distribución del fósforo orgánico y inorganico.

M.	301	302	303
P.O.	18,6	15,0	8,2
%	27,8	25,6	30,0
P.I.	48,4	43,5	18,8
%	72,2	74,4	70,0

Discusión.

El " Ranker " consiste en un suelo uniforme, que tiene todas las características de un perfil A-C. Los valores relativamente bajas del pH (4.60-5.80) y la transición directa del suelo hasta la roca compacta, debe ser atribuido a una erosión fuerte.

La razón más importante de este fenómeno es debido a la localización del perfil, es decir a su fuerte pendiente. En efecto, dos fenómenos exteriores han originado esta situación. Primero, la erosión superficial ha arrastrado las capas superiores continuamente hasta desplazar el suelo superior. No hay casi una vegetación y el suelo está cubierto prácticamente por piedras grandes. Segundo, el agua percolante ha desplazado cierta cantidad del material fino por medio de un transporte lateral encima de la roca.

Como prueba tenemos el valor muy bajo de la fracción del suelo < 1 mm en el horizonte  $A_{I,3}$  : 26,4 % del total; frente a los valores de 60,4 % y de 62,1 % de los horizontes superiores. No se ha producido una acumulación de arcilla o de hierro libre a causa de estos dos fenómenos.

La escasa vegetación se refleja en los valores muy bajos del fósforo orgánico. Los valores del fósforo total se mantienen también bajos, confirmando la erosión.

El horizonte  $A_{I,1}$  tiene un valor C/N de 19,36.

B. P E R F I L 23.

Localidad :Carretera Colmenar del Arroyo-Robledo,km 5.

Altitud : 800 m.

Precipitación atmosférica :514 mm. anual.

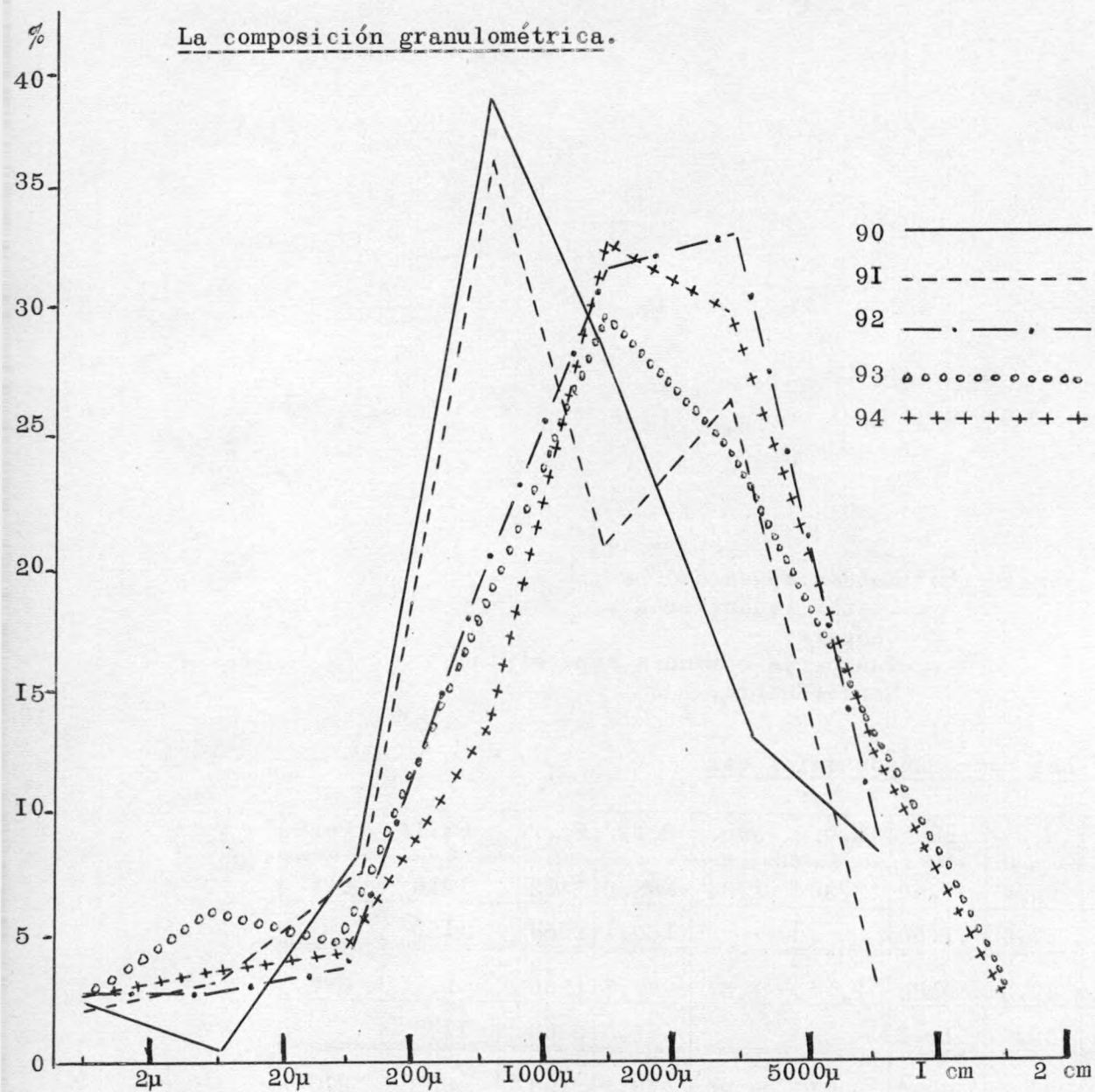
Muestra	Hor.
90	A <sub>o</sub>
91	A <sub>I</sub>
92	A <sub>I</sub> -C <sub>I</sub>
93	C <sub>I</sub>
94	C <sub>2</sub>

Vegetación :Retama sphearocarpa.  
 Cistus ladaniferus .  
 Chaparro  
 Juniperus communis ssp. alpina.  
 Cardo;Enebro.

Los componentes químicos.

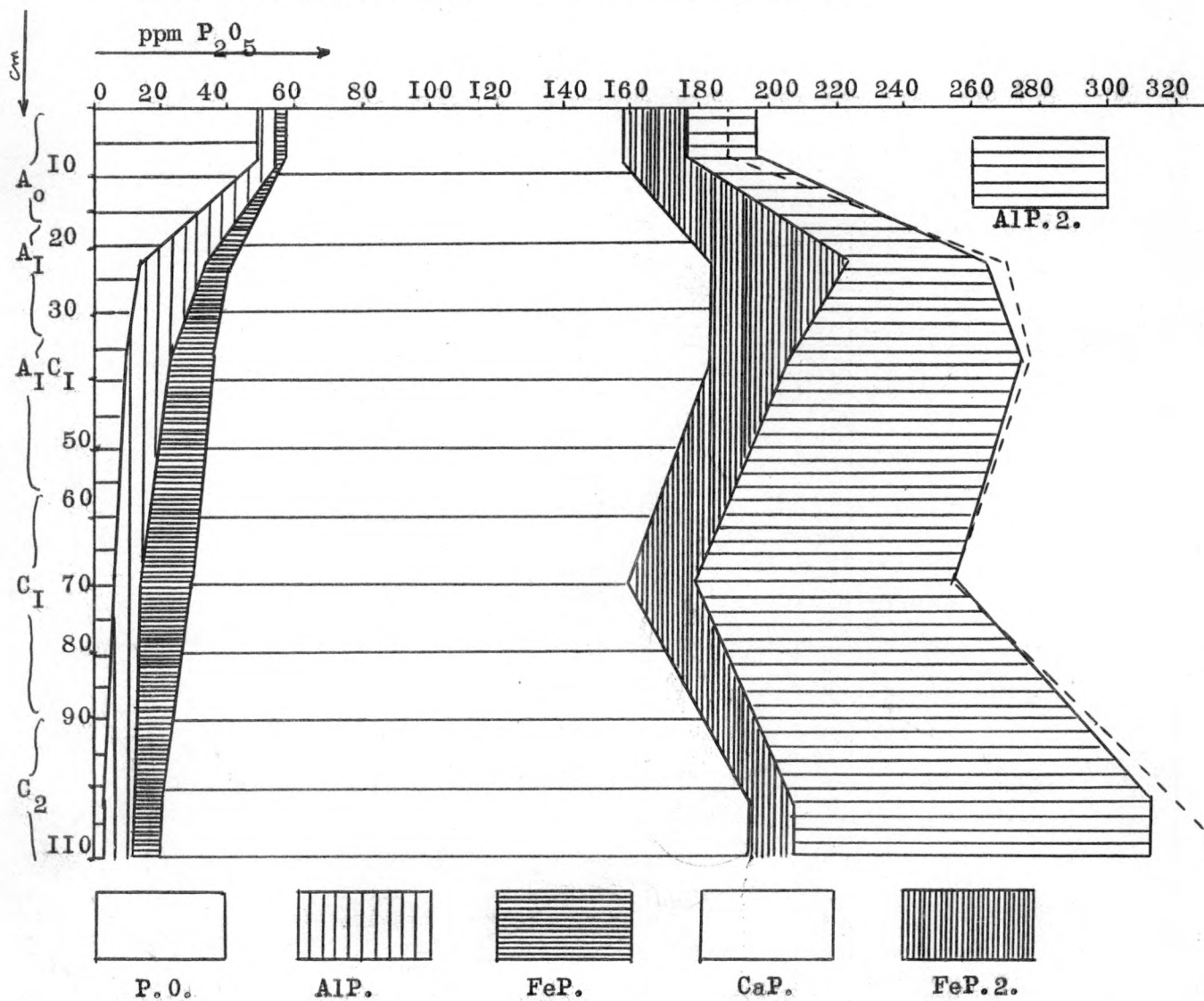
M.	M. %	pH	M. O.	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. I.	Fe. 2.
90	50,4	7.50	3,30	1,84	188,2	2412	1216	611
I90	49,6	7.55			185,1	2258	1120	
91	49,3	6.85	1,14	1,57	267,7	1860	917	587
I91	50,7	7.15			187,5	2268	1149	
92	28,8	6.90	0,97	2,26	276,2	2193	632	273
I92	71,2	6.65			297,3	2299	1637	
93	30,3	7.20	0,35	1,93	254,5	2036	617	281
I93	69,7	7.90			297,9	2036	1419	
94	24,1	7.40	-	2,08	329,5	2700	651	269
I94	75,9	7.90			290,1	2620	1988	

La composición granulométrica.



M.	2-1cm	1-0,5cm	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
90		8,96	13,43	27,24	39,25	8,87	0,41	1,84
91		3,83	26,32	20,57	36,72	7,81	3,18	1,57
92		9,22	31,37	30,63	19,33	4,20	2,99	2,26
93	2,62	13,48	24,34	29,21	17,46	4,93	6,02	1,93
94	2,46	12,41	29,08	31,91	13,91	4,56	3,66	2,08

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP.	%	FeP.	%	CaP.	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
90	12,3	7,9	-	-	99,5	63,7	19,5	12,5	24,9	15,9	156,2
91	21,3	8,4	6,3	2,5	142,6	56,2	40,7	16,0	42,8	16,9	253,7
92	13,8	5,2	12,5	4,7	147,2	55,3	21,8	8,2	70,8	26,6	266,1
93	7,0	2,8	14,7	5,9	128,2	51,6	18,6	7,5	80,0	32,2	248,5
94	10,0	3,1	7,7	2,4	174,3	54,0	13,9	4,3	116,7	36,2	322,6

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	90	91	92	93	94
P. O.	39,7	12,5	9,6	6,8	2,4
%	21,1	4,7	3,5	2,7	0,7
P. I.	148,5	255,2	266,6	247,7	327,1
%	78,9	95,3	96,5	97,3	99,3

Discusión.

Tampoco la " Pararenzina " tiene horizontes diferenciados y constituye el primero perfil de nuestra catena, consecuencia de ser un suelo muy joven, lo que se confirma con la gran reserva en calcio y desde luego por el pH alto.

El horizonte A<sub>I</sub>-C<sub>I</sub> puede ser considerado como el precursor de un verdadero horizonte B. La acumulación mínima de la arcilla de 2,26 % confirma esta tesis.

El contenido en fósforo es muy alto, sobre todo en la forma inorgánica. El fósforo ligado al calcio representa el porcentaje más elevado del fósforo inorgánico, oscilando entre 51,6 y 63,7 %.

La composición granulométrica es tal que la fracción < 1 mm no supera el 30 % en el horizonte A<sub>I</sub>-C<sub>I</sub>, confirmando el fenómeno de una erosión mínima.

El hierro libre disminuye también con la profundidad.

.....

C. P E R F I L I.

Localidad.: Carretera Colmenar del Arroyo-Robledo, km 5.

Altitud : 810 m.

Precipitación atmosférica : 514 mm. anual.

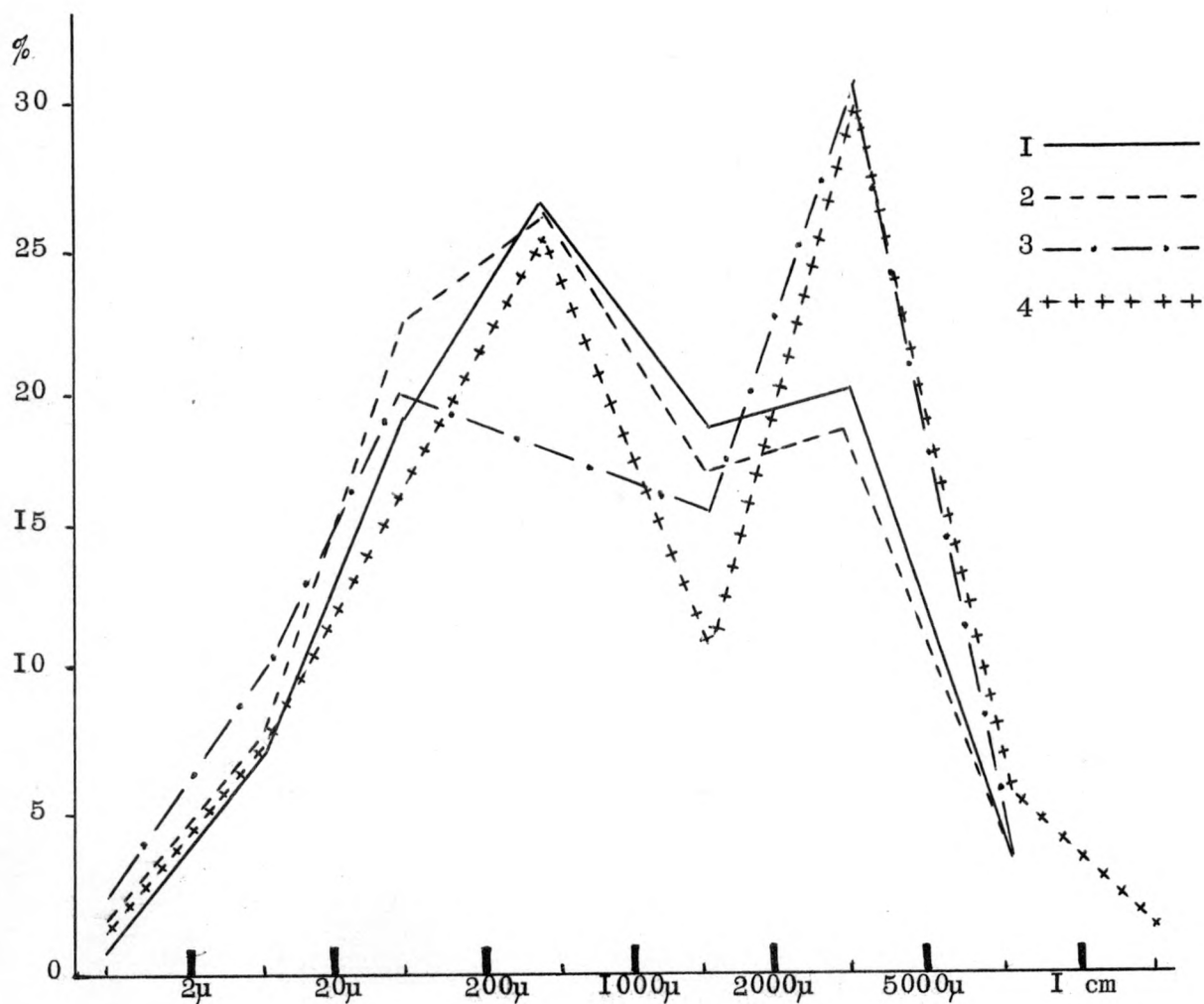
Muestra	Hor.
I	A <sub>0</sub>
2	A <sub>I</sub>
3	(B)
4	C <sub>I</sub>

Vegetación : Retama sphearocarpa.  
 Cistus ladaniferus.  
 Chaparro.  
 Juniperus communis ssp.alpina.  
 Cardo; Enebro.

Los componentes químicos.

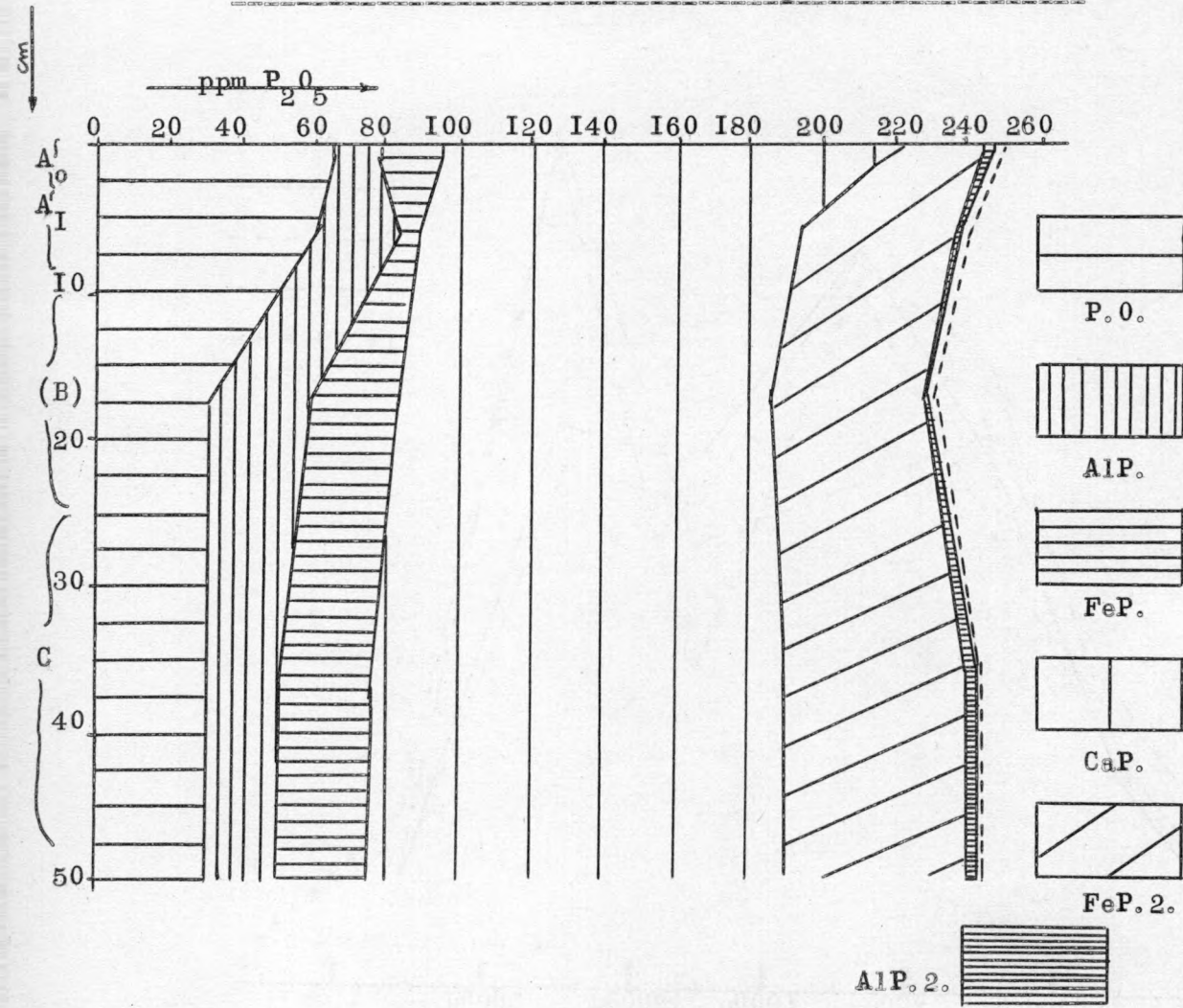
M.	M. %	pH	M. O.	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. I.	Fe. 2.
I	54,2	6.75	6,37	0,97	250,1	3984	2159	1056
I01	45,8	7.15			216,9	1366	626	
2	58,8	6.50	5,31	1,30	241,0	3984	2384	1207
I02	41,2	7.20			192,2	1342	553	
3	49,2	5.65	3,09	1,65	232,2	4338	2134	1244
I03	50,8	6.50			245,8	1340	681	
4	51,2	6.55	1,46	1,19	245,5	4345	2225	1267
I04	48,8	7.10			302,4	1342	655	

La composición granulométrica.



M.	I-2cm	I-0,5cm	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
1		4,57	21,94	19,29	26,59	19,50	7,14	0,97
2		4,49	18,71	17,98	26,12	22,47	8,93	1,30
3		4,45	30,83	15,57	17,40	20,10	10,00	1,65
4	1,37	6,80	30,00	10,60	25,33	16,62	16,62	1,19

La distribución de las formas inorgánicas del fósforo



M.	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2	%	AlP.2	%	Total
1	11,8	6,5	17,3	9,5	118,1	64,6	32,2	17,6	3,3	1,9	182,7
2	22,1	12,5	6,0	3,4	105,6	59,5	42,8	24,1	1,0	0,6	177,5
3	28,5	14,1	23,1	11,5	103,5	51,3	43,1	21,4	3,5	0,6	201,7
4	20,2	9,4	24,8	11,5	115,0	53,3	51,8	24,0	4,0	1,9	215,8

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	I	2	3	4
P.O.	65,1	61,2	30,5	30,8
%	26,0	25,4	13,1	12,6
P.I.	185,0	179,8	201,7	214,7
%	74,0	74,6	86,9	87,4

Discusión :

En el " suelo pardo calizo " se pueden ver la formación inicial de un horizonte B estructural. Los características químicas consisten en una disminución de la reserva de calcio y una acumulación mínima de hierro libre.

El fósforo total tiene también valores altos, sobre todo en la forma inorgánica. El fósforo ligado al calcio representa un 51,3 - 64,6 % del fósforo inorgánico.

La decalcificación mínima ha producido una disminución del pH que no alcanza la neutralidad en las fracciones < 1 mm.

Se observa también un aumento de la materia orgánica frente al perfil anterior, sobre todo en el horizonte A<sub>0</sub>.

El horizonte A<sub>0</sub> tiene un valor C/N de 13,61.

.....

D. P E R F I L 3.

=====

Localidad : Carretera Colmenar del Arroyo-Robledo, km 3,5.

Altitud : 780 m.

Precipitación atmosférica : 514 mm anual.

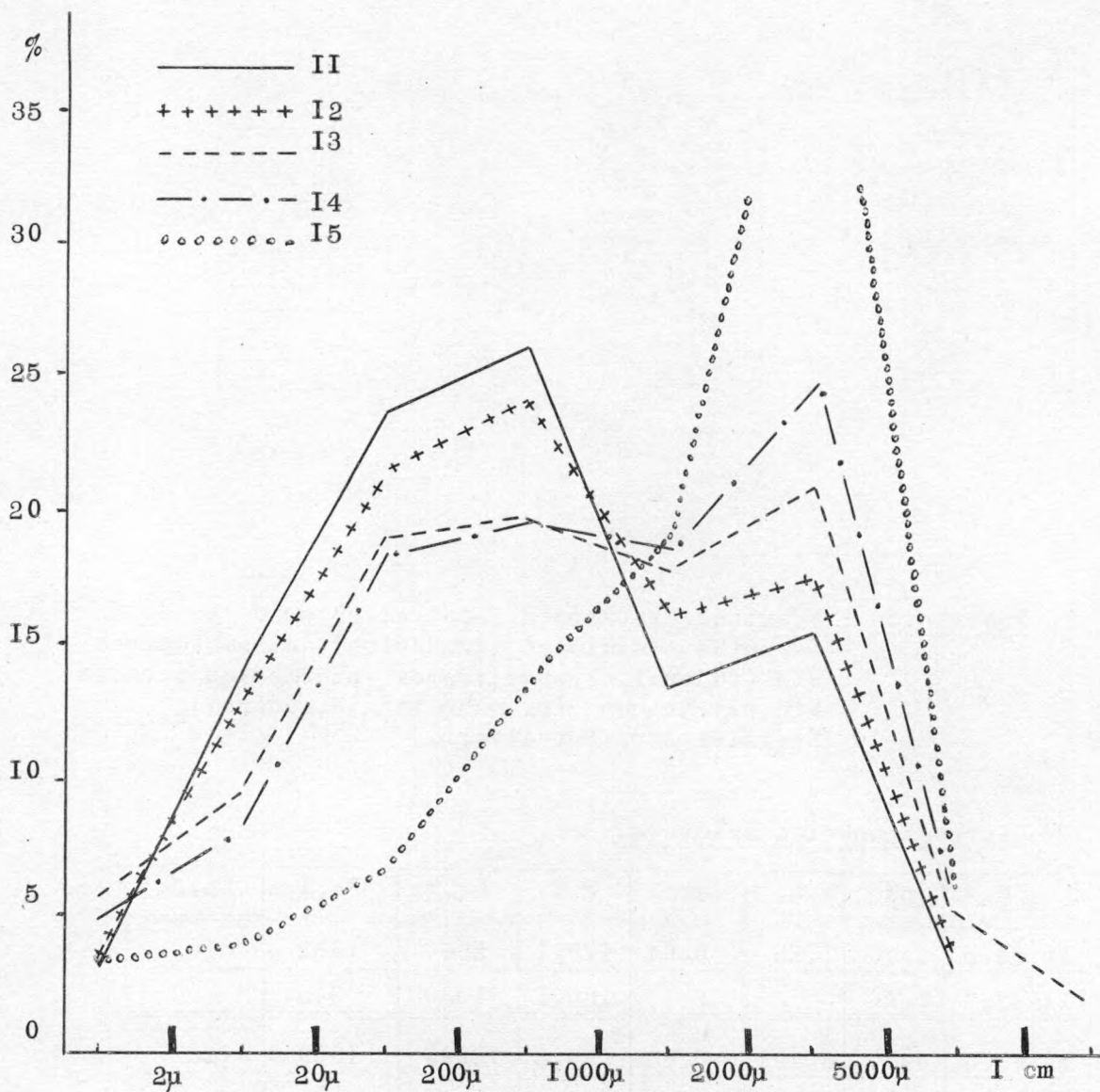
Hor.	Muestra
A <sub>0</sub>	I1
A <sub>I</sub>	I2
B <sub>I,1</sub>	I3
B <sub>I,2</sub>	I4
C	I4b.

Vegetación : Fraxinus oxycarpa(F. australis).Borde prado.  
 Oenanthe fistulosa(=inundación);Anthemis arven-  
 sis (ruderal,arvense);Rumex intermedius (prados  
 viejos).Bromus cfr. madritensis(ruderal)  
 Brassica cfr. Barrelieri.

Los componentes químicos.

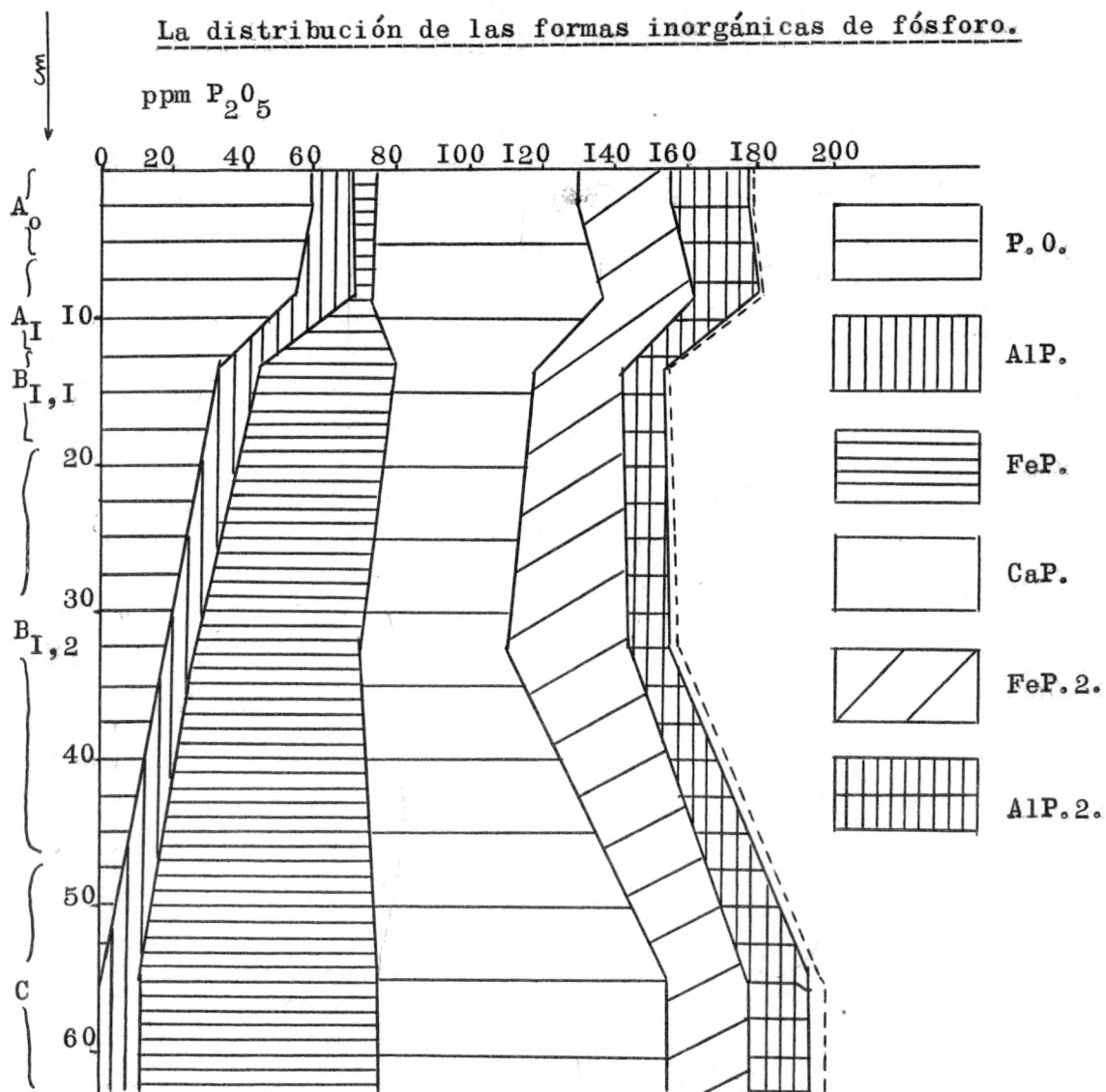
M.	M.%. pH	M.O.	arc.	P.T.	Fe.T.	Fe.I.	Fe.2.
II	66,5 6.40	7,75	3,04	178,1	2950	1962	678
III	33,5 7.10			165,1	1030	345	
I2	61,6 6.40	6,42	3,85	180,3	3099	1909	723
II2	38,4 7.00			165,3	1038	398	
I3	53,2 5.15	2,57	5,61	155,8	3200	1702	921
II3	46,8 6.80			167,5	1138	532	
I4	49,6 4.90	1,58	4,99	158,0	2984	1480	1084
II4	50,4 7.10			167,5	1174	592	
I4b	23,6 5.90	0,13	3,17	197,9	2332	545	357
II4b	76,4 7.00			168,6	1247	953	

La composición granulométrica.



M.	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
II		4,35	15,79	13,38	25,67	23,49	14,28	3,04
I2		4,80	17,78	15,80	23,73	20,95	13,09	3,85
I3	2,38	5,52	21,17	17,71	19,64	18,88	9,09	5,61
I4		6,98	25,27	18,17	19,33	17,33	7,93	4,99
I4b		6,64	50,18	19,56	9,87	6,55	4,03	3,17

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
II	10,2	8,4	5,3	4,4	55,5	46,1	24,3	20,2	25,2	20,9	120,5
I2	13,8	10,9	4,1	3,3	61,9	48,8	24,3	19,2	22,7	17,9	126,8
I3	10,4	8,7	35,0	29,2	38,1	31,7	24,3	20,2	12,2	10,2	120,0
I4	9,8	7,1	44,8	32,3	41,2	29,7	33,2	24,0	9,5	6,9	138,5
I4b	11,4	5,9	34,3	17,8	78,2	40,6	50,4	26,2	18,3	9,5	192,6

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	II	I2	I3	I4	I4b
P. O.	56,9	52,8	33,3	18,3	0
%	31,9	29,3	21,4	11,6	0
P. I.	121,2	127,5	122,5	139,7	197,9
%	68,1	70,7	78,6	88,4	100,0

Discusión :

Este primero ejemplo de un " suelo pardo ácido." se encuentra en una fase de transición. El estudio comparativo completo del fósforo inorgánico en el capítulo 8, confirmará esta fase de transición. En efecto, algunos resultados pueden ser atribuidos al tipo de " suelo pardo calizo ", mientras que otros resultados confirman el tipo " suelo pardo ácido ". Los valores del pH demuestran que se trata más bien del tipo " suelo pardo ácido ".

La formación de un horizonte  $B_{I,1}$  y  $B_{I,2}$  se confirma por una emigración y acumulación de la arcilla más clara. El hierro libre muestra también un aumento en los horizontes de enriquecimiento.

El fósforo ligado al calcio sigue siendo el porcentaje más importante en la fracción inorgánica, pero ha disminuido sensiblemente, frente al perfil anterior. En cambio, el fósforo ligado al hierro ha aumentado, sobre todo en los horizontes B y C.

El horizonte  $A_0$  tiene un valor C/N de 12,7.

.....

E. P E R F I L I 3.

=====

Localidad :Carretera Miraflores-Canencia,km 8,75.

Altitud :1485 m.

Precipitación atmosférica :778 mm anual.

Hor.	Muestra.
A <sub>0</sub>	51
A <sub>I</sub>	52
B <sub>I,1</sub>	53
B <sub>I,2</sub>	54
BC	55
C	56

Vegetación: Pinus silvestris.

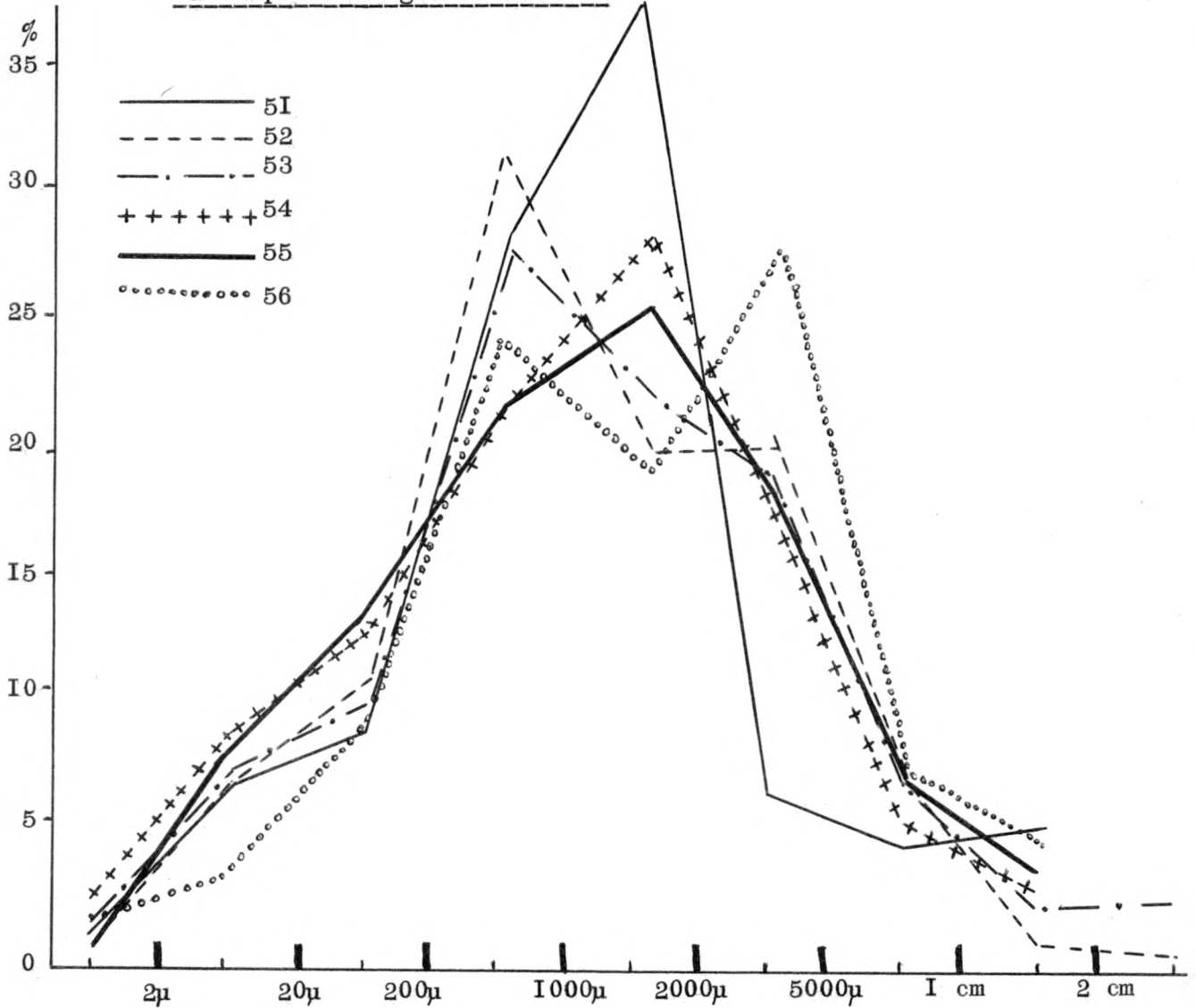
Genista florida.

Corresponde a la parte superior del robledal, barrancos más húmedos hacia 1400-1600.

Es el óptimo para el bosque en la Sierra de la Guadarrama.

M.	M. %.	pH	M. O.	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. I.	Fe. 2.
51	44,8	4.30	15,2	1,73	153,2	1470	658	437
I51	55,2	5.00			59,2	1560	861	
52	48,2	4.25	4,63	1,24	170,6	2336	1126	629
I52	51,8	4.40			81,9	1564	810	
53	46,8	4.60	7,07	1,87	153,1	2260	1058	846
I53	53,2	4.65			80,3	1476	785	
54	44,9	4.80	7,18	2,41	177,5	2300	1033	741
I54	55,1	5.10			80,1	1380	760	
55	43,2	5.00	3,45	1,19	170,7	2198	949	718
I55	56,8	5.10			101,4	1388	788	
56	38,4	4.90	0,82	1,80	104,9	2340	898	639
I56	61,6	5.15			67,7	1374	846	

La composición granulométrica.

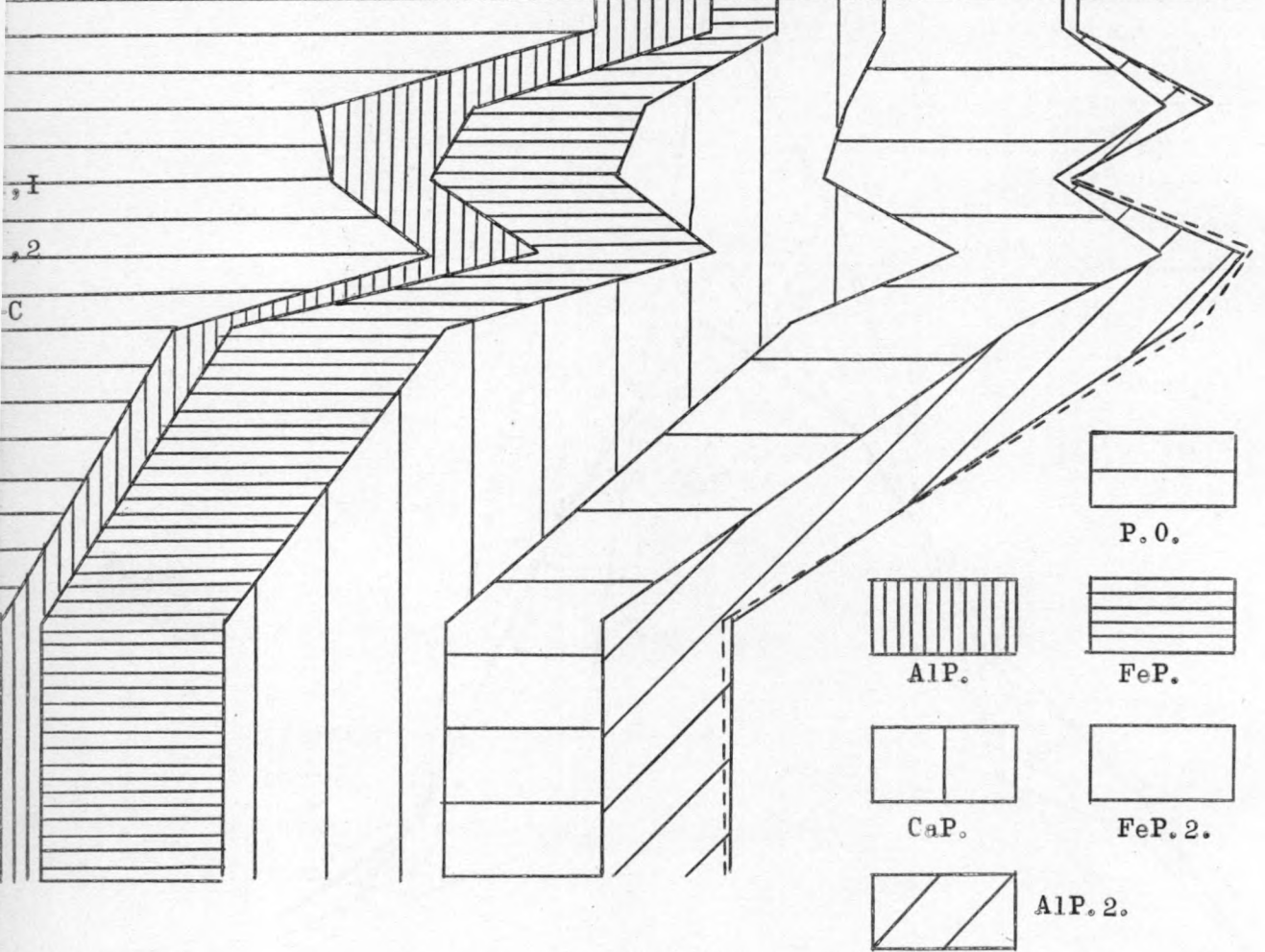


M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
51		5,66	4,96	6,96	37,62	28,45	8,32	6,30	1,73
52	0,81	1,91	8,46	20,37	20,26	31,44	10,15	6,36	1,24
53	2,51	2,25	7,30	19,36	21,82	28,26	9,85	6,78	1,87
54		2,76	5,57	28,55	22,09	12,08	12,08	8,39	2,31
55		4,11	8,26	19,06	25,41	22,68	12,19	7,10	1,19
56		5,30	8,46	27,89	19,98	24,43	8,83	3,31	1,0

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.

ppm P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>

0 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120 130 140 150 160 170



M.	AlP	%	FeP.	%	CaP.	%	FeP. 2.	%	AlP. 2.	%	Total
51	15,2	23,1	8,0	12,2	14,9	22,9	25,3	38,5	2,3	3,5	65,7
52	21,9	17,8	23,3	19,0	28,0	22,8	43,7	35,6	5,9	4,8	122,8
53	13,0	12,9	25,8	25,7	28,6	28,5	31,5	31,1	1,8	1,8	100,4
54	15,3	13,7	23,3	20,8	33,2	29,6	27,2	24,4	13,0	11,6	112,0
55	8,8	6,3	30,7	21,9	46,7	33,3	31,4	22,4	22,5	16,1	140,1
56	5,2	5,1	25,5	24,8	31,5	30,7	21,9	21,9	18,6	18,1	102,7

La distribución del fósforo inorgánico y orgánico.

M.	51	52	53	54	55	56
P.O.	87,2	49,8	50,6	64,2	28,7	5,0
%	56,9	29,2	33,1	36,2	16,8	4,8
P.I.	66,0	120,8	102,5	113,3	142,0	99,9
%	43,0	70,8	66,9	63,8	83,2	95,2

Discusión :

Este ejemplo típico de " suelo pardo ácido " tiene como características una acidez más pronunciada. El pH no sobrepasa el valor 5.00.

Los valores de la materia orgánica han aumentado, sobre todo en el horizonte A<sub>0</sub> con 15,2 % en la fracción < 1 mm. Los valores relativamente altos hasta el horizonte BC tienen que ser atribuidos a las actividades de las raíces en profundidad.

La emigración de hierro se muestra también clara en los horizontes A<sub>0</sub> y A<sub>I</sub>, mientras que la acumulación se ha producido en los horizontes B<sub>I,1</sub>, B<sub>I,2</sub> y BC.

El fósforo orgánico constituye la mayor parte del fósforo total, excepto en los horizontes BC y C.

En la fracción inorgánica el fósforo ligado al calcio tiene solamente valores altos en los horizontes profundos, en cambio el ligado al hierro tiene siempre los valores más altos.

El horizonte A<sub>0</sub> tiene un valor C/N de 11,1.

.....

F. P E R F I L 9.

=====

Localidad : Carretera Vilalba-Navacerrada, km 52.

Altitud : 1290 m.

Precipitación atmosférica : 1050 mm. anual.

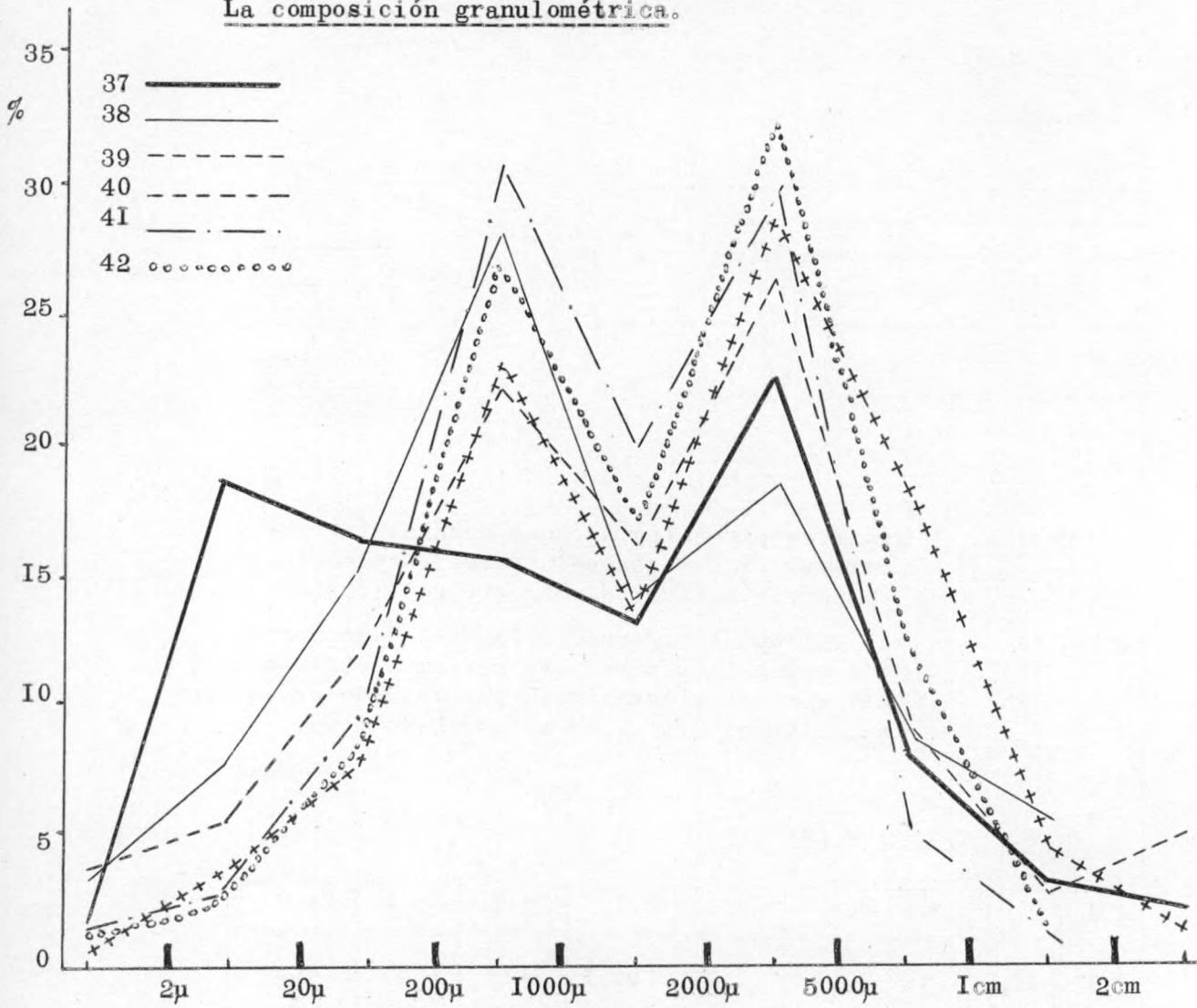
Muestra	Hor.
37	A <sub>0</sub>
38	A <sub>I</sub>
39	B
40	C <sub>I</sub>
41	C <sub>2</sub>
42	C <sub>3</sub>

Vegetación : *Quercus pyrenaica*. *Anchusa undulata* (arvense)  
*Papaver cfr. argemone* (arvense). *Artemisia gr. camestris* (nitrofila). *Senecio gallicus* (arvense). *Filago cfr. germanica* (arvense). *Anthemis cfr. arvensis* (arvense). *Verbascum sp.* (nitrofila)  
*Alyssum cfr. alyssoides*. Erial formado en antiguo rebollar de *Q. pyr.* se roturó hace poco.

Los componentes químicos.

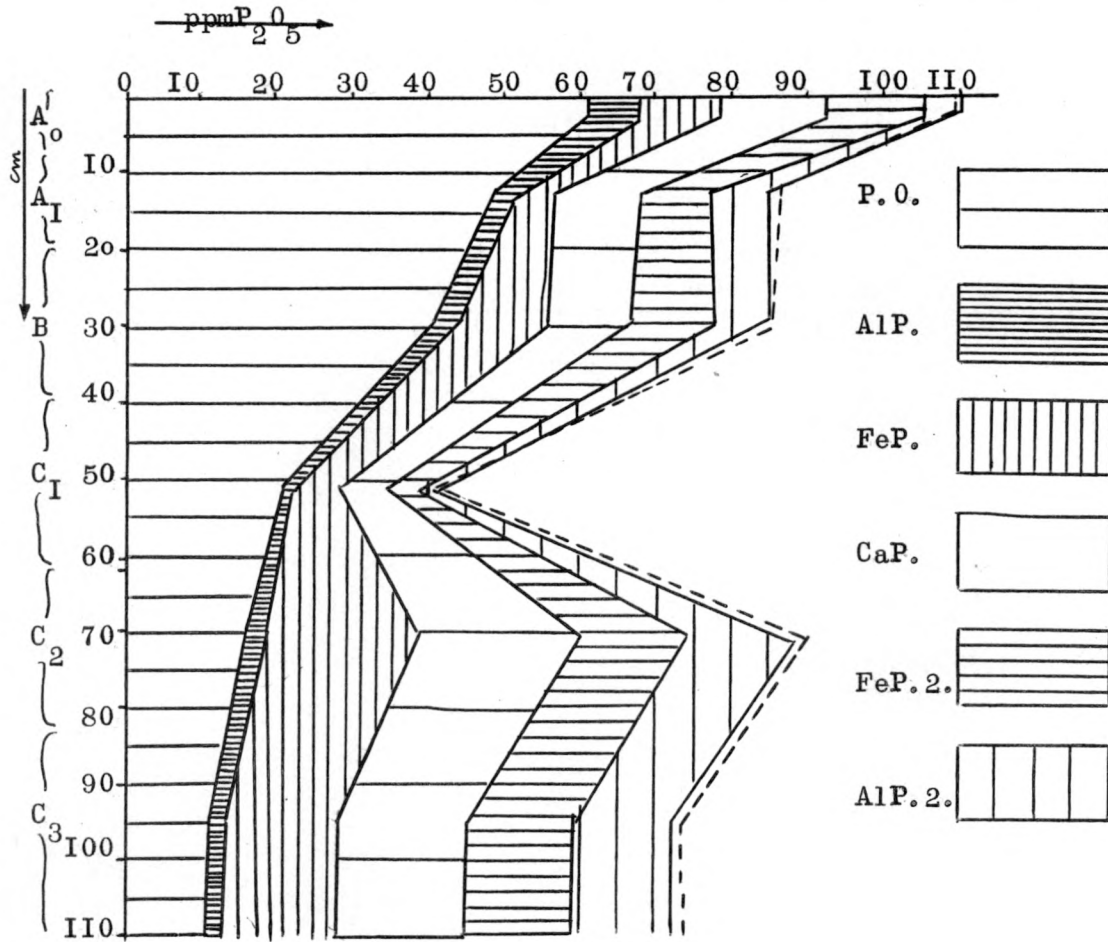
M.	M.%. I37	pH	M.O.	arc.	P.T.	Fe.T.	Fe.I.	Fe.2.
37	51,9	4.60	5,31	1,78	109,1	1932	1003	480
I37	48,1	5.55			47,5	832	399	
38	53,5	5.20	3,50	3,32	87,2	1955	1046	516
I38	46,5	5.40			42,5	822	382	
39	41,7	4.80	2,51	3,58	85,5	2020	842	719
I39	58,3	5.35			39,6	820	478	
40	34,8	4.70	0,82	1,18	42,1	2190	762	447
I40	65,2	5.70			17,7	816	532	
41	44,0	4.70	0,53	1,67	90,2	3492	1536	681
I41	56,0	5.25			39,7	1172	656	
42	38,8	4.60	0,35	1,18	73,5	3630	1408	673
I42	61,2	5.90			42,5	1238	758	

La composición granulométrica.



M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
37	2,19	3,57	7,51	21,13	13,63	15,32	16,13	18,74	1,78
38		5,21	8,08	18,56	14,62	27,73	15,25	7,23	3,32
39	5,04	3,11	8,57	25,97	15,57	21,38	11,57	5,21	3,58
40	1,46	4,96	16,87	27,64	14,23	22,52	8,00	3,14	1,18
41		1,13	5,74	29,66	19,46	30,50	9,16	2,68	1,67
42		1,39	11,18	31,81	16,84	26,83	8,41	2,36	1,18

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP.	%	FeP.	%	CaP.	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
37	5,8	12,3	10,9	23,0	13,4	28,3	12,9	27,3	4,3	9,1	47,3
38	3,0	8,4	4,7	13,2	11,3	31,8	8,8	24,7	7,8	21,9	35,6
39	2,6	6,1	11,8	27,6	10,7	25,1	10,2	23,9	7,4	17,3	42,7
40	1,1	5,5	5,5	27,2	5,4	26,7	3,8	18,8	4,4	21,8	20,2
41	2,6	3,6	19,3	26,6	21,6	29,8	14,8	20,4	14,2	19,6	72,5
42	1,9	3,1	14,2	23,8	17,0	28,4	14,4	24,0	12,4	20,7	59,9

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	37	38	39	40	41	42
P. O.	61,5	48,7	40,8	20,5	15,4	11,0
%	56,4	56,0	47,7	48,8	17,1	15,0
P. I.	47,6	38,5	44,7	21,6	74,8	62,5
%	43,6	44,0	52,3	51,2	82,9	85,0

Discusión :

Este " suelo pardo ácido " se ha formado sobre una vegetación de *Quercus*. La cantidad de materia orgánica es en general bastante pequeña, lo cual confirma una mineralización rápida. El fósforo inorgánico entonces supera al fósforo orgánico salvo en los horizontes A<sub>0</sub> y A<sub>1</sub>.

La emigración del hierro libre es menos pronunciada pero la acumulación de la arcilla se muestra perfectamente en el horizonte B.

La forma de fósforo más representada en la fracción inorgánica consiste en el fósforo ligado al hierro, mientras que el fósforo ligado al calcio no alcanza más del 30 % .

El valor del pH no supera el 5.20, con un mínimo de 4,60.

El horizonte A<sub>0</sub> tiene una valor C/N de 13,3.

.....

G. P E R F I L I 7.

Localidad : Torrelodones.

Altitud : 845 m.

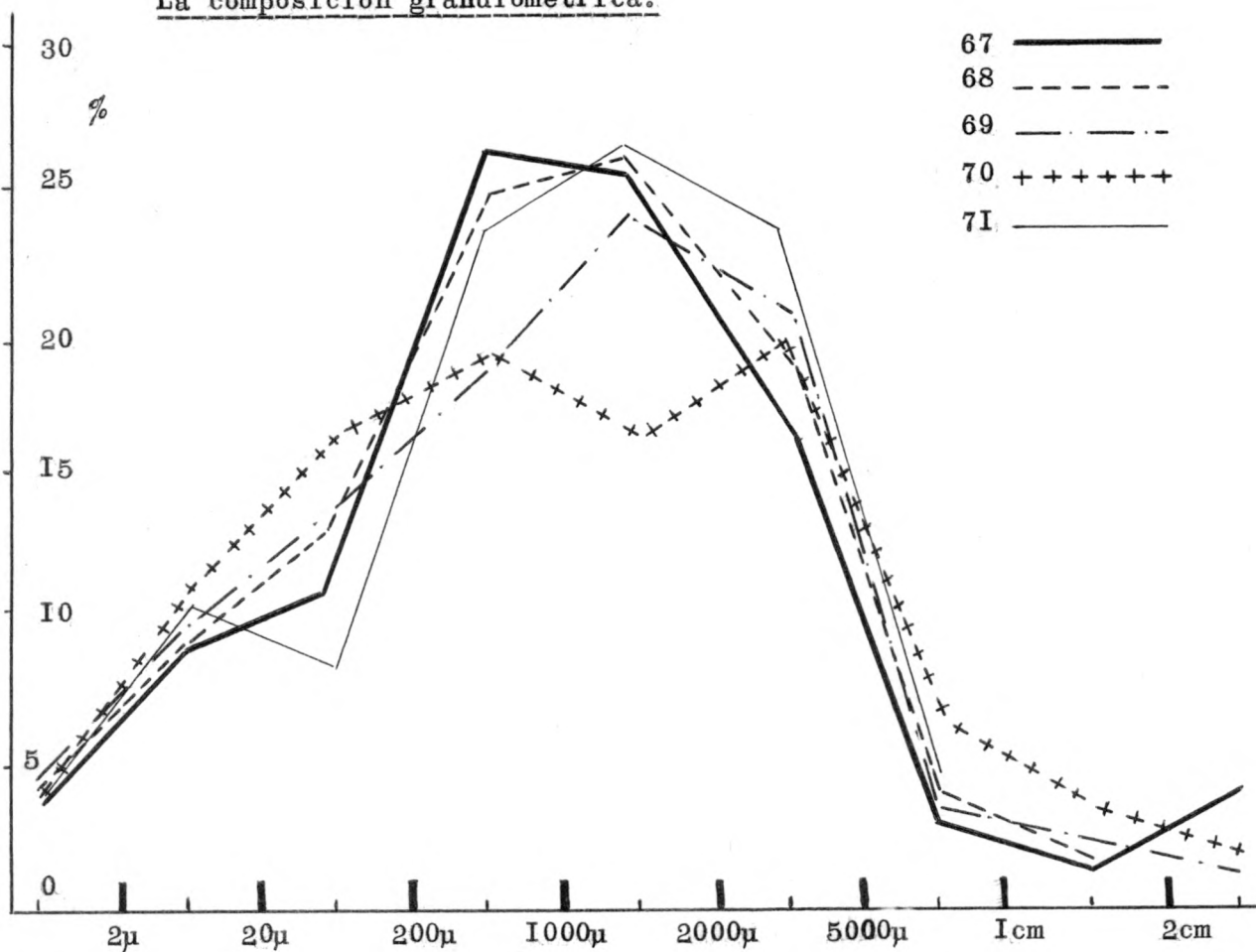
Precipitación atmosférica: 432 mm. anual.

Hor.	Muestra
A <sub>I,I</sub>	67
A <sub>I,2</sub>	68
B <sub>I,I</sub>	69
B <sub>I,2</sub>	70
B <sub>I,2</sub> <sup>C</sup>	71

Vegetación : Retama sphaerocarpa. Cistus ladaniferus.  
Juniperus communis.

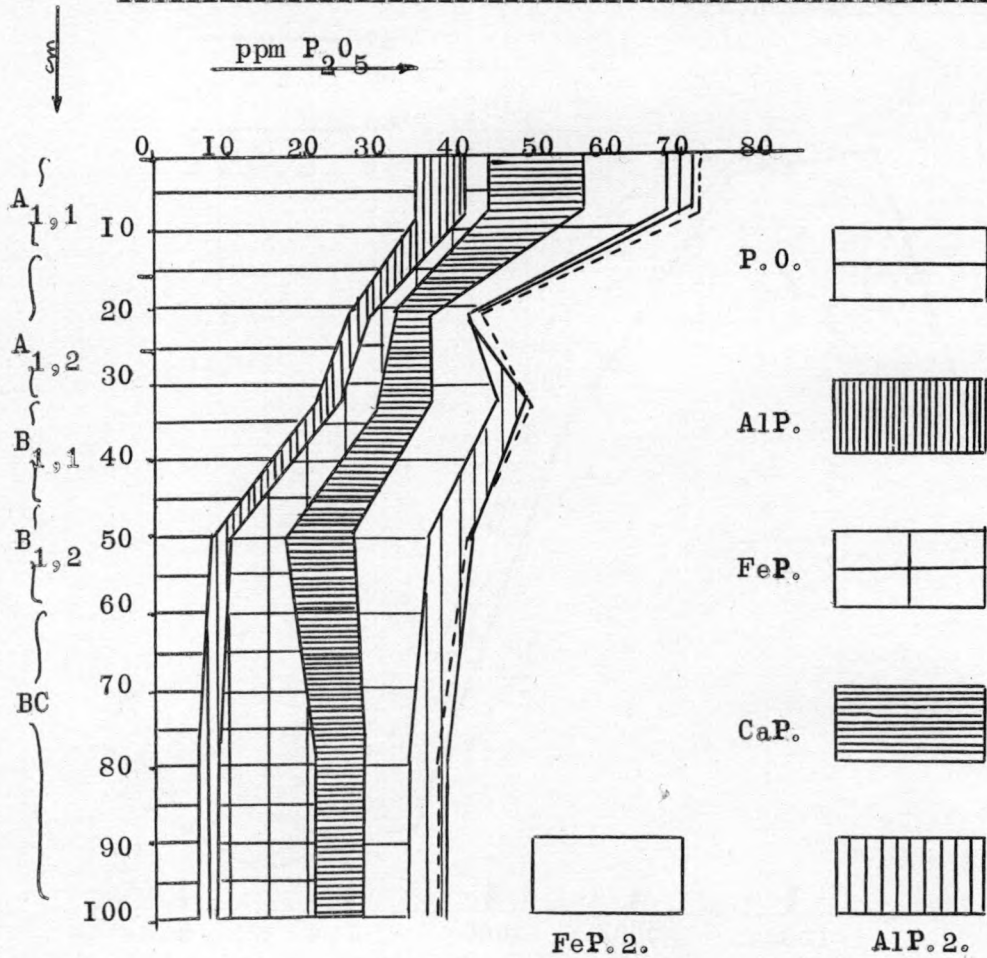
M.	M.‰.	pH	M.O.	arc.	P.T.	Fe.T.	Fe.I.	Fe.2.
67	48,6	4.95	2,65	3,09	72,6	1900	923	361
I67	51,4	5.25			21,5	560	288	
68	49,2	4.35	1,47	4,07	43,8	1920	944	354
I68	50,8	5.10			17,4	652	331	
69	46,7	4.30	1,06	4,55	50,0	2138	998	692
I69	53,3	4.75			25,9	982	523	
70	51,3	4.40	0,59	3,79	41,2	2050	1052	855
I70	48,7	4.75			12,6	998	486	
71	45,6	3.75	0,30	3,61	37,5	3100	1414	939
I71	54,4	4.50			12,3	1003	546	

La composición granulométrica.



M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
67	4,82	1,54	3,43	16,55	25,11	25,82	10,91	8,73	3,09
68		1,90	4,06	19,17	25,65	24,04	12,29	8,81	4,07
69	1,43	2,50	3,93	21,44	24,00	18,90	13,66	9,59	4,55
70	1,73	4,23	6,12	19,95	16,64	19,32	16,76	11,46	3,79
71			4,66	23,42	26,29	23,94	7,41	10,67	3,61

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2	%	Total
67	7,9	21,2	2,5	6,7	11,6	31,2	11,8	31,7	3,4	9,2	37,2
68	2,5	15,3	2,4	14,7	4,4	27,0	6,0	36,8	1,0	6,2	16,3
69	2,8	10,3	5,3	19,6	6,8	25,1	8,5	31,4	3,7	13,6	27,1
70	2,0	6,1	7,5	22,7	8,5	25,8	9,9	30,0	5,1	15,4	33,0
71	2,4	7,2	13,1	39,2	5,6	18,8	5,9	17,7	6,4	19,1	33,4

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

---

M.	67	68	69	70	71
P.O.	35,1	25,7	21,1	7,5	5,7
%	48,3	58,9	42,2	18,2	15,3
P.I.	37,5	18,1	28,9	33,7	31,8
%	51,7	41,1	57,8	81,8	84,7

Discusión :

El cuarto ejemplo del tipo " suelo pardo ácido " es muy similar al perfil 9. La vegetación arborea mixta ha provocado una mineralización muy rápida y los valores de la materia orgánica son bastante bajos.

Al contrario, el fósforo orgánico tiene valores elevados hasta el horizonte B<sub>I,1</sub>.

La misma conclusión sirve para la distribución del fósforo inorgánico, es decir, el contenido, sobre todo en fósforo ligado al hierro.

La acumulación de la arcilla y de hierro es evidente en los horizontes B<sub>I,1</sub>, B<sub>I,2</sub> y B<sub>I,2</sub><sup>C</sup>.

El horizonte A<sub>I,1</sub> tiene un valor C/N de 14,56.

.....

H. P E R F I L 11.

=====

Localidad: Carretera Miraflores-Canencia, km 7.

Altitud: 1480 m.

Precipitación atmosférica : 778 mm. anual.

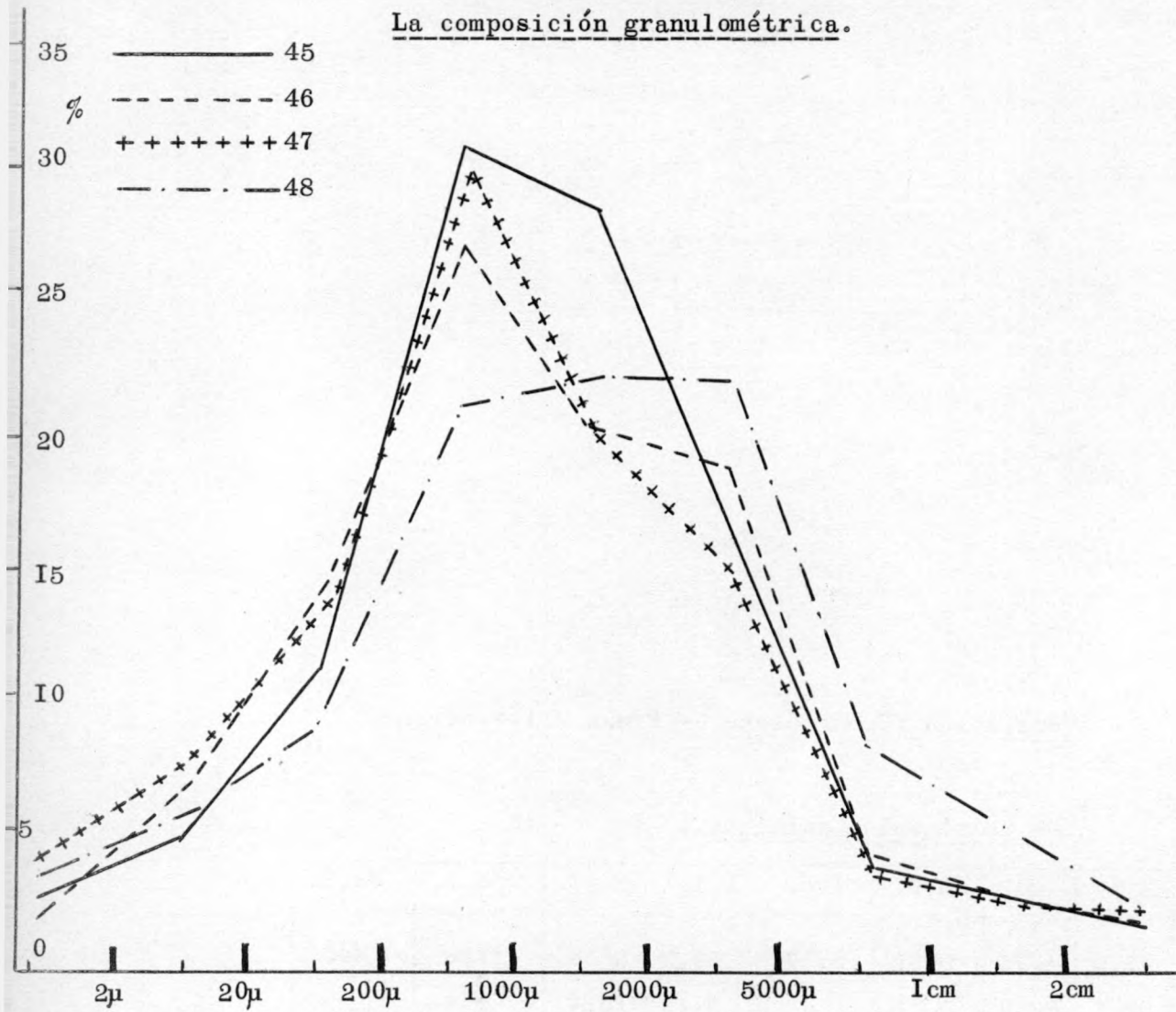
Muestra	Hor,
45	A <sub>1</sub>
46	A <sub>2</sub>
47	B
48	C

Vegetación : Pinar denso de *Pinus silvestris*.

Los componentes químicos :

M.	M. %.	pH	M. O.	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. 1.	Fe. 2.
45	47,9	4.90	3,62	2,17	56,2	2356	1128	446
145	52,1	5.50			57,4	1620	844	
46	51,5	4.90	1,20	1,73	102,5	2336	1203	512
146	48,5	5.20			70,6	1478	717	
47	54,7	5.00	2,25	3,78	105,6	2313	1275	783
147	45,3	5.50			56,9	1498	679	
48	39,1	4.75	1,40	3,09	68,2	2582	1009	506
148	60,9	5.10			50,4	1456	887	

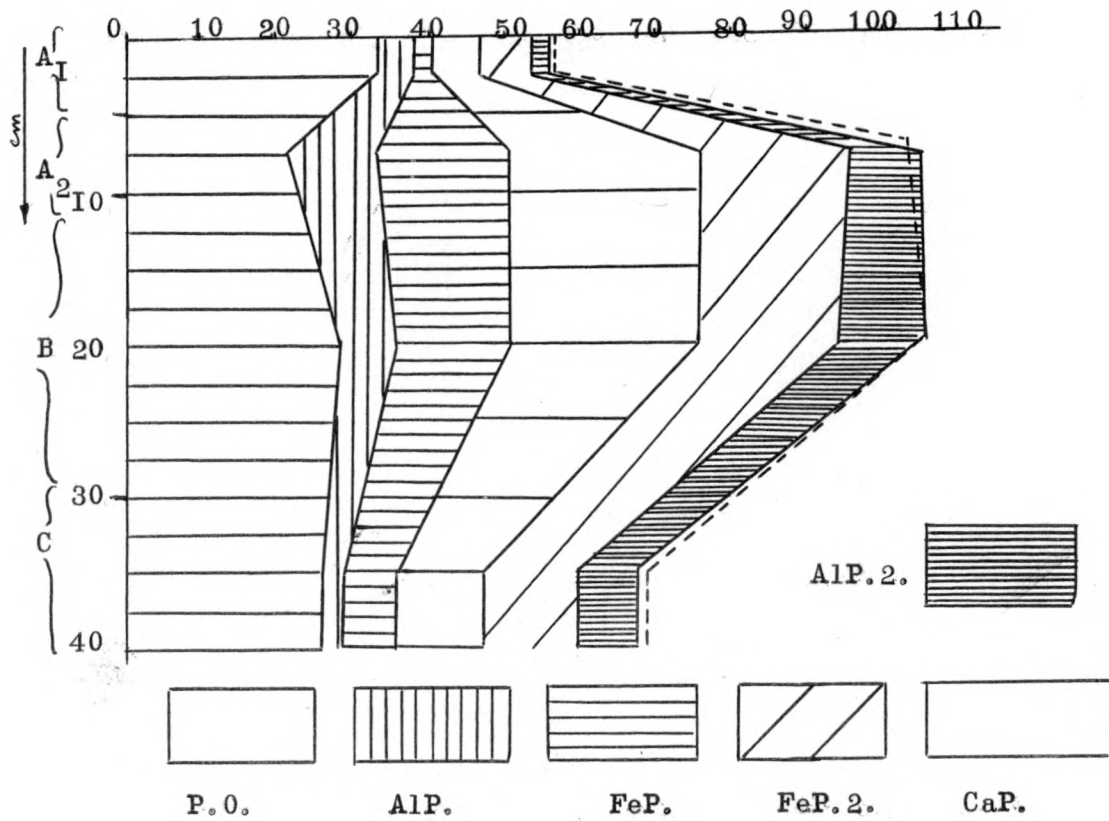
La composición granulométrica.



M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
45	1,65	2,13	3,65	16,48	28,10	31,02	11,28	4,98	2,71
46	2,20	2,12	4,77	19,00	20,46	26,39	14,48	6,85	1,73
47	2,39	2,49	4,26	15,89	20,25	30,96	12,85	7,23	3,78
48	2,58	5,60	8,29	22,07	22,30	21,86	9,09	5,12	3,09

ppm  $P_{2O_5}$

La distribución de las formas inorgánicas.



M.	AlP.	%	FeP.	%	CaP	%	FeP.2	%	AlP.2	%	Total
45	4,0	19,3	2,2	10,6	6,0	29,0	6,0	29,0	2,5	12,1	20,7
46	10,6	12,7	16,2	19,4	25,9	31,0	19,7	23,6	11,2	13,3	83,6
47	7,7	10,0	14,9	13,9	25,6	33,2	18,7	24,3	10,2	13,3	77,1
48	2,3	5,7	6,9	17,0	10,6	26,1	11,9	29,3	8,9	21,9	40,6

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	45	46	47	48
P.O.	33,7	21,3	28,2	25,5
%	60,0	20,8	26,6	37,4
P.I.	22,5	81,2	77,4	42,7
%	40,0	79,2	73,4	62,6

Discusión :

Este " suelo pardo lessivé " se caracteriza sobre todo por la formación de dos horizontes lixiviados sin que todavía se distinga el horizonte  $A_2$  como horizonte de lixiviación típico, pues todavía en el  $Fe^{3+}$  es más alto que en el horizonte superficial. Sin embargo ya se manifiesta para el caso de la arcilla y de la materia orgánica.

Por otro lado, la acumulación en el horizonte de enriquecimiento es muy pronunciada.

Los valores del fósforo total se muestran bajos en relación con los perfiles anteriores.

El fósforo ligado al aluminio es alta y demuestra valores equivalentes a los de fósforo ligado al hierro.

El horizonte  $A_1$  tiene un valor C/N de 16,31.

.....

I. P E R F I L 7.

=====

Localidad :Carretera Navacerrada-Segovia,km 63,8.

Altitud : 1580 m.

Precipitación atmosférica.:1050 mm anual.

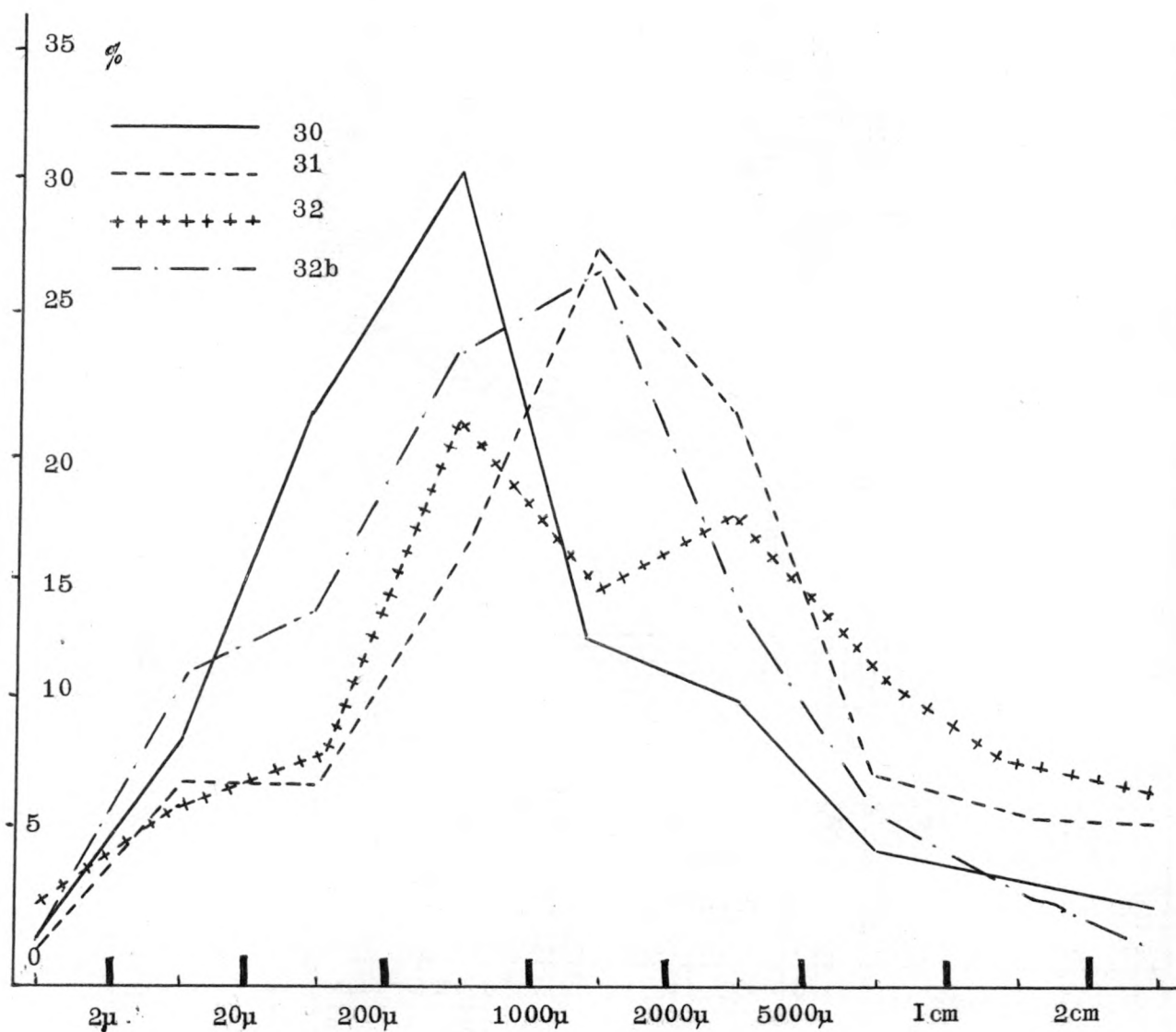
Muestra	Hor.
30	A <sub>1</sub>
3I	A <sub>2</sub>
32	B
32b.	C

Vegetación : Pasto en Pinar de Pinus sivestris.  
 Croccus cfr. nodiflorus. Rumex cfr. acetosella.  
 Festuca rubru. Sagina procumbens. Trifolium sp.  
 Ranunculus castellanus. Musgos.  
 Se trata de una praderita húmeda.

Los componentes químicos.

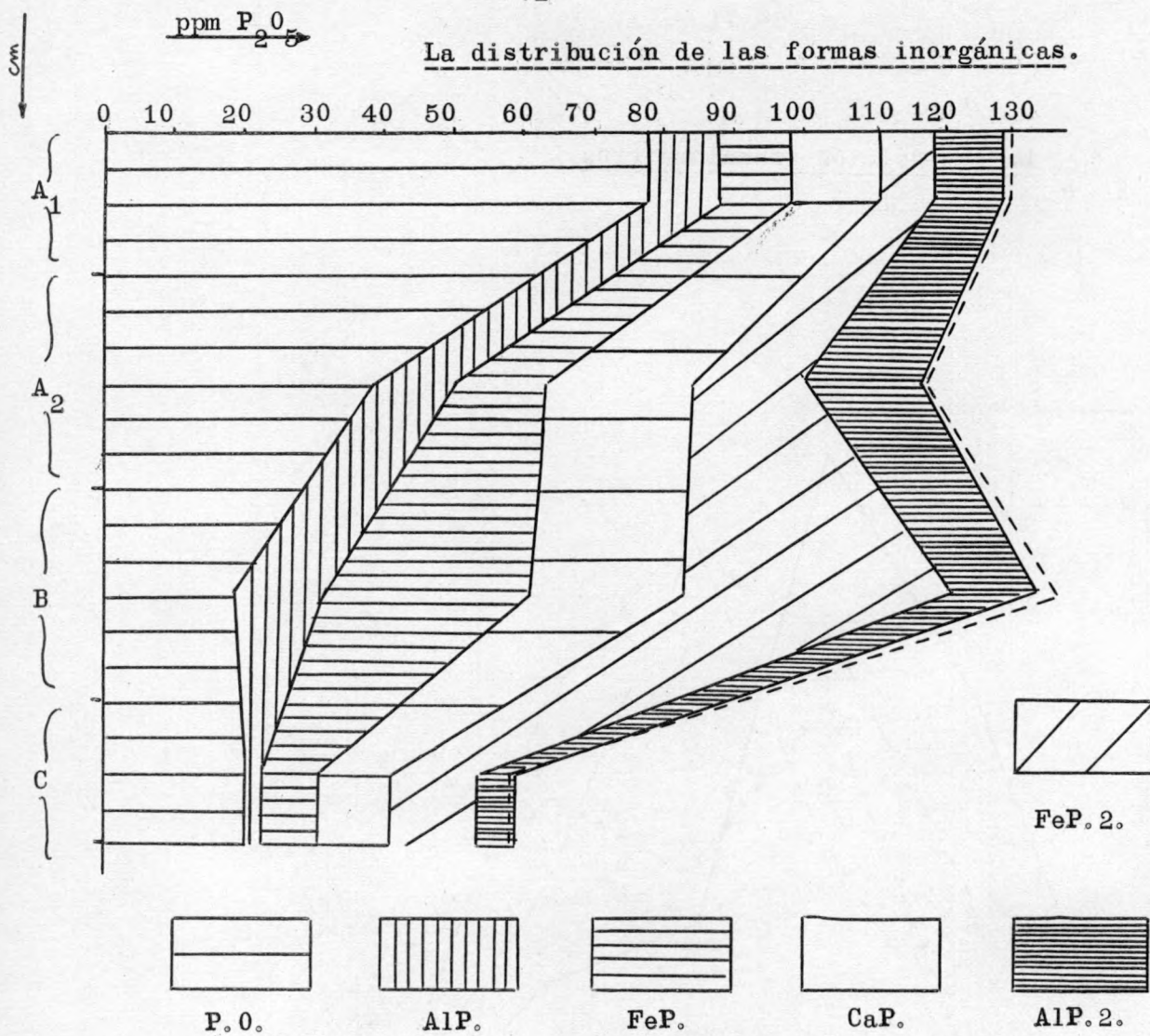
M.	M. %.	pH	M. O.	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. 1.	Fe. 2.
30	64,3	4.40	11,55	1,74	129,7	1392	895	309
130	35,7	4.55			81,9	1250	446	
31	30,1	4,60	2,70	0,51	117,1	1820	548	263
131	69,9	4.80			69,2	1250	874	
32	37,9	4.40	1,74	2,22	135,7	1740	659	468
132	62,1	4.60			57,4	1255	779	
32b	48,0	4.90	1,07	1,47	58,5	1327	637	417
132b	52,0	5.00			61,7	1546	804	

La composición granulométrica.



M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
30	2,99	4,36	5,48	10,29	12,60	31,04	22,25	9,25	1,74
31	6,50	6,62	7,61	21,50	27,67	15,53	6,98	7,08	0,51
32	8,87	9,73	11,66	17,05	14,70	21,61	7,67	6,48	2,22
32b	2,17	4,06	5,84	13,59	26,31	22,88	13,40	11,28	1,47

La distribución de las formas inorgánicas.



M.	AIP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2	%	AIP.2	%	Total
30	9,7	18,7	10,1	19,5	12,6	24,3	8,4	16,2	11,1	21,3	51,9
31	10,9	14,0	13,7	17,6	20,4	26,2	16,1	20,7	16,8	21,5	77,9
32	13,1	11,4	27,8	24,0	22,1	19,1	38,7	33,5	13,9	12,0	115,6
32b	2,7	6,9	7,7	19,5	10,6	26,9	12,6	32,0	5,8	14,7	39,4

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	30	31	32	32b
P.O.	77,5	38,6	18,0	20,1
%	59,7	33,0	13,3	34,4
P.I.	52,2	78,5	117,7	38,4
%	40,3	67,0	86,7	65,6

Discusión :

El segundo ejemplo del tipo " suelo pardo lessivé " muestra también un horizonte típico lixiviado A<sub>2</sub>.

La acidez se ha producida de una manera más pronunciada, con un valor máximo de 4.00. El horizonte C consiste en una roca bastante compacta.

La emigración y la acumulación de la arcilla y del hierro libre es muy alta.

El fósforo orgánico disminuye con bastante rapidez desde el horizonte A<sub>1</sub> con 59,7 % hasta un valor de 13,3 % en el horizonte B.

El fósforo ligado al hierro y al aluminio se encuentra en las mismas cantidades, mientras que el fósforo ligado al calcio no alcanza el 26 % de la fracción inorgánica.

El horizonte A<sub>1</sub> tiene un valor C/N de 17,39.

.....

J. P E R F I L 8.

=====

Localidad : Carretera Navacerrada-Segovia, km 61.

Altitud : 1720 m.

Precipitación atmosférica : 1050 mm .

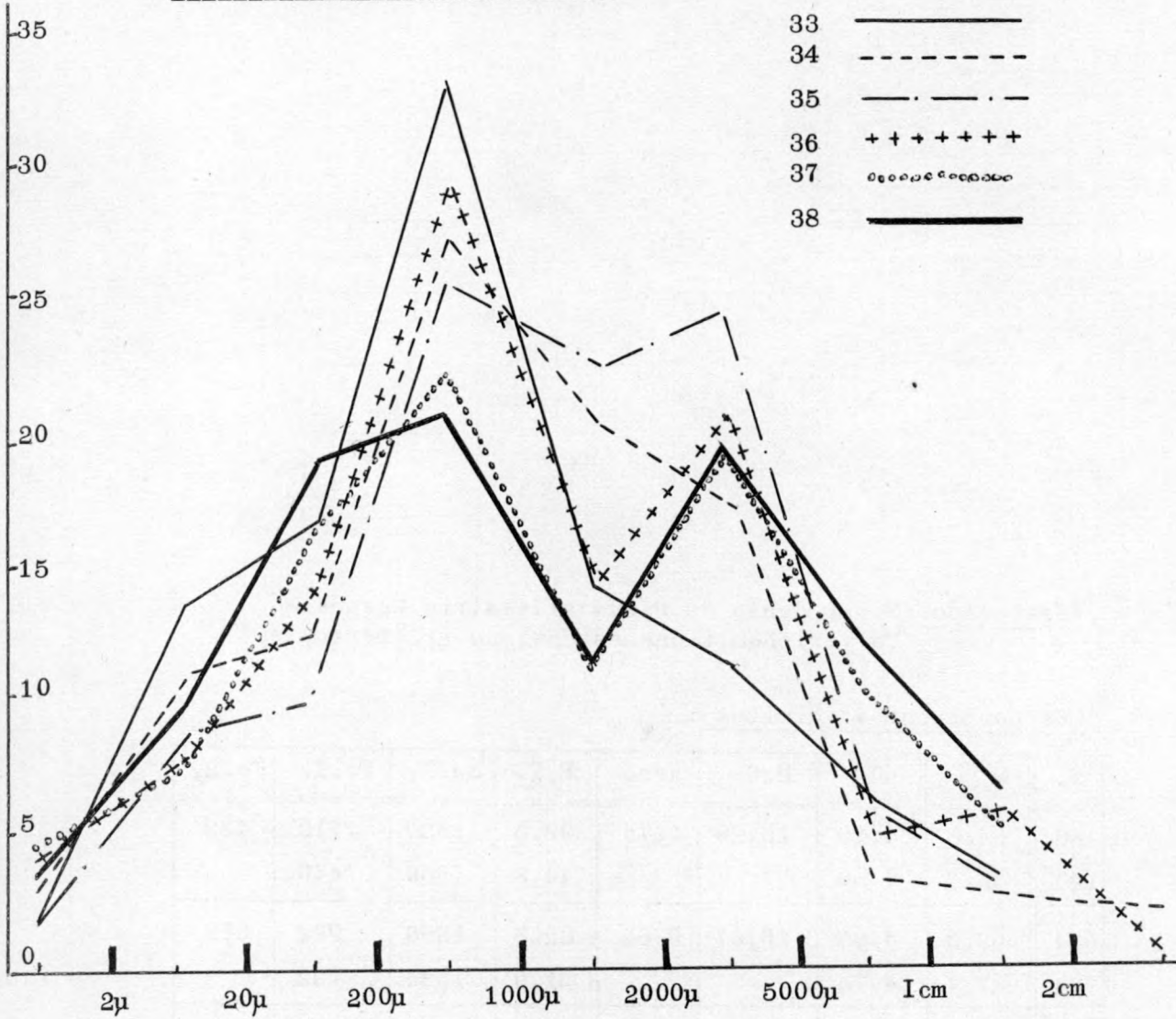
Muestra	Hor.
33	A <sub>0</sub>
34	A <sub>1</sub>
35	A <sub>2</sub>
36	B <sub>I,I</sub>
87	B <sub>I,2</sub>
88	C

Vegetación :Pinar denso de *Pinus silvestris*.Musgos.  
Polytrichum.Liquenes.Jasionne gr. perennis.

Los componentes químicos :

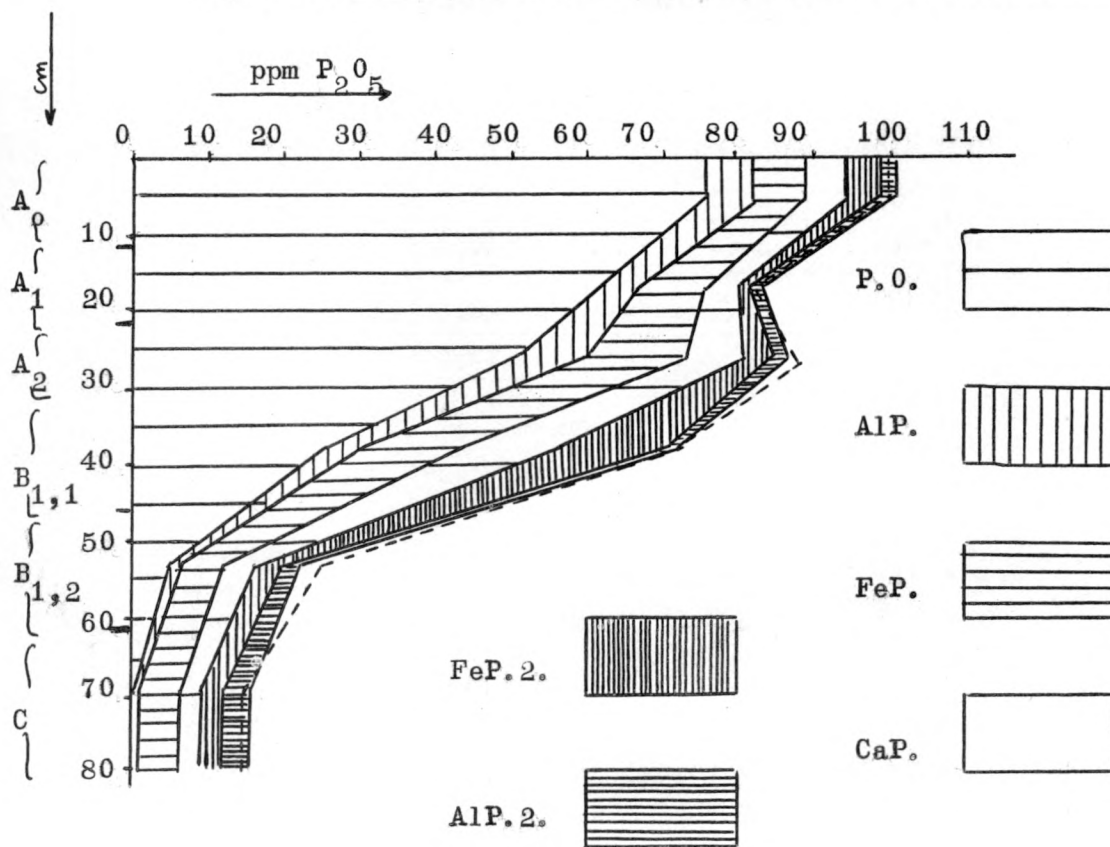
M.	M.%. M.O.	pH	M.O.	arc.	P.T.	Fe.T.	Fe.1.	Fe.2.
33	64,8	4.10	15,29	1,76	99,5	1820	1179	432
133	35,2	4.50			44,8	1250	440	
34	52,3	4.35	10,67	2,82	82,5	1896	992	378
134	47,7	4.75			51,9	1534	732	
35	44,1	4.45	3,60	1,37	88,1	1984	875	329
135	55,9	4.65			57,2	1527	853	
36	54,4	4.45	2,92	4,01	72,5	1850	1006	785
136	45,6	5.00			51,4	1519	693	
87	50,7	4.40	0,97	4,28	25,7	1854	940	673
187	49,3	5.00			30,3	1538	758	
88	52,4	4.35	0,26	3,47	14,7	1860	975	619
188	47,6	5.15			17,6	1542	734	

La composición granulométrica.



M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
33		3,97	5,79	11,36	14,07	32,66	16,72	13,67	1,76
34	3,05	3,26	3,89	16,90	20,64	27,06	11,94	10,44	2,82
35		3,69	5,34	24,77	22,07	25,07	9,49	8,20	1,37
36	0,23	5,92	4,76	20,17	14,55	28,16	14,27	7,93	4,01
87		5,71	10,00	19,25	10,32	22,26	16,32	7,86	4,28
88		6,03	11,86	19,33	10,34	20,62	19,33	9,02	3,47

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP.	%	FeP.	%	CaP	%	FeP.2	%	AlP.2	%	Total
33	5,9	22,0	7,8	29,1	5,1	19,0	5,9	22,0	2,1	7,9	26,9
34	5,1	23,9	8,6	40,4	4,3	20,2	1,3	6,1	2,0	9,4	21,3
35	8,8	24,6	13,1	36,6	8,8	24,6	4,1	11,4	1,0	2,8	35,8
36	4,2	8,7	12,7	26,6	13,6	28,3	13,8	28,7	3,8	7,9	48,1
87	0,8	4,6	5,2	30,1	3,8	22,0	3,9	22,5	3,6	20,8	17,3
88	0,9	5,7	5,1	32,1	2,9	18,2	2,9	18,2	4,1	25,8	15,9

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	33	34	35	36	87	88
P.O.	75,5	62,0	51,7	25,5	5,2	-
%	75,9	75,2	58,7	35,2	20,4	-
P.I.	24,0	20,5	36,4	47,0	20,5	14,7
%	24,1	24,8	41,3	64,8	79,6	100,0

Discusión :

Una fase más evolucionada en el ciclo consiste en el tipo " suelo lessivé ". Se ha producido un aumento del volumen del horizonte B.

Los horizontes  $A_0$  y  $A_1$  contienen cantidades importantes de materia orgánica, que se refleja en los valores de fósforo orgánico, de 75 %.

El fósforo total disminuye con bastante rapidez con la profundidad.

El valor de hierro libre de 785 mg/100 g de suelo en el horizonte  $B_{1,1}$  muestra perfectamente la acumulación con respecto al valor del horizonte  $A_2$  de 329 mg/100 g.

También la acumulación de la arcilla en el horizonte  $B_{1,1}$  y  $B_{1,2}$  de 4,01 y 4,28 es muy característica respecto al valor de 1,37 en el horizonte  $A_2$ .

El fósforo ligado al calcio sigue disminuyendo, mientras que las formas ocluidas de hierro y de aluminio se muestran muy elevadas.

El horizonte  $A_0$  tiene un valor C/N de 25,1.

.....

K. P E R F I L 12.

=====

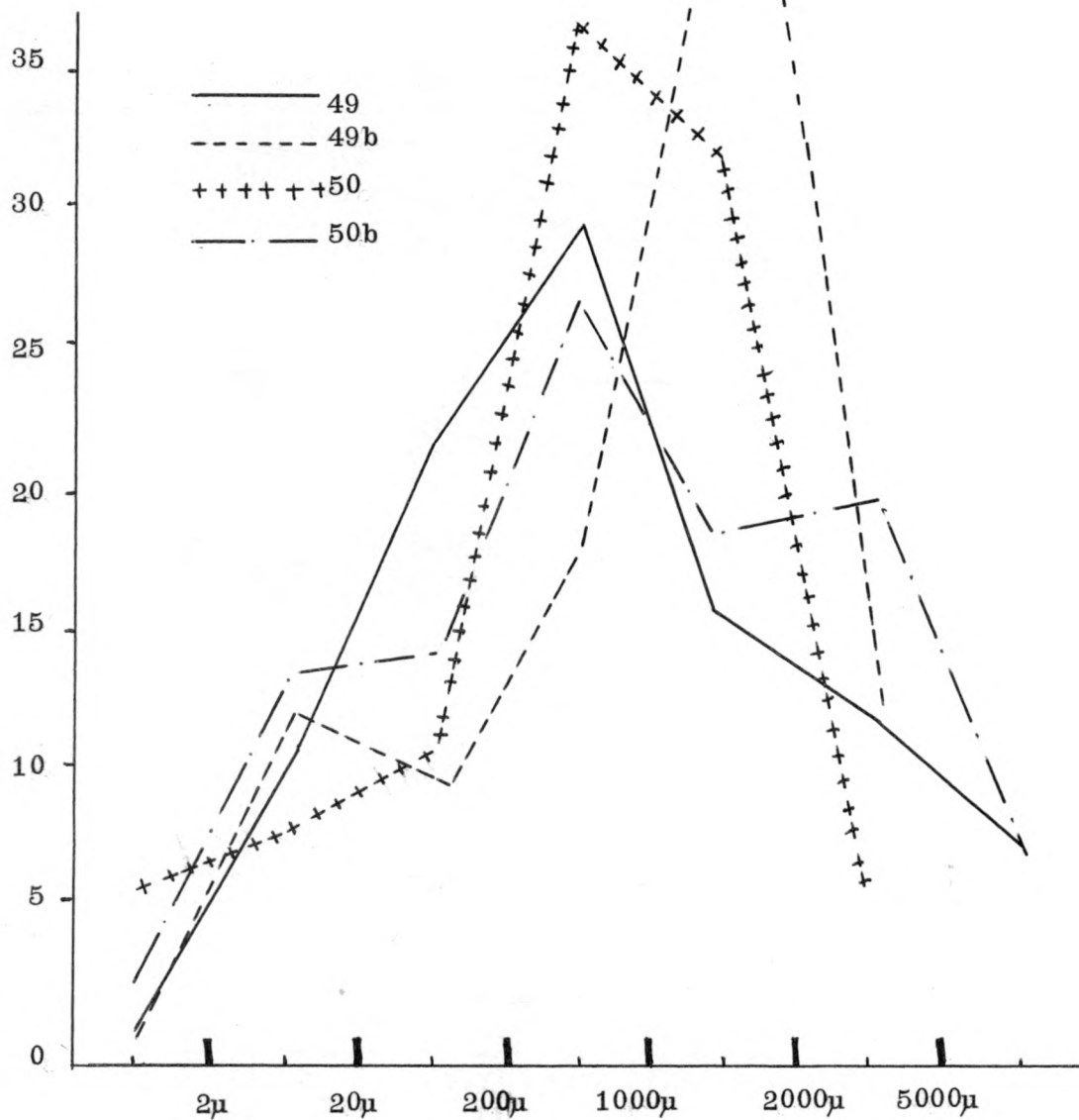
Localidad : Carretera Miraflores-Canencia, km 9.

Altitud : 1490 m.

Precipitación atmosférica.: 778 mm anual.

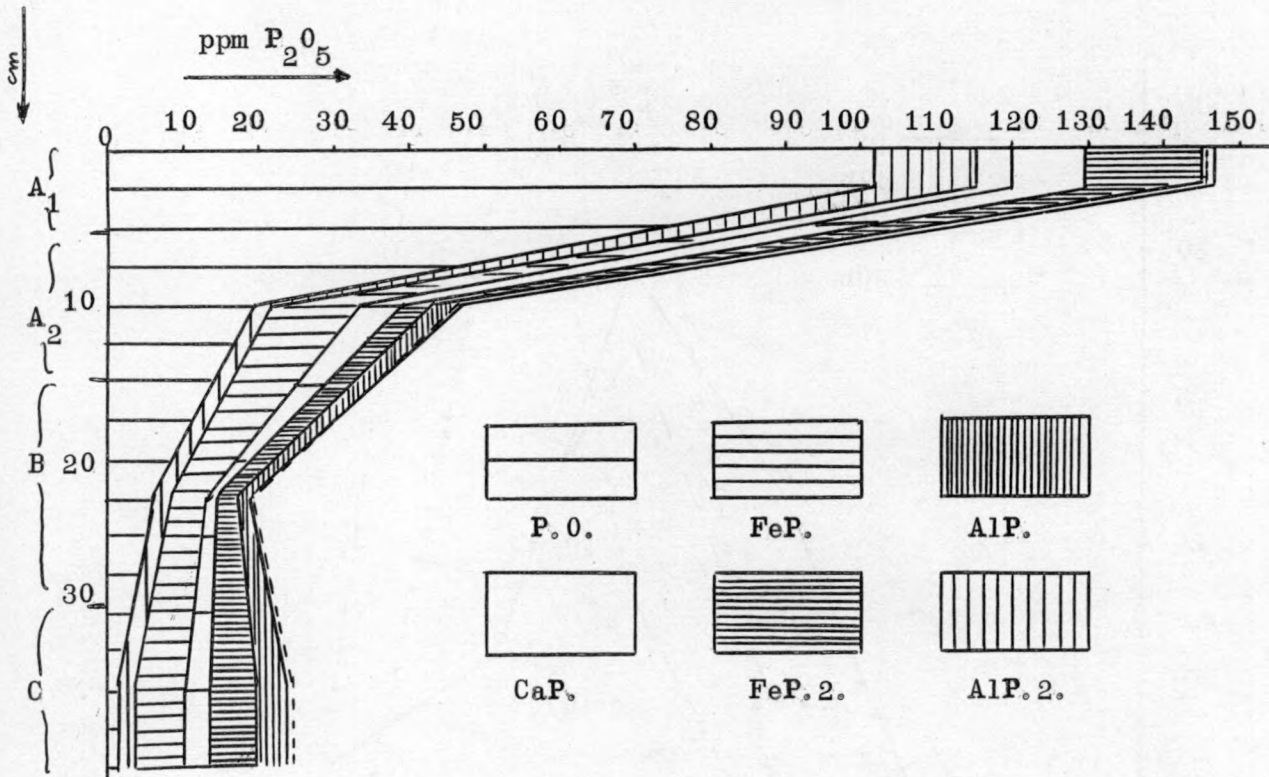
Muestra	Hor.
49	A <sub>1</sub>
49b	A <sub>2</sub>
50	B
50b	C

La composición granulométrica.



M.	1-0,5cm	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
49	8,10	12,31	16,17	29,44	22,21	10,56	1,21
49b		12,40	48,29	17,31	9,13	12,03	0,84
50		6,87	31,79	37,34	10,34	7,10	6,51
50b	8,02	19,45	17,32	25,12	14,88	13,04	2,17

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP.	%	FeP.	%	CaP.	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
49	12,2	26,9	4,3	9,5	9,1	20,0	17,3	38,1	2,5	5,5	45,4
49b	1,9	6,9	10,6	38,5	5,1	18,5	4,7	17,2	5,2	18,9	27,5
50	2,3	17,3	4,8	36,1	1,7	12,8	2,6	19,5	1,9	14,3	13,3
50b	1,7	7,8	6,9	31,1	3,1	14,2	6,1	27,5	4,2	19,4	22,0

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	49	49b	50	50b
P.O.	101,5	19,6	6,0	1,8
%	69,6	41,9	31,2	7,3
P.I.	44,2	27,1	13,2	22,8
%	30,4	58,1	68,8	92,7

Discusión :

El tipo " suelo lessivé podzólico " es la primera fase hasta llegar a la formación de un típico podzol. Se ve un horizonte A<sub>2</sub> de color bastante claro, a causa del empobrecimiento desde el punto de vista químico.

Efectivamente, el contenido de elementos es muy bajo en relación a la zona de enriquecimiento B. La diferencia entre ambos horizontes del hierro libre de 148 mm hasta 671 mg es clara.

También la arcilla aumenta de 0,84 hasta 6,51.

El fósforo total en los horizontes A<sub>2</sub> y B es bajo respecto del horizonte A<sub>1</sub> que tiene un valor de fósforo de 145 ppm, debido a la cantidad elevada de materia orgánica.

El horizonte A<sub>1</sub> tiene un valor C/N de 27,39.

.....

L. P E R F I L 6.

=====

Localidad : Carretera Navacerrada -Segovia, km 64.

Altitud : 1560 m.

Precipitación atmosférica: 1050 mm. anual.

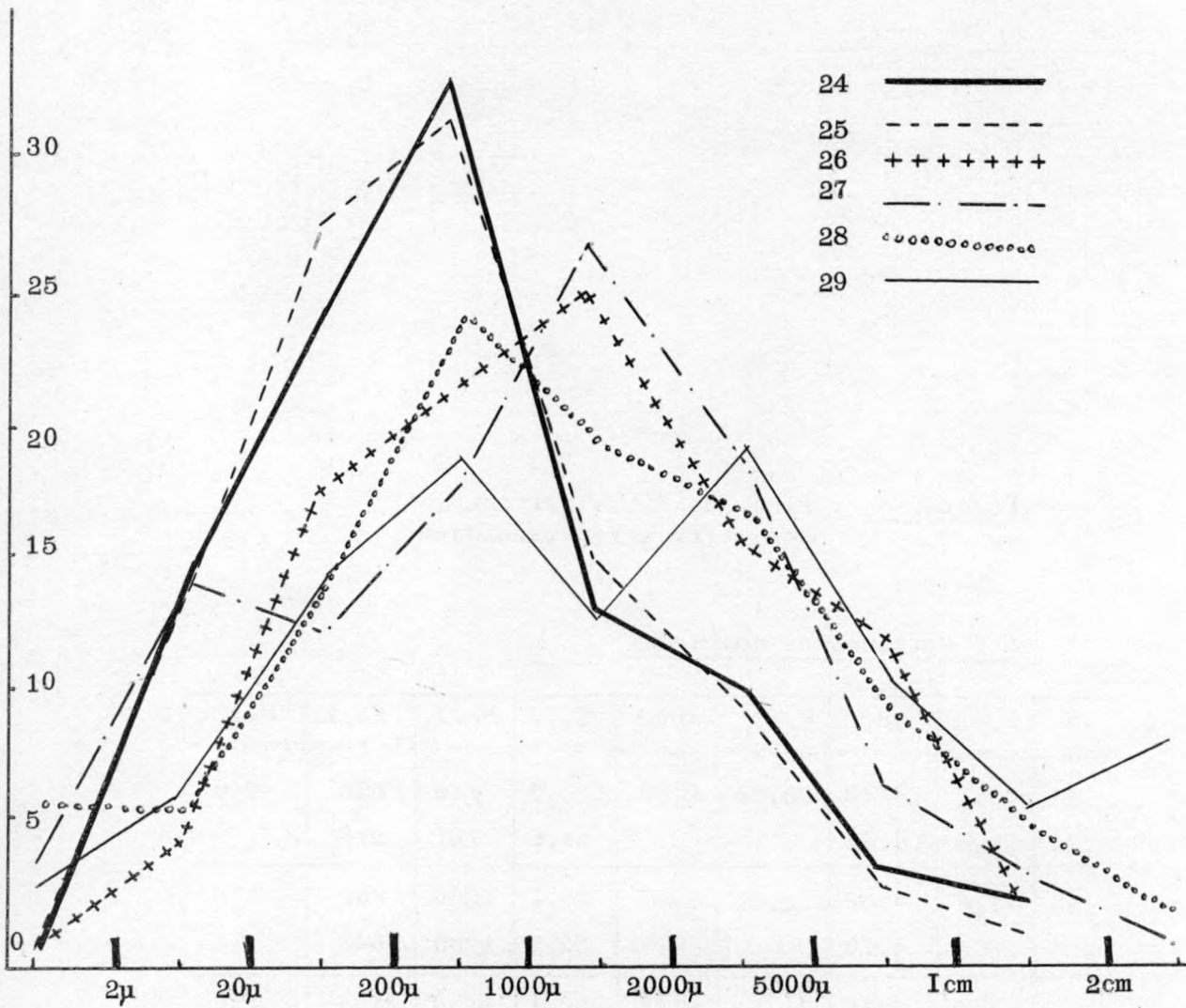
Muestra	Hor.
24	A <sub>1,1</sub>
25	A <sub>1,2</sub>
26	A <sub>2</sub>
27	B <sub>h</sub>
28	B <sub>ir</sub>
29	C

Vegetación : Pinar de Pinus silvestris.  
Rosa cfr. arvensis.Liquen.

Los componentes químicos:

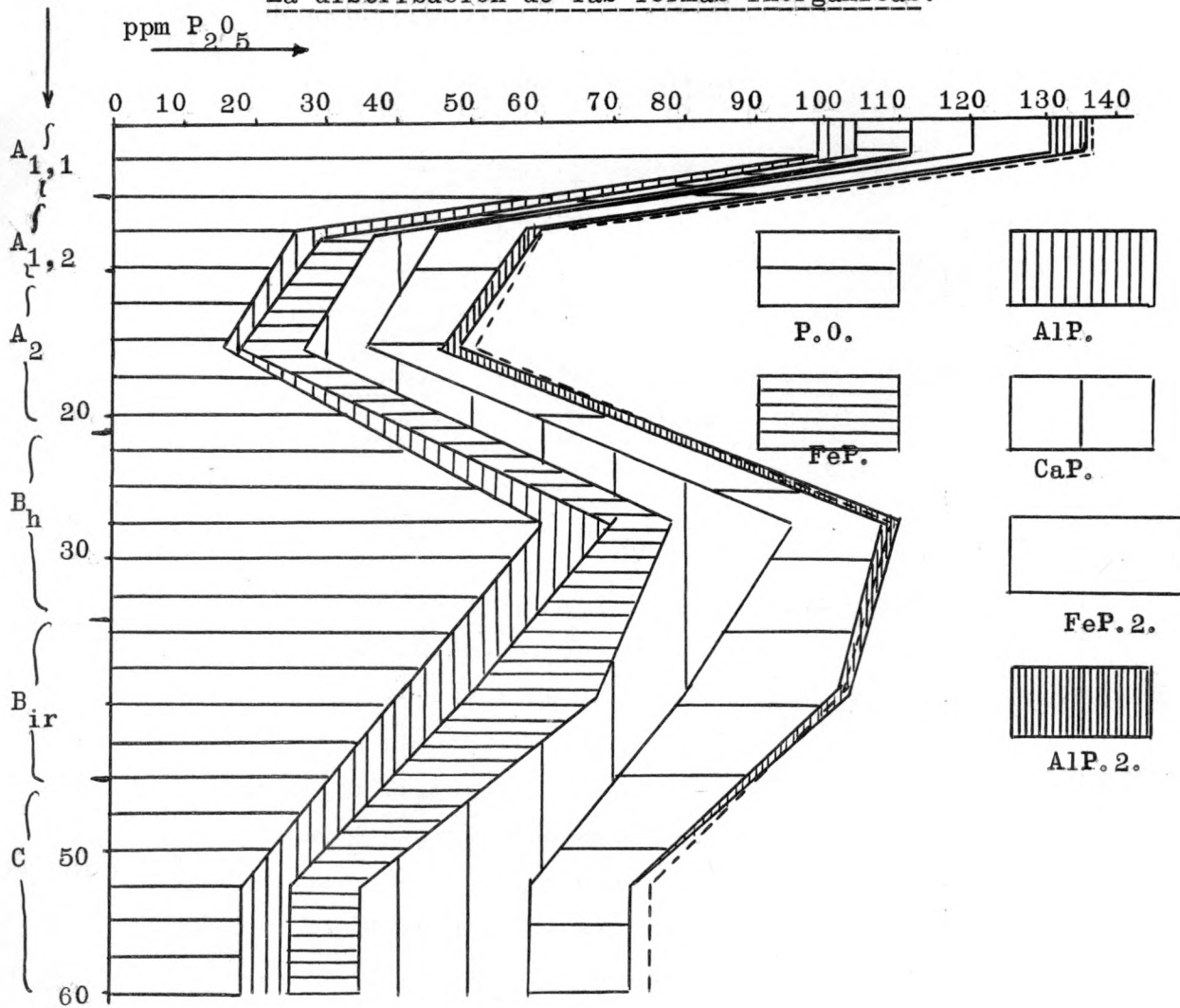
M.	M.‰.	pH	M.O.	arc.	P.T.	Fe.T.	Fe.1.	Fe.2.
24	70,4	4.40	33,45	0,89	135,5	846	596	249
124	29,6	4.45			61,8	731	216	
25	71,8	4.50	2,27	1,07	60,7	1200	862	378
125	28,2	4.70			52,2	1236	348	
26	45,0	4.55	1,21	0,77	50,1	1430	643	216
126	55,0	4.65			61,0	1288	708	
27	44,2	4.70	9,84	3,65	109,0	1738	768	492
127	55,8	5.20			71,2	1460	815	
28	46,7	4.75	5,84	5,60	102,5	1738	812	678
128	53,3	5.00			61,3	1288	686	
29	41,3	5.65	1,16	2,54	75,0	1620	669	426
129	58,7	5.05			57,6	1293	759	

La composición granulométrica.



M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ -0
24		2,71	3,09	10,86	12,92	32,07	24,12	13,34	0,89
25		1,03	2,74	9,74	14,70	31,10	27,05	12,57	1,07
26		1,72	12,01	16,09	25,19	22,06	17,17	4,99	0,77
27	0,51	3,62	6,08	19,10	26,52	16,06	11,68	12,78	3,65
28	2,89	5,34	9,55	16,77	18,74	22,68	13,06	5,37	5,60
29	8,12	6,35	11,77	19,75	12,70	20,40	12,15	6,22	2,54

La distribución de las formas inorgánicas.



M.	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
24	4,7	12,9	7,2	19,7	8,8	24,1	10,8	29,6	5,0	13,7	36,5
25	3,6	10,4	7,1	20,5	8,6	24,9	12,0	34,7	3,3	9,5	34,6
26	1,8	5,4	9,0	27,2	9,0	27,2	10,6	32,0	2,7	8,2	33,1
27	9,7	19,3	8,1	16,1	17,1	34,1	13,2	26,3	2,1	4,2	50,2
28	9,2	14,7	17,3	27,7	12,6	20,1	21,8	34,8	1,7	2,7	62,6
29	7,0	12,9	9,6	17,8	23,6	43,6	13,9	25,7	-	-	54,1

Distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	24	25	26	27	28	29
P. O.	98,8	25,5	16,0	60,0	40,0	18,1
%	72,9	42,0	31,9	55,0	39,0	24,2
P. I.	36,7	35,2	34,1	49,0	62,5	56,9
%	27,1	58,0	68,1	45,0	61,0	75,8

Discusión.

Este perfil "podzol humo-ferrico" tiene todas las características de un suelo degradado. La capa A<sub>2</sub> está totalmente lixiviada y de color blanco, sin estructura.

La acumulación de materia orgánica en el horizonte B<sub>h</sub> debido a la emigración de compuestos orgánicos se refleja también en los valores del fósforo orgánico.

Por otro lado, la acumulación de hierro en el horizonte B<sub>ir</sub> se confirma por los valores de fósforo ligado al hierro. La cantidad bastante grande, 33,45 %, de la materia orgánica en el horizonte A<sub>1,1</sub> demuestra una mineralización muy lenta en la capa superior.

La distribución de la arcilla a lo largo del perfil es muy típica.

Los valores del fósforo total son bastante altos debido a la presencia de fósforo orgánico.

El horizonte A<sub>0</sub> tiene un valor C/N de 23,5.

.....

C A P I T U L O 5.

---

LOS PERFILES SOBRE GNEIS.

- A. Perfil 14 : "Ranker".
  - B. Perfil 26 : "Ranker".
  - C. Perfil 18 : "Ranker".
  - D. Perfil 24 : "Ranker".
  - E. Perfil 15 : "Suelo pardo ácido"
  - F. Perfil 19 : "Suelo pardo ácido".
  - G. Perfil 20 : "Suelo pardo lessivé".
  - H. Perfil 21 : "Suelo pardo lessivé".
-

P E R F I L 14.

=====

Localidad :Carretera Miraflores-Canencia,km 4.

Altitud :1100 m .

Precipitación atmosférica : 778 mm anual.

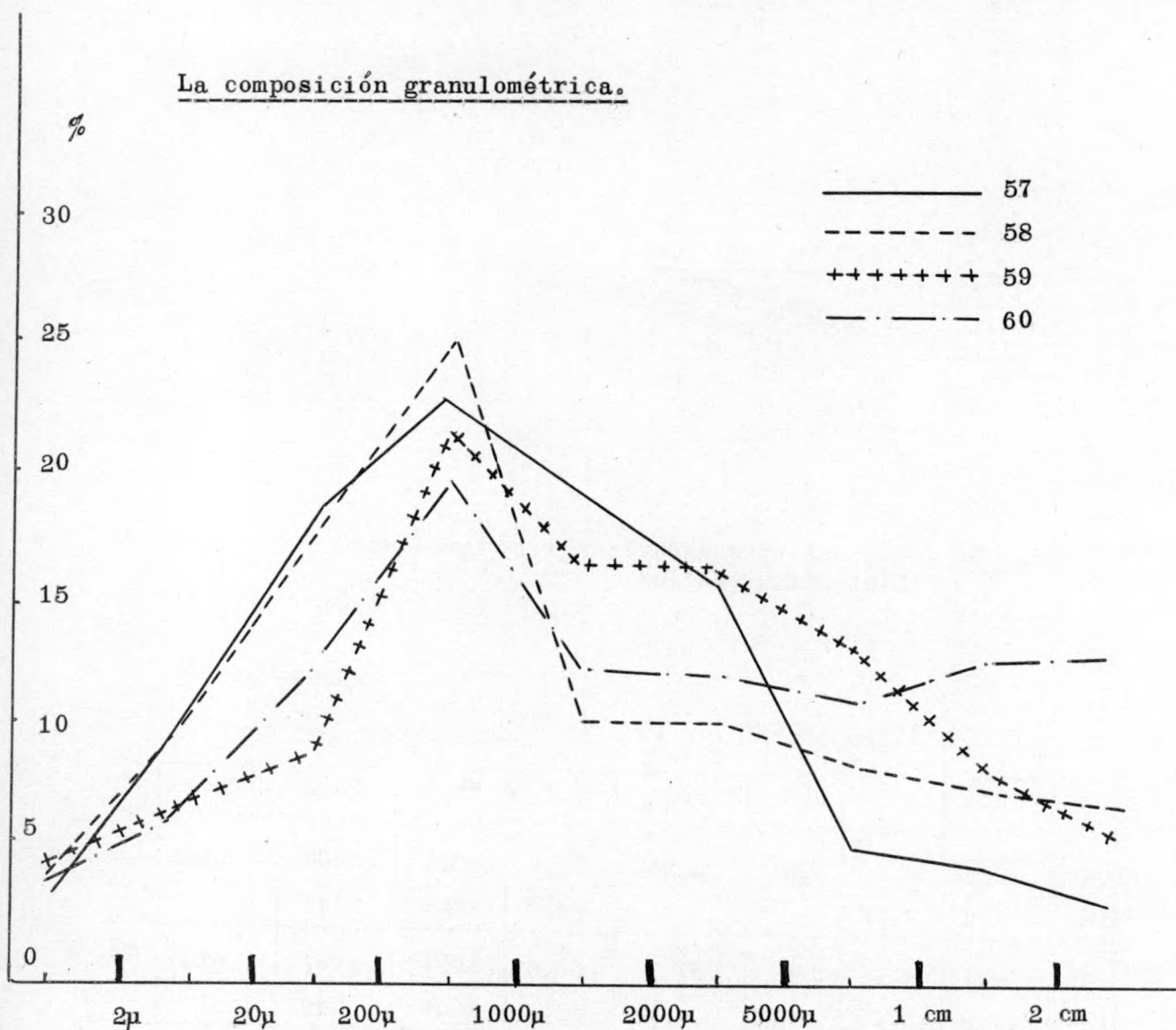
<u>Muestra</u>	<u>Hor.</u>
57	A <sub>1,1</sub>
58	A <sub>1,2</sub>
59	(B)
60	(B)C

Vegetación : *Quercus pyrenaica*. *Pteridium aquilinum*.  
*Cistus laurofolius*.

Los componentes químicos :

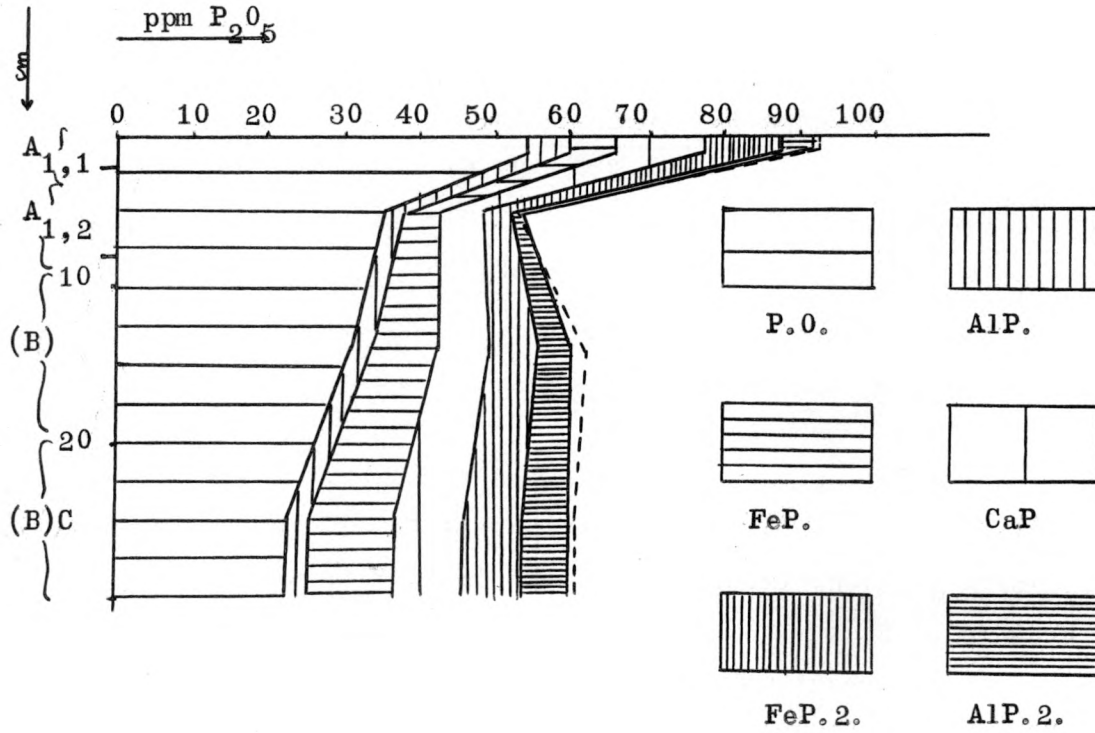
M.	M. %.	pH	M. O.	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. 1.	Fe. 2.
57	52,1	4.90	4,91	3,25	92,6	1920	1000	658
157	47,9	4.90			72,4	1560	747	
58	54,7	4.60	2,86	3,83	53,4	1934	1057	663
158	45,3	5.50			62,5	1640	742	
59	40,8	4.25	1,59	4,19	62,3	1958	799	529
159	59,2	4.40			70,1	1680	994	
60	41,3	4.25	1,05	3,49	60,5	2336	965	457
160	58,7	4.55			83,7	1692	993	

La composición granulométrica.



M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
57	3,42	4,49	5,14	15,73	19,07	22,27	17,21	9,42	3,25
58	7,63	7,86	8,31	10,73	10,78	24,37	17,02	9,47	3,83
59	6,23	8,57	13,43	15,77	15,23	21,32	8,51	6,51	4,19
60	12,76	12,71	10,25	11,17	11,85	19,60	11,63	6,54	3,49

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP.	%	FeP.	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
57	4,7	12,8	6,0	16,3	11,4	31,0	10,2	27,7	4,5	12,2	36,8
58	2,0	10,6	4,4	23,4	5,4	28,7	4,2	22,3	2,8	14,9	18,8
59	2,7	9,2	8,4	28,8	6,9	23,6	6,3	21,6	4,9	16,8	29,2
60	2,3	6,3	10,9	29,9	8,9	24,3	7,8	21,4	6,6	18,1	36,5

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	57	58	59	60
P.O.	54,9	35,0	31,1	22,7
%	59,3	65,4	50,0	37,6
P.I.	37,7	18,4	31,2	37,8
%	40,7	34,6	50,0	62,4

Discusión :

Es el primero ejemplo de un " ranker " que se caracteriza por formación inicial de horizontes (B) que difieren del horizonte A y del horizonte C, es decir la fase siguiente de un perfil A-C.

La vegetación joven ha intervenido mucho en la transformación del suelo en la dirección progresiva de la evolución.

Se muestra también una acumulación ligera de la arcilla en el horizonte (B).

Los valores de la materia orgánica no alcanzan el 5 % en la capa superior y disminuyen con bastante rapidez con la profundidad, indicando una mineralización rápida.

El hierro libre (Fe.2.) disminuye con la profundidad indicando la ausencia total de una acumulación o emigración.

El fósforo orgánico oscila alrededor del 50 % del fósforo total. El fósforo ligado a los sesquióxidos en forma ocluida representa un porcentaje de 40 % del fósforo inorgánico.

No se ha producido una disminución grande de la fracción < I mm al largo del perfil, pues no es alto el valor 52,1 % correspondiente al horizonte A<sub>1,1</sub> lo que indica la ausencia de una erosión fuerte en las capas superiores.

El horizonte A<sub>1,1</sub> tiene un valor C/N de 13,27.

.....

B. P E R F I L 26.

=====

Localidad : Carretera Guadalix-Colmenar Viejo, km 8.

Altitud : 1000 m.

Precipitación atmosférica : 483 mm anual.

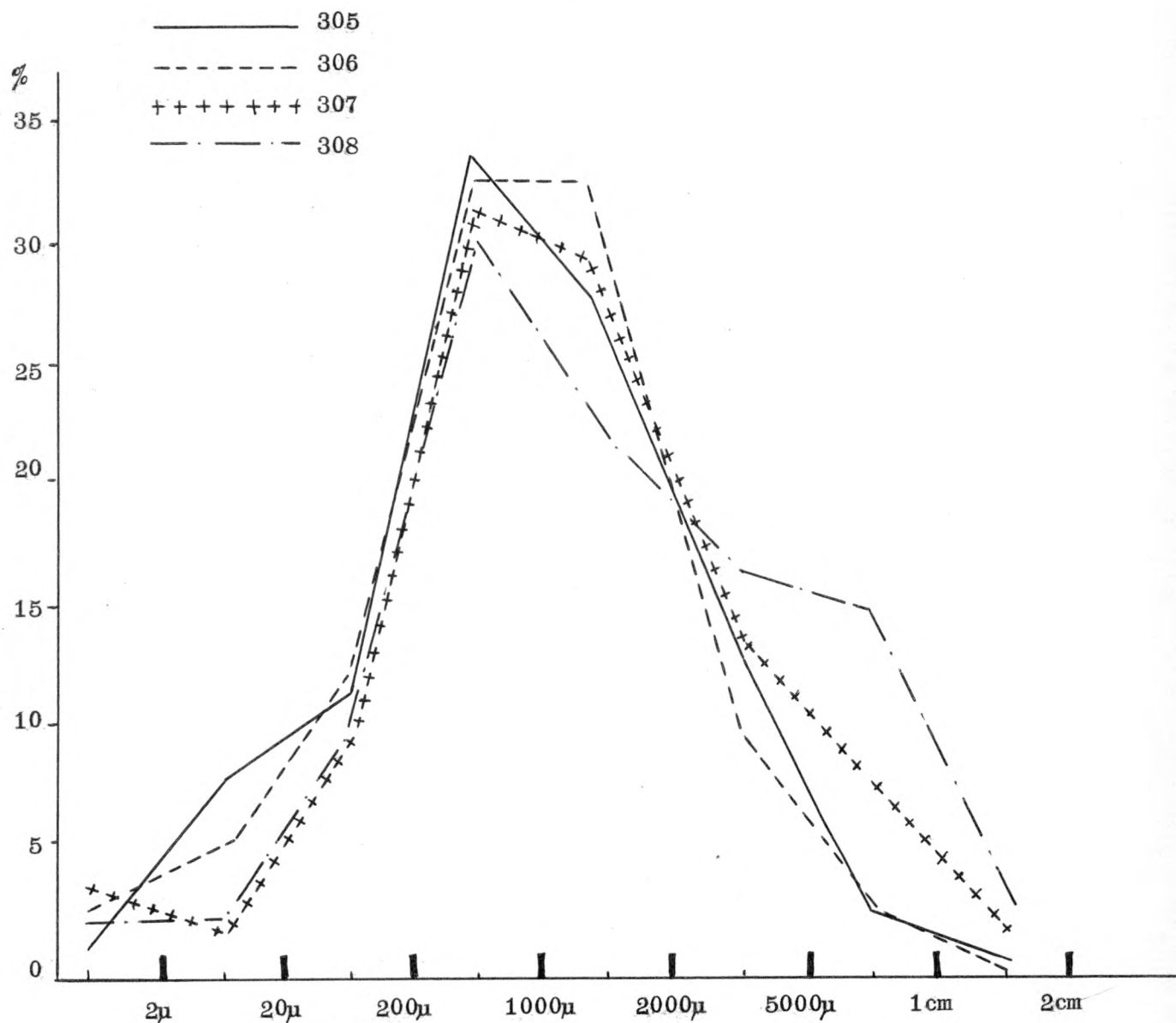
Hor.	Muestra
A <sub>1</sub>	305
(B)	306
(B)C	307
C	308

Vegetación : *Plantago radicata* Hoffg. et Link. *Cardimus gaxanus* (gr. *carlinoides*). *Carlina* cfr. *crym-bosa*. *Hieracium castellanum*. *Poa bulbosa*. *Agrostis castellana*. *Herniaria cinerea*. *Rumex acetocella*. Musgos. *Spergularia* gr. *rubra*.  
 Pasto en rellano pisoteado, sobre pastado, seco eb verano. *Plantago* indica suelo siliceo y pobre. *Agrontis* indica cierta humedad en mayo-junio, agua freática.

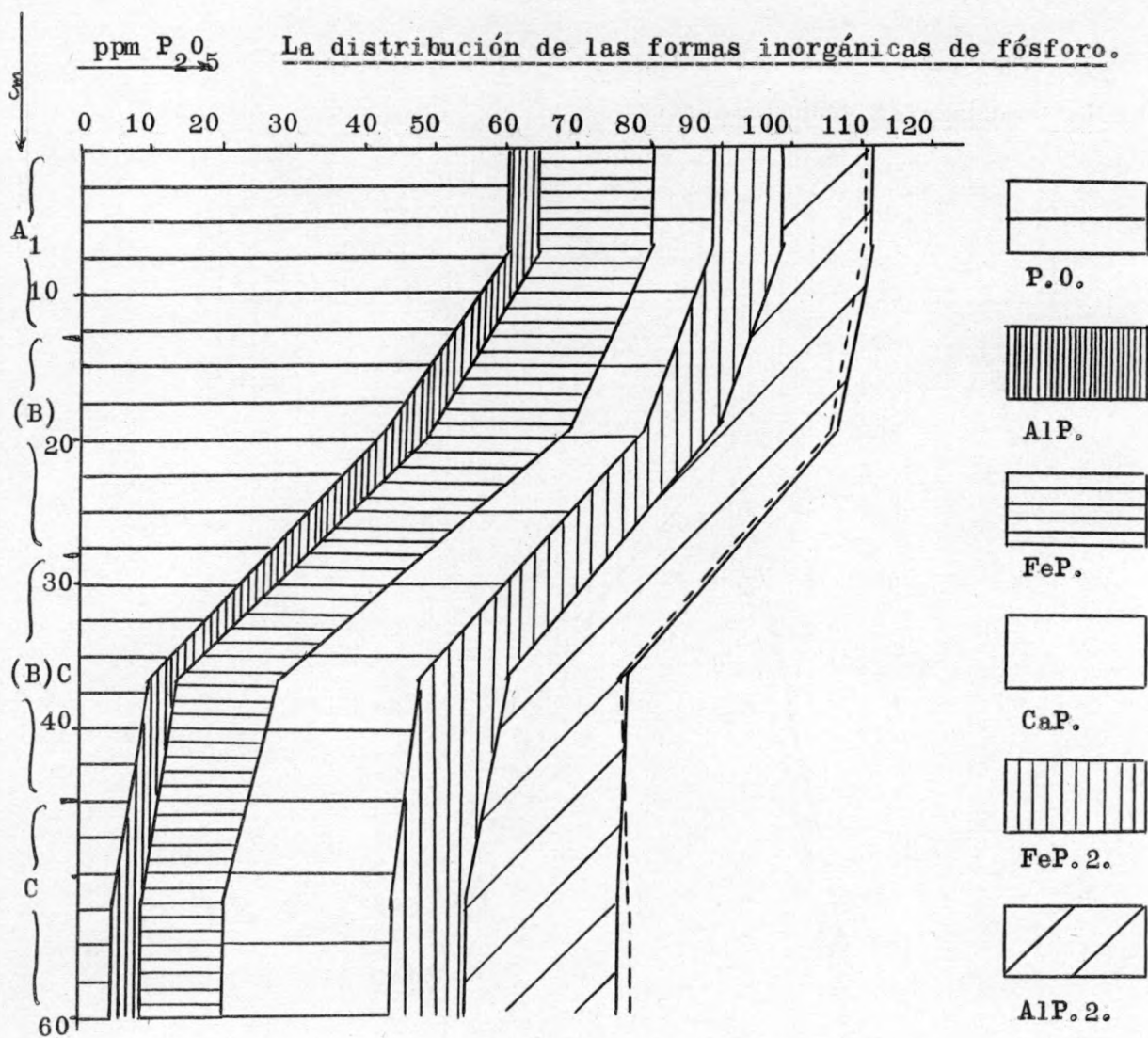
Los componentes químicos.

M.	M. %.	pH	M. O.	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. 1.	Fe. 2.
305	55,3	4.10	5,63	2,44	110,4	1326	733	491
405	44,7	4.70			97,7	1213	542	
306	53,6	4.00	3,06	2,88	106,3	1378	739	485
406	46,4	5.00			110,4	1359	630	
307	46,8	4.90	1,14	3,37	76,6	1640	767	513
407	53,2	4.90			83,9	1619	861	
308	44,3	5.40	0,63	2,09	77,5	1993	883	522
408	55,7	5.15			95,2	2119	1180	

La composición granulométrica.



M.	2-1 cm	1-0,5 cm	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
305	0,76	3,05	13,36	27,48	34,27	11,51	7,12	2,44
306	0,69	3,09	9,63	32,99	33,18	12,45	5,10	2,88
307	1,68	8,08	14,15	29,29	32,16	9,39	1,88	3,37
308	3,79	14,77	15,91	21,21	30,35	9,74	2,14	2,09



M.	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
305	4,9	9,4	15,4	29,6	8,9	17,1	9,6	18,5	13,2	25,4	52,0
306	6,4	10,3	18,8	30,1	10,2	16,3	10,1	16,2	16,9	27,1	62,4
307	3,9	5,8	13,9	20,5	19,4	28,7	12,9	19,0	17,6	26,0	67,7
308	3,5	4,9	11,8	16,7	23,4	33,4	10,4	14,7	21,7	30,6	70,8

La distribución del fósforo y inorgánico.

M.	305	306	307	308
P.O.	60,2	43,1	10,5	4,7
%	54,6	40,5	13,2	6,1
P.I.	50,2	63,2	66,1	72,8
%	45,4	59,5	86,8	93,9

Discusión : Es el segundo ejemplo de un " Ranker " que se caracteriza por una potencia más pronunciada.

Los valores de la materia orgánica superan un poco los del perfil precedente.

También se observa una cierta acumulación de la arcilla en el horizonte de enriquecimiento (B).

El hierro libre confirma el estado inicial de la emigración con un aumento en los valores de 491mg y 485 mg hasta 513 en el horizonte (B).

El fósforo ligado a los sesquióxidos en forma ocluida muestra valores de 45 % de la fracción inorgánica.

No se han producido cambios grandes en los valores de fósforo inorgánico, y las formas inorgánicas aumentan casi todas con la profundidad.

.....

C. P E R F I L 18.

=====

Localidad : Carretera San Lorenzo del Escorial-Robledo, km 3.

Altitud : 1000 m.

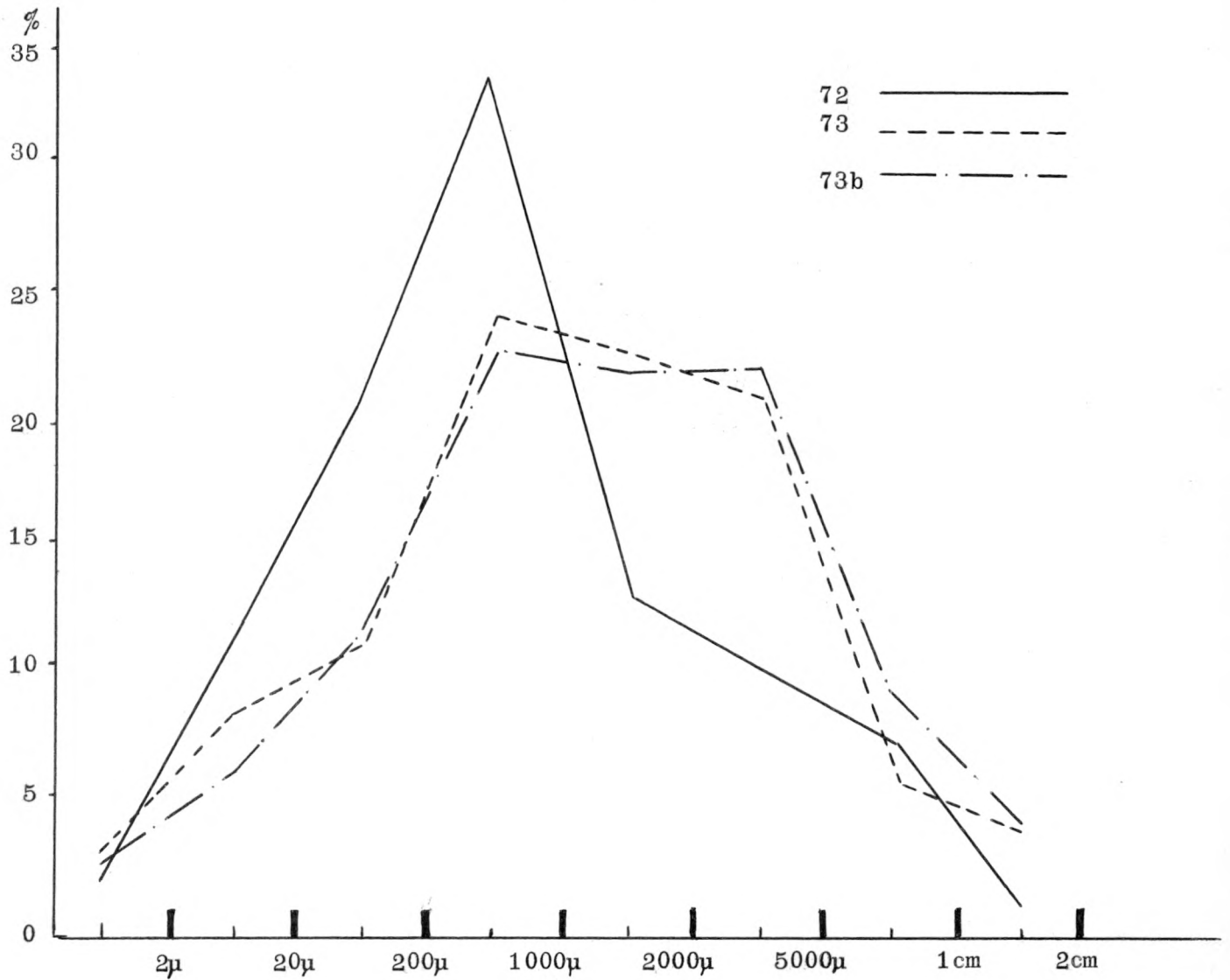
Precipitación atmosférica : 750 mm anual.

Vegetación : Pinar de Pinus silvestris.

Los componentes químicos :

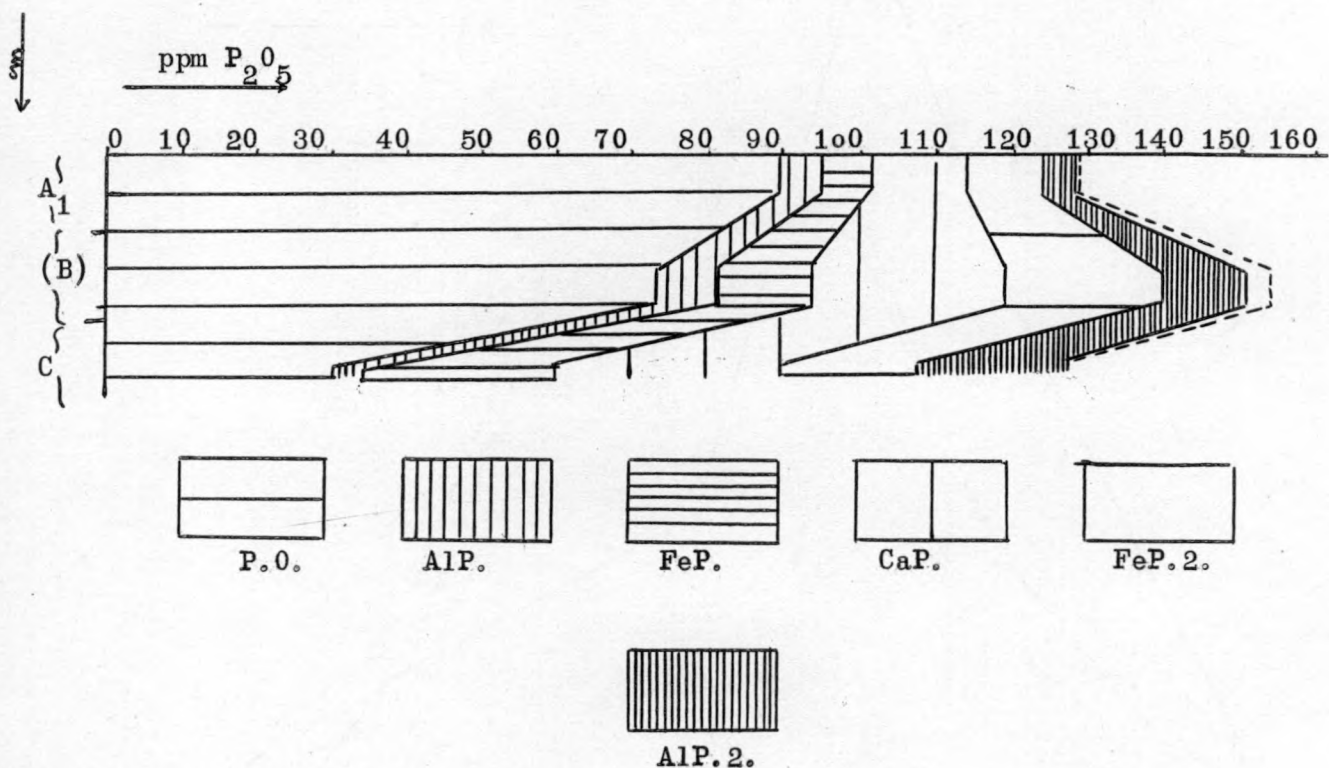
M.	M. %.	pH	M. O.	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. 1.	Fe. 2.
72	68,1	5.05	21,77	2,03	129,7	1179	803	397
172	31,9	4.75			85,7	1160	370	
73	44,3	5.00	13,48	2,63	153,2	1421	629	346
173	55,7	5.05			138,6	1068	595	
73b	41,1	4.70	1,07	2,49	127,8	1416	582	301
173b	58,9	5.00			141,9	1375	809	

La composición granulométrica.



M.	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
72	1,24	7,36	10,06	13,24	34,21	20,16	11,70	2,03
73	4,00	6,28	21,62	23,74	24,19	10,04	7,50	2,63
73b	4,43	9,52	22,73	22,19	23,48	10,13	5,03	2,49

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP	%	FeP.	%	CaP.	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
72	4,4	11,5	6,1	15,9	12,6	32,9	10,3	26,9	4,9	12,8	38,3
73	8,1	10,2	12,0	15,2	25,9	32,7	21,2	26,8	11,9	15,1	79,1
73b	4,7	4,8	26,9	27,4	29,8	30,3	17,7	18,0	19,2	19,5	98,3

Distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	72	73	73b
P.O.	89,1	73,7	30,8
%	68,7	48,1	24,1
P.I.	40,6	79,5	97,0
%	31,3	52,9	75,9

Discusión :

El perfil 18 también pertenece al tipo de " Ranker ".

La vegetación de Pinus ha causada una acumulación de grandes cantidades de materia orgánica en la parte superficial. Los valores de fósforo orgánico en los horizontes A<sub>1</sub> y (B) indican una reserva bastante grande.

Por otro lado, el fósforo inorgánico aumenta gradualmente con la profundidad.

Tanto el hierro libre, como la arcilla han sufrido una ligera emigración y acumulación.

Desde el punto de vista granulométrica, se observa una disminución más pronunciada de la fracción < I mm de 68,1 % en la capa superior hasta 41,1 % en el horizonte C, debido a una erosión más fuerte en la parte superficial.

El horizonte A<sub>1</sub> tiene un valor C/N de 26,88.

.....

D. P E R F I L 24.

=====

Localidad :Carretera Robledo-Navas del Rey,km 13,5.

Altitud : 890 m.

Precipitación atmosférica :514 mm anual.

Muestra	Hor.
95	A <sub>1</sub>
96	(B <sub>1,1</sub> )
97	(B <sub>1,2</sub> )
98	C

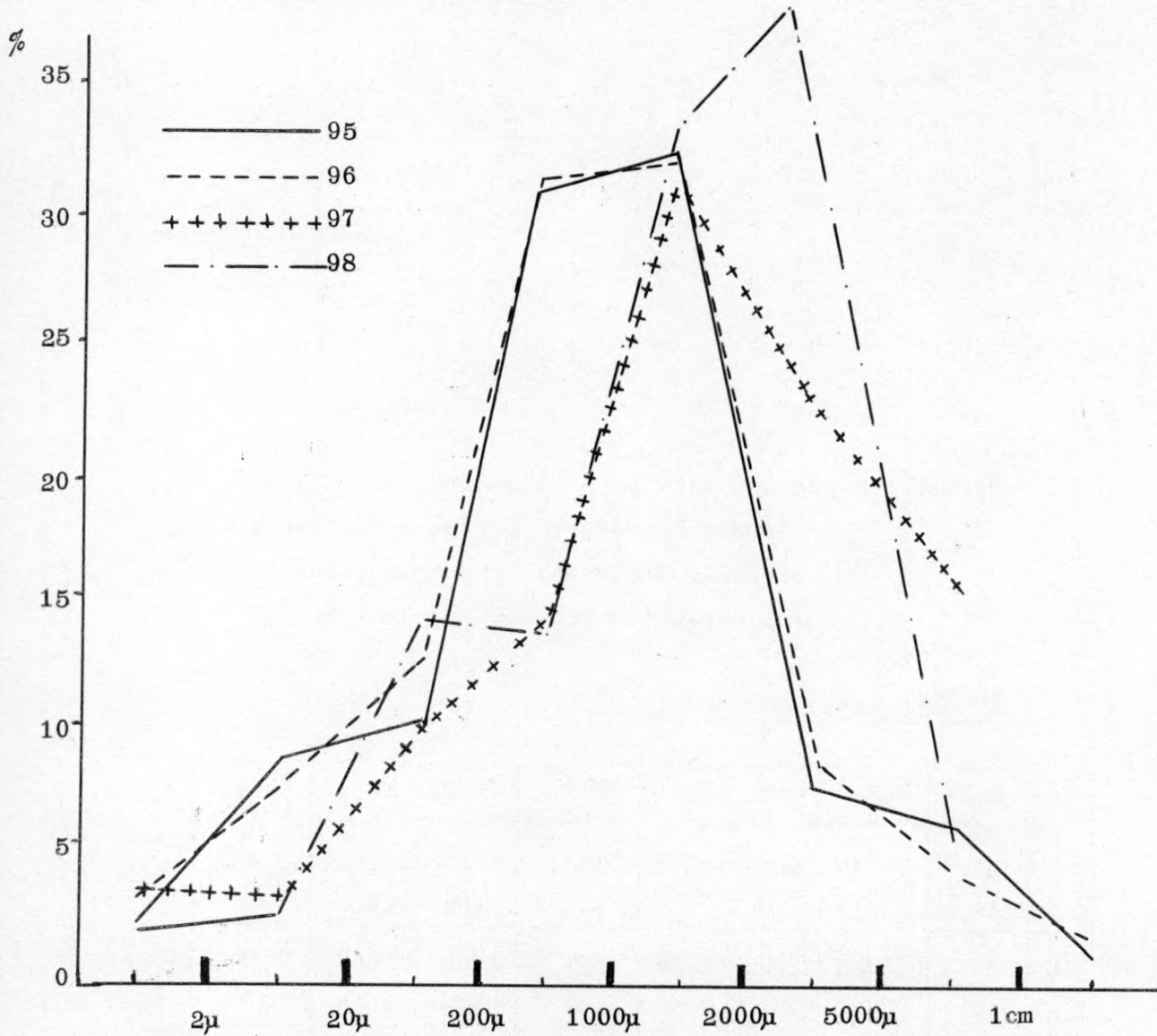
Vegetación : *Quercus ilex* ssp. *rotundifolia*.

*Reatama sphearocarpa*. *Cistus ladaniferus*. Jaral  
(*Cisto-Lavanduletea*). *Pinus pinea*. Suelos con  
pocos elementos finos. Clima semi-árido.

Los componentes químicos.

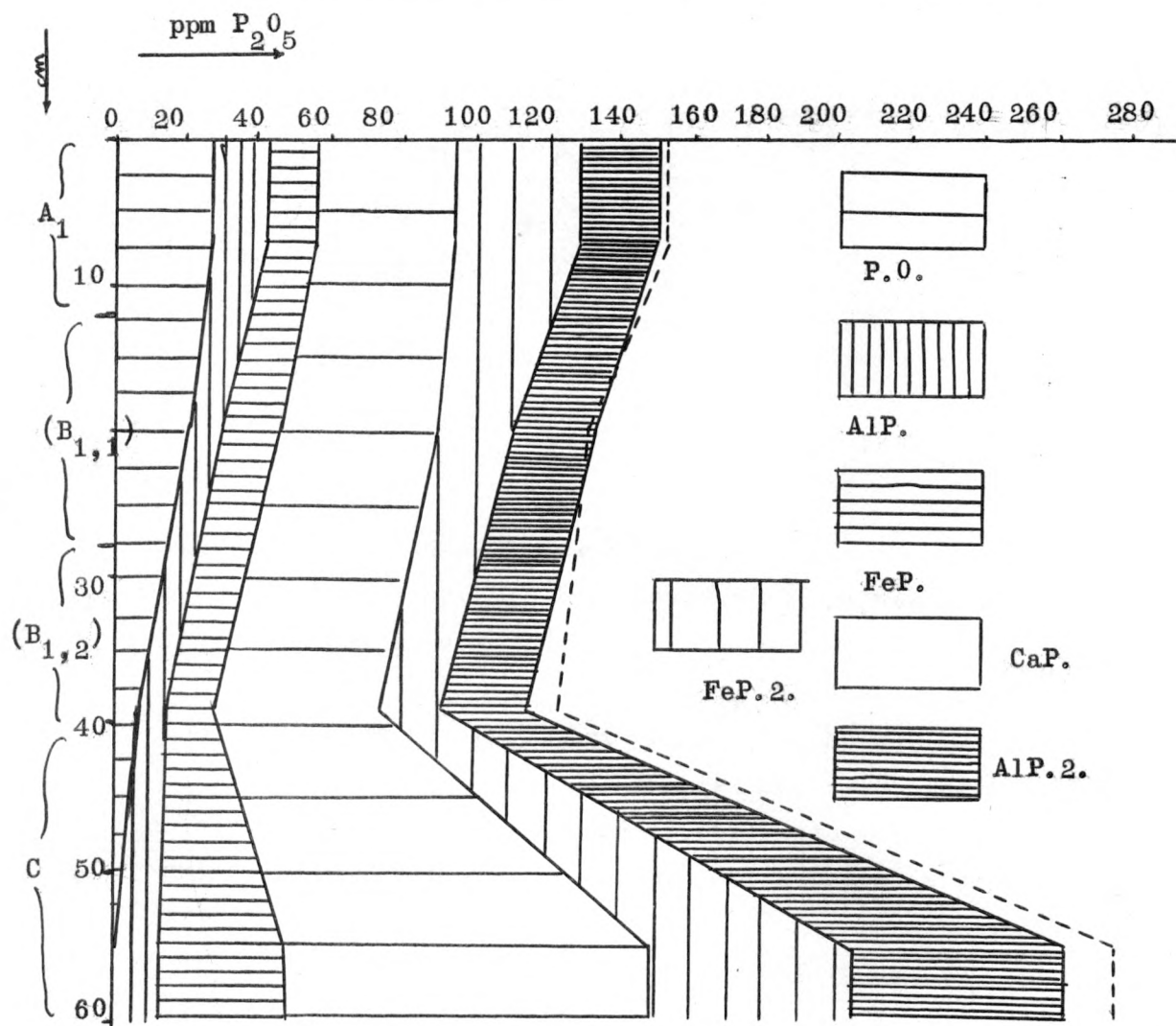
M.	M. %.	pH	M. O.	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. 1.	Fe. 2.
95	51,6	5.40	2,66	2,13	153,0	1915	988	468
195	48,4	5.55			142,6	2122	1027	
96	52,9	5.55	1,03	2,34	131,7	2000	1058	527
196	47,1	5.40			141,8	2198	1035	
97	30,5	5.80	0,57	2,97	122,5	2414	736	497
197	69,5	5.40			114,3	2339	1626	
98	31,1	5.85	0,29	1,68	276,2	2460	765	351
198	68,9	6.00			217,9	2033	1400	

La composición granulométrica.



M.	2-1 cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200	200-20	20-2μ	2μ-0
95	1,03	7,22	8,25	31,96	30,16	10,78	8,88	2,13
96	1,84	4,41	9,19	31,62	30,37	12,39	7,84	2,34
97		15,23	23,84	30,46	14,47	10,13	2,89	2,97
98		6,57	39,44	32,86	13,52	14,06	1,87	1,69

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
95	14,1	11,7	12,4	10,3	38,1	31,5	34,2	28,3	22,0	18,2	120,8
96	9,5	8,4	16,4	14,6	41,7	36,9	20,9	18,5	24,4	21,6	112,9
97	6,7	6,1	13,0	11,8	47,1	42,7	19,3	17,5	24,2	21,9	110,3
98	12,9	4,8	33,0	12,3	110,9	41,3	54,8	20,4	56,9	21,2	268,5

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	95	96	97	98
P.O.	27,1	21,5	6,3	1,2
%	17,7	16,3	5,1	0,4
P.I.	125,9	110,2	116,2	275,0
%	82,3	83,7	94,9	99,6

Discusión.

El ultimo ejemplo de un "Ranker" se ha formado sobre una vegetación arboreo mixta. Los valores de la materia orgánica son bastante insignificante en relación con los tres otros tipos de " Ranker ".

La acumulación de la arcilla se encuentra poco pronunciada, pero aun así existe.

Por otro lado, la acumulación de hierro libre no existe y se muestra una disminución gradual con la profundidad.

La erosión se refleja en la proporción de las partículas < I mm la cual disminuye de 51,6 % en la parte superficial hacia 31,1 % en el horizonte C.

El fósforo total presenta valores altos, con un máximo en el horizonte C de 276 ppm  $P_2O_5$ .

Debido a los valores del pH relativamente altos de la catena, el valor de fósforo ligado al calcio ha sufrido un aumento en la fracción inorgánica, llegando hasta el 42,7 %.

.....

E. P E R F I L 15.

=====

Localidad : Carretera Guadalix-Colmenar Viejo, km 14.

Altitud : 1020 m.

Precipitación atmosférica : 483 mm anual.

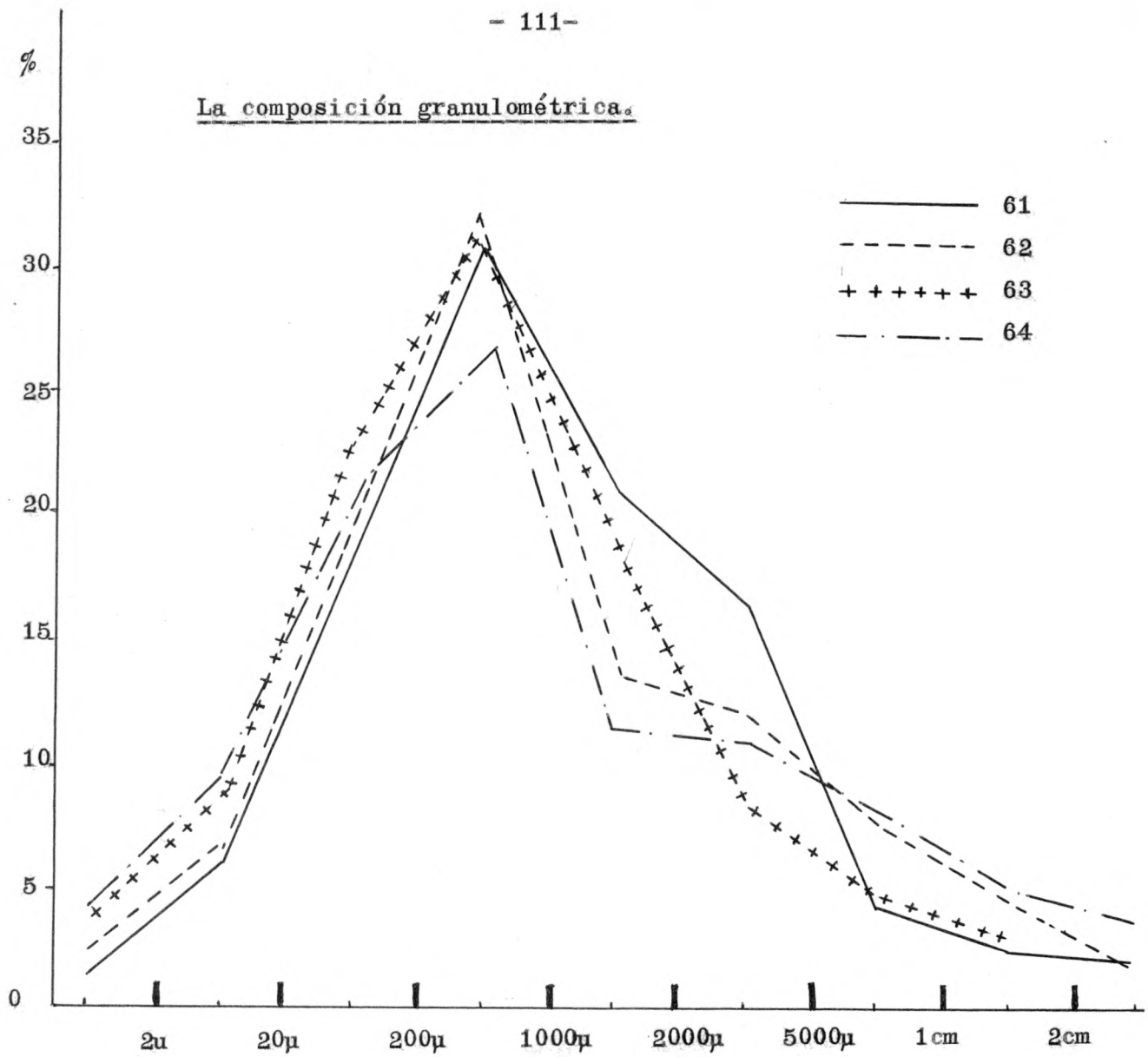
Muestra	Hor.
61	A <sub>1</sub>
62	B <sub>1,1</sub>
63	B <sub>1,2</sub>
64	C

Vegetación : *Sarothamnus scoparius*. *Vulgia V. myuros*.  
*Erophila verna*. *Erodium cicutarium*. *Plantago coronopus*.  
*Paronychia argentea*. *Herniaria cinerea*. *Poa bulbosa*.  
*Trifolium cfr. glomeratum*. *Sedum cfr. rubrum*. Suelo pisoteado, probablemente poco profundo, Musgos que indican poca productividad del pasto y una inundación invernal.

Los componentes químicos:

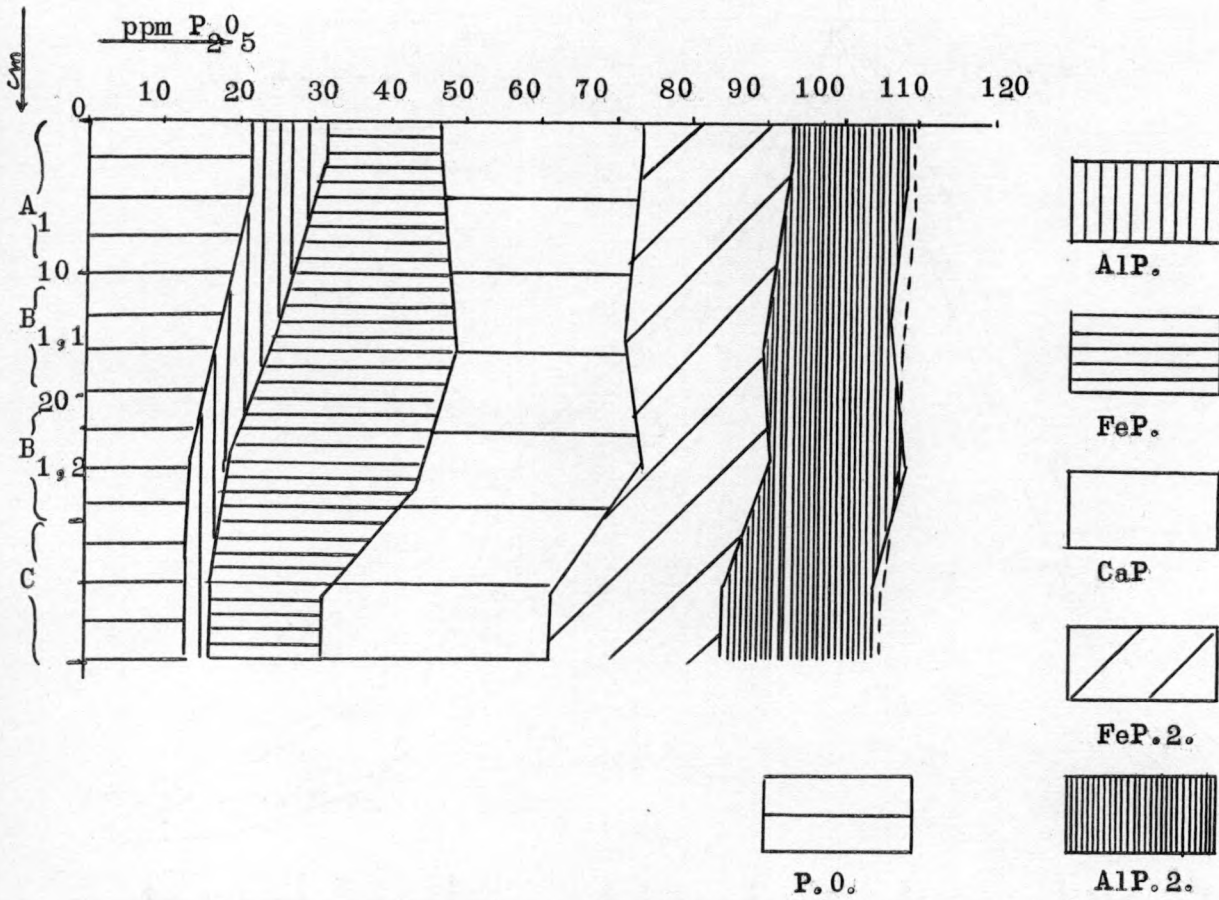
M.	M. %.	pH	M. O. .	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. 1.	Fe. 2.
61	54,7	4.95	1,75	2,32	109,7	1220	667	384
161	45,3	5.25			100,1	2640	1196	
62	60,0	4.50	1,28	2,40	108,1	1246	748	489
162	40,0	5.05			94,8	2224	889	
63	65,8	4.75	0,93	3,82	108,0	1290	849	531
163	34,2	5.20			101,4	2407	823	
64	60,7	5.05	0,76	3,33	105,1	1325	804	474
164	39,3	5.35			118,6	2423	952	

La composición granulométrica.



M <sub>s</sub>	3-2cm	2-1cm	1-0,5cm	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
61	2,39	2,49	4,26	15,89	20,25	29,86	17,72	6,10	2,32
62	2,62	5,38	7,41	11,39	13,16	31,35	19,31	6,98	2,40
63		3,14	4,38	8,96	17,75	30,95	22,38	8,62	3,82
64	4,07	6,28	7,92	10,10	10,96	27,48	20,37	9,49	3,33

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
61	10,0	11,5	15,0	17,2	26,1	29,9	20,2	23,1	16,0	18,3	87,3
62	7,3	8,3	23,7	26,9	22,9	26,0	18,8	21,4	15,3	17,4	88,0
63	4,3	4,6	25,8	27,4	28,4	30,1	17,1	18,2	18,6	19,7	94,2
64	2,4	2,7	14,6	16,1	29,9	33,1	22,0	24,3	21,5	23,8	90,4

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	61	62	63	64
P.O.	21,8	18,1	14,3	13,5
%	19,9	16,7	13,2	12,9
P.I.	87,9	90,0	93,7	91,6
%	80,1	83,3	87,8	87,1

Discusión :

Es el primer ejemplo de un "suelo pardo ácido" que se caracteriza por la formación de un horizonte B típico.

En efecto, la emigración y la acumulación de la arcilla y del hierro libre se ha producido más intensamente.

La vegetación es muy pobre y se refleja en los valores insignificantes de la materia orgánica y desde luego en los valores de fósforo orgánico, los cuales no alcanzan el 20 % del total.

La razón de las partículas  $\frac{\text{fracción} > 1 \text{ mm}}{\text{fracción} < 1 \text{ mm}}$  no difiere casi, al largo del perfil.

El fósforo ligado a los sesquióxidos representa un 45 % de la fracción inorgánica.

Los valores de las formas inorgánicas no difieren casi en los distintos horizontes.

El horizonte A<sub>1</sub> tiene un valor C/N de 12,15.

.....

E. P E R F I L 19.

=====

Localidad : Santa Maria de la Alameda.

Altitud : 1560 m.

Precipitación atmosférica : 750 mm anual.

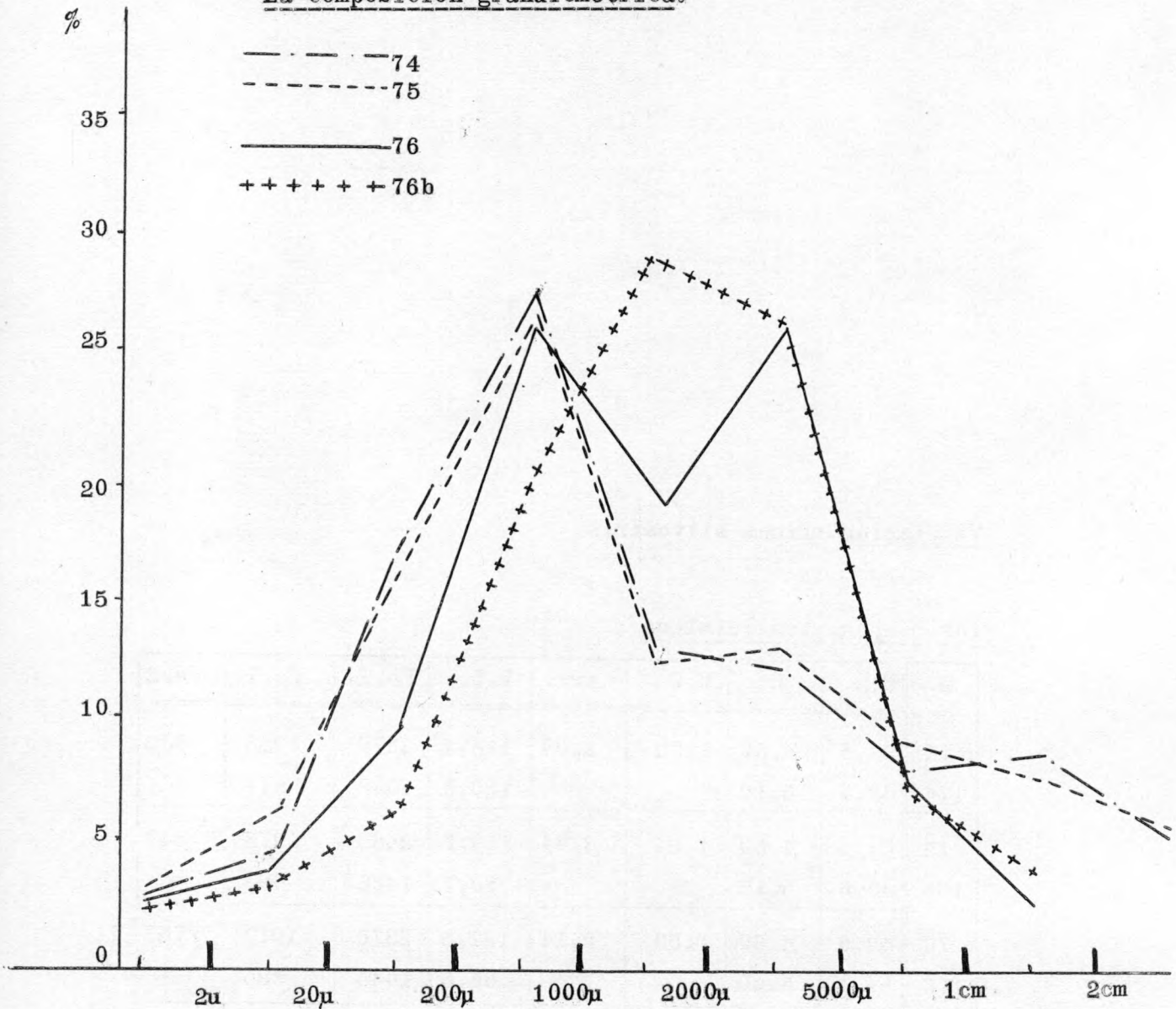
Muestra	Hor.
74	A <sub>1</sub>
75	B
76	BC
76b	C

Vegetación :Pinus silvestris.

Los componentes químicos :

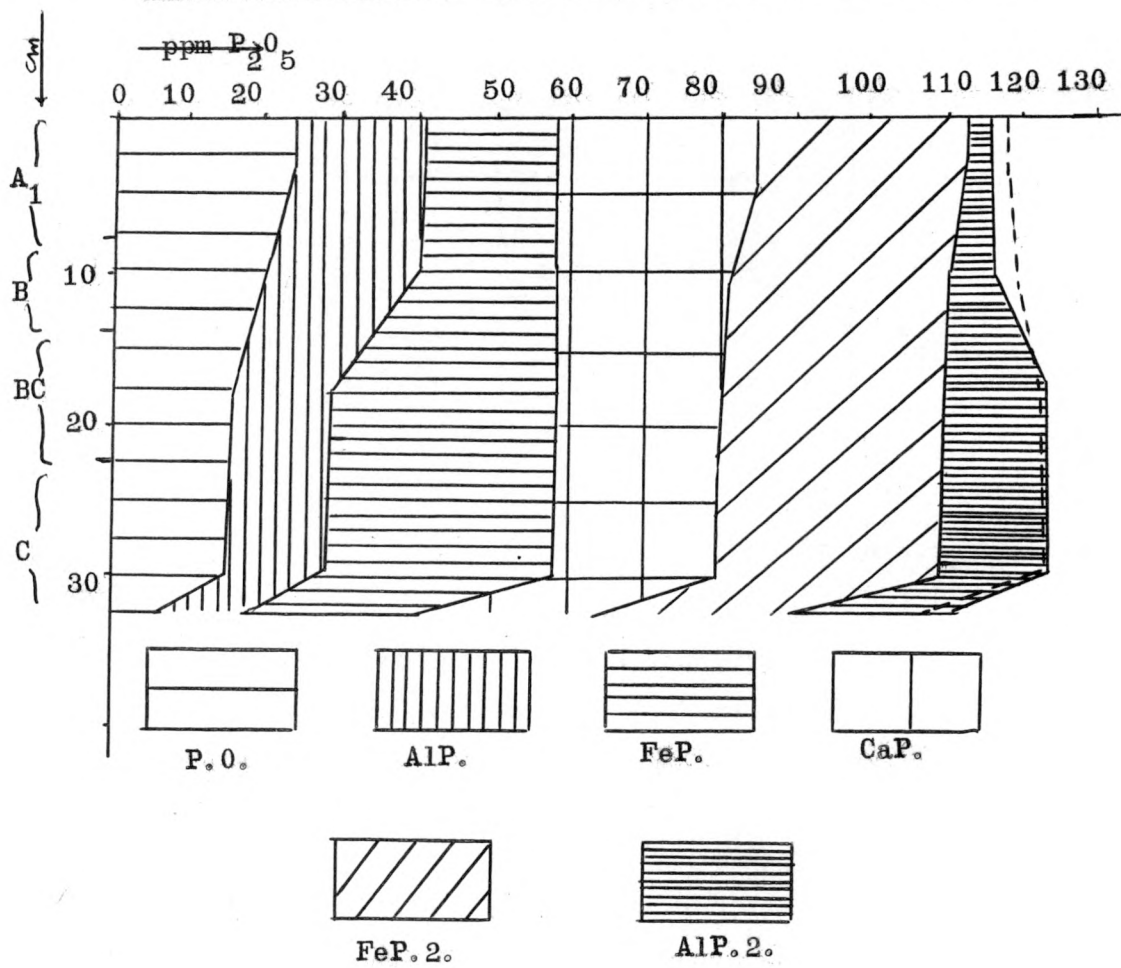
M.	M.‰.	pH	M.O.	arc.	P.T.	Fe.T.	Fe.1.	Fe.2.
74	51,6	4.60	1,95	2,08	118,2	2370	1223	632
174	48,4	5.10			100,6	1398	677	
75	51,4	4.50	1,24	3,04	119,7	2483	1276	849
175	48,6	5.15			83,7	1438	699	
76	42,9	4.30	0,59	2,14	122,5	2376	1019	753
176	57,1	5.00			85,5	1445	825	
76b	31,7	4.40	0,22	1,97	116,8	2076	658	471
176b	68,3	5.05			93,9	1637	1118	

La composición granulométrica.



M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5cm	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0.
74	5,76	8,14	7,60	12,95	13,89	28,45	16,48	4,65	2,08
75	5,75	7,85	9,76	13,06	12,20	27,21	15,44	5,63	3,04
76		3,78	8,64	26,16	18,54	26,59	9,60	4,55	2,14
76b		4,95	8,02	26,31	28,97	20,14	6,03	3,61	1,97

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AIP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AIP.2.	%	Total
74	17,2	18,5	17,1	18,3	26,5	28,4	27,8	29,8	4,7	5,0	93,3
75	19,8	20,5	18,1	18,7	23,3	24,1	28,9	29,9	6,6	6,8	96,7
76	12,9	12,0	29,0	27,1	22,3	20,8	28,5	26,6	14,5	13,5	107,2
76b	11,9	10,9	27,6	25,3	22,5	20,6	27,8	25,5	19,3	17,7	109,1

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	74	75	76	76b
P. O. .	24,1	20,1	16,0	5,5
%	20,4	16,8	13,1	4,7
P. I. .	94,1	99,6	106,5	95,3
%	79,6	83,2	86,9	95,3

Discusión :

El segundo perfil del tipo "suelo pardo ácido" se ha formado sobre una vegetación de Pinus.

Los valores de la materia orgánica son bastante bajos y disminuyen con rapidez en la profundidad.

El horizonte B y BC consiste en una zona de enriquecimiento desde el punto de vista de hierro libre.

También se ha producido una acumulación de la arcilla.

Los valores del fósforo total se muestran más altos en la fracción < 1 mm.

Los valores del fósforo orgánico son bajos y no superan el 20 % del fósforo total.

El fósforo ligado a los sesquióxidos en forma libre supera al fósforo en forma ocluida.

.....

F. P E R F I L 20.

=====

Localidad: Carretera El Escorial-S<sup>aa</sup>M<sup>aa</sup> de la Alameda, km 16,5.

Altitud : 1400 m.

Precipitación atmosférica : 750 mm anual.

Muestra	Hor.
77	A <sub>1</sub>
78	A <sub>2</sub>
79	B <sub>1,1</sub>
80	B <sub>1,2</sub>
81	C <sub>1</sub>
89	C <sub>2</sub>

Vegetación: Santolina

xosmanilia. Cistus ladaniferus. Salvia gr. verbenacae. Carlina corymbosa. = todos nitrofila.

Dactylis glomerata. Pteridium aquilinum.

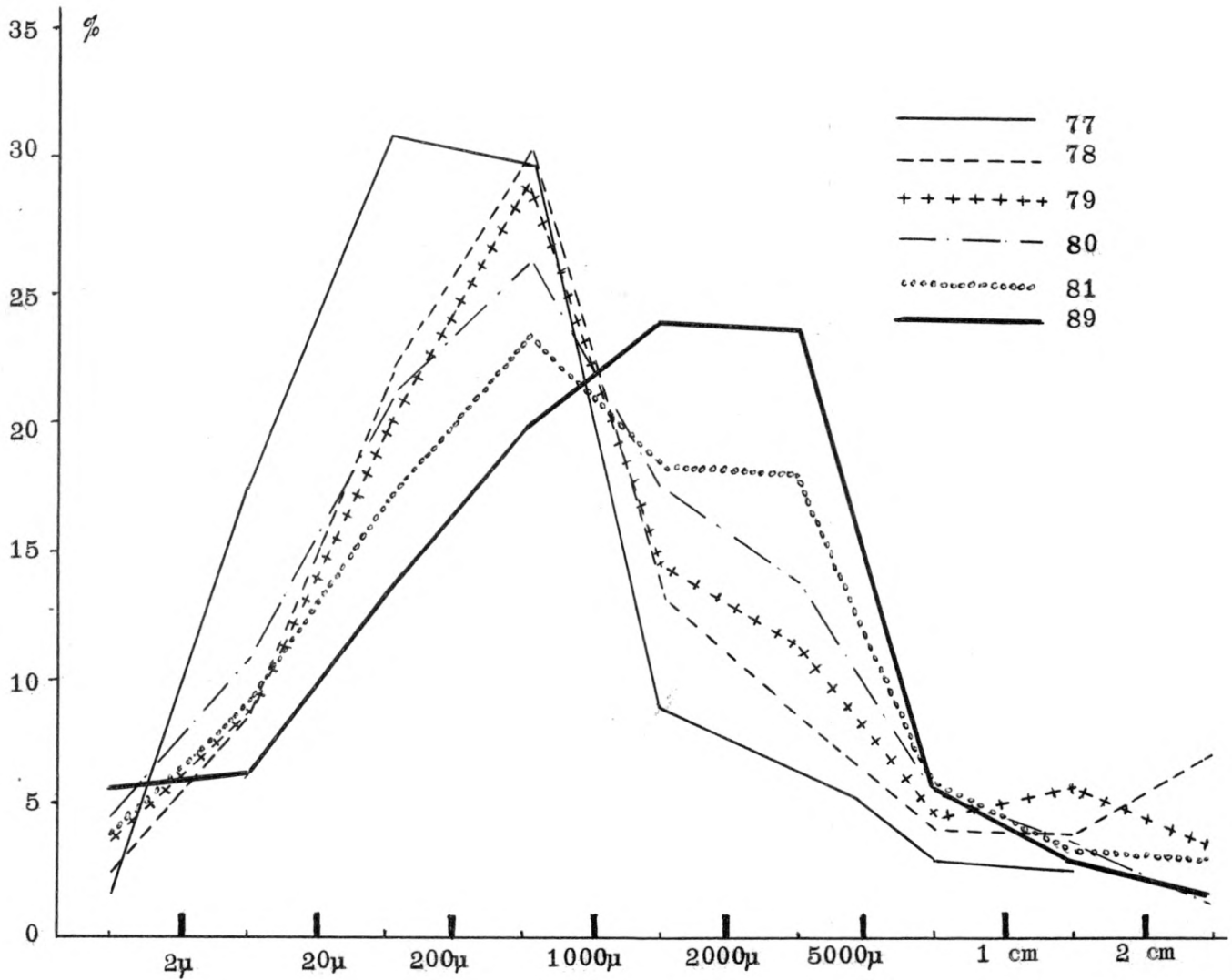
Matorral degradado de la parte baja 800-1000m, pero con restos de suelo profundo en donde vive el helecho.

Puede tratarse de una ladera en la que se evapore agua freática. Suelo silíceo, pero el pH no es muy ácido.

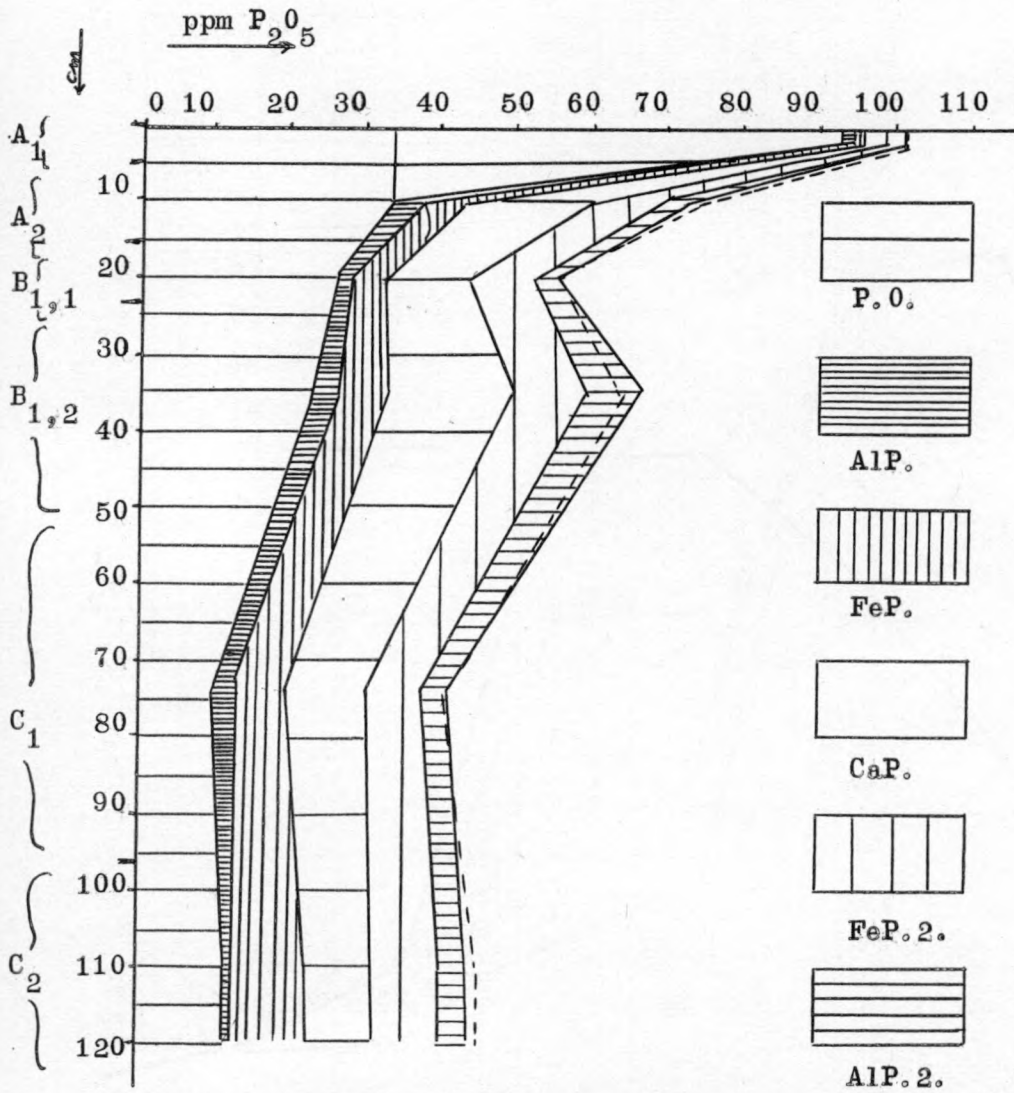
Los componentes químicos:

M.	M. %.	pH	M. O.	arc.	P. T.	Fe. T.	Fe. 1.	Fe. 2.
77	78,1	5.70	21,60	2,66	101,5	3840	2999	956
177	21,9	5.65			62,4	2196	481	
78	61,8	5.60	3,26	1,81	75,0	3630	2243	638
178	38,2	5.55			56,6	1926	736	
79	60,3	5.30	1,95	3,75	56,6	3649	2200	1193
179	39,7	5.50			57,9	2196	872	
80	59,9	5.50	1,30	4,50	64,6	3675	2201	1285
180	40,1	5.55			49,2	2384	956	
81	52,4	5.00	0,47	3,79	40,1	4680	2452	1006
181	47,6	5.30			27,3	3494	1663	
89	43,3	4.90	0,27	3,49	45,5	4680	2026	957
189	56,7	5.20			45,9	3490	1979	

La composición granulométrica.



M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5cm	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
77		2,77	3,72	6,56	8,82	29,11	30,17	16,19	2,66
78	7,24	4,03	4,07	9,42	13,40	29,90	23,30	7,83	1,81
79	3,22	6,10	4,82	11,07	14,48	28,68	19,17	8,71	3,75
80	1,63	3,96	5,47	12,53	16,49	25,02	20,21	10,19	4,50
81	3,00	3,22	6,57	17,28	17,50	23,69	16,12	8,83	3,79
89	1,93	3,07	6,48	22,22	22,96	18,36	13,73	7,75	3,49



M.	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
77	1,4	15,8	0,5	5,6	3,8	42,7	2,2	24,7	1,0	11,2	8,9
78	3,7	9,7	5,0	13,1	16,3	42,7	9,9	25,9	3,3	8,6	38,2
79	1,9	6,6	4,4	15,4	10,6	37,1	8,4	29,4	3,3	11,5	28,6
80	3,2	7,3	6,4	14,6	16,4	37,3	10,0	22,8	7,9	18,0	43,9
81	2,1	6,7	6,7	21,5	11,2	35,9	7,2	23,1	4,0	12,8	31,2
89	0,7	2,1	9,1	27,8	9,7	29,7	8,4	25,7	4,8	14,7	32,7

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	77	78	79	80	81	89
P.O.	93,1	33,8	26,5	22,8	9,4	11,5
%	91,7	45,0	46,9	35,3	23,4	25,3
P.I.	8,4	41,2	30,1	41,8	30,7	34,0
%	8,3	55,0	53,1	65,0	76,6	74,7

Discusión :

El perfil 20 es del tipo "suelo pardo lessivé", es decir se ha formada una capa lavada A<sub>2</sub> en su primera fase.

Esta capa lavada se confirma en los valores de la arcilla y del hierro libre. Efectivamente, el contenido de la arcilla y de hierro libre muestra los valores más bajos en el horizonte A<sub>2</sub>. Por otro lado se observa una acumulación muy intensa en los horizontes B<sub>1,1</sub> y B<sub>1,2</sub>.

Los valores de la materia orgánica se muestran elevados en los horizontes A, debido a la vegetación mixta. Los porcentajes del fósforo orgánico disminuyen con la profundidad, de 91,7 % hasta 25,3 %.

En las capas superficiales se presentan porcentajes altos del fósforo ligado al calcio, mientras que las formas ligadas al hierro superan el 50 % en los horizontes profundos.

.....

G. P E R F I L 21.

=====

Localidad : Carretera El Escorial-Robledondo, km 15.

Altitud : 1320 m.

Precipitación atmosférica : 750 mm anual.

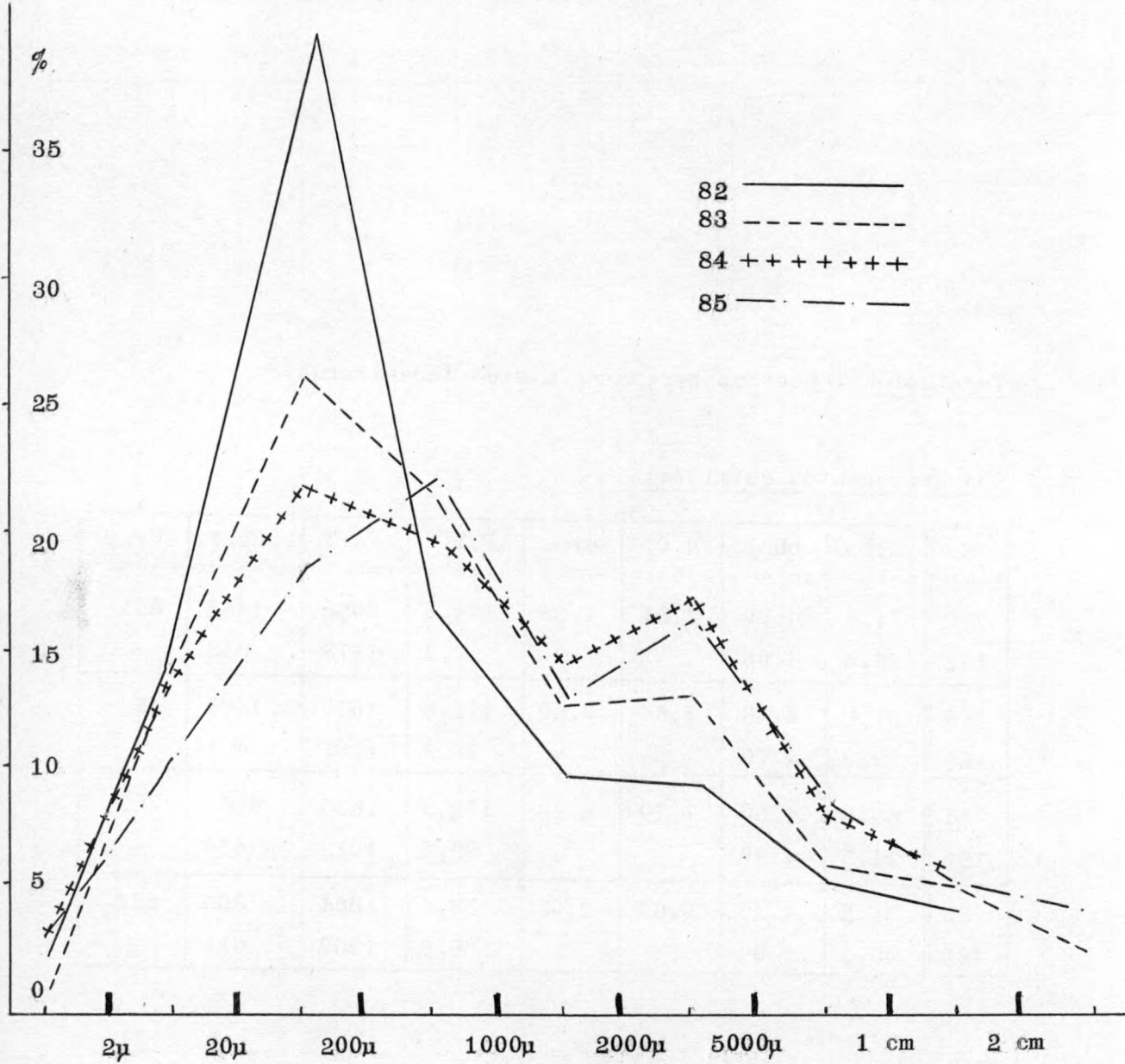
Hor.	Muestra
A <sub>1</sub>	82
A <sub>2</sub>	83
B	84
C	85

Vegetación : *Quercus pyrenaica*. *Cistus ladaniferus*.

Los componentes químicos:

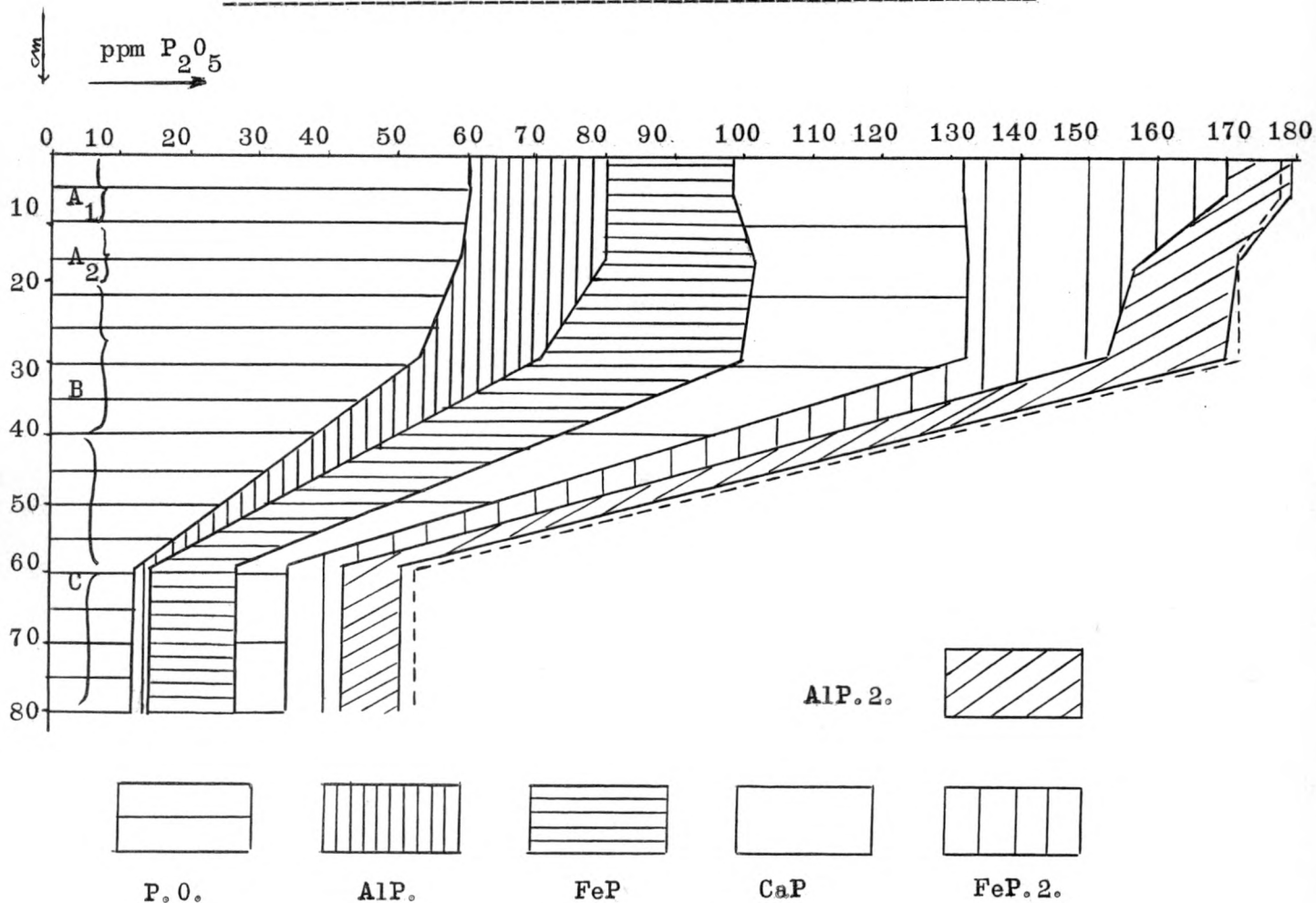
M.	M.‰	pH	M.O.	arc.	P.T.	Fe.T.	Fe.1.	Fe.2.
82	71,5	4.90	7,84	1,55	178,0	2050	1466	641
182	28,5	4.95			97,9	1178	336	
83	61,0	4.45	7,64	0,80	172,8	1650	1006	464
183	39,0	4.70			88,3	1107	431	
84	55,5	4.50	7.10	2,43	172,6	1633	906	769
184	44,5	4.90			69,4	1012	450	
85	51,5	4.20	0,65	2,07	53,5	1564	805	592
185	48,5	5.00			38,2	1259	611	

La composición granulométrica.



M.	3-2cm	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200	200-20u	20u-2u	2u-0
82		4,71	5,36	9,05	9,41	15,57	39,84	14,51	1,55
83	2,48	5,13	6,05	12,91	12,41	20,50	25,37	14,35	0,80
84		5,73	8,91	16,35	13,51	18,29	21,62	13,16	2,43
85	4,85	5,25	9,82	15,97	12,57	21,55	17,72	10,20	2,07

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
82	19,3	16,2	18,5	15,5	34,4	28,9	37,8	31,7	9,1	7,7	119,1
83	21,1	18,5	21,8	19,2	30,8	27,1	24,2	21,3	15,9	13,9	113,8
84	17,3	14,9	29,4	25,3	32,5	27,9	20,4	17,5	16,8	14,4	116,4
85	2,6	6,7	12,0	31,2	7,2	18,7	8,0	20,8	8,7	22,6	38,5

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	82	83	84	85
P.O.	60,6	59,2	53,6	12,5
%	34,1	34,3	31,0	23,4
P.I.	117,3	113,6	119,0	41,0
%	65,9	65,7	69,0	77,6

Discusión :

El segundo ejemplo del tipo "suelo pardo lessivé" presenta los mismos fenómenos.

El valor 0,80 de la arcilla en el horizonte A<sub>2</sub> y el valor de 464 mg de hierro libre nos indican un lavado intenso, con respecto a los valores de 2,43 y de 769 mg en el horizonte B.

El contenido de materia orgánico se muestra muy alto, con excepción del horizonte C, mientras que el fósforo orgánico no sigue estos valores, oscilando entre 34,3 y 23,4 % del fósforo total.

La forma más representada en la fracción inorgánica es el fósforo ligado al hierro. El fósforo ligado al aluminio en forma libre tiene valores altos en los horizontes A y B.

El horizonte A<sub>1</sub> tiene un valor C/N de 12,48.

.....

C A P I T U L O 6.

---

LOS PERFILES SOBRE LOS SEDIMENTOS DETRITICOS  
QUE SE EXTIENDEN AL SUR DEL MACIZO CRISTALINO DE LA SIERRA.

A. P E R F I L 4.

=====

Localidad: Carretera Chapinera, Brunete, km 27.

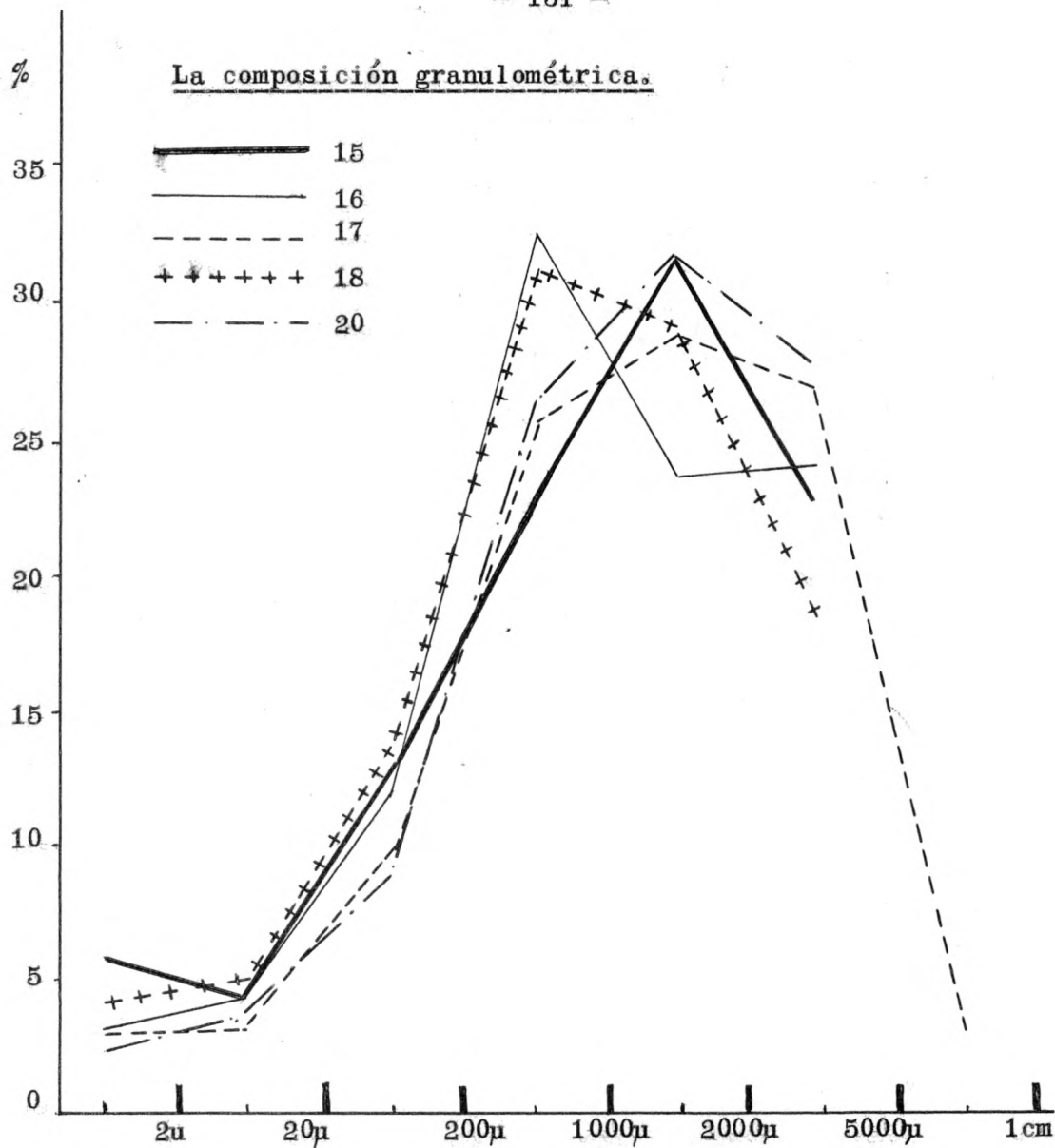
Altitud: 600m.

Precipitación atmosférica: 432 mm anual.

Se trata de una terraza de 5 metros de profundidad, muestras cada metro.

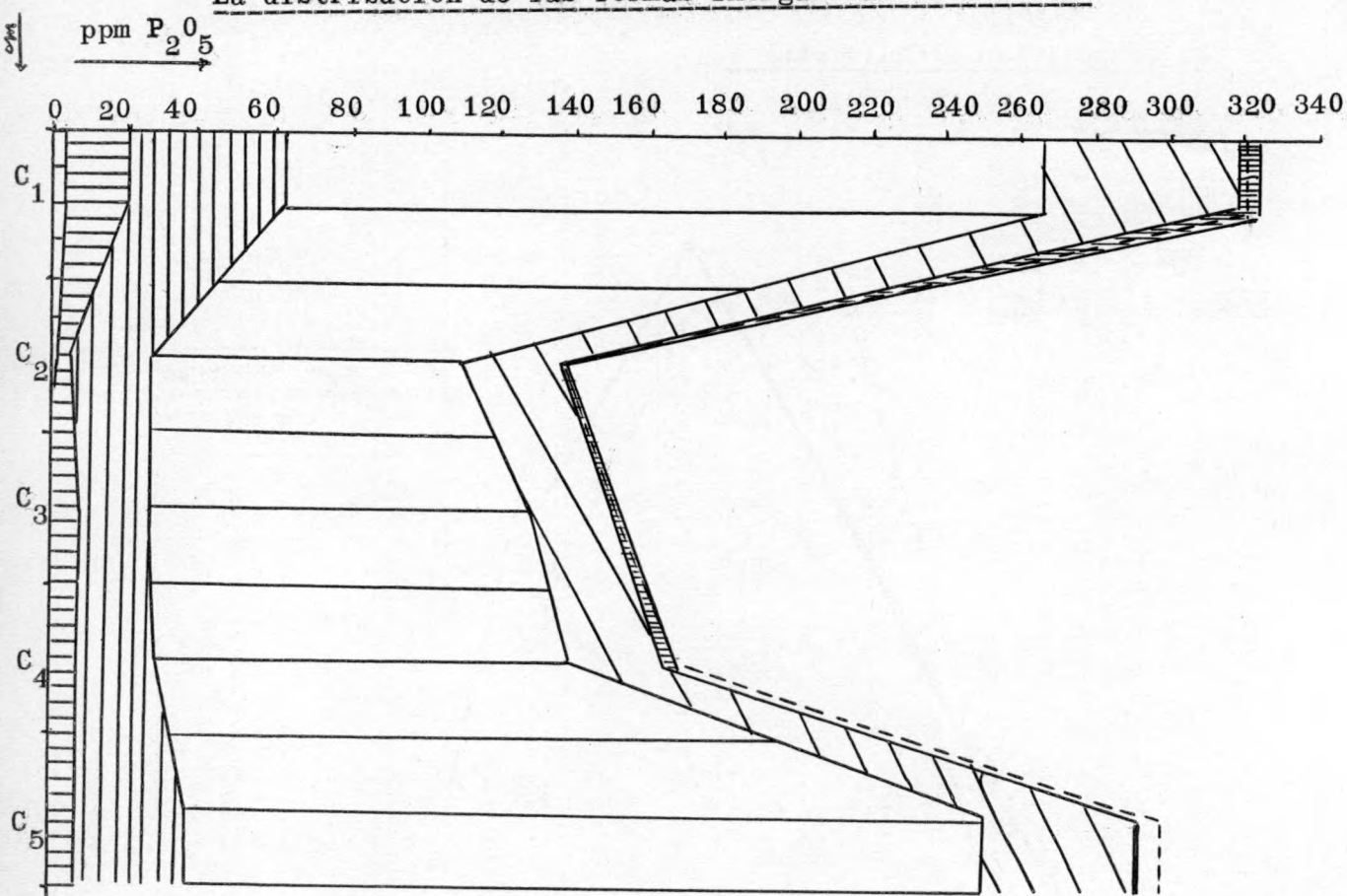
Los componentes químicos:

M.	M.‰	pH	M.O.	arc	P.T.	Fe.T.	Fe.1.	Fe.2.	P.O.
15	45,9	5.80	0,41	5,73	320,2	1692	777	295	3,6
115	54,1	7.05			242,6	1114	603		
16	52,1	5.90	0,35	3,80	138,3	1680	875	323	0,1
116	47,9	7.40			176,8	848	406		
17	41,4	6.45	0,29	3,80	151,1	1380	571	248	-
117	58,6	7.80			193,7	935	548		
18	52,9	7.00	0,17	4,48	175,4	1700	899	357	-
118	47,1	7.70			204,2	1240	584		
20	41,1	7.10	0,12	2,56	299,0	1110	456	229	-
120	58,9	7.75			288,5	724	426		



M.	1-0,5cm	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
15		22,73	31,30	23,21	12,43	4,60	5,73
16		24,01	23,93	32,44	11,64	4,18	3,80
17	3,84	26,09	28,71	25,10	9,59	3,34	3,33
18		18,23	28,82	30,55	13,11	4,81	4,48
20		27,48	31,46	26,47	8,13	3,90	2,56

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo.



M.	AIP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2	%	AIP.2	%	Total
15	16,2	5,1	41,3	12,9	204,4	63,9	53,5	16,7	4,3	1,4	319,7
16	3,8	2,7	20,1	14,4	85,5	61,3	27,7	19,8	2,5	1,8	139,6
17	7,4	4,9	18,7	12,2	103,7	67,8	22,2	14,5	0,9	0,6	152,9
18	6,8	3,9	20,0	11,4	123,7	70,4	23,9	13,6	1,2	0,7	175,6
20	7,3	2,5	29,2	9,8	214,9	72,2	43,9	14,7	2,4	0,8	297,7

B. P E R F I L 2.

=====

Localidad: Carretera Villamante-Aldea del Fresno, km 4.

Altitud : 580 m.

Precipitación atmosférica : 514 mm anual.

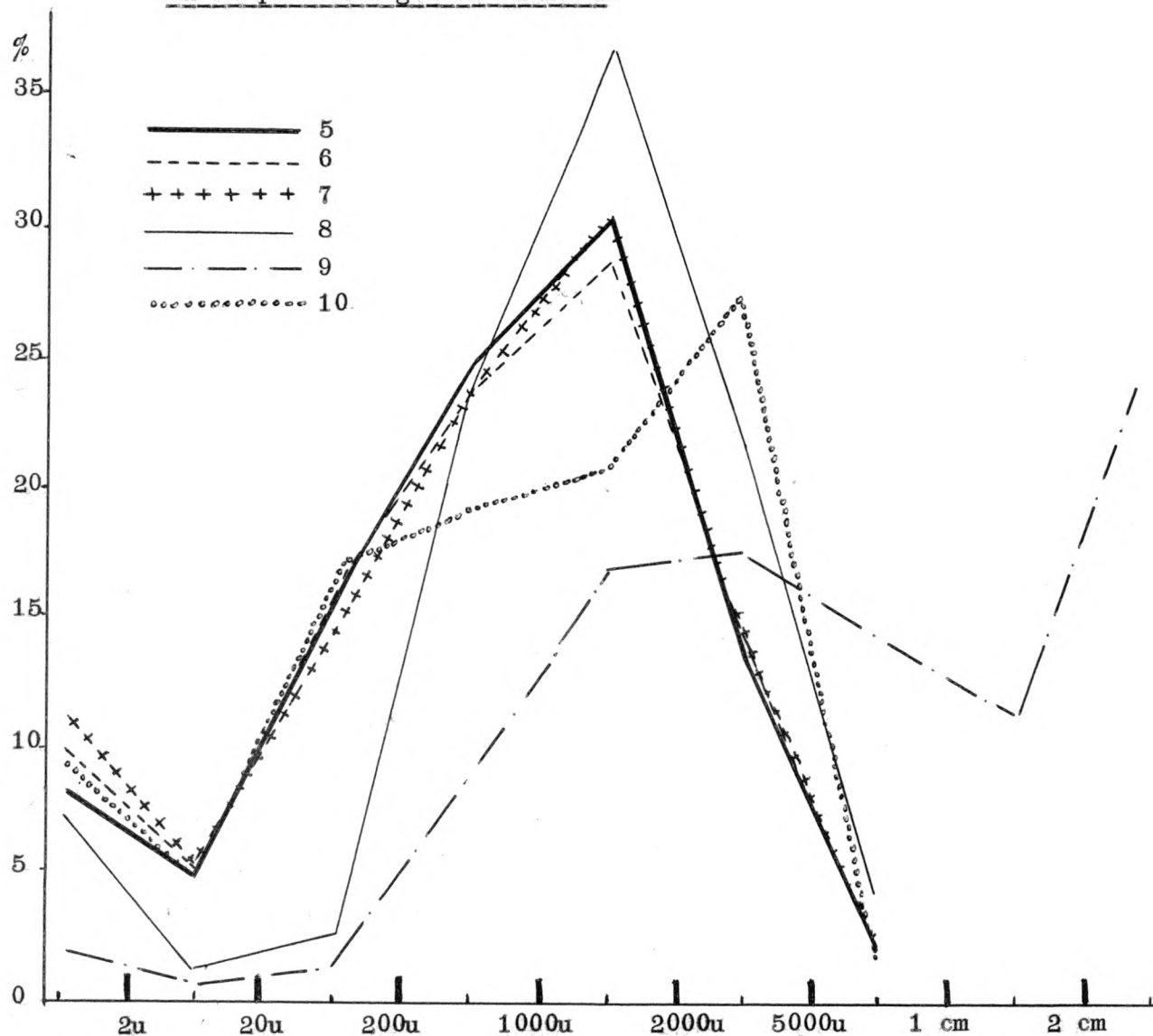
Hor.	Muestra
A <sub>1,1</sub>	5
A <sub>1,2</sub>	6
B	7
C	8
D	9
E	10

Vegetación : Olivar.

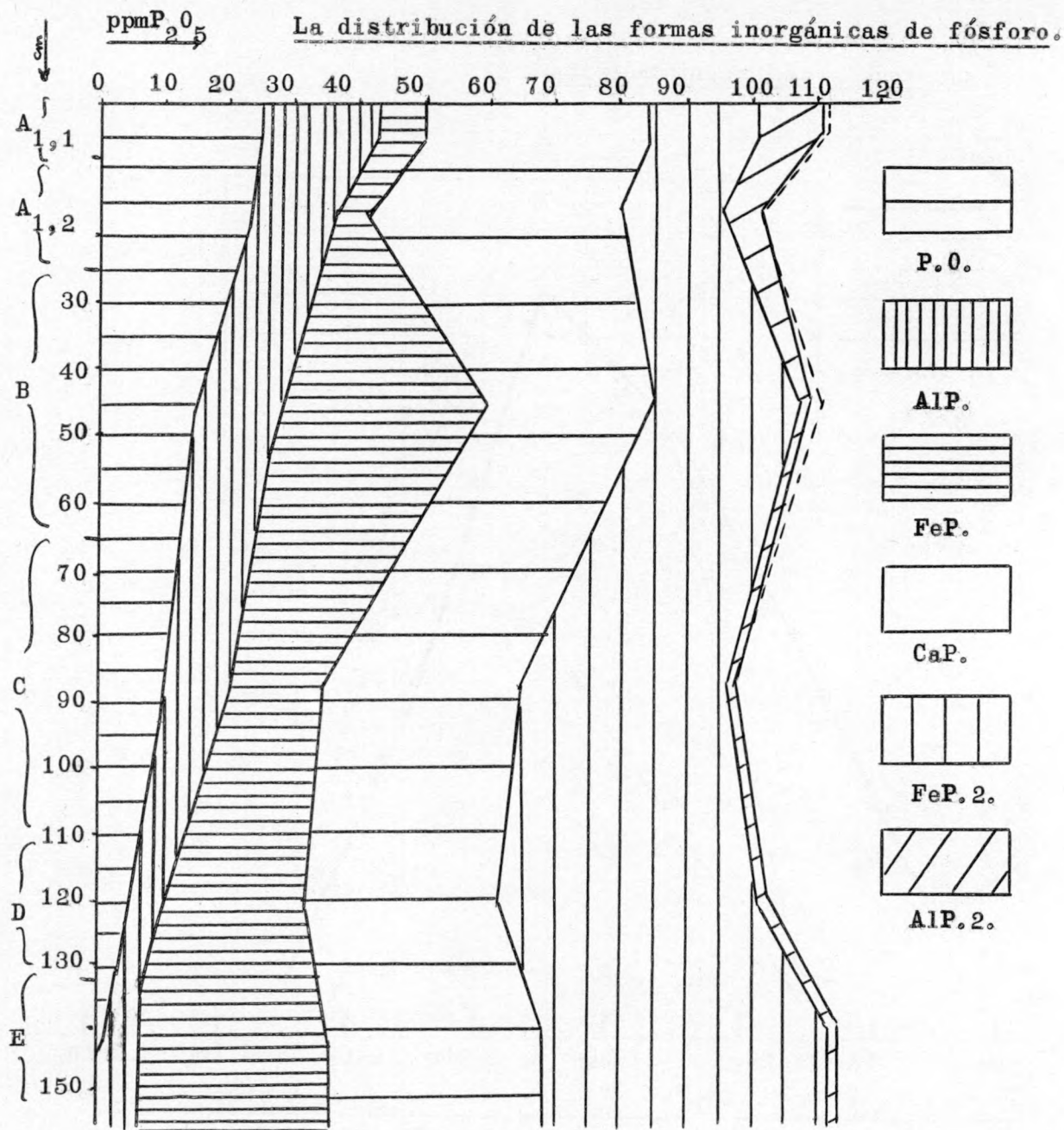
Los componentes químicos :

M.	M.‰	pH	M. O.	arc	P. T.	Fe. T.	Fe. 1.	Fe. 2.
5	52,8	6.25	3,02	8,16	112,0	1542	814	371
105	47,2	7.15			61,2	1138	537	
6	54,5	5.70	1,52	9,92	102,3	1640	894	349
106	45,5	7.20			61,4	1135	518	
7	54,8	4.50	1,05	11,38	111,5	1833	1000	685
107	45,2	6.90			73,5	1271	574	
8	37,1	5.10	0,88	7,29	97,6	1420	527	306
108	62,9	6.95			52,9	848	533	
9	12,2	4.90	0,47	1,88	106,1	1470	179	98
109	87,8	7.15			214,1	1174	1031	
10	50,2	4.80	0,35	9,03	114,8	1470	738	359
110	49,8	6.20			118,4	1385	690	

La composición granulométrica.



M <sub>0</sub>	3-2cm	2-1cm	1-0,5	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200u	200-20	20-2u	2u-0
5			2,20	14,11	30,86	24,02	15,68	8,97	8,16
6			2,16	14,77	28,60	23,42	16,08	5,05	9,92
7				14,41	30,78	23,95	14,34	5,14	11,38
8			4,54	21,51	36,87	24,08	3,83	1,88	7,29
9	27,76	12,00	13,45	17,25	16,34	8,25	1,51	0,58	1,88
10			2,33	27,47	20,00	18,92	16,29	5,96	9,03



M.	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
5	18,1	21,0	6,6	7,7	34,3	39,7	17,2	19,9	10,1	11,7	86,3
6	13,2	16,6	4,3	5,4	39,4	49,6	15,4	19,4	7,1	9,0	79,4
7	12,9	13,8	31,5	33,7	25,0	26,7	22,1	23,6	2,0	2,1	93,5
8	10,6	12,1	14,0	15,9	29,2	33,3	32,6	37,1	1,4	1,6	87,8
9	6,2	6,3	21,0	21,3	29,1	29,5	40,9	41,5	1,4	1,4	98,6
10	6,1	5,4	28,2	24,9	32,4	28,5	46,0	40,5	0,8	0,7	113,5

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	5	6	7	8	9	10
P.O.	25,1	22,9	14,6	10,0	4,2	0
%	22,4	22,6	13,1	10,3	4,0	0
P.I.	86,9	79,4	96,9	87,6	101,9	114,8
%	77,6	77,4	86,9	89,7	96,0	100,0

Discusión :

El perfil 2 consiste en un "suelo pardo ácido". Lo más interesante aparece en los substratos distintos, es decir C, D, y E.

La diferencia de origen se refleja en los valores químicos y también en la composición granulométrica. En efecto, el fósforo total muestra grandes cambios en la fracción > 1 mm, de 52,9 en el C, de 214,1 en el D y de 118,4 en el E. También los valores de hierro total siguen esta regla.

La composición granulométrica lo confirma por las proporciones siguientes : 37,1/62,9 en el C, 12,2/87,8 en el D y 50,2/49,8 en el E.

Es decir que el substrato tiene origen de fenómenos aluviales, los cuales han depuesto capas distintas en el transcurso del tiempo.

El tipo de "suelo pardo ácido" se confirma por la acumulación significativa en el horizonte B de 11,4 y sobre todo por el valor más alto en este horizonte de hierro libre de 685.

Debido a una vegetación pobre, se observa valores bajos de materia orgánica y de fósforo orgánico.

.....

C. P E R F I L 5.

=====

Localidad :Carretera Brunete-Villaviciosa de Odón,km 14.

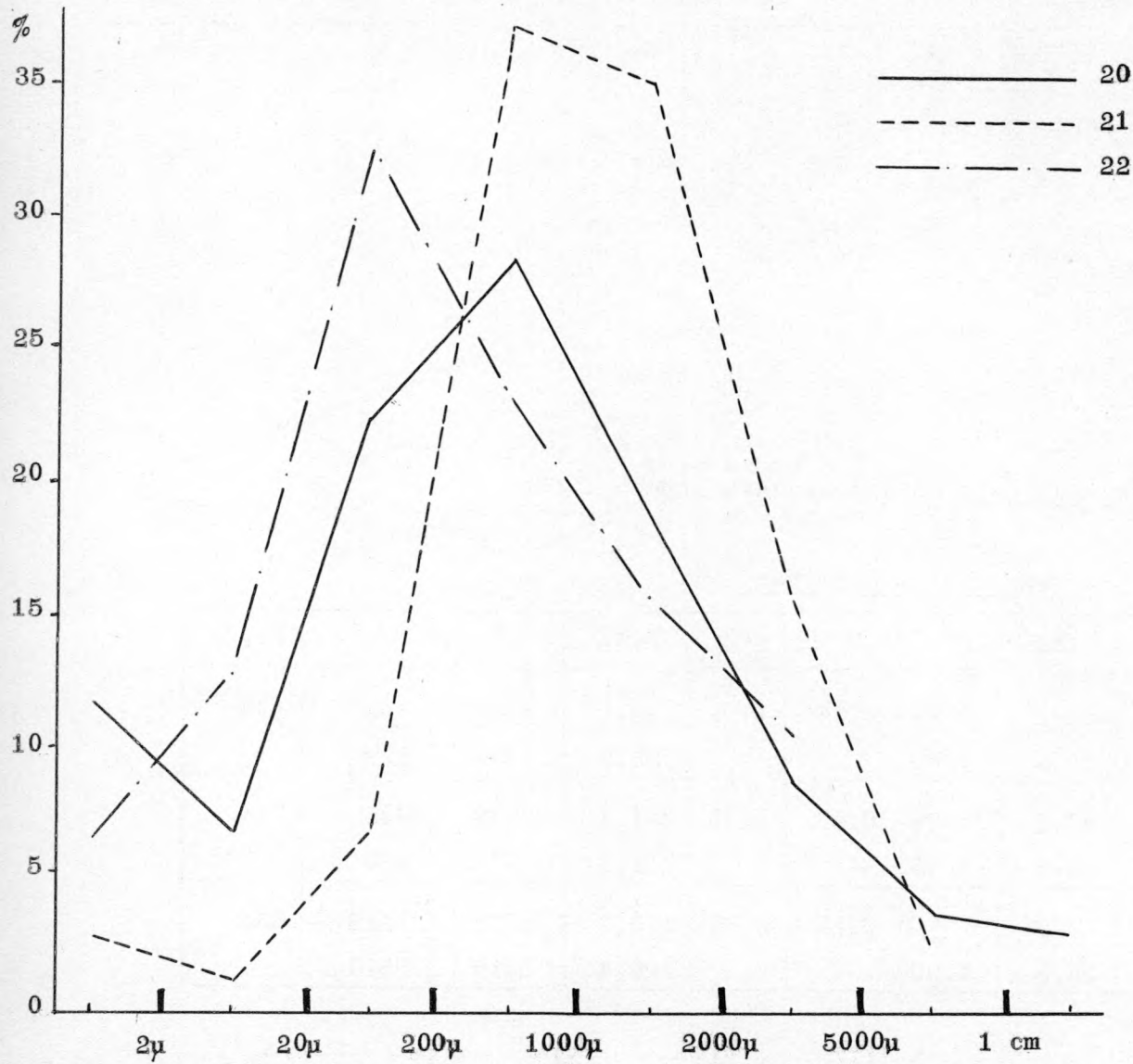
Altitud : 510 m.

Precipitación atmosférica : 432 mm anual.

Muestra	Hor.
21	B
22	BC
23	C

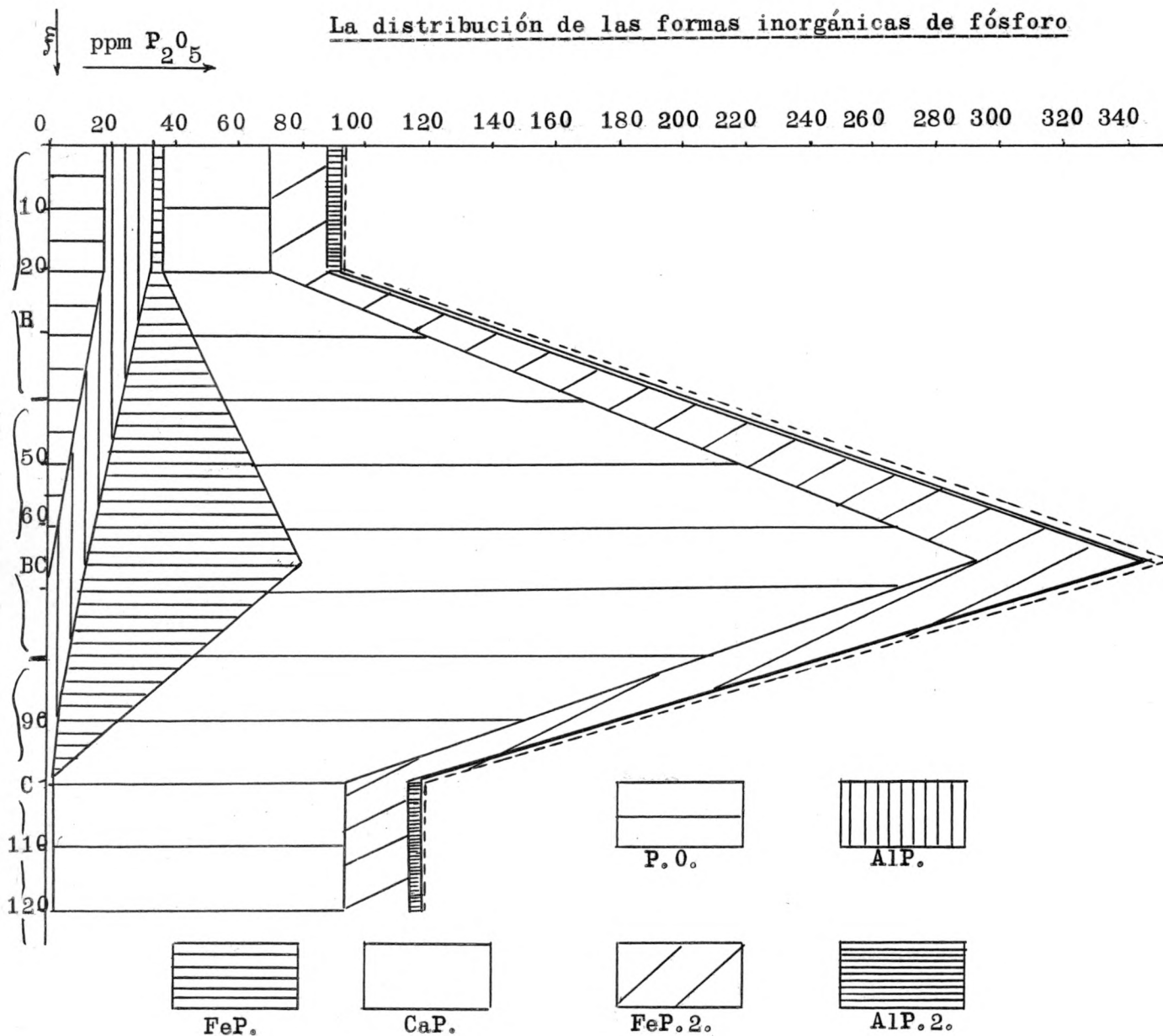


La composición granulométrica:



M.	2-1cm	1-0,5cm	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20μ-2	2μ-0
20	2,28	3,22	7,35	17,97	28,48	22,20	16,62	11,88
21		2,18	15,61	35,05	37,05	6,44	1,25	2,42
22			10,34	15,47	22,96	32,06	12,55	6,62

La distribución de las formas inorgánicas de fósforo



M	AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AlP.2.	%	Total
21	14,8	20,3	2,0	2,7	34,1	46,8	17,2	23,6	4,8	6,6	72,9
22	10,2	2,9	67,5	19,1	213,7	60,6	59,8	16,9	1,7	0,5	352,9
23	2,1	1,8	-	-	90,0	76,1	23,1	19,6	3,0	2,5	118,2

La distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	21	22	23
P.O.	18,2	0,3	0,2
%	19,6	0,1	0,2
P.I.	74,8	351,5	118,9
%	80,4	99,9	99,8

Discusión :

El perfil 5 tiene una reserva elevada en calcio, lo que nos indica entre otras cosas el pH que alcanza el 7.70 en el horizonte C. Por lo tanto, los valores de fósforo ligado al calcio alcanzan el 76 % de la fracción inorgánica que representa el porcentaje más alto de todas las muestras de nuestro estudio.

Lo más interesante de este perfil consiste en la ausencia de un horizonte A que ha sido arrastrado la erosión superficial. La fuerte pendiente y una vegetación insignificante son las razones más importantes de este fenómeno.

Por otro lado la estructura típica del horizonte B nos indica que estamos ante un tipo de "suelo pardo calizo". En efecto se observa en este horizonte una grande acumulación de arcilla (11,9) El horizonte BC presenta una concentración elevada de hierro libre, indicando nos sus cualidades de un horizonte B típico. También se observa una acumulación enorme de fósforo total en este horizonte ( 351,7 ppm) valor que no resulta tan alto cuando se tienen en cuenta las proporciones en las dos fracciones de suelo, pues no supera el 47 % , con respecto a los porcentajes de 69 % en el B y de 74 % en el horizonte C.

.....

D. M U E S T R A 86.

Localidad : Torrelodones.

Substrato : Sedimento detrítico, Mioceno.

Los componentes químicos:

M.	M. %	pH	M. O.	arc	P. T.	Fe. T.	Fe. 1.	Fe. 2.
86	67,4	4.30	0,59	1,01	36,5	320	216	87
186	32,6	4.90			12,6	440	143	

Distribución del fósforo orgánico y inorgánico.

M.	P. O.	%	P. I.	%
86	10,0	27,4	26,5	72,6

Distribución de las formas inorgánicas.

AlP	%	FeP	%	CaP	%	FeP. 2.	%	AlP. 2.	%	Total.
0,8	3,2	8,2	32,5	6,4	25,4	4,8	19,1	5,0	19,8	25,2

Se trata de una muestra superficial. Se observa una clara pobreza desde el punto de vista químico.

También el valor de la materia orgánica se muestra muy bajo y eso que se trata de la capa superior. La vegetación es inexistente.

.....

E. P E R F I L 16.

Localidad: Carretera Madrid-Colmenar Viejo, km 22.

Altitud : 720 m.

Precipitación atmosférica.: 430 mm anual.

Los componentes químicos:

M.	M.‰	pH	M.O.	arc	P.T.	Fe.T.	Fe.1.	Fe.2.
65	36,2	3.85	0,82	11,54	58,7	1840	666	404
165	73,8	4.20			39,9	1960	1446	
66	43,7	3.70	0,82	14,88	32,5	1972	862	469
166	56,3	4.25			35,6	860	484	

Distribución de las formas de fósforo en el perfil

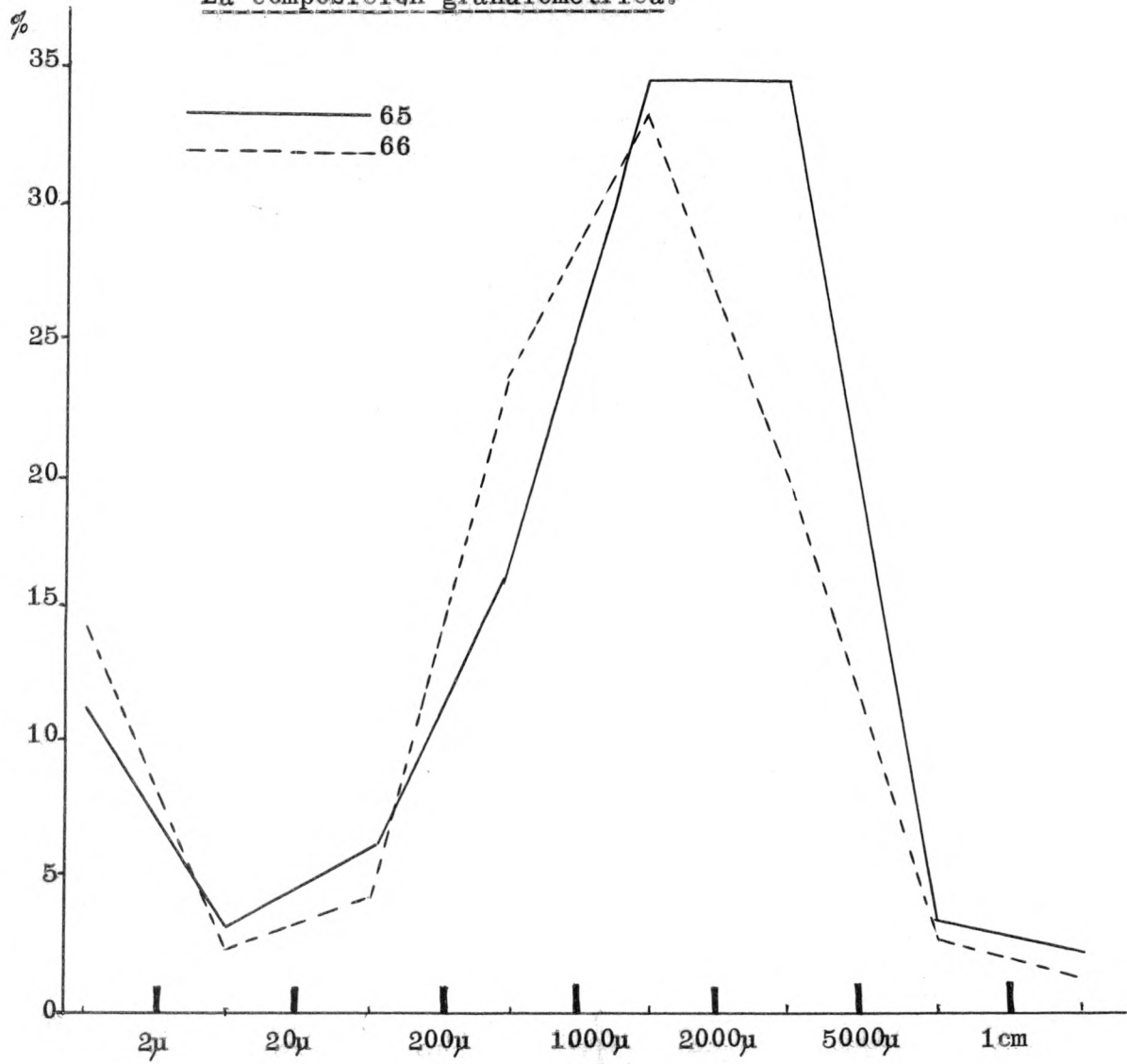
M.	65	66
P.O.	6,5	6,2
%	11,1	19,2
P.I.	52,2	26,3
%	88,9	80,8

M.	AIP	%	FeP	%	CaP	%	FeP.2.	%	AIP.2.	%	Total
65	8,6	16,3	16,3	31,0	9,7	18,4	12,6	24,0	5,4	10,3	52,6
66	4,5	18,7	8,2	34,0	3,4	14,1	5,6	23,2	2,4	10,0	24,1

Se trata de dos muestra del substrato inalterado a una profundidad de 20 y de 95 cm. Por lo tanto el fósforo orgánico y la materia orgánico tienen valores muy bajos.

.....

La composición granulométrica.



M.	2-1cm	1-0,5cm	0,5-0,2	0,2-0,1	0,1-200μ	200-20	20-2μ	2μ-0
65	2,06	3,01	34,36	34,36	15,99	5,58	3,10	11,54
66	1,20	2,57	18,81	33,70	22,68	4,00	2,16	13,88

C A P I T U L O . 7 .

---

ESTUDIO DE LAS CORRELACIONES DE LAS DISTINTAS FORMAS  
DE FOSFORO.

A. Estudio de la correlación entre el fósforo orgánico y la materia orgánica.

A.1. Generalidades.

Es evidente que el fósforo orgánico y el nitrógeno se mineralizan mediante acciones microbiológicas.

Las experiencias de Thompson (1949) demuestran que en condiciones especiales se produce una transformación del fósforo orgánico en fósforo inorgánico.

El fósforo soluble en medio ácido aumenta constantemente durante el proceso de mineralización.

La transformación del fósforo y del nitrógeno se produce a una misma velocidad puesto que se demuestra la existencia de cantidades equivalentes de P y N durante el proceso de descomposición.

Además es evidente que la mineralización se realiza más rápidamente en los suelos vírgenes que en los suelos cultivados.

Eid (1951) demuestra la influencia de la temperatura en la mineralización y que las temperaturas elevadas en los suelos producen un aumento de la mineralización.

Evidentemente, la mayor parte de la materia orgánica de un suelo se encuentra en la superficie del perfil, produciéndose una disminución gradual de la misma con la profundidad.

Nuestros resultados demuestran que el contenido de fósforo orgánico en los horizontes A alcanza valores comprendidos entre 91,8 % y el 17,7 % del fósforo total.

Con respecto a los horizontes C, o sea al subsuelo, las cifras obtenidas respecto al fósforo están comprendidas entre 34,4 % y 0 %.

La excepción a la regla general de disminución de contenido de fósforo orgánico con la profundidad la encontramos en el perfil 6 en el cual a causa del lavado se produce una acumulación de la materia orgánica en el horizonte  $B_h$ .

La variación de los contenidos de la materia orgánica en los distintos horizontes correspondientes al perfil 6 es la siguiente :  $A_0$ :33,45 % ;  $A_1$ :2,27 % ;  $A_2$ :1.21 % ;  $B_h$ :9,84 % ;  $B_{ir}$ :5,84 y C:1,16 %. En el fósforo orgánico se produce también la misma variación  $A_0$ :98,8 ppm.  $A_1$ :25,5 ppm.  $A_2$ :16,0 ppm.  $B_h$ :60,0 ppm.  $B_{ir}$ :40,0 ppm

C:18,1 ppm. Este fenómeno demuestra una vez más, la significativa y estrecha relación entre el contenido de fósforo y la evolución de un suelo.

Hemos estudiado también la relación existente entre la materia orgánica de un suelo y el fósforo orgánico del mismo. Nuestros resultados demuestran que el fósforo orgánico no sólo interviene en los ciclos nutritivos y biógenos sino que sobre todo experimenta una transformación química.

Las 106 muestras han puesto de manifiesto que la relación entre el fósforo orgánico y la materia orgánica viene expresada por una curva logarítmica positiva. La relación es la siguiente :  $y = 19,848 + 44,45 \log x$ , y el coeficiente de correlación es de 0,95, es decir muy significativa.

.....

A. 2. Los calculos.

x = % de la materia orgánica.

y = fósforo ligado a la materia orgánica (ppm  $P_2O_5$ )

M	log x	y	M	log x	y	M	log x	y
1	0,804	65,1	26	0,083	16,0	50	-0,236	6,0
2	0,725	62,2	27	0,993	60,0	50b	-0,886	1,8
3	0,490	30,5	28	0,766	40,0	51	1,183	87,2
4	0,164	30,8	29	0,065	18,1	52	0,666	49,2
5	0,480	25,1	30	1,061	77,5	53	0,849	50,6
6	0,182	22,9	31	0,987	68,6	54	0,856	64,2
7	0,021	14,6	32	0,240	18,0	55	0,538	28,7
8	-0,055	10,0	32b	0,025	20,1	56	-0,086	5,0
9	-0,328	4,2	33	1,185	75,5	57	0,691	54,9
10	-0,456	-	34	1,029	62,0	58	0,456	35,0
11	0,890	56,9	35	0,982	51,7	59	0,199	31,1
12	0,807	52,8	36	0,465	25,5	60	0,021	22,7
13	0,409	33,3	87	-0,013	5,2	61	0,243	21,8
14	0,198	18,3	88	-0,585	-	62	0,107	18,0
14b	-0,886	-	37	0,725	61,5	63	-0,031	14,3
15	-0,387	3,6	38	0,544	48,7	64	-0,119	13,5
16	-0,456	0,1	39	0,399	40,8	65	-0,086	6,5
17	-0,538	-	40	-0,086	20,5	66	-0,086	6,2
18	-0,769	-	41	-0,276	15,4	67	0,423	35,1
20	-0,886	-	42	-0,456	11,0	68	0,167	25,7
21	0,125	18,2	45	0,559	33,7	69	0,025	21,1
22	-0,638	0,3	46	0,083	21,3	70	-0,229	7,5
23	-0,638	0,2	47	0,356	28,2	71	-0,523	5,7
24	1,524	98,8	48	0,146	25,5	72	1,338	89,1
25	0,356	25,5	49	1,465	101,5	73	1,130	73,7

M	log x	y	M	log x	y	M	log x	y
74	0,290	24,1	85	-0,187	12,5	301	0,328	18,6
75	0,093	20,1	86	-0,229	10,0	302	0,155	15,0
76	-0,229	16,0	90	0,518	39,7	303	-0,201	8,2
77	1,334	93,1	91	0,057	12,5	305	0,750	60,2
78	0,513	33,8	92	-0,013	9,6	306	0,486	43,1
79	0,290	26,5	93	-0,456	6,8	307	0,057	10,5
80	0,114	22,8	94	-1,000	2,4	308	-0,201	4,7
81	-0,328	9,4	95	0,425	27,1	84	0,851	53,6
89	-0,568	11,5	96	0,013	21,5	83	0,883	59,2
82	0,896	60,6	97	-0,244	6,3	98	-0,538	1,2

$$\sum \log x = 22,798 ; (\sum \log x)^2 = 500,4169 ; \sum (\log x)^2 = 38,366994.$$

$$\sum y = 3.053,5 ; (\sum y)^2 = 9.323.862,25 ; \sum y^2 = 154.555,15.$$

$$\sum \log x \cdot y = 2.072,8557 ; \sum \log x \cdot \sum y = 68.306,7950.$$

$$\log \bar{x} = 0,211 ; \bar{y} = 28,8066 ; N = 106.$$

$$a/ \sum (\log x)^2 - \frac{(\sum \log x)^2}{N} = \underline{33,64608}.$$

$$b/ \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N} = \underline{66.594,186}.$$

$$c/ \sum \log x \cdot y - \frac{\sum \log x \cdot \sum y}{N} = \underline{1.428,45203}.$$

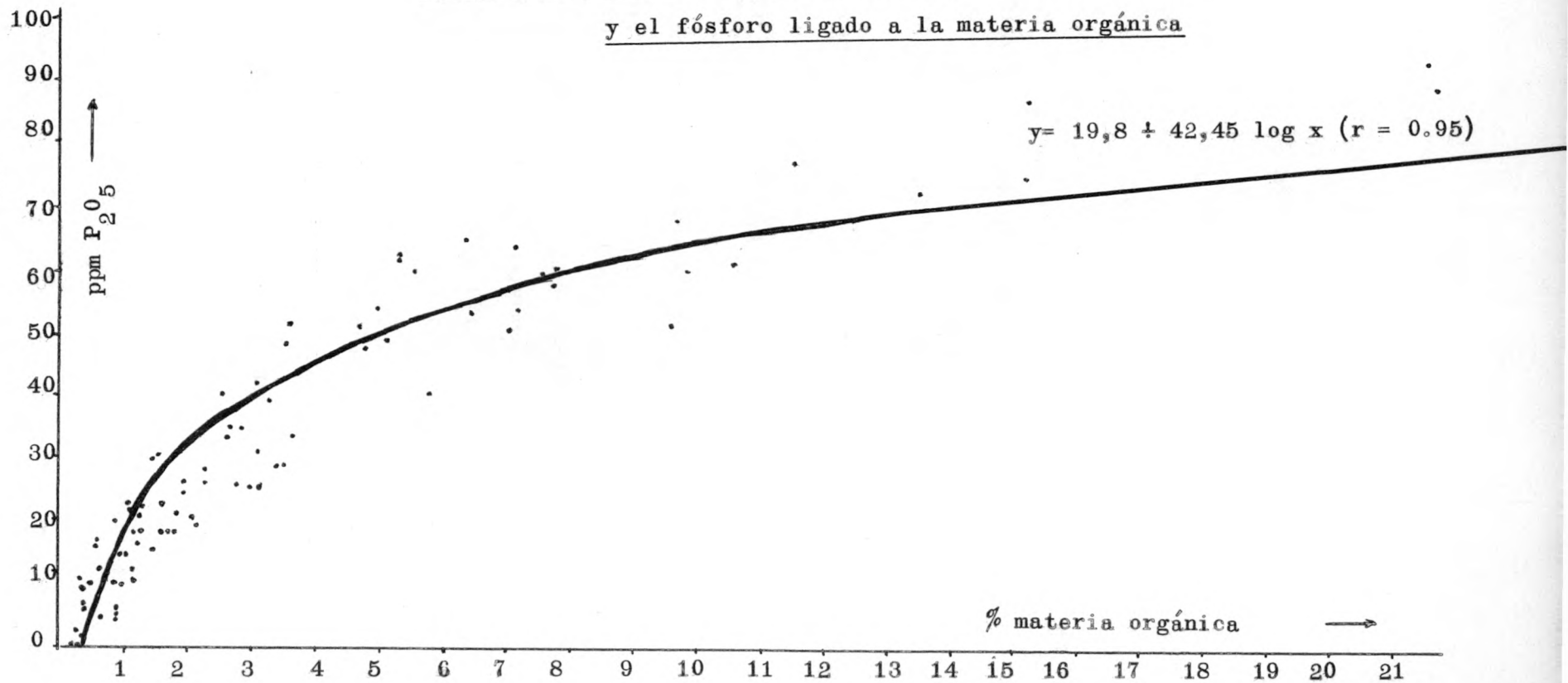
$$d/ \text{Coeficiente de correlación} : \frac{1.428,45203}{\sqrt{33,64608 \cdot 66594,186}} = \underline{\underline{0,954}}.$$

$$e/ \text{Constante} : \bar{y} - \left(\frac{c}{a}\right) \log \bar{x} = \underline{19,848}.$$

$$\underline{y = 19,848 + 42,4552 \log x.}$$

Correlación entre la materia orgánica

y el fósforo ligado a la materia orgánica



B. Estudio de la correlación entre el pH, CaP y la fracción AlP<sup>+++</sup>FeP.

B.1. Generalidades:

La discusión del método de Jackson puso de manifiesto la influencia primordial del valor de pH en relación con la solubilidad del fósforo ligado al calcio y del fósforo ligado a los sesquióxidos.

Rathje (1942) ha estudiado este fenómeno y comprobó la existencia conjunta del fósforo ligado al calcio y del fósforo ligado a los sesquióxidos dentro de una escala muy amplia de pH.

El mismo autor ha mostrado también que la solubilidad del hidroxifluoroapatito y del hidroxiapatito disminuye cuando la alcalinidad aumenta. Por otro lado, la solubilidad de los fosfatos ligados a los hidroxidos de Fe(III) y de aluminio disminuye cuando la concentración de los iones hidrógeno aumenta.

La solubilidad del hidroxifluoroapatito depende de la concentración del fluor y disminuye cuando los valores de fluor aumentan. Respecto a los fosfatos ligados a los hidroxidos de Fe(III) y de aluminio, se encuentra el fenómeno de un cambio de la solubilidad en relación con su contenido en fósforo. De ello se infiere la posibilidad de una misma solubilidad, dentro de un pH fijo, para el hidroxifluoroapatito con una cierta cantidad de fluor, y para los fosfatos ligados a los hidróxidos de Fe(III) y de aluminio con una determinada cantidad en fósforo.

Es decir, tenemos entonces la prueba de una existencia conjunta de fósforo ligado al calcio por una parte y de fosfatos ligados a los sesquióxidos por otra parte.

La solubilidad de los distintos fosfatos de calcio depende mucho de los valores del pH. Pero, no sólo el pH interviene mucho en la dispersión de la fracción inorgánica, sino también la actividad de los iones que precipitan el fósforo, es decir el Al<sup>+++</sup>, Fe<sup>+++</sup> y Ca<sup>++</sup>. En un clima húmedo el lavado de los iones básicos

aumenta la concentración de los iones  $H^+$  y de los cationes que precipitan el fósforo. En una evolución sobre sedimentos calizos con una concentración grande de CaP, se presenta el fenómeno de una caída de pH en los horizontes en que la reserva de carbonato de calcio está totalmente lixiviada. En estas circunstancias el apatito no es estable y la concentración y la disociación del Fe(III) y del hidroxido de aluminio aumenta, de modo que se produce la transformación de apatito en fosfatos ligados a sesquióxidos.

En el caso contrario de un suelo con pocos elementos básicos y con altas cantidades de la fracción AlP y FeP, el valor del pH aumentará sólo cuando se produzca un aumento de iones de calcio y de magnesio.

En general, un valor bajo del pH coincide con una alta concentración de iones de Fe(III) y de  $Al^{+++}$ , mientras que un valor alto de pH muestra una reserva de iones de calcio.

Por fin, el fenómeno del equilibrio de la fracción inorgánica depende del pH, unido a las actividades de los iones Al, Fe y Ca.

Debido a estas conclusiones, hemos calculado algunas correlaciones a fin de formar una idea exacta de la distribución de las diferentes formas de fósforo y sobre todo la influencia del  $pH_{KCl}$ .

B.1.1. Para la concentración entre el fósforo ligado al calcio y el pH hemos encontrado una relación  $y = -37,87 + 14,06 x$  ( $r = 0,93$ ). Es decir, el fósforo ligado al calcio disminuye constantemente cuando el pH se muestra más ácido. El CaP muestra valores del orden del 60 % en la zona de pH 7.00 y por otro lado los valores en la zona del pH 4.00 no superan el 20 %. La disminución lineal está por tanto perfectamente relacionada con el proceso de lavado de un suelo.

B.1.2 El fósforo total ligado al hierro y el pH nos dá una correlación de la forma siguiente :  $y = 99,61 - 11,191 x$  ( $r = -0,866$ ). El conjunto de las formas libres y de las formas ocluidas es también dependiente del valor del pH. Los valores más altos se encuentran en la zona ácida, mientras que los valores en la zona de neutralidad no superan apenas el 25 %.

De todas maneras, la diferencia no es tan pronunciada como en el caso del fósforo ligado al calcio, pero sin embargo el fenómeno confirma la precipitación del hierro y por lo tanto del fósforo ligado al hierro.

B.1.3. En el estudio de la correlación entre el fósforo en forma libre ligado al hierro y al aluminio y el pH hemos calculado la correlación siguiente :  $y = 118,6 - 127,1 \log x$  ( $r = -0,85$ ).

Esta correlación logarítmica nos indica una precipitación fuerte en la zona ácida (5.00-3.50) del fósforo ligado a los sesquióxidos libres. Por otro lado, los valores en la zona de neutralidad (7.00-5.50) sufren pocas alteraciones.

B.1.4. La correlación entre el fósforo ligado al calcio y de otra parte el fósforo en forma libre ligado al hierro y al aluminio es de la forma  $y = 112,2456 - 55,27 \log x$  ( $r = -0,8$ )

La forma logarítmico negativa indica de nuevo un cambio más pronunciado cuando los valores de fósforo ligado al calcio se muestran muy bajos. También se excluye un cambio un cambio directo de formas ligados al calcio en formas ligados a los sesquióxidos libres.

.....

B.2. Estudio de la correlación entre el fósforo ligado al calcio y el pH.

$x = \text{pH}_{\text{KCl}}$

y = por ciento del fósforo ligado al calcio en la fracción de fósforo inorgánico.

M	x	y	M	x	y	M	x	y
1	6.75	64,6	26	4.55	27,2	50b	3.75	14,2
2	6.50	59,5	27	4.70	34,1	51	4.30	22,7
3	5.65	51,3	28	4.75	20,1	52	4.25	22,8
4	6.55	53,3	29	5.65	43,6	53	4.60	28,5
5	6.25	39,7	30	4.40	24,3	54	4.10	29,6
6	5.70	49,6	31	4.60	26,2	55	5.00	33,3
7	4.50	26,7	32	4.40	19,1	56	4.90	30,7
8	5.10	33,3	32b	4.90	26,9	57	4.90	31,0
9	4.90	29,5	33	4.10	19,0	58	4.60	28,7
10	4.80	28,5	34	4.35	20,2	59	4.25	23,6
11	6.40	46,1	35	4.45	24,6	60	4.25	24,3
12	6.40	48,8	36	4.45	28,3	61	4.95	29,9
13	5.15	31,7	37	4.60	28,3	62	4.50	26,0
14	4.90	29,7	38	5.20	31,8	63	4.75	30,1
14b	5.90	40,6	39	4.80	25,1	64	5.05	33,1
15	5.80	63,9	40	4.70	26,7	65	3.85	18,4
16	5.90	61,3	41	4,70	29,8	66	3.70	14,1
17	6.45	67,8	42	4.60	28,7	67	4.95	31,2
18	7.00	70,4	45	4.90	29,0	68	4.35	27,0
20	7.10	72,2	46	4.90	31,0	69	4.30	25,1
21	6.70	46,8	47	5,00	33,2	70	4.40	25,8
22	6.90	60,6	48	4.75	26,1	71	3.75	16,8
23	7.70	76,1	49	4.50	20,0	72	5.05	32,9
24	4.40	24,1	49b	3.80	18,5	73	5.00	32,7
25	4.50	24,9	50	3.90	12,8	74	4.60	28,4

M	x	y	M	x	y	M	x	y
75	4.50	24,1	85	4.20	18,7	95	5.40	31,5
76	4.30	20,8	86	4.30	25,4	96	5.55	36,9
77	5.70	42,7	87	4.40	22,0	97	5.80	42,7
78	5.60	42,7	88	4.35	18,2	98	5.85	41,3
79	5.30	37,1	89	4.90	29,7	301	5.00	26,1
80	5.50	37,3	90	7.50	63,7	302	4.90	27,7
81	5.00	35,9	91	6.85	56,2	303	5.75	34,7
82	4.90	28,9	92	6.90	55,3	304	4.10	17,1
83	4.45	27,1	93	7.20	51,6	305	4.00	16,3
84	4.50	27,9	94	7.40	54,0	306	4.90	28,7
						307	5.40	33,1

$$\sum x = 540,05 ; \sum x^2 = 2.843,0875 ; (\sum x)^2 = 291.654,0025 ; \bar{x} = 5,09$$

$$\sum y = 3.571,6 ; \sum y^2 = 141.197,76 ; (\sum y)^2 = 12.756.326,56 ; \bar{y} = 33,69$$

$$\sum x.y = 19.485,230 ; \sum x.\sum y = 1.928.842,580 \quad N = 106.$$

$$a/\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N} = \underline{91,6347}.$$

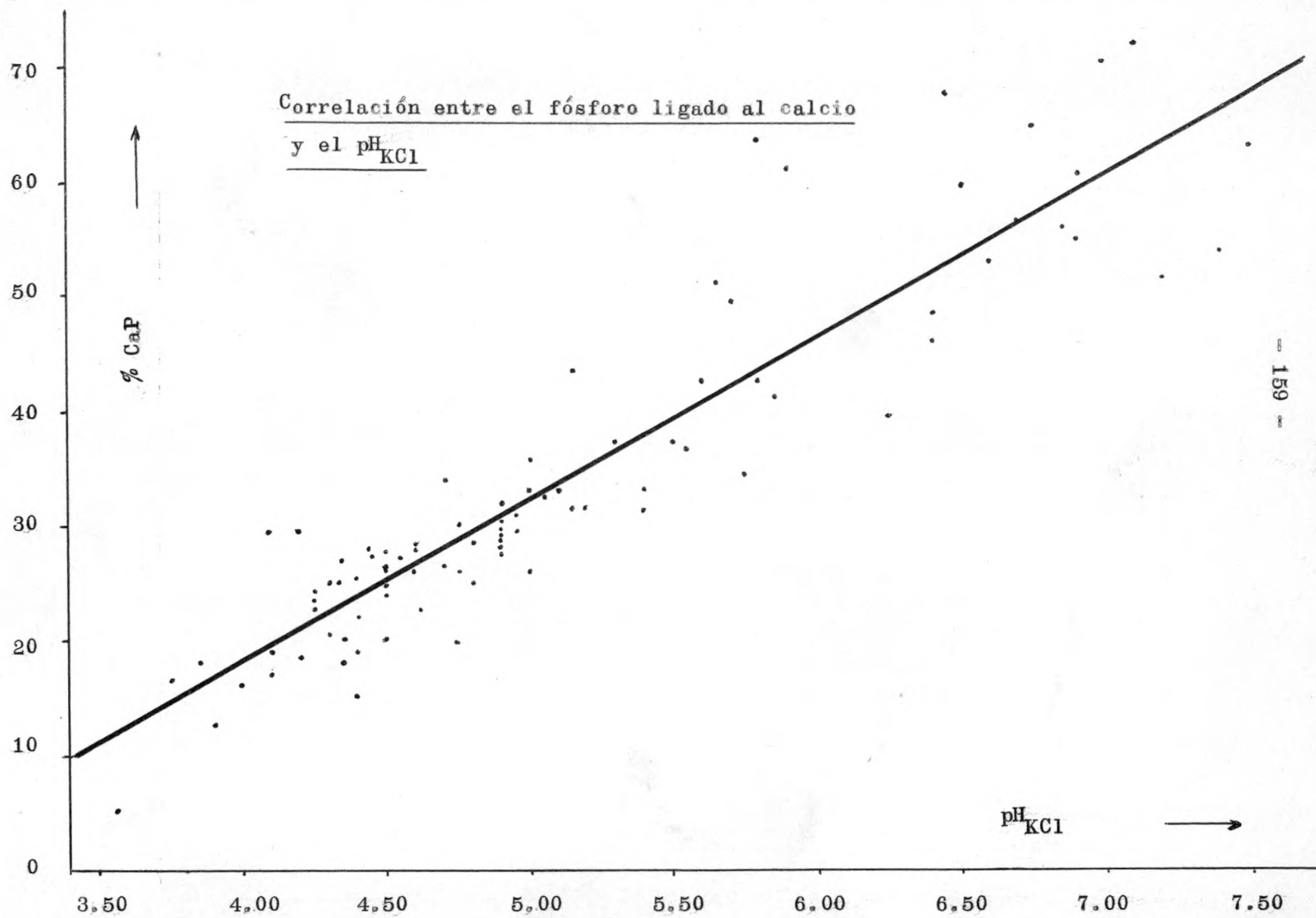
$$b/\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N} = \underline{20.855,06}.$$

$$c/\sum xy - \frac{\sum x.\sum y}{N} = \underline{1.288,602}.$$

$$d/\text{Coeficiente de correlación} : \frac{1.288,602}{\sqrt{91,6347 \cdot 20.855,06}} = \underline{\underline{0,932}}.$$

$$e/\text{Constante} : 33,69 - \left( \frac{1.288,602}{91,6347} \right) 5,09 = \underline{-37,87}.$$

$$\underline{y = -37,87 + 14,06 x.}$$



B.3. Estudio de la correlación entre el fósforo ligado al hierro y el pH.

$x = \text{pH}_{\text{KCl}}$

$y = \text{fósforo ligado al hierro en } \% \text{ del fósforo inorgánico.}$

M	x	y	M	x	y	M	x	y
1	6.75	27,1	26	4.55	59,2	50	3.90	55,6
2	6.50	27,5	27	4.70	42,4	50b	3,75	58,6
3	5.65	32,9	28	4.75	62,5	51	4.30	50,7
4	6.55	37,5	29	5.65	43,5	52	4.25	54,6
5	6.25	27,6	30	4.40	35,7	53	4.60	56,8
6	5.70	24,8	31	4.60	38,3	54	4.10	45,1
7	4.50	57,3	32	4.40	57,5	55	5.00	44,3
8	5.10	53,0	32b	4.90	51,5	56	4.90	46,1
9	4.90	62,8	33	4.10	51,1	57	4.90	44,0
10	4.80	65,4	34	4.35	46,5	58	4.60	45,7
11	6.40	24,6	35	4.45	48,0	59	4.25	50,4
12	6.40	22,4	36	4.45	55,1	60	4.25	51,3
13	5.15	49,4	37	4.60	50,3	61	4.95	40,3
14	4.90	56,3	38	5.20	37,9	62	4.50	48,3
15	5.80	29,6	39	4.80	51,5	63	4.75	45,6
16	5.90	34,2	40	4.70	46,0	64	5.05	40,4
17	6,45	26,7	41	4.70	47,0	65	3.85	55,0
18	7.00	25,0	42	4.60	47,8	66	3.70	57,2
20	7.10	24,5	45	4.90	33,5	67	4.95	38,4
21	6.70	26,3	46	4.90	43,0	68	4.35	51,5
22	6.90	36,0	47	5.00	43,6	69	4.30	51,0
23	7.70	19,6	48	4.75	46,3	70	4.40	52,7
24	4.40	49,3	49	4.50	47,6	71	3.75	56,9
25	4.50	55,2	49b	3.80	55,7	72	5.05	42,8

M	x	y	M	x	y	M	x	y
73	5.00	42,0	84	4.50	42,8	95	5.40	38,6
74	4.60	48,1	85	4.20	52,0	96	5.55	33,1
75	4.50	48,6	86	4.30	51,6	97	5.80	29,3
76	4.30	53,7	87	4.40	52,6	98	5.85	32,7
77	5.70	30,3	88	4.35	50,3	301	5.00	39,7
78	5.60	39,0	89	4.90	53,5	302	4.90	42,4
79	5.30	44,8	90	7.50	12,5	303	5.75	29,5
80	5.50	37,4	91	6.85	18,5	304	4.10	48,1
81	5.00	44,6	92	6.90	12,9	305	4.00	46,3
82	4.90	47,2	93	7.20	13,4	306	4.90	39,5
83	4.45	40,5	94	7.40	6,7	307	5.40	31,4
						14b	5.90	44,0

$$\sum x = 540,05 ; \sum x^2 = 2.843,0875 ; (\sum x)^2 = 291.654,0025 ; \bar{x} = 5,09.$$

$$\sum y = 4.521,5 ; \sum y^2 = 208.176,97 ; (\sum y)^2 = 20.443.962,25 ; \bar{y} = 42,65.$$

$$\sum x,y = 22.010,685 ; \sum x \cdot \sum y = 2.441.836,075 ; N = 106.$$

$$a/\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{N} = 2.843,0875 - \frac{291.654,0025}{106} = \underline{91,6347}.$$

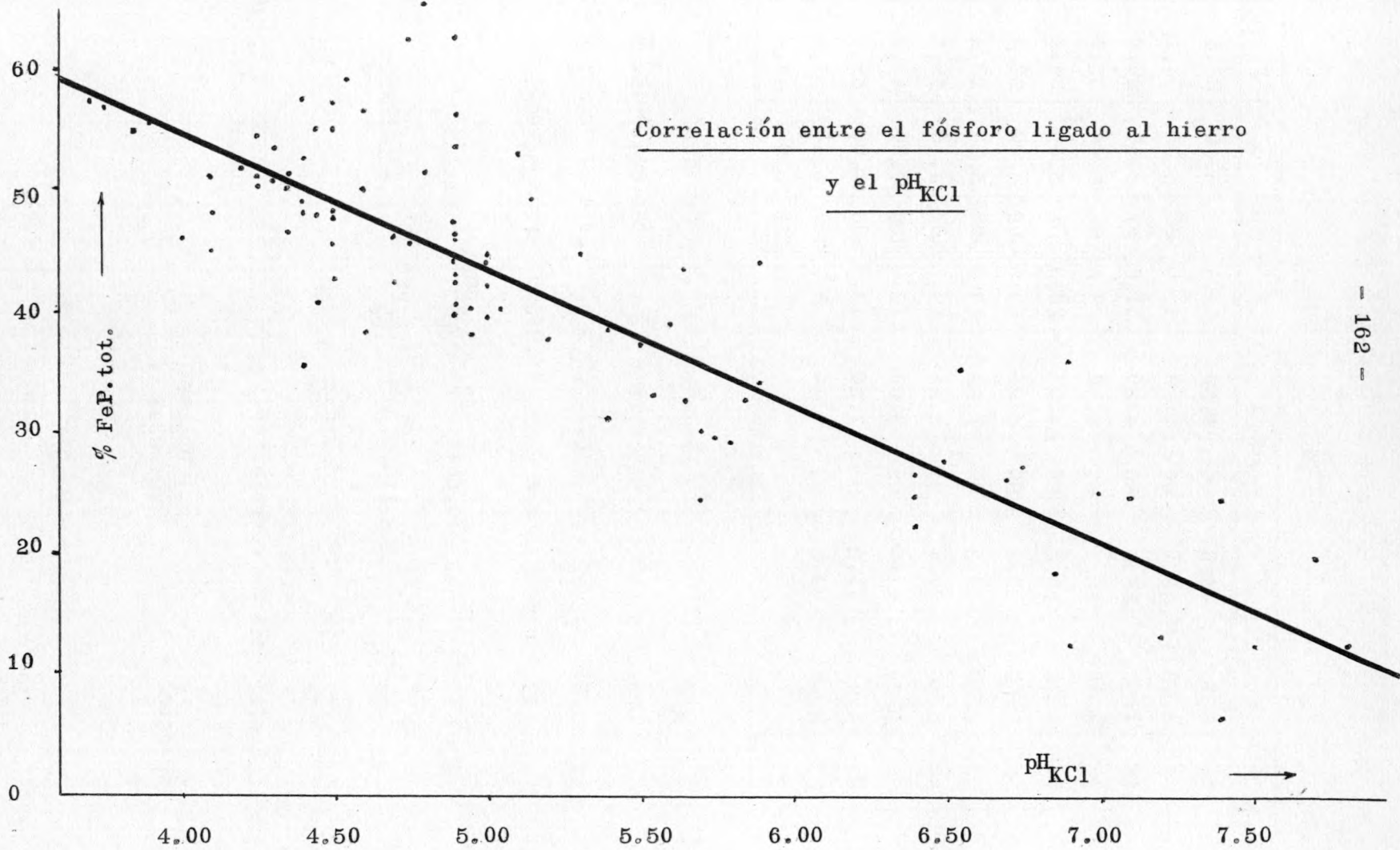
$$b/\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N} = 208.176,97 - \frac{20.443.962,25}{106} = \underline{15.309,41}.$$

$$c/\sum x \cdot y - \frac{\sum x \cdot \sum y}{N} = \underline{-1.025,504}.$$

$$d/\text{Coeficiente de correlación} : \frac{-1.025,504}{\sqrt{91,6347 \cdot 15.309,41}} = \underline{\underline{-0,866}}.$$

$$e/\text{Constante} : 42,65 - \left( \frac{-1.025,504}{91,6347} \right) \cdot 5,09 = \underline{99,61}.$$

$$\underline{y = 99,61 - 11,19 x.}$$



B.4. Estudio de la correlación entre el fósforo en forma libre  
ligado al hierro y al aluminio y el pH.

$x = \text{pH}_{\text{KCl}}$

$y = \text{AlP} \div \text{FeP}$  en % del fósforo inorgánico.

M	x	log x	y	M	x	log x	y
1	6.75	0,82930	16,0	26	4.55	0,65801	32,6
2	6.50	0,81291	15,9	27	4.70	0,67210	35,4
3	5.65	0,75205	25,6	28	4.75	0,67669	42,4
4	6.55	0,82282	20,9	29	5.65	0,75205	30,7
5	6.25	0,79588	28,7	30	4.40	0,64345	38,2
6	5.70	0,75587	22,0	31	4.60	0,66276	31,6
7	4.50	0,65321	47,5	32	4.40	0,64345	35,4
8	5.10	0,70757	28,0	32b	4.90	0,69020	26,4
9	4.90	0,69020	27,6	33	4.10	0,61278	51,1
10	4.80	0,68124	30,3	34	4.35	0,63849	64,3
11	6.40	0,80618	12,8	35	4.45	0,64836	61,2
12	6.40	0,80618	14,1	36	4.45	0,64836	35,1
13	5.15	0,71181	37,9	37	4.60	0,66276	35,3
14	4.90	0,69020	39,4	38	5.20	0,71600	21,6
14b	5.90	0,77085	23,7	39	4.80	0,68124	33,7
15	5.80	0,76343	18,0	40	4.70	0,67210	32,7
16	5.90	0,77085	17,1	41	4.70	0,67210	30,2
17	6.45	0,80956	17,1	42	4.60	0,66276	26,9
18	7.00	0,84510	15,3	45	4.90	0,69020	29,9
20	7.10	0,85126	12,3	46	4.90	0,69020	32,1
21	6.70	0,82607	23,0	47	5.00	0,67897	29,3
22	6.90	0,83885	22,0	48	4.75	0,67669	22,7
23	7.70	0,88649	1,8	49	4.50	0,65321	36,4
24	4.40	0,64345	32,6	49b	3.80	0,58546	45,4
25	4.50	0,65321	30,9	50	3.90	0,59106	53,4

M	x	log x	y	M	x	log x	y
51	4.30	0,63347	35,3	81	5.00	0,69897	28,2
52	5.25	0,62839	36,8	82	4.90	0,69020	31,7
53	4.60	0,66276	38,6	83	4.45	0,64836	37,7
54	4.10	0,61278	34,5	84	4.50	0,65321	40,2
55	5.00	0,69897	28,2	85	4.20	0,62325	37,9
56	4.90	0,69020	29,9	86	4.30	0,63347	35,7
57	4.90	0,69020	29,1	87	4.40	0,64345	34,7
58	4.60	0,66276	34,0	88	4.35	0,63849	37,8
59	4.25	0,62839	38,0	89	4.90	0,69020	29,9
60	4.25	0,62839	36,2	90	7.50	0,87506	7,9
61	4.95	0,69461	28,7	91	6.85	0,83569	10,9
62	4.50	0,65321	35,2	92	6.90	0,83885	9,9
63	4.75	0,67669	32,0	93	7.20	0,85733	8,7
64	5.05	0,70329	18,6	94	7.40	0,86923	5,5
65	3.85	0,58546	47,3	95	5.40	0,73239	22,0
66	3.70	0,56820	52,7	96	5,55	0,74429	23,0
67	4.95	0,69461	27,9	97	5.80	0,76343	17,9
68	4.35	0,63849	30,0	98	5.85	0,76716	17,1
69	4.30	0,63347	29,9	301	5.00	0,69897	26,3
70	4.40	0,64345	28,8	302	4.90	0,69020	23,8
71	3.75	0,57403	46,4	303	5.75	0,75967	15,3
72	5.05	0,70329	27,4	304	4.10	0,61278	39,0
73	5.00	0,69897	25,4	305	4.00	0,60206	40,4
74	4.60	0,66276	36,8	306	4.90	0,69020	26,3
75	4.50	0,65321	39,2	307	5.40	0,73239	21,6
76	4.30	0,63347	39,1	77	5.70	0,75587	21,4
78	5.60	0,74819	22,8	79	5.30	0,72428	22,0
80	5.50	0,74036	21,9	50b	3.75	0,57403	38,9

B.4.b. Los calculos de la correlación:

$$N = 106 \quad \log \bar{x} = 0,70057 \quad \bar{y} = 29,5953$$

$$\sum \log x = 74,26054 ; \sum (\log x)^2 = 52,618461 ; (\sum \log x)^2 = 5.514,6218$$

$$\sum y = 3.137,1 ; \sum y^2 = 106.043,05 ; (\sum y)^2 = 9.841.396,41$$

$$\sum \log x \cdot y = 2.122,26420 ; \sum \log x \cdot \sum y = 232.962,740034$$

$$a / \sum (\log x)^2 - \frac{(\sum \log x)^2}{N} = \underline{0,593728}.$$

$$b / \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N} = \underline{13.199,69}.$$

$$c / \sum \log x \cdot y - \frac{\sum \log x \cdot \sum y}{N} = \underline{-75,4974}.$$

$$\text{Coeficiente de correlación : } \frac{-75,4974}{\sqrt{0,593728 \cdot 13.199,69}} = \underline{\underline{0,853}}.$$

$$\text{Constante : } 29,5953 - \left( \frac{-75,4974}{0,593728} \right) \cdot 0,70057 = \underline{118,67838}.$$

$$\underline{y = 118,67838 - 127,158 \log x.}$$

$$\text{Para } x = 3 : y = 57,3$$

$$x = 4 : y = 41,7$$

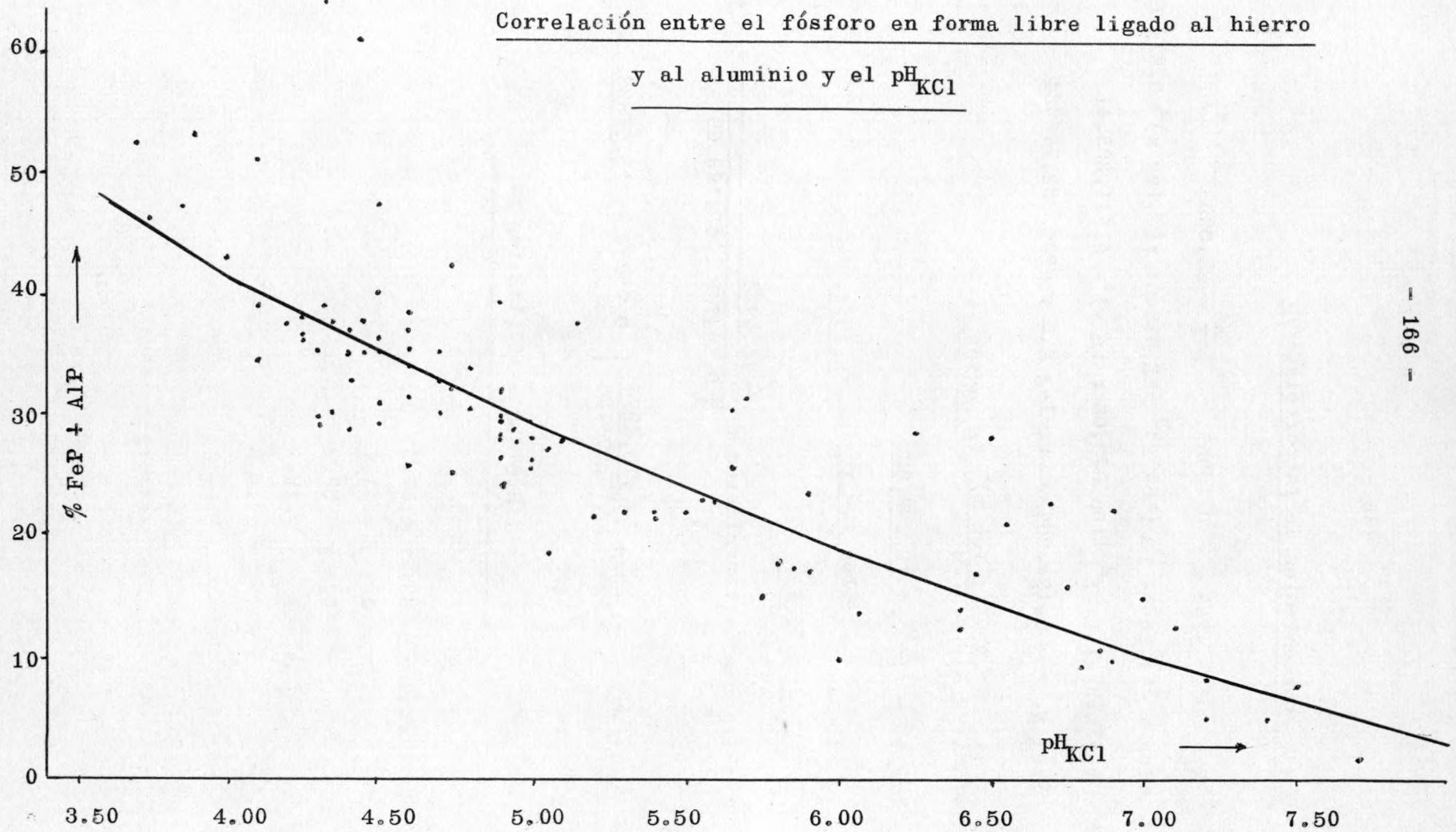
$$x = 5 : y = 29,2$$

$$x = 6 : y = 19,1$$

$$x = 7 : y = 10,5$$

.....

Correlación entre el fósforo en forma libre ligado al hierro  
y al aluminio y el  $\text{pH}_{\text{KCl}}$



B.5. Estudio de la correlación entre el fósforo ligado al calcio y el fósforo en forma libre ligado al hierro y al aluminio.

x = fósforo ligado al calcio.

y = AlP + FeP en % del fósforo inorgánico.

M	x	log x	y	M	x	log x	y
1	64,6	1,81023	16,0	26	27,2	1,43457	32,6
2	59,5	1,77452	15,9	27	34,1	1,53275	35,4
3	51,3	1,71012	25,6	28	20,1	1,30320	42,4
4	53,3	1,72673	20,9	29	43,6	1,63949	30,7
5	39,7	1,59879	28,7	30	24,3	1,38561	38,2
6	49,6	1,69548	22,0	31	26,2	1,41830	31,6
7	26,7	1,42651	47,5	32	19,1	1,28103	35,4
8	33,3	1,52244	28,0	32b	26,9	1,44270	26,4
9	29,5	1,46982	27,6	33	19,0	1,27875	51,1
10	28,5	1,45484	30,3	34	20,2	1,30535	64,3
11	46,1	1,66370	12,8	35	24,6	1,39094	61,2
12	48,8	1,68842	14,1	36	28,3	1,45179	35,1
13	31,7	1,50106	37,9	37	28,3	1,45179	35,3
14	29,7	1,47276	39,4	38	31,8	1,50243	21,6
14b	40,6	1,66853	23,7	39	25,1	1,39967	33,7
15	63,9	1,80550	18,0	40	26,7	1,42651	32,7
16	61,3	1,78746	17,1	41	29,8	1,47422	30,2
17	67,8	1,83123	17,1	42	28,4	1,45332	26,9
18	70,4	1,84757	15,3	45	29,0	1,46240	29,9
20	72,2	1,85854	12,3	46	31,0	1,49136	32,1
21	46,8	1,67025	23,0	47	33,2	1,52114	29,3
22	60,6	1,78247	22,0	48	26,1	1,41664	22,7
23	76,1	1,88138	1,8	49	20,0	1,30103	36,4
24	24,1	1,38202	32,6	49b	18,5	1,26482	45,4
25	24,9	1,39620	30,9	50	12,8	1,10721	53,4

M	x	log x	y	M	x	log x	y
50b	14,2	1,14922	38,9	78	42,7	1,63043	22,8
51	22,7	1,35603	35,3	79	37,1	1,56937	22,0
52	22,8	1,35793	36,8	80	37,3	1,57171	21,9
53	28,5	1,45484	38,6	81	35,9	1,55509	28,2
54	29,6	1,47129	34,5	82	28,9	1,46090	31,7
55	33,3	1,52244	28,2	83	27,1	1,43297	37,7
56	30,7	1,48714	29,9	84	27,9	1,44560	40,2
57	31,0	1,49136	29,1	85	18,7	1,27184	37,9
58	28,7	1,45788	34,0	86	25,4	1,40483	35,7
59	23,6	1,37291	38,0	87	22,0	1,34242	34,7
60	24,3	1,38561	36,2	88	18,2	1,26007	37,8
61	29,9	1,47567	28,7	89	29,7	1,47276	29,9
62	26,0	1,41497	35,2	90	63,7	1,80414	7,9
63	30,1	1,47857	32,0	91	56,2	1,74974	10,9
64	33,1	1,51983	18,8	92	55,3	1,74273	9,9
65	18,4	1,26482	47,3	93	51,6	1,72029	8,7
66	14,1	1,14922	52,7	94	54,0	1,73239	5,5
67	31,2	1,49415	27,9	95	31,5	1,49831	22,0
68	27,0	1,43136	30,0	96	36,9	1,56703	23,0
69	25,1	1,39967	29,9	97	42,7	1,63043	17,9
70	25,8	1,41162	28,8	98	41,3	1,61595	17,1
71	16,8	1,22531	46,4	301	26,1	1,41664	26,3
72	32,9	1,51720	27,4	302	27,7	1,44248	23,8
73	32,7	1,51455	25,4	303	34,7	1,54033	15,3
74	28,4	1,45332	36,8	304	17,1	1,23300	39,0
75	24,1	1,38202	39,2	305	16,3	1,21219	40,4
76	20,8	1,31806	39,1	306	28,7	1,45788	26,3
77	42,7	1,63043	21,4	307	33,1	1,51983	21,6

Calculos de la correlación:

$$\sum \log x = 158,45208 ; \sum (\log x)^2 = 239,85 ; (\sum \log x)^2 = 25.107,0363$$

$$\sum y = 3.137,1 ; \sum y^2 = 106.043,05 ; (\sum y)^2 = 9.841.396,41$$

$$\sum \log x \cdot \sum y = 497.070,7349 \quad (\sum \log x \cdot y) = 4.524,08736$$

$$N = 106 \quad \log \bar{x} = 1,495 \quad \bar{y} = 29,595$$

$$a/ \sum (\log x)^2 - \frac{(\sum \log x)^2}{N} = \underline{2,99}.$$

$$b/ \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N} = \underline{13.199,69}.$$

$$c/ \sum \log x \cdot y - \frac{(\sum \log x \cdot \sum y)}{N} = \underline{-165,259}.$$

$$\text{Coeficiente de correlación : } \frac{-165,25914}{\sqrt{2,99 \cdot 13,199,69}} = \underline{\underline{-0,8318}}$$

$$\text{Constante : } 29,595 - \left( \frac{-165,259}{2,99} \right) 1,495 = \underline{\underline{112,2456}}$$

$$\underline{\underline{y = 112,2456 - 55,27061 \log x}}$$

Para x = 5 : y = 74,1

x = 50 : y = 17,7

x = 10 : y = 56,8

x = 60 : y = 13,2

x = 20 : y = 40,3

x = 70 : y = 9,5

x = 30 : y = 30,1

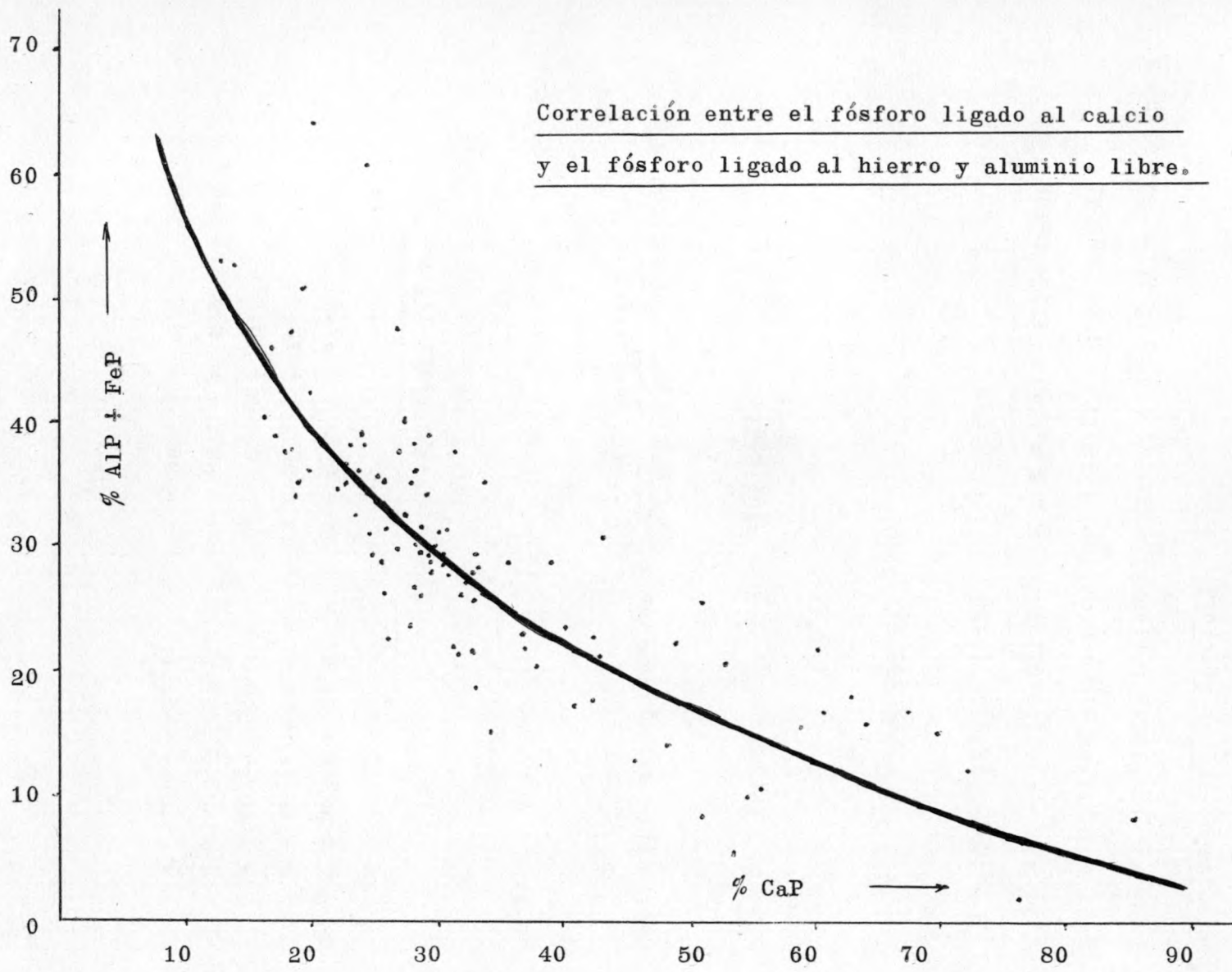
x = 80 : y = 6,2

x = 40 : y = 23,1

x = 90 : y = 3,3

.....

Correlación entre el fósforo ligado al calcio  
y el fósforo ligado al hierro y aluminio libre.



B. 6. Estudio de la correlación entre la razón  $\frac{\text{AlP} + \text{FeP}}{\text{CaP}}$  y el pH.

$$x = \text{pH}_{\text{KCl}}^{\circ}$$

$$y = \frac{\text{AlP} + \text{FeP}}{\text{CaP}} \text{ en } \% \text{ del fósforo inorgánico.}$$

M	x	log x	y	M	x	log x	y
1	6.75	0,82930	0,248	26	4.55	0,65801	1,199
2	6,50	0,81291	0,267	27	4.70	0,67210	1,038
3	5.65	0,75205	0,499	28	4.75	0,67669	2,109
4	6.55	0,82282	0,392	29	5.65	0,75205	0,704
5	6.25	0,79588	0,723	30	4.40	0,64345	1,572
6	5.70	0,75587	0,444	31	4.60	0,66276	1,206
7	4.50	0,65321	1,779	32	4.40	0,64345	1,853
8	5.10	0,70757	0,841	32b	4.90	0,69020	0,981
9	4.90	0,69020	0,936	33	4.10	0,61278	2,689
10	4.80	0,66124	1,063	34	4.35	0,63849	3,183
11	6.40	0,80618	0,278	35	4.45	0,64836	2,488
12	6.40	0,80618	0,289	36	4.45	0,64836	1,240
13	5,15	0,71181	1,196	37	4.60	0,66276	1,247
14	4.90	0,69020	1,327	38	5.20	0,71600	0,679
14b	5.90	0,77085	0,584	39	4.80	0,68124	1,343
15	5.80	0,76343	0,282	40	4.70	0,67210	1,225
16	5.90	0,77085	0,279	41	4.70	0,67210	1,013
17	6.45	0,80956	0,252	42	4.60	0,66276	0,947
18	7.00	0,84510	0,217	45	4.90	0,69020	1,031
20	7.10	0,85126	0,170	46	4.90	0,69020	1,035
21	6.70	0,82607	0,491	47	5.00	0,67897	0,882
22	6.90	0,69020	0,363	48	4.75	0,67669	0,870
23	7.70	0,88649	0,024	49	4.50	0,65321	1,820
24	4.40	0,64345	1,353	49b	3.80	0,68546	2,454
25	4.50	0,65321	1,241	50	3.90	0,59106	4,172

M	x	log x	y	M	x	log x	y
50b	3.75	0,57403	2,739	78	5.60	0,74819	0,534
51	4.30	0,63347	1,555	79	5.30	0,72428	0,593
52	4.25	0,62839	1,614	80	5.50	0,74036	0,587
53	4.60	0,66276	1,354	81	5.00	0,69897	0,786
54	4.10	0,61278	1,166	82	4.90	0,69020	1,097
55	5.00	0,69897	0,847	83	4.45	0,64836	1,391
56	4.90	0,69020	0,974	84	4.50	0,65321	1,441
57	4.90	0,69020	0,939	85	4.20	0,62325	2,027
58	4.60	0,66276	1,185	86	4.30	0,63347	1,406
59	4.25	0,62839	1,610	87	4.40	0,64345	1,577
60	5.25	0,62839	1,490	88	4.35	0,63849	2,077
61	4.95	0,69461	0,960	89	4.90	0,69020	1,007
62	4.50	0,65321	1,354	90	7.50	0,87506	0,124
63	4.75	0,67669	1,063	91	6.85	0,83569	0,194
64	5.05	0,70329	0,568	92	6.90	0,83885	0,179
65	3.85	0,58546	2,571	93	7.20	0,85733	0,169
66	3.70	0,56820	3,737	94	7.40	0,86923	0,102
67	4.95	0,69461	0,894	95	5.40	0,73239	0,698
68	4.35	0,63849	1,111	96	5.55	0,74429	0,623
69	4.30	0,63347	1,191	97	5.80	0,76343	0,419
70	4.40	0,64345	1,116	98	5.85	0,76716	0,414
71	3.75	0,57403	2,762	301	5.00	0,69897	1,008
72	5.05	0,70329	0,833	302	4.90	0,69020	0,859
73	5.00	0,69897	0,777	303	5.75	0,75967	0,441
74	4.60	0,66276	1,296	304	4.10	0,61278	2,281
75	4.50	0,65321	1,627	305	4.00	0,60206	2,479
76	4.30	0,63347	1,880	306	4.90	0,69020	0,916
77	5.70	0,75587	0,501	307	5.40	0,73239	0,653

Calculos de la correlación :

$$\sum \log x = 74,26054 ; \sum (\log x)^2 = 52,618461 ; (\sum \log x)^2 = 5.514,62$$

$$\sum y = 201,014068 ; \sum y^2 = 120,314 ; (\sum y)^2 = 14.475,458596$$

$$\sum x \cdot y = 78,60634520 ; \sum x \cdot \sum y = 8.934,58260956.$$

$$\log \bar{x} = 0,70057 ; \bar{y} = 1,135 ; N = 106.$$

$$a/ \sum (\log x)^2 - \frac{(\sum \log x)^2}{N} = \underline{0,593728}.$$

$$b/ \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{N} = \underline{64,453138}.$$

$$c/ \sum \log x \cdot y - \frac{\sum \log x \cdot \sum y}{N} = \underline{-5,6825063}.$$

$$\text{Coeficiente de correlación : } \frac{-5,6825063}{\sqrt{0,593728 \cdot 64,45318}} = \underline{\underline{-0,9186}}$$

$$\text{Constante : } 1,135 - \left( \frac{-5,6825063}{0,593728} \right) \cdot 0,70057 = \underline{7,840}$$

$$\underline{y = 7,840 - 9,571 \log x.}$$

Por tanto, la correlación entre la razón  $\frac{\% \text{ AIP} + \text{FeP}}{\text{CaP}}$  y el pH es de -0,918 con la relación  $y = 7,8 - 9,5 \log x$ .

Es decir que no existe el paso correspondiente de CaP a la fracción AIP + FeP libre, entre el pH 7.70 - 5.00.

En efecto, cuando se muestra una disminución

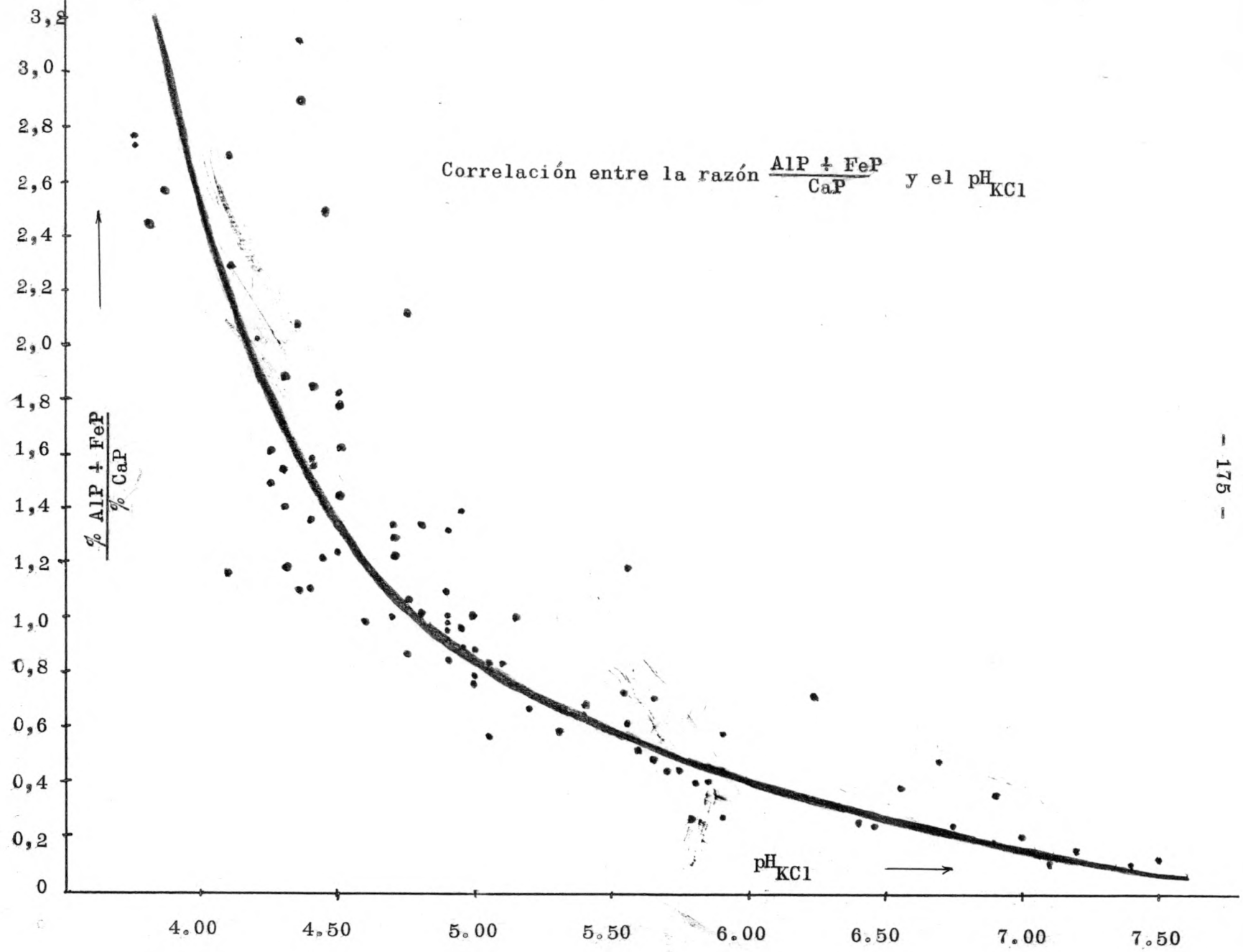
en la cantidad de CaP, sobre todo entre el pH 5.00 y 6.00, no se ha producido un aumento relativo de las formas AlP + FeP.

A partir del pH 5.00 hasta 3.40, se produce un aumento claro de la razón, que nos indica un cambio en la repartición de las formas AlP + FeP y CaP.

Este fenómeno se explica sólomente por un proceso en que las raíces y el lavado han eliminado una cierta cantidad de CaP, en lugar de un transformación total en las formas AlP + FeP. Es decir que el lavado en un substrato rico en calcio produce un paso de las formas CaP en la solución libre del suelo. Una parte de esta fracción de fósforo libre llega a ser adsorbida por los raíces y una parte se transforme en las formas libres ligado a los sesquióxidos. Por lo tanto, la disminución del CaP no produce un aumento relativo de las formas ligados a los sesquióxidos. Este fenómeno se produce, como se observan en la figura entre el pH 7.70 y 5.00.

A partir del pH 5.00 se produce de nuevo un cambio en el equilibrio AlP + FeP/CaP en el sentido que se observa un aumento muy pronunciado de las formas FeP + AlP. Este fenómeno tiene ser atribuido de nuevo a la influencia de las raíces que adsorben más intensamente el CaP por la secreción de ácidos de los raíces.

.....



C A P I T U L O . 8.

---

DISCUSION GENERAL DE LA CATENA SOBRE GRANITO.

La catena consiste en 12 perfiles y puede ser considerado tanto como una toposecuencia, como una hidrosecuencia, incluso una biosecuencia. El fenómeno de la toposecuencia y de la hidrosecuencia puede ser tratado conjuntamente, porque la precipitación atmosférica varía con la altura.

Hemos elegido los 12 perfiles con el fin de construir una gamma completa a partir de un suelo poco evolucionado hasta un suelo degradado, de tipo podsol.

Aunque los valores de la precipitación atmosférica no son muy grandes y aunque esta precipitación no está distribuida regularmente en relación con el tiempo, la lixiviación se ha producida con bastante rapidez, porque se trata de texturas arenosas. Por otro lado, la deficiencia de agua durante muchos meses ha permitido encontrar todos los tipos intermedios de suelos.

En efecto, las fases intermedias en suelos arenosos tienen una existencia breve y la degeneración se produce muy rápidamente, cuando la precipitación atmosférica se muestra alta (De Leenheer 1962).

El cuadro siguiente, nos da la nomenclatura de los perfiles estudiados.

PERFIL	TIPO SEGUN MUCKEN- HAUSEN 1954	TIPO SEGUN DU- CHAUFOR 1956	VERSION ESPAÑOLA
25	Ranker	Ranker	Ranker
23	Pararenzina	Pararendzine	Pararendzina
1	Kalkhaftige Braunerde	Sol brun calcaire	Suelo pardo calizo
3	Braunerde	Sol brun acide	Suelo pardo ácido
13	Braunerde	Sol brun acide	Suelo pardo ácido
9	Braunerde	Sol brun acide	Suelo pardo ácido
17	Braunerde	Sol brun acide	Suelo pardo ácido
11	Parabraunerde	Sol brun lessivé	Suelo pardo lessivé o lixiviado
7	Parabraunerde	Sol brun lessivé	Suelo pardo lessivé o lixiviado
8	Parabraunerde	Sol lessivé	Suelo lessivé o lixiviado
12	Braunerde podsol	Sol podsolique	Suelo podzoli- co
6	Podsol	Podsol humo- ferrique	Podzol humo- ferrico.

A. Estudio de los procesos durante el ciclo de la evolución.

Como hemos dicho durante la discusión, el perfil 25 corresponde a un suelo poco diferenciado. La decalcificación muy intensa no ha provocado la existencia de horizontes diferentes, sobre todo, porque ha sido impedido por la erosión superficial y también por el movimiento lateral de materia encima de la roca impermeable. Este perfil A-C está por lo tanto caracterizado por la ausencia de una acumulación de arcilla y una descomposición lenta de la materia orgánica.

La pararendzina (perfil 23) consiste también en un perfil A-C en el que la existencia de una reserva de calcio es esencial. Además tiene un "mull au chaux", mull calcico típico, una actividad biológica baja y un valor para el razón C/N de 5,9.

La fase intermedia entre la pararendzina y el suelo pardo ácido consiste en el suelo pardo calizo (perfil 1). En él se ha producido una decalcificación ligera y una neoformación pequeña de arcilla y una escasa "brunificación". La materia orgánica continúa el 100 % saturada de  $\text{Ca}^{++}$ . También hay una "mull au chaux", con mineralización lenta y un valor más alto de la razón C/N 13,6, con respecto al perfil precedente.

Los perfiles 3, 13, 9 y 17 son del tipo suelo pardo ácido. La precipitación atmosférica ha lavado la reserva de  $\text{CaCO}_3$  por una parte y las raíces por otra también han eliminado el  $\text{CaCO}_3$ . Los minerales primarios han formado los coloides  $\text{SiO}_2\text{-aq.}$  y  $\text{R}_2\text{O}_3\text{-aq.}$  por procesos de hidratación y de hidrogenación. Estos coloides pueden formar minerales neogénos

por la influencia de los cationes bivalentes ( $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ ) dentro de un pH alcalino o proximo a la neutralidad. También se encuentra  $\text{SiO}_2$  libre y  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hidratado.

Según Pallman (1943) y Kubiena (1953) los coloides se distribuyen en forma de una dispersión fina y homogénea y se flocculan. El  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  dispersado forma entonces una película muy fina encima de los agregados de modo que el horizonte tiene un color pardo. Este proceso de "brunificación" o formación de un suelo pardo se forma también en un medio ácido, con la neoformación de otras minerales de la arcilla (kaolinita) y la destrucción de los silicatos originales (Mc Caleb 1954).

Según Duchaufour (1957) el "mull au chaux" se transforma en "mull de forêt". Este fenómeno va unido a una formación de ácidos humínicos pardos en vez de una formación de ácidos humínicos grises. Estos ácidos pardos se mineralizan más rápidamente de modo que el contenido en materia orgánica disminuye con bastante rapidez con la profundidad.

El suelo pardo ácido se forma en general bajo vegetaciones arbóreas y nuestras observaciones lo confirman, como vemos por los perfiles 3, 9 y 17. Sin duda, esta regla no excluye la formación de un suelo pardo dentro de una vegetación de Pinar. La existencia de un "mull de forêt" se confirma para los valores de C/N ,12,7/11,1/13,3 y 14,56, en los distintos horizontes  $A_1$ . Duchaufour (1957) ha puesto de manifiesto el criterio de un suelo pardo ácido para un valor de C/N entre 10 y 15.

También la proporción de la arcilla en los horizontes A y B puede ser útil para la caracterización de un suelo pardo ácido y un suelo pardo lixiviado. Aubert y Duchaufour han determinado un valor de la razón  $\frac{\text{arcilla B}}{\text{arcilla A}}$

inferior al 1,5 para el suelo pardo ácido, mientras un valor de 1,5-2 se atribuye al suelo pardo lixiviado. Nuestro análisis confirma este criterio para los cuatro perfiles de suelo pardo ácido, con valores por debajo de 1,5. Pero, según la séptima aproximación, el criterio se ha desplazado hasta el valor de 1,2, para el caso de un suelo pardo ácido. Este criterio no se conforma con nuestros valores, que oscilan entre 1,4 y 1,5 y tenemos la convicción de que se trata de perfiles del tipo suelo pardo ácido de acuerdo más con la teoría francesa. También los valores del fósforo confirman el tipo de suelo en el capítulo siguiente.

El suelo pardo lixiviado experimenta sobre todo una decalcificación intensa, dependiente de un clima húmedo. Los perfiles 11 y 7 corresponden a este tipo de suelo. Los valores de lixiviación según Aubert y Duchaufour son de 1,7 y de 1,9, es decir dentro del criterio de 1,5-2.

Los coloides y los complejos de la arcilla son sometidos a una emigración creciente. Esta emigración se puede realizar de diferentes maneras:

a/Demolon (1952) supone una lixiviación mecánica de los soles de la arcilla y de la  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  por el agua percolante.

b/Durante la destrucción de la materia orgánica, los productos intermedios que se producen, pueden formar enlaces con la arcilla y el  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , según Bloomfield (1956). Estos conjuntos percolan entonces con el agua desde el horizonte A hasta el horizonte B.

c/Nuevos conjuntos de arcilla neogena se pueden formar en el horizonte B entre los productos de erosión del horizonte A y los productos propios del B, según Frei y Cline (1949)

d/La más reciente clasificación Norte-Americana (1960) ha puesto de manifiesto que el enriquecimiento ocurre, sobre todo, para las fracciones 0-0,2 $\mu$  de la arcilla.

Frei y Cline (1949) y después Altemüller (1957) en sus estudios micromorfológicos han confirmado la existencia de la arcilla en forma de películas finas que impregnan los agregados. Estas películas finas o "coatings" consisten en complejos de la arcilla,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hidratado y geles de  $\text{SiO}_2$  hidratadas. El color pardo típico puede ser atribuido, según Kubierna (1938) al  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  hidratado, mientras que el aspecto brillante se puede atribuir a los coloides de  $\text{SiO}_2$ .

El proceso de la lixiviación consiste entonces en una disminución del horizonte  $A_1$  y la formación de un horizonte  $A_2$  lixiviado. En el B textural de perfiles arenosos se observa más difícilmente los "coatings" porque esta película cubre los partículas de arena y rellena los poros finos intergranulares.

El suelo lixiviado (perfil 8) se caracteriza para una lixiviación más intensa, sobre todo en el horizonte  $A_2$ . El valor de C/N de 25,1 indica el tipo de "moder" mientras que el coeficiente de la lixiviación es de 2,5 y coincide con el criterio de Aubert y Duchaufour.

El suelo lixiviado consiste en un aumento de la lixiviación con respecto al tipo precedente, el suelo pardo lixiviado. Es también el primero y más importante "estadio" para la formación del suelo lixiviado podsólico si aumentará la acidez.

Según Cline (1949) se produce una transformación en una vegetación con pocos elementos básicos.

Las proporciones  $\frac{\text{CaO}}{\text{SiO}_2}$  y  $\frac{\text{celulosa}}{\text{lignina}}$  disminuyen (Rübner 1934)

y la transformación de la materia orgánica se produce más lentamente.

Entonces la mineralización y también la formación de un complejo entre la arcilla y la materia orgánica no se produce y resulta una acumulación de materia orgánica mal decompuesta sobre la superficie del perfil. En efecto, el perfil tiene el valor más alto de materia orgánica 9,91 % (o 15,29 % en la fracción < 1 mm) con respecto a los perfiles precedentes.

El suelo lixiviado podsolico (perfil 12) confirma estos fenómenos con más claridad. El valor de la materia orgánica en el  $A_1$  es más alto que en el caso del suelo lixiviado, siendo de 18,49 % (o 29,16 % en la fracción < 1 mm) confirmando así la mineralización lenta. También se ha formado el tipo "mor" con un valor C/N de 27,8.

El coeficiente de lixiviación es de 6,2, confirmando la teoría de Aubert y Duchaufour.

Lo más interesante consiste en el horizonte  $A_2$ . Este horizonte es totalmente pálido y con estructura menos compacta. Los coloides de la arcilla se hidrolizan y descomponen en sus componentes  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  y  $\text{SiO}_2$  libre, según Duchaufour, Michaud y Millet (1950). Así desaparecen los "coatings" de la arcilla. El hierro se reduce y se deposita como "coatings de herrumbre".

El fenómeno de la podsolización se ha producido en el perfil 6. Se encuentra una mayor pobreza desde el punto de vista químico. La materia orgánica en la parte superior consiste también en el tipo "mor" y tiene el valor más alto de toda la catena : 23,55 % (o 33,45 %

en la fracción < 1 mm). La mineralización se muestra muy lenta, mientras que el "mor" adsorbe los cationes  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{++}$ .

Los componentes de la materia orgánica bruta rompen los complejos de la arcilla y liberan el hierro de nuevo. Esta decomposición puede llegar hasta el horizonte  $B_{1,2}$  y destruye allí la estructura poliedrica. La decomposición más intensa y desde luego la mayor emigración se producen en la capa superior del perfil, donde se localiza la influencia del "mor". Entonces, el contenido en hierro libre aumenta de nuevo en los horizontes superiores y sigue una emigración a fin de formar un horizonte  $B_{ir}$ , el horizonte de diagnóstico de un "Brown podzolic" a causa de una reoxidación del hierro. La emigración del hierro libre va unido a componentes de la materia orgánica con pocas moléculas.

El proceso de la podzolización típica consiste, por fin, en una emigración de ácidos del humus para formar un horizonte típico de  $B_h$ . Este horizonte tiene un aspecto negro, constituido por una película amorfa de ácidos del humus y aluminio. El contenido en materia orgánica en el horizonte  $B_h$  del perfil 6 es de un valor de 4,34 % (o de 9,84 % en la fracción < 1 mm).

Algunos autores han puesto de manifiesto la existencia de la materia orgánica en el horizonte  $B_h$  bajo dos formas: a/ una película fina de coloides que cubre las partículas y que puede ser considerada como "mor quimógeno" a causa de su inactividad biológica absoluta. (Hartmann 1952).

b/ Partículas finas y redondeadas (2-50 $\mu$ ) con aspecto "mullartiger moder" que rellenan los espacios entre las partículas arenosas.

Las raíces se acumulan en este horizonte, porque el  $B_{ir}$  es muy compacto.

B. Estudio de la emigración de diferentes formas de fósforo en los suelos formados sobre granito.

En primer lugar, tenemos que considerar la muestra completa del suelo, durante el estudio de la emigración de las diferentes formas de fósforo.

En efecto, de antemano hemos dividido la muestra del suelo en dos fracciones, por una parte la fracción menor de 1 mm, y por otra la mayor de 1 mm. Los análisis se han efectuado sobre las dos fracciones distintas.

La relación desde el punto de vista químico, se ha desarrollado extensamente en el capítulo 7, donde se ha calculado la correlación positiva en la fracción menor de 1 mm entre el pH, la materia orgánica y las formas orgánicas y inorgánicas de fósforo.

Hemos calculado anteriormente los valores absolutos por unidad de peso, y ahora habrá que transformarlos, teniendo en cuenta la proporción  $\frac{\text{fracción} < 1 \text{ mm}}{\text{fracción} > 1 \text{ mm}}$ .

La muestra 301 por ejemplo, tiene un valor de fósforo de 67 ppm  $P_2O_5$  en la fracción  $< 1$  mm, mientras que la de la fracción  $> 1$  mm tiene 37 ppm  $P_2O_5$ . Como la fracción de  $> 1$  mm entra en la proporción de un 73,1 % en la composición total de la muestra total de la muestra.

Se comprende claramente que la cantidad de fósforo total disminuye a un valor de 40,5 ppm. De la misma forma, se calcula un valor de 14,9 ppm para la fracción  $> 1$  mm. El fósforo total por unidad de peso de muestra es por tanto 55,4 ppm.

De la misma forma, todos los valores de fósforo se reducen a sus valores originales, lo cual permite formarse una idea representativa de la emigración real, que no impide considerar en ciertos casos los valores absolutos, para poder caracterizar los perfiles.

C. Valores del fósforo total en la catena sobre granito.

a = % de la fracción de suelo.

b = ppm  $P_{25}O_5$ .

c = ppm  $P_{25}O_5$ , teniendo en cuenta la proporción de la fracción

d = % del valor c, con respecto al valor total de ppm  $P_{25}O_5$ .

e = ppm  $P_{25}O_5$  de la muestra.

	Fracción < 1 mm				Fracción > 1 mm				e
	a	b	c	d	a	b	c	d	
Perfil A <sub>25</sub> 1,1 1,2 1,3	60,4	67,0	40,5	73,1	39,6	37,5	14,9	26,9	55,4
	62,1	58,5	36,3	68,6	37,9	43,7	16,6	31,4	52,9
	26,4	27,0	7,1	35,5	73,6	17,5	12,9	64,5	20,0
Perfil A <sub>23</sub> A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> A <sub>1</sub> -C <sub>1</sub> C <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	50,4	188,2	94,9	50,8	49,6	185,1	91,8	49,2	186,7
	49,3	267,7	131,9	58,1	50,7	197,5	95,1	41,9	227,0
	28,8	276,2	79,5	27,3	71,2	297,3	211,5	72,7	291,0
	30,3	254,5	77,1	27,1	69,7	297,9	207,0	72,9	284,1
	24,1	329,5	26,5	26,5	75,9	290,1	220,1	73,5	299,5
Perfil A <sub>1</sub> A <sub>0</sub> A <sub>1</sub> (B) C	54,2	250,1	135,5	57,7	45,8	216,9	99,4	42,3	234,9
	58,8	241,0	141,7	64,1	41,2	192,2	79,2	35,9	220,9
	49,2	232,2	114,2	47,8	50,8	245,8	124,9	52,2	239,1
	51,2	245,5	125,7	46,0	48,8	302,4	147,6	64,0	273,3

	Fracción < 1 mm				Fracción > 1 mm				
	a	b	c	d	a	b	c	d	e
Perfil A <sub>0</sub> 3	66,5	178,1	118,3	68,1	33,5	165,1	55,3	39,1	173,6
A <sub>1</sub>	61,6	180,3	110,9	63,6	38,4	165,3	63,4	36,4	174,3
B <sub>1,1</sub>	53,2	155,8	82,9	51,4	46,8	167,5	78,4	48,6	161,3
B <sub>1,2</sub>	49,6	158,0	78,3	48,1	50,4	167,5	84,4	51,9	162,7
C	23,6	197,9	46,5	26,6	76,4	168,6	128,4	73,4	174,9
Perfil A <sub>0</sub> 13	44,8	153,2	68,6	67,7	55,2	59,2	32,7	32,3	101,3
A <sub>1</sub>	48,2	170,6	82,2	66,0	51,8	81,9	42,4	34,0	124,6
B <sub>1,1</sub>	46,8	153,1	71,7	62,7	53,2	80,3	42,7	37,3	114,4
B <sub>1,2</sub>	44,9	177,5	79,7	64,4	55,1	80,1	44,1	35,6	123,8
BC	43,2	170,7	73,7	56,1	56,8	101,4	57,7	43,9	131,4
C	38,4	104,9	40,3	49,1	61,6	67,7	41,8	50,9	82,1
Perfil A <sub>0</sub> 9	51,9	109,1	56,6	71,3	48,1	47,5	22,8	28,7	79,4
A <sub>1</sub>	53,5	87,2	46,6	70,2	46,5	42,5	19,8	29,8	66,4
B	41,7	85,5	35,7	61,1	58,3	39,6	22,7	38,9	58,4
C <sub>1</sub>	34,8	42,1	14,6	55,7	65,2	17,7	11,6	44,3	26,2
C <sub>2</sub>	44,0	90,2	39,6	64,5	56,0	39,7	21,8	35,5	61,4
C <sub>3</sub>	38,8	73,5	28,5	52,3	61,2	42,5	26,0	47,7	54,5
Perfil A <sub>1,1</sub> 17	48,6	73,6	35,2	76,0	51,4	21,5	11,1	24,0	46,3
A <sub>1,2</sub>	49,2	43,8	21,5	70,7	50,8	17,4	8,9	29,3	30,4
B <sub>1,1</sub>	46,7	50,0	23,4	63,8	53,3	25,9	13,3	36,2	36,7
B <sub>1,2</sub>	51,3	41,2	21,2	77,7	48,7	12,6	6,1	22,3	27,3
BC	45,6	37,5	17,1	71,5	54,4	12,3	6,8	28,5	23,9

	- 188 - Fracción < 1mm				Fracción > 1 mm					
	a	b	c	d	a	b	c	d	e	
Perfil A <sub>1</sub> 11	47,9	56,2	26,9	47,4	52,1	57,4	29,9	52,6	56,8	
	A <sub>2</sub>	51,5	102,5	52,8	60,7	48,5	70,6	34,2	39,3	87,0
	B	54,7	105,6	57,8	69,1	45,3	56,9	25,8	30,9	83,6
	C	39,1	68,2	26,7	46,5	60,9	50,4	30,7	53,5	57,4
Perfil A <sub>1</sub> 7	64,3	129,7	83,4	74,0	35,7	81,9	29,3	26,0	112,7	
	A <sub>2</sub>	30,1	117,1	35,6	42,1	69,9	69,2	48,4	57,9	83,6
	B	37,9	135,7	51,6	59,1	62,1	57,4	35,6	40,9	87,2
	C	48,0	58,5	28,1	46,6	52,0	61,7	32,1	55,4	60,2
Perfil A <sub>0</sub> 8	64,8	99,5	64,5	80,5	35,2	44,8	15,6	19,5	80,1	
	A <sub>1</sub>	52,3	82,5	43,1	63,5	47,7	51,9	24,8	36,5	67,9
	A <sub>2</sub>	44,1	88,1	38,8	54,9	55,9	57,2	31,8	45,1	70,6
	B <sub>1</sub>	54,4	72,5	39,4	62,6	45,6	51,4	23,5	37,4	62,9
	B <sub>2</sub>	50,7	25,7	13,0	46,8	49,3	30,3	14,8	53,2	27,8
	C	52,4	14,7	7,7	48,1	47,6	17,6	8,3	51,9	16,0
Perfil A <sub>1</sub> 12	63,4	145,7	92,4	91,1	36,6	24,6	9,0	8,9	101,4	
	A <sub>2</sub>	39,3	46,7	18,4	52,1	60,7	27,9	16,9	47,9	35,3
	B	61,3	19,2	11,8	80,3	38,7	7,8	2,9	19,7	14,7
	C	55,2	24,6	13,6	76,8	44,8	9,1	4,1	23,2	17,7
Perfil A <sub>1,1</sub> 6	70,4	135,5	95,4	83,9	29,6	61,8	18,3	16,1	113,7	
	A <sub>1,2</sub>	71,8	60,7	43,6	74,8	28,2	52,2	14,7	25,2	58,3
	A <sub>2</sub>	45,0	50,1	22,5	40,1	55,0	61,0	33,6	59,9	56,1
	B <sub>h</sub>	44,2	109,0	48,2	54,8	55,8	71,2	39,7	45,2	87,9
	B <sub>ir</sub>	46,7	102,5	47,9	59,4	53,3	61,3	32,7	40,6	80,6
	C	41,3	75,0	31,0	47,8	58,7	57,6	33,8	52,2	64,8

D. La distribución del fósforo total.

D.1. Los valores absolutos.  
.....

D.1.a. En el estudio anterior hemos caracterizado el perfil 25 como un Ranker. Los valores absolutos del fósforo total en las dos fracciones disminuyen gradualmente con la profundidad. La precipitación anual de 400 mm y sobre todo la erosión superficial són los responsables de la no diferenciación de horizontes. La pendiente y la presencia de una roca impermeable, han desplazado el fósforo hacia zonas más bajas.

Este fenómeno viene demostrado por el valor relativamente bajo del fósforo en las dos fracciones. Los valores más bajos de fósforo se encuentran en la capa justamente encima de la roca, lo que confirma el desplazamiento más pronunciado en esta capa.

D.1.b. Los perfiles 23,1 y 3 són perfiles jóvenes y ricos en fósforo, su contenido varía entre 329 y 155 ppm  $P_2O_5$ . La distribución del fósforo total confirma que se encuentran en un estado progresivo de evolución. Los valores del fósforo de las dos fracciones no difieren casi entre sí, lo cual prueba la reserva bastante grande del suelo en fósforo. La igualdad de los valores de fósforo a diferentes profundidades confirma la ausencia de diferenciación clara de horizontes en los suelos estudiados. Como hemos dicho en la discusión, el perfil 3 oscila entre el suelo pardo calizo y el suelo pardo ácido. Los valores del fósforo total confirman más el tipo suelo pardo calizo, en oposición con otros valores químicos. De todas maneras, se puede considerar el perfil 3 como el primero estado de un suelo pardo ácido con respecto a los perfiles 13,9 y 17.

D.1.c. Los perfiles 13,9 y 17 pertenecen al mismo tipo de suelo pardo ácido.

La evolución es tal, que los horizontes se distinguen, lo que no era el caso de los perfiles precedentes. Esta evolución se refleja en los valores del fósforo total. En efecto, los valores han descendido sobre todo en la fracción  $> 1 \text{ mm}$  sea, la reserva en fósforo ha disminuido considerablemente. Desde el punto de vista de valores absolutos, la relación entre las dos fracciones se hace mayor, existiendo una diferencia a veces del 50 % en favor del fósforo de la fracción  $< 1 \text{ mm}$ . La elevada precipitación ha disgregado las partículas de la fracción  $> 1 \text{ mm}$ , liberando entre otros el fósforo y dejando las partículas insolubles de sílice.

Con respecto a la fracción  $< 1 \text{ mm}$  en ella se encuentran los valores más elevados de fósforo en los horizontes superiores, lo cual confirma la ausencia de una emigración fuerte.

D.1.d. El lavado ha sido mucho más pronunciado en los perfiles 11 y 7, dando como consecuencia la formación de un horizonte B típico, confirmando lo que ha pasado anteriormente. La muestra 47 por ejemplo, que es un horizonte B, tiene un porcentaje de 75 de fósforo en la fracción  $< 1 \text{ mm}$ . Al mismo tiempo, la muestra 32 tiene un porcentaje de 70.

Con respecto a la distribución del fósforo de la fracción  $< 1 \text{ mm}$ , se observa sobre todo una acumulación en el horizonte B y una disminución relativa en las capas superiores. Lo que demuestra claramente una emigración real del fósforo.

D.1.e. El perfil 8 está en un estado de transformación más avanzado, El porcentaje de fósforo en la fracción  $< 1 \text{ mm}$  disminuye constantemente :  $99,5/44,8 = \underline{69,2}$  ;  $82,5/51,9 = \underline{61,2}$  ;  $88,1/57,2 = \underline{60,7}$  ;  $72,5/51,4 = \underline{58,5}$  ;  $25,7/30,3 = 45,4$  y  $14,7/17,6 = \underline{45,2}$ .

En la citada fracción < 1 mm el valor del fósforo se mantiene casi constante en los horizontes A y B, son valores del orden de 85 ppm, pero en el horizonte C desciende sensiblemente pues los valores que aparecen son de 25-17 ppm. Esta igualdad en los valores de fósforo, que se produce de nuevo, se debe atribuir a un aumento del fósforo orgánico en los horizontes superiores, lo que demuestra la acumulación del fósforo en los horizontes superiores como consecuencia de la vegetación.

El movimiento del fósforo será por tanto la consecuencia de una sumación de factores: la vegetación, la disgregación y el lavado. Si domina el efecto de la vegetación se acumulará el fósforo en los horizontes superiores. Se dominan los otros efectos se acumulará el fósforo en profundidad y en las partículas menores de 1mm.

D.1.f. El proceso de podsolización ha comenzado en el perfil 12. Solamente el horizonte A<sub>1</sub> contiene cantidades bastante grandes de fósforo en la fracción < 1 mm. La capa de acumulación y de lixiviación contienen solamente un valor mínimo. La razón debe radicar en el dominio del efecto de la vegetación.

D.1.g. El perfil 6 es un verdadero suelo podsólico. Los valores que de nuevo son relativamente altos, se debe atribuir también al efecto de la vegetación. La emigración de la materia orgánica es un hecho que se refleja en el horizonte B donde se obtienen resultados de valores casi el doble de los obtenidos en los horizontes A<sub>1,2</sub> y A<sub>2</sub>.

Conclusiones: 1/Fracción > 1 mm.  
.....

a/Los valores absolutos del fósforo són cifras altas, de suelos poco desarrollados.

b/Cuando la evolución del suelo corresponde a un estado en que ha empezado ya el lavado, los valores de fósforo se mantienen muy bajos.

2/Fracción < 1 mm.  
.....

a/Los suelos poco transformados poseen valores iguales de fósforo en todos los horizontes.

b/La formación del horizonte B se refleja poco en la distribución del fósforo. Los valores más altos se encuentran sobre todo en la capa superior.

c/Desde el momento en que se produce intensamente el lavado, se hace más grande la diferencia entre los horizontes A y B de una parte y el horizonte C, debido a la influencia de la materia orgánica de las capas superiores.

d/El proceso de podsolización se refleja perfectamente en los valores del fósforo. En los horizontes de enriquecimiento, el B<sub>h</sub> y el B<sub>ir</sub>, se encuentra un aumento de los valores en relación con los de la capa lavada A<sub>2</sub>

.....

D.2. Los valores reales. (el contenido de fósforo en las fracciones > y < de 1 mm, teniendo en cuenta la proporción de estas dos fracciones.)

D.2.a. Se observa tanto en el Ranker, como en el pararenzina, el suelo pardo ácido (perfil 3) que, con la profundidad, se produce una disminución constante del valor del fósforo en la fracción < 1 mm. Nuestros valores alcanzan como máximo el 68 % y como mínimo el 26 %. Esto confirma perfectamente la teoría del grado mínimo de erosión de los perfiles 25, 23, 1 y también 3.

Solamente en los horizontes A, el fósforo se ha puesto en libertad en cantidades grandes a expensas del fósforo de las partículas de la roca.

Por otra parte, los horizontes Ac y C contienen poca fracción fina, porque la erosión del agua de percolación no es suficiente para disgregar la fracción > 1 mm y liberar el fósforo en favor de la fracción < 1 mm.

D.2.b. En el suelo pardo ácido, la situación ha cambiado en el sentido de que el valor del fósforo en la fracción < 1 mm se ha hecho casi constante en todos los horizontes, y puesto que el porcentaje de las partículas de la fracción < 1 mm disminuye con la profundidad -aunque menos intensamente- podemos deducir, apoyándose en los valores constantes de fósforo, que se ha producido una emigración del fósforo hacia los horizontes B y C. Este fenómeno prueba una vez más, la correlación positiva entre el estado de evolución de una parte y la conducta del fósforo, de otra.

D.2.c. El suelo pardo lixiviado, el suelo lixiviado y el suelo podsólico están en la catena sobre granito como los suelos más evolucionados. Estos suelos son típicos por su emi-

gración de arcilla, de hierro y de materia orgánica, produciendo una clara separación entre las capas lavadas y las capas de enriquecimiento. El fósforo real en la fracción < 1 mm sigue perfectamente este ciclo, apareciendo valores más bajos en A<sub>2</sub> y produciéndose de nuevo un aumento muy pronunciado en los horizontes B. El perfil 6 por ejemplo, tiene valores muy típicos.:

A<sub>1,1</sub>:83,9 ; A<sub>1,2</sub>:74,8 ; A<sub>2</sub>:40,1 ; B<sub>h</sub>:54,8 ; B<sub>ir</sub>:59,4 ; C:47,8.

Conclusiones:  
.....

1/Los suelos poco evolucionados, muestran una disminución gradual del fósforo en la fracción < 1 mm, con la profundidad.

2/Los suelos en los que ha comenzado la emigración de la arcilla, tienen una distribución casi uniforme de fósforo.

3/Los suelos lavados confirman el fenómeno de un empobrecimiento en el horizonte A<sub>2</sub> y de un enriquecimiento en los horizontes B.

.....

Después de este estudio de comportamiento del fósforo total, hace falta encontrar los responsables de esta emigración típica.

Estudiaremos sucesivamente el CaP, el FeP, el AlP, el Fe.2. y AlP.2. y el P.0. y de nuevo tendremos en cuenta, por una parte los valores por unidad de peso y por otra los valores reales.

E. La composición de las formas de fósforo en la fracción < 1 mm.

Porcentajes de la composición total de cada muestra.

		P. O.	AlP.	FeP.	CaP.	FeP. 2.	AlP. 2.
<u>Perfil 25</u>	A <sub>1,1</sub>	20,3	5,9	7,1	13,4	13,3	11,1
	A <sub>1,2</sub>	17,6	4,1	7,3	13,3	13,1	10,3
	A <sub>1,3</sub>	10,8	0,8	2,8	8,0	4,1	7,5
<u>Perfil 23</u>	A <sub>0</sub>	10,7	3,3	-	26,8	5,3	6,7
	A <sub>1</sub>	2,7	4,6	1,4	30,9	8,9	9,3
	A <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	0,9	1,4	1,2	14,5	2,2	7,0
	C <sub>1</sub>	0,7	0,7	1,6	13,6	2,0	8,5
	C <sub>2</sub>	0,2	0,8	0,6	14,0	1,1	9,4
<u>Perfil 1</u>	A <sub>0</sub>	15,0	2,7	4,0	27,2	7,4	0,8
	A <sub>1</sub>	16,3	5,9	1,6	27,9	11,4	0,3
	(B)	6,3	5,9	4,8	21,3	8,9	0,7
	C <sub>1</sub>	5,8	3,8	4,7	21,6	9,8	0,8
<u>Perfil 3</u>	A <sub>0</sub>	21,7	3,9	2,0	21,3	9,3	9,7
	A <sub>1</sub>	18,6	4,9	1,4	21,9	8,6	8,0
	B <sub>1</sub>	11,0	3,4	11,6	12,6	8,1	4,0
	B <sub>2</sub>	5,6	3,0	13,6	12,5	10,1	2,9
	C	-	1,5	4,6	10,6	6,8	2,5

		P. O.	AlP.	FeP.	CaP.	FeP. 2.	AlP. 2.
<u>Perfil</u> <u>13</u>	A <sub>0</sub>	38,5	6,7	3,5	6,6	11,2	1,0
	A <sub>1</sub>	19,3	8,5	9,0	10,9	16,9	2,3
	B <sub>1</sub>	20,8	5,3	10,6	11,7	12,8	0,7
	B <sub>2</sub>	23,3	5,6	8,4	12,0	9,9	4,7
	B <sub>2</sub> <sup>C</sup>	9,4	2,9	10,1	15,4	10,4	7,4
	C	2,4	2,4	11,9	14,7	10,2	8,7
<u>Perfil</u> <u>9</u>	A <sub>0</sub>	40,2	3,8	7,1	8,7	8,4	2,8
	A <sub>1</sub>	39,3	2,4	3,8	9,1	7,1	6,3
	B	29,1	1,9	8,5	7,7	7,3	5,3
	C <sub>1</sub>	27,2	1,5	7,3	7,2	5,1	5,9
	C <sub>2</sub>	11,0	1,9	13,8	15,5	10,6	10,2
	C <sub>3</sub>	7,8	1,4	10,2	12,1	10,3	8,9
<u>Perfil</u> <u>17</u>	A <sub>1,1</sub>	36,7	8,3	2,6	12,3	12,5	3,6
	A <sub>1,2</sub>	41,6	4,1	3,9	7,2	9,9	1,6
	B <sub>1</sub>	26,9	3,6	6,8	7,6	10,8	4,7
	B <sub>2</sub>	14,1	3,7	14,2	16,1	18,7	9,7
	B <sub>2</sub> <sup>C</sup>	10,9	4,6	25,0	10,7	11,2	12,2
<u>Perfil</u> <u>11</u>	A <sub>1</sub>	28,4	3,4	1,9	5,0	5,1	2,1
	A <sub>2</sub>	12,6	6,2	9,6	15,3	11,7	6,6
	B	18,4	5,0	9,7	16,7	12,2	6,7
	C	17,4	1,6	4,7	7,2	8,1	6,1

		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	AlP.	FeP.	CaP.	FeP <sub>2</sub>	AlP <sub>2</sub>
<u>Perfil</u> <u>7</u>	A <sub>1</sub>	44,2	5,6	5,7	7,2	4,8	6,4
	A <sub>2</sub>	13,9	3,9	4,9	7,3	5,8	5,8
	B	7,8	5,7	12,1	9,6	16,1	6,3
	C	16,0	1,9	6,1	8,4	9,9	4,6
<u>Perfil</u> <u>8</u>	A <sub>0</sub>	61,1	4,8	6,4	4,1	4,8	1,7
	A <sub>1</sub>	47,8	3,9	6,7	3,3	1,0	1,5
	A <sub>2</sub>	32,2	5,5	8,2	5,5	2,6	0,6
	B <sub>1</sub>	22,0	3,7	11,1	11,8	12,0	3,3
	B <sub>2</sub>	9,5	1,5	9,7	7,1	7,3	6,7
	C	-	3,1	17,5	9,9	9,9	14,1
<u>Perfil</u> <u>12</u>	A <sub>1</sub>	63,5	7,6	2,7	5,7	9,1	1,6
	A <sub>2</sub>	21,9	2,1	11,8	5,7	5,2	5,8
	B	25,1	9,7	20,2	7,1	10,9	8,0
	C	5,8	5,7	21,5	9,7	19,0	13,1
<u>Perfil</u> <u>6</u>	A <sub>1,1</sub>	61,1	2,9	4,4	5,7	6,7	3,1
	A <sub>1,2</sub>	31,4	4,5	8,9	10,7	15,0	4,1
	A <sub>2</sub>	12,8	1,4	7,2	7,2	8,5	2,2
	B <sub>h</sub>	30,1	4,9	4,1	8,6	6,6	1,1
	B <sub>ir</sub>	23,2	5,6	10,1	7,3	12,1	1,0
	C	11,5	4,5	6,1	15,0	8,9	-

F. La distribución del fósforo ligado al calcio.

F.1. Los valores de CaP.

	A <sub>1,1</sub>		A <sub>1,2</sub>		A <sub>1,3</sub>							
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
<u>Perfil</u> 25	12,3	13,4	11,3	13,3	6,1	8,0						
<u>Perfil</u> 23	A <sub>0</sub>		A <sub>1</sub>		A <sub>1</sub> C <sub>1</sub>		C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>			
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	99,5	26,8	142	30,9	147	14,5	128	13,6	174	14,0		
<u>Perfil</u> 1	A <sub>0</sub>		A <sub>1</sub>		(B)		C					
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	118	27,2	103	27,9	105	21,3	115	21,6				
<u>Perfil</u> 3	A <sub>0</sub>		A <sub>1</sub>		B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>		C			
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	55,5	21,3	61,9	21,9	38,1	12,6	41,2	12,5	70,2	10,6		
<u>Perfil</u> 13	A <sub>0</sub>		A <sub>1</sub>		B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>		B <sub>2</sub> C		C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	14,9	6,6	28,0	10,9	28,6	11,7	33,2	12,0	46,7	15,4	31,5	14,7
<u>Perfil</u> 9	A <sub>0</sub>		A <sub>1</sub>		B		C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>		C <sub>3</sub>	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	13,4	8,7	11,3	9,1	10,7	7,7	5,4	7,2	21,6	15,5	17,0	12,1

Perfil 17	A <sub>1,1</sub>		A <sub>1,2</sub>		B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>		B <sub>2</sub> C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	11,6	12,3	4,4	7,2	6,8	7,6	8,5	16,1	5,6	10,7

Perfil 11	A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>		B		C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	6,0	5,0	25,9	15,3	25,6	16,7	10,6	7,2

Perfil 7	A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>		B		C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	12,6	7,2	20,4	7,3	22,1	9,6	10,6	8,4

Perfil 8	A <sub>0</sub>		A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>		B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>		C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	5,1	4,1	4,3	3,3	8,8	8,8	13,6	5,5	3,8	11,8	2,9	9,9

Perfil 6	A <sub>1,1</sub>		A <sub>1,2</sub>		A <sub>2</sub>		B <sub>h</sub>		B <sub>ir</sub>		C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	8,8	5,4	8,6	10,7	9,0	7,2	17,1	8,6	12,6	7,3	23,6	15,0

Perfil 12	A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>		B		C	
	ppm	%tot		%tot		%tot		%tot
	9,1	5,7	5,1	5,7	1,7	7,1	3,1	9,7

F.2. Discusión de los valores de CaP por unidad de peso.

Los valores de CaP en ppm ciertamente pueden dar información durante el proceso de evolución de un suelo. Generalmente los valores disminuyen gradualmente hacia la fase regresiva durante nuestra catena. En efecto, los valores mayores se encuentran en los tipos de suelo pararenzina y suelo pardo calizo en cantidad de 140 -170 ppm. A medida que avanza la evolución y a medida que se diferencian las capas, tanto menores serán los valores de CaP. Generalmente no sobrepasan el valor de 50 ppm para los suelos lixiviados.

El porcentaje de CaP con respecto al fósforo inorgánico, no se tendrá en cuenta para caracterizar los tipos de suelos. Anteriormente hemos calculado una correlación de 0.93 entre el % de CaP de la fracción inorgánica de una parte y el  $pH_{KCl}$  de otra. Puesto que el pH tiene una importancia primordial en el estado de un suelo, también la distribución de CaP seguirá el mismo cambio.

F.3. Discusión de los valores de CaP en la fracción < 1 mm  
teniendo en cuenta la proporción de esta fracción.

F.3.a. Los perfiles poco diferenciados y que contienen una reserva de calcio, son de toda la serie, los que tienen los valores más altos de CaP. En efecto, los valores oscilan entre 30,9 % como máximo y 10,6 % como mínima.

Por otra parte se puede observar que se produce una disminución gradual con respecto a la profundidad. Esta disminución con respecto al perfil 23 es de 26,8 % a 14,0 %

Para el perfil 1 es de 27,2 % a 21,6 % y para el perfil 3 de 21,3 % a 10,6 %. De nuevo se confirma que el perfil 3 oscila entre el suelo pardo calizo y el suelo pardo ácido.

La disminución con la profundidad se debe a la proporción de las dos fracciones del suelo. En efecto, los valores absolutos de ppm CaP no se diferencian entre ellos y la proporción de las dos fracciones del suelo es la que produce una disminución de los porcentajes en el sistema total de los perfiles con la profundidad.

Aunque el perfil 25 se encuentra también poco diferenciado, hemos dicho que se trata de un suelo fuera de la serie, a causa de la erosión y del lavado. Los porcentajes de CaP son entonces también bajos, oscilando entre 13,4 y 8,0.

F.3.b. En el suelo pardo ácido se observa un cambio, en el sentido de que las capas superiores están lavadas. Se encuentra ahora el fenómeno invertido, o sea el % de CaP aumenta con la profundidad, y puesto que la proporción de las dos fracciones del suelo no cambia, podemos deducir que este fenómeno se puede atribuir a un lavado de manera que se produce una acumulación absoluta en el horizonte B y C, a expensas del horizonte A. Este fenómeno confirma el lavado mínimo y típico correspondiente al tipo suelo pardo ácido.

F.3.c. Las fases regresivas como el suelo pardo lixiviado, y el suelo podsólico tienen valores poco elevados e irregulares de CaP. Aún el horizonte B tiene un valor bajo lo que demuestra el lavado total de calcio en todo el perfil.

.....

G. La distribución del fósforo ligado al hierro.  
 .....  
 .....

G.1. Los valores de FeP, FeP.2. y FeP total

	FeP		FeP.2.		FeP.tot.		
	ppm	% tot	ppm	% tot	ppm	% tot	
<u>Perfil 25</u>	A <sub>1,1</sub>	6,5	7,1	12,2	13,3	18,7	20,4
	A <sub>1,2</sub>	6,2	7,3	11,1	13,1	17,3	20,4
	A <sub>1,3</sub>	2,1	2,8	3,1	4,1	5,2	6,9
<u>Perfil 23</u>	A <sub>0</sub>	-	-	19,5	5,3	19,5	5,3
	A <sub>1</sub>	6,3	1,4	40,7	8,9	47,0	10,3
	A <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	12,5	1,2	21,8	2,2	34,3	3,4
	C <sub>1</sub>	14,7	1,6	18,6	2,0	33,3	3,6
	C <sub>2</sub>	7,7	0,6	13,9	1,1	21,6	1,7
<u>Perfil 1</u>	A <sub>0</sub>	17,3	4,0	32,2	7,4	49,5	11,4
	A <sub>1</sub>	6,0	1,6	42,8	11,4	48,8	13,0
	(B)	23,1	4,8	43,1	8,9	66,2	13,7
	C <sub>1</sub>	24,8	4,7	51,8	9,8	76,6	14,5
<u>Perfil 3</u>	A <sub>0</sub>	5,3	2,0	24,3	9,3	29,6	11,3
	A <sub>1</sub>	4,1	1,4	24,3	8,6	28,4	10,0
	B <sub>1,1</sub>	35,0	11,6	24,3	8,1	59,3	19,7
	B <sub>1,2</sub>	44,8	13,6	33,2	10,1	78,0	23,7
	C	34,2	4,6	50,4	6,8	84,7	11,4

<u>Perfil 13</u>	A <sub>0</sub>	8,0	3,5	25,3	11,2	33,3	14,7
	A <sub>1</sub>	23,3	9,0	43,7	16,9	67,0	25,9
	B <sub>1,1</sub>	25,8	10,6	31,2	12,8	57,0	23,4
	B <sub>1,2</sub>	23,3	8,4	27,2	9,9	50,5	18,3
	BC	30,7	10,1	31,4	10,4	62,1	20,5
	C	25,5	11,9	21,9	10,2	47,4	22,1
<u>Perfil 9</u>	A <sub>0</sub>	10,9	7,1	12,9	8,4	23,8	15,5
	A <sub>1</sub>	4,7	3,8	8,8	7,1	13,5	10,9
	B	11,8	8,5	10,2	7,3	22,0	15,8
	C <sub>1</sub>	5,5	7,3	3,8	5,1	9,3	12,4
	C <sub>2</sub>	19,3	13,8	14,8	10,6	34,1	24,4
	C <sub>3</sub>	14,2	10,2	14,4	10,3	28,6	20,5
<u>Perfil 17</u>	A <sub>1,1</sub>	2,5	2,6	11,8	12,5	14,3	15,1
	A <sub>1,2</sub>	2,4	3,9	6,0	9,9	8,4	13,8
	B <sub>1,1</sub>	5,3	6,8	8,5	10,8	13,8	17,6
	B <sub>1,2</sub>	7,5	14,2	9,9	18,7	17,4	31,9
	BC	13,1	25,0	5,9	11,2	19,0	36,2
<u>Perfil 11</u>	A <sub>1</sub>	2,2	1,9	6,0	5,1	8,2	7,0
	A <sub>2</sub>	16,2	9,6	19,7	11,7	35,9	21,3
	B	14,9	9,7	18,7	12,2	33,6	21,9
	C	6,9	4,7	11,9	8,1	18,8	12,8

<u>Perfil 7</u>	A <sub>1</sub>	10,1	5,7	8,4	4,8	18,5	10,5
	A <sub>2</sub>	13,7	4,9	16,1	5,8	29,8	10,7
	B	27,8	12,1	38,7	16,1	66,5	28,2
	C	7,7	6,1	12,6	9,9	20,3	16,0
<u>Perfil 8</u>	A <sub>0</sub>	7,8	6,4	5,9	4,8	13,7	11,2
	A <sub>1</sub>	8,6	6,7	1,3	1,0	9,9	7,7
	A <sub>2</sub>	13,1	8,2	4,1	2,6	17,2	10,8
	B <sub>1</sub>	12,7	11,1	13,8	12,0	26,5	23,1
	B <sub>2</sub>	5,2	9,7	3,9	7,3	9,1	17,0
	C	5,1	17,5	2,9	9,9	8,0	27,4
<u>Perfil 12</u>	A <sub>1</sub>	4,3	2,7	17,3	9,1	21,6	11,8
	A <sub>2</sub>	10,6	11,8	4,7	5,2	15,3	17,0
	B	4,8	20,2	2,6	10,9	7,4	31,1
	C	6,9	21,5	6,1	19,0	13,0	40,5
<u>Perfil 6</u>	A <sub>1,1</sub>	7,2	4,4	10,8	6,7	18,0	11,1
	A <sub>1,2</sub>	7,1	8,9	12,0	15,0	19,1	23,9
	A <sub>2</sub>	9,0	7,2	10,6	8,5	19,6	15,7
	B <sub>h</sub>	8,1	4,1	13,2	6,6	21,3	10,7
	B <sub>ir</sub>	17,3	5,6	21,8	12,1	39,1	17,7
	C	9,6	4,5	13,9	8,9	23,5	13,4

G.2. Discusión de los valores del fósforo unido al hierro.

Se discutirán juntos el fósforo unido al hierro en forma libre, FeP, el fósforo ocluido y unido al hierro, FeP.2., y el fósforo total unido al hierro, FeP.tot. Practicamente estos tres valores no se diferencian, aunque se complementan entre sí.

G.2.a. El Ranker que en el fondo es un tipo de suelo fuera de la serie, a causa de su erosión superficial, confirma su posición entre los suelos que se diferencian poco desde el punto de vista de FeP.tot. En efecto, el pH de 5.00 de los horizontes superiores ha hecho aumentar los valores de FeP.tot., pero sobre todo lo que es más importante es que en los dos perfiles poco evolucionados (25 y 23) se acusa una disminución gradual con la profundidad. Lo mismo sucede con el FeP y FeP.2. y por tanto con el FeP.tot. puesto que es la suma de los dos anteriores.

G.2.b. Desde el punto de vista del FeP.tot, el perfil 1 es la fase de transición, por lo cual los valores no difieren tampoco. Señalemos que se produce una acumulación mínima en el horizonte (B). En efecto, como han demostrado los analisis de hierro libre, el perfil se encuentra en una fase de comienzo de emigración del FeP.tot. como hemos demostrado por la determinación de hierro libre. El fósforo confirma entonces una vez más la correlación con la evolución de los suelos.

G.2.c. La emigración del FeP.tot. se completara en todos los perfiles siguientes. Por tanto, el grado de emigración dependerá todavía del tipo de suelo.

En efecto, en los perfiles 3, 13, y 9 la acumulación de

FeP.tot solamente se ha realizado en los horizontes B. La disminución que se ha producido en los horizontes A, confirma la tesis de la emigración del hierro libre y del FeP.tot., que se encuentra en su primera fase, limitándose sólo a los horizontes B. La diferencia más típica entre los valores de los horizontes B y C es la del perfil 3 pues en el existe un horizonte B con 23,7 % y un horizonte C con 11,4 %. Los valores de las muestras 41 y 42 siguen esta regla porque se trata de horizontes C<sub>2</sub> y C<sub>3</sub> mientras que el horizonte C<sub>1</sub> posee un valor de 13,4 siendo el valor del horizonte B de 15,8.

Desde el punto de vista del FeP.tot. el perfil 3 confirma, más aún el tipo de suelo pardo ácido.

G.2.d. En los perfiles 17,11,7,8,12 y 6 la emigración ha avanzado más, hasta el horizonte C. De nuevo la emigración del hierro libre viene reflejada por la de FeP.tot. Los valores de FeP y de FeP.2. siguen el mismo comportamiento.

Los valores en los horizontes A llegan a ser la mitad que de los horizontes B y C debido al lavado y por tanto a la emigración del FeP.tot. El suelo podsólico humo-ferico no confirma esta regla. Los valores más elevados se encuentran en el horizonte A<sub>1</sub> y B<sub>ir</sub>, mientras que en los otros horizontes los valores son muy próximos. Esto puede ser producido por el efecto de vegetación del que ya hemos hablado anteriormente.

.....

H. La distribución del fósforo ligado al aluminio.  
 .....

H.1. Los valores de la forma libre, AlP, de la forma ocluida,  
 AlP.2. y del total, AlP.tot.

		AlP		AlP.2.		AlP.tot	
		ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
<u>Perfil 25</u>	A <sub>1,1</sub>	5,9	6,4	10,2	11,1	16,1	17,5
	A <sub>1,2</sub>	3,5	4,1	8,7	10,3	12,2	14,4
	A <sub>1,3</sub>	0,6	0,8	5,7	7,5	6,3	8,3
<u>Perfil 23</u>	A <sub>0</sub>	12,3	3,3	24,9	6,7	37,2	10,0
	A <sub>1</sub>	21,3	4,6	42,8	9,3	64,1	13,9
	A <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	13,8	1,4	70,8	7,0	84,6	8,4
	C <sub>1</sub>	7,0	0,7	80,0	8,5	87,0	9,2
	C <sub>2</sub>	10,0	0,8	116,7	9,4	126,7	10,2
<u>Perfil 1</u>	A <sub>0</sub>	11,8	2,7	3,3	0,8	15,1	3,5
	A <sub>1</sub>	28,5	5,9	3,5	0,3	32,0	6,2
	(B)	22,1	5,9	1,0	0,7	23,1	6,6
	C <sub>1</sub>	20,2	3,8	4,0	0,8	24,2	4,6
<u>Perfil 3</u>	A <sub>0</sub>	10,2	3,9	25,2	9,7	35,4	13,6
	A <sub>1</sub>	13,8	4,9	22,7	8,0	36,5	12,9
	B <sub>1,1</sub>	10,4	3,4	12,2	4,0	22,6	7,4
	B <sub>1,2</sub>	9,8	3,0	9,5	2,9	19,3	5,9
	C	11,4	1,5	18,3	2,5	29,7	4,0

		AIP		AIP.2.		AIP.tot	
		ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
<u>Perfil 13</u>	A <sub>0</sub>	15,2	6,7	2,3	1,0	17,5	7,7
	A <sub>1</sub>	21,9	8,5	5,9	2,3	27,8	10,8
	B <sub>1,1</sub>	13,0	5,3	1,8	0,7	14,8	6,0
	B <sub>1,2</sub>	15,3	5,6	13,0	4,7	28,3	10,3
	B <sub>2</sub> <sup>C</sup>	8,8	2,9	22,5	7,4	31,3	10,3
	C	5,2	2,4	18,6	8,7	23,8	11,1
<u>Perfil 9</u>	A <sub>0</sub>	5,8	3,8	4,3	2,8	10,1	6,6
	A <sub>1</sub>	3,0	2,4	7,8	6,3	10,8	8,7
	B	2,6	1,9	7,4	5,3	10,0	7,2
	C <sub>1</sub>	1,1	1,5	4,4	5,9	5,5	7,4
	C <sub>2</sub>	2,6	1,9	14,2	10,2	16,8	12,1
	C <sub>3</sub>	1,9	1,4	12,4	8,9	14,3	10,3
<u>Perfil 17</u>	A <sub>1,1</sub>	7,9	8,3	3,4	3,6	11,3	11,9
	A <sub>1,2</sub>	2,5	4,1	1,0	1,6	3,5	5,7
	B <sub>1</sub>	2,8	3,6	3,7	4,7	6,5	8,3
	B <sub>2</sub>	2,0	3,7	5,1	9,7	7,1	13,4
	BC	2,4	4,6	6,4	12,2	8,8	16,9
Perfil 11	A <sub>1</sub>	4,0	3,4	2,5	2,1	6,5	5,5
	A <sub>2</sub>	10,6	6,2	11,2	6,6	21,8	12,8
	B	7,7	5,0	10,2	6,7	17,9	11,7

		AIP.		AIP.2.		AIP.tot.	
		ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
<u>Perfil 7</u>	A <sub>1</sub>	9,7	5,6	11,1	6,4	20,8	12,0
	A <sub>2</sub>	10,9	3,9	16,8	5,8	27,7	9,7
	B	13,1	5,7	13,9	6,3	27,0	12,0
	C	2,7	1,9	5,8	4,6	7,5	6,5
<u>Perfil 8</u>	A <sub>0</sub>	5,9	4,9	2,1	1,7	8,0	6,5
	A <sub>1</sub>	5,1	3,9	2,0	1,5	7,1	5,4
	A <sub>2</sub>	8,8	5,5	1,0	0,6	9,8	6,1
	B <sub>1</sub>	4,2	3,7	3,8	3,3	8,0	7,0
	B <sub>2</sub>	0,8	1,5	3,6	6,7	4,4	8,2
	C	0,9	3,1	4,1	14,1	5,0	17,2
<u>Perfil 12</u>	A <sub>1</sub>	12,2	7,6	2,5	1,6	14,7	9,2
	A <sub>2</sub>	1,9	2,1	5,2	5,8	7,1	7,9
	B	2,3	9,7	1,9	8,0	4,2	17,7
	C	1,7	5,7	4,2	13,1	5,9	18,8
<u>Perfil 6</u>	A <sub>1,1</sub>	4,7	2,9	5,0	3,1	9,7	6,0
	A <sub>1,2</sub>	3,6	4,5	3,3	4,1	6,9	8,6
	A <sub>2</sub>	1,8	1,4	2,7	2,2	4,5	3,6
	B <sub>h</sub>	9,7	4,9	2,1	1,1	11,8	6,0
	B <sub>ir</sub>	9,2	5,6	1,7	1,0	10,9	6,6
	C	7,0	4,5	-	-	7,0	4,5

H.2. Discusión de los valores del fósforo unido al aluminio en forma libre.

En todos los perfiles se observa una disminución con la profundidad del fósforo ligado al aluminio en forma libre. Además no se ha formada una grande diferencia entre los máximos y los mínimos. Como máximo tenemos un valor de 8,3 % de la composición total del fósforo, y como mínimo un valor de 0,7 %.

Sin embargo el suelo lixiviado y el suelo pod-sólico se salen de la regla y muestran una acumulación en los horizontes B mientras que los horizontes A<sub>2</sub> contienen cantidades mínimos de fósforo ligado al aluminio en forma libre.

El ciclo de la emigración de los sesquióxidos se confirma de una manera más pronunciada cuando se consideran los valores del fósforo ligado al aluminio en forma ocluida.

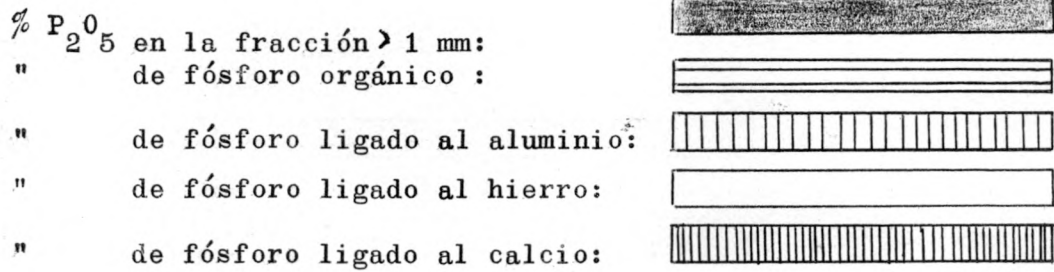
H.3. Discusión de los valores del fósforo ligado al aluminio en forma ocluida y total.

H.3.a. El AlP.tot y el AlP.2, demuestran una tendencia para disminuir con la profundidad, en los perfiles poco evolucionados (25, 23, 1 y 3)

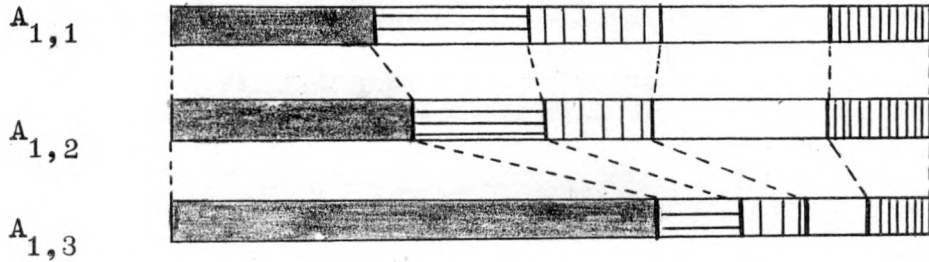
H.3.b. El AlP.tot muestra valores poco diferenciados en todos los horizontes de los perfiles que contienen un horizonte B típico. Por otro lado, el fósforo ligado al aluminio en forma ocluida nos da una cierta acumulación en los horizontes B y C. Entonces, podemos concluir que se ha producido una emigración en la dirección de la profundidad, debido a una pérdida relativa en los horizontes A<sub>0</sub> y A<sub>1</sub>. De todas maneras, la emigración no se muestra tan pronunciada como en el caso del fósforo ligado al hierro.

H.3.c. En los suelos diferenciados, se ve algunas veces una acumulación más grande. Por ejemplo en el perfil 12 con valores del AlP.tot. de 9,2 % y 7,9 % en los horizontes A<sub>1</sub> y A<sub>2</sub> y con valores de 17,7 % y 18,8 % en los horizontes B y C.

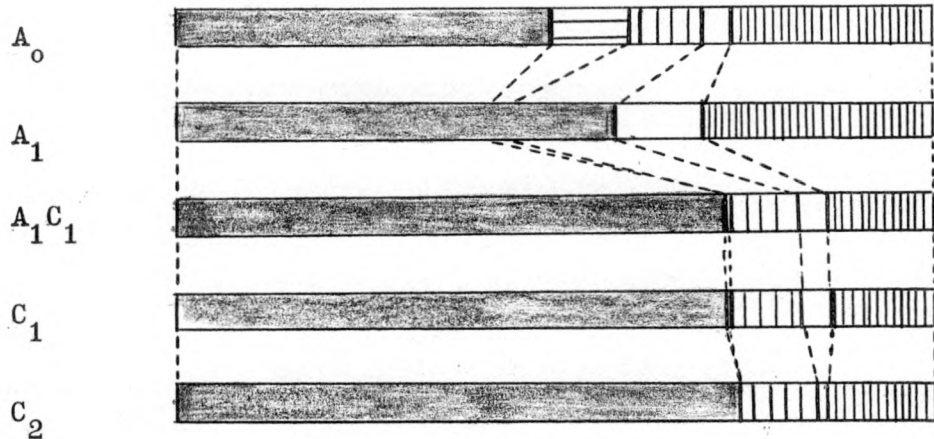
La composición de las formas de fósforo en la catena sobre granito.



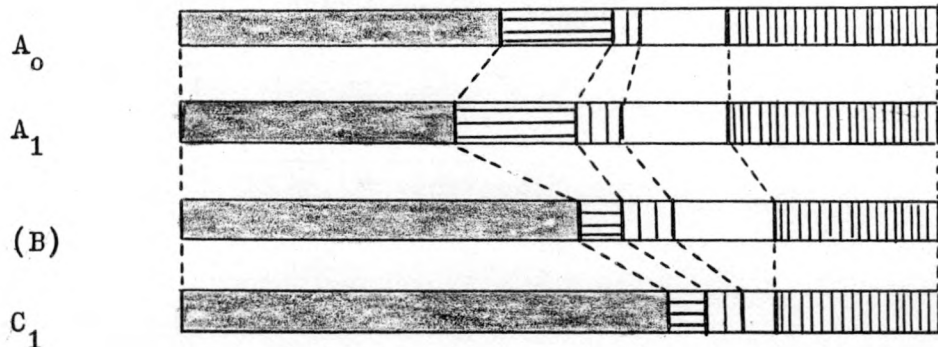
Perfil 25



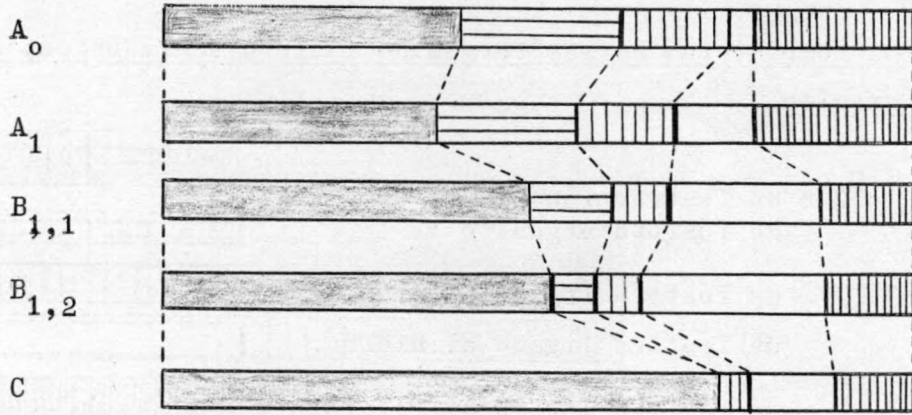
Perfil 23



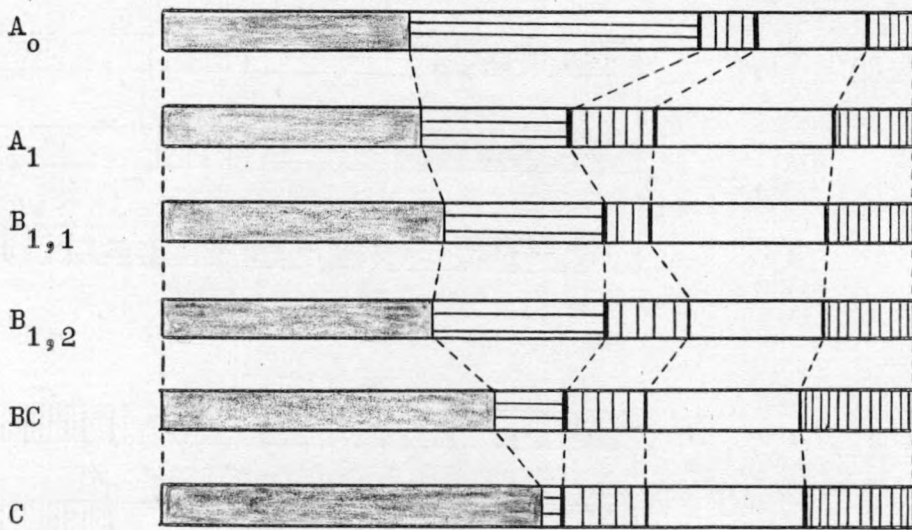
Perfil 1



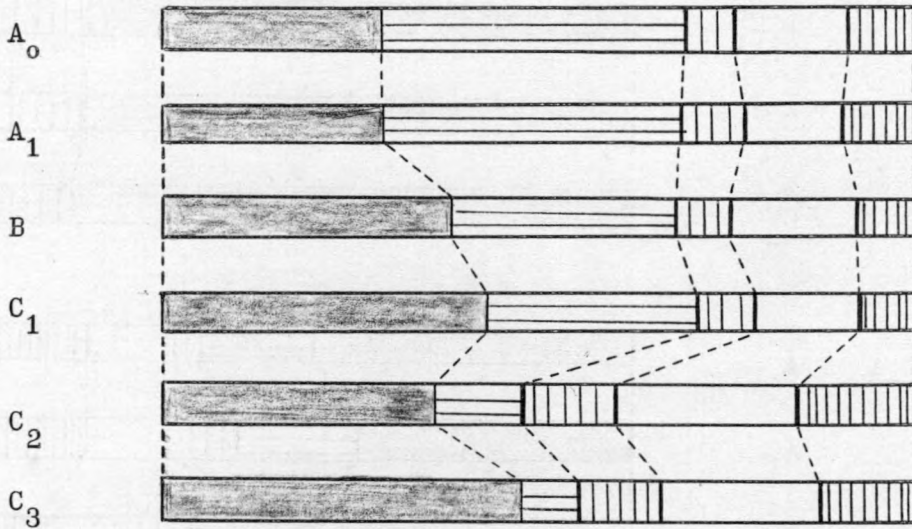
Perfil 3



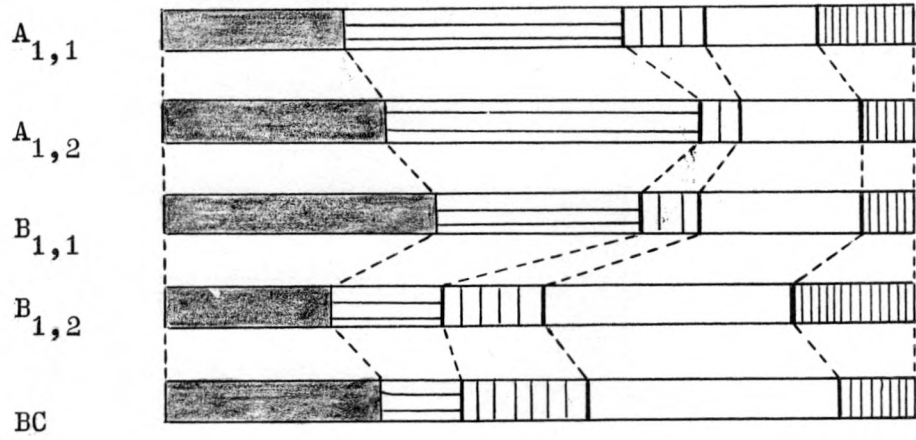
Perfil 13



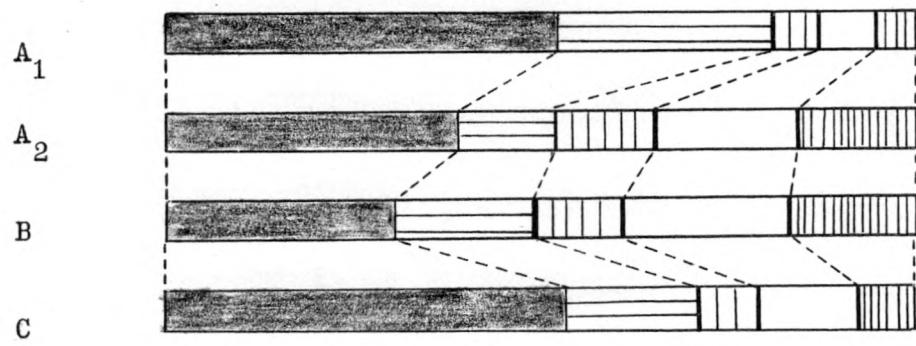
Perfil 9



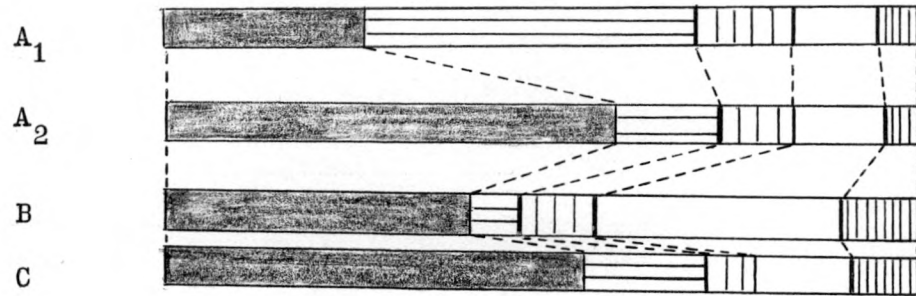
Perfil 17



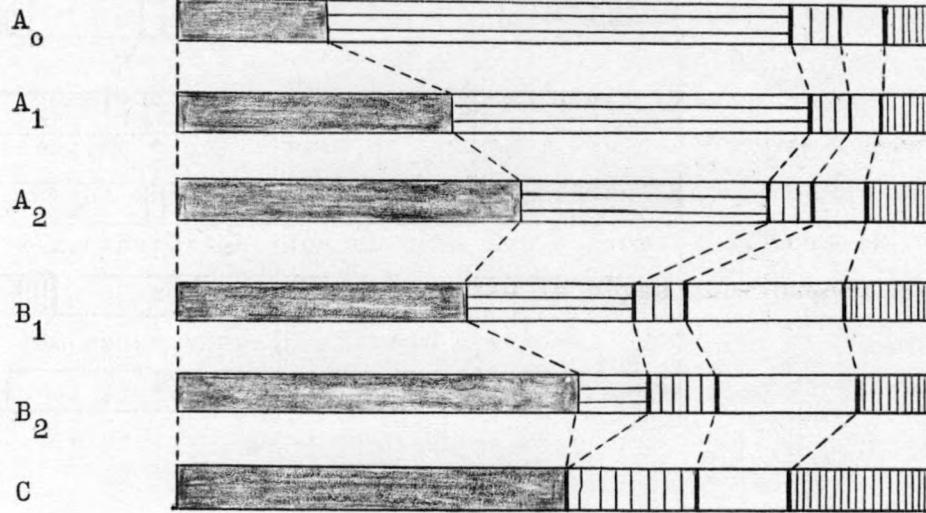
Perfil 11.



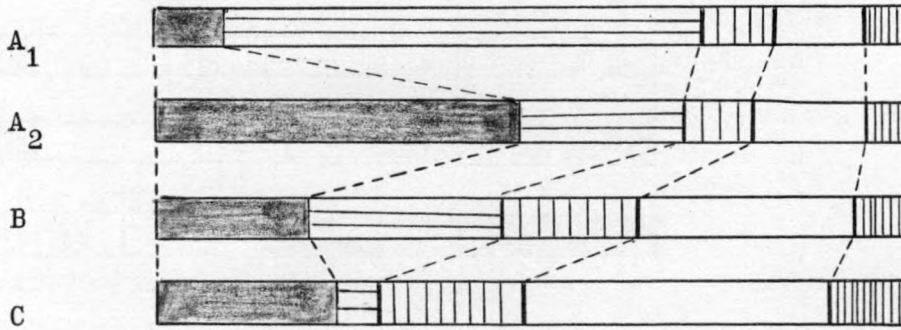
Perfil 7



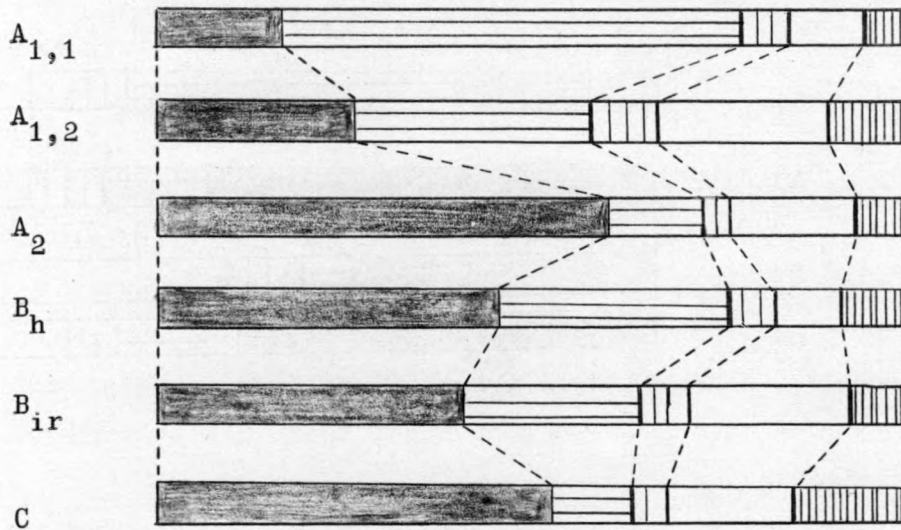
Perfil 8



Perfil 12



Perfil 6



## I. Estudio granulométrico.

El ciclo de la evolución de un suelo se refleja de muchas maneras. En efecto, vemos en primer lugar un cambio de la distribución de los elementos químicos, a fin de formar una zona de empobrecimiento y una zona de enriquecimiento, más o menos pronunciada según el estado de la evolución.

Este cambio, se muestra algunas veces muy visible por ejemplo en el caso de un podsol, y otras veces la formación de "coatings" nos indica la existencia de un horizonte B textural.

También tiene mucha importancia la distribución y la mineralización de la materia orgánica.

Pero, el estudio granulométrico puede ser una de las más importantes medidas de diagnóstico. Efectivamente, durante el estudio de la distribución química, y sobre todo del fósforo y del hierro libre, hemos visto la importancia primordial de la razón  $\frac{\text{fracción} < 1 \text{ mm}}{\text{fracción} > 1 \text{ mm}}$ .

También hemos confirmado la distribución de la arcilla como factor esencial para caracterizar el estudio de los perfiles. Por último, vamos a correlacionar las características de los horizontes  $A_1, A_2, B$  y  $C$  de todos los tipos de suelos de nuestra catena sobre granito, desde el punto de vista granulométrico.

### I.1. La distribución granulométrica de los horizontes $A_1$ .

Sin duda, el aspecto de los horizontes  $A_1$  cambia durante la evolución. Se encuentra un valor bajo de la materia orgánica en los tipos de suelos poco evolucionados, mientras que los valores de la materia orgánica aumentan constantemente, a medida que aumenta la evolución del suelo hasta llegar al estado de degeneración.

Salvo este fenómeno, no hay grandes diferencias

en la composición química de un horizonte  $A_1$ . Esta tesis se confirma en la distribución granulométrica de los horizontes  $A_1$  de los 12 perfiles.

Efectivamente, todos los máximos se encuentran en la fracción  $1000\mu-200\mu$ . Estos máximos oscilan entre 23 % y 38 %, con un valor medio de 31 %.

Las otras fracciones no siguen una distribución muy regular y tampoco muestran grandes variaciones. Debemos tener en cuenta que este horizonte  $A_1$  se divide durante la evolución a fin de formar un horizonte  $A_2$ .

Podemos entonces considerar que en el caso de suelos formados sobre el mismo substrato, no se produce un cambio muy pronunciado en la fisonomía del horizonte  $A_1$ .

M.	0,5-0,2cm	0,2-0,1cm	0,1-200 $\mu$	200-20 $\mu$	20-2 $\mu$
301	5,60	14,00	<u>38,42</u>	10,03	10,68
91	26,32	20,57	<u>36,72</u>	7,81	3,18
2	18,71	17,98	<u>26,12</u>	22,47	8,93
12	17,78	15,80	<u>23,73</u>	20,95	13,09
52	20,37	20,26	<u>31,44</u>	10,15	6,36
38	18,56	14,62	<u>27,73</u>	15,25	7,23
67	16,55	25,11	<u>25,82</u>	10,91	8,73
45	16,48	28,10	<u>31,02</u>	11,28	4,98
30	10,29	12,60	<u>31,04</u>	22,25	9,25
34	16,90	20,64	<u>27,06</u>	11,94	10,44
49	12,31	16,17	<u>29,44</u>	22,21	10,56
25	9,74	14,70	<u>31,10</u>	27,05	12,57

I.2. La distribución granulométrica de los horizontes A<sub>2</sub>

El horizonte A<sub>2</sub> se ha formado claramente en los perfiles 11,7,8,12 y 6. Los máximos en los tipos suelo pardo lixiviado (11) y suelo lixiviado (8) se encuentran en la fracción 1000 $\mu$ -200 $\mu$ , es decir similar a los máximos del horizonte A<sub>1</sub>.

En el segundo ejemplo del tipo suelo pardo lixiviado (7) el máximo se ha desplazado a la fracción 0,2-0,1cm.

Los dos perfiles 12 y 6 con propiedades de podsolización tienen también el máximo en la fracción 0,2-0,1 cm.

Por esta razón, como conclusión vemos que se ha producido un desplazamiento de la composición granulométrica a la fracción más grande.

La zona de lixiviación A<sub>2</sub> entonces no se determina solamente desde el punto de vista químico, sino también por su composición granulométrica.

De todas maneras, un A<sub>2</sub> tiene poca estructura, debido entre otras causas, a un mayor contenido de partículas más grandes con respecto al horizonte A<sub>1</sub>, según muestran los análisis.

M.	0,5-0,2cm	0,2-0,1cm	0,1cm-200 $\mu$	200 $\mu$ -20 $\mu$	20-2 $\mu$
46	19,00	20,46	<u>26,99</u>	14,48	6,85
31	21,50	<u>27,67</u>	15,53	6,98	7,08
35	24,77	22,07	<u>25,07</u>	9,49	8,20
49b	12,40	<u>48,29</u>	17,31	9,13	12,03
26	16,09	<u>25,19</u>	22,06	17,17	4,88

### I.3. La distribución granulométrica de los horizontes B

Los horizontes B pueden ser divididos en tres "estadios" según el estado de la evolución. En efecto, los máximos se desplazan de la fracción gruesa hacia fracciones más finas en nuestra catena.

I.3.a. Los perfiles 25, 23 y 1 muestran máximos en la fracción 0,5-0,2 cm. El estado de estos perfiles demuestra efectivamente poca erosión interna y la formación de un horizonte B se encuentra en su primera fase. La falta de una emigración eficaz se refleja también en una composición granulométrica más pronunciada en las partículas gruesas.

I.3.b. La formación de un horizonte B típico en los tipos de suelo pardo ácido, es decir en los perfiles 3, 13, 9 y 17, se refleja muy bien en la composición granulométrica y así los perfiles 3 y 9 tienen el mismo máximo que los suelos poco evolucionados, es decir en la fracción 0,5-0,2 cm.

Por otro lado, el perfil 17 muestra un cambio. En el horizonte  $B_{1,1}$  el máximo se ha desplazado a la fracción 0,2-0,1 cm que indica una composición más fina.

Por fin, en el horizonte  $B_{1,1}$  del perfil 13 el máximo se ha desplazado de nuevo en una dirección más fina, es decir a la fracción 0,1 cm-200 $\mu$ . El horizonte  $B_{1,2}$  con menos propiedades de enriquecimiento muestra un máximo para la fracción 0,2-0,1 cm, como en el caso del perfil 17.

I.3.c. En todos los perfiles siguientes, los perfiles 11, 7, 8, 12 y 6, que consisten en suelos muy evolucionados, el máximo se ha desplazado definitivamente hacia la fracción 0,1-200 $\mu$ , debido a este cambio, a causa de una erosión más pronunciada:

M	0,5-0,2cm	0,2-0,1 cm	0,1-200 $\mu$	200-20 $\mu$	20 $\mu$ -2 $\mu$
303	<u>23,38</u>	15,58	16,49	4,05	4,76
92	<u>31,37</u>	30,63	19,33	4,20	2,99
3	<u>30,83</u>	15,57	17,40	20,10	10,00
13	<u>25,27</u>	18,17	19,33	17,33	7,93
53	19,36	21,82	<u>28,26</u>	9,85	6,78
54	18,25	<u>28,55</u>	22,09	12,08	8,39
39	<u>25,97</u>	15,57	21,38	11,57	5,21
69	21,44	<u>24,00</u>	18,90	13,66	9,59
70	<u>19,95</u>	16,64	19,32	16,76	11,46
47	15,89	20,55	<u>30,36</u>	12,85	7,23
32	17,05	14,70	<u>21,62</u>	7,67	6,48
36	20,17	14,55	<u>28,16</u>	14,27	7,93
87	19,25	10,32	<u>22,26</u>	16,32	7,86
50	6,97	31,79	<u>37,34</u>	13,34	7,10
27	19,10	<u>26,52</u>	16,06	11,69	12,78
28	16,77	18,74	<u>22,68</u>	13,06	5,37

I.4. La distribución granulométrica de los horizontes C.

El estudio de la distribución granulométrica en los horizontes C, nos dá los mismos resultados que en le caso de los horizontes B.

Es decir, un traslado de los máximos de la fracción 0,5-0,2cm a la fracción 0,2-0,1 cm, hasta llegar a la fracción 0,1cm-200 $\mu$  según el estado de la evolución.

M.	0,5-0,2cm	0,2-0,1cm	0,1cm-200 $\mu$	200-20 $\mu$	20 $\mu$ -2 $\mu$
94	29,08	<u>31,91</u>	13,81	4,56	3,66
4	<u>30,00</u>	10,60	25,33	16,62	8,09
14b	<u>50,18</u>	19,56	9,87	6,55	4,03
56	<u>27,89</u>	19,98	24,43	8,83	3,31
40	<u>27,64</u>	14,23	22,52	8,00	3,14
71	23,42	<u>26,92</u>	23,94	7,41	10,68
48	22,07	<u>22,30</u>	21,86	9,09	5,12
32b	13,59	<u>26,31</u>	<u>22,88</u>	13,40	11,28
87	19,25	10,32	<u>22,26</u>	16,32	7,86
50b	19,45	17,32	<u>25,12</u>	14,88	13,04
29	19,75	12,70	<u>20,40</u>	12,14	6,22

C A P I T U L O 9.

---

DISCUSION GENERAL DE LA CATENA SOBRE GNEIS.

## 1. Generalidades.

.....

La catena sobre gneis consiste en 8 perfiles. En comparación a la catena estudiada sobre granito, estos perfiles sobre gneis tienen una escala muy limitada desde el punto de vista evolución de un suelo.

En efecto, no se muestran grandes cambios en los perfiles porque todos se localizan en zonas semi-áridas donde la precipitación atmosférica no alcanza el 800 mm anual. Esto se refleja en los perfiles los cuales no han sufrido grandes migraciones de elementos y por supuesto, no ha permitido encontrar perfiles degradados. Tampoco los valores de pH varían mucho, oscilando entre 4.10 y 5.85.

Por lo tanto, los ocho perfiles se pueden solamente dividir en tres tipos de suelos, es decir el Ranker, el suelo pardo ácido y el suelo pardo lixiviado.

De todas maneras, estos perfiles tienen un valor útil para hacer una comparación con las conclusiones obtenidas en la catena sobre granito.

Desde el punto de vista fósforo, tenemos por tanto tres tipos de suelos, los cuales confirmarán o no, la distribución estudiada anteriormente.

Por fin, se observa también una vegetación que la mayoría de las veces se muestra muy pobre, lo cual se refleja en los valores de fósforo orgánico.

.....

2.La distribución del fósforo total.  
.....

2.A. Valores del fósforo total.

a = % de la fracción de suelo.

b = ppm  $P_2O_5$ .

c = ppm  $P_2O_5$ , teniendo en cuenta la proporción de la fracción.

d = % del valor c, con respecto al valor total de ppm  $P_2O_5$ .

e = ppm  $P_2O_5$  de la muestra.

		Fracción < 1 mm				Fracción > 1 mm				
		a	b	c	d	a	b	c	d	e
<u>Perfil</u> 14	A <sub>1,1</sub>	52,1	92,6	48,2	58,1	47,9	72,4	34,7	41,9	82,9
	A <sub>1,2</sub>	54,7	53,4	29,3	50,9	45,3	62,5	28,3	49,1	57,6
	(B)	40,8	62,3	25,4	38,0	59,2	70,1	41,5	62,0	66,9
	(B)C	41,3	60,5	25,0	33,7	58,7	83,7	49,1	66,3	74,1
<u>Perfil</u> 26	A <sub>1</sub>	55,3	110,4	61,1	58,4	44,7	97,7	43,6	41,6	104,7
	(B)	53,6	106,3	57,0	52,7	46,4	110,4	51,2	47,3	108,2
	(B)C	46,7	76,6	35,8	44,6	53,2	83,9	44,4	55,4	80,2
	C	44,4	77,5	34,3	39,3	55,7	95,2	53,0	60,7	87,3
<u>Perfil</u> 18	A <sub>1</sub>	68,1	129,7	88,3	76,4	31,9	85,7	27,3	23,6	115,6
	(B)	44,3	153,2	67,9	46,8	55,7	138,6	77,2	53,2	145,1
	C	41,1	127,8	52,5	38,6	58,9	141,9	83,6	61,4	136,1
<u>Perfil</u> 24	A <sub>1</sub>	51,6	153,0	78,9	53,3	48,4	142,6	69,0	46,7	167,9
	(B) <sub>1</sub>	52,9	131,7	69,6	51,0	47,1	141,8	66,8	49,0	136,4
	(B) <sub>2</sub>	30,5	122,5	37,4	32,0	69,5	114,3	79,4	68,0	116,8
	C	31,1	276,2	85,9	36,4	68,9	217,9	151,1	63,6	237,0

		Fracción < 1 mm				Fracción > 1 mm				
		a	b	c	d	a	b	c	d	e
<u>Perfil</u> 15	A <sub>1</sub>	54,7	109,7	60,0	57,0	45,3	100,1	45,3	43,0	105,3
	B <sub>1,1</sub>	60,0	108,1	64,9	63,1	40,0	94,8	37,9	36,9	102,8
	B <sub>1,2</sub>	65,8	108,0	71,1	67,2	34,2	101,4	34,7	32,8	105,8
	C	60,7	105,1	63,8	57,8	39,3	118,6	46,6	42,2	110,4
<u>Perfil</u> 19	A <sub>1</sub>	51,6	118,2	61,1	55,6	48,4	100,6	48,7	44,4	109,8
	B	51,4	119,7	61,5	60,2	48,6	83,7	40,7	39,8	102,2
	BC	42,9	122,5	52,6	51,8	57,1	85,5	49,0	48,2	101,6
	C	31,7	116,8	37,0	36,6	68,3	93,9	64,1	63,4	101,1
<u>Perfil</u> 20	A <sub>1</sub>	78,1	101,5	79,3	85,3	21,9	62,4	13,7	14,7	93,0
	A <sub>2</sub>	61,8	75,0	46,4	68,2	38,2	56,6	21,6	31,8	68,0
	B <sub>1</sub>	60,3	56,6	34,1	59,7	39,7	57,9	23,0	40,3	57,1
	B <sub>2</sub>	59,9	64,6	38,7	66,3	40,1	49,2	19,7	33,7	58,4
	C <sub>1</sub>	52,4	40,1	21,0	61,8	47,6	27,3	13,0	38,2	34,0
	C <sub>2</sub>	43,3	45,5	19,7	43,1	56,7	45,9	26,0	56,9	45,7
<u>Perfil</u>	A <sub>1</sub>	71,5	178,0	127,3	82,0	28,5	97,9	27,9	18,0	155,2
	A <sub>2</sub>	61,0	172,8	105,4	75,4	39,0	88,3	34,4	24,6	139,8
	B	55,5	172,6	95,9	75,6	44,5	69,4	30,9	24,4	126,8
	C	51,5	53,5	27,5	59,8	48,5	38,2	18,5	40,2	46,0

## 2.B. Discusión de los valores del fósforo total

### 2.B.a. Los valores absolutos

2.B.a.a. Los perfiles 14,26,18 y 24 son suelos jóvenes y ricos en fósforo. Los valores absolutos del fósforo total en las dos fracciones no difieren casi entre sí, y confirman las conclusiones que hemos encontrado en los perfiles correspondientes 25,23,1 y 3 sobre granito.

También se presenta una disminución ligera con la profundidad en la fracción < 1 mm, confirmando la tesis de que el estado de estos perfiles puede ser considerado como de Ranker. Por otro lado se observa un aumento claro en la fracción > 1 mm con la profundidad, debido a una erosión insignificante. Es decir que la diferenciación de horizontes se encuentra en una fase inicial en que <sup>no</sup> se ha producido una emigración de las formas de fósforo.

2.B.a.b. Los perfiles 15 y 19 muestran una diferencia más pronunciada y los horizontes de acumulación B se distinguen más claramente que en los perfiles procedentes.

La diferencia entre las dos fracciones no es tan elevada como en el caso de los perfiles correspondientes 13,9 y 17, pero se puede comprobar claramente. También nos encontramos el fenómeno de una disminución de la reserva en fósforo en las partículas de la fracción > 1 mm. Debido a una emigración, la igualdad en los valores de fósforo de la fracción < 1 mm, confirma también la semejanza con los perfiles correspondientes sobre granito.

2.B.a.c. La formación de un horizonte B típico, junto a una erosión más fuerte se refleja en los valores del fósforo total. Podemos concluir los mismos fenómenos de los perfiles 11 y 7 sobre granito, en que la diferencia entre los valores de las dos fracciones es más elevada, a veces

60 % en favor del fósforo de la fracción < 1 mm, .

Con respecto a los valores de los horizontes C, se observa también una cierta acumulación en los horizontes B.

Los valores absolutos de la fracción > 1 mm son bastante pequeños, debido a una erosión fuerte, confirmando el fenómeno de una reserva en fósforo baja.

Por lo general se pueden confirmar las conclusiones que hemos encontrado en los perfiles correspondientes sobre granito. Aunque la composición química de los dos substratos difiere bastante y la vegetación se muestra también diferente, podemos concluir que la distribución del fósforo depende solamente del estado del perfil, desde el punto de vista del fósforo total absoluto.

.....

2.B.b. Los valores reales (el contenido en fósforo en las fracciones > y < 1 mm, teniendo en cuenta la proporción de estas dos fracciones.

2.B.b.a. El grado mínimo de erosión de los perfiles 14, 26, 18 y 24 se confirma por una disminución gradual de los valores de fósforo en la fracción < 1 mm con la profundidad. El porcentaje del contenido de fósforo en la fracción < 1 mm alcanza como máximo 76,4 y 32,0 como mínimo. Por otro lado el porcentaje de fósforo en la fracción > 1 mm disminuye con la profundidad, con valores de 66,3 % como máximo y de 23,6 como mínimo.

Entonces se muestra de nuevo el fenómeno que hemos ya encontrado en los perfiles 25, 23, 1 y 3. Es decir que el fósforo en los suelos poco evolucionados no se ha puesto en libertad en todos los horizontes, debido a una reserva bastante que se localiza en las partículas > 1 mm

en los horizontes (B) y sobre todo C.

2.B.b.b. El tipo de suelo pardo ácido, es decir el de los perfiles 15 y 19 se caracteriza por una distribución casi uniforme del fósforo en la fracción < 1 mm. Una acumulación clara en los horizontes de enriquecimiento no se ha producido todavía. Por otro lado, vemos que los horizontes B y C tienen valores más bajos de fósforo en la fracción > 1 mm. Los perfiles correspondientes sobre granito han puesto de manifiesto el mismo fenómeno, confirmando así una generalización de la distribución en suelos formados sobre substratos diferentes.

2.B.b.c. En el perfil 20 y 21 se ha producido una erosión más intensa, como se puede ver en los valores mínimos de la fracción > 1 mm. Los porcentajes en favor de la fracción < 1 mm oscilan entre 85,3 y 43,1. La fase inicial de una emigración fuerte tiene que ser la razón de la acumulación insignificante en los horizontes B. Tampoco los valores de fósforo en la zona lavada A<sub>2</sub> muestran una disminución relativa, confirmando la tesis de que el lavado de fósforo no se produce durante la fase inicial, al mismo ritmo que el lavado de la arcilla y de hierro libre.

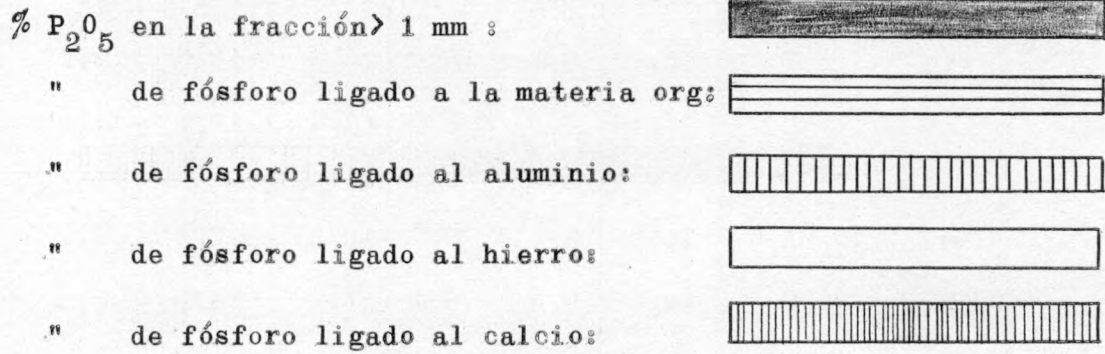
.....

3. La composición de las formas de fósforo en la fracción

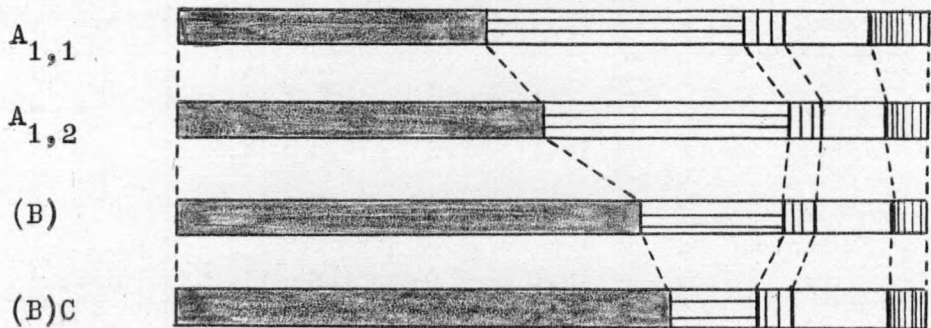
< 1 mm

		P. O.	AlP	FeP.	CaP	FeP. 2	AlP2.
<u>Perfil 14</u>	A <sub>1,1</sub>	34,5	2,9	3,8	7,2	6,4	2,8
	A <sub>1,2</sub>	33,3	1,9	4,2	5,1	4,0	2,7
	(B)	19,0	1,6	5,1	4,2	3,8	3,0
	(B)C	12,6	1,3	6,1	4,9	4,3	3,7
<u>Perfil 26</u>	A <sub>1</sub>	31,8	2,6	8,1	4,7	5,1	7,0
	(B)	21,4	3,2	9,3	5,1	5,0	8,4
	(B)C	6,1	2,3	8,1	11,3	7,5	10,2
	C	2,4	1,8	6,0	11,9	5,3	11,0
<u>Perfil 18</u>	A <sub>1</sub>	52,5	2,6	3,6	7,4	6,1	2,9
	(B)	22,5	2,5	3,7	7,9	6,5	3,6
	C	9,3	1,4	8,1	9,0	5,3	5,8
<u>Perfil 24</u>	A <sub>1</sub>	9,4	4,9	4,3	13,3	11,9	7,7
	(B) <sub>1</sub>	8,3	3,7	6,4	16,2	8,1	9,5
	(B) <sub>2</sub>	1,6	1,7	3,4	12,3	5,0	6,3
	C	0,2	1,7	4,3	14,6	7,2	7,5

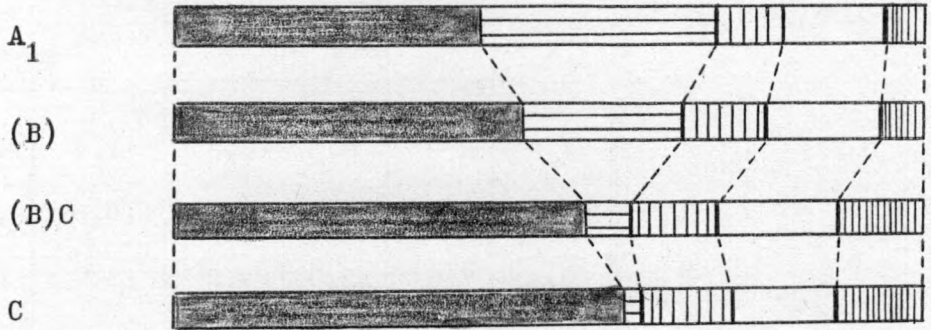
		P.O.	AlP.	FeP.	CaP.	FeP. 2	AlP. 2.
<u>Perfil 15</u>	A <sub>1</sub>	11,3	5,2	7,8	13,6	10,5	8,3
	B <sub>1,1</sub>	10,6	4,3	13,8	13,4	11,0	8,9
	B <sub>1,2</sub>	8,9	2,7	16,0	17,7	10,6	11,6
	C	7,4	1,3	8,0	16,4	12,1	11,8
<u>Perfil 19</u>	A <sub>1</sub>	11,3	8,1	8,0	12,5	13,1	2,2
	B	10,1	9,9	9,1	11,7	14,5	3,3
	BC	6,8	5,4	12,3	9,4	12,1	6,1
	C	1,7	3,7	8,6	7,1	8,7	6,0
<u>Perfil 20</u>	A <sub>1</sub>	78,2	1,2	0,4	3,2	1,8	0,8
	A <sub>2</sub>	30,7	3,4	4,5	14,8	9,0	3,0
	B <sub>1</sub>	28,0	2,0	4,6	11,2	8,9	3,5
	B <sub>2</sub>	23,4	3,3	6,6	16,8	10,3	8,1
	C <sub>1</sub>	14,5	3,2	10,3	17,3	11,1	6,2
	C <sub>2</sub>	10,9	0,7	8,6	9,2	8,0	4,5
<u>Perfil 21</u>	A <sub>1</sub>	27,9	8,9	8,5	15,8	17,4	4,2
	A <sub>2</sub>	25,8	9,2	9,5	13,4	10,6	6,9
	B	23,4	7,6	12,9	14,2	8,9	7,3
	C	14,0	2,9	13,4	8,0	8,9	9,7



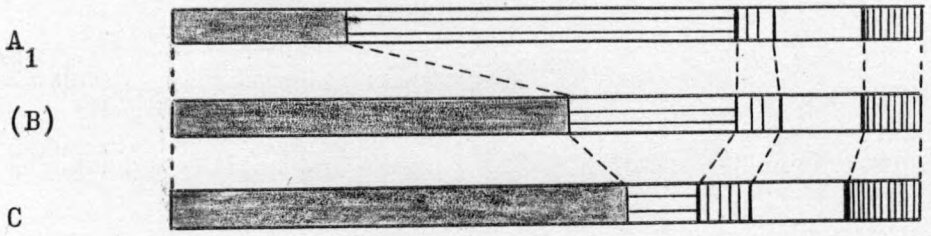
Perfil 14



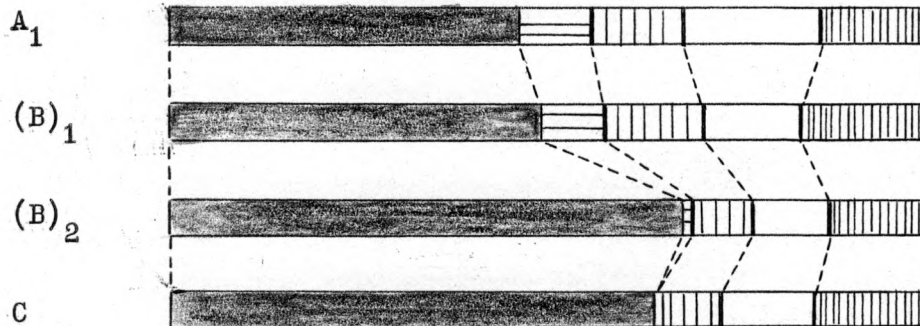
Perfil 26



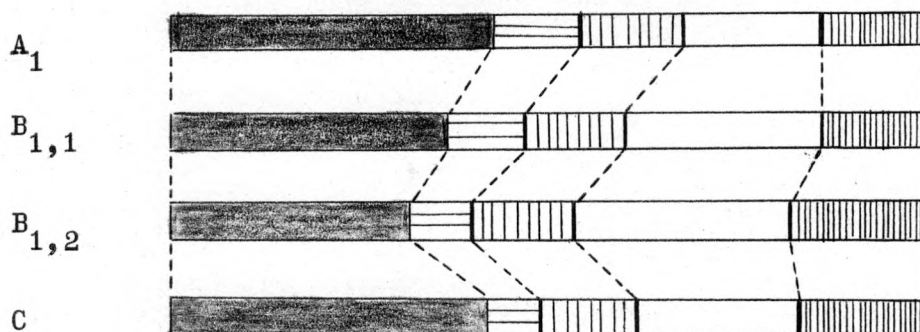
Perfil 18



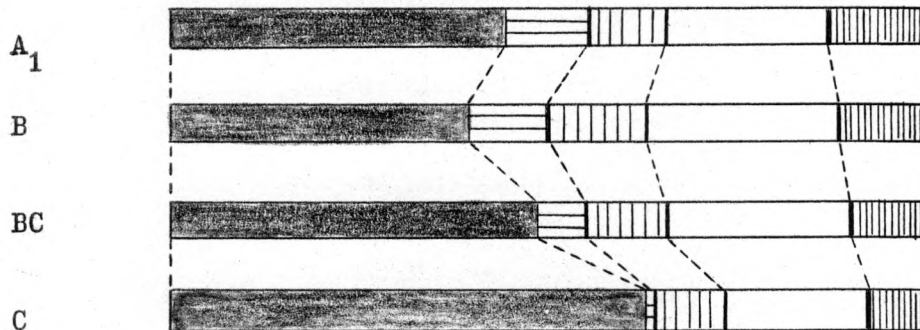
Perfil 24



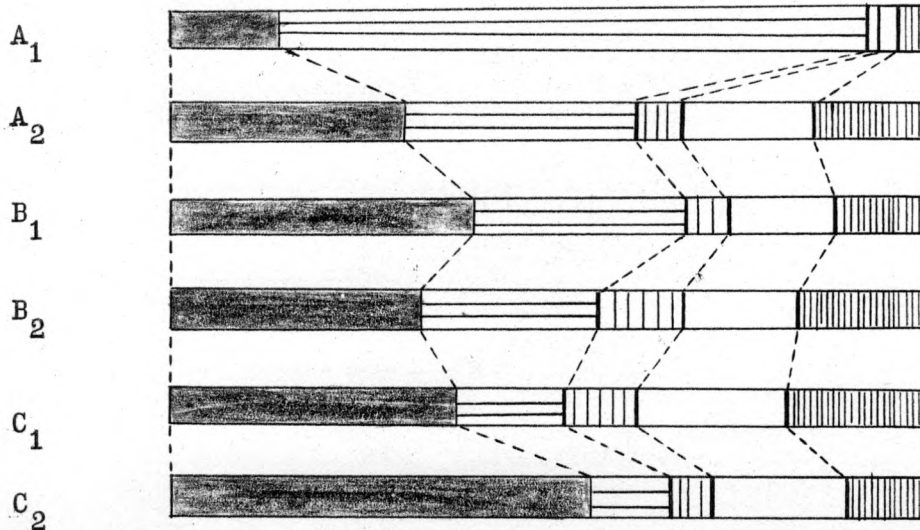
Perfil 15



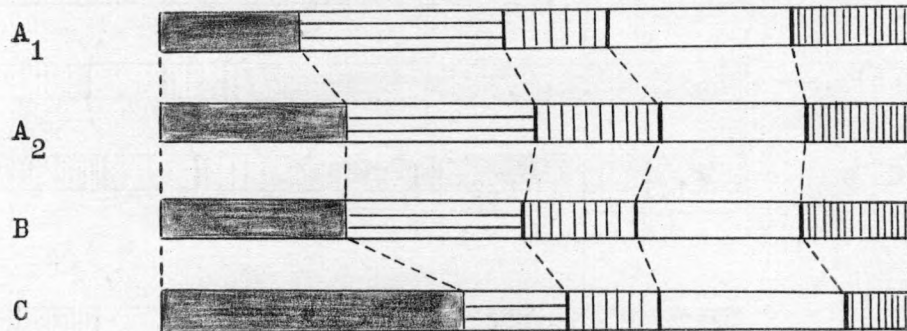
Perfil 19



Perfil 20



Perfil 21



.....

4. La distribución del fósforo ligado al calcio.  
.....

4.A. Los valores de CaP.

Perfil	A <sub>1,1</sub>		A <sub>1,2</sub>		(B)		(B)C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
14	11,4	7,2	5,4	5,1	6,9	4,2	8,9	4,9

Perfil	A <sub>1</sub>		(B)		(B)C		C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
26	8,9	4,7	10,2	5,1	19,4	11,3	23,4	11,9

Perfil	A <sub>1</sub>		(B)		C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
18	12,6	7,4	25,9	7,9	29,8	9,0

Perfil 24	A <sub>1</sub>		(B) <sub>1</sub>		(B) <sub>2</sub>		C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	38,1	13,3	41,7	16,2	47,1	12,3	110	14,6

Perfil 15	A <sub>1</sub>		B <sub>1,1</sub>		B <sub>1,2</sub>		C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	26,1	13,6	22,9	13,4	28,4	17,7	29,9	16,4

Perfil 19	A <sub>1</sub>		B		BC		C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	26,5	12,5	23,3	11,7	22,3	9,4	22,5	7,1

Perfil 20	A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>		B <sub>1</sub>		B <sub>2</sub>		C <sub>1</sub>		C <sub>2</sub>	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	3,8	3,2	16,3	14,8	10,6	11,2	16,4	16,8	11,2	17,3	9,7	9,2

Perfil 21	A <sub>1</sub>		A <sub>2</sub>		B		C	
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
	34,4	15,8	30,8	13,4	32,5	14,2	7,2	8,0

#### 4.B. Discusión de los valores de CaP.

4.B.a. Con caracter general vemos valores en ppm bastante bajos en los perfiles poco evolucionados, 14, 26, 18 y 24. También se ha producido un aumento de los valores, con la profundidad.

Los valores reales por otro lado tienen cifras poco elevados. La contradicción de las conclusiones obtenidas en los perfiles 23, 1 y 3 se debe a la composición del substrato. Es

decir que la existencia inicial de una reserva de calcio en el substrato debe ser la causa de un contenido elevado en CaP. Un substrato que tiene por naturaleza una acidez, es decir una ausencia de reserva en calcio, muestra entonces valores bajos en CaP. En los perfiles poco diferenciados sobre estos substratos podemos entonces deducir una cierta acumulación con la profundidad, debido a la influencia ligera del agua percolante.

4.B.b. En el primero ejemplo de un suelo pardo, perfil 15, se observa el mismo fenómeno de los perfiles precedentes, confirmando también las conclusiones obtenidas en los perfiles correspondientes sobre granito.

4.B.c. A medida que avanza la evolución, los valores son poco elevados y sobre todo irregulares. También se ha producido una cierta acumulación en los horizontes B de los perfiles 19, 20 y 21.

.....

5. La distribución del fósforo ligado el hierro.  
 .....

5.A. Los valores de FeP, FeP.2. y FeP.tot.

	FeP.		FeP.2.		FeP.tot		
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	
<u>Perfil 14</u>	A <sub>1,1</sub>	6,0	3,8	10,2	6,4	16,2	10,2
	A <sub>1,2</sub>	4,4	4,2	4,2	4,0	8,6	8,2
	(B)	8,4	5,1	6,3	3,8	14,7	8,9
	(B)C	10,9	6,1	7,8	4,3	18,7	10,4
<u>Perfil 26</u>	A <sub>1</sub>	15,4	8,1	9,6	5,1	25,0	13,2
	(B)	18,8	9,3	10,1	5,0	28,9	14,3
	(B)C	13,9	8,1	12,9	7,5	26,8	15,6
	C	11,8	6,0	10,4	5,3	22,2	11,3
<u>Perfil 18</u>	A <sub>1</sub>	6,1	3,6	10,3	6,1	16,4	9,7
	(B)	12,0	3,7	21,2	6,5	33,2	10,2
	C	26,9	8,1	17,7	5,3	44,6	13,4
<u>Perfil 24</u>	A <sub>1</sub>	12,4	4,3	34,2	11,9	46,6	16,2
	(B) <sub>1</sub>	16,4	6,4	20,9	8,1	37,3	14,5
	(B) <sub>2</sub>	13,0	3,4	19,3	5,0	32,3	8,4
	C	33,0	4,3	54,8	7,2	87,8	11,5

	FeP		FeP. 2.		FeP. tot		
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	
<u>Perfil 15</u>	A <sub>1</sub>	15,0	7,8	20,2	10,5	35,2	18,3
	B <sub>1,1</sub>	23,7	13,8	18,8	11,0	42,5	24,8
	B <sub>1,2</sub>	25,8	16,0	17,1	10,6	42,9	26,6
	C	14,6	8,0	22,0	12,1	36,6	20,1
<u>Perfil 19</u>	A <sub>1</sub>	17,1	8,0	27,8	13,1	44,9	21,1
	B	18,1	9,1	28,9	14,5	47,0	21,1
	BC	29,0	12,3	28,5	12,1	57,5	24,4
	C	27,6	8,6	27,8	8,7	55,4	17,3
<u>Perfil 20</u>	A <sub>1</sub>	0,5	0,4	2,2	1,8	2,7	2,2
	A <sub>2</sub>	5,0	4,5	9,9	9,0	14,9	13,5
	B <sub>1</sub>	4,4	4,6	8,4	8,9	12,8	13,5
	B <sub>2</sub>	6,4	6,6	10,0	10,3	16,4	16,9
	C <sub>1</sub>	6,7	10,3	7,2	11,1	13,9	21,4
	C <sub>2</sub>	9,1	8,6	8,4	8,0	17,5	16,6
<u>Perfil 21</u>	A <sub>1</sub>	18,5	8,5	37,8	17,4	56,3	25,9
	A <sub>2</sub>	21,8	9,5	24,2	10,6	46,0	20,1
	B	29,4	12,9	20,4	8,9	49,8	21,8
	C	12,0	13,4	8,0	8,9	20,0	22,3

5.B. Discusión de los valores del fósforo ligado al  
hierro

Hemos discutido juntos el FeP, FeP.2. y el FeP.tot en los perfiles sobre granito. Los perfiles sobre gneis han puesto de manifiesto la importancia primordial del fósforo ligado al hierro en forma libre.

5.B.a. Los valores en los perfiles jóvenes, 14, 26, 18 y 24 no difieren casi entre sí. Por lo tanto, podemos confirmar la ausencia de una emigración del hierro libre en estos perfiles que hemos determinado anteriormente. Tampoco los valores de FeP, FeP.2. y FeP.tot muestran grandes cambios, de modo que presentan una distribución casi uniforme.

5.B.b. Aunque los valores de FeP.2. y FeP.tot no indican una acumulación pronunciada en los horizontes B, la distribución del fósforo ligado al hierro en forma libre, el FeP, la confirma bastante claramente. Los valores del hierro libre (Fe.2.) obtenidos anteriormente han demostrado una emigración y acumulación en los perfiles 15, 19, 20 y 21.

Los valores por unidad de peso y los porcentajes de la composición total del FeP confirman una disminución en los horizontes A y una acumulación típica limitándose sólo a los horizontes B, pues los valores en los horizontes de enriquecimiento alcanzan casi el doble de los valores en los horizontes A. De todas maneras obtenemos la misma conclusión que en los perfiles 3, 13 y 9 sobre granito.

.....

6. La distribución del fósforo ligado al aluminio.  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

6.A. Los valores de AlP, AlP.2. y AlP.tot.

		AlP		AlP.2.		AlP.tot	
		ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot
<u>Perfil 14</u>	A <sub>1,1</sub>	4,7	2,9	4,5	2,8	9,2	5,7
	A <sub>1,2</sub>	2,0	1,9	2,8	2,7	4,8	4,6
	(B)	2,7	1,6	4,9	3,0	7,8	4,6
	(B)C	2,3	1,3	6,6	3,7	8,9	5,0
<u>Perfil 26</u>	A <sub>1</sub>	4,9	2,6	13,2	7,0	18,1	9,6
	(B)	6,4	3,2	16,9	8,4	23,3	11,6
	(B)C	3,9	2,3	17,6	10,2	21,5	12,5
	C	3,5	1,8	21,7	11,0	25,2	12,8
<u>Perfil 18</u>	A <sub>1</sub>	4,4	2,6	4,9	2,9	9,3	5,5
	(B)	8,1	2,5	11,9	3,6	20,0	6,1
	C	4,7	1,4	19,2	5,8	23,9	7,2
<u>Perfil 24</u>	A <sub>1</sub>	14,1	4,9	22,0	7,7	36,1	12,6
	(B) <sub>1</sub>	9,5	3,7	24,4	9,5	33,9	13,2
	(B) <sub>2</sub>	6,7	1,7	24,2	6,3	30,9	8,0
	C	12,9	1,7	56,9	7,5	69,8	9,2

	AIP		AIP.2.		AIP.tot.		
	ppm	%tot	ppm	%tot	ppm	%tot	
<u>Perfil 15</u>	A <sub>1</sub>	10,0	5,2	16,0	8,3	26,0	13,5
	B <sub>1,1</sub>	7,3	4,3	15,3	8,9	22,6	13,2
	B <sub>1,2</sub>	4,3	2,7	18,6	11,0	22,9	14,3
	C	2,4	1,3	21,5	11,8	23,9	13,1
<u>Perfil 19</u>	A <sub>1</sub>	17,2	8,1	4,7	2,2	21,9	10,3
	B	19,8	9,9	6,6	3,3	26,4	13,2
	BC	12,9	5,4	14,5	6,1	27,4	11,5
	C	11,9	3,7	19,3	6,0	31,2	9,7
<u>Perfil 20</u>	A <sub>1</sub>	1,4	1,2	1,0	0,8	2,4	2,0
	A <sub>2</sub>	3,7	3,4	3,3	3,0	7,0	6,4
	B <sub>1</sub>	1,9	2,0	3,3	3,5	5,2	5,5
	B <sub>2</sub>	3,2	3,3	7,9	8,1	11,1	11,4
	C <sub>1</sub>	2,1	3,2	4,0	6,2	6,1	9,4
	C <sub>2</sub>	0,7	0,7	4,8	4,5	5,5	5,2
<u>Perfil 21</u>	A <sub>1</sub>	19,3	8,9	9,1	4,2	28,4	13,1
	A <sub>2</sub>	21,1	9,2	15,9	6,9	37,0	16,1
	B	17,3	7,6	16,8	7,3	34,1	14,9
	C	2,6	2,9	8,7	9,7	11,3	12,6

6.B. Discusión de los valores del fósforo ligado al aluminio en forma libre.

Con respecto a la conclusión obtenida para los perfiles sobre granito, tenemos de nuevo la confirmación de una disminución gradual con la profundidad en todos los perfiles sobre gneis, desde el punto de vista del porcentaje de la composición total.

Todos los perfiles siguen esta regla, sin excepción.

La ausencia de tipos de suelo lixiviado y suelo podsólico, impide encontrar el cambio descrito para estos perfiles sobre granito. Tampoco se ha formada una grande diferencia entre los máximos y los mínimos (9,9 y 0,7)

6.C. Discusión de los valores del fósforo total ligado al aluminio y de la forma ocluida.

6.C.a. Los perfiles poco diferenciados muestran un cierto aumento de AlP<sub>2</sub> con la profundidad. Por otro lado los valores de AlP<sub>tot</sub> no difieren casi entre sí.

6.C.b. En los perfiles donde se ha formado el horizonte B típico, los valores de AlP<sub>tot</sub> muestran los máximos en este horizonte, Por lo tanto la acumulación se ha producido, pero de un manera menos pronunciada que en el caso de los suelos correspondientes sobre granito.

Este fenómeno donde aparece más claro es en el perfil 20 con valores de 2,0 % y 6,4 % en los horizontes A y de 5,5 % y 11,4 en los horizontes B.

.....

C A P I T U L O 10.

---

DISCUSION GENERAL DE LOS SUELOS FORMADOS SOBRE LOS  
SEDIMENTOS DETRITICOS QUE SE EXTIENDEN AL SUR DEL  
MACIZO CRISTALINO DE LA SIERRA.

A. generalidades.

.....

El estudio de la catena sobre gneis por una parte y sobre granito por otra han puesto de maifiesto ciertas reglas desde el punto de vista del comportamiento del fósforo. Estas reglas y conclusiones han demostrado claramente la relación entre las formas y las cantidades de fósforo por una parte y la genesis de un suelo por otra.

Además hemos visto que esta relación se presenta de una manera lógica y en este respecto tenemos que aceptar la existencia verdadera de una distribución fija dependiente del estado del perfil. Los perfiles y las muestras de esta serie tienen origen en la zona llamada "Facies Madrid" la cual consiste en un substrato continental y arenosa.

Hemos elegidos estos perfiles con el motivo de dar la prueba irrefutable de que el comportamiento del fósforo se sigue unas normas fijas en los suelos arenosos. En efecto, los perfiles presentan algunos fenómenos extraordinarios que sirvarán para motivar y completar la sistema del ciclo de fósforo.

Primero, la muestra 86 nos da informaciones sobre la cualidad de las capas superiores, mientras que las muestras 65 y 66 y también el perfil 4 nos informa sobre los horizontes C, es decir el substrato inalterado.

Por otro lado el perfil 2 nos indica el comportamiento del fósforo en los suelos aluviales.

Por fin, el perfil 5 corresponde a un suelo de composición granulométrica más fina, donde la erosión ha eliminado el horizonte A.

B. La distribución del fósforo total  
.....

B.1. los valores del fósforo total.

a = % de la fracción de suelo.

b = ppm  $P_2O_5$ .

c = ppm  $P_2O_5$ , teniendo en cuenta la proporción de la fracción.

d = % del valor c, con respecto al valor total de ppm  $P_2O_5$ .

e = ppm  $P_2O_5$  de la muestra.

	Fracción < 1 mm				Fracción > 1 mm				
	a	b	c	d	a	b	c	d	e
<u>Perfil 4</u> C <sub>1</sub>	45,9	320,2	146,9	52,8	54,1	242,6	131,2	47,2	278,1
C <sub>2</sub>	52,1	138,3	72,0	45,9	47,9	176,8	84,7	54,1	156,7
C <sub>3</sub>	41,4	151,1	62,6	35,5	58,6	193,7	113,5	64,5	176,1
C <sub>4</sub>	52,9	175,4	92,9	49,1	47,1	204,2	96,2	50,9	189,1
C <sub>5</sub>	41,1	299,0	122,9	42,0	58,9	288,5	196,9	58,0	292,8
<u>Muestra</u> 65	36,2	58,7	21,2	41,9	63,8	39,9	29,4	58,1	50,6
66	43,7	32,5	14,2	41,5	56,3	35,6	20,0	58,5	34,2
<u>Muestra</u> 86	67,4	36,5	24,6	85,7	32,6	12,6	4,1	14,3	28,7
<u>Perfil 5</u> B	69,2	93,0	64,3	78,9	30,8	55,9	17,2	21,1	81,5
BC	47,2	351,7	166,0	73,8	52,8	111,3	58,8	26,2	224,8
C	74,2	119,1	88,4	75,8	25,8	109,4	28,2	24,2	116,6

<u>Perfil 2</u> A <sub>1,1</sub>	52,8	112,0	59,1	67,1	47,2	61,2	28,9	32,9	88,0
A <sub>1,2</sub>	54,5	102,3	55,7	66,6	45,5	61,4	27,9	33,4	83,6
B	54,8	111,5	61,1	64,8	45,2	73,5	33,2	35,2	94,3
C	37,1	97,6	36,2	52,1	62,9	52,9	33,3	47,9	99,5
D	12,2	106,1	12,9	6,4	87,8	214,1	188,0	93,6	200,9
E	50,2	114,8	57,6	49,4	49,9	118,4	59,0	50,6	116,6

## B.2. Discusión de los valores del fósforo total.

### B.2.1. Valores absolutos.

Debido al distinto origen del substrato de los sedimentos detríticos, los valores de fósforo difieren a su vez entre ellos.

B.2.1.a. El perfil 4 consiste en una terraza muy larga donde sedimento y el cambio de la composición química se reflejan también en los valores del fósforo total. En efecto, el substrato consiste en diferentes capas depuestas consecutivamente con el transcurso del tiempo. Por lo tanto, los valores absolutos de fósforo total en las dos fracciones muestran variaciones bastante significativas pero arbitrarias.

El fósforo en la fracción < 1 mm por ejemplo oscila entre 320,2 y 138,3 ppm, mientras que el contenido en la fracción > 1 mm varía entre 288,5 y 176,8 ppm.

Es decir que los valores del fósforo pueden ser útil para la determinación de un substrato tanto heterogéneo como homogéneo.

También se confirma el fenómeno de la igualdad de los valores en las dos fracciones que encontramos en los suelos poco evolucionados sobre gneis y granito.

B.2.1.b. Las muestras 65 y 66 tienen también origen en un sustrato C. Como hemos dicho anteriormente, la composición química en el sedimento varía bastante de modo que encontramos aquí valores bajos en fósforo con respecto al perfil precedente. Pero se observan también una igualdad de los valores en las dos fracciones, lo cual es típico para suelos poco evolucionados.

B.2.1.c. La muestra 86 consiste en un horizonte A, lo cual se confirma por una diferencia bastante grande entre las dos fracciones, debido a un lavado y por tanto a una erosión que se refleja en el valor muy bajo de 12,6 en la fracción > 1 mm.

B.2.1.d. El perfil 5 consiste en un suelo pardo calizo en el cual se ha formado la formación de un horizonte B y Bc. Los horizontes B y BC tienen valores altos de fósforo en la fracción < 1 mm, confirmando el fenómeno estudiado anteriormente de la acumulación en los horizontes B. La diferencia es bastante significativa con valores de 93,0 y 351,7 en la fracción < 1 mm con respecto a 55,9 y 111,3 en la fracción > 1 mm. Por otro lado, el horizonte C tiene valores iguales en las dos fracciones (119 y 109), es decir que presente el fenómeno típico de un horizonte C.

B.2.1.e. El perfil 2 consiste en un suelo pardo ácido que se caracteriza por un horizonte B típico. Los valores de fósforo en la fracción < 1 mm superan en casi el doble a los de la fracción > 1 mm en los horizontes A<sub>1,1</sub>, A<sub>1,2</sub>, B y C. Lo más típica consiste en el cambio en el horizonte D. En efecto, este horizonte con origen distinto con respecto al horizonte C muestra una variación clara en los valores de fósforo en el sentido que la fracción > 1 mm tiene un contenido doble del que encontramos en la fracción < 1 mm. Por otro lado, el horizonte E tiene de nuevo una igualdad en los dos fracciones.

B.2.2. Valores reales.

B.2.2.a. Los horizontes C o sea el perfil 4 y las muestras 65 y 66 confirman la regla que hemos encontrado anteriormente en los suelos poco evolucionados. En efecto los valores reales de fósforo en la fracción  $> 1$  mm superan siempre los valores de fósforo en la fracción  $< 1$  mm, a excepción del horizonte  $C_1$ , confirmando de nuevo la tesis de una reserva de fósforo en las partículas gruesas cuando se trata de suelos jóvenes y sobre todo de substratos no modificados.

El contenido de fósforo en la fracción  $< 1$  mm no alcanzan el 50 % del total - a excepción del horizonte antes señalado, debido a la falta de lavado.

B.2.2.b. Al contrario, la muestra 86 muestra un valor de fósforo bastante más elevado en la fracción  $< 1$  mm con respecto a la fracción  $> 1$  mm, con un porcentaje de 85,7. Es decir que, un horizonte A se caracteriza también por una diferencia entre los valores de fósforo en el sentido de que el fósforo de la fracción  $< 1$  mm presenta valores más altos debido a una erosión más fuerte y una acumulación de materia orgánica en la capa superior.

B.2.2.c. Los valores del suelo pardo calizo, es decir del perfil 5, se muestran muy altos en la fracción  $< 1$  mm, sobre todo en el horizonte BC. Los porcentajes del fósforo en la fracción  $< 1$  mm oscilan entre 78,9 y 73,8, debido a una erosión y acumulación que se ha producido de forma muy moreada en los horizontes B y BC. El valor muy alto (75,8) en el horizonte C tenemos que atribuirlo a la

composición granulométrica ya que hay mayor concentración de elementos finos.

B.2.2.d. Por fin el perfil 2 nos da el mismo fenómeno de los suelos pardos ácidos sobre granito y gneis, es decir que el fósforo en la fracción < 1 mm tiene valores casi el doble con respecto a la fracción > 1 mm y que el porcentaje de fósforo en las partículas finas disminuye gradualmente con la profundidad.

La presencia de un horizonte D, distinto de origen con respecto al horizonte C se refleja perfectamente en los valores reales. En efecto el porcentaje del fósforo en la fracción < 1 mm disminuye de 52,1 hasta 6,4, mientras que se produce un aumento de 47,9 hasta 93,6 en la fracción > 1 mm. Este fenómeno nos indica la presencia de un sedimento muy duro y grueso en el cual la reserva en fósforo no se ha puesto en libertad por medio de erosión.

El horizonte E por fin consiste también en un sedimento distinto y de nuevo se observa un cambio en la distribución del fósforo total. Por tanto tenemos aquí la prueba de la utilidad de una determinación de fósforo total como medio de caracterizar o confirmar la presencia de substratos de distintos orígenes.

.....

C. Composición de las formas de fósforo en la fracción < 1 mm  
 .....  
 .....

Porcentajes en la composición total de cada muestra.

		P.O.	AlP	FeP	CaP	FeP.2.	AlP.2.
<u>Perfil 4</u>	C <sub>1</sub>	0,6	2,7	6,8	33,7	8,8	0,7
	C <sub>2</sub>	0,03	1,3	6,7	28,4	9,2	0,8
	C <sub>3</sub>	-	1,7	4,4	24,4	5,2	0,2
	C <sub>4</sub>	-	1,9	5,6	34,6	6,7	0,3
	C <sub>5</sub>	-	1,0	4,1	30,2	6,2	0,3
<u>Muestra</u>	65	4,6	6,1	11,6	6,9	9,0	3,9
	66	7,9	5,7	10,5	4,3	7,1	3,1
<u>Muestra</u>	86	23,5	1,9	19,2	15,0	11,3	11,7
<u>Perfil 5</u>	B	15,4	12,6	1,7	28,9	14,6	4,1
	BC	-	2,1	14,2	44,8	12,6	0,3
	C	-	1,3	-	57,3	14,7	1,9
<u>Perfil 2</u>	A <sub>1,1</sub>	15,0	10,8	3,9	20,5	10,3	6,0
	A <sub>1,2</sub>	14,9	8,6	2,8	25,6	10,0	4,6
	B	8,5	7,5	18,3	14,5	12,8	1,2
	C	5,3	5,7	7,5	15,6	17,4	0,7
	D	0,2	0,4	1,3	1,8	2,5	0,1
	E	-	2,6	12,1	13,9	19,8	0,3

D. Discusión de los valores del fósforo ligado al calcio.  
.....

Hemos encontrado en los suelos sobre granito el fenómeno de una disminución gradual de los valores de fósforo ligado al calcio cuando los perfiles progresan en la dirección de una mayor evolución. Los suelos degradados finalmente han demostrado una cantidad muy baja de fósforo ligado al calcio.

En los suelos sobre gneis no hemos podido confirmar este fenómeno por razón de la naturaleza más ácida del gneis y sobre todo de la inexistencia de una reserva en calcio en los suelos poco evolucionados. Es decir que la composición inicial del substrato tiene una importancia primordial desde el punto de vista del fósforo ligado al calcio.

Por tanto, la composición variable del sedimento detrítico se refleja también en los valores de CaP.

El perfil 4 por otra parte tiene valores bastante altos de CaP confirmando así la tesis de los suelos poco evolucionados sobre granito, y además la muestra 65 y 66 tiene valores bajos de CaP, aunque se trata de substrato inicial.

En el perfil 5 se ha producido una cierta acumulación debido a un lavado pero los valores en CaP alcanzan el 44,8 % en el horizonte BC y el 57,3 en el horizonte C. Tenemos entonces la prueba definitiva de que el CaP está sujeto a un lavado y transporte con la profundidad en el caso de una reserva inicial de calcio en el suelo.

El fósforo ligado al calcio en el perfil 2 sólo se muestra relativamente alto en los horizontes A, lo cual tiene ser atribuido al efecto de la vegetación. Por otro lado vemos que la cantidad presente es baja en los horizontes más profundos.

E. Discusión de los valores del fósforo ligado al aluminio.  
.....

E.1. El AlP. El fenómeno de una disminución gradual con la profundidad del fósforo ligado al aluminio en forma libre se confirma de nuevo en los perfiles 2 y 5. Las otras muestras del substrato inalterado ni tienen sentido para este estudio por razón de la ausencia de horizontes diferenciados por medio de un lavado y por tanto tampoco se ha producido una emigración de elementos químicos.

E.2. El AlP.2. En los dos verdaderos perfiles 2 y 5 en que se ha producido una cierta emigración, aparece una disminución con la profundidad de los valores de fósforo ligado al aluminio en forma ocluida.

Se confirman de nuevo las conclusiones anteriores en el caso de perfiles en los cuales ha comenzado el lavado pero en lo que no se ha producido todavía una acumulación grande, en general podemos concluir que una emigración de fósforo ligado al aluminio sólo se produce claramente en el momento que se ha formado el horizonte de lavado A<sub>2</sub>.

F. Discusión de los valores del fósforo ligado al hierro.  
.....

F.1. el FeP. Al contrario del fósforo ligado al aluminio, el fósforo ligado al hierro en forma libre muestra una acumulación significativa en el horizonte BC del perfil 5 y en el horizonte B del perfil 2. Los valores de 14,1 y de 18,3

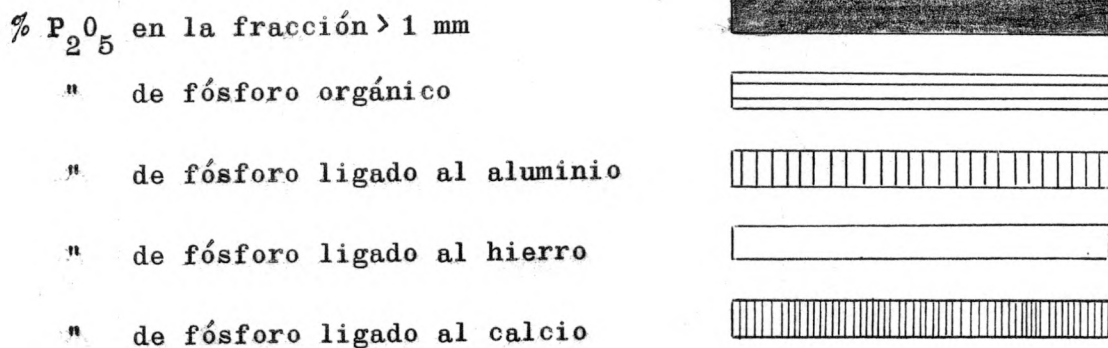
son bastante elevados con respecto a los horizontes A y C.

Por otro lado, los valores de las muestras del sedimento detrítico (15,16,17,18,20,65 y 66) casi no varían entre ellos, lo cual es insí una prueba negativa, es decir que una acumulación de FeP unicamente podemos atribuir a la presencia de un lavado real.

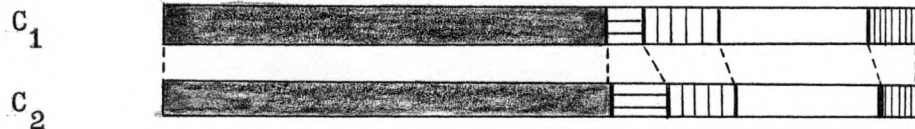
F.2. El FeP<sub>2</sub>, Con respecto a los valores del fósforo ligado al hierro en forma ocluida no se pueden encontrar grandes diferencias. En efecto, hemos visto el mismo fenómeno en los suelos sobre gneis y granito.

Esto nos indica la importancia primordial de la forma libre en el ciclo de la emigración.

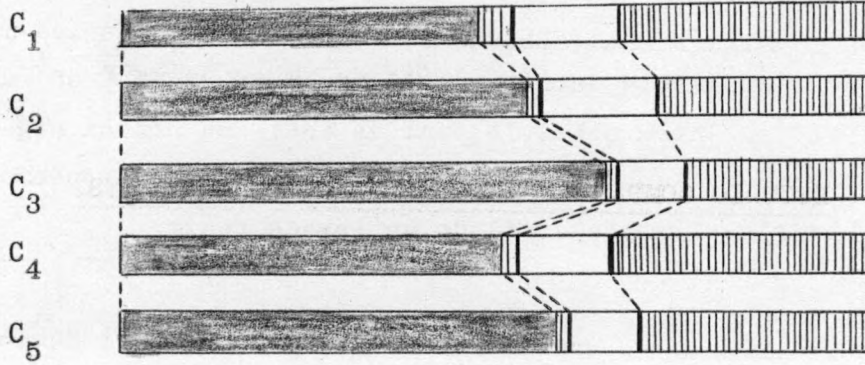
Por fin, tampoco los valores de las muestras del substrato difieren entre ellos apreciablemente, es decir que ocurre como en el caso del FeP.



Perfil 16



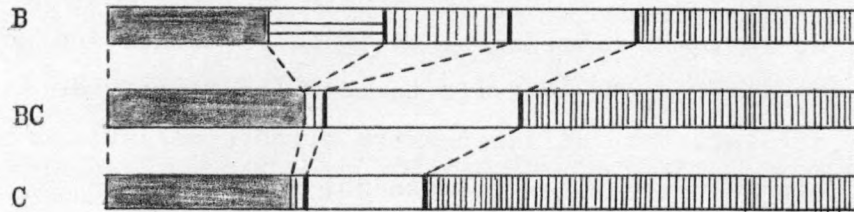
Perfil 4



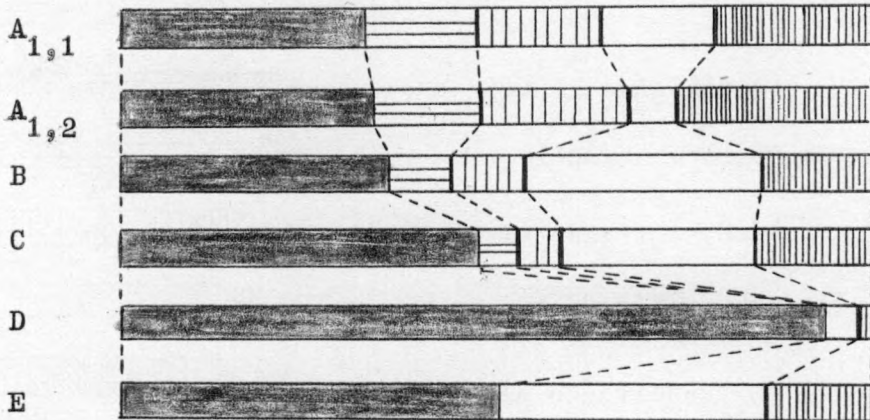
Muestra 86



Perfil 5



Perfil 2



C A P I T U L O 11.

---

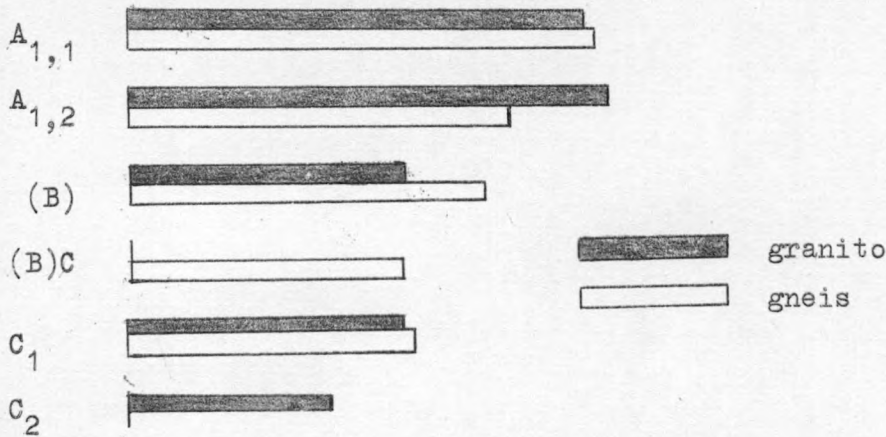
ESTUDIO COMPARATIVO Y CONCLUSIONES GENERALES.

Estudio comparativo de la distribución del fósforo en perfiles del mismo grado de desarrollo.

A. Fósforo total en la fracción < 1 mm, teniendo en cuenta la proporción de esta fracción de suelo. (valores medios)

A.a. Los suelos del tipo A(B)C (perfiles 25, 23 y 1; 14, 26; 18, 2)

	A <sub>1,1</sub>	A <sub>1,2</sub>	A <sub>1,3</sub> b (B)	(B)C	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
Granito	60,5	63,6	36,9	(x)	36,5	26,5
Gneis	61,5	50,9	47,1	36,8	37,4	(x)



A.b. Los suelos del tipo A-B-C (perfiles 3, 13, 9, 17 y 15, 19)

	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> C	C
Granito	70,8	67,6	59,7	63,4	63,8	43,8
Gneis	56,3	(x)	61,7	67,2	51,8	47,2



C A P I T U L O 11.

---

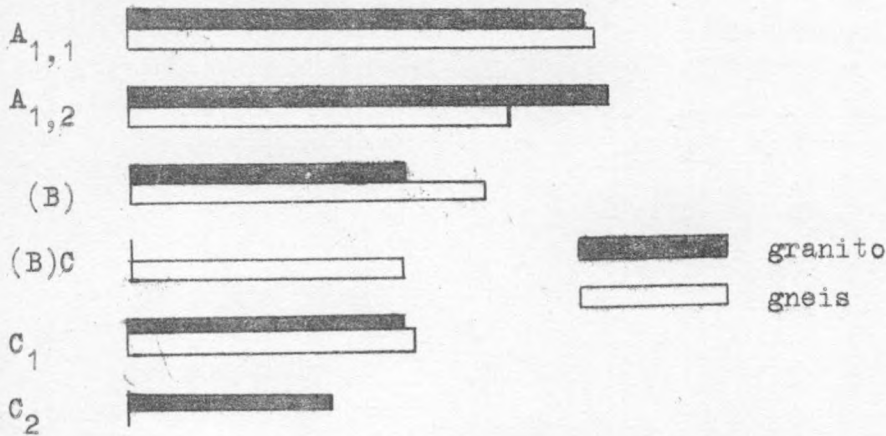
ESTUDIO COMPARATIVO Y CONCLUSIONES GENERALES.

Estudio comparativo de la distribución del fósforo en perfiles del mismo grado de desarrollo.

A. Fósforo total en la fracción < 1 mm, teniendo en cuenta la proporción de esta fracción de suelo. (valores medios)

A.a. Los suelos del tipo A(B)C (perfiles 25, 23 y 1; 14, 26; 18, 2)

	A <sub>1,1</sub>	A <sub>1,2</sub>	A <sub>1,3</sub> b (B)	(B)C	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
Granito	60,5	63,6	36,9	(x)	36,5	26,5
Gneis	61,5	50,9	47,1	36,8	37,4	(x)



A.b. Los suelos del tipo A-B-C (perfiles 3, 13, 9, 17 y 15, 19)

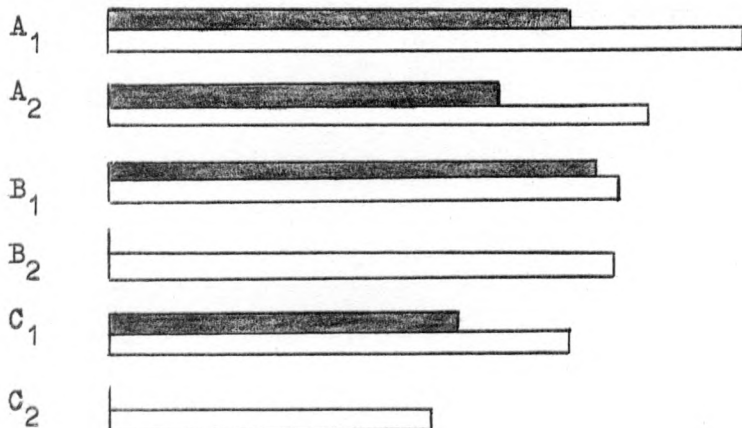
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>2</sub> C	C
Granito	70,8	67,6	59,7	63,4	63,8	43,8
Gneis	56,3	(x)	61,7	67,2	51,8	47,2



A.c. Los suelos del tipo A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, C. (perfiles 11, 7 y 20; 21)

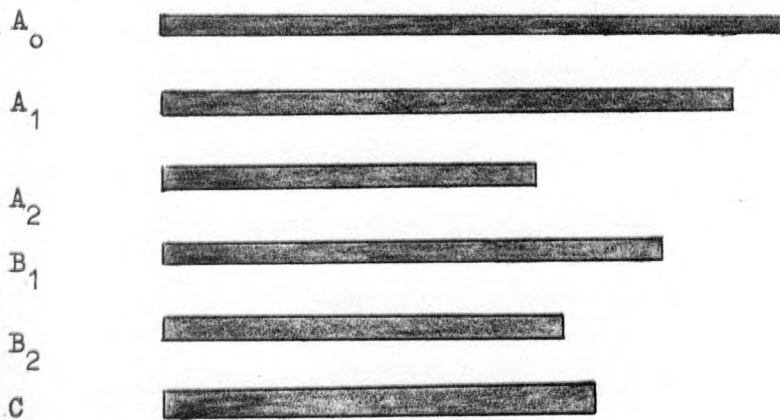
Lavado medio.

	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
Granito	60,7	51,4	64;1	(x)	46,6	(x)
Gneis	83,7	71,8	67,7	66,3	60,8	43,1



A.d. Los suelos del tipo A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, C. (perfiles 8, 12 y 6)

	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C
Granito	82,2	76,4	49,0	65,9	53,1	57,5



A.e .Conclusiones generales sobre el fósforo total en los suelos de  
.....  
igual estado de desarrollo sobre granito y gneis.  
.....

1/Valores absolutos.

Fracción > 1 mm

- a) Suelos jóvenes: son cifras altas que aumentan con la profundidad, lo cual corresponde a la erosión mínima de las partículas gruesas.
- b) Suelos con horizonte B estructural: Los valores han disminuido, debido al mismo tiempo a una erosión significativa y a un lavado.
- c) Suelos con horizontes B textural: Los valores se mantienen muy bajos, y consisten en un 30 % de los de la fracción fina en el caso de granito como mínimo y en 40 % en el caso de gneis.

Fracción < 1 mm

- a) Suelos jóvenes: Cuando se trata de suelos que tienen una reserva en calcio; se observa una igualdad en los valores en todos los horizontes. Los suelos sin reserva en calcio, es decir los suelos ácidos muestran una disminución con la profundidad. Las cantidades evaluadas son siempre relativamente altas.
- b) Suelos con horizonte B estructural: Los valores superan los de la fracción > 1 mm. En los suelos sobre granito se observa que los valores más altos se encuentran en la capa superior, mientras que este fenómeno no se ha producido tan claro en los suelos sobre gneis.

- c) Suelos con horizonte B textural: La diferencia se hace más grande entre los valores de los horizontes A y B por una parte y el horizonte C por otra, debido a la influencia del enriquecimiento de la materia orgánica en las capas superiores. En los suelos sobre gneis se observa una proporción del 60 % fina en el horizonte B, indicando una cierta acumulación.
- d) Suelos con podsolización: El horizonte de lavado  $A_2$  tiene valores muy bajos sobre todo con respecto a los del horizonte de enriquecimiento B.

2/Valores reales.

Fracción > 1 mm

- a) suelos jóvenes: Los valores aumentan constantemente con la profundidad. En el caso de suelos sobre granito tenemos porcentajes que oscilan entre 26 como mínimo y 73,5 como máximo, mientras que los suelos sobre gneis tienen porcentajes entre 32 y 76, es decir que existe una gran similitud.
- b) Suelos con horizonte B estructural: Los valores son poco elevados y no superan prácticamente nunca los de la fracción fina.
- c) Suelos con horizonte B textural: Los valores aparecen insignificantes en todos los horizontes.

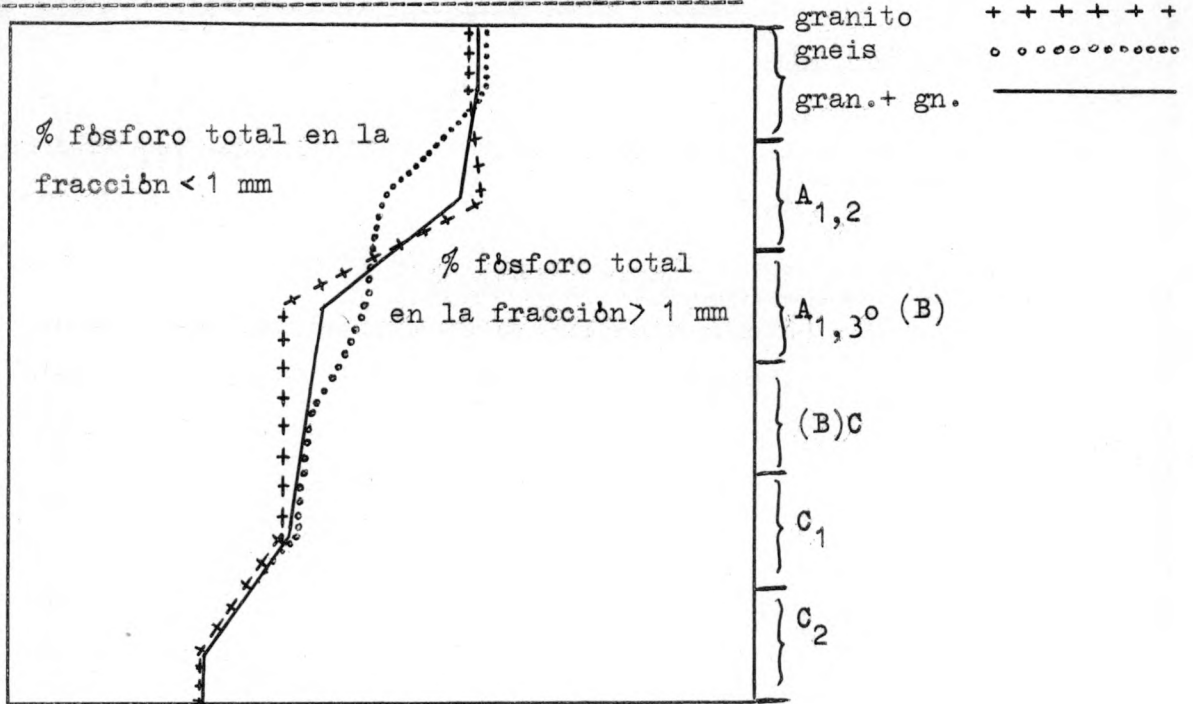
Fracción < 1 mm.

- a) Suelos jóvenes: El fósforo disminuye constantemente con la profundidad.
- b) Suelos con horizonte B estructural: La disminución, aunque menos pronunciada, existe siempre en los suelos sobre granito, mientras que en los suelos sobre gneis se ha producido una distribución uniforme en todos los horizontes.
- c) Suelos con horizonte B textural: Se ha producido una disminución en el horizonte de lavado  $A_e$  y una acumulación significativa en los horizontes de enriquecimiento B.

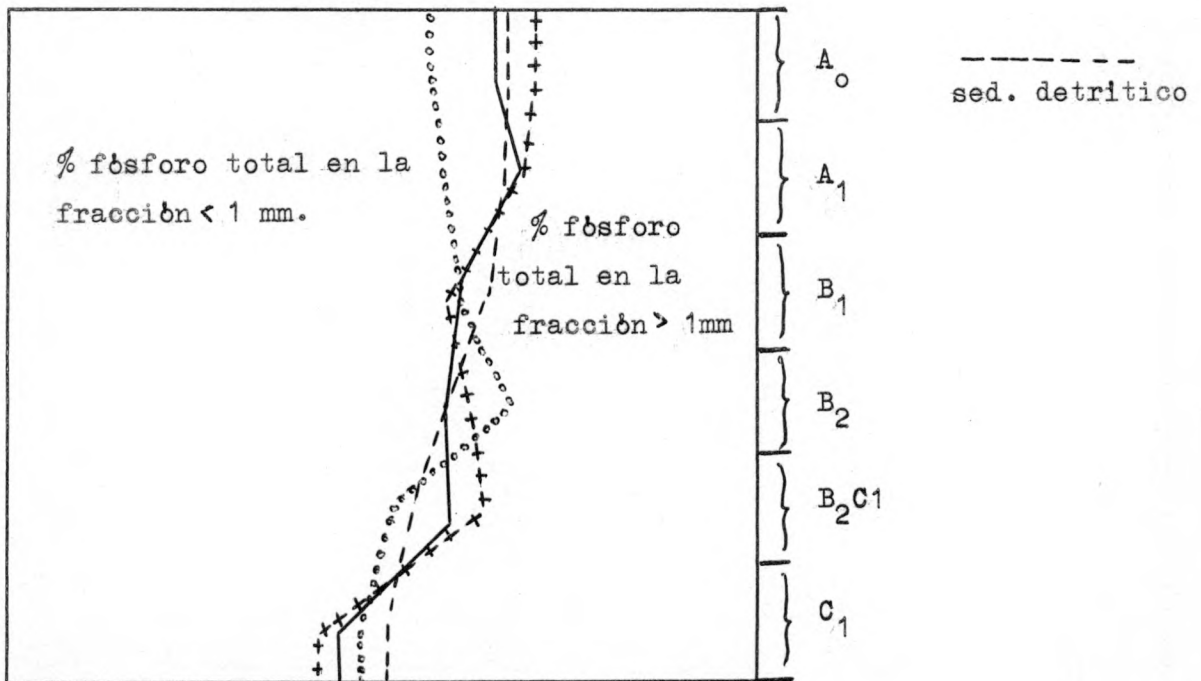
Suelos con fenómenos especiales:

- a) Si se trata de un suelo formado sobre substratos distintos, los valores de fósforo total (absolutos y reales) muestran también una distribución variable en los distintos substratos. El fósforo total sirve entonces como prueba de homogeneidad o heterogeneidad.
- b) Si se trata de suelos de composición granulométrica muy fina, aunque siempre de tipo arenoso, los porcentajes en favor del fósforo en la fracción < 1 mm aparecen más altos.

La distribución en los suelos del tipo A(B)C.

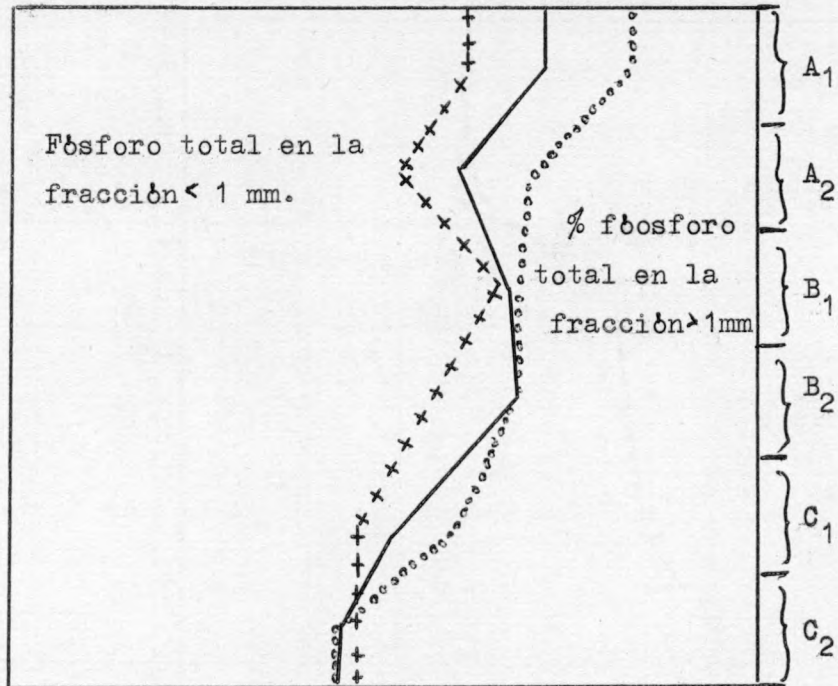


La distribución en los suelos del tipo A-B-C.



La distribución en los suelos del tipo A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, C

Lavado  
medio



La distribución en los suelos del tipo A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, C. Lavado intenso

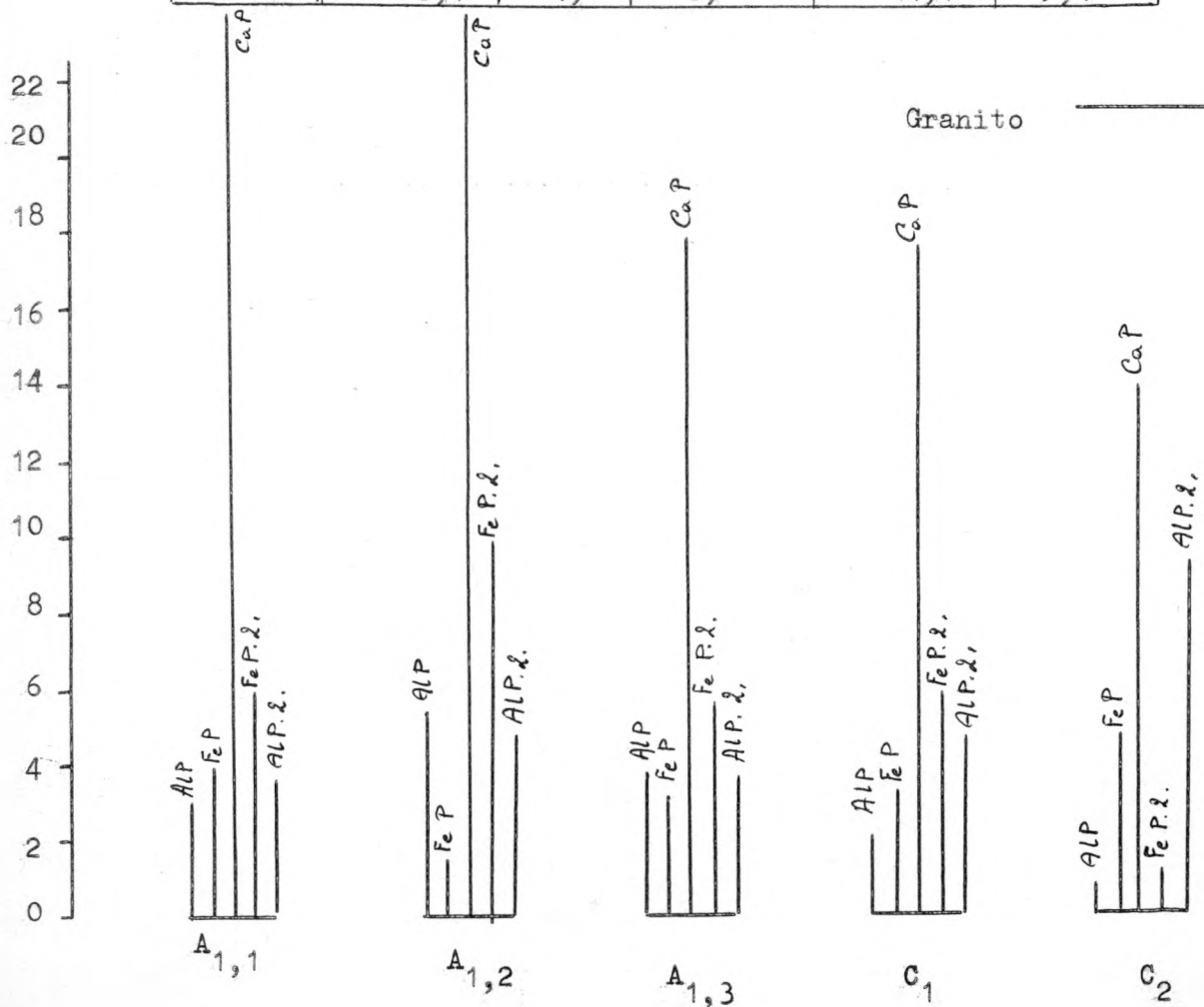


B. Distribución de las formas de fósforo en la fracción < 1 mm,  
teniendo en cuenta la proporción de esta fracción. (Valores  
medios)

B.a. Suelos del tipo A(B)C en que se encuentra una reserva de calcio

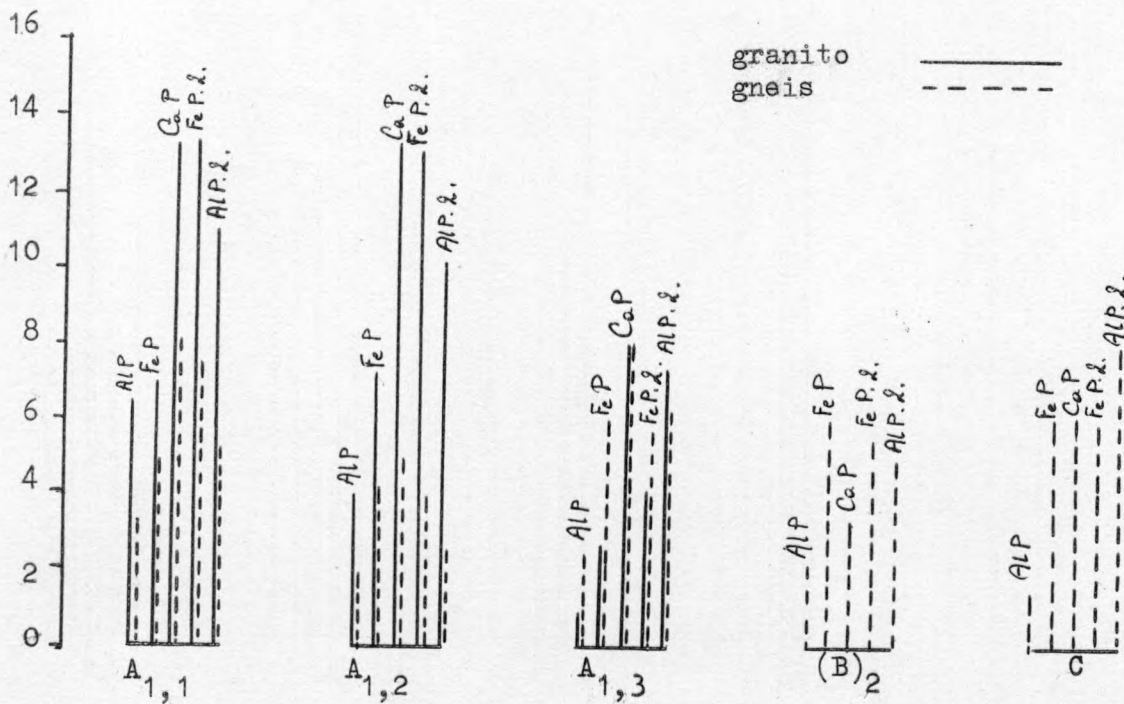
Sólo granito. Perfiles 23 y 1.

	A <sub>1,1</sub>	A <sub>1,2</sub>	A <sub>1,3</sub> <sup>o</sup> (B)	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
AlP	3,0	5,3	3,7	2,3	0,8
FeP	4,0	1,5	3,0	3,1	4,7
CaP	27,0	34,4	17,9	17,6	14,0
FeP.2.	6,3	10,1	5,5	5,9	1,1
AlP.2.	3,7	4,8	3,8	4,7	9,4



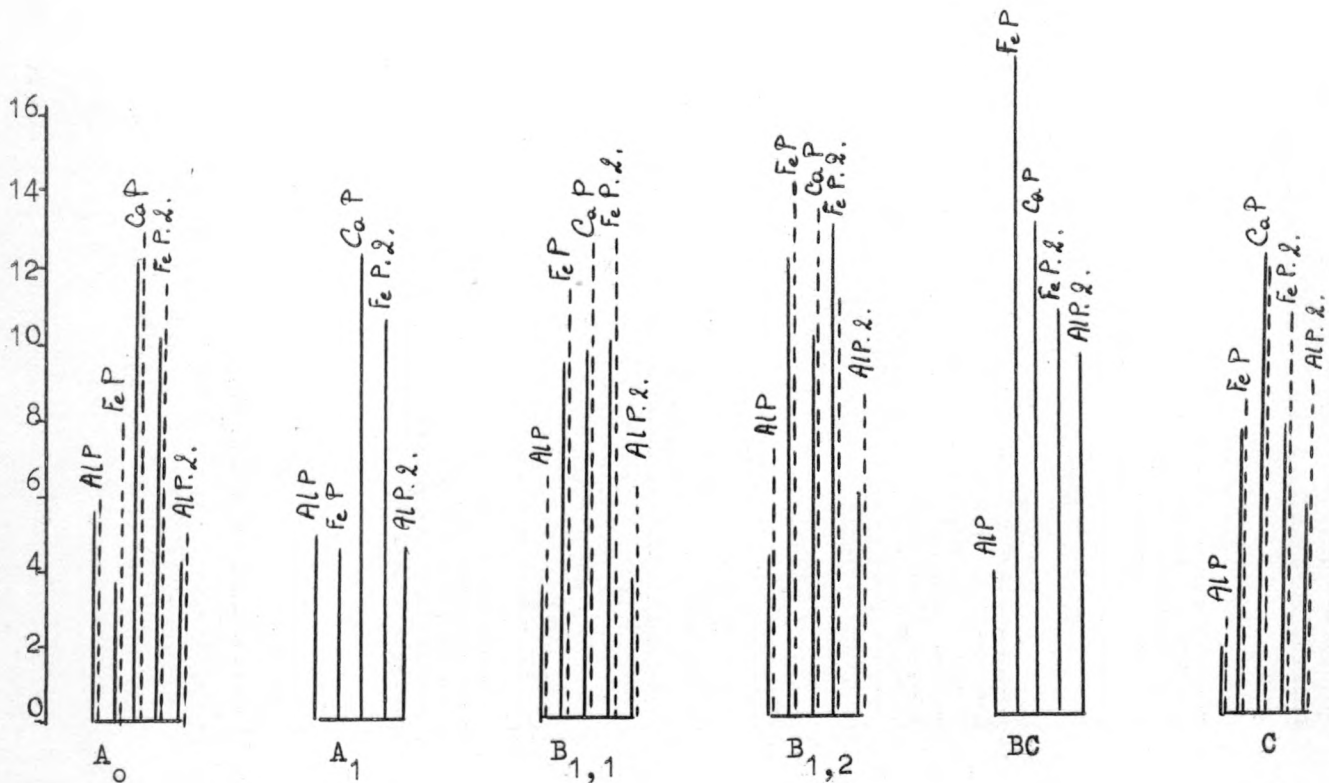
B.b. Suelos del tipo A(B)C sin reserva en calcio. Perfiles 25, 14, 26  
18 y 24)

	A <sub>1,1</sub>	A <sub>1,2</sub>	A <sub>1,3</sub> <sup>o</sup> (B)	(B) <sub>2</sub>	C
AlP.granito	6,4	4,1	0,8	(x)	(x)
AlP.gneis	3,2	1,9	2,7	2,3	1,6
FeP.granito	7,1	7,3	2,8	(x)	(x)
FeP.gneis	4,9	4,2	6,1	5,9	6,1
CaP.granito	13,4	13,3	8,0	(x)	(x)
CaP.gneis	8,1	5,1	8,1	3,4	6,1
FeP.2.granito	13,3	13,1	4,1	(x)	(x)
FeP.2.gneis	7,4	4,0	5,8	5,6	5,9
AlP.2.granito	11,1	10,3	7,5	(x)	(x)
AlP.2.gneis	5,3	2,7	6,3	5,1	8,1



B.c. Suelos del tipo A-B-C. Perfiles 3, 13, 9 y 17 para el granito y perfiles 15 y 19 para el gneis.

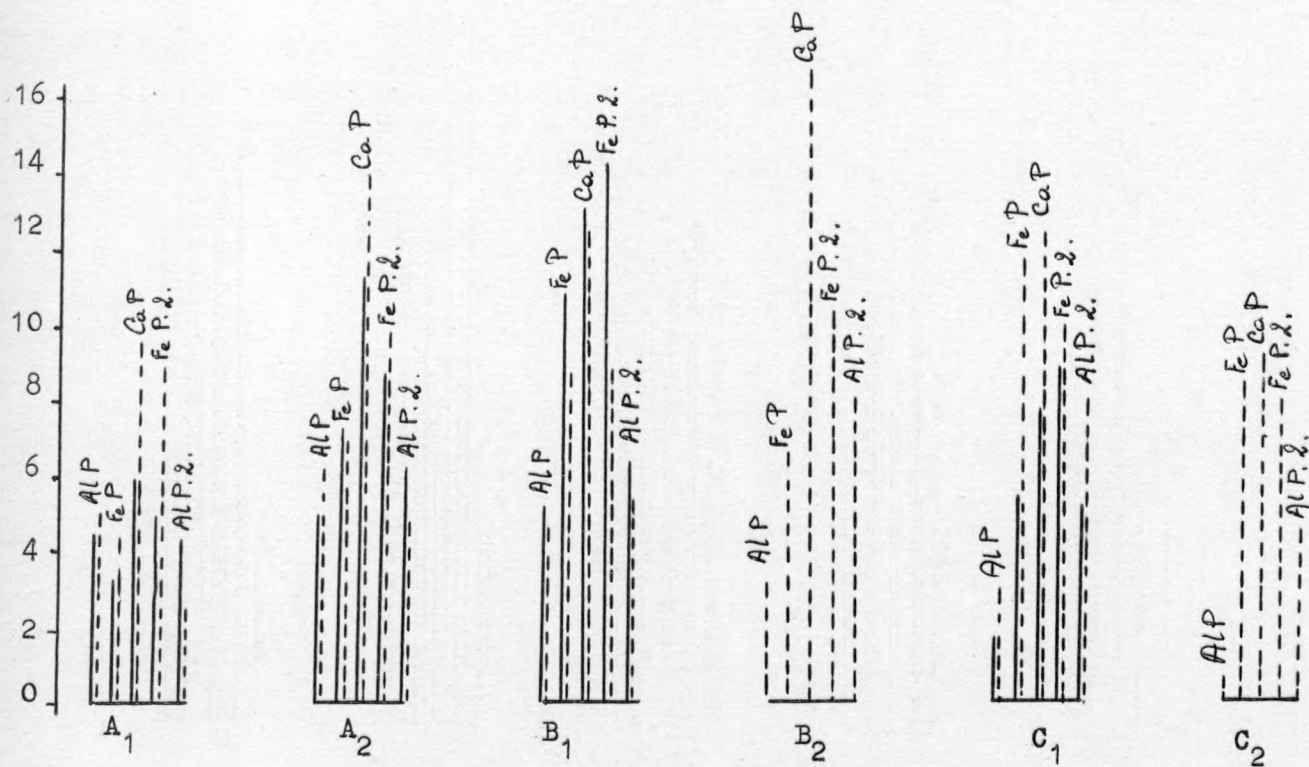
	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	B <sub>1,1</sub>	B <sub>1,2</sub>	BC	C
AlP. granito	5,7	5,0	3,5	4,1	3,7	2,8
AlP. gneis	6,1	(x)	6,6	7,1	(x)	2,5
FeP. granito	3,8	4,5	9,4	12,1	17,5	7,8
FeP. gneis	7,9	(x)	11,4	14,1	(x)	8,3
CaP. granito	12,2	12,3	9,9	10,1	13,0	12,4
CaP. gneis	13,0	(x)	12,5	13,5	(x)	11,7
FeP.2. gran.	10,3	10,6	10,0	12,9	10,8	7,4
FeP.2. gneis	11,8	(x)	12,7	11,3	(x)	10,4
AlP.2. gran.	4,3	4,5	3,7	5,7	9,8	5,7
AlP.2. gneis	5,2	(x)	6,1	8,5	(x)	8,9



B.d. Suelos del tipo A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, C. Lavado medio.

Perfiles 11 y 7 para el granito y 20 y 21 para el gneis.

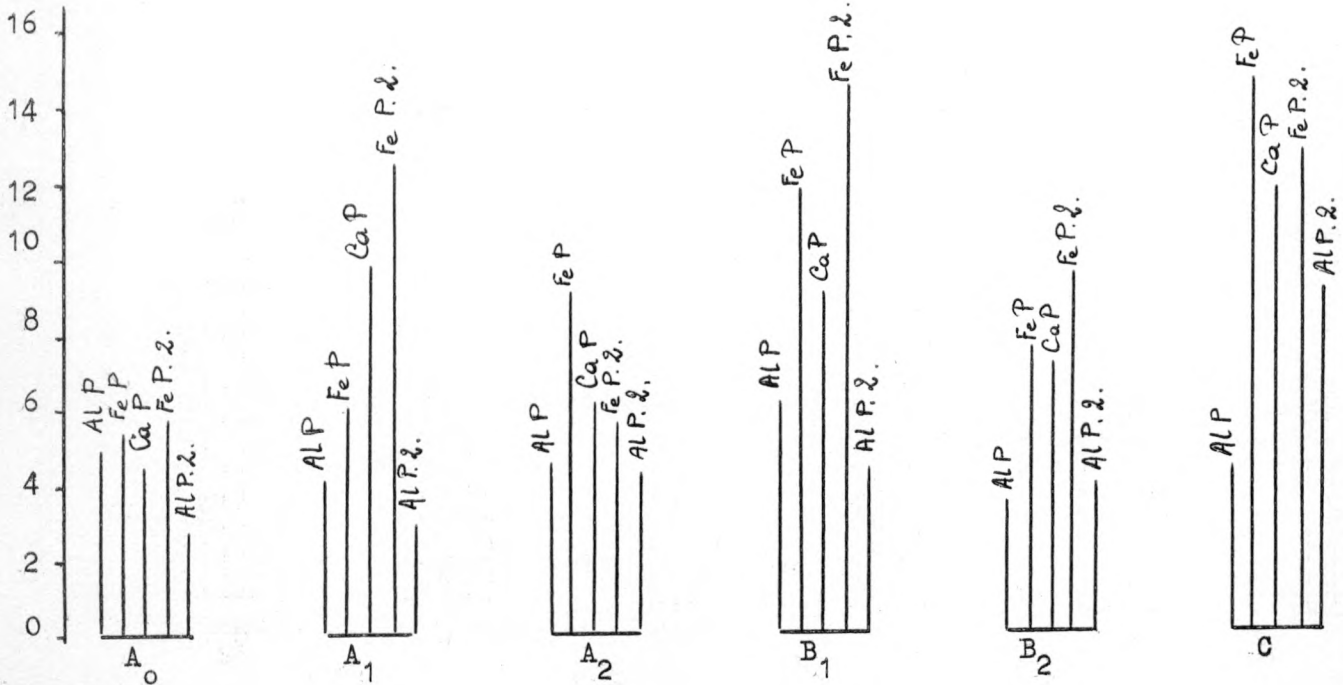
	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>
AlP.granito	4,5	5,0	5,3	(x)	1,7	(x)
AlP.gneis	5,0	6,3	4,8	3,3	3,0	0,7
FeP.granito	3,8	7,2	10,9	(x)	5,4	(x)
FeP.gneis	4,4	7,0	8,7	6,6	11,8	8,6
CaP.Granito	6,1	11,3	13,1	(x)	7,8	(x)
CaP.Gneis	9,5	14,1	12,7	16,8	12,7	9,2
FeP.2.granito	4,9	8,8	14,3	(x)	9,0	(x)
FeP.2.gneis	9,1	9,8	8,9	10,3	10,0	8,0
AlP.2.granito	4,3	6,2	6,5	(x)	5,3	(x)
AlP.2.gneis	2,5	4,9	5,4	8,1	7,9	4,5



B.e. Suelos del tipo A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, B, C. Lavado intenso.

Perfiles 8, 12 y 6 para el granito.

	A <sub>0</sub>	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C
ALP.granito	5,1	4,2	4,5	6,1	3,5	4,4
FeP.granito	5,4	6,1	9,1	11,8	7,7	14,5
CaP.granito	4,7	9,8	6,1	9,1	7,2	11,5
FeP.2.granito	5,8	12,5	5,4	14,7	9,7	12,6
ALP.2.granito	2,4	2,8	4,3	4,1	3,8	9,1



C. Conclusiones generales sobre el fósforo ligado al calcio en los suelos del mismo estado de desarrollo sobre granito y gneis.

C.a. Valores absolutos:

Los suelos jóvenes con reserva en calcio : Los valores sob los más elevados de toda la serie y alcanzan hasta 170 ppm.

Los suelos jóvenes sin reserva en calcio: Los valores no sobrepasan el valor de (0 ppm y se ha producido una ligera acumulaci3n en profundidad.

Los suelos evolucionados:A medida que se producen las capas de empobrecimiento y de enriquecimiento, tanto menores son los valores absolutos.

C.b. Valores reales:

Los suelos jóvenes con reserva en calcio:Adem3s de los valores altos, se ha producido una ligera disminuci3n con la profundidad, la cual se debe a la proporci3n de la fracci3n fina.

Los suelos jóvenes sin reserva en calcio:Los valores son poco elevados y se observa una cierta acumulaci3n en la profundidad.

Los suelos evolucionados: Se ha producido el fen3meno de una ligera acumulaci3n con la profundidad en el primer estado de evoluci3n, mientras que las fases regresivas muestran valores bajos y poco diferenciados.

Existe una correlaci3n significativa de 0.93 entre el f3sforo ligado al calcio y el  $pH_{KCl}$  de acuerdo con la ecuaci3n  $y = -37,87 + 14,06 x$ .

D. Conclusiones generales del fósforo ligado al aluminio en los suelos con el mismo estado de desarrollo sobre granito y gneis.

D.a. Valores absolutos:

Practicamente en todos los perfiles, los valores de fósforo ligado al aluminio en forma libre disminuyen constantemente con la profundidad. los valores oscilan entre 28,5 y 0,6 ppm en el caso de suelos sobre granito y de 21,1 hasta 0,7 en los suelos sobre gneis.

Por otro lado; los valores del fósforo ligado al aluminio en forma ocluida aumentan con la profundidad.

D.b. valores reales.

El fósforo ligado al aluminio en forma libre sigue la misma regla que hemos encontrado para los valores absolutos; es decir una disminución gradual pero solamente en los suelos poco evolucionados. Desde el momento que se ha producido más intensamente la formación del horizonte B, se ve una ligera acumulación en estos horizontes.

El fósforo ligado al aluminio en forma ocluida no muestra una definida tendencia con la profundidad. Parece que en los suelos poco evolucionados presenta tendencia a disminuir y en cambio los más evolucionados a aumentar destacando la acumulación en el horizonte B, como era de esperar.