

**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID**  
**FACULTAD DE FARMACIA**  
**Departamento de Edafología**



**Efectos de los incendios forestales sobre las propiedades del  
suelo en un pinar de repoblación (pinus pinaster), en Arenas  
de San Pedro**

**MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR**

**María Teresa Iglesias López**

**Directoras**

**Juana González Parra**

**Carmen Fernández Bermejo.**

**Madrid 2005**

**ISBN: 978-84-8466-993-7**

**©María Teresa Iglesias López, 1993**

DEPARTAMENTO DE EDAFOLOGIA

Facultad de Farmacia

" EFECTOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES SOBRE LAS PROPIEDADES  
DEL SUELO EN UN PINAR DE REPOBLACION (PINUS PINASTER), EN  
ARENAS DE SAN PEDRO (AVILA)"

Memoria que, para optar al Grado de Doctora en Farmacia presenta M<sup>a</sup> Teresa Iglesias López, realizada bajo la dirección de la Dra Dña Juana Gonzalez Parra y la Dra Dña Carmen Fernández Bermejo.

Las directoras

La doctoranda

Fdo: Dra Dña J. González Parra

Fdo: M.T.Iglesias López

Fdo: Dra Dña C. Fernández Bermejo

Universidad Complutense de Madrid

1993

A Ignacio por su amor

1. OBJETO DE TRABAJO
2. INTRODUCCION GENERAL
  - 2.1 EFECTOS ECOLÓGICOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES SOBRE LA VEGETACIÓN
  - 2.2 EFECTOS ECOLÓGICOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES SOBRE EL ECOSISTEMA  
EDÁFICO: ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS
3. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO
  - 3.1 GEOLOGÍA
  - 3.2 VEGETACIÓN
  - 3.3 CLIMA
  - 3.4 SUELOS
4. MATERIAL Y METODOS
  - 4.1 LOCALIZACIÓN DE MUESTRAS
  - 4.2 DESCRIPCIÓN DE PERFILES
  - 4.3 METODOLOGÍA
5. RESULTADOS Y DISCUSION
  - 5.1 SERIE I
  - 5.2 SERIE II
  - 5.3 SERIE III
  - 5.4 SERIE IV
  - 5.5 SERIE V
6. DISCUSION GENERAL
7. CONCLUSIONES
8. BIBLIOGRAFIA

## 1. OBJETO DE TRABAJO

El objetivo del trabajo ha sido evaluar el impacto de un incendio forestal de *Pinus pinaster*, sobre el suelo. La duración del incendio fué de diez horas. La toma de muestras, se llevó a cabo a los diez meses del impacto, después de la tala y arrastre de pinos. Durante este periodo de tiempo, no hubo lluvias torrenciales.

El estudio se ha realizado en Cambisoles desarrollados a partir del el mismo material original (esquistos y cuarcitas), igual pendiente, y las mismas condiciones climáticas, variando orientación y altitud.

Se analizan las características morfológicas, químicas, fisico-químicas y mineralógicas de los suelos impactados, comparándolas con las de suelos testigo, con el fin de poner de manifiesto las repercusiones que el incendio ha tenido sobre el sustrato edáfico.

## 2. INTRODUCCION

Los efectos de los incendios forestales en el suelo son extremadamente variables, originando perturbaciones de muy distinta intensidad, siendo capaces de modificar en el suelo ciertas propiedades.

Los países de clima mediterráneo están sometidos a cambios meteorológicos bastante rápidos, lo que puede influir en el comportamiento del fuego. Los efectos del mismo sobre el medio natural son seculares ejerciendo un fuerte impacto sobre las comunidades vegetales y el paisaje. El problema de los incendios forestales está adquiriendo gran virulencia en los últimos años, sobre todo en éstos países asolando varios millones de hectáreas cada año, habiéndose intensificado en la últimas décadas, con la desaparición de grandes masas arboladas influyendo incluso en el ciclo hidrológico y ocasionando el empobrecimiento nutritivo de los suelos, constituyendo un factor decisivo en los procesos de erosión edáfica.

## 2.1 EFFECTOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES SOBRE LA VEGETACION

El ecosistema forestal se rige por un conjunto de fenómenos complejos, en los que el suelo, fauna y vegetación, viven en un perfecto equilibrio simbiótico (García Badell, 1987).

El fuego es un factor influyente en la dinámica de las comunidades vegetales, transformando un bosque en maleza cuando los incendios son demasiado frecuentes, y supone junto a la reducción de biomasa una gran pérdida de estructura y amplia movilización de materiales (Trabaud, 1980, Casal Jimenez et al., 1984 y Trabaud, 1989). Existen tres tipos de incendios forestales: de superficie, de copas y de humus; la mayoría de los incendios se comportan al menos en una etapa, como fuego de superficie, aunque lo más corriente en los bosques es la combinación de éste con el de copas, que engendra una gran liberación de energía, siendo las temperaturas en el interior de la masa forestal en combustión del orden de 1200-1400 °C, manteniéndose a unos metros la temperatura ambiental entre los 100-140 °C (Folch I Guillén, 1977 y Spurr y Barnes, 1982).

La agresión más importante y antigua que ha sufrido la biosfera es debida a los incendios forestales, puesto que está admitido que el fuego tuvo una importancia decisiva en la evolución biológica y cultural de la época postglaciar en la Región Mediterránea; su impacto juega un papel importante en la fisonomía y composición florística de las comunidades vegetales del medio natural. Así determinadas especies han

desarrollado un mecanismo de adaptación y se les llama pirófitas pasivas (*Quercus suber* y *Arbutus unedo*) y activas (*Erica scoparia* y *Daphne gnidium*), de la misma manera, unas comunidades típicas han sabido consolidar su posición en la sucesión gracias al fuego, a estas asociaciones se les llama climax de fuego (Naveh, 1975; Vega Hidalgo, 1978 y Granados Corona et al., 1986). La incidencia de los incendios puede influir, tal como indica Trabaud (1989), en la fitomasa de las comunidades al igual que constituye un factor importante en la determinación de la estructura de la vegetación, de la misma manera que ésta determina en gran manera la intensidad del fuego.

No es posible pues, prescindir del fuego al estudiar el medio natural, por constituir un factor limitante importante en regiones de bosque y de pradera de zonas templadas y tropicales con estaciones secas. Diferentes estudios han demostrado, que la flora y vegetación mediterránea actuales son consecuencia tanto de la selección y adaptación causadas por los cambios climáticos acaecidos desde el Plioceno, como de la acción selectiva de los incendios forestales especialmente frecuentes a fines del Terciario y en la desecación climática del último periodo interglaciar (García Fayes, 1987). Por la acción del fuego se altera el ciclo hidrológico, y la desaparición de masas arboladas provoca alteraciones climáticas, viéndose incrementado el xerofitismo; estando demostrada la relación entre clima, cubierta vegetal y fuego (Gregory y Walling, 1987).

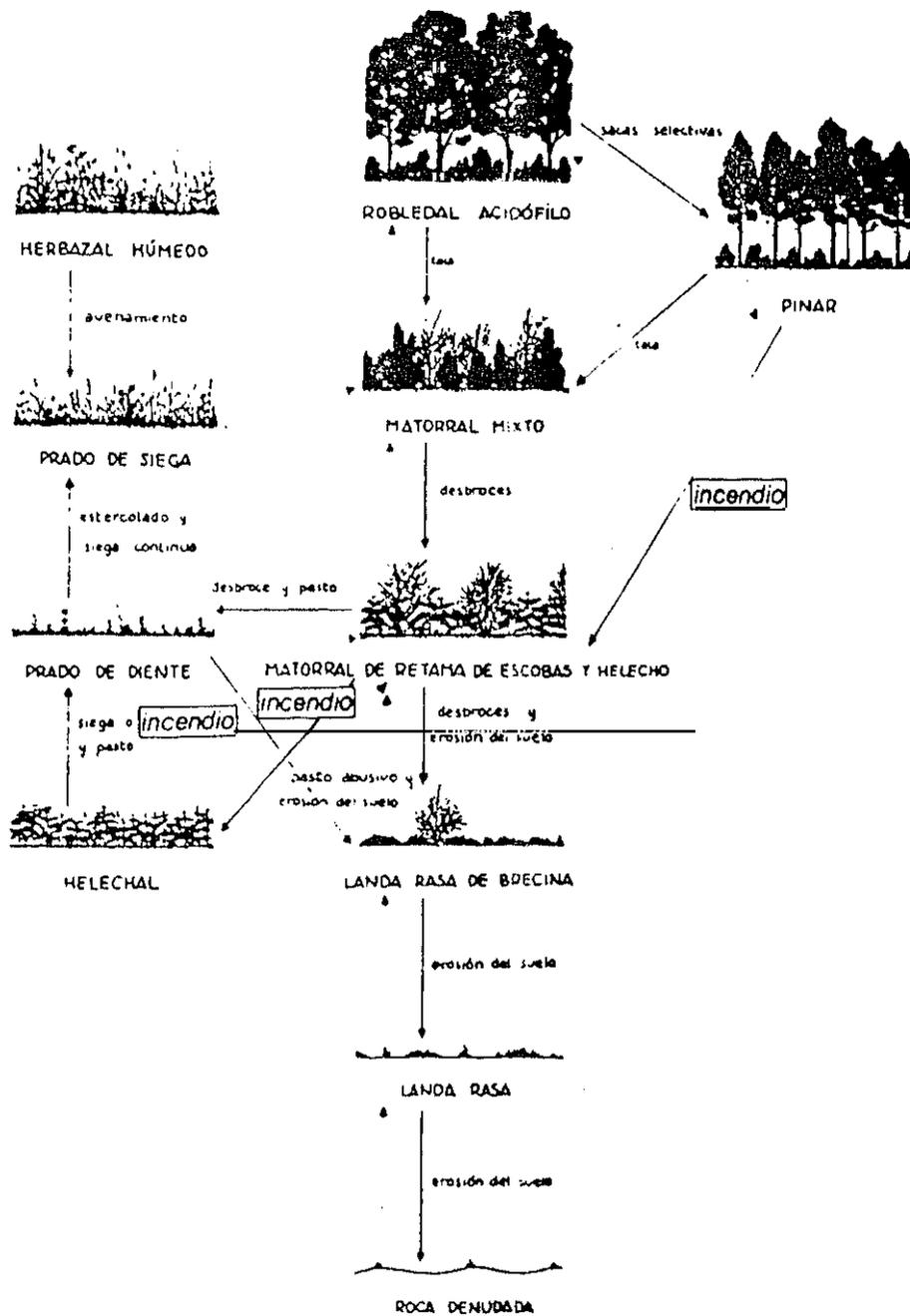
Los climas mediterráneos están sujetos a bruscos cambios meteorológicos, que pueden tener una gran influencia sobre el comportamiento del fuego, asolándose varios millones de hectáreas cada año. Sus efectos catastróficos dependen de la frecuencia, intensidad, momento en que se producen y de las condiciones locales. El 70% de los incendios en España son de suelo (consumiéndose el matorral y la vegetación herbácea) y la vegetación indica si antes hubo o no incendios; así un castañar puede ser signo de que no hubo incendios en periodos muy prolongados, mientras que un jaral y tal vez un pinar puede ser indicio probable de fuego no muy remoto en el tiempo, pues como indica Trabaud (1980), los pinares son las fitocenosis más combustibles de la región mediterránea.

Una vez que el fuego ha tenido lugar, se produce un vacío ecológico en el área afectada y posteriormente y dependiendo de la época e intensidad, se regenera la vegetación, hecho que parece más fácil cuantas más cenizas se acumulen, la razón podría ser que el carbón contenido en ellas, retendría por absorción más cantidad de agua, así las semillas de pinos y del brezo *Calluna*, germinan bien tras sufrir un stress de calor en un área de competencia (García Fayés, 1987 y Remmert, 1988); los líquenes *Lecidea anthracophila* y *L. friessi* crecen sólo sobre carbón vegetal estando íntimamente ligados a los incendios de los bosques. Es muy típico el caso del torbisco (*Daphne gnidium*) que aparece en toda clase de suelos incendiados con gran vitalidad siendo muy poco aparente después (Velez Muñoz, 1980); la jara alcanza unos valores considerables de

biomasa en periodo relativamente corto, en suelos fuertemente impactados (Nuñez, Cabeza y Escudero, 1989)

La frecuencia de los incendios ha modelado la evolución de la vegetación, cambiando su composición florística y su estructura, ya que el color negro de la vegetación y del suelo quemado, incrementan la cantidad de calor recibido y disminuye la humedad relativa a causa de la mayor insolación (Trabaud, 1989). La regeneración de vegetación tras un incendio normalmente se inicia con una sucesión secundaria: pastizal, matorral, maquia y bosque (Spurr y Barnes, 1982); comienza por un estadio de vegetación herbácea, siendo mayor el recubrimiento en la zona quemada que en la no quemada (Arianoutsou-Faraggitaki, 1984). Se ven incrementadas las plantas fijadoras de Nitrógeno. Los brezos y helechos se transforman en dominantes después de fuertes y repetidos incendios, en el caso del helecho *Pteridium aquilinum* sus rizomas resisten bien el calor del fuego, regenerando la planta; pudiendo afirmar que los brezos son especies dependientes de ellos, comportándose tal como indica Trabaud (1987) como pirogeófitos.

La sucesión forestal comienza por el establecimiento de los árboles forestales pioneros y continúa con el reemplazo de éstos por las especies sucesoras, que se benefician por el cambiante medio ambiente (Folch I Guillén, 1977 y Spurr y Barnes, 1982).



Esquema de la sucesión de degradación y de la sucesión de reconstitución de un robleal acidófilo. (tomado de R. Folch y Guillén, Sobre ecologismo y ecología aplicada, 1977).

De esta manera hemos visto como el fuego origina cambios microclimáticos y desempeña un papel importante en la composición de las comunidades vegetales, fomentando el pirofitismo, que es extremo en las primeras etapas de la sucesión, ya que como se sabe los pirófitos procuran engendrar continuamente incendios para mantener su supremacía sobre otros entes.

## 2.2 EFECTOS DE LOS INCENDIOS FORESTALES SOBRE EL ECOSISTEMA EDAFICO:

### ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

El suelo también sufre los efectos del incendio, pues prácticamente todos los ecosistemas de tipo mediterráneo han evolucionado con el fuego como factor abiótico importante, que no es extraño en la naturaleza; es capaz de destruir la materia orgánica por oxidación rápida produciendo su mineralización, pero si el incendio es de baja intensidad sólo se destruye la parte del humus situada en los primeros centímetros. Los efectos sobre los organismos del suelo son altamente variables, así puede haber una disminución de la población animal para incrementarse después, viéndose poco afectadas las hormigas; la elevación de microorganismos es consecuencia de la disponibilidad de nutrientes minerales y otros cambios químicos.

La incidencia del fuego en el suelo, modifica las propiedades físico-químicas y biológicas, que son función del estado del suelo y de la intensidad y duración del mismo. Cuando tiene lugar una repetición de incendios se degrada la estructura del suelo, incrementándose la erosionabilidad y disminuyendo la fertilidad, llevando a los suelos a un nivel de pobreza nutritiva importante.

Un buen conocimiento de los suelos de un área, es esencial para poder evaluar su susceptibilidad frente a estos procesos. Es muy extensa y variada la bibliografía a tal respecto, cuyas

conclusiones están en función de las hipótesis planteadas. Con el fin de abordar el impacto que los incendios forestales ejercen sobre el ecosistema suelo, se ha realizado una recopilación cronológica de diversos estudios realizados en este sentido.

DIEBOLD,C.H. (1941): Estudia un grupo de suelos en la región de Adirondack, casi todos con humus mor; en los cuales por acción del fuego disminuye la profundidad del suelo quemado respecto al testigo, así como el espesor de la capa de humus.

LUTZ,H.J. y CHANDLER,F. (1949): Observan que el fuego es el causante del rompimiento de afloramientos rocosos, dejando un núcleo redondeado que será atacado por el próximo incendio. También produce una disminución de la infiltración. Sobre la población animal se observa que es desfavorable para los gusanos de tierra, mientras que las bacterias se incrementan.

En las propiedades químicas se observa una disminución de la acidez, destrucción de materia orgánica, ahora bien permanecen los constituyentes no volátiles en la superficie del suelo en forma de cenizas; también hay una disminución del Nitrógeno, que más tarde puede verse compensada por un incremento de la fijación de nitrógeno atmosférico por microorganismos gracias al incremento de leguminosas en las áreas quemadas. También tiene lugar un incremento en el Calcio, Magnesio, Potasio y Fósforo.

BURNS, P.Y. (1952): Realiza su investigación en un área forestal de retoños de roble con pinos, donde toma dos series de suelos: una para ver los efectos de los incendios controlados y otra para obtener información sobre incendios anuales.

Los fuegos moderados son beneficiosos químicamente para el suelo y probablemente tengan efectos favorables para el suelo forestal, no modificándose apreciablemente las propiedades físicas y químicas.

Los incendios anuales repetidos tienen efectos desfavorables para el suelo forestal, pero químicamente son beneficiosos para el suelo mineral, ya que generan: incremento del pH, materia orgánica, N,  $Ca^{2+}$  y  $K^+$  de cambio en el horizonte superior, una disminución sustancial de la infiltración, ligeros incrementos en la capacidad de campo y en el volumen de los poros del suelo mineral y ligera disminución de la capacidad de aireación del suelo.

BLAISDELL, J.P. (1953): Observa tras el estudio de áreas quemadas hacía un año, que cuando el incendio es intenso se reducen significativamente la materia orgánica, N total y humedad equivalente, no viéndose modificadas cuando es ligero o moderado. La concentración de  $H^+$  no se modifica. En cuanto a su acción sobre la vegetación los arbustos son aparentemente más dañados que las hierbas.

LUTZ, H.J. (1956): Analiza los efectos ecológicos de los incendios forestales en una zona de Alaska, viendo que el grado por el cual los materiales del suelo se eliminan varía con la

intensidad del quemado. La parcial o completa destrucción del suelo forestal por incineración, conlleva a una elevación de la temperatura, en general los efectos del incendio en la temperatura suelen ser ecológicamente favorables.

La humedad del suelo varía en función de la topografía y orientación, disminuyendo cuando son meridionales e inclinados, ya que disminuye la infiltración y se incrementa la escurriencia. La textura y estructura no cambian.

Los cambios químicos son ecológicamente favorables, por disminución de la acidez, incremento de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  de cambio, así como del P disponible. El N total disminuye, pero se incrementa el disponible por las plantas.

El efecto sobre la población de musgos no está del todo clara, ya que en ciertas áreas se incrementa.

SCOTT, V.H. y BURGY, R.H. (1956): Llevan a cabo su estudio en dos suelos tipo de California en los cuales observan el efecto del calor y del fuego, teniendo lugar cambios en la agregación y permeabilidad de los horizontes superficiales, así como un incremento de la infiltración.

TARRANT, R. F. (1956): Estudia el efecto del fuego en distintos suelos que han sido sometidos a la acción de un incendio, respecto al testigo, en la Región del Abeto de Douglas. Observando una modificación en la humedad del suelo según el grado de incineración, siendo mayor en los más quemados.

Tras el incendio el suelo se acidifica, cambiando el pH en función de la severidad del incendio, así decrece más

significativamente al incrementarse el tiempo desde el incendio, en los ligeramente quemados respecto a los muy quemados.

Cuando el incendio es ligero se estimula la nitrificación, disminuyendo el N si es intenso.

P y  $K^+$  de cambio aumentan lo mismo que sucede con el N, viéndose más incrementados con fuego severo.

Respecto a la capacidad de cambio catiónico, se afecta poco en un quemado ligero, reduciéndose drásticamente si es intenso.

DYRNESS, C.T. y YOUNBERG, C.T. (1957): En los suelos intensamente quemados respecto al testigo tiene lugar una disminución de arena, limo y arcilla, del grado de agregación, así como del contenido en materia orgánica, por lo cual se incrementa la erosionabilidad del suelo. Mientras que cuando el quemado es ligero las temperaturas no son tan elevadas como para oxidar la materia orgánica.

LE BORGNE, L. y MONNIER, G. (1959): Estudian las variaciones en la estabilidad estructural y las propiedades magnéticas por acción del fuego, aumentando bastante la susceptibilidad magnética y la estabilidad estructural en la capa superficial. Como el suelo conserva sus constituyentes magnéticos durante mucho tiempo, excepto cuando las condiciones del medio favorecen la migración del hierro, los efectos de fuegos sucesivos pueden acumularse, siendo ésta una de las causas de la susceptibilidad magnética anormalmente elevada de los horizontes superiores.

PLATA ASTRAY, G. y GUITIAN OJEA, F. (1966): Estudian la acción de un incendio de distinta intensidad sobre el suelo, repitiendo la toma a los cuatro meses para comprobar la evolución posterior al fuego. Esta se manifiesta aumentando considerablemente el contenido en P asimilable y grado de saturación, aumentando poco el Ca y K asimilables y los geles de Al y Fe. En los suelos fuertemente quemados estas variaciones son mayores. Con el tiempo, en las zonas quemadas descienden moderadamente estos elementos, siendo este descenso mayor en los suelos fuertemente incinerados y menor en los débilmente impactados.

Por la ignición disminuyen bastante la materia orgánica, capacidad de cambio, Al de cambio y relación C/N y poco el porcentaje de N total, variaciones que guardan cierta proporcionalidad a la intensidad de quemado. A los cuatro meses en las parcelas quemadas desciende poco el N total, mientras que la capacidad de cambio, Al de cambio y materia orgánica se recuperan en los suelos intensamente incinerados; la relación C/N se mantiene bastante constante y por debajo de 10.

DEBANO, L.F., MANN, L.D. y HAMILTON, D.A. (1970): Observan que por calentamiento se vaporizan sustancias hidrofóbicas en las capas superficiales del mantillo, moviéndose hacia abajo y produciendo una capa repelente al agua. El espesor de esta capa en el suelo subyacente, incrementa al decrecer el porcentaje de arcilla y limo. Esta capa no está directamente relacionada con el contenido de materia orgánica traslocada por el calor; aunque generalmente el grado de repelencia al agua se

incrementa al hacerlo el contenido de materia orgánica trasladada.

JORGENSEN, J.R. y WELLS, C.G. (1971): Estudian incendios producidos en distinta época del año y su efecto sobre suelo y vegetación, encontrando que la fijación de N es diez veces mayor en las muestras quemadas, en las cuales se liberan nutrientes inorgánicos más rápidamente que en los procesos biológicos normales.

SAVAGE, S.M., OSBORN, J., LETEY, J. y HEATON, C. (1972): Se ocupan del estudio de las sustancias que contribuyen a la repelencia al agua en los suelos, por acción del fuego, para lo cual calentaron el suelo a diferentes temperaturas y concentraciones de oxígeno, siendo mayoritaria la cantidad de productos obtenidos por encima de los 300°C. La repelencia al agua que se produce en dichos suelos es debida a los hidrocarburos alifáticos producidos por el calentamiento de la fôrma del suelo.

WAGLE, R.F. y KITCHEN, J.H. (1972): Toman muestras de suelos de dos zonas quemadas y una no quemada, encontrando que el N del horizonte superior es mayor en el no quemado y recientemente quemado (aquí está muy elevado), que en el quemado antiguo. El P se incrementa algo en el recientemente quemado respecto al no quemado, disminuyendo cuando pasan varios años tras el incendio.

JARVIS, M.S. Y JARVIS, P.G. (1972): Comprueban como el fuego es el causante de cuantiosas pérdidas, especialmente de N, que es liberado retornando a la atmósfera; otros elementos se convierten en formas solubles, principalmente óxidos que se pierden por lixiviación, destrucción de vitaminas y de otros factores esenciales de crecimiento para los micrófitos del suelo.

CHRISTENSEN, N.L. (1973): El análisis de suelos quemados y no quemados de chaparral, muestra que las concentraciones de nitrato en el suelo son casi iguales en ambos, inmediatamente después del fuego, mientras que la concentración de amonio es considerablemente mayor en el quemado, permaneciendo ésta elevada en todo el estudio.

VELEZ MUÑOZ, R. (1974): Los efectos de los incendios forestales sobre el suelo mineral se traducen en: aumento de la erosión, compactación del suelo con lo que disminuye la capacidad filtrante y se hace más seco, producción de partículas gruesas que alteran la estructura coloidal del suelo y ennegrecimiento de la superficie.

Químicamente el fuego incrementa el contenido en  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$  y P por la adición de las cenizas a la materia mineral ya existente. La combustión produce pérdidas de N, sin embargo en zonas incendiadas hay al final más N asimilable que antes, que parece ser debido a la disminución de la acidez del suelo, lo que estimula la acción de los microorganismos.

FROMENT, A. (1975): Considera que el fuego es un factor

ecológico importante que modifica el pH, capacidad de cambio, régimen hídrico, etc., ofreciendo las cenizas características particulares a la colonización vegetal, así en áreas profundamente quemadas en la fase inicial dominan las criptógamas, que pueden ser precedidas o acompañadas por el desarrollo fugaz de nitratófitos (*Ephelobium angustifolium*).

DeBANO, L.F., SAVAGE, S.M. y HAMILTON, D.A. (1976): Estudian la traslocación de sustancias hidrofóbicas y la capa de repelencia al agua en arenas secas y húmedas, después del incendio de cierta clase de pinos, observando que la traslocación de sustancias hidrofóbicas y la repelencia al agua dependen de cambios en su polaridad y estado de oxidación. En el horizonte superficial es mucho mayor la repelencia al agua en arena húmeda que en seca, debido a la menor temperatura alcanzada.

La materia orgánica tras el incendio del horizonte superficial de la arena seca tiene menos C orgánico que la húmeda, permaneciendo por consiguiente mayor cantidad de materia orgánica en la húmeda.

STARK, N.M. (1977): Analiza la influencia de la ignición en un bosque de Abeto de Douglas sobre la retención y pérdida de nutrientes del suelo. Así las pérdidas netas de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  tienen lugar por debajo de la zona radicular cuando en la superficie del suelo las temperaturas exceden de los  $300^{\circ}\text{C}$ , siendo insignificantes si son inferiores a  $200\text{-}300^{\circ}\text{C}$ ; no

perdiéndose otros elementos como consecuencia del fuego.

La concentración de Fe en el agua del suelo es un buen indicador de la intensidad de quemado, una menor cantidad de este elemento en dicha agua es resultado de la alcalinidad del pH. La descomposición del mantillo es algo más rápido en quemados intensos que en no quemados.

DeBANO, L.F. y CONRAD, C.E. (1978): Ven la distribución de nutrientes en las plantas, mantillo y suelo tras un incendio prescrito en un chaparral y encuentran pérdidas mesurables en N y K<sup>+</sup> en los dos primeros centímetros por volatilización.

ORIOLO, G.A. y CURVETTO, N.R. (1978): Investigan los efectos del fuego en las sustancias húmicas del suelo, comparando la acción de las elevadas temperaturas en condiciones naturales y de laboratorio. Observando que sólo con temperaturas superiores a 250°C tienen lugar cambios en la fracción ácida del humus, es decir, una pérdida de peso por descarboxilación.

LEMEE, G. (1978): Destaca la acción del hombre en la modificación de la productividad primaria; alterando el microclima por desaparición de la cobertura vegetal, con lo cual se transforman las condiciones edáficas por incineración de la materia orgánica: pérdida del stock de C, N y P, transformación en formas asimilables de numerosos elementos minerales y aumento de pH de los suelos ácidos. La desaparición de la cobertura suprime las interacciones bióticas de

competición, inhibición, predación y parasitismo. Por contra la denudación del suelo puede originar procesos de erosión por el viento y el agua.

A consecuencia de la acción profunda sobre el medio y sobre las biocenosis, los incendios juegan un papel capital en la evolución de la cobertura vegetal, conquistando rápidamente el medio los helechos y ericáceas y apareciendo nuevas especies antes inexistentes, así como el favorecimiento de ciertos grupos ecológicos heliófilos en detrimento de esiciófitos, especies neutrófilas en sustitución de acidófilas y nitrófitos. Si no tienen lugar nuevos incendios se retorna a un estadio semejante al anterior, pero si los incendios continúan se originan formaciones pirófilas, que volverían al climax por la supresión de fuegos repetidos.

ARMSON, K.A. (1979): Comenta los efectos del fuego en el suelo, el más directo es el cambio en la forma de energía del material orgánico, pero asociado a cambios en las propiedades físico-químicas del suelo; la mayoría de los procesos indirectos están relacionados con el proceso de revegetación.

Tras el incendio se incrementan las temperaturas máxima y mínima del suelo, por oscurecimiento de la superficie y mayor insolación. Cambia el régimen de humedad, porque se elimina la pérdida por transpiración de la vegetación. Se forma una capa repelente a pocos centímetros de la superficie por volatilización de los constituyentes orgánicos, con lo cual decrece la infiltración y se incrementa la susceptibilidad a la erosión.

Tiene lugar un incremento del pH,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  y P.

Pérdida de materia orgánica en función de la intensidad del incendio. La frecuencia e intensidad del fuego afectan a la forma y cantidad de N.

DEBANO, L.F., EBERLEIN, G.E. y DUNN, P.H. (1979): Muestran los cambios ocurridos en  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  y N orgánico alterados por diferentes intensidades de quemado y condiciones de humedad. Así la mayor parte del N se pierde cuando el mantillo y el suelo secos son intensamente incinerados; también un quemado intenso sobre suelo seco reduce  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  y  $\text{NO}_3^-\text{-N}$  en la fôrna, incrementándose significativamente el  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  en el suelo subyacente. Los aminoácidos son también susceptibles al calentamiento quedando casi destruidos por un fuego severo en el suelo seco, casi el 75% de hexosaminas del mantillo y suelo se destruyen por ignición severa sobre suelo seco. Ahora bien, cuando mantillo y suelo están húmedos se pierde menos N total y menor cantidad de aminoácidos son destruidos, teniendo lugar pequeñas pérdidas en el suelo mineral subyacente. Aproximadamente el 67% del N total de la fôrna y suelo se pierden cuando se quema intensamente el suelo seco respecto al 25% de pérdidas sobre suelo húmedo.

Concluyen que las pérdidas sufridas por el N total están afectadas por diferentes tratamientos de ignición y de humedad. Grandes cantidades de N se pierden cuando suelo y mantillo están secos y el quemado es intenso, siendo pequeñas cuando están húmedos.

DUNN, P.H., DEBANO, L.F. y EBERLEIN, G.E. (1979): Descri-

ben los resultados de un fuego inducido en suelos de chaparral sobre los microorganismos de suelo, proceso de amonificación y nitrificación. Observando que cuando el quemado es intenso sobre suelo seco se destruye el 67% del N total produciéndose grandes cantidades de  $\text{NH}_4^+$ ; pero cuando es moderado o intenso sobre el suelo húmedo sólo se destruye el 25% y el N orgánico restante se amonifica rápidamente por reinvasión de bacterias heterotróficas y más tarde por hongos. De esta manera, tras la ignición obtienen altos niveles de  $\text{NH}_4^+$  disponible y la nitrificación que tiene lugar es heterotrófica.

RAISON, R.J. (1979): Efectúa una revisión bibliográfica de los efectos del fuego en el suelo y por ende del crecimiento y estabilidad de las comunidades vegetales, puesto que el fuego altera rápidamente el contenido, forma y distribución de los nutrientes de las plantas en los ecosistemas.

Tiene lugar un incremento del pH tras la incineración, debido principalmente al incremento de materiales básicos con las cenizas. Lo mismo sucede con  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  y P disponible, ahora bien la capacidad de cambio catiónico disminuye cuando el quemado es intenso.

La quema destruye una cantidad variable de residuos orgánicos, así la materia orgánica cuando el incendio es poco intenso sufre un incremento, teniendo un comportamiento paralelo el N, mejorándose su disponibilidad con el fuego, también se elevan la nitrificación y el N mineral, al igual que los niveles de  $\text{NH}_4^+$ -N, pero la relación C/N puede disminuir o no modificarse. El fuego tiende a hacer el suelo más favorable

para las bacterias que para hongos posiblemente por la elevación del pH.

ADAMS, P.W. y BOYLE, J.R. (1980): Comprueban los efectos del fuego sobre la fertilidad del suelo, encontrando incrementos en  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ , P y N total.

Los incrementos en la lixiviación de cationes, posterior a la incineración son el resultado de la aceleración de la mineralización, por la combustión del material orgánico, combinado con los efectos hidrológicos de reducción de la evapotranspiración por la pérdida temporal de la cubierta vegetal, si bien a corto plazo los cambios producidos en los nutrientes del suelo son generalmente positivos, a largo plazo tienen lugar pérdidas de materia orgánica y nutrientes y se acelera la lixiviación.

MROZ, G.D., JURGENSEN, M.F., HARVEY, A.E. y LARSEN, M.J. (1980): Investigan los efectos inmediatos de un incendio forestal y los cambios subsiguientes en el N disponible y total, quedando patente que uno de los más importantes efectos ambientales del fuego en los horizontes orgánicos, es la potencial pérdida de ambos tipos de N por volatilización, sufriendo un incremento en los horizontes subyacentes probablemente por el movimiento hacia abajo del N.

La concentración de amonio no se encuentra afectada tras la incineración, no sucediendo así con la concentración de  $\text{NO}_3^-$  que se incrementa. Sin embargo, tras incubación ambas concentraciones son extremadamente variables. De esta manera los

cambios en los niveles de N disponible por el incendio y subsiguiente incubación, son probablemente debidos a las diferentes tasas de volatilización en el material orgánico de C y N y al incremento de la actividad microbiana por el elevado pH y las bajas razones C/N.

RUIZ DEL CASTILLO, J. (1981): Estudia los efectos ecológicos de los incendios forestales, encontrando un aumento del pH en capas superiores, aumenta la disponibilidad de N, mejorándose la nitrificación, se pierde P en pequeña cantidad, destrucción del mantillo y de la estructura del suelo, alteración del régimen hidrológico, disminución de la porosidad, infiltración, aireación, absorción, retención de agua e infiltración y aumento de la escorrentía, evaporación y temperatura del suelo.

DIAZ-FIERROS, F., GIL SOTRES, F., CABANEIRO, A., CARBALLAS, T., LEIROS DE LA PEÑA, M.C. y VILLAR CELORIO, M.C. (1982): Analizan los efectos erosivos de los incendios forestales en suelos gallegos, siendo las primeras lluvias de otoño-invierno los principales agentes erosivos tras un incendio, con la pérdida de las fracciones finas y aumento de las gravas, en las capas superficiales. Se demuestra también la existencia de un incremento de la fertilidad de los suelos quemados por incremento de C, N, y sobre todo de P asimilable.

ELLIS, R.C., LOWRY, R.K. y DAVIES, S.K. (1982): El objetivo de este trabajo, es identificar los cambios producidos por

la regeneración tras un incendio en el status nutricional de suelos desarrollados sobre dolerita. Se observó en dos zonas diferentes de Tasmania que tras la incineración se incrementa el pH, los cationes de cambio, porcentaje de saturación en bases y N- Nitrato; disminuyendo la acidez de cambio, N- Amonio y C orgánico en la zona de bosque mixto, en el cual al incrementarse el tiempo tras el incendio tiene lugar una elevación del pH y de la acidez de cambio. Ahora bien por debajo de 10 cm. el lixiviado de nutrientes es mínimo.

ROZE, F. y FORGEARD, F. (1982): Comparan una landa incendiada y una no incendiada en las que siguen la evolución de la mineralización del N, observando que el incendio ha modificado la actividad mineralizadora del suelo por su acción destructora, disminuyendo considerablemente los contenidos de C y N en los horizontes superior y medio, no encontrando variaciones estacionales aparentes en ellos; los contenidos en  $N-NH_4^+$  presentan dos máximos en primavera y en otoño y son poco diferentes de un horizonte a otro, estando poco representados en estos suelos los contenidos en nitrato y nitrito. La mineralización es mayor en la landa no incendiada siendo muy débil e incluso nula en el segundo año del incendio.

SPURR, S.H. y BARNES, B.V. (1982): El efecto del fuego al actuar directamente sobre la materia orgánica, incrementa la cantidad de minerales disponibles al menos temporalmente, disminuye la acidez del suelo, aumenta la saturación en bases, disminuye el abastecimiento total de N y cambia las condiciones

de temperatura y humedad de la localización. También se presentan algunas pérdidas de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$ .

Los incendios juegan un rol importante en la formación de suelos hidrófobos, puesto que las sustancias hidrofóbicas no humificables procedentes de la descomposición del mantillo por la acción del fuego, se volatilizan y difunden hacia abajo donde la temperatura es menor, condensándose sobre moléculas más frías formando así una gruesa capa no humificable, lo que facilitará la erosión.

BARA, S. y VEGA, J.A. (1983): Observan que después de un fuego natural y tomando las muestras tras el incendio, el P disponible,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  de cambio y pH incrementan considerablemente hasta los 5 cm de profundidad. El contenido de materia orgánica disminuye en un 40% y la razón C/N disminuye. Entre 5-30 cm no se detectan cambios de consideración. A los dos años del incendio, las concentraciones de  $\text{K}^+$  y  $\text{Mg}^{2+}$  son menores que antes del incendio, mientras que la concentración de  $\text{Ca}^{2+}$  no varía, siendo el pH 0,2 unidades mayor que el inicial. Limos y arcillas disminuyen un 15% por erosión, no observando cambios entre 5-30 cm. Hay una correlación significativa entre la intensidad del fuego y la reducción del contenido de materia orgánica tras el incendio, reducción absoluta del contenido en N y relativa modificación de la razón C/N, del pH y de la conductividad entre 0-5 cm.

DEKA, H.K. y MISHRA, R.R. (1983): La acción del incendio en la microflora del suelo parece reducirla drásticamente,

aunque no parece influir en la composición de las especies fúngicas y su acción queda restringida a los dos primeros centímetros. Lo que sí disminuye es el contenido en materia orgánica,  $\text{NO}_3^-$ -N y P disponible, mientras que  $\text{NH}_4^+$ -N se incrementa rápidamente tras el incendio.

ELLIS, R.C. y GRALEY, A.A. (1983): Toman muestras de los 10 primeros centímetros de suelos desarrollados sobre dolerita, en un bosque de eucaliptos en Tasmania, observando que los efectos del incendio se restringen a los 2 cm primeros, teniendo lugar pérdidas de C y N, mientras que pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  de cambio sufren incrementos significativos, sucediéndole lo mismo a P extraíble, la capacidad catiónica de cambio se reduce. Seis meses después del incendio solamente el  $\text{K}^+$  es lavado de los 2 cm primeros.

IBAÑEZ, J.J., LOBO, M.C., ALMENDROS, G. y POLO, A. (1983): Tras el impacto del fuego se producen notables cambios en la estructura y dinámica de los ecosistemas edáficos que dependerán del tipo de incendio. Así al aumentar el contenido en materia orgánica y bases del suelo, se mejoran la estructura y propiedades hidrofísicas del suelo, Disminuye la acidez del suelo y aumentan considerablemente los porcentajes de C y N, disminuyendo la razón C/N bajo comunidades de bosque, permaneciendo casi inalterada bajo matorral. El contenido de cationes del complejo de cambio se ve incrementado, sobre todo los divalentes, así como los elementos asimilables; por el contrario los monovalentes y trivalentes parecen verse poco afecta-

dos. El  $H^+$  de cambio parece comportarse de forma antagónica bajo ambas comunidades. También se eleva la capacidad de cambio catiónica.

LEICHT, C.J., FLINN, D.W. y GRAAFF, R.H.M. (1983): Centran su estudio en la erosión y pérdida de nutrientes tras un incendio, estimando que aproximadamente 800 t de cenizas, son arrastrados del área de estudio y contienen aproximadamente 2900 Kg de N y 220 Kg de P. Las pérdidas de N y P se estiman como 1/3 de la cantidad total de ellos contenidos en la biomasa. Los suelos estudiados son hidrofóbicos después de tres meses del incendio. Concluyen diciendo que los suelos quemados mantienen la erodibilidad elevada hasta que el suelo pierda su hidrofobicidad y tenga lugar la revegetación.

ALMENDROS, G., POLO, A. IBAÑEZ, J.J. y LOBO, M.C. (1984a): Estudian las diversas características de la materia orgánica del suelo de un bosque incendiado comparándola con una muestra inalterada, viendo que a consecuencia de la ignición el humus experimenta una disminución de ácidos fúlvicos y de materia orgánica libre, aumentando ácidos húmicos y humina. Las principales transformaciones inducidas por el fuego en los ácidos húmicos, corresponden a un incremento en el grado de condensación y aromaticidad, y a un mayor contenido en formas estables de N, disminuyendo sus tamaños moleculares y la proporción de polisacáridos y de grupos funcionales oxigenados. Así tras la ignición, se forma un humus piromorfo que es más resistente a la descomposición biológica. No se observa pérdida

de C, N, ni de bases de cambio, ni se comprueba la formación de sustancias hidrófobas.

ALMENDROS, G., POLO, A., LOBO, M.C. e IBAÑEZ, J.J.

(1984b): En el presente trabajo profundizan en el estudio de las transformaciones de un suelo forestal durante diferentes estados de degradación térmica, en condiciones controladas de laboratorio. En función de la intensidad del fuego, la materia orgánica experimenta diferentes transformaciones cuali y cuantitativas, así cuando el incendio es de baja intensidad disminuyen las fracciones orgánicas de bajo grado de transformación, aumentando su grado de aromaticidad. Los ácidos húmicos tienen un incremento relativo, aumentando su contenido en constituyentes no hidrolizables y su grado de condensación molecular.

La materia orgánica sometida a condiciones extremas de temperatura, tiende a transformarse en C amorfo y en compuestos húmicos de bajo peso molecular, destruyéndose la arcilla y el complejo arcilla-humus, así como los constituyentes periféricos de las moléculas de los ácidos húmicos. Disminuyen en estas condiciones el N y la capacidad de cambio.

LOBO, M.C.e IBAÑEZ, J.J. (1984): Se analiza la estructura del sistema trófico mediante el estudio de electroultrafiltración, en un suelo afectado por un incendio, respecto a un testigo no afectado, que a su vez fue sometido a diferentes gradientes térmicos en condiciones controladas de laboratorio, para eliminar el efecto de la cama de cenizas. De los resulta-

dos obtenidos se desprende que tiene lugar en el suelo quemado un incremento de  $\text{Ca}^{2+}$  y P, disminuyendo los monovalentes; el C y N también aumentan, a la par que disminuye la razón C/N. Respecto a las muestras tratadas en el laboratorio, tratadas disminuyen todos los elementos ligeramente salvo C y N y la razón C/N aumenta la hacerlo el grado de ignición.

La estructura y propiedades hidrofísicas mejoran por el aporte de cenizas. La naturaleza del humus y el metabolismo del C también se alteran, incrementándose las fracciones orgánicas más resistentes a la biodegradación. Con el N sucede lo mismo que con el C.

MAJER, J.D. (1984): Destaca el aumento de biomasa tras el incendio, respecto al testigo a los 13 meses del impacto. Como consecuencia del incendio hay un incremento de la temperatura del suelo y del aire y una reducción de la humedad relativa a nivel del suelo. Los análisis demuestran que el incendio afecta a la densidad de la fauna en el suelo y en la hojarasca, permaneciendo estos efectos en la fauna de la hojarasca y en menor grado en la fauna del suelo, a los 13 meses del incendio.

OYA, K. y TOKASHIKI, Y. (1984): En su trabajo observan que tras el incendio tiene lugar un incremento del pH,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  de cambio, mientras que disminuyen C total, la razón C/N y la capacidad de cambio. Los contenidos estimados de nutrientes añadidos al suelo por el incendio siguen el siguiente orden:  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , representando solamente el 35%, 12%, 8%, 14% y 1% respectivamente del total almacenado en la biomasa

forestal.

PRIMAVESI, A. (1984): Observa que la quema descontrolada en suelos tropicales, impide el retorno de la materia orgánica al suelo, expone el suelo al impacto de las lluvias, origina la compactación del suelo y la repelencia al agua, proliferación de hormigas y termitas, así como de la vegetación pirofítica, aumento de Ca y Cu y disminución de K, Na y Mo.

VANCE, E.D. y HENDERSON, G.S. (1984): Determinan tras un incendio el efecto que tiene lugar en el N mineralizable, destacando que el  $\text{NH}_4^+$  se reduce en todas las muestras estudiadas.

SAMO LUMBRERAS, A.J. (1985): De los resultados obtenidos en su estudio se desprende que el pH incrementa tras el incendio, valores que siguen creciendo hasta el tercer año y es a partir de aquí cuando comienza a descender para alcanzar los valores preincendio.

La cobertura vegetal aumenta rápidamente tras el incendio estabilizándose a los dos años y manteniéndose casi sin variaciones los cuatro restantes. La altura vegetal se incrementa fuertemente durante algo más de cuatro años, estabilizándose en el transcurso del cuarto al quinto año.

SAN ROQUE, P., RUBIO, J.L. y MANSANET, J. (1985): Tomaron muestras de tres áreas quemadas con un tiempo transcurrido tras el incendio de 24, 18 y 12 meses, en las cuales se observa una

modificación en la composición florística. Las pérdidas de suelo por erosión hídrica son elevadas, incrementándose bastante en la zona incendiada respecto al testigo. El fuego cuando es de gran intensidad modifica notablemente las propiedades químicas del horizonte superficial, especialmente en el contenido en materia orgánica, N mineral y salinidad.

KHANNA, P.K. y RAISON, R.J. (1986): Estudian la composición química de la solución del suelo tras un incendio, en un bosque de *Eucalyptus pauciflora* y observan que son mobilizadas grandes cantidades de cationes ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ), aniones ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) y sílice soluble, especialmente bajo la cama de cenizas. Los niveles de  $\text{NO}_3^-$  y fosfato no se ven afectados por el incendio.

KOVACIC, D.A., SWIFT, D.M., ELVIS, J.E. y HAKONSON, T.E. (1986): Encaminan su estudio a determinar los efectos inmediatos de un fuego prescrito en los niveles de N total,  $\text{NH}_4^+$ -N y  $\text{NO}_2+\text{NO}_3^-$ -N en un suelo mineral de un bosque de Pino Ponderosa; encontrando que no hay diferencias significativas en los niveles de N total tras el incendio.

RAISON, R.J., WOODS, P.V., JAKOBSEN, B.F. y BARY, A.V. (1986): Realizan la medición en el suelo de la temperatura alcanzada en superficie y profundidad, durante y a intervalos de 33 meses de un incendio de moderada intensidad, en un bosque subalpino de *Eucalyptus pauciflora*. Los gradientes de temperatura generados en superficie durante el incendio en

estos suelos de pendiente, se traducen en una elevación de los contenidos de materia orgánica, baja densidad aparente y bajo contenido de humedad. Las mayores temperaturas se alcanzan en la fôrna y a los 0, 2 y 5 cm. respectivamente; temperaturas superiores a 200°C, causante de la volatilización del N contenido en la materia orgánica del suelo, tienen lugar en los 3 mm superiores del suelo. Después del incendio se alcanzan temperaturas máximas diarias en el suelo algo mayores en quemados con respecto a no impactados; las temperaturas mínimas diarias son similares o ligeramente menores en los perfiles quemados respecto a los testigos. Las temperaturas medias diarias en verano se elevan, de 8 a 4°C a una profundidad de 0-10 cm.

VELASCO, F., LOZANO, J.M. y BELLO, A. (1986): Comprueban las alteraciones fisico-químicas, biológicas y bioquímicas en áreas quemadas de *Pinus pinaster*, apareciendo un incremento del pH en suelos incendiados, enriquecimiento en bases de cambio en los horizontes superficiales y se aprecia una mayor proporción de la materia orgánica libre tanto en testigo como quemados, con tendencia al aumento en el grado de polimerización de los ácidos húmicos por el incendio. Aumento de la microflora total y actinomicetos en el área quemada y disminución por quemas repetidas.

BELLIDO, A. (1987): Estudia las consecuencias inmediatas de un incendio sobre la población de microartrópodos y comprueba que la mortalidad varía en función de la intensidad

térmica. Si es de gran intensidad se destruye la mayoría de la población, mientras que si es débil permanecen islotes intactos pudiendo jugar un papel importante en la recolonización del medio.

FORGEARD, F. y FRENOT, Y. (1987): Han seguido durante cinco meses la evolución de un incendio experimental, observando una modificación en las características físico-químicas del suelo. Así disminuye la porosidad y los horizontes orgánicos superficiales adquieren un comportamiento hidrófobo, con lo cual disminuye la capacidad de retención e infiltración de agua.

Existe un aumento temporal de la capacidad de cambio, por el flujo de elementos minerales tras el fuego ligado al lavado de las cenizas. La destrucción de la vegetación se acompaña de una pérdida de una gran parte de N y  $Mg^{2+}$ . Una parte de los elementos minerales liberados por el fuego aparece rápidamente en el agua de percolación y otra parte es fijada por el complejo adsorbente en corto periodo. La fertilidad global del suelo no se ve pues aumentada y la dinámica del agua es bastante perturbada. Los efectos positivos de este incendio serán pues: aporte de materia orgánica, modificación del microclima de la parcela, que asociado al aumento del pH, pueden estimular el crecimiento de microorganismos.

GARCIA FAYES, P. (1987): La incidencia de los incendios en el suelo modifica las propiedades físicas, químicas y biológicas, que son función del estado del suelo y de la

intensidad y duración del fuego. La combustión de la materia orgánica provoca una rápida mineralización, lo que origina una efímera fertilización por incremento de N, P, etc., que por posterior lavado y destrucción de la estructura del suelo, se pierde en gran parte por escorrentía y erosión, disminuyendo así la fertilidad y reserva nutritiva del suelo.

Disminución de la porosidad, infiltración y retención de agua, así como oscurecimiento de la superficie del suelo por las cenizas que aumentan la absorción de calor y por tanto la evaporación; por otro lado hay una degradación de la estructura descomponiéndose en elementos más inestables, lo que aumenta el riesgo de erosión frente a las lluvias.

GIMENO CAMACHO, G.P., (1987): Estudia el impacto de un incendio forestal sobre Cambisoles eútricos de la Provincia de Madrid, comparando los resultados con otro suelo tomado como testigo. Observa en los suelos afectados un incremento del pH, carbono y de la proporción de cationes divalentes, así como del fósforo.

En la fracción arcilla se pone de manifiesto la presencia de lepidocrocita en horizontes superiores de suelos impactados, observando alteraciones en minerales 1:1 y vermiculitas. También se aprecia una pérdida de biotita en la fracción arena, siendo más acusada en la fracción arena fina.

GIOVANNINI, LUCCHESI Y GIACHETTI (1987): Investigan la evolución de parámetros fisicoquímicos, previamente estudiados, a los tres años de un incendio, comprobando que en los primeros

centímetros tiene lugar una restauración de los niveles originales de materia orgánica, estabilidad de los agregados y la repelencia al agua. En los horizontes subsuperficiales, en los cuales se había acumulado materia orgánica hidrofóbica traslocada, se guardan estas sustancias hidrófobas cuantitativamente inalteradas, pero aparecen fuertemente cementadas, ya que pueden reaccionar complejando metales polivalentes y expandiendo los cementos organometálicos.

PRITCHETT, W.L. y FISHER, R.F. (1987): Los cambios en las propiedades químicas se deben a la rápida transformación de los nutrientes contenidos en la vegetación y en la capa de humus. El aumento de materia orgánica en un suelo mineral superficial, puede deberse a un mayor crecimiento de plantas con raíces fibrosas, al movimiento del material quemado de tamaño coloidal hacia el suelo mineral, precipitación isoeléctrica de los humatos alcalinos producidos durante la quema y acumulación de residuos orgánicos resistentes a la descomposición mezclados con el suelo mineral.

El N mineral está estrechamente ligado a la materia orgánica y al quemarse la cubierta vegetal disminuye con la intensidad del incendio. La mineralización del N se estimula por la disminución de la acidez, así pese a la pérdida en la cantidad total de N se incrementa considerablemente el N mineral a causa del incendio.

En general la concentración de  $H^+$  decrece tras el incendio, aumentando la alcalinidad en la capa superficial por los elementos básicos contenidos en las cenizas.

La capacidad de cambio catiónico a menudo decrece tras el incendio, variando con la severidad del mismo, probablemente debido a la reducción del humus. El depósito de cenizas aumenta el contenido en P,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$  y  $K^+$ .

Se pueden formar suelos hidrófobos por las sustancias evaporadas al quemarse, que descienden y se condensan formando una capa hidrófoba, reduciéndose la tasa de infiltración y la capacidad de almacenamiento de humedad.

ALMENDROS, G., MARTIN, F. y GONZALEZ-VILA, F.J. (1988): Estudian los efectos del fuego, bajo condiciones controladas de laboratorio y de un incendio forestal, sobre los componentes lipídicos y ácidos húmicos de suelos pardos (Dystric Xerochrept) desarrollados bajo *Pinus pinea* en la provincia de Madrid. Las diferencias observadas tras comparar el suelo testigo con las muestras afectadas por un incendio natural o bajo condiciones de laboratorio, son mayores en las fracciones lipídicas que en los ácidos húmicos. En los lípidos se observa una tendencia a incrementar los componentes de cadena corta. En los ácidos húmicos es mayor la la proporción de compuestos aromáticos de alto grado de oxidación, en las muestras calentadas, que en la muestra control, ésto es atribuible a la degradación térmica selectiva de las estructuras alifáticas.

FERNANDEZ, M.C., GIMENO, P. y GONZALEZ, J. (1988): Estudian el impacto del fuego en la química y la mineralogía de un grupo de suelos formados sobre granodiorita rica en biotita. Observando un incremento del pH, C, N,  $Ca^{2+}$  y  $Mg^{2+}$ , variando

poco el  $K^+$  y el  $Na^+$ , en los suelos quemados.

El estudio mineralógico muestra, una disminución de biotita frente a cuarzo y feldespato en suelos incinerados y en la fracción arcilla aparece lepidocrocita en horizontes superficiales. La vermiculita y los minerales 1:1 sufren una degradación en aquellos horizontes intensamente quemados.

FUJITA, H. (1988): Compara muestras de suelos tomadas a lo largo de 5 meses hasta los 8 cm. de profundidad, en áreas quemadas y no quemadas, de Mayo a Septiembre, observando que  $NH_4^+$ -N,  $K^+$  de cambio y P disponible incrementan tras el incendio, pero decrecen en otoño, hasta los mismos valores encontrados en los suelos testigos.

REYNA, S. (1988): Comprueba como se afectan la permeabilidad y porosidad del suelo, en función de la intensidad del incendio, disminuyendo cuando la incidencia del fuego es fuerte. Lo mismo sucede con la estabilidad estructural del suelo, con lo cual aumenta la erosionabilidad, sobre todo si la pendiente es acusada. Generalmente estos efectos son mayores tras el incendio y van declinando al desarrollarse la cubierta vegetal.

Los fuegos intensos disminuyen la materia orgánica superficial, pero la pueden incrementar ligeramente si son de baja intensidad.

El fuego puede alterar muy rápidamente la cantidad, forma y distribución de los nutrientes en el ecosistema suelo, así aumentan  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$  y P. Lo mismo sucede con el pH.

MARION, G.M. Y BLACK, C.H. (1988): Estudian en 16 muestras de suelos derivados de gneiss, esquisto micáceo y granodiorita, el efecto del tiempo, orientación y horizontes del suelo, en relación a la disponibilidad de N y P, en una cronosecuencia postincendio en chaparral. Observan que en general, la vertiente norte tiene más N disponible que la vertiente sur, siendo lo opuesto para el P. Teniendo lugar un incremento de la disponibilidad de N con el tiempo (50-60 años) y luego disminuye, por otra parte la disponibilidad del P disminuye con el tiempo.

ALMENDROS, G., GONZALEZ-VILA, F.J. Y MARTIN, F. (1989): Realizan un estudio de las características del humus en suelos pardos bajo pinares de repoblación o bajo vegetación espontánea afectados por incendios en la provincia de Madrid. Poniéndose de manifiesto una transformación variable del humus por efecto del fuego, experimentando en ciertos casos disminución de la relación C/N, que podrían explicarse por el incremento en formas estables de nitrógeno. Resulta notable la gran estabilidad de los ácidos húmicos frente a la acción del fuego. Los efectos sobre las sustancias húmicas no se deben exclusivamente a la alteración química de los polímeros preexistentes, sino también a la transformación de fracciones fúlvicas y húmicas en otros tipos de sustancias de tipo húmico de reducida solubilidad, que podrían considerarse responsables en gran medida, de la reducida humectabilidad de algunos suelos quemados. Así los incendios de baja intensidad no suponen necesariamente un efecto desfavorable para el suelo; por el

contrario las repercusiones puede ser extremas cuando se destruyen las propiedades superficiales de coloides húmicos, acumulándose polímeros inertes, con reducida actividad fisicoquímica, pero cuyo esqueleto carbonado todavía puede retener considerable cantidad de compuestos lipídicos resistentes al efecto del fuego, que pueden conducir a la aparición de procesos de repelencia al agua y disminución de la capacidad de intercambio catiónico.

BISWELL, H. H. (1989): La estabilidad y la productividad del suelo se ven afectadas adversamente por el excesivo calor; así fuegos de baja intensidad facilitan el ciclo de algunos nutrientes y generalmente no incrementan la erosión del suelo, mientras que si son intensos volatilizan excesivas cantidades de N y otros nutrientes esenciales, destruyen la materia orgánica, rompen la estructura del suelo y pueden inducir repelencia al agua que incrementa con la profundidad, a lo que se une la excesiva erosión del suelo y pérdida de productividad potencial.

Los fuegos controlados facilitan el ciclo de los nutrientes, que se concentran en las cenizas en forma disponible para las plantas, lo que incrementa la productividad. Estos tipos de incendios disminuyen la acidez del suelo, dependiendo de la cantidad de cenizas producidas, de la acidez original del suelo y de la humedad del clima, favoreciéndose el incremento de bacterias fijadoras de N, ahora bien si el incendio es de baja intensidad la acidez varía poco. También tiene lugar un incremento de la materia orgánica, apesar de la destrucción de

hojarasca y otros materiales orgánicos, puesto que aparecen más hierbas y leguminosas. El N perdido se recupera con el tiempo, ya que tiene lugar una mayor fijación bacteriana tras el fuego por estar el suelo más caliente y húmedo.

DYRNESS, C.T. van CLEVE, K. y LEVISON, J.D., (1989): Toman muestras de zonas quemadas y no quemadas; con excepción del pH, el efecto del incendio en las propiedades químicas del suelo, varía en las cuatro zonas estudiadas. Generalmente,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  de cambio, no incrementan apreciablemente en el suelo forestal y en los 5 primeros cm del suelo mineral, excepto en las áreas intensamente quemadas. El N varía irregularmente (aumenta o disminuye) según la zona, sucediéndole lo mismo al P disponible.

GUTIERREZ PALACIO, A. (1989): El suelo se empobrece con cada quema, por romperse su equilibrio elemental al aumentar el K relativamente, frente a la disminución de P y N que se volatilizan.

KUTIEL, P. y KUTIEL, H. (1989): Efectúan análisis de siete muestras en zonas quemadas y no quemadas bajo *Pinus halepensis*, observando un incremento del pH y conductividad eléctrica, mientras que la materia orgánica disminuye inmediatamente tras el incendio. El N total de las áreas incendiadas, disminuye significativamente, permaneciendo bajo a los dos años del estudio. A los cuatro meses del incendio se observa un incremento de  $\text{NH}_4^+-\text{N}$ , mientras que  $\text{NO}_3^--\text{N}$  presenta un máximo a

los diez meses. El P soluble en agua aumenta a los dos meses después del incendio. Concluyendo que el incremento de los nutrientes es función de la temperatura del fuego y de la composición de las plantas anteriores al incendio.

ROZE, F. (1989): Emplea un método que permite una evaluación de la frecuencia relativa de los diferentes componentes (materia orgánica, elementos vivos, minerales y porosidad). Compara el humus de dos landas de origen similar, cuya vegetación ha sido destruida por incendios de diferente intensidad. Así los incendios violentos de otoño disminuyen la mayor parte de la materia orgánica del humus y se modifica la porosidad del suelo; mientras que los incendios ligeros de primavera no modifican la estructura del humus.

SERRASOLSAS, I., FERRAN, A. y VALLEJO, V.R. (1989): Estudian la evolución de la hojarasca, parcialmente quemada que permanece en el suelo, y el proceso de su reconstrucción con el nuevo aporte de la vegetación regenerada. Observando que tras el incendio, los horizontes orgánicos sufren una serie de transformaciones hasta su reconstrucción; durante el primer año tiene lugar una rápida descomposición del horizonte L, con el rebrote de la vegetación y el inicio del nuevo ciclo de la caída de hojas, sobretodo a partir del segundo año empieza la reconstrucción del nuevo horizonte L. Con el tiempo se produce un incremento de la hojarasca que se estabiliza al cabo de 13-15 años.

WOO, B.M. y LEE, H.H. (1989): En un incendio acaecido hace 5 años, observan que el contenido de materia orgánica, nitrógeno total y pH se incrementan alrededor de los tres años, estabilizándose tras la restauración de la vegetación.

ALMENDROS, GONZALEZ-VILA Y MARTIN (1990): Estudian los efectos de un incendio en la materia orgánica bajo *Quercus rotundifolia*, apareciendo en los ácido húmicos y fúlvicos importantes cambios en las propiedades coloidales, particularmente las referentes a la solubilidad.

CLARK, J.S. (1990): Observa que en el suelo forestal la materia orgánica se ha reducido por frecuentes e intensos incendios a los que ha sido expuesto el suelo mineral. La biomasa herbácea incrementa, los arbustos presentan mayor variabilidad y el establecimiento de retoños se ve alterado substancialmente.

GIOVANNINI, LUCCHESI Y GIACHETTI (1990): Calientan bajo condiciones controladas de laboratorio dos muestras de suelos, observando que ésto tiene un efecto variable en el pH, descendiendo a 220 °C y cortándose su incremento después de los 700 °C. Este calentamiento disminuye la capacidad catiónica de cambio, de la misma manera que disminuyen ligeramente por encima de los 200 °C la materia orgánica, el nitrógeno total (se volatiliza) y el fósforo orgánico (se mineraliza y se transforma en la forma inorgánica). Por el contrario  $N-NH_4^+$  aumenta hasta los 200°C disminuyendo después bruscamente.

Respecto a los cationes, el  $\text{Ca}^{2+}$  incrementa hasta los 200 °C, decreciendo a 460 °C y volviendo a incrementar drásticamente a los 900 °C; el  $\text{Mg}^{2+}$  aumenta hasta 200 °C seguido de un continuo decrecimiento hasta ser completamente inextraíble a los 700-900 °C. El  $\text{K}^+$  se incrementa su extractibilidad progresivamente con un máximo a 700 °C. El  $\text{Na}^+$  incrementa hasta 200 °C, decreciendo continuamente hasta 900 °C.

KOPLATEK, J.M., KOPLATEC, C.C. y DeBANO, L.F. (1990): Comprueban que el incendio elimina más del 95% del C y N de la hojarasca, no existiendo cambios significativos en el C y N total del suelo. Se observan incrementos inmediatos en  $\text{NH}_4^+$  del suelo, disminuyendo con la profundidad, que están relacionados con el calentamiento del suelo. Las bacterias nitrificantes están indirectamente relacionadas con las temperaturas alcanzadas por el suelo durante el incendio.

WESTON, C.J. y ATTILWIL, P.M. (1990): Comparan un bosque no quemado con otro que ha sufrido los efectos de un incendio con distintas intensidades (fuego de superficie y de copas), observando que el N inorgánico incrementa de 0-5 cm cuando lo hace la intensidad del fuego, en los 205 días primeros tras el incendio, volviendo a la concentración del bosque no quemado a los 485 días del impacto. La concentración de  $\text{NO}_3^-$ -N y cationes metálicos incrementan en la solución del suelo, cuando lo hace la intensidad del incendio.

FERNANDEZ, M.C., IGLESIAS, T. y GONZALEZ, J. (1991):

Evalúan el impacto de 5 perfiles (Cambisoles eútricos) que sufrieron los efectos de un incendio nueve meses antes de la toma de muestras. Se comparan los resultados con los de un perfil testigo que se desarrolla en iguales condiciones ecológicas que los quemados, encontrando cambios en las características físicas y químicas y una ligera degradación de los minerales de la fracción arcilla de horizontes superiores (donde la acción del fuego ha sido más intensa). Los efectos del incendio sobre algunos minerales es un indicador de la intensidad del fuego.

GONZALEZ, FERNANDEZ, y GIMENO (1992): Estudian 6 perfiles (Cambisoles eútricos), desarrollados sobre granodioritas y bajo castañar, a los 7 y 18 meses de un incendio forestal, observando que con el tiempo los valores analíticos tienden a igualar a los del testigo, por perderse la capa con mayor acumulación de cenizas. Los minerales de la fracción arcilla se transforman dependiendo de la intensidad del incendio y de la temperatura alcanzada por el mismo, que se estima próxima a 400°C por los efectos observados en los minerales de la arcilla (para lo cual se han calentado muestras del suelo testigo a 200-300-400°C). En los intensamente quemados se degradan vermiculitas y caolinitas del horizonte superficial, mientras que a los 18 meses no se encuentra esta modificación, lo que se justifica por erosión del horizonte superficial.

FERNANDEZ, IGLESIAS, PALOMAR y GONZALEZ (1993): Analizan 18 perfiles de suelos desarrollados bajo *Pinus pinaster*, trece

de ellos sufrieron los efectos de un incendio forestal diez meses antes de la toma de muestras, y cinco sin impactar que se toman como testigos. Se ha determinado el pH en agua, cationes de cambio, hierro total y hierro libre. Con los resultados obtenidos se ha realizado un estudio estadístico con el programa R-sigma. Se observa que en los suelos afectados aumenta el pH, fundamentalmente en superficie; los cationes  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  aumentan significativamente en los impactados y no lo hacen  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$ . El hierro total con valores semejantes en todos los perfiles estudiados (testigos e impactados), y la relación hierro libre a hierro total aumenta con valores estadísticamente significativos en el horizonte superficial de impactados.

GOH, K. y PHILLIPS, M.J. (1993): Estudian las variaciones en la intensidad del incendio, observando que el fuego consume la mayoría de componentes no húmicos del suelo, pero a consecuencia de la humedad del horizonte húmico, el humus se ve poco afectado. Durante el incendio las temperaturas alcanzadas en el mantillo alcanzan los  $586^{\circ}\text{C}$ . La cantidad de materia orgánica consumida tras el incendio es alrededor de  $21000\text{Kg/ha}$ ; las cenizas producidas son  $3700$  a  $4400\text{ Kg/ha}$ . Las pérdidas de nutrientes del material consumido por el incendio son especialmente altas para el N (66%), P (35%), S (51%), siendo menor para otros nutrientes (<20%). Una gran proporción (80% a 90%) de  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ , son retenidos en las zonas de cambio catiónico del humus.

IGLESIAS, FERNANDEZ, y GONZALEZ (1993): Estudian cuatro perfiles (Cambisoles eútricos) desarrollados bajo *Pinus pinaster*, tres de los cuales se impactaron y el otro se toma como testigo; determinando las características fisico-químicas y mineralógicas a los diez meses del incendio. Observando que tiene lugar un incremento del pH, disminución del C y el N se mantiene constante, en afectados respecto al testigo. En relación al complejo de cambio se observa una disminución de la capacidad total, mientras que el grado de saturación y la suma de bases, se elevan respecto al testigo. Por calentamiento sucesivo de la fracción arcilla, se estima la posible alteración mineralógica y la temperatura alcanzada por el incendio, que se presupone próxima a 300°C.

RODER, W., CALVERT, O. y DORJI, Y. (1993): Detectan un incremento del pH de 6,0 a 6,9 y K disponible, de 34 a 69 mgKg<sup>-1</sup>. El C y N se reducen de 3,3 y 0,17% a 0,8 y 0,08% respectivamente; las mayores pérdidas de C, tienen como consecuencia una disminución de la razón C/N. El P total se incrementa en todos los suelos estudiados. Respecto al complejo de cambio, tiene lugar una disminución de la capacidad total (a causa de la pérdida de materia orgánica), mientras que el grado de saturación incrementa en los suelos postincendio.

ULERY, A.L. y GRAHAM, R.C. (1993): Toman muestras de perfiles impactados y testigos, en un bosque de coníferas, para determinar el efecto que el fuego tiene en el color y la textura del suelo, el tiempo transcurrido desde el incendio es

de 22 días a 3 años. Observan que color y textura, se alteran más cuando más acusado sea el incendio, que cuando es moderado o ligero. Después de un incendio severo, se forma un horizonte enrojecido de -1 a -8 cm, que tiene un hue más rojo y mayores cromas y valores que los testigos; por debajo de éste, hay un horizonte ennegrecido de 1 a 15 cm, con menores valores de Munsell. Los hues más rojos en los suelos quemados son consecuencia aparentemente de las transformaciones de los óxidos de hierro y los altos valores son resultado de la casi completa destrucción de materia orgánica. El contenido de C orgánico se reduce también en los horizontes ennegrecidos, de tal manera que, los menores valores de Munsell se deben probablemente a la carbonización del resto de materia orgánica.

Los horizontes enrojecidos, tienen significativamente menos arcilla que los testigos o los horizontes ennegrecidos, que tienen contenidos en arcilla que no difieren entre ellos. Los agregados tamaño arena, formados en la superficie de los suelos durante el incendio (en cuatro de las cinco zonas), alteran la distribución de tamaño de partículas y generan texturas grosera, debido a la mayor proporción de arena; en una de las zonas, el incendio, produce textura más fina, como consecuencia del incremento de limo, resultante de la descomposición de los granos de arenas caolinitizadas.

### 3. CARACTERISTICAS GENERALES DE LA ZONA DE ESTUDIO

### 3.1 GEOLOGIA

La Cordillera Central está constituida por un conjunto de rocas metamórficas y plutónicas que se extienden por el E hasta los materiales Mesozoicos del Sistema Ibérico, y por el W hasta la frontera Portuguesa. Sus límites N y S quedan definidos por las fosas tectónicas. Las rocas metamórficas se localizan principalmente en la parte oriental y occidental del sistema (López Ruíz, J, ; Aparicio, A. y García Cacho, L., 1975), aunque también aparecen otra serie de islotes metamórficos al N del Sistema; al metamorfismo se le asigna edad hercínica.

Gredos se encuentra enclavado en la submeseta septentrional, longitudinalmente abarca más de 140 Km. en dirección E-W y contiene las mayores altitudes de la Cordillera Central. Lo forman tres alineaciones graníticas montañosas, asimétricas, paralelas entre sí, y que caen verticalmente hacia el S (Lautensach, 1932). La zona Oriental Gredense es atravesada por grandes valles con líneas de fractura NNE-SSW y el escarpe meridional es más brusco y elevado a consecuencia del mayor salto de falla, incrementándose el desnivel hacia el W por la elevación del horst y descenso de las superficies de piedemonte, que en la zona de Arenas de San Pedro, se descomponen en una serie de peldaños ligados a fracturas oblicuas (Biro y Solé Sabarís, 1954) y se encuentra situada en una gran depresión erosiva y torrencial donde se reúnen un conjunto de thalwegs y no existen fenómenos glaciares.

Toda la red fluvial está intensamente influida por la tectónica, y los rios de la vertiente meridional tienen nivel de base más bajo y su acción erosiva es más intensa. El potencial morfogenético es extraordinario, arrastrándose material uniformemente a lo largo del cauce, y por encajamiento de la red hidrográfica dejando colgadas terrazas a distintos niveles (Schmieder, 1953 ; Asensio Amor, 1966 y Fernandez García, 1977). De esta manera en la vertiente meridional el relieve presenta un claro origen torrencial, con un fuerte control tectónico que ha motivado la orientación de los cursos de agua, teniendo el factor climático una importancia secundaria.

Para concluir, el paisaje de la zona se caracteriza por una topografía torrencial, favorecido por el clima reinante, un escalonamiento vegetal determinado por la orientación meridional, y un relieve que está relacionado con el juego estructural del horst de Gredos y la fosa del Tiétar (Martinez de Pisón, 1977). La fuerte acción erosiva ha mordido la superficie de las cumbres dando un carácter de Sierra que contrasta con la ladera septentrional más suave. De esta manera, debido a la orientación meridional y a la topografía de abruptas pendientes, no se han desarrollado fenómenos glaciares, pero son importantes los periglaciares.

Arenas de San Pedro, está localizada en la ladera meridional Gredense y se encuentra afectada por un metamorfismo Cámbrico Inferior. La zona coresponde a las áreas eugeosinclinales del Paleozoico inferior (Martín Escorza,

1972).

Litoestratigráficamente, se encuentra constituido por cuarcitas, esquistos micáceos y arenosos y micacitas, alternando en general, según capas centimétricas en un espesor total de 360-400 metros. En el muro, aparecen esquistos y esquistos areniscosos en capas decimétricas, alternando con capas centimétricas de cuarcitas. En los esquistos se aprecian minerales de cuarzo, moscovita y biotita; se ven también, aunque como accesorios, cristales de plagioclasa, microclina y circones. Las capas cuarcíticas tienen espesores entre 8 y 20 centímetros y las forman granos de cuarzo de tamaño medio. El aspecto general de esta formación, es de tipo flyschoide.

Tectónicamente, Gredos es un bloque del viejo conjunto granítico arrasado por una superficie de erosión, levantado en horst de fuerte salto de falla hacia el S y suavemente basculado hacia el N. Su disposición y dirección está determinada por grandes fallas ENE-WSW y se presenta afectada por otros dos sistemas de fractura que se cruzan ortogonalmente, NNE-SSW y ESE-WNW. Por consiguiente el relieve gredense aparece muy condicionado a la tectónica (Martínez de Pisón y Muñoz Jiménez, 1972) y terminó de forjarse en los últimos movimientos terciarios.

Las rocas metamórficas se presentan con la orogenia hercínica, apareciendo en tiempos tardihercínicos las rocas graníticas (Pedraza y López, 1980). Con la orogenia alpina tuvo

lugar un abombamiento de los materiales paleozoicos que constituían la Meseta, basculando el bloque que la formaba hacia el W, discurriendo los grandes rios hacia el Océano Atlántico. Los materiales metamórficos han sufrido varias y sucesivas deformaciones de edad Cámbrico inferior y postordovicenses (Martinez Escorza, 1971).

La orogenia hercínica afectó a las rocas de la zona, quedando la huella de al menos tres fases de deformación. Durante los movimientos alpinos, tuvo lugar un basculamiento según fracturas, muchas de las cuales probablemente estaban marcadas por fenómenos hercínicos.

### 3.2 VEGETACION

Bioclimáticamente, el Valle del Tiétar, pertenece al piso Mesomediterráneo superior húmedo e hiperhúmedo, cuyo límite se encuentra en los (850)-900 m. Fitogeográficamente queda enclavado según Sánchez Mata (1989) y Rivas Martinez et al., (1990) en:

Región Mediterránea, Subregión Mediterránea Occidental, Provincia Luso-Extremadurese, Sector Toledano-Tagano, Subsector Talaverano-Placentino, Distrito Verense.

El area de la Provincia Luso-Extremadurese (Rivas Martinez, et al., 1977, Ladero Alvarez 1987 y Rivas Martinez et al., 1990) comprende una buena parte del cuadrante suroccidental peninsular, presentando el clima influencia atlántica. Limita al Norte con las alineaciones de la Cordillera Central que le separan de la Provincia Carpetano-Ibérico-Leonesa, al este con la Provincia Castellano-Maestrazgo-Manchega, al sur con los sedimentos terciarios y cuaternarios que rellenaron la falla del Guadalquivir, a partir de la cual comienza la Provincia Bética, el borde litoral suroccidental es la Provincia Gaditano-Onubo-Algarviense. El distrito Verense comprende una banda entre los 350-900 m. de altitud, en la vertiente meridional de la Sierra de Gredos.

Nuestro territorio presenta una serie de comunidades vegetales (Sanchez Mata, 1989) de tipo arbustivo y forestal,

formadas por:

A- BREZALES Y BREZAL-JARALES (CALLUNO-ULICETEA)

A.1 *Halimio ocymoidis-Cistetum psilosepali*, son brezal jarales mediterráneo-iberoatlánticos que en la sucesión representan una etapa muy avanzada en la degradación de melojares mesomediterráneos húmedos luso-extremadurenses (*Arbuto unedonis-Quercetum pyrenaicae*), sustituidos desde antiguo por repoblaciones de pino resinero (*Pinus pinaster*) y donde abundan el helecho común (*Pteridium aquilinum*), y varios tipos de líquenes, destacando *Cladonia* sp.

A.2. *Polygalo microphyllae-Cistetum populifolii*, jaral brezales mesomediterráneos desarrollados en umbrías templadas y frescas, en las que son característicos los líquenes terrícolas del género *Cladonia*. En la sucesión representa una etapa de degradación ligeramente más avanzada que la de los madroñales con durillos (*Phyllireo angustifoliae-Arbutetum unedonis viburnetosum tini*), procedentes del aclarado o destrucción de melojares mesomediterráneos (*Arbuto-Quercetum pyrenaicae*). Estos bosques naturales también se encuentran sustituidos por repoblaciones antiguas de *Pinus pinaster*, en los que destaca la presencia de *Pteridium aquilinum*.

## B. BOSQUES CADUCIFOLIOS Y VEGETACION VIVAZ PROPIA DE LINDEROS

### (QUERCO-FAGETEA)

B.1 *Arbuto unedonis-Quercetum pyrenaicae*, es una serie de vegetación climatófila constituida por melojares mesomediterráneos que constituyen la vegetación potencial en áreas de ombroclima húmedo, el límite altitudinal se encuentra en los (850)-900 m. Los pequeños bosquetes caducifolios dominados por *Quercus pyrenaica* representan la etapa madura de la serie mesomediterránea luso-extremaduraense húmeda del roble melojo (*Arbuto unedonis-Querceto pyrenaicae* s.); las repoblaciones de *Pinus pinaster* han eliminado en ciertas áreas el bosque original. La etapa de sustitución, son brezales y brezal-jarales de la subalianza *Ericenion umbellatae* (*Halimio ocymoidis-Ericetum umbellatae*, *Halimio ocymoidis-Cistetum psilosepali*, *Polygalo microphyllae-Cistetum populifolii*) en estas áreas como etapa preforestal son frecuentes madroñales con durillos (*Phyllireo angustifoliae-Arbutetum unedonis viburnetosum tini*) que forman un denso tapiz arbustivo en el subvuelo de los pinares resineros repoblados (*Pinus pinaster*). En los claros de los pinares y en los bosquetes de *Quercus pyrenaica* aparecen berceales (*Melico magnolii-Stipetum giganteae*).

La tipología paisajista del Valle del Tiétar, está influida por elevadas precipitaciones y temperaturas reinantes, lo que origina una vegetación rica en especies. Nicolás y Gandullo (1967) realizan un estudio ecológico del *Pinus pinaster* Ait., indicando que forma generalmente masas puras,

con vegetación arbustiva de matorral y herbácea: *Pteridium aquilinum*, *Daphne gnidium*, *Arbutus unedo*, *Erica arborea*, *Viburnum tinus*, *Cistus populifolius*, *Cistus ladanifer*. Este pino "parece pino gallego", y posiblemente pertenece a la misma subespecie o, al menos, a raza análoga a la que existe al NW de España. Los suelos sustentan bosques de primera calidad (calidad gallega), las mejores calidades, estarían ubicadas donde la capa impermeable se hallase a mayor profundidad, en los sitios donde la pedregosidad fuera escasa, y para valores de pH próximos a la neutralidad, lo que permitirá una mejor asimilación de nutrientes. En la zona de Arenas de San Pedro, para más de 6% de materia orgánica en el horizonte superior y pH superficial superior a 6,0 se obtiene una Clase de Calidad II, es decir buena.

### 3.3 CLIMA

La vertiente meridional de la Sierra de Gredos forma parte del valle del Tiétar y se caracteriza por un clima templado-húmedo, sin aridez y libre de heladas de Mayo a Octubre. Las precipitaciones son las máximas provinciales, a causa de estar abierta a la depresión del Tajo y expuesta a los vientos del SW. Las condiciones climáticas favorecen una acción erosiva de carácter torrencial a causa de la elevada pluviometría (Martínez de Pisón, 1977).

Para el estudio climatológico de la zona tomamos datos de las estaciones meteorológicas de Arenas de San Pedro y Guisando, que poseen un tipo climático Mediterráneo templado (Eliás Castillo y Ruíz Beltrán, 1977 y Forteza del Rey, 1984).

\* ARENAS DE SAN PEDRO

Estación meteorológica situada a 510 m de altitud. La temperatura media anual es de 14,5 °C, que se mantiene dentro de los límites de un clima templado, oscilando entre los 25 °C de Julio y los 4,8 °C de Diciembre, con una oscilación térmica anual de 20,2 °C. Así se puede establecer que la temperatura media estacional de los meses de invierno es de 6 °C, en primavera es de 13,3 °C, en verano de 23,6 °C y en otoño de 14,8 °C, lo que anualmente representaría 14,4 °C. De esta manera podemos establecer a lo largo del año dos periodos claros en relación con la temperatura:

- Un periodo corto y frío que abarca desde Noviembre a Febrero, con una temperatura media de 6,7 °C.
- Otro cálido, más largo que va de Mayo a Octubre, con temperaturas superiores a los 15 °C ( $t_m = 20,6$  °C).

El tránsito del periodo frío al cálido y viceversa, tiene lugar de una forma gradual. Las temperaturas mínimas absolutas no superan los 0 °C desde Noviembre a Abril, mientras que las máximas absolutas tienen valores superiores a los 15 °C todo el año, siendo superiores a 30 °C desde Mayo a Septiembre.

La temperatura media estacional de las máximas es 8,6 °C en invierno, 21,5 °C en primavera, 33,7 °C en verano y 22,4 °C en otoño, lo que al año representa 22,3 °C.

La temperatura media estacional de las mínimas es 0,4 °C en invierno; 5,2 °C en primavera; 13,5 °C en verano y 7,3 °C en otoño, que al año corresponde a una media de 6,6 °C.

La duración media del periodo frío (temperatura menor o igual a 7 °C) es de seis meses, teniendo lugar la primera helada en Octubre y la última en Mayo, la variabilidad con que un mes es frío es de 8 meses (excluyendo los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre). La duración media del periodo cálido (temperatura mayor de 30 °C) es de 3 meses: Junio, Julio y Agosto.

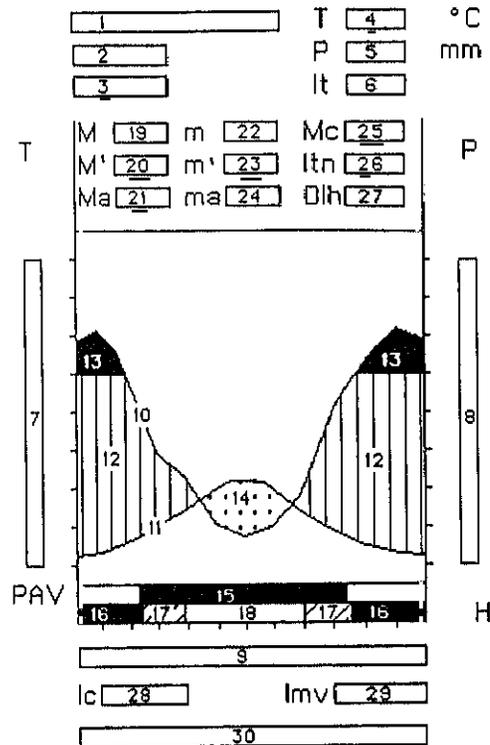
La pluviometría nos indica que al año la precipitación es de 1485,3 mm, con dos máximos: en Noviembre (220,1 mm) y Febrero (225,9 mm) y un mínimo en Julio (6 mm). Observándose un periodo muy lluvioso de Octubre a Marzo, que se correspondería con el Otoño (431,1 mm) e Invierno (627,7 mm), siendo la pluviometría media primaveral intermedia (360,1 mm) y un déficit en Julio y Agosto, es decir en los meses centrales del verano (60,4 mm).

Las precipitaciones en forma de nieve suceden fundamentalmente en los meses de invierno, pero incluso pueden tener lugar en primavera, el granizo puede precipitarse de Enero a Julio. La variabilidad del déficit mensual sufre las siguientes oscilaciones:  $D < 50$  que abarca los meses de Mayo, Junio, Agosto y Septiembre;  $100 > D > 50$  durante los meses de Junio y Agosto y  $D > 100$  únicamente en el mes de Junio.

La ETP anual es de 895 mm, siendo mínima en invierno (28,2 mm) e incrementándose en primavera (186,3 mm) y en otoño (193,4 mm) con valores casi semejantes. El aumento es importante en verano (487,1 mm), meses en los cuales se encuentra por encima de 100 mm, en Julio (184,2 mm) tiene un máximo. La duración media del periodo seco ( $R=100$ ) es de tres meses, abarca desde mediados de Junio a mediados de Septiembre.

Así se puede concluir que según la clasificación Agroclimática de Papadakis, el tipo de invierno es AV (avena cálido), el verano M (maíz), consecuentemente el régimen térmico TE (Templado Cálido) y el de humedad Me (Mediterráneo húmedo), el Agua de Lavado es 1075,4 y el Índice Anual de Humedad es 1,66 luego el tipo climático será Mediterráneo Templado.

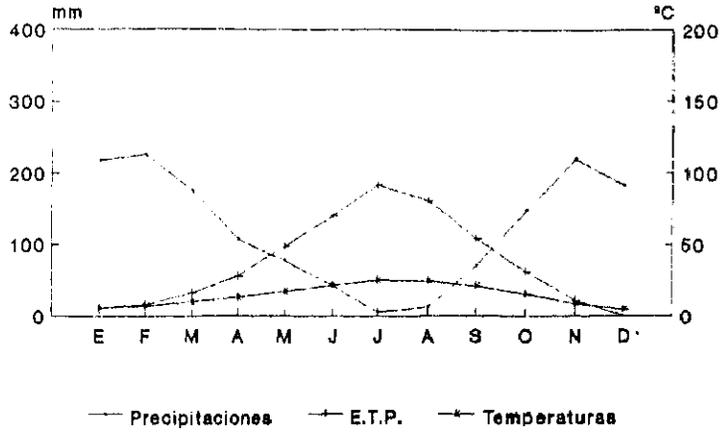
## DIAGRAMAS OMBROTERMICOS



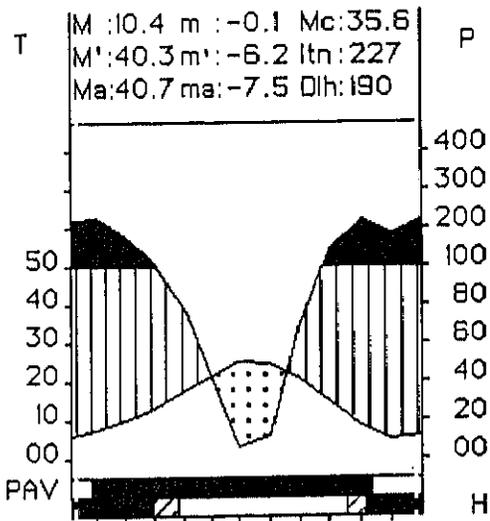
1. Estación meteorológica
2. Altitud sobre el nivel del mar
3. Años de observación
4. T: Temperatura media anual en °C
5. P: Precipitación media anual en mm
6. It: Índice de termicidad =  $(T+M+m)10$
7. Escala de temperatura en °C
8. Escala de precipitación en mm
9. Meses
10. Curva de precipitación media mensual (Pm)
11. Curva de temperatura media mensual (tm)
12. Período húmedo ( $Pm < 100$  mm)
13. Período húmedo ( $Pm > 100$  mm, escala reducida a 1/10)
14. Período de sequía o árido
15. PAV: Período de actividad vegetal ( $tm > 7.5$  °C)
16. Período de heladas seguras (temperatura media de las mínimas absolutas del mes  $< 0$  °C)
17. Período de heladas probables (temperatura media de las mínimas absolutas del mes  $< 2$  °C)
18. Período libre de heladas
19. M: Temperatura media de las máximas del mes más frío
20. M': Temperatura media de las máximas absolutas del mes más cálido
21. Ma: Temperatura media de las máximas absolutas anuales
22. m: Temperatura media de las mínimas del mes más frío
23. m': Temperatura media de las mínimas absolutas del mes más frío
24. ma: Temperatura media de las mínimas absolutas anuales (Pm)
25. Mc: Temperatura media de las máximas del mes más cálido
26. Itn: Índice de termicidad negativo: suma de las temperaturas medias de las mínimas absolutas mensuales inferiores a cero, multiplicada por diez
27. Dlh: Días libres de helada
28. Ic: Índice de continentalidad  
 $Ic = Ma - ma + (0.6A/100)$
29. Imv: Índice de mediterraneidad estival (junio + julio + agosto)  
 $Imv = ETPv$  (evapotranspiración estival) /  $Pv$  (precipitación estival)
30. Diagnósis bioclimática

# Climatograma

Estación: Arenas de San Pedro (Avila)



ARENAS DE S. PEDRO (AV) T : 14.5 °C  
 510 m P : 1483 mm  
 11 años It : 248



lc: 45.9 Imv: 7.0  
 Mesomediterráneo superior  
 Húmedo superior

## BALANCE DE AGUA

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
P	218,4	225,9	174,4	107,4	78,3	42,1	6	12,3	70	147	220,1	183,4	1485,3
ETP	12	16,1	32,9	55,6	97,8	141	184,2	161,8	109	62,3	22,1	0,1	895
N	0,6	0,9	0,1	0,1								0,7	2,4
G	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1						0,7

Lluvia de lavado= 62,1

Indice anual de humedad= 0,48 (P/ETP)

Régimen de humedad= Me (Mediterráneo húmedo)

Tipo Climático= Mediterráneo Templado

Ecoclima= Mediterráneo

## TERMOMETRIA

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
T'	15,8	19,4	23,1	28,1	33	37,7	40,3	39,1	35,2	27,9	20,8	15,6	40,7
T	11,2	13,5	16,9	21,4	26,1	30,8	35,5	34,7	29,6	22,7	15	10	22,3
tm	6	7,2	9,8	13	17,2	21,4	25	24,2	20,5	15,2	8,8	4,8	14,5
t	0,8	1	2,8	4,6	8,3	12,1	14,6	13,7	11,4	7,8	2,6	-0,5	6,6
t'	-5,2	-5,3	-2,9	-0,4	2,5	6,4	9,4	9,5	6,3	2,2	-2,7	-6,5	-7,7

Tipo de Invierno= Av/av

Tipo de Verano= M

Régimen Térmico= TE

\* GUISANDO: "EL RISQUILLO"

Esta estación se encuentra a 766 m de altitud. De los datos termométricos cabe resaltar la relativamente baja temperatura media anual (11,9 °C), una oscilación térmica al año de 17,5 °C y un tránsito gradual del periodo frío al cálido y viceversa. La temperatura media estacional de las medias para los meses de invierno es de 4,2 °C, en primavera es de 10,8 °C, en verano 20,1 °C y en otoño de 12,7 °C; teniendo lugar una oscilación térmica anual de 17,5 °C. La duración media del periodo frío es de 7 meses.

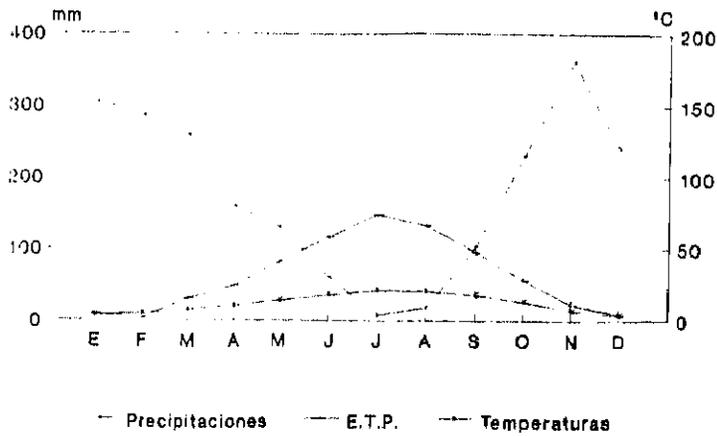
Si se observa el balance de agua, se puede ver que la precipitación es de 2160 mm, con dos máximos: Enero (304,9 mm) y Noviembre (362,1 mm), y un mínimo en Julio (8,3 mm). La pluviometría media estacional es alta en invierno (832,5 mm), primavera (545,6 mm) y otoño (695,5 mm), siendo baja en verano (86,4 mm); careciendo de datos acerca de la naturaleza de las precipitaciones. La ETP anual es de 766,6 mm, manteniéndose muy baja durante el invierno (32 mm), incrementando en verano (399 mm) y manteniéndose con valores intermedios en primavera (161,3 mm) y otoño (174,3 mm). La duración media del periodo seco ( $R=100$ ) es de 2 meses (Julio y Agosto). La variabilidad del déficit mensual es:  $D < 50$  Julio, Agosto, Septiembre y Octubre,  $100 > D > 50$  Julio, Agosto y Septiembre y  $D > 100$  Junio, Julio y Agosto.

Según la clasificación agroclimática de Papadakis el tipo

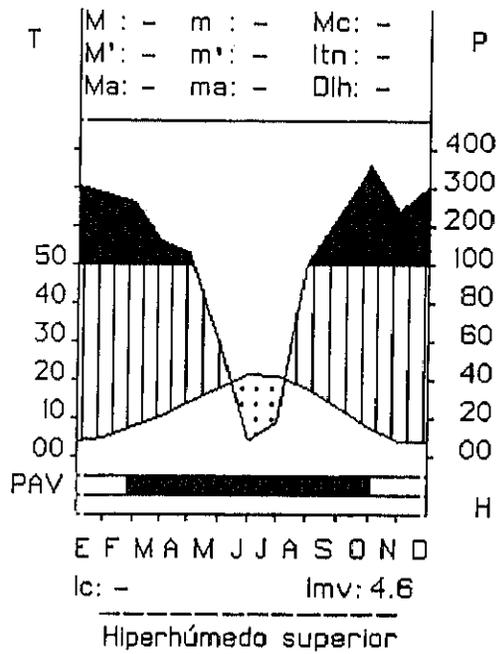
de invierno es av (avena fresco), el tipo de verano es M (Maiz), el régimen de humedad ME (Mediterráneo húmedo).

# Climatograma

## Estación: Guisando (Avila)



**GUISANDO**  
 (EL RISQUILLO) (Av) T : 11.9 °C  
 766 m P : 2160 mm  
 16 años It : -



## BALANCE DE AGUA

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
P	304,9	286,4	258,1	157,6	129,9	60	8,3	17,8	102,8	230,6	362,1	241,2	2160
ETP	9,3	3,4	31	48,7	81,6	117,6	148,1	133,2	94,9	56,5	22,9	9,3	766,6

## TERMOMETRIA

	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	AÑO
tm	3,8	5	7,9	10,4	14	18,2	21,3	20,8	17,8	12,9	7,4	3,9	11,9

### 3.4 SUELOS

El suelo según Fitzpatrick es el "continuo de espacio-tiempo" que forma la parte superior de la corteza terrestre; es un complejo dinámico en el que se están efectuando una cantidad innumerable de procesos. Para Dokuchaiev los suelos son "cuerpos naturales independientes, donde cada individuo presenta una morfología particular, resultante de una combinación específica del clima, materia viva, roca, relieve y duración de la evolución. La morfología de cada suelo, que se manifiesta en el perfil, refleja los efectos combinados de una serie particular de factores genéticos que determinan su desarrollo".

Los suelos de la zona, son tierras pardas húmedas (García Rodríguez et al., 1966), que constituyen una pequeña mancha entre Arenas de San Pedro y Guisando, con límites difíciles de precisar dado lo accidentado del terreno, la constitución litológica heterogénea y lo tupido del bosque (pinar espeso) y sotobosque. Se trata de suelos poco profundos, con un horizonte de humus bien desarrollado (mull o moder mulliforme), de estructura esponjosa, lavado moderado y tendencia a la podsolización, favorecida por la vegetación, pero dificultada por lo accidentado del relieve, que limita el lavado vertical; son moderadamente ácidos, pobres en P y con un contenido en  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ , que disminuye fuertemente con la profundidad, principalmente el calcio. Presentan bajos contenidos en arcillas, destacando la presencia de abundante caolinita y

gibbsita, que aparece en todos los horizontes, representando los minerales propios de la arcilla, el 50% aproximadamente de la fracción de este tamaño, correspondiendo el resto a óxidos libres.

Hoyos et al. (1980), analizan un perfil, que se encuentra a 1200 m, con podsolización incipiente, favorecida por el clima y tipo de vegetación acidificante y frenada por el contenido en hierro del material original y por la fuerte pendiente en que se encuentra situado.

En las proximidades del área de estudio, se han tomado muestras de cuatro perfiles de suelos, representativos de la zona, que presentan un desarrollo A/Bw/C Y A/C, siendo el espesor de los primeros de 80-110 cm, con un horizonte A de 15-30 cm; en los perfiles A/C, el espesor del horizonte A alcanza los 50 cm. El clima es Mediterráneo templado, están localizados bajo un pinar repoblado con *Pinus pinaster*, y todos se han desarrollado sobre el mismo material original: esquistos y cuarcitas; se encuentran a altitudes variables (1100-810 m), pendientes escarpadas (35%), y con orientaciones NE Y SW.

Son suelos que presentan generalmente un color marrón oscuro (10YR3/3) en húmedo, siendo pardo en seco, en el horizonte superficial, al profundizar pasan a pardo amarillento. La estructura es granular fina, pasando a sin estructura en el horizonte más profundo. La consistencia es variable. La textura es bastante homogénea a lo largo de los

perfiles, arenosa-franca y franco-arenosa, lo que da idea de la homogeneidad del material (esquistos y cuarcitas), determinando su similar composición granulométrica, son predominantemente arenosos, con pequeñas proporciones de limo y arcilla. Son suelos ligeramente ácidos, con valores de pH en superficie de 5,3 a 6,4, variaciones que están condicionadas por el sotobosque existente, los valores más elevados se presentan en suelos cuya cubierta vegetal está constituida además de pinos, por robles en forma estolonífera y castaños, existiendo tendencia en éstos a disminuir en profundidad.

Los contenidos en carbono son variables (8,4 a 3,8%), influidos por los aportes vegetales y con una tendencia a disminuir a medida que la altitud es menor. El nitrógeno varía irregularmente (0,35 a 0,18%), disminuyendo en el mismo sentido que el carbono. Las relaciones C/N son moderadamente altas, características de un humus tipo moder.

La capacidad total de cambio en estos perfiles es variable, y está condicionada fundamentalmente, con la proporción de materia orgánica, ya que su textura es homogénea, presentando pequeña proporción de arcilla. Son suelos desaturados, como consecuencia del material del cual proceden y por desarrollarse bajo vegetación acidificante, el grado de saturación es menor del 50%. Respecto a los cationes de cambio, existe un predominio de  $\text{Ca}^{2+}$  en horizontes superficiales, cuya cubierta vegetal está constituida en parte por robles en forma estolonífera. De los cationes monovalentes, existe un ligero

predominio de  $\text{Na}^+$  frente a  $\text{K}^+$ , manteniéndose ambos muy semejantes a lo largo del perfil.

Los suelos presentan baja liberación de hierro, como corresponde a su evolución, estando comprendidas las relaciones hierro L/T entre 30 y 40% en superficie, manteniéndose constantes o incrementando ligeramente estos valores en el horizonte Bw.

Según la F.A.O. (1990), los suelos de la zona se corresponden a Cambisoles húmicos, Cambisoles dístricos y Leptosoles dístricos.



#### 4- MATERIAL Y METODOS

#### 4.1 LOCALIZACION DE PERFILES

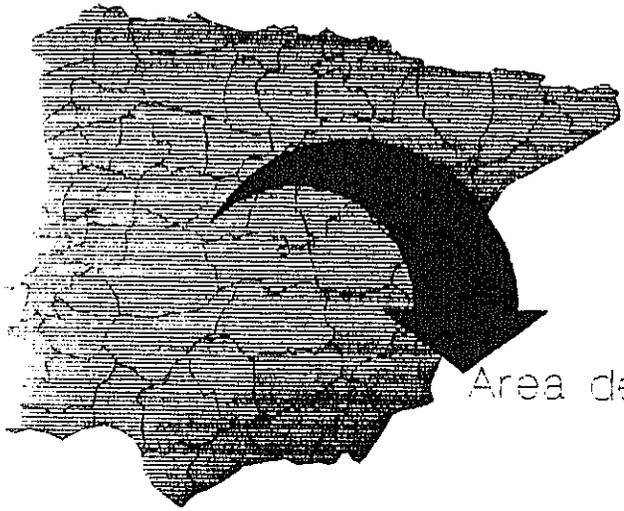
La zona de estudio, se encuentra en la hoja nº: 578 del Mapa Militar de España, escala 1:50.000 y está situada en la vertiente meridional del Macizo Oriental de Gredos, localizada entre Arenas de San Pedro y Guisando (en la zona de Lancharón) provincia de Avila (Fig. M-1).

Este área sufrió los efectos de un incendio forestal, que tuvo lugar diez meses antes de la toma de muestras. La duración del fuego fue de diez horas, y el incendio afectó a copas y sotobosque. Durante el periodo transcurrido entre el incendio y la toma de muestras no hubo lluvias torrenciales.

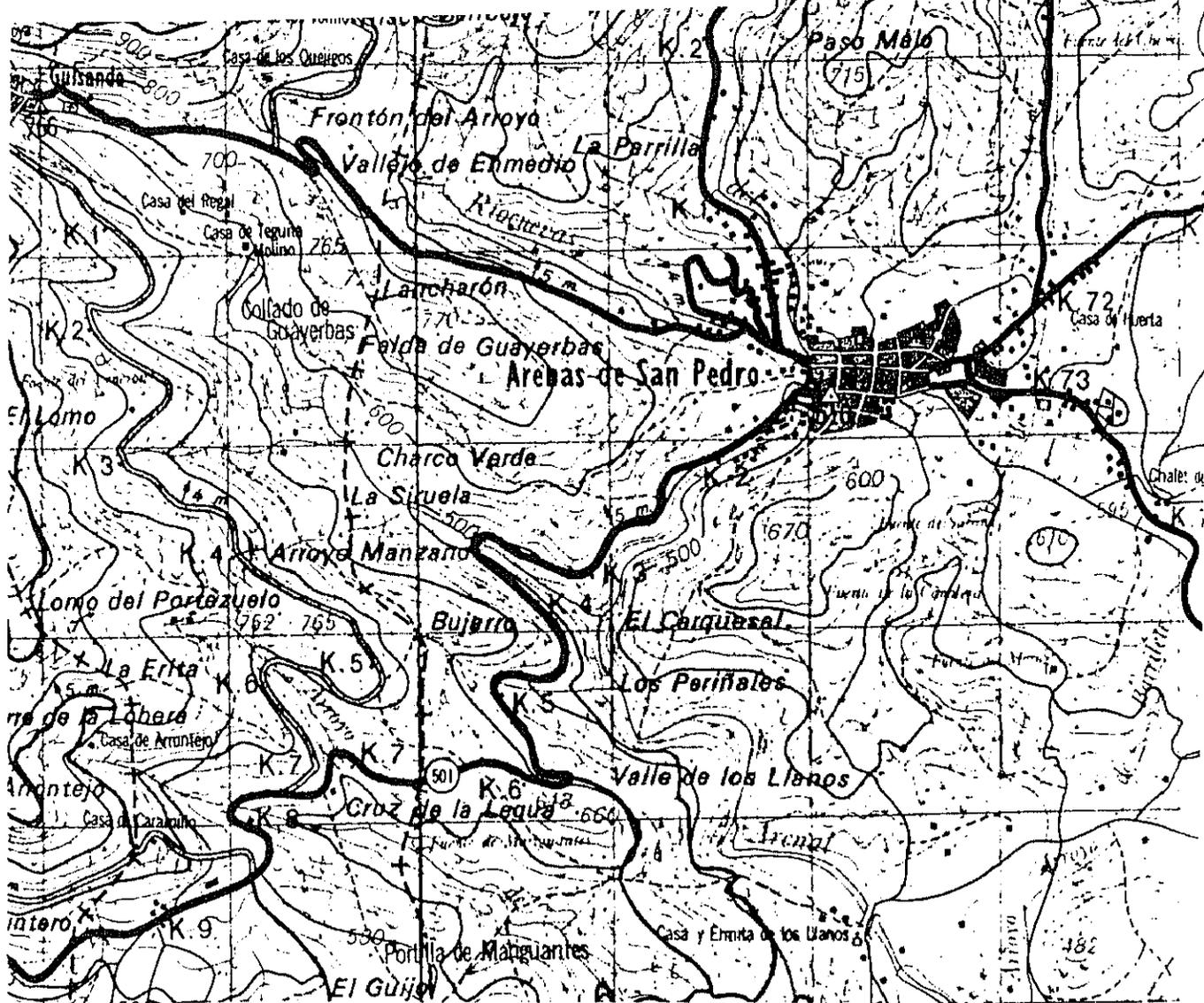
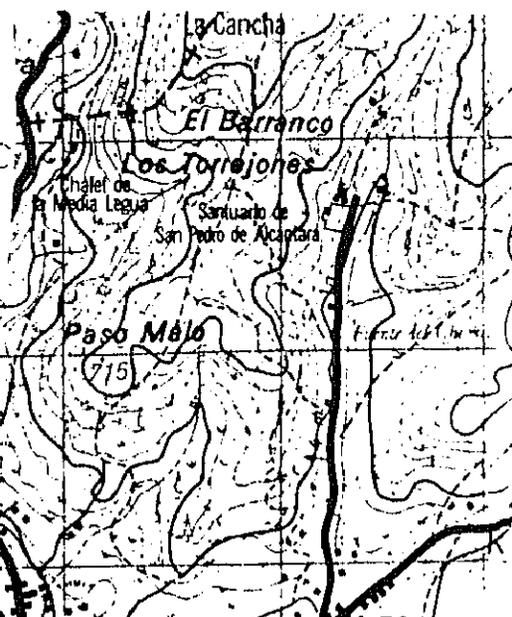
Los perfiles estudiados, se han desarrollado a partir de idéntico material original (esquistos y cuarcitas) y distribuyéndose en cinco series para su estudio, en cada una de ellas se incluye un perfil testigo. Los perfiles de cada serie se encuentran a la misma altitud, y a una distancia fija entre ellos, siendo las orientaciones variables, y las pendientes acusadas. La localización de los perfiles viene expresada en la Fig. M-2.

DISTRIBUCION DE PERFILES EN LAS DISTINTAS SERIES

<u>SERIE</u>	<u>TESTIGOS</u>	<u>IMPACTADOS</u>
I	T7	LA3, LA2, LA1, LA4, LA5
II	T6	LA10, LA6
III	T8	LA7, LA8, LA12
IV	T9	LA11, LA9
V	T10	LA13



Area de estudio



Escala 1:50.000



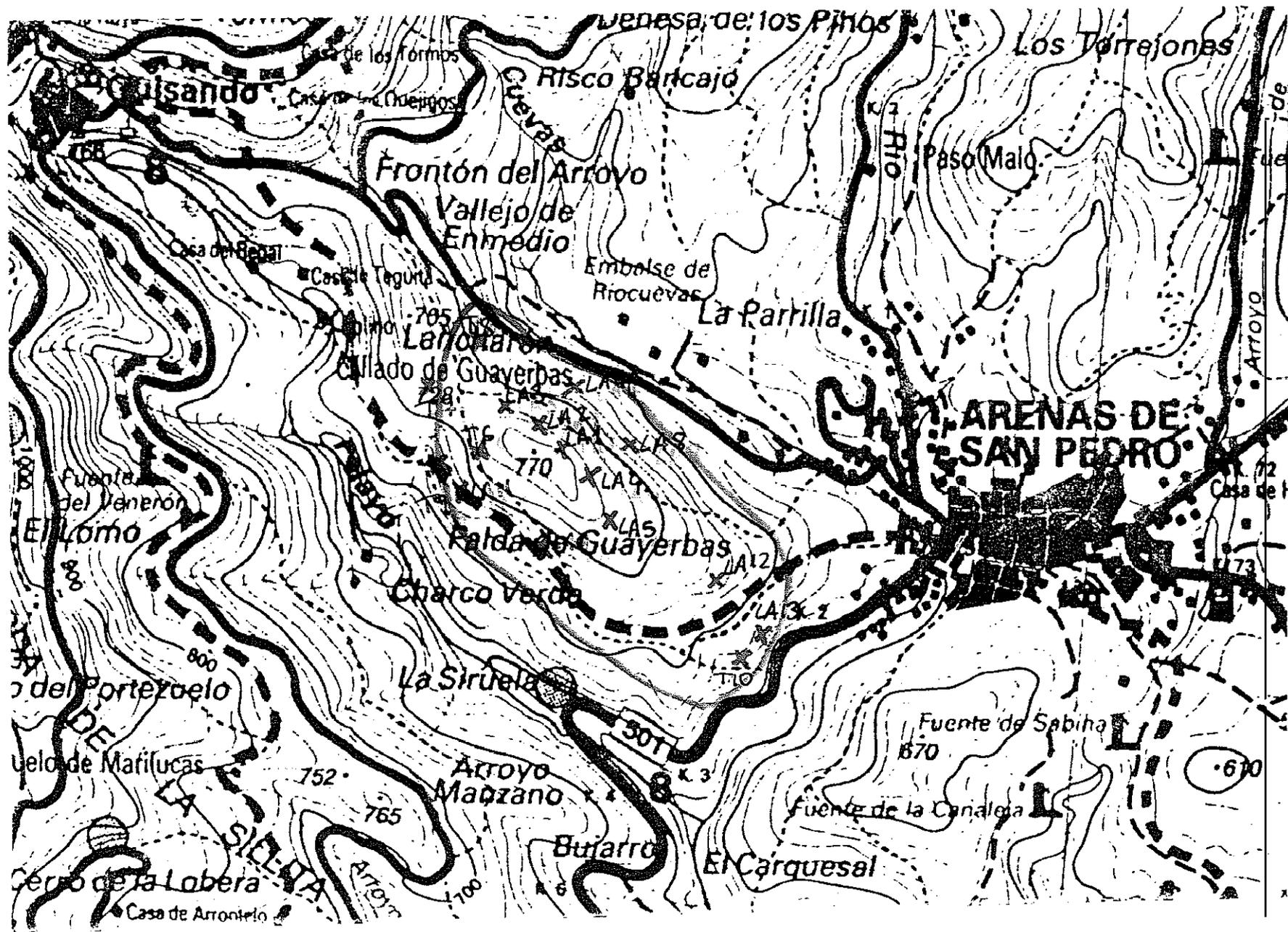


Fig. M 2

## 4.2 DESCRIPCION DE LOS PERFILES

Se tomaron dieciocho perfiles, que corresponden a Cambisoles húmicos y Cambisoles dístricos, trece de los cuales se encontraban impactados por un incendio forestal de superficie, cinco de ellos no aparecían afectados por el fuego y fueron tomados como testigos. Profundizamos en todos los perfiles hasta 40 cm, zona que se observa impactada y con restos de carbón.

Realizamos una ficha de campo en la que incluimos:

- 1- Información general acerca de la localización, y presumible intensidad del incendio.
- 2- Información general acerca del suelo, y su grado de impacto, estableciendo la secuencia según la distancia al testigo.
- 3- Descripción detallada de los horizontes del suelo (F.A.O., 1977), y los efectos sufridos por el fuego, puestos de manifiesto por determinados signos, como la mayor o menor presencia de carbón. Se ha incluido el símbolo (b), como indicativo de impacto.







NOMBRE DEL SUELO: Cambisol húmico

UBICACION: Lancharón, a la derecha de un camino forestal que atraviesa el incendio, con orientación NE.

ALTITUD: 750 m.

FORMA DEL TERRENO:

\* Posición fisiográfica: Meseta

\* Forma del terreno circundante: Colinado

PENDIENTE: Moderadamente Escarpada 25%. Clase 4

VEGETACION: Bosque repoblado de *Pinus pinaster*. Helechos.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Afloramientos de esquistos a 15 m del perfil pendiente arriba y a 5 m hacia abajo.

#### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Se trata de un perfil muy seco, tomado a 15 m. de un cortafuego, con cuarcitas rodadas. Presenta un fieltro vegetal con hifas y restos vegetales sin descomponer

## DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

- Ah<sub>1</sub> 0-4 cm Marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo y gris (10YR 5/1) en seco. Estructura granular fina, ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso. Existencia de vida animal (ácaros). Abundancia de raíces finas. Muy duro. Muchas hifas secas con grumos. Esquistos y cuarcitas en un 20%. Paso gradual al horizonte inferior.
- Ah<sub>2</sub> 4-20 cm Marrón amarillento oscuro (10 YR 3/4) en húmedo y marrón (10 YR 5/2) en seco. Estructura poliédrica. Adherente, plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Arenoso-Franco. Trozos de carbón de gran tamaño que aparece a los 10 cm Raíces finas. Rocas de 2-10 cm en un 40%. Paso gradual al horizonte inferior.
- AB 20-40 cm Marrón amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo y marrón claro (10YR 6/4) en seco. Estructura poliédrica. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Arenoso-Franco. Aumentan raíces y rocas.

adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Estructura granular fina. Franco-Arenoso. Hormigas, arañas y otros insectos en mediana cantidad. Restos vegetales carbonizados. Límite neto e irregular con el horizonte inferior. Gran cantidad de carbón.

Ah<sub>2</sub>(b)      5-20 cm      Marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/3) en húmedo y marrón amarillento (10YR5/6) en seco. Estructura poliédrica. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Franco-Arenoso. Abundancia de rocas (esquistos) de tamaño pequeño y grande, estando algunas muy alteradas. Grandes trozos de carbón interpuestos, así como de raíces quemadas, en algunas zonas restos de antiguo fieltro vegetal.

AB(b)      15-40 cm      Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y Marrón (10YR 4/6) en seco. Estructura poliédrica. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Franco-Arenoso. Existencia de carbón.

## LA 2

UBICACION: Lancharon, a la derecha del camino forestal con orientación N.

ALTITUD: 750 m.

FORMA DEL TERRENO: Igual que LA 1

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINAL: Esquistos y cuarcitas

### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Afloramientos rocosos de esquistos a 100 m, así como rocas de todos los tamaños a lo largo del perfil. Existencia de rocas en superficie, esporádicamente aparecen cuarcitas. Restos de tocones recién cortados de 80 cm a 1 m de diámetro de pinos y helechal no muy espeso. Este perfil ha sido tomado a 200 m del anterior.

### DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Ah <sub>1</sub> (b)	0-2 cm	Negro (10 YR 2/1) en húmedo y marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco. Estructura granular fina. Ligeramente adherente, ligeramente plástico. Franco-Arenoso. Carbón.
---------------------	--------	---

- Ah<sub>2</sub>(b)      2-20 cm    Marrón muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo y marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en seco. Estructura poliédrica. Adherente, plástico, friable en húmedo y blando en seco. Franco-Arenoso. Actividad biológica; restos de fieltro vegetal. Paso difuso y regular al horizonte inferior. Raíces finas y gruesas algunas totalmente carbonizadas. Carbón. Abundantes manchas negras y rojizas. Hormigas y arañas.
- AB(b)      20-40 cm    Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y marrón amarillento (10YR5/8) en seco. Estructura poliédrica. Adherente, plástico, friable en húmedo y blando en seco. Franco-Arenoso. Carbón. Disminuyen las raíces.

LA 3

UBICACION: Igual que LA 1.

ALTITUD: 750 m.

FORMA DEL TERRENO: Igual que LA 1

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: A 100 m aparece un afloramiento rocoso

DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Ah <sub>1</sub> (b)	0-4 cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo y marrón oscuro (10YR 3/2) en seco. Estructura granular fina. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Franco-Arenoso. Paso difuso al horizonte inferior. Carbón.
Ah <sub>2</sub> (b)	4-20 cm	Marrón muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo y marrón oscuro (10YR 3/3) en seco. Estructura poliédrica. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Franco-Arenoso. Paso difuso y regular. Carbón.
AB(b)	0-40 cm	Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y marrón (10YR 4/6) en seco. Estructura poliédrica. No adherente, no

plástico, muy friable en húmedo y blando  
en seco. Arenoso-Franco. Carbón.

## LA 4

UBICACION: Igual que LA 1

ALTITUD: 750 m.

FORMA DEL TERRENO: Igual que LA 1

VEGETACION: *Pinus pinaster*. Helechos.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Piedras en superficie.

### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Es un suelo sin afloramientos rocosos cercanos, aunque presenta rocas en todo el perfil, en mayor cantidad en superficie que los perfiles LA1, LA2 y LA3. Aparece carbón en superficie y las raíces están más frescas que en los anteriores perfiles. Mayor humedad ya que hay musgos y pinos creciendo de mayor tamaño. Acículas de pino en superficie. Está situado en una zona de falla.

### DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Ah <sub>1</sub> (b)	0-5 cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo y marrón oscuro (10YR 3/2) en seco. Estructura granular fina. Ligeramente adherente,
---------------------	--------	---

ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Franco-Arenoso. Paso neto y recto al horizonte inferior. No hay actividad biológica. Carbón.

Ah<sub>2</sub>(b)      5-20 cm      Marrón grisáceo oscuro (10YR 2/2) en húmedo y marrón amarillento oscuro (10YR 4/4) en seco. Estructura poliédrica. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso. Abundantes raíces muy finas. Paso gradual al horizonte inferior.

AB(b)      20-40cm      Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y marrón amarillento (10YR5/6) en seco. Estructura poliédrica. Adherente, plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso.

UBICACION: Igual que los anteriores, con orientación NE.

ALTITUD: 750 m.

FORMA DEL TERRENO:

\*Posición fisiográfica: Pendiente convexa

\*Forma del terreno circundante: Fuertemente socavado

PENDIENTE: Escarpada 35%. Clase 5

VEGETACION: Pinar de repoblación de *Pinus pinaster*. Helechos.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: En superficie coluvios desde 5 cm hasta 40-50 cm. Hay un 8-10% de rocas a lo largo del perfil desde los 5 a los 30 cm.

#### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Se trata de un perfil impactado, tomado a 3 m de dos tocones de pino de 1,5 m de diámetro. Presencia de hormigas en la parte superior. Raíces de pequeño y mediano tamaño abundantes en los 20 primeros centímetros, disminuyendo de 20-40 cm, algunas raíces gruesas de 2-5 cm de diámetro.

## DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Ah <sup>1</sup> (b)	0-2cm	Negro (10YR2/1) en húmedo y marrón grisáceo muy oscuro (10YR3/2) en seco. Sin estructura. Ligeramente adherente, no plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Franco-Arenoso. Abundantes raíces finas y medias. Gran cantidad de carbón. Hormigas.
Ah <sub>2</sub> (b)	2-20cm	Marrón muy oscuro (10YR2/2) en húmedo y marrón amarillento (10YR4/4) en seco. Estructura poliédrica débil. Franco-Arenoso. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Abundantes raíces finas y medias. Carbón.
AB(b)	20-40cm	Marrón amarillento oscuro (10YR3/4) en húmedo y marrón amarillento (10YR5/6) en seco. Estructura poliédrica. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso. Disminuyen las raíces, pero existen algunas raíces muy gruesa de 2-5 cm de diámetro. Más húmedo que el anterior horizonte. Carbón.

NOMBRE DEL SUELO: Cambisol húmico

UBICACION: Suelo tomado a la derecha de un camino forestal  
con una orientación SE.

ALTITUD: 750 m.

FORMA DEL TERRENO:

\* Posición fisiográfica: Pendiente convexa

\* Forma del terreno circundante: Fuertemente socavado

PENDIENTE: Escarpada 35%. Clase 5

VEGETACION: Monte público repoblado con *Pinus pinaster*.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Esquistos y  
cuarcitas de diferentes tamaños.

#### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Es un perfil con frecuentes esquistos y cuarcitas en toda la calicata y restos de carbón hasta los 40 cm de profundidad. En la parte superior hay abundantes acículas de pino y hormigas. Raíces en todo el perfil.

#### DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

- Ah 0-20cm Gris muy oscuro (10YR 3/1) en húmedo y marrón(10YR 5/3) en seco. Estructura granular fina. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Arenoso-Franco. En algunas zonas aparece un fieltro dada la abundancia de raíces finas y medias. Restos de actividad humana dada la existencia de carbón. Paso gradual e irregular al horizonte inferior. Abundantes rocas incluidas de distintos tamaños.
- AB 20-40cm Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y marrón amarillento (10YR5/4) en seco. Estructura migajosa. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Arenoso-Franco. Abundancia de raíces finas, medias y gruesas. Carbón. Gran cantidad de rocas interpuestas.

UBICACION: Igual que T 6 y con la misma orientación.

ALTITUD: 750 m.

FORMA DEL TERRENO:

\* Posición fisiográfica: Pendiente convexa

\* Forma del terreno circundante: Fuertemente socavado

PENDIENTE: Escarpada 35%. Clase 5

VEGETACION: Monte repoblado con *Pinus pinaster*.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Gran cantidad de rocas en superficie

#### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Ha sido tomado en la zona de transición entre quemado-no quemado y a 200 m del perfil anterior. Muchas rocas en superficie de esquistos y cuarcitas.

## DESCRIPCION DEL PERFIL

Ah <sub>1</sub> (b)	0-4 cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo y gris muy oscuro (10YR 3/1) en seco. Estructura granular fina. Franco-Arenoso. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, ligeramente friable en húmedo y blando en seco. Presencia de líquenes y vida animal (gusanos). Raices finas y medias quemadas.
Ah <sub>2</sub> (b)	4-20cm	Marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo y marrón (10YR 5/3) en seco. Estructura migajosa. Arenoso-Franco.- Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo y blando en seco. Raices finas y medias quemadas hasta los 40 cm, carbón; 70% de rocas predominando la cuarcita sobre el esquisto.
AB(b)	20-40cm	Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y amarillo parduzco (10YR6/6) en seco. Estructura migajosa. Arenoso-Franco. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo y blando en seco. Restos de carbón y muchas rocas. Raices finas y medias quemadas.

## LA 6

UBICACION: Igual que LA 10 y con la misma orientación.

ALTITUD: 750 m.

FORMA DEL TERRENO Y PENDIENTE: Igual que LA 10

VEGETACION: Monte repoblado con *Pinus pinaster*. Helechos.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Coluvios más abundantes que en los perfiles anteriores y afloramientos de esquistos a 7 m del perfil.

### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Perfil en el cual falta el primitivo horizonte superficial, aunque se aprecian restos de ceniza y carbón en superficie. La estructura es débil. Aparecen rocas abundantes interpuestas en ambos horizontes y a los 40 cm todavía aparecen restos de carbón. Raíces en todo el perfil y en los primeros centímetros se conserva parte del fieltro vegetal con restos de hifas secas

## DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

- Ah(b)      0-20cm      Marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo y marrón amarillento (10YR5/4) en seco. Sin estructura. Franco-Arenoso. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, suelto sin coherencia en húmedo y blando en seco. Raíces finas no muy abundantes. Restos de carbón y cenizas, gran abundancia de rocas de diferentes tamaños de 2-7 cm. En los primeros centímetros restos de hifas secas y de fieltro vegetal.
- AB(b)      20-40cm      Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y amarillo parduzco (10YR6/6) en seco. Estructura migajosa muy fina. Franco-Arenoso. Adherente, plástico, muy friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Abundantes raíces finas y gruesas. Gusanos. Restos de carbón y gran cantidad de rocas interpuestas.

NOMBRE DEL SUELO: Cambisol húmico

UBICACION: Tomado a la izquierda de un cortafuego, con  
orientación NE

ALTITUD: 650 m.

FORMA DEL TERRENO:

\* Posición fisiográfica: Pendiente convexa

\* Forma del terreno circundante: Fuertemente socavado

PENDIENTE: Escarpada 35%. Clase 5

VEGETACION: Bosque repoblado de *Pinus pinaster*. Helechos.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINAL: Esquistos y cuarcitas

#### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Se trata de un perfil con un 15-20 % de rocas de todos los tamaños incluidas a lo largo de toda su profundidad. Lo tomamos a 1,5 m de un pino de 60 cm de diámetro. Abundantes restos vegetales sin descomponer en superficie.

## DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

- Ah<sub>1</sub> 0-4cm Marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo y marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en seco. Estructura en bloques subangulares fina. Ligeramente adherente, no plástico, suelto sin coherencia en húmedo y blando en seco. Arenoso-Franco. Fielto vegetal con hifas. Acaros y lombrices.
- Ah<sub>2</sub> 4-20cm Marrón amarillento oscuro (10YR 4/4) en húmedo y marrón (10YR 5/3) en seco. Estructura en bloques subangulares. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso. Raices finas y medias. Carbón. Lombrices. Paso gradual al horizonte inferior.
- AB 20-40cm Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y marrón amarillento (10YR 5/4) en seco. Estructura en bloques subangulares. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso. Raices finas, medias y gruesas. Carbón.

LA 7

UBICACION: Igual que T 8, con orientación N.

ALTITUD: 650 m

FORMA DEL TERRENO:

\* Posición fisiográfica: Pendiente cóncava

\* Forma del terreno circundante: Fuertemente socavado

PENDIENTE: Escarpada 35%. Clase 5

VEGETACION: Bosque repoblado con *Pinus pinaster*. Helechos.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Ah<sub>1</sub>(b)      0-4cm      Negro (10YR 2/1) en húmedo y marrón grisáceo oscuro (10YR 3/2) en seco. Estructura granular. Ligeramente adherente, no plástico, muy friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso. Restos de cortezas y acículas. Carbón. Rocas incluidas.

Ah<sub>2</sub>(b)      4-20cm      Marrón muy oscuro (10 YR 2/2) en húmedo y marrón amarillento (10YR 5/4) en seco. Estructura granular fina. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso. El carbón

profundiza hasta este horizonte; 10% en volumen de rocas interpuestas. Abundantes raíces finas y gruesas.

AB(b)      20-40cm      Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y marrón amarillento (10YR 5/8) en seco. Estructura granular muy fina. Adherente, plástico, muy friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso. Raíces finas y gruesas. Rocas interpuestas.

## LA 8

UBICACION: Igual que LA 7, con orientación N

ALTITUD: 650 m

FORMA DEL TERRENO:

\* Posición fisiográfica: Pendiente convexa

\* Forma del terreno circundante: Fuertemente socavado

PENDIENTE: Escarpada 35%. Clase 5

VEGETACION: Pinus pinaster.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Abundancia de rocas en superficie.

### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

El suelo ha sido tomado a 3 m de un pino de 2 m de diámetro. Al igual que todos los perfiles se tomó a 200 m del anterior.

## DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Ah <sub>1</sub> (b)	0-3cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo y gris muy oscuro (10YR 3/1) en seco. Estructura en bloques subangulares. Ligeramente adherente, no plástico, muy friable en húmedo y duro en seco. Franco-Arenoso. Gran cantidad de rocas en superficie y carbón.
Ah <sub>2</sub> (b)	3-20cm	Marrón muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo y marrón amarillento (10YR 5/4) en seco. Estructura en bloques subangulares. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y duro en seco. Franco-Arenoso. Abundancia de raíces finas y restos de fieltro vegetal. Carbón. Muchas rocas.
AB(b)	20-40cm	Marrón (10YR 4/6) en húmedo y marrón amarillento (10YR 5/8) en seco. Estructura en bloques subangulares. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo y duro en seco. Franco-Arenos. Abundancia de raíces y rocas. Carbón.

LA 12

UBICACION: Igual que LA 8, con una orientación NE

ALTITUD: 650 m

FORMA DEL TERRENO:

\* Posición fisiográfica: Pendiente convexa

\* Forma del terreno circundante: Fuertemente socavado

PENDIENTE: Escarpada 35 %. Clase 5

VEGETACION: Pinar repoblado con *Pinus pinaster*. Abundantes helechos.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINAL: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Coluvios en superficie y rocas interpuestas en el perfil.

DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Ah<sub>1</sub>(b)      0-3cm      Negro (10YR 2/1) en húmedo y gris muy oscuro (10YR 3/1) en seco. Estructura granular. Ligeramente adherente, suelto sin coherencia, muy friable en húmedo y blando en seco. Franco-Arenos. Gran cantidad de acículas y cortezas de pino en superficie. Carbón.

Ah<sub>2</sub>(b)      3-20cm      Marrón muy oscuro (10YR 2/2) en húmedo y marrón amarillento (10YR 5/4) en seco. Estructura en bloques subangulares.

Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso. Raíces finas, medias y gruesas. Restos de fieltro seco. Carbón. Rocas interpuestas en gran cantidad.

AB(b)      20-40cm      Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) en húmedo y marrón amarillento (10YR 5/8) en seco. Estructura en bloques subangulares. Ligeramente adherente, suelto sin coherencia, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso. Carbón.

NOMBRE DEL SUELO: Cambisol dístico

UBICACION: Lancharón, a 5 m de un cortafuego, con una  
orientación SE.

ALTITUD: 650 m

FORMA DEL TERRENO:

\* Posición fisiográfica: Pendiente convexa

\* Forma del terreno circundante: Fuertemente socavado

PENDIENTE: Escarpada 35 %. Clase 5

VEGETACION: Bosque de Pinus pinaster.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Abundancia de  
rocas en superficie de diferentes tamaños ( 8-7 cm hasta 30 cm)

#### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Se trata de un suelo con restos vegetales sin descomponer  
así como una gran cantidad de acículas y piñas.

## DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

- Ah<sub>1</sub> 0-15cm Marrón grisáceo oscuro (10YR 4/2) en húmedo y gris (10YR 5/1) en seco. Estructura granular gruesa. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Arenoso-Franco. Fieltro vegetal. Raíces finas y medias. Vida animal (hormigas). Hay un 40% de rocas. Paso gradual e irregular al horizonte inferior.
- AB 15-40cm Marrón amarillento (10YR 5/8) en húmedo y amarillo parduzco (10YR 6/6) en seco. Estructura granular fina. Adherente, plástico, friable en húmedo y blando en seco. Franco-Arenoso. Aparece carbón. Raíces finas, medias y gruesas. Hay 40% en volumen de rocas.

UBICACION: Lancharón, tomado a 200 m de T 9, con igual  
orientación

ALTITUD: 650 m

FORMA DEL TERRENO:

\* Posición fisiográfica: Pendiente convexa

\* Forma del terreno circundante: Fuertemente socavado

PENDIENTE: Escarpada 35%. Clase 5

VEGETACION: Bosque repoblado con *Pinus pinaster*.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Coluvios muy  
abundantes (80-90 %) en superficie. Afloramientos de esquistos  
a 4 m del perfil.

#### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Nos encontramos frente a un suelo muy rocoso en superfi-  
cie. Pinos de 80 cm a 1 m de diámetro, conjuntamente con  
retoños. Raíces a lo largo de todo el perfil, así como carbón.  
El horizonte superior está muy quemado.

## DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Ah( )b	0-10cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo y gris muy oscuro (10YR3/1) en seco. Estructura granular. Ligeramente adherente, no plástico, friable en húmedo y blando en seco. Arenoso Franco. Restos de fieltro carbonizado. Carbón. Presencia de raíces.
AB(b)	10-20cm	Marrón (10YR 4/6) en húmedo y amarillo parduzco (10YR 6/6) en seco. Estructura en bloques subangulares. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo y blando en seco. Arenoso-Franco. Presencia de raíces. Carbón.

## LA 9

UBICACION: Igual que LA 11 y con la misma orientación.

ALTITUD: 650 m

FORMA DEL TERRENO:

\* Posición fisiográfica: Pendiente convexa

\* Forma del terreno circundante: Fuertemente socavado

PENDIENTE: Escarpada 35 %. Clase 5

VEGETACION: Pinus pinaster.

CLIMA: Mediterráneo Templado.

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Coluvios muy abundantes.

### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Está situado a 2 m de un tocón de 1 m de diámetro. Existencia de carbón hasta los 40 cm y con escasa vegetación.

## DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Ah(b)	0-20cm	Marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en húmedo y marrón (10YR 5/3) en seco. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y blando en seco. Arenoso-Franco. Sin estructura. Raíces gruesas y finas que profundizan hasta los 40 cm Carbón. Restos de fieltro vegetal seco. Hifas secas.
AB(b)	20-40cm	Marrón (10YR 4/6) en húmedo y amarillo parduzco (10YR 6/8) en seco. Estructura migajosa. Adherente, ligeramente plástico, friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Arenoso-Franco. Raíces gruesas y finas. Carbón.

NOMBRE DEL SUELO: Cambisol dístico

UBICACION: Lancharon, a la derecha de la carretera que va de Arenas de San Pedro a Candeleda, con una orientación SE.

ALTITUD: 550 m

FORMA DEL TERRENO:

\* Posición fisiográfica: Pendiente convexa

\* Forma del terreno circundante: Fuertemente socavado

PENDIENTE: Escarpada 35%. Clase 5

VEGETACION: Pinar de repoblación de *Pinus pinaster*.

CLIMA: Mediterráneo Templado

MATERIAL ORIGINARIO: Esquistos y cuarcitas

PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS: Gran cantidad de rocas en superficie de distintos tamaños.

#### DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES DEL SUELO

Ah 0-10cm Marrón amarillento oscuro (10YR 3/4) húmedo y amarillo parduzco (10YR 6/6) en seco. Estructura granular fina. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en húmedo y ligeramente duro en seco. Arenoso-Franco. Raíces finas y medias. Acículas en superficie. Rocas en un 30%. Paso gradual al horizonte inferior.

AB 10-40cm Marrón (7,5YR 4/6) en húmedo y amarillo  
parduzco (10YR 6/8) en seco. Sin estructura.  
Adherente, plástico, friable en húmedo y  
ligeramente duro en seco. Franco-Arenoso. Menor  
cantidad de raíces y más de un 50% en volumen  
de rocas interpuestas.

## LA 13

**UBICACION:** Igual que LA 10, con igual orientación. A 50 m

**ALTITUD:** 750 m

**FORMA DEL TERRENO:**

- \* Posición fisiográfica: Pendiente convexa
- \* Forma del terreno circundante: fuertemente socavado

**VEGETACION:** Pinar repoblado con *Pinus pinaster*.

**CLIMA:** Mediterráneo templado

**MATERIAL ORIGINARIO:** Esquistos y cuarcitas

**PRESENCIA DE PIEDRAS O AFLORAMIENTOS ROCOSOS:** Piedras en superficie.

### BREVE DESCRIPCION DEL PERFIL

Se trata de un suelo con gran cantidad de rocas en todo el perfil (40-50 %), de tipo esquistos y cuarcitas, así como piedras en superficie. Pinos quemados en el entorno de aproximadamente 10 cm de diámetro.

### DESCRIPCION DEL PERFIL

Ah(b)	0-10cm	Negro (10YR 2/1) en húmedo y marrón grisáceo muy oscuro (10YR 3/2) en seco. Sin estructura. Ligeramente adherente, ligeramente plástico, muy friable en
-------	--------	---

húmedo y ligeramente duro en seco.  
Arenoso-Franco. Raíces finas y medias.  
Presencia de acículas y cortezas. Rocas en  
un 30% de distintos tamaños. Muy seco.  
Capa de cenizas fina.

VR(1) 10-10cm Marrón (7,5 YR 4/6) en húmedo y amarillo  
parduzco (10YR 6/8) en seco. Estructura  
granular media. Ligeramente adherente,  
ligeramente plástico, muy friable en  
húmedo y ligeramente duro en seco. Franco-  
Arenoso. Gran cantidad de rocas. Muy seco.

### 1.3 METODOLOGIA

Sobre las muestras de suelo secadas al aire y tamizadas en tamiz de 2 mm, realizamos las siguientes determinaciones.

#### A- ANALISIS GRANULOMETRICO

El objeto es obtener la distribución porcentual de las distintas partículas individuales del suelo según su tamaño, de lo cual deducimos la textura según el triángulo internacional de texturas.

Empleamos el Metodo Internacional del Analisis Mecánico con algunas modificaciones propuestas por Kilsner y Alexander (1949).

#### B- COLOR

Lo determinamos en húmedo y seco según la nomenclatura del "Munsell Soil Color Charts".

#### C- pH

Medimos el pH del suelo por el Metodo de la Sociedad Internacional de la Ciencia del Suelo, 1:2,5. Empleamos en unos casos agua como electrolito, determinando la acidez real del suelo y en otro caso KCl y así obtenemos la acidez de cambio. Todo esto lo medimos en un Pímetro DIGIT-501 (Orison).

#### D- N TOTAL DEL SUELO

Por el Método de Kjeldahl, modificado por Bouat y Crouzet (1965), que consiste en la destilación y valoración simultánea del amonio con  $\text{SO}_4\text{H}_2$  N/70 en corriente de aire.

Teniendo en cuenta que 1000 cc de  $\text{SO}_4\text{H}_2$  N/70 se corresponden con 0,2 g de N y de acuerdo a las diluciones realizadas, calculamos el % N del suelo.

#### E- CAPACIDAD TOTAL DE CAMBIO

Determinamos la Capacidad Total de Cambio (T) siguiendo el Método del Acetato Amónico a pH=7. Basado en la saturación del complejo de cambio por percolación de la muestra con una disolución de acetato amónico; luego se lava con alcohol el exceso de sal amónica adsorbida mecánicamente. Valoramos el amonio absorbido desplazando previamente con solución de ClNa por destilación según el Método de Kjeldahl. Expresamos el resultado en  $\text{cmolcKg}^{-1}$ .

El grado de saturación (V), es la razón entre los cationes de cambio (S) y la capacidad total (T), calculados en tanto por ciento.

#### F- CATIONES DE CAMBIO

Medimos  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  por absorción atómica en un espectrofotómetro modelo PERKIN ELMER, en el líquido procedente de la percolación.  $\text{K}^+$  y  $\text{Na}^+$  por fotometría de llama en igual solución

que los anteriores, los resultados se expresan en  $\text{cmolcKg}^{-1}$  de suelo.

#### G- MATERIA ORGANICA

Por el Método de Walkey (1935) que consiste en la oxidación de suelo con  $\text{Cr}_2\text{O}_7\text{K}_2$  valorando el exceso de oxidante con sal de Mohr en presencia de difenil amina. Mediante las relaciones volumétricas adecuadas y teniendo en cuenta que 1 cc de sal de Mohr equivale a 0,003 g de C, obtenemos el %C orgánico de la muestra, que se relaciona directamente con el %M.O.

#### H- HIERRO TOTAL

Basado en el ataque suficientemente fuerte para liberar éste constituyente y más tarde disolverlo. Para ello se introduce la muestra en un reactor a presión PHAXE 2000, con FH y perclórico, se mantiene en estufa a  $110\text{ }^\circ\text{C}$ , se lleva a desecación total en el teflón, lavando más tarde con ClH 6N y llevando a 100 cc con agua destilada.

Se determina el Hierro Total por espectrofotometría de absorción atómica, expresando los resultados en g  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  por 100 g de suelo.

#### I- HIERRO LIBRE

Efectuamos la extracción con un reactivo combinado (Tamm+Hidrosulfito Sódico) tal como lo describen Guitian y

Carballas (1976). El fundamento es complejar este óxido con distintos reactivos que lo separan del suelo sin atacar los minerales existentes en el mismo. Tras reunir las soluciones de tres extracciones, determinamos el Hierro Libre por espectrofotometría de absorción atómica.

## J- DETERMINACIONES MINERALOGICAS

### J.1 FRACCION ARENA

Estudiamos la Arena Gruesa y Arena Fina obtenidas en el análisis granulométrico. Se identifican los minerales, en diagramas de difracción en agregados orientados, cuando fue necesario se calentaron a 550 °C y se sometieron a un tratamiento con etilen glicol. El Difractómetro utilizado es un RIGAKU, Modelo MINIFLEX, 1 Kw, Cu.

### J.2 FRACCION ARCILLA

Se obtiene la fracción arcilla mediante bujías Chamberland, después de ocho horas de sedimentación. Se tratan las muestras con H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> de 20 vol para eliminar la materia orgánica. Los minerales de la arcilla se identifican mediante Rayos X en agregados orientados, calentados a 550°C y con etilen glicol.

Para llegar a la estimación de la temperatura alcanzada por el incendio se calentaron a diferentes temperaturas (200-300-400°C) las muestras de arcilla de horizontes inferiores de suelos impactados, estudiando comparativamente estos

difractogramas con los de horizontes superficiales de los suelos afectados.

#### H- ESTUDIO ESTADISTICO

Se realiza con el programa R-Sigma, por comparación de dos medias (muestras independientes) y comparando dos muestras con datos pareados.

## 5- RESULTADOS Y DISCUSION

## 5.1 SERIE 1

Esta constituida por seis perfiles, situados a igual altitud (750 m) y separados entre si 200 m, todos ellos con pendientes acusadas del 25-30%. Cinco de estos perfiles sufrieron el impacto de un incendio diez meses antes de la toma de muestras, y que tuvo una duracion de 10 horas. La secuencia segun la distancia al testigo es: LA3<LA2<LA1<LA4<LA5. La orientacion es S salvo en LA5 que es NE; el otro perfil esta sin afectar y lo tomamos como testigo T 7 (Cambisol húmico) y su orientacion es NE. Se profundizó en todos ellos hasta 40 cm, zona que se observa impactada y además existen restos de carbon.

En la tabla 1, se exponen las características morfológicas de los 6 perfiles, observando en los impactados un value en seco y humedo inferior al del testigo, siendo más acusada la diferencia en superficie por la mayor acumulacion de carbon y cenizas. La estructura en superficie es granular fina en el testigo (T7) y perfiles cercanos (LA3, LA2, LA1, LA4) pasando a sin estructura en el más impactado (LA5), por destruccion de los agregados al quemarse la materia orgánica unida a la arcilla; en profundidad pasa a poliédrica en todos los perfiles, lo que indica un menor impacto a partir de los 5 cm de profundidad. En cuanto a la consistencia existen ligeros cambios en el horizonte superficial de estos suelos que son ligeramente adherentes y ligeramente plasticos en mojado, muy friables en humedo; el testigo es ligeramente duro en seco, pasando a blando en los impactados, hecho que puede ser debido a la destruccion de los agregados por la incineracion de la

vegetación. Al profundizar varía irregularmente en todos los perfiles y los cambios son mínimos.

La textura es francoarenosa por lo general en todas las muestras estudiadas, salvo en el horizonte inferior de LA1 y en los horizontes inferiores del testigo que es arenosa-franca, indicando una gran homogeneidad del material. Estos suelos se han formado a partir de esquistos y cuarcitas, lo que determina la similar composición granulométrica (Fig. 1), son predominantemente arenosos con grandes porcentajes de arena fina en todos los perfiles; las fracciones finas (limo y arcilla) presentan variaciones muy pequeñas tanto en superficie como en profundidad respecto al testigo, esto puede ser debido a la ausencia de lluvias torrenciales en este periodo y al escaso tiempo transcurrido desde el incendio y la toma de muestras.

Son suelos ácidos, observando un incremento de pH en los postincendio para igual profundidad respecto al testigo, siendo más notable este aumento en el horizonte superficial donde el aporte de bases por parte de los restos vegetales ha sido mayor (Fig. 2).

Los porcentajes de carbono (Fig. 3) varían irregularmente en los horizontes superficiales, aumentando en LA1 y LA5 por la acumulación de carbono debido en parte a la combustión incompleta de la vegetación; en horizontes subsuperficiales disminuye la proporción de carbono con respecto a la superficie, observándose una ligera tendencia a aumentar en los afectar-

dos respecto al testigo. El nitrógeno incrementa en los horizontes superficiales de los suelos afectados (Fig. 4), posiblemente por estimularse la nitrificación, variando irregularmente en profundidad. Como consecuencia la relación  $C/N$  (Fig. 5) varía en quemados respecto al testigo, éstos valores aunque su significación es diferente en suelos que han sufrido acciones antropicas (fuego y posterior tala) de aquellos suelos que presentan vegetación natural, pueden dar idea del proceso de mineralización y nitrificación que ha tenido lugar, hecho puesto de manifiesto entre otros por Jorgensen y Wells (1971) y Raison (1979). Por otra parte Almendros (1984) indica la formación de un humus piromorfo caracterizado por su elevada cohesión y estabilidad, por lo que tiene lugar un incremento momentáneo en la fertilidad de los suelos.

Al estudiar el complejo de cambio se observa que la capacidad total de cambio (Fig. 6) no sigue una pauta común para los suelos impactados respecto al testigo, con una tendencia a aumentar en el horizonte superficial de los primeros. Son suelos no saturados, por desarrollarse sobre material ácido y con vegetación acidificante; tras el incendio esta característica no varía, aunque se observa que la saturación incrementa en la superficie de los suelos afectados variando irregularmente al profundizar; este aumento está íntimamente ligado con el del pH y es consecuencia del aporte de cationes por las cenizas, que son posteriormente retenidas por el complejo adsorbente. Respecto a los cationes de cambio (Fig. 7), el catión mayoritario en todos los perfiles es el  $Ca^{2+}$ .

aumentando en los perfiles impactados respecto al testigo, siendo mayor este aumento en superficie, debido por una parte a un aporte masivo de los restos vegetales quemados y por otra parte a ser el catión más retenido en el complejo adsorbente; el  $Mg^{2+}$  sufre pocas variaciones postincendio; el  $K^+$  aumenta en superficie tras el impacto y el  $Na^+$  disminuye, puesto que es el catión más soluble, tal como indican Lutz y Chandler (1949), Burns (1952), Lutz (1956), Plata Astray y Guitian Ojea (1966), entre otros.

Cuando se analiza el efecto que la ignición tiene sobre el hierro, se observa un ligero incremento del hierro libre (Fig. 8) tanto en superficie como en profundidad de los perfiles impactados, mientras que el hierro total apenas varía, aunque existe una pequeña tendencia a aumentar en los quemados. La relación hierro libre/hierro total (Fig. 9) sufre un gran incremento a lo largo de todos los perfiles afectados por el fuego, indicando la posible alteración de los minerales que contienen hierro como consecuencia de las condiciones generadas durante el incendio, no existiendo antecedentes bibliográficos de este hecho, aunque si se cita en la bibliografía la formación de maghemita tras el incendio, unido a condiciones reductoras y presencia de materia orgánica (Stucki et al, 1988), así como la formación de lepidocrocita (Gimeno Camacho, 1977 y Fernandez et al, 1988).

Las rocas originales de estos perfiles son:

1) Esquisto (amarillo). - Los minerales constitutivos de esta roca según aparecen en la Figura R-1 son:

Micas-ilitas. - se observa una reflexión muy fuerte a 1,0 nm (001), simétrica, aguda, ligeramente abierta en la base a ángulos mayores, al calentar a 550°C se incrementa ligeramente, lo que indicaría el solapamiento con otros minerales. Los siguientes picos se encuentran a 0,5 nm (002) con una reflexión fuerte, aguda, simétrica y la reflexión basal a 0,33 nm que se solapa con las reflexiones propias del cuarzo y otros minerales. También aparece la reflexión a 0,2 nm que es fuerte, aguda, simétrica, característica de micas, que puede estar solapada con clorita.

Cloritas. - aparece con una débil reflexión a 1,4 nm (001), abierta, que no se expande con etilén glicol y se mantiene al calentar a 550°C. Una reflexión media a 0,71 nm (002) que se solapa con la de minerales 1:1 (caolinita) y no desaparece al calentar a 550°C, pero disminuye de intensidad, lo que puede indicar la existencia de minerales 1:1. Un pico a 0,47 nm (003) que se presenta en trazas, haciéndose algo más neto al calentar, una reflexión a 0,35 nm (004) nm débil, asimétrica y abierta a ángulos mayores, que no desaparece al calentar; otras reflexiones a 0,24 nm muy débil, aguda, simétrica y a 0,2 nm fuerte, aguda, simétrica, que no desaparece al calentar a 550°C, y que pueden estar solapadas con micas.

Micas-Vermiculitas.- se presentan en los diagramas a 1,2 nm con una reflexión muy fuerte, ligeramente asimétrica, abierta en la base a ángulos mayores y que prácticamente desaparece por tratamiento térmico a 550°C, incrementándose la reflexión a 1,0 nm. También aparece con débil intensidad una reflexión a 0,34 nm. Estas dos reflexiones corresponderían a un interestratificado regular mica-vermiculita con un 60% de micas (Brindley & Brown, 1980). Cuando se calienta a 300°C y 550°C desaparecen ambas reflexiones, intensificándose la reflexión a 1,0 nm. No se descarta la existencia de interestratificados mica-clorita dioctaédrica.

Posible existencia de minerales 1:1 (caolinita) por las reflexiones basales a 0,71 nm y 0,35 nm, que no desaparecen totalmente por calentamiento a 550°C, dada la presencia de clorita.

Minerales no laminares: existencia de cuarzo con reflexiones a 0,42 nm y a 0,33 nm, que no varían por el calor; feldespatos con intensidades débiles en la región 0,32-0,31 nm y posiblemente gibbsita con una débil reflexión a 0,48 nm (002), ligeramente asimétrica y que desaparece cuando se calienta a 300°C.

2) Esquisto (rojo).- Según se puede apreciar en la Figura R-1, está constituido por los siguientes minerales.

Micas-ilitas con una reflexión fuerte a 1,0 nm (001) simétrica, aguda, ligeramente abierta en la base y que no se modifica por calentamiento a 550°C, las siguientes reflexiones

aparecen a 0,5 nm (002) que es fuerte, simétrica y aguda, la reflexión basal a 0,33 nm que aparece conjuntamente con las reflexiones propias del cuarzo y otros minerales y el pico a 0,2 nm fuerte, simétrico, agudo, característico de micas.

Cloritas.- se insinúa una débil reflexión a 1,4 nm (001) por calentamiento a 550°C, desapareciendo a esta temperatura el pico a 0,71 nm (002) asimétrico, en banda y abierto en la base a ángulos mayores que se solapará con el de minerales 1:1. Una reflexión a 0,35 nm (004) muy débil, asimétrica, abierta a ángulos mayores que desaparece por calentamiento; una reflexión muy débil a 0,24 nm asimétrica, abierta a ángulos menores y un pico a 0,2 nm fuerte, agudo, simétrico, que puede solaparse con las micas.

Posible existencia de minerales 1:1 (caolinita) por las reflexiones basales a 0,71 nm y 0,35 nm, que desaparecen tras tratamiento calorífico a 550°C.

Posiblemente gibbsita con una débil reflexión a 0,48 nm (002) asimétrica.

Minerales no laminares: existencia de cuarzo con reflexiones a 0,42 nm y 0,33 nm que no se modifican por el calor y trazas de feldespatos que se insinúan tras el tratamiento térmico a 550°C en la región de 0,32-0.31 nm.

Del estudio mineralógico de arena gruesa por Rayos X y como se puede apreciar en la Figura S-1, donde se comparan los difractogramas de los horizontes superficiales en agregados orientados, etilen glicol y calentados a 550°C del perfil

testigo (T 7) y del impactado LA 1, se llega a los siguientes resultados: En el testigo aparece clorita con una débil reflexión a 1,4 nm (001), aguda, ligeramente asimétrica, abierta a ángulos menores, que no se expande con etilen glicol y que se incrementa ligeramente al calentar a 550°C; otra reflexión a 0,71 nm (002) fuerte, aguda, ligeramente asimétrica, que se solapa con la de minerales 1:1 y que disminuye por el calor, lo que puede indicar la presencia de caolinita; un pico a 0,47 nm (003), muy débil, asimétrico, abierto a ángulos menores y una reflexión a 0,35 nm (004) de mediana intensidad, aguda, asimétrica y abierta a ángulos menores, que disminuye de intensidad al calentar a 550°C. También se observan micas-ilitas con una reflexión a 1,0 nm (001), muy fuerte, aguda, asimétrica, abierta en la base a ángulos menores, que se hace simétrica al calentar a 550°C; una reflexión muy fuerte a 0,5 nm (002), aguda, simétrica, que no desaparece por tratamiento térmico a 550°C, y la reflexión basal a 0,33 nm, muy fuerte, aguda, asimétrica y abierta en la base a ángulos menores, que se solapa con las reflexiones del cuarzo y otros minerales; también se presenta el pico a 0,2 nm, muy fuerte, agudo y simétrico que puede solaparse con el de la clorita. A 1,2 nm aparece una reflexión del colapsado mica-vermiculita en trazas, no apareciendo al calentar a 550°C. Como minerales no laminares: cuarzo por las reflexiones a 0,42 nm y a 0,33 nm y óxidos de hierro posiblemente maghemita por las reflexiones a 0,29 nm (220), 0,24 nm (313) y 0,16 nm (513) y hematites por la reflexión a 0,33 nm (012) que permanece al calentar y que unida a las reflexiones 0,24 nm (110), 0,18 nm (024) y 0,16 nm (116)

indican la existencia de este mineral y trazas de feldespatos en agregados orientados. En el perfil impactado (LA 1-1) se detecta la misma composición mineralógica, observando que las cloritas se presentan con muy débil reflexión a 1,4 nm que se hace más intensa al calentar, desapareciendo la reflexión a 0,71 nm, lo que indicaría la presencia de minerales 1:1.

En la Figura S-2, se exponen los difractogramas correspondientes a la arena gruesa en agregados orientados de horizontes superficiales de los perfiles de la serie I, se observan los siguientes minerales comunes a todos ellos: mica-ilita, clorita y posible caolinita, como minerales no laminares: cuarzo, feldespatos y óxidos de hierro. Lo que difiere entre estos horizontes es que la reflexión correspondiente a minerales 1:1 disminuye en el sentido LA3<T7<LA2<LA1<LA4<LA5, esto puede ser debido en parte a variaciones en el material original y también al impacto sufrido por el calor que altera los minerales 1:1. La mala cristalinidad de los minerales 1:1 en LA 4 puede deberse en parte a que está tomada en una zona de actividad tectónica (falla) y los minerales han podido sufrir procesos de dinamometamorfismo, o a la mayor intensidad del incendio.

En el estudio mineralógico de la arena fina por Rayos X de esta serie y a la vista de la Figura S-3 donde aparecen los difractogramas del horizonte superficial del perfil testigo (T 7) en agregados orientados, etilen glicol y calentados a 550°C, observando la similar composición mineralógica que en

la arena gruesa: micas-ilitas, clorita, minerales 1:1, cuarzo y óxidos de hierro (hematites). Las diferencias observadas respecto a la arena gruesa es que la banda de interestratificados de la región de 1,4-1,0 nm aparece más acausada en la arena fina y no desaparece totalmente al calentarse a 550°C. La reflexión a 1,4 nm está abierta en la base a ángulos mayores y permanece de esta forma al calentarse, y la reflexión a 1,0 nm es muy ancha en la base, aparecen también débiles reflexiones a 1,2 nm y a 0,34 nm que permanecen al calentarse a 550°C, que podrían indicar la presencia de interestratificados tipo ilita-clorita dioctaédrica (Brindley & Brown, 1980). La composición mineralógica del perfil impactado LA 1 es similar a la del testigo. En la Figura S-4 donde se comparan los horizontes superficiales del perfil testigo e impactados (LA 3, LA 2, LA 1, LA4 y LA 5), se observa una similitud en cuanto a la composición mineralógica, que no corrobora las pequeñas diferencias observadas en la arena gruesa, poniéndose de manifiesto pequeñas modificaciones en la intensidad de la reflexión de minerales 1:1 en perfiles impactados respecto a la del testigo posiblemente ocasionadas por el impacto.

Los diagramas de horizontes profundos no presentan diferencias con los de horizontes superficiales.

Se han estudiado los difractogramas de arcillas, del perfil considerado testigo y de los perfiles que han sufrido el impacto del fuego, obteniéndose los siguientes resultados.

Perfil testigo (T7).- En la fracción arcilla del horizonte superficial de este perfil aparecen como minerales fundamentales (Fig. S-5): minerales 1:1 con un reflexión a 0,71 nm que desaparece al calentar a 550°C, neta y abierta a ángulos menores (caolinita algo alterada), así como la reflexión a 0,35 nm; micas ilitas con una fuerte reflexión a 1,0 nm asimétrica, muy abierta a ángulos menores, que se intensifica al calentar a 550°C, así como la de 0,5 nm de intensidad débil y la de 0,33 nm que se solapa con las reflexiones propias del cuarzo y otros minerales; cloritas que se ponen de manifiesto por una reflexión a 1,4 nm de intensidad media, asimétrica y abierta a ángulos mayores, que no se modifica con etilen glicol y permanece por tratamiento térmico; presencia de interestratificados por la existencia de una banda a 1,4-1,0 nm, que permanece con etilen glicol y desaparece casi totalmente al calentar a 550°C, lo que indicaría que se trata de interestratificados mica-vermiculita, la permanencia de una reflexión débil a 1,2 nm puede indicar la presencia de interestratificados mica-clorita dioctaédrica, ya puestos de manifiesto en la arena fina. Como minerales no laminares: cuarzo y gibbsita con una reflexión a 0,48 nm, que desaparece al calentar a 550°C y se mantiene con etilen glicol. Los horizontes profundos presentan difractogramas semejantes a los del horizonte superficial, dando idea de la homogeneidad mineralógica a lo largo de todo el perfil, exceptuando la presencia en el horizonte profundo de una reflexión de media intensidad a 0,62 nm de óxidos de hierro, posiblemente lepidocrocita.

Perfil LA3.- Los difractogramas (Figura S-6) tanto de horizontes superficiales como profundos presentan reflexiones a 1,4 nm, 1,0 nm y 0,71 nm, asimétricas, abiertas y poco netas, indicando la mala cristalinidad de estos minerales, poniéndose de manifiesto la presencia de minerales 1:1 (caolinita) con reflexiones a 0,71 nm y 0,35 nm, micas-ilitas con una reflexión 1,0 nm que se incrementa al calentar a 550°C y otra a 0,33 nm, trazas de clorita con un pico a 1,4 nm que no se modifica con etilen glicol y no desaparece por el calor, e interestratificados con una banda a 1,4-1,0 nm, que por tratamiento térmico disminuye de intensidad, lo que indicaría que se trata de interestratificados mica-vermiculita y mica-clorita. Con el calentamiento se mantiene la reflexión de la clorita a 1,4 nm y una pequeña reflexión a 0,7 nm, desapareciendo los interestratificados casi en su totalidad e incrementándose la reflexión a 1,0 nm de micas-ilitas. Con etilen glicol el diagrama es muy similar al obtenido en agregados orientados. En el horizonte subsuperficial, la reflexión perteneciente a micas ilitas es más neta, así como la perteneciente a las cloritas. En el horizonte más profundo las reflexiones aparecen muy débiles, haciéndose difícil la identificación mineralógica.

Perfil LA2.- La composición mineralógica de este perfil en superficie (Figura S-7), está constituida por minerales 1:1 que aparecen bastante alterados, muy abiertos a ángulos mayores y con una reflexión poco intensa a 0,71 nm; presencia de micas-ilitas con una reflexión poco intensa y poco neta, trazas de

clorita e interestratificados mica-vermiculita y posiblemente de mica-clorita. En horizontes más profundos, los minerales aparecen con reflexiones algo más netas e intensas y la composición mineralógica es análoga, existiendo cuarzo como mineral no laminar. En los horizontes subsuperficiales aparece una reflexión poco neta a 0,48 nm que se hace algo más intensa en el horizonte inferior, probablemente de gibbsita.

Perfil LA1.- La fracción arcilla de este perfil está constituida en superficie (Figura S-8) por micas-ilitas con una reflexión a 1,0 nm de pequeña intensidad y muy abierta a ángulos menores (bastante alteradas), presencia de minerales 1:1 con reflexión poco intensa y poco neta, trazas de clorita y posiblemente trazas de interestratificados mica-vermiculita y mica-clorita. Al profundizar la composición mineralógica es análoga, pero los minerales aparecen menos alterados, siendo intensas las reflexiones de la minerales 1:1, así como las de la clorita y los interestratificados mica-vermiculita que desaparecen al calentar. También aparece una reflexión a 0,48 nm. probablemente de gibbsita, que es de pequeña intensidad en el horizonte subsuperficial, haciéndose más neta en el horizonte más profundo.

Perfil LA4.- Los minerales aparecen mal cristalizados en superficie (Fig S-9), con presencia de minerales 1:1 con una reflexión a 0,71 nm débil y poco neta, mica-ilita y trazas de clorita, los interestratificados mica-vermiculita y mica-

clorita no se ponen de manifiesto netamente apareciendo una banda de 1,0 a 1,4 nm. En el horizonte subyacente se observan con más nitidez las reflexiones de cloritas y de interestratificados, se insinúa una reflexión a 0,48 nm que se ha atribuido a gibbsita. En el horizonte más profundo los diagramas presentan reflexiones poco netas, haciéndose difícil la identificación de minerales, aunque se podría suponer que la composición es similar a horizontes superiores, pero los minerales parecen estar mal cristalizados, posiblemente debido a que el perfil está situado en una zona de actividad tectónica (falla).

Perfil LA5.- En superficie los minerales constitutivos son (Fig S-10): minerales 1:1 que presentan una reflexión poco neta y débil, asimétrica y abierta a ángulos menores, existencia de micas-ilitas, trazas de clorita con reflexión poco neta, muy abierta y débil, posibles interestratificados mica-clorita dioctaédrica e interestratificados mica-vermiculita formando una banda de 1,4 a 1,0 nm. Cuando se calienta a 550°C desaparece la banda de interestratificados mica-vermiculita y se incrementa la reflexión a 1,0 nm, manteniéndose muy débil la de 1,4 nm. Como minerales no laminares aparece gibbsita con una reflexión a 0,48 nm que se va haciendo más neta e intensa al profundizar en el perfil y óxidos de hierro (lepidocrocita) con una reflexión a 0,62 nm que permanece con etilen glicol y desaparece al calentar a 550°C. Al profundizar se mantiene la composición mineralógica apareciendo más netas las reflexiones de interestratificados mica-clorita dioctaédrica. La similitud

de difractogramas a largo del perfil indicaría que no ha existido impacto, cuando se trata de un suelo que está situado muy próximo a uno de los focos del incendio, por lo que se podría pensar que se ha perdido parte del horizonte superficial o que la temperatura del incendio no ha sido suficiente para que desaparezca la gibbsita.

Al comparar los difractogramas, en agregados orientados, de horizontes superficiales del perfil testigo e impactados, se observa que existe similitud en cuanto a la composición mineralógica, excepto en la banda de 1,4 a 1,0 nm, que es menos neta en los perfiles LA1-1 y fundamentalmente en LA 4-1, que podría deberse al impacto del fuego.

TABLA 1: CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS

Perfil	Hor. <sup>1</sup>	Prof.	Color Húmedo	Color Seco	Textura	Estructura	Consistencia	Carbón y otros <sup>3</sup>
T 7	Ah <sub>1</sub>	0-4	10YR3/2	10YR5/1	Fr-Ar	gr. fina.	1,1,1,2	+, hifas, ácaros
	Ah <sub>2</sub>	4-20	10YR3/4	10YR5/2	Ar-Fr	poliédrica	2,2,2,2	+
	AB	20-40	10YR4/4	10YR6/4	Ar-Fr	poliédrica	1,1,1,1	+
LA 3	Ah <sub>1(b)</sub>	0-4	10YR2/1	10YR3/2	Fr-Ar	gr. fina	1,1,1,1	+
	Ah <sub>2(b)</sub>	4-20	10YR2/2	10YR3/3	Fr-Ar	poliédrica	1,1,1,1	+
	AB(b)	20-40	10YR3/4	10YR4/6	Fr-Ar	poliédrica	0,0,1,1	+
LA 2	Ah <sub>1(b)</sub>	0-2	10YR2/1	10YR3/2	Fr-Ar	gr. fina	1,1,1,1	+
	Ah <sub>2(b)</sub>	2-20	10YR2/2	10YR3/4	Fr-Ar	poliédrica	2,2,2,1	+, hormigas, arañas
	AB(b)	20-40	10YR3/4	10YR5/8	Fr-Ar	poliédrica	2,2,2,1	+
LA 1	Ah <sub>1(b)</sub>	0-5	10YR2/1	10YR2/2	Fr-Ar	gr. fina	1,1,1,1	+++ , hormigas, arañas
	Ah <sub>2(b)</sub>	5-15	10YR3/3	10YR5/6	Fr-Ar	poliédrica	1,1,1,1	+, hifas
	AB(b)	15-40	10YR3/6	10YR4/6	Ar-Fr	poliédrica	1,1,1,1	+
LA 4	Ah <sub>1(b)</sub>	0-5	10YR2/1	10YR3/2	Fr-Ar	gr.f.	1,1,1,1	+
	Ah <sub>2(b)</sub>	5-20	10YR2/2	10YR4/4	Fr-Ar	poliédrica	1,1,1,2	
	AB(b)	20-40	10YR3/4	10YR5/6	Fr-Ar	poliédrica	2,2,2,2	
LA 5	Ah <sub>1(b)</sub>	0-2	10YR2/1	10YR3/2	Fr-Ar	sin estruct.	1,0,1,1	+++ , hormigas
	Ah <sub>2(b)</sub>	2-20	10YR2/2	10YR4/4	Fr-Ar	débil polié.	1,1,1,2	+

<sup>1</sup> b Horizonte impactado

<sup>2</sup> 0 No adherente

1 Ligeramente adherente

2 Adherente

<sup>3</sup> + poco carbón  
+++ mucho carbón

0 No plástico

1 Ligeramente plástico

2 Plástico

Consistencia en mojado

1 Muy friable

2 Friable

Consistencia en húmedo

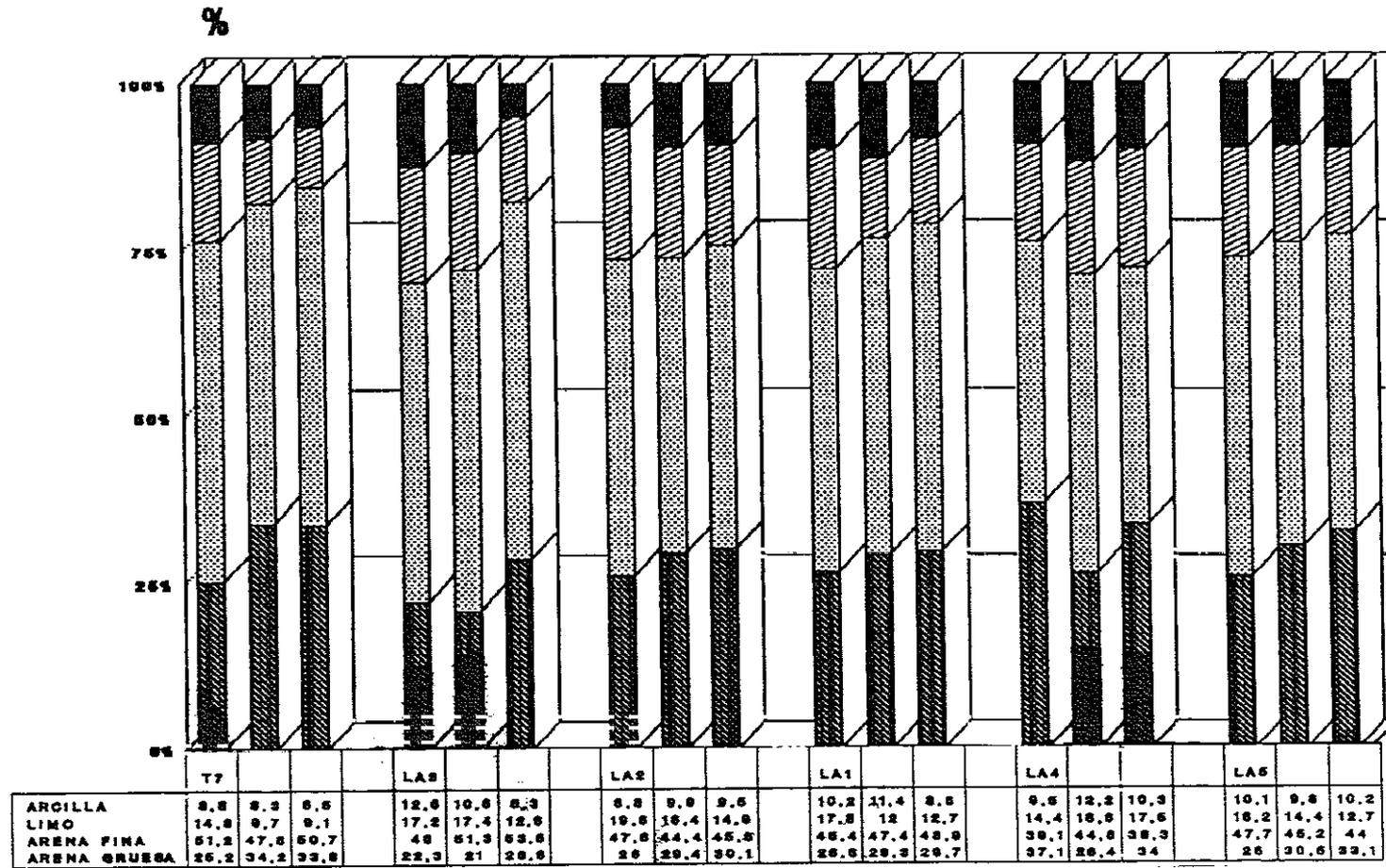
Plasticidad

1 Blando

2 Ligeramente duro

Consistencia en seco

# ANALISIS GRANULOMETRICO



perfiles

ARENA GRUESA ARENA FINA LIMO ARCILLA

Fig 1. Porcentajes de arenas, limo y arcilla en los distintos horizontes

# VALORES pH

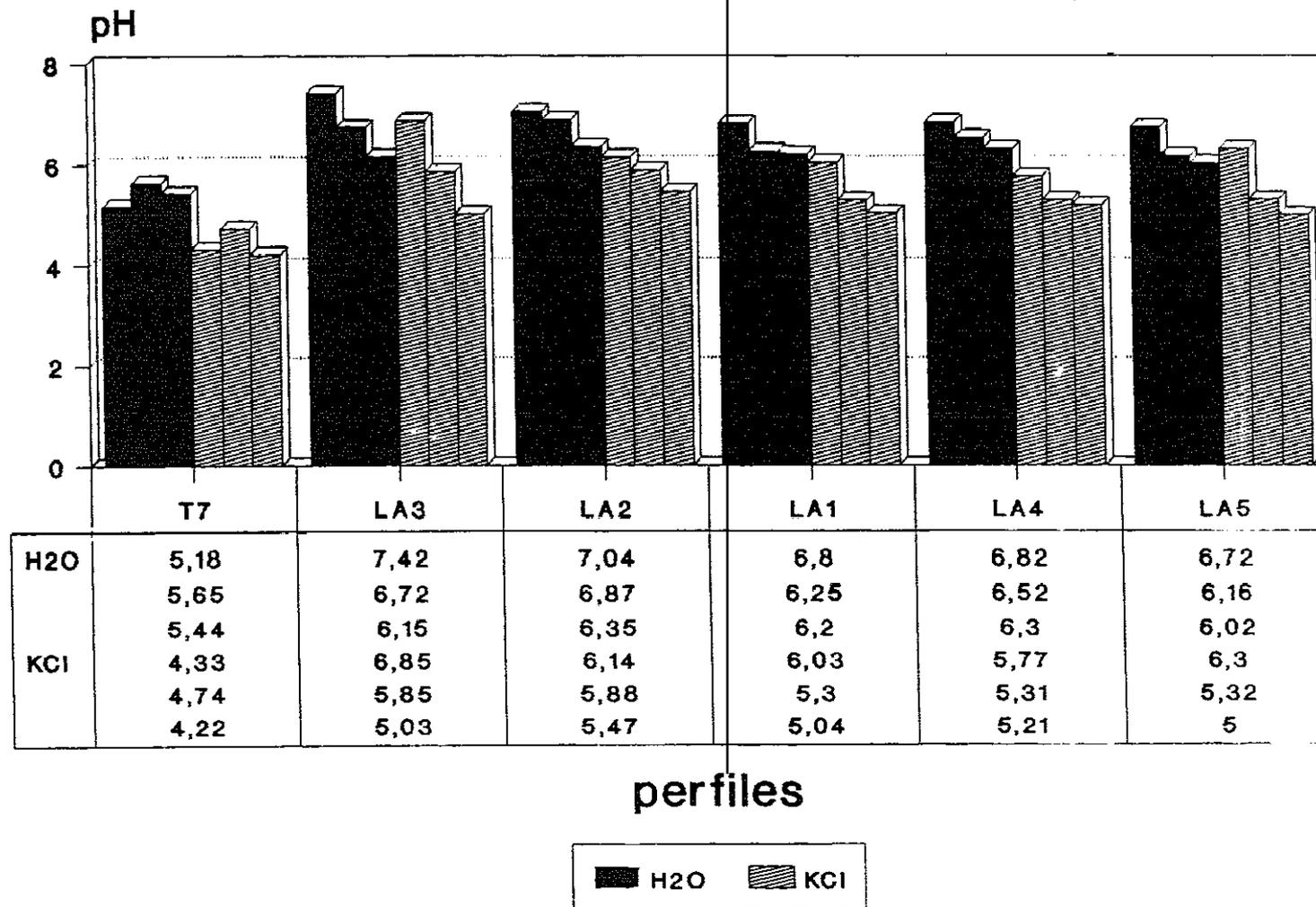


Fig 2. Valores de pH en H2O y KCl en los distintos horizontes

# CARBONO

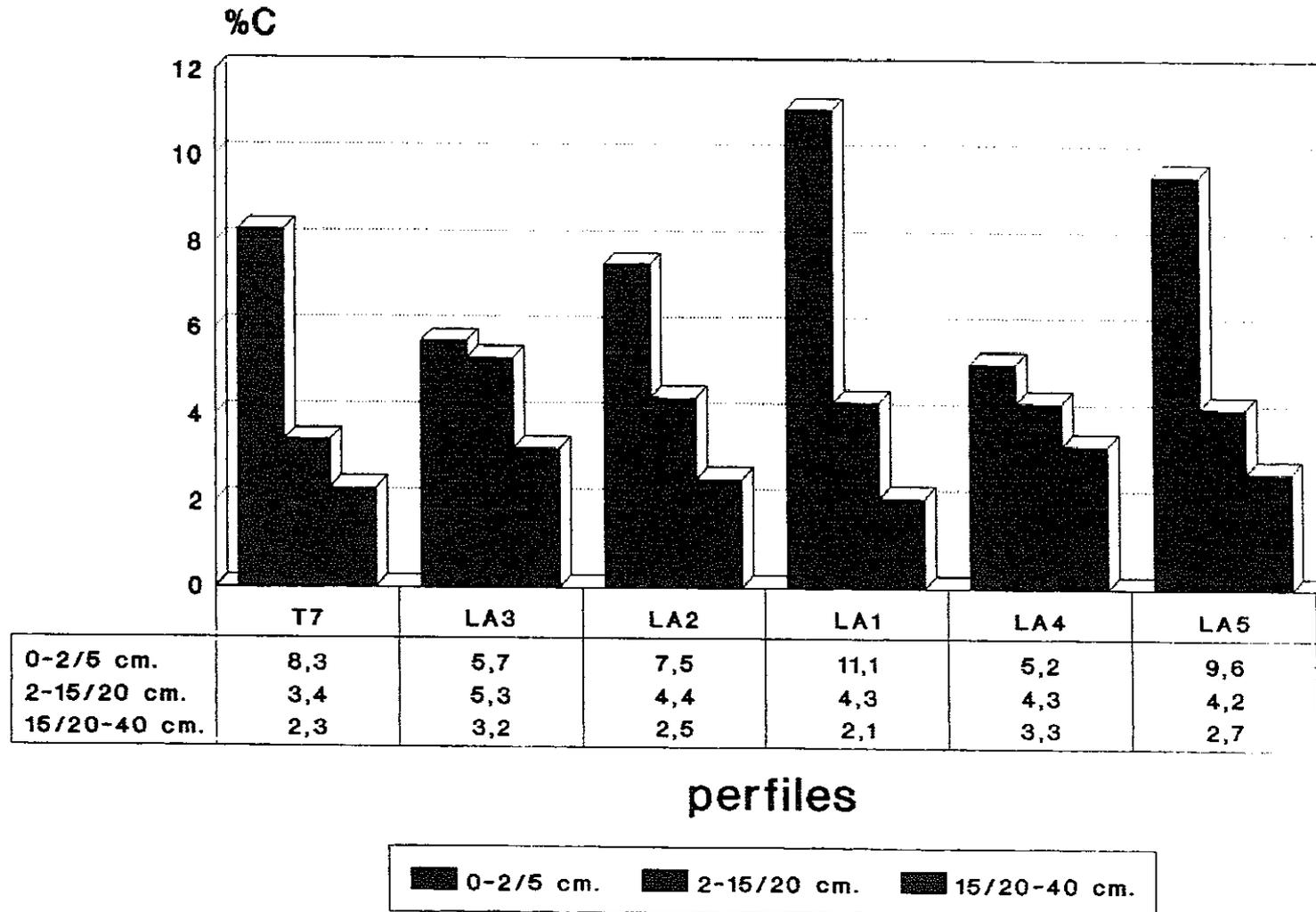


Fig 3. Porcentajes de carbono en los horizontes

# NITROGENO

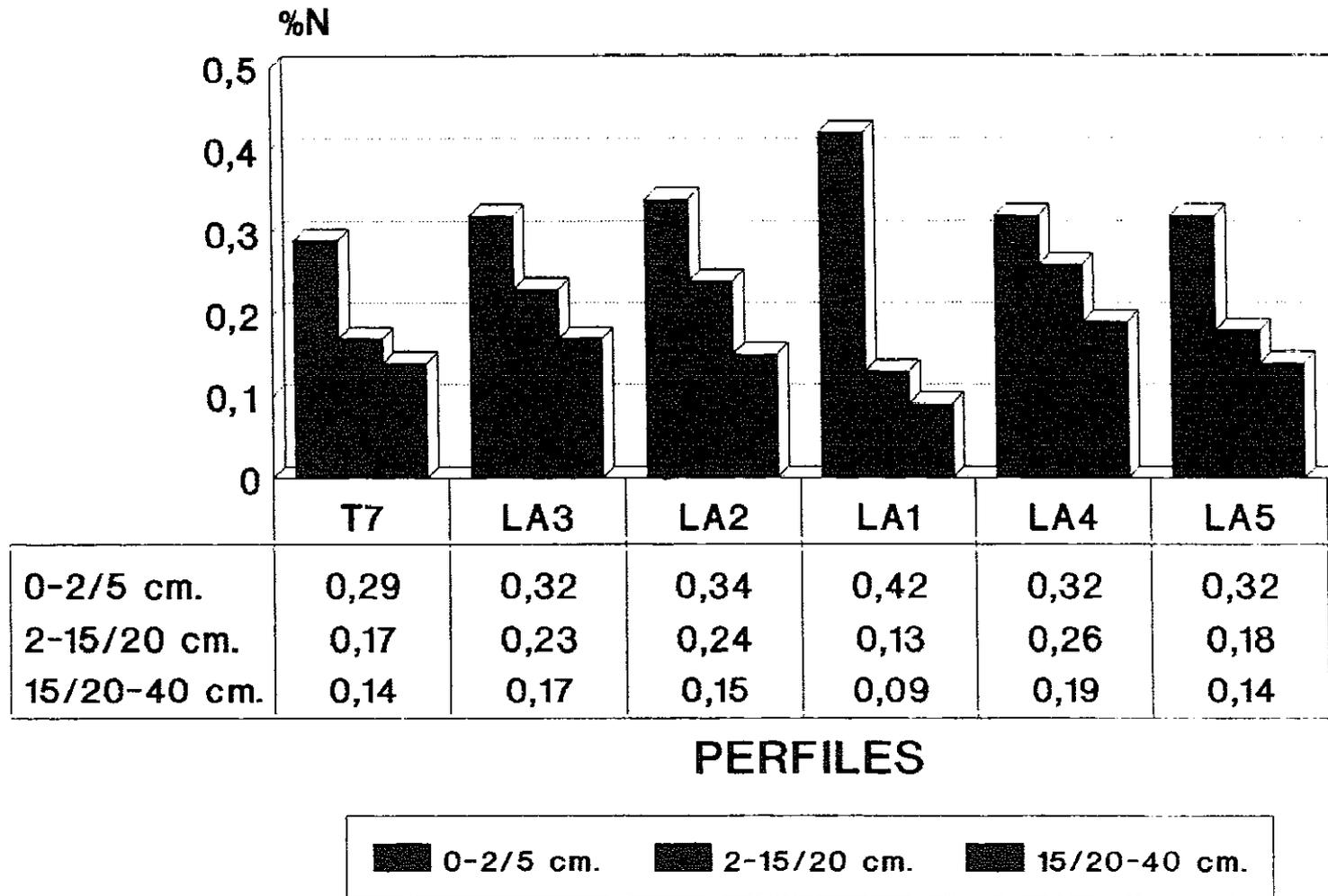


Fig 4. Nitrógeno en los horizontes de los suelos

# C/N

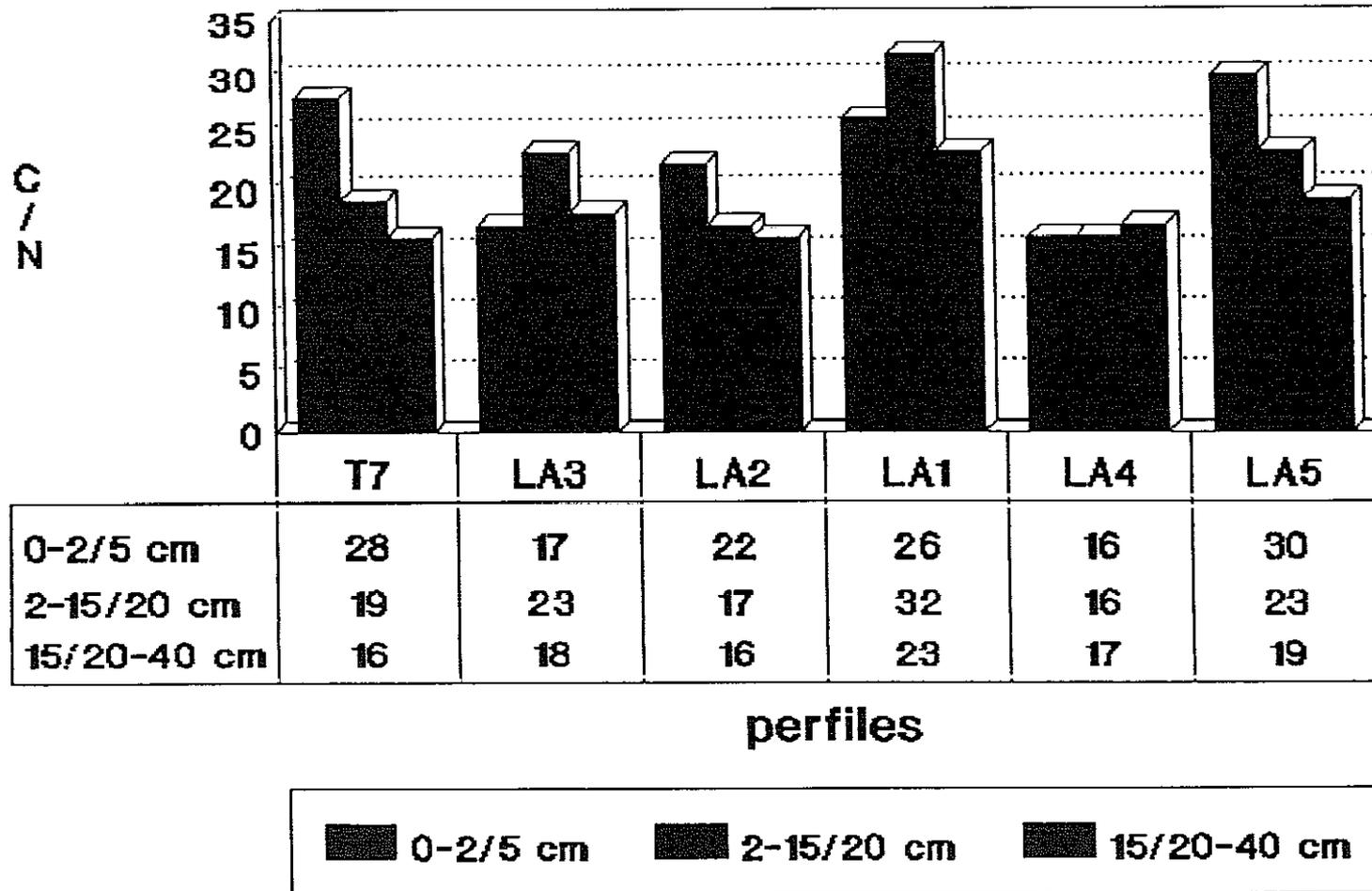


Fig 5. Relaciones carbono a nitrógeno en los distintos horizontes.

# CAPACIDAD DE CAMBIO Y GRADO DE SATURACION

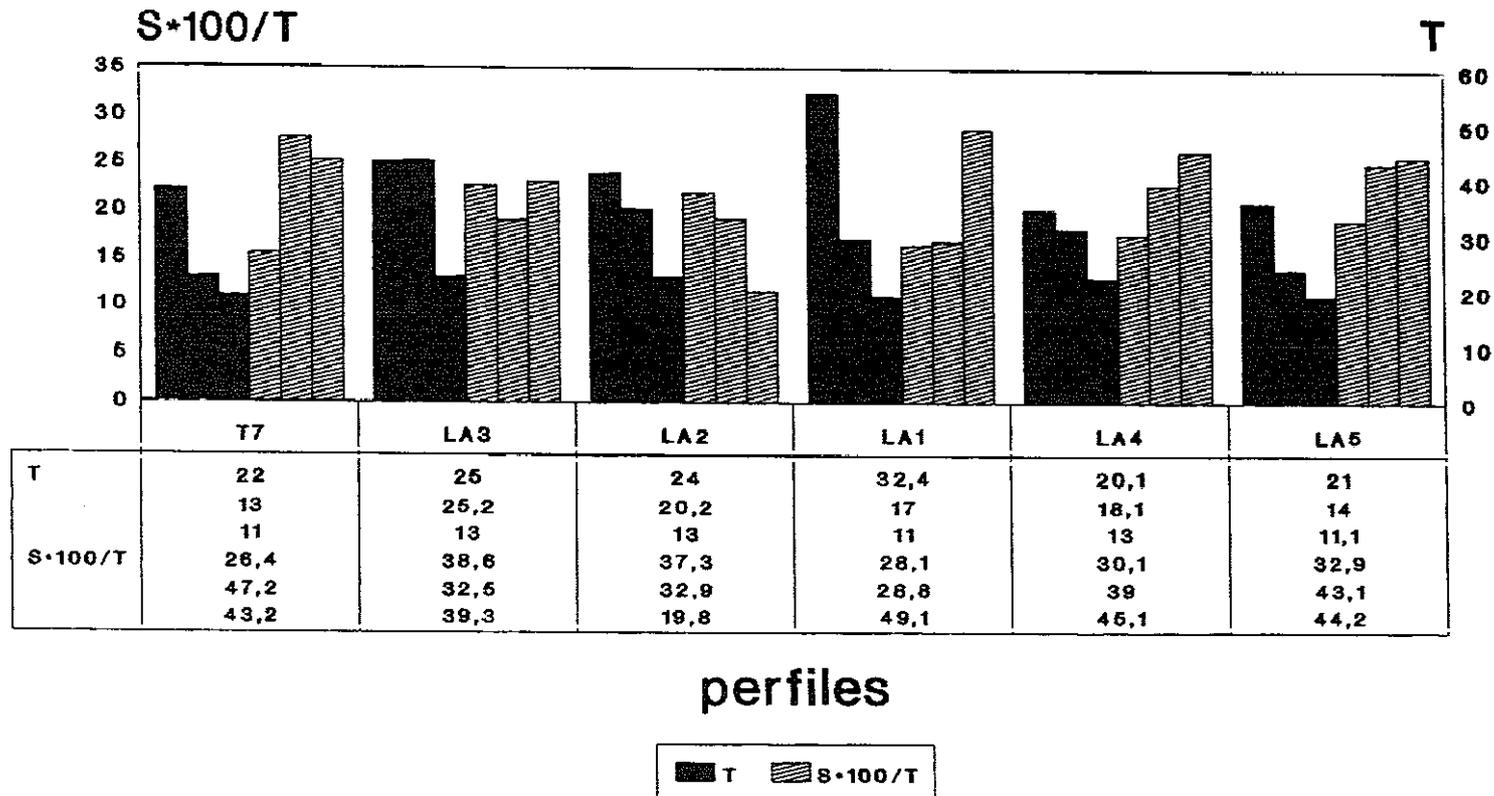


Fig 6. Capacidad total de cambio y grado de saturación en los distintos horizontes.

# CATIONES DE CAMBIO

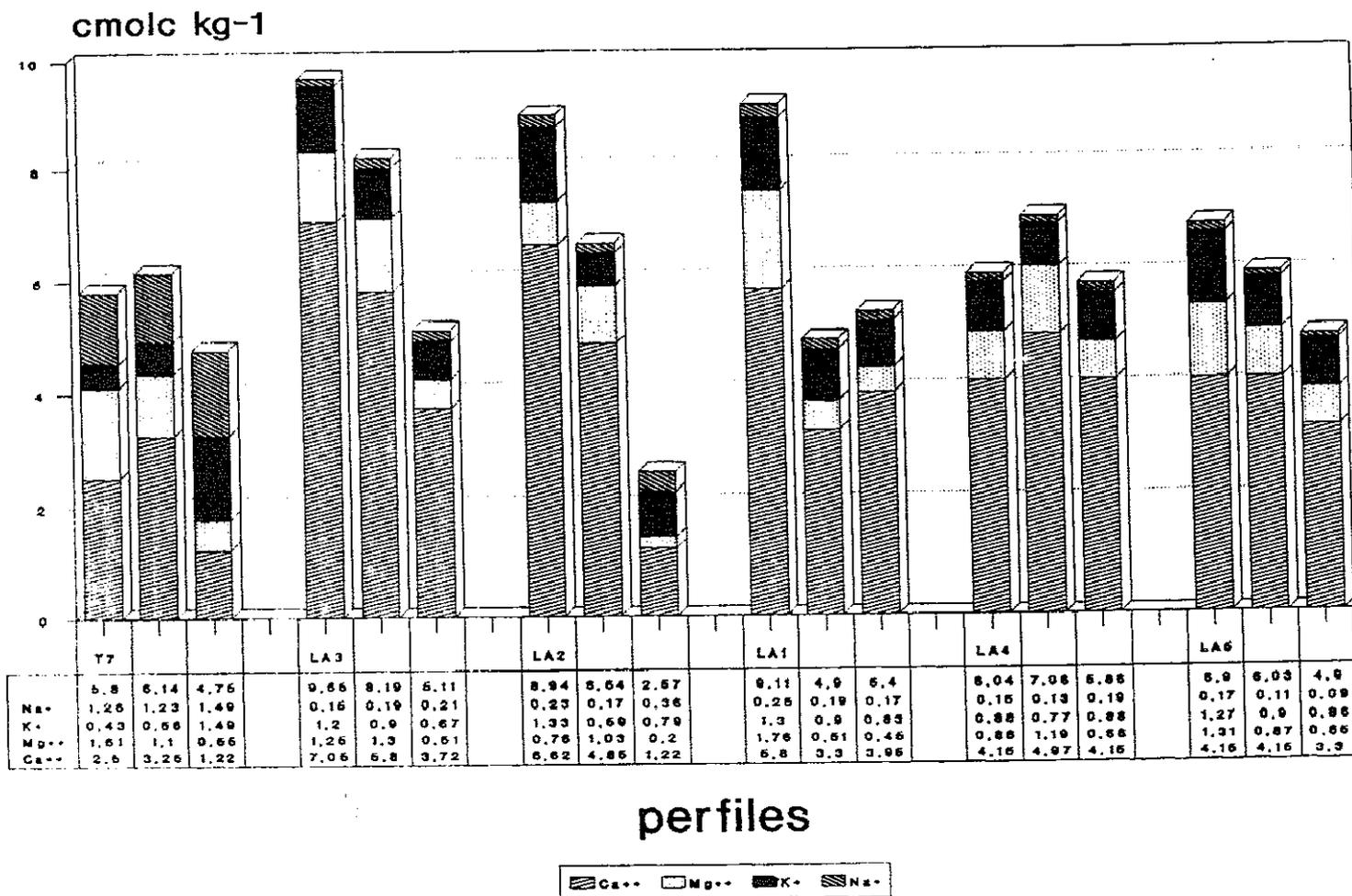


Fig 7. Cationes de cambio del complejo adsorbente en los distintos horizontes de los perfiles.

# HIERRO

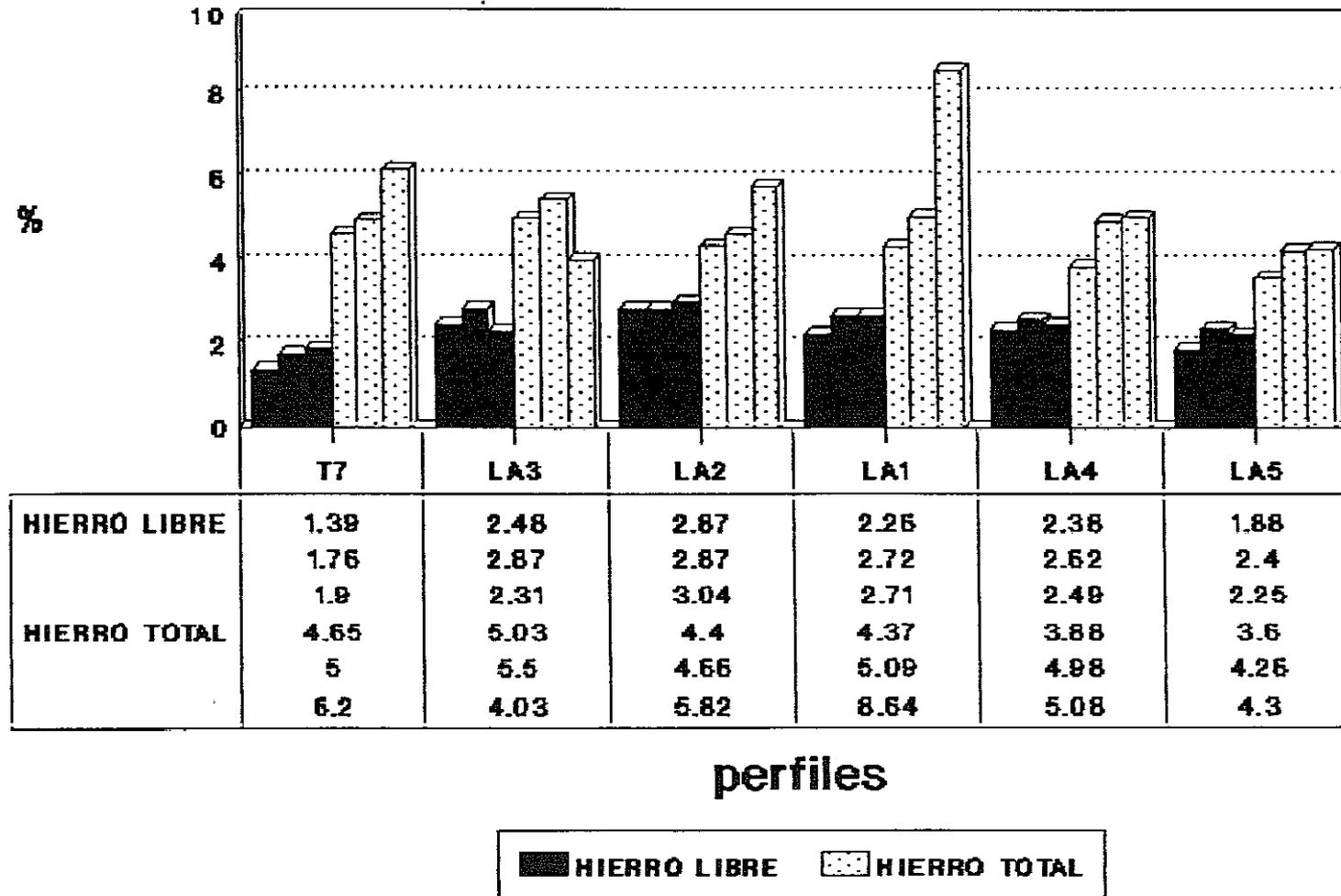


Fig 8. Hierro libre y total en los horizontes

# HIERRO LIBRE/HIERRO TOTAL

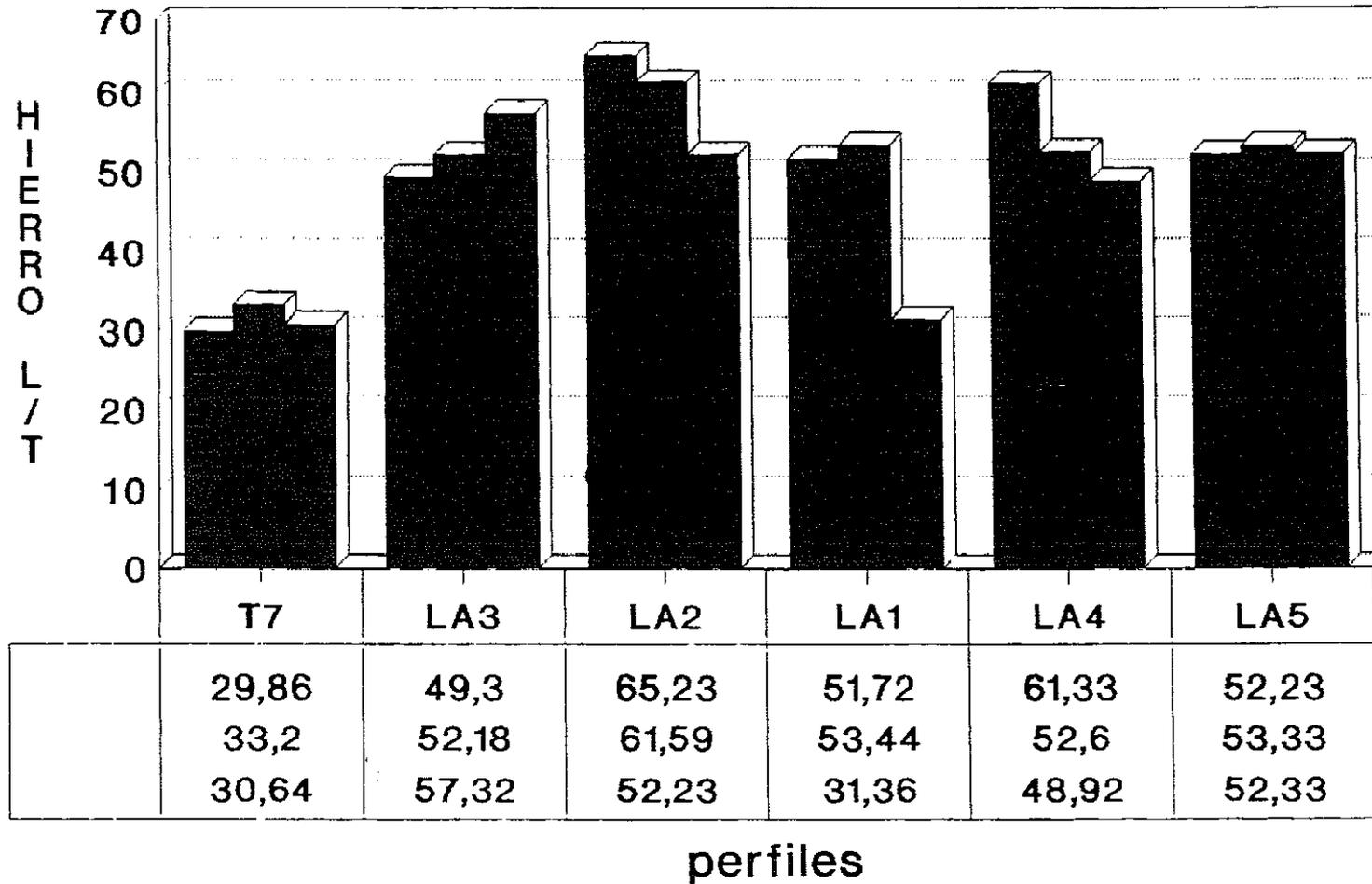
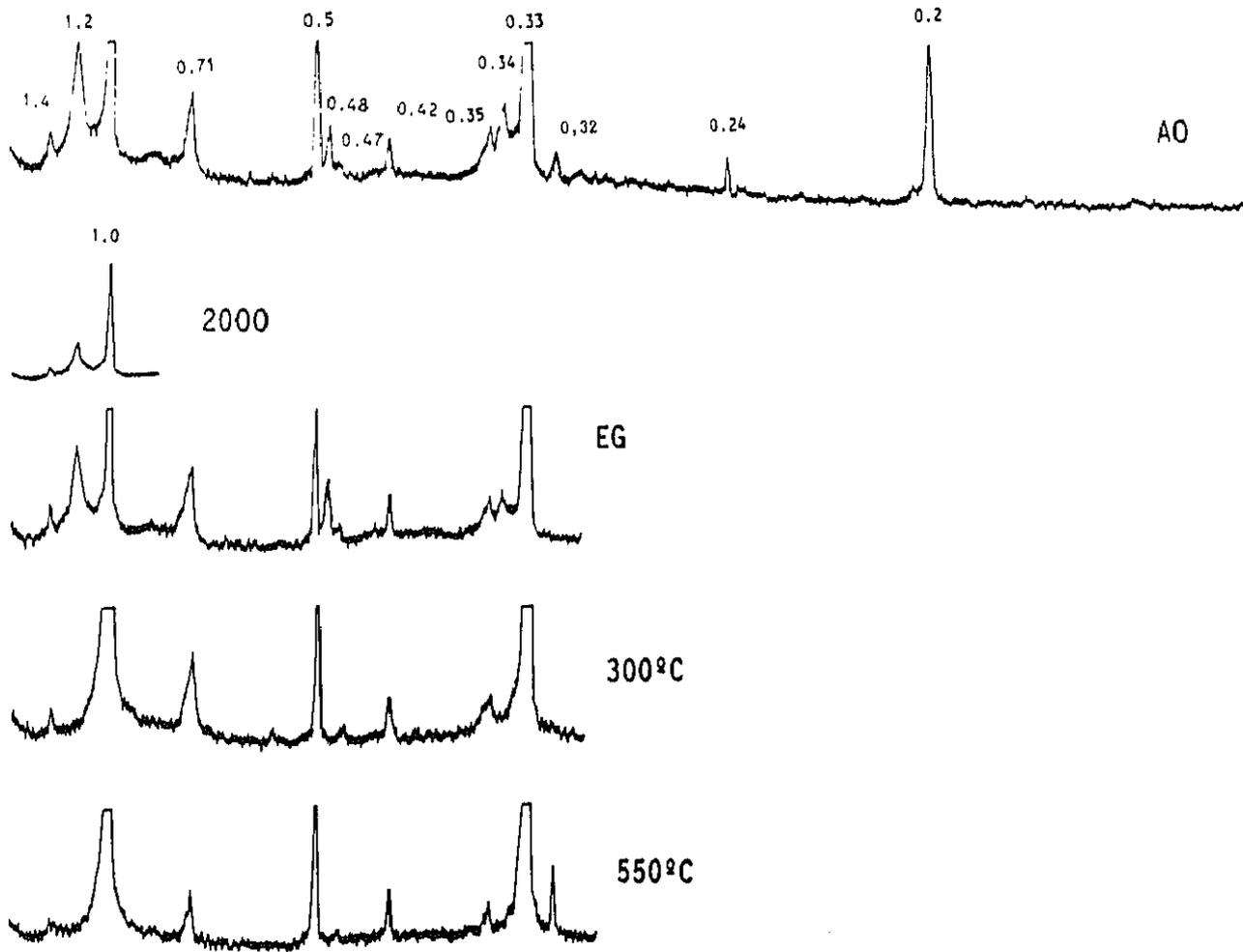


Fig 9. Relaciones hierro libre a hierro total en los distintos horizontes

ESQUISTO (AMARILLO)



ESQUISTO (ROJO)

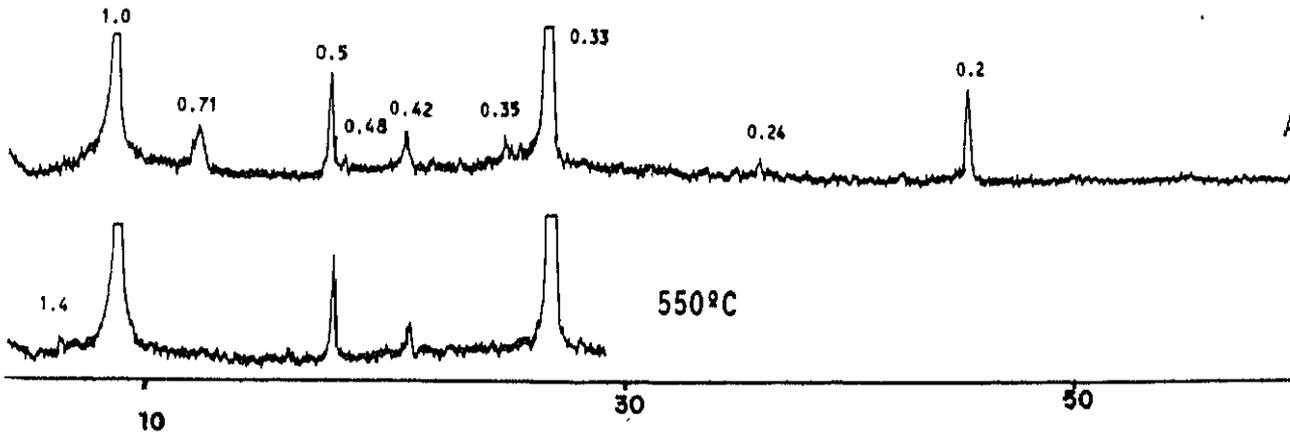


Fig. R 1

SERIE I. ARENA GRUESA

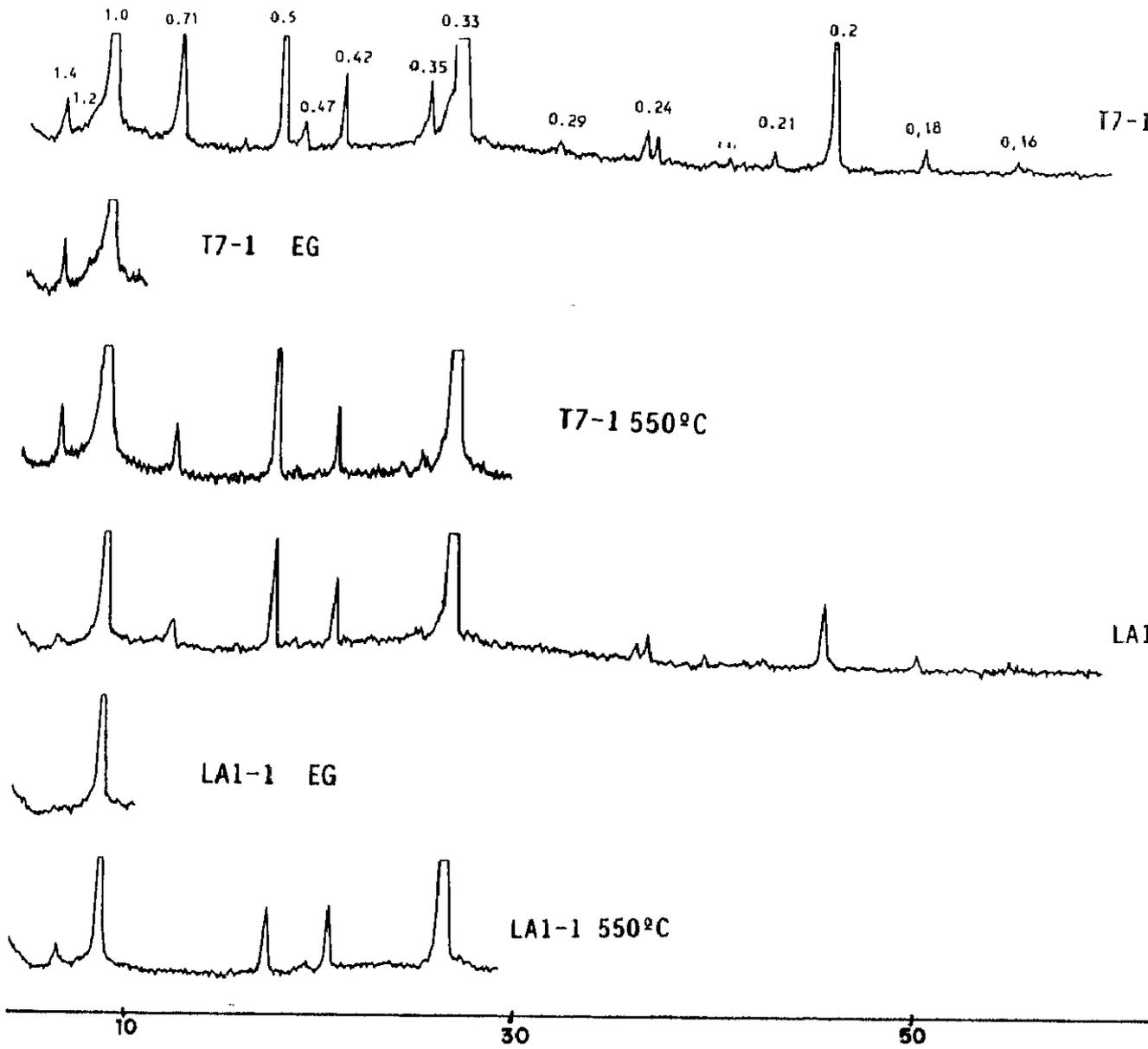


Fig. S 1. Horizontes superficiales

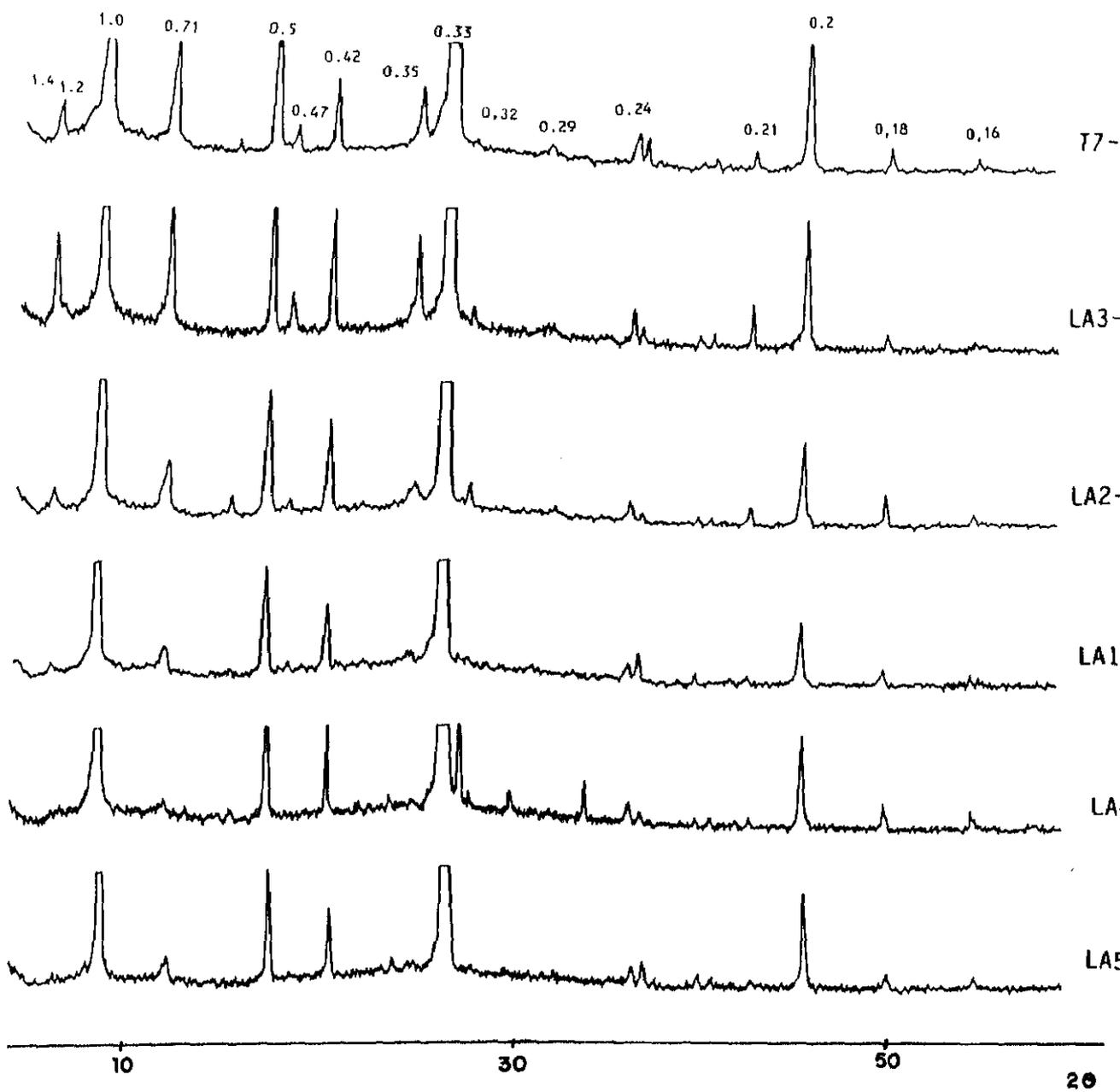


Fig. S 2. Horizontes superficiales en agregados orientados

SERIE I. ARENA FINA

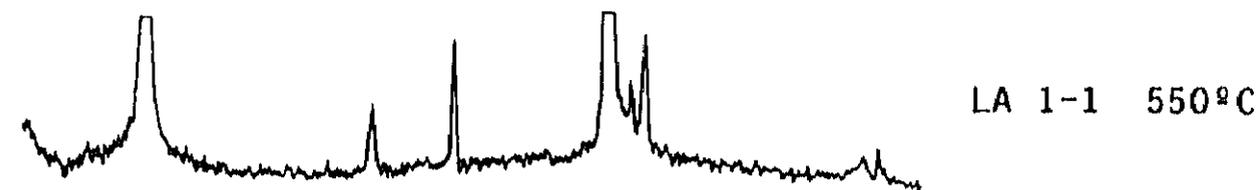
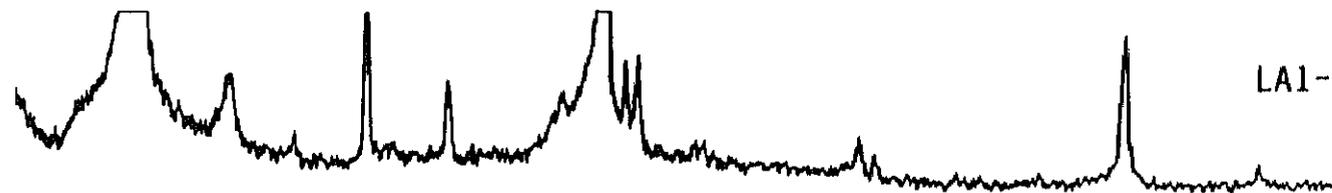
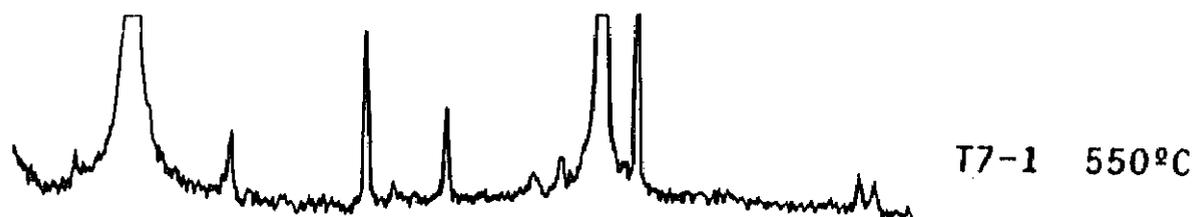
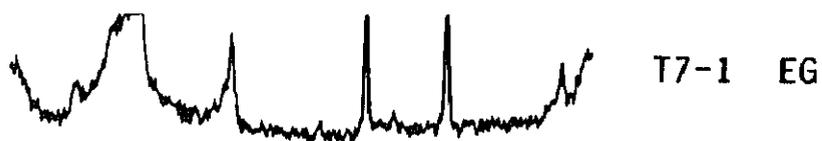
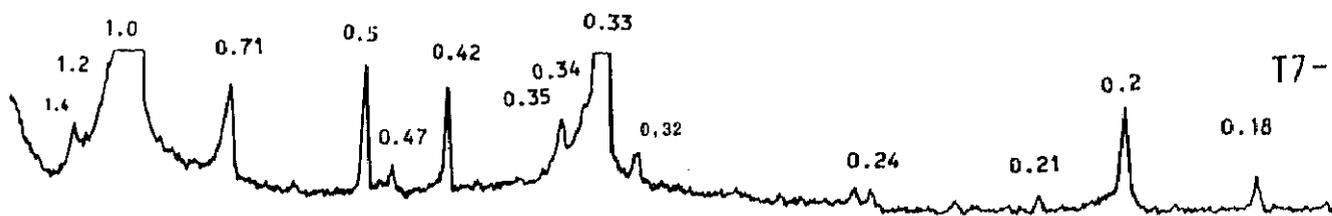


Fig. S 3. Horizontes superficiales

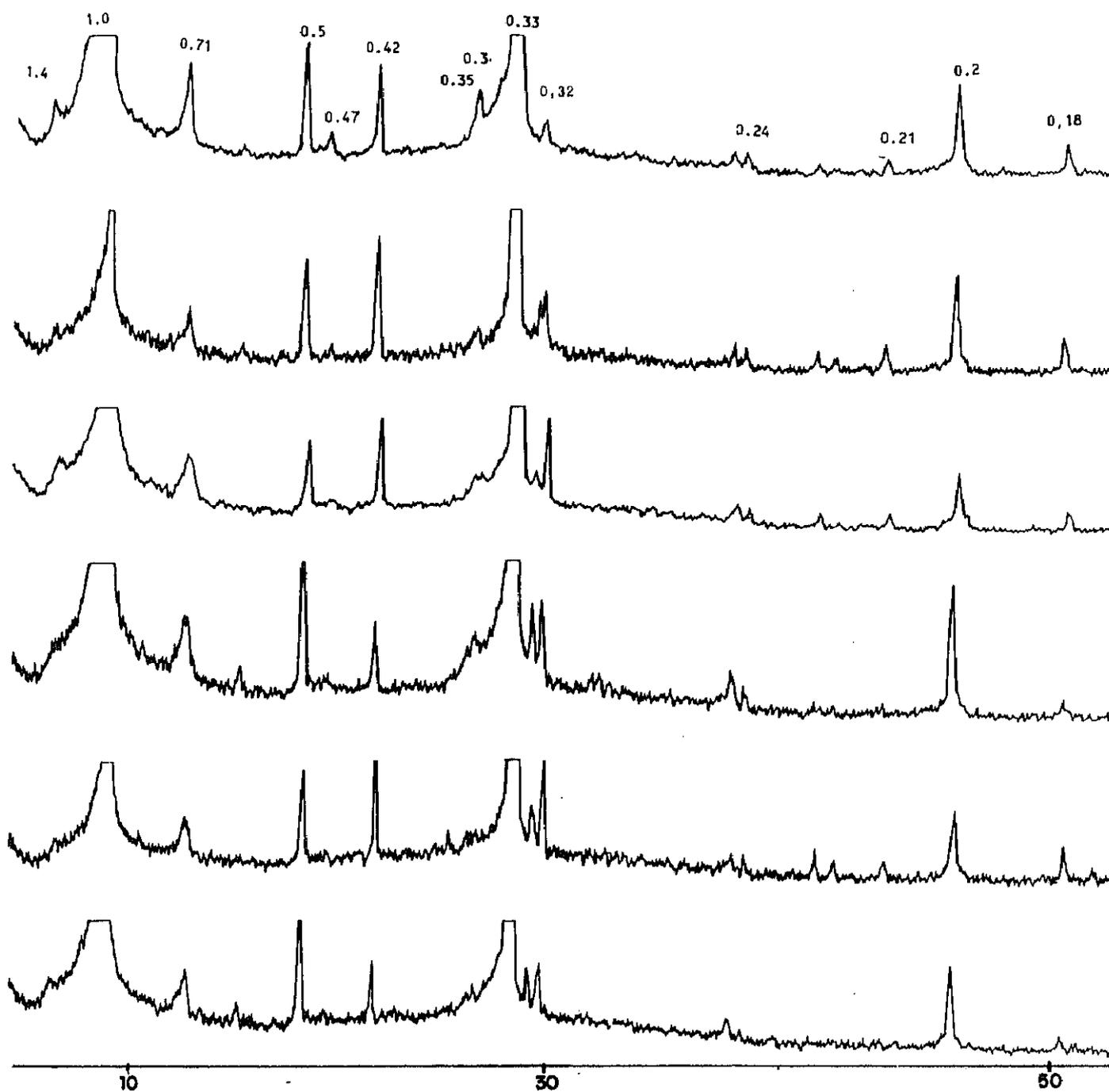


Fig. S 4. Horizontes superficiales en agregados orientados

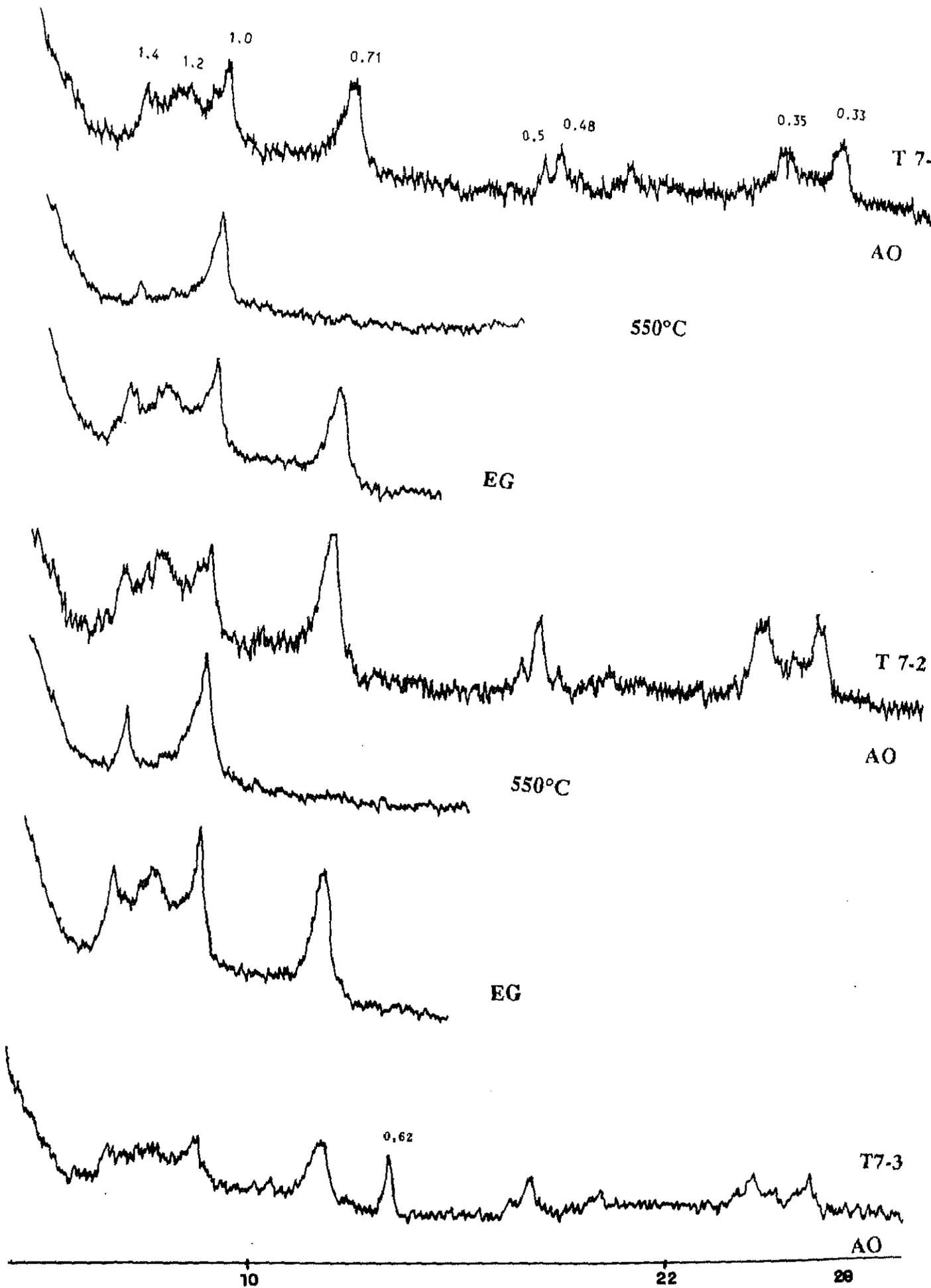


Fig. S 5. Perfil T 7

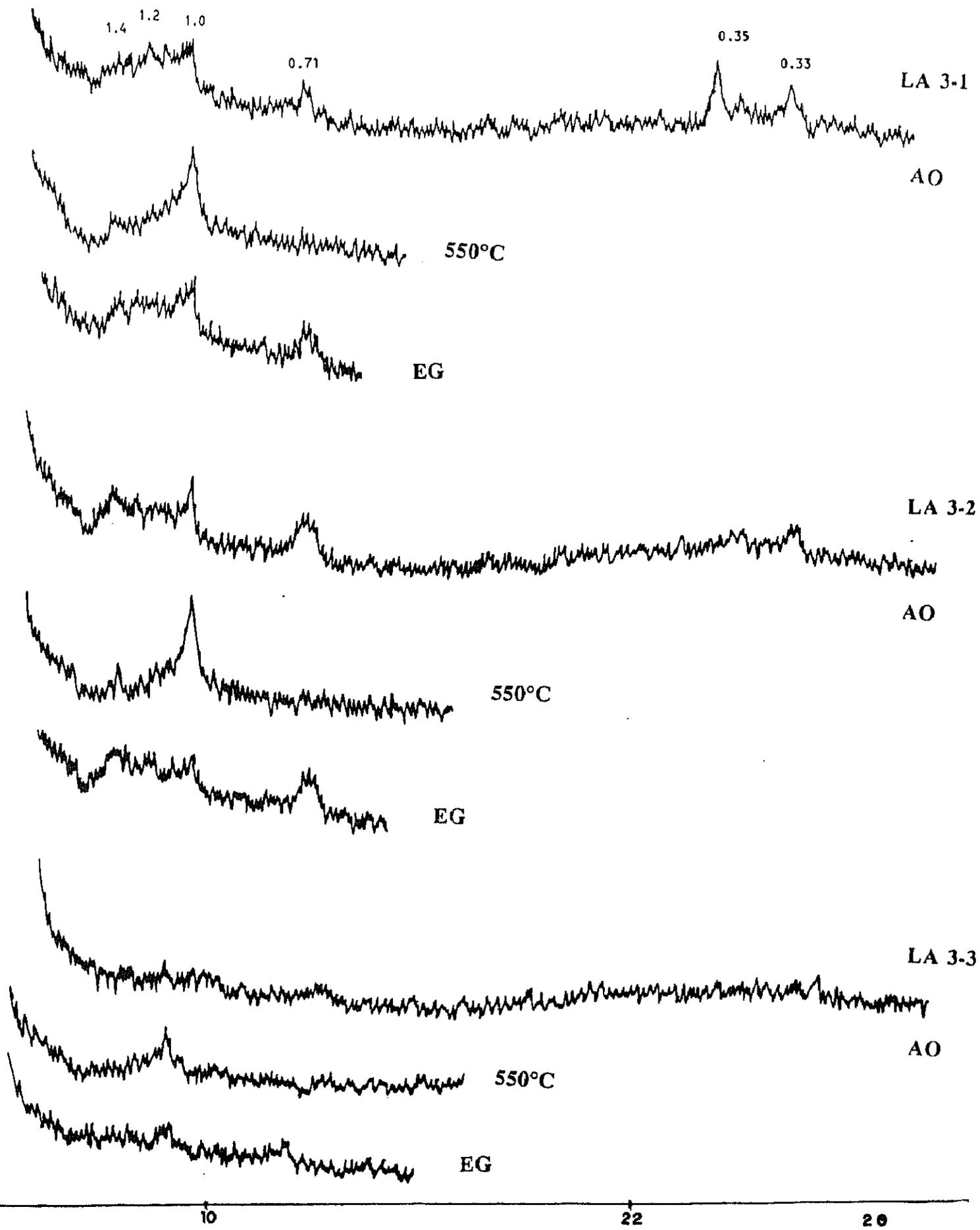


Fig. S 6. Perfil LA 3

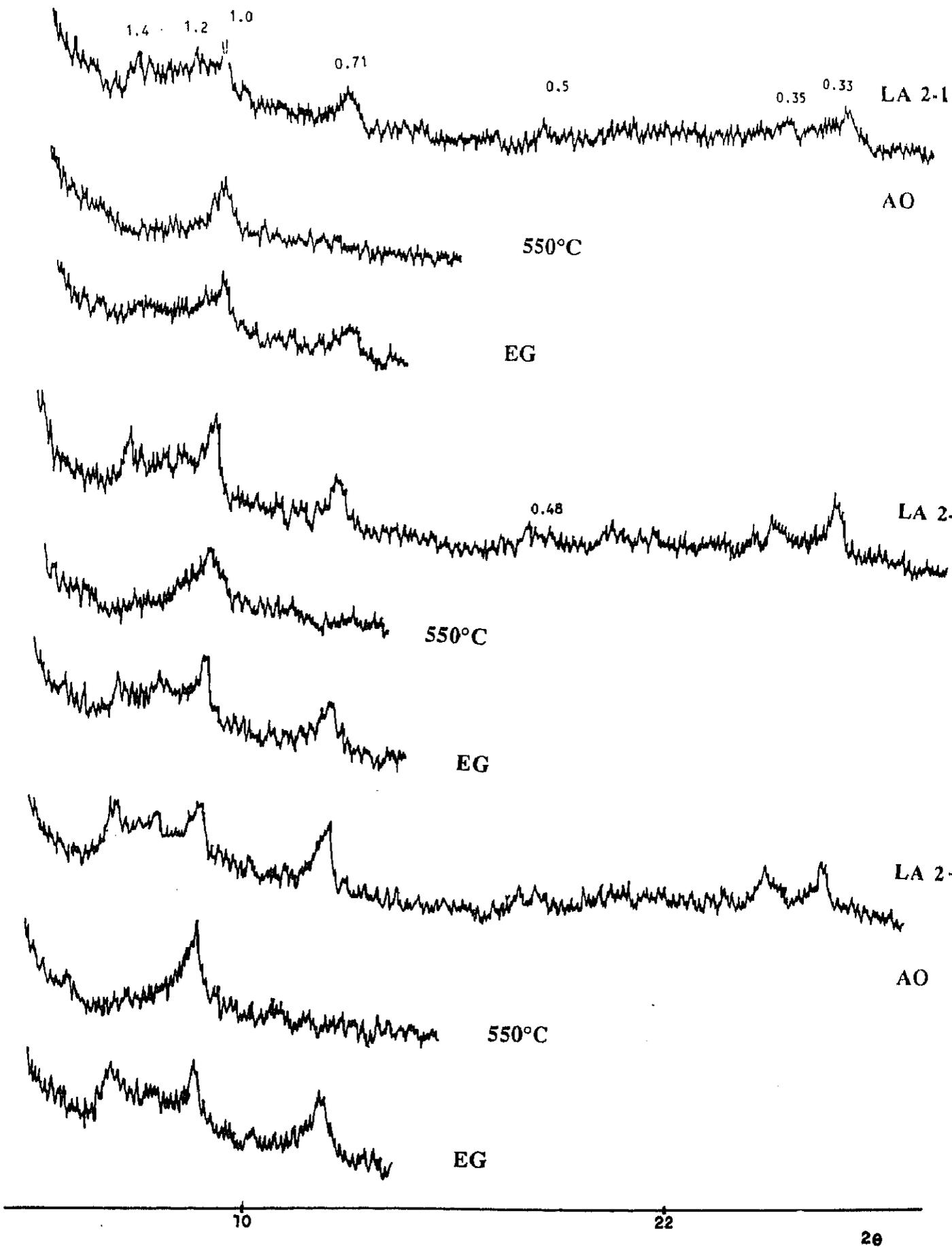


Fig. S 7. Perfil LA 2

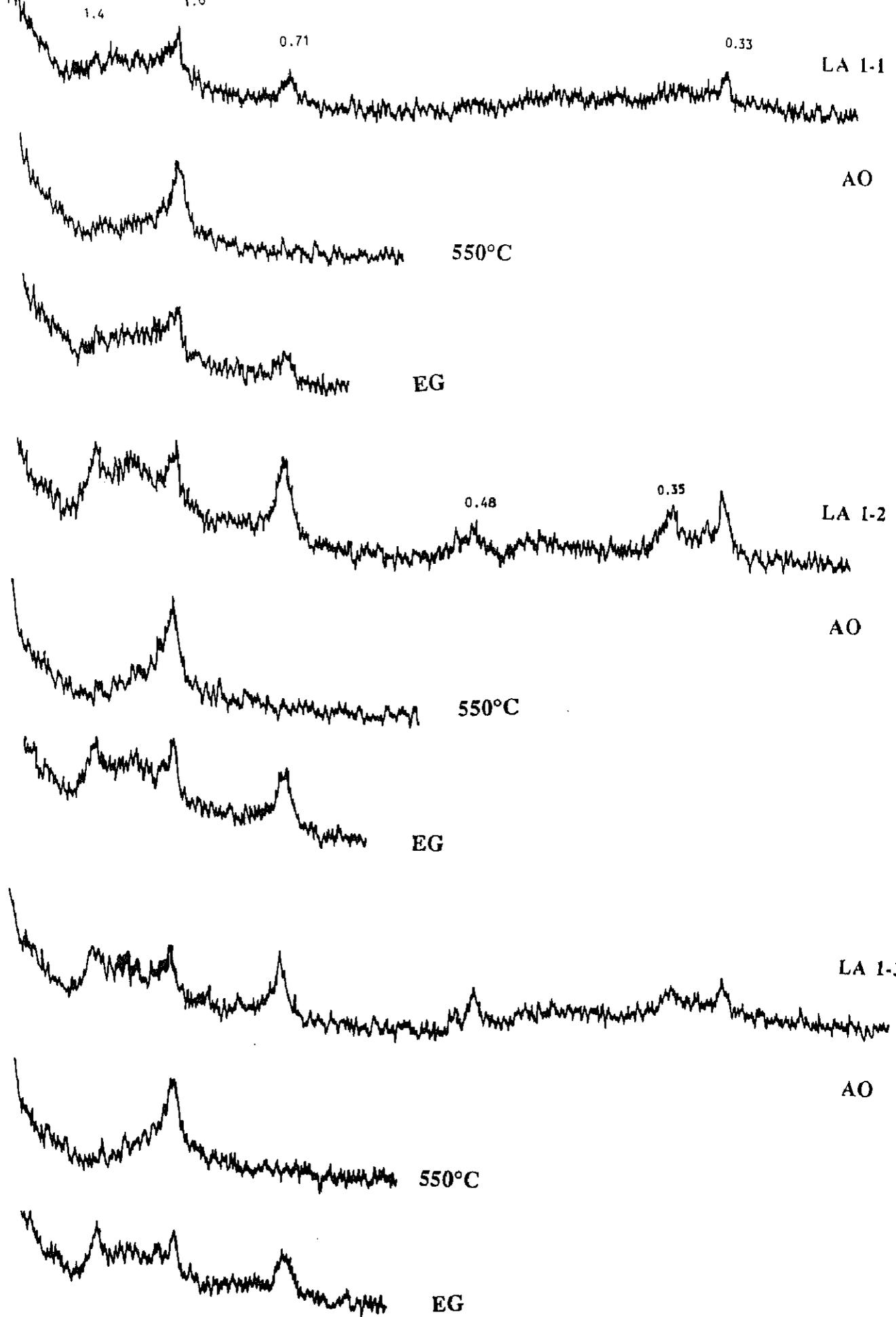


Fig. S 8. Perfil LA 1

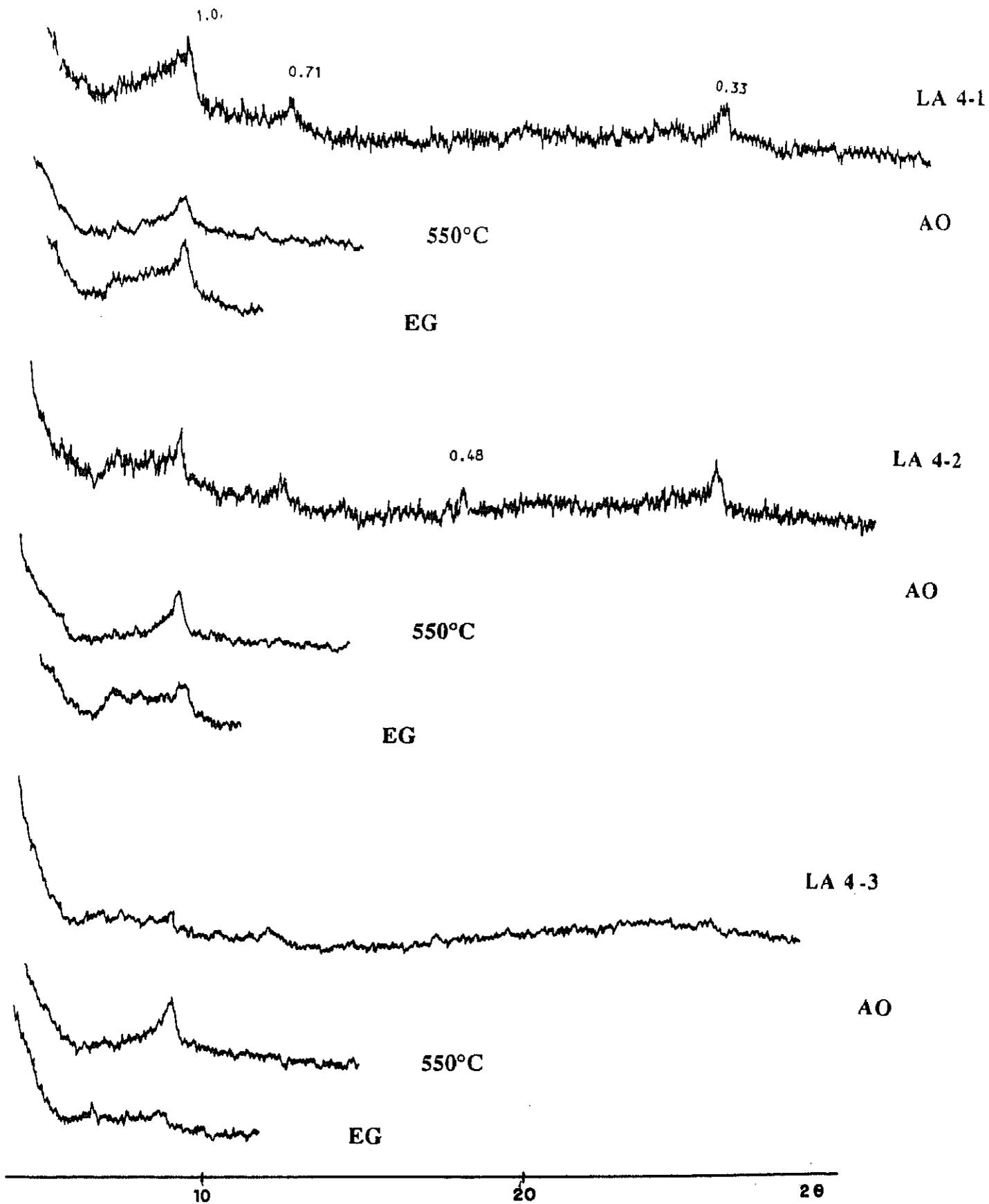


Fig. S 9. Perfil LA 4

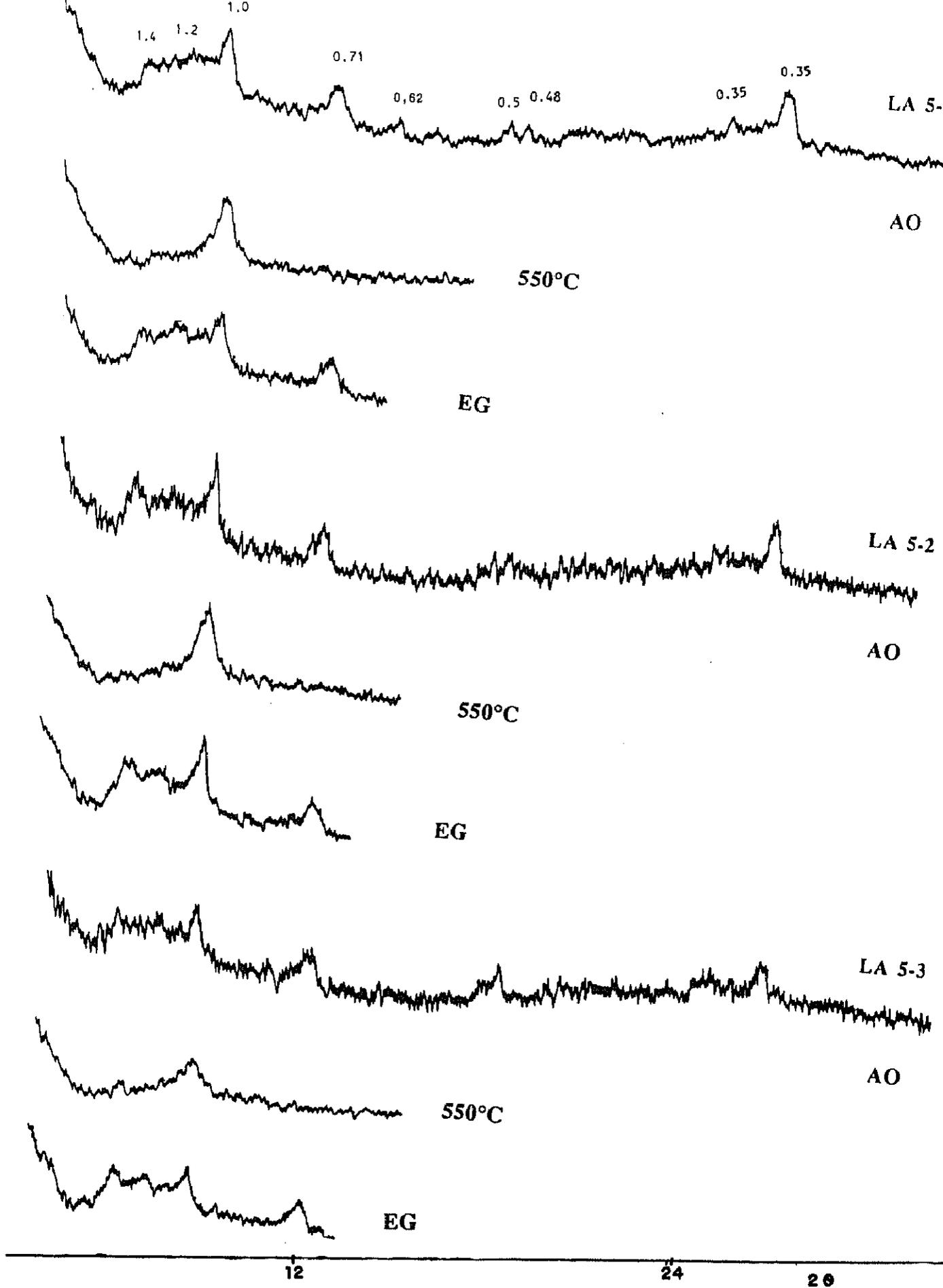


Fig. S 10. Perfil LA 5

5.2 SERIE 2

Está constituida por tres perfiles, dos de ellos (LA10 y LA6) afectados por un incendio forestal y uno sin afectar, T6, (Cambisol húmico) que tomamos como testigo. Todos estos suelos presentan igual orientación SO y pendiente acusada del 25-30%, siendo la distancia entre ellos de 200 m. La secuencia según la distancia al testigo es LA10 < LA6.

En la Tabla 2, se pueden ver las características morfológicas de estos perfiles, el color es homogéneo en todos los suelos al profundizar. La variación de color que se observa en superficie en LA6 con respecto al testigo, puede deberse en parte a la pérdida de los primeros centímetros más afectados. La estructura en superficie es granular en el testigo y perfil cercano LA10, pasando a sin estructura en LA6, debido a la destrucción de los agregados al quemarse la materia orgánica unida a la arcilla. En profundidad la estructura es migajosa en todos los perfiles. Respecto a la consistencia existen ligeros cambios en el horizonte superficial, estos suelos son ligeramente adherentes y ligeramente plásticos en mojado, muy friable en húmedo en el testigo y perfil cercano LA10, y suelto sin coherencia en LA6, todos son blandos en seco; al profundizar apenas se observan cambios en la consistencia.

El material original, esquistos y cuarcitas, determina la granulometría (Fig. 10), originando texturas arenoso-francas y franco-arenosas. Existe un incremento relativo de fracción fina (limo+arcilla) sobre todo en horizontes superficiales de los suelos afectados, fundamentalmente en LA6, con disminución

de la fracción arena gruesa.

En la Fig. 11 se representan los valores de pH y se observa que son suelos ácidos. Existe un aumento del pH en los horizontes superficiales respecto al testigo, como resultado de la incineración de la vegetación y aporte de cationes con las cenizas. El perfil LA6 presenta valores similares a los del testigo, tal vez debido probablemente a la pérdida de los primeros centímetros superficiales. Pérdida debida a las acciones mecánicas ocasionadas por la tala y arrastre de pinos o a efectos erosivos hídricos.

Los porcentajes de carbono (Fig. 12) tienden a incrementarse en el horizonte superficial de los suelos afectados respecto al testigo, siempre que la combustión de la vegetación no haya sido completa (LA10). Se observa en el perfil LA6 que no tiene lugar este incremento del carbono, hecho que puede deberse a la pérdida de parte del horizonte superficial como ya se ha indicado con anterioridad. El nitrógeno (Fig. 13) aumenta en los horizontes superficiales de los suelos impactados respecto al testigo, no variando al profundizar. Las razones C/N (Fig. 14) disminuyen respecto al testigo en el horizonte superficial, aunque esta relación no tiene la misma significación para suelos antropizados (cualquiera que haya sido su modificación) que para suelos que conservan su vegetación. Los valores obtenidos podrían deberse a la existencia de plantas fijadoras de nitrógeno, o también al estímulo de la nitrificación y la acción de los microorga-

nismos, ya que el incendio no ha sido muy intenso, tal como muestran Dyrness y Younberg (1957), Plata Astray y Guitian Ojea (1966), Jorgensen y Wells (1971), Wagle y Kitchen (1972), Christensen (1973).

El estudio del complejo de cambio, muestra que la capacidad total de cambio (Fig. 15) es mayor en los perfiles impactados que en el testigo a lo largo de todo el perfil, debido en parte al aumento relativo de fracción fina. Los perfiles no están saturados debido al material original a partir del cual proceden. Se observa una variación irregular del grado de saturación en superficie, siendo mayor en LA10. La suma de bases aumenta considerablemente en LA10, disminuyendo en LA6 debido posiblemente a la erosión. Respecto a los cationes de cambio (Fig. 16) se observa un incremento acusado de todos ellos en el perfil LA10, a excepción del  $\text{Na}^+$ . En LA6 aumentan el  $\text{K}^+$  y el  $\text{Ca}^{2+}$  aunque en menor cuantía que en LA10, respecto al testigo.

Cuando se estudia el impacto del fuego sobre el contenido de hierro del suelo, se observa que aumenta el hierro libre (Fig. 17) en los suelos impactados respecto al testigo. El hierro total varía irregularmente, con valores mayores en LA6 que en T6 y LA10. La relación hierro libre a hierro total (Fig. 18) aumenta, como en la serie 1, en perfiles afectados respecto al testigo, indicando de nuevo una alteración mineralógica motivada probablemente por el incremento de temperatura.

En la Figura S-11, se presentan los difractogramas de arena gruesa de los horizontes superficiales del perfil testigo T6 e impactado LA6 en agregados orientados, etilen glicol y calentados a 550°C. Se observa en el perfil testigo la existencia de micas-ilitas, con una reflexión de mediana intensidad a 1,0 nm (001) simétrica, aguda, que no se expande con etilen glicol, una reflexión débil a 0,5 nm (002) aguda, ligeramente asimétrica y abierta en la base a ángulos menores y la reflexión basal a 0,33 nm que se solapa con las reflexiones propias del cuarzo y otros minerales. La clorita aparece en trazas en agregados orientados, con una débil reflexión a 1,4 nm (001), que se hace más intensa por calentamiento a 550°C, observándose también la reflexión a 0,71 nm (002) muy débil y asimétrica, pudiendo indicar la mala cristalinidad de este mineral. Como minerales no laminares aparecen cuarzo con reflexiones a 0,42 nm y 0,33 nm y posibles feldespatos. En el horizonte superficial del perfil LA 6 aparecen igualmente micas-ilitas, clorita, aquí también mal cristalizada, y como minerales no laminares: cuarzo y un pico muy claro en la banda de feldespatos. Difiere del testigo en la presencia de interestratificados micas-vermiculitas (banda de 1,4 nm a 1,0 nm) que desaparece por tratamiento térmico; presencia de caolinita por la reflexión a 0,71 nm que desaparece por el calor y posible existencia de óxidos de hierro (hematites) por las reflexiones a 0,36 nm, 0,26 nm, 0,25 nm, 0,22 nm, 0,18 nm y 0,16 nm, que no desaparecen a 550°C. De la observación de los difractogramas de Rayos X en agregados orientados de la fracción arena gruesa de horizontes superfi-

ciales de perfiles testigo e impactados (Figura S-12) llegamos a la conclusión que el pico correspondiente a la clorita (1,4 nm y 0,71 nm) sólo aparece en la muestra LA 6, asimismo la intensidad de la banda 1,4 nm a 1,0 nm sigue la secuencia: T6<LA10<LA6, pudiéndonos indicar un cambio en la composición mineralógica. No queda reflejado en la fracción mineral (arena gruesa) del suelo el impacto del incendio.

En la Figura S-13, se representan los difractogramas de horizontes superficiales de arena fina, observando en el perfil testigo T 6, la presencia de vermiculitas, por la reflexión a 1,4 nm que desaparece al calentar a 550°C y no varía con etilen glicol; interestratificados mica-vermiculita por la reflexión a 1,2 nm y la banda de 0,35 a 0,33 nm, que desaparecen por el calor. A 1,0 nm aparece la reflexión de micas-ilitas, conjuntamente con las de 0,5 nm, 0,33 nm y 0,2 nm; minerales 1:1 mal cristalizados, con un pico a 0,71 nm débil y asimétrico, que desaparece tras el tratamiento térmico. Como minerales no laminares encontramos cuarzo con intensas reflexiones a 0,42 nm y a 0,33 nm (que se solapa con micas-ilitas y otros minerales), feldespatos en la región de 0,32 a 0,31 nm y óxidos de hierro posiblemente tipo hematites.

En el perfil LA 10 se mantiene la composición mineralógica del testigo, pero observando una disminución del pico de vermiculita y de la banda de interestratificados posiblemente por alteración de estos minerales; los minerales 1:1 están peor cristalizados (abiertos y asimétricos) y la reflexión del cuarzo a 0,42 nm aparece de menor intensidad. La composición

mineralógica del horizonte superficial del perfil LA 6 se mantiene semejante a la del testigo; las reflexiones de vermiculita y de la banda de interestratificados mica-vermiculita, son algo más intensas que en el perfil LA 10. Las diferencias son más claras cuando se comparan horizontes superficiales de impactados (LA 10 y LA 6) con sus profundos (Figura S-14) mientras que los mismos horizontes (superficial y profundo) cuando se trata del testigo son bastante semejantes; aquellas diferencias se hacen patentes en la banda de interestratificados mica-vermiculita de 1,4 a 1,0 nm y de 0,35 a 0,33 nm, que es intensa en horizontes profundos de impactados (fundamentalmente LA 6), disminuyendo mucho en superficiales, lo que podría ser debido al efecto del calor.

Los difractogramas de la fracción arcilla del suelo testigo y de los suelos impactados en esta serie, ponen de manifiesto la siguiente composición mineralógica.

Perfil testigo T6.- En el horizonte superior de este perfil (Fig. S-15) sobresalen como minerales constitutivos: minerales 1:1 (caolinita), con una reflexión a 0,71 nm ligeramente asimétrica y abierta, micas-ilitas, vermiculita, trazas de cloritas, por las reflexiones a 1,4 nm. y 0,47 nm. así como una inflexión a 0,71 nm e interestratificados micas-vermiculitas y mica-clorita. Presencia de cuarzo y feldespatos como minerales no laminares, así como óxidos de hierro (lepidocrocita). Al calentar se intensifica la reflexión a 1,0 nm de micas-ilitas, disminuyendo la banda de

interestratificados y se mantiene muy débil la reflexión de clorita a 1,4 nm. Con etilen glicol no se producen variaciones en el difractograma respecto a agregados orientados, indicando la no existencia de minerales hinchables.

Al profundizar, el difractograma es muy parecido al del horizonte superior lo que indica que existe homogeneidad mineralógica, apareciendo la reflexión de minerales 1:1 en banda, poco neta, asimétrica y abierta a ángulos menores. Presencia en ambos horizontes de una reflexión a 0,48 nm que desaparece al calentar a 550°C y permanece con etilen glicol, que se hace algo más intensa en el horizonte inferior, probablemente de gibbsita.

Perfil LA10.- Cuando se estudia la composición de la fracción arcilla (Fig. S-16) en el horizonte superficial, cabe destacar la mala cristalinidad de los minerales constitutivos. Existen minerales 1:1 con un reflexión débil y simétrica, micas-ilitas, presencia de vermiculita con reflexión poco neta y débil, trazas de clorita, interestratificados mica-vermiculita y posiblemente de mica-clorita.

Al profundizar se observa una intensificación en la reflexión a 1,4 nm (disminuyendo la reflexión a 1,0 nm) y a 0,71 nm el resto de las reflexiones son iguales a las del horizonte superior, lo que indica la analogía mineralógica. Las variaciones que se aprecian en el horizonte superficial respecto a los profundos son: la disminución de la reflexión de vermiculita con el incremento del pico de mica-ilita y una acusada disminución de la reflexión de los minerales 1:1, lo

que podría ser debido al impacto por el fuego.

Perfil LA6.- En el horizonte superior (Fig. S-17), los minerales constitutivos son: minerales 1:1 con una reflexión intensa a 0,71 nm, micas-ilitas con reflexión neta a 1,0 nm, presencia de cloritas e interestratificados mica-vermiculita y mica-clorita.

Al calentar a 550°C se intensifica la reflexión a 1,0 nm de micas-ilitas y disminuye la intensidad de la reflexión de la banda de interestratificados, manteniéndose débil el pico de clorita. Con etilen glicol el difractograma es semejante al de agregados orientados, por tanto no existen minerales hinchables.

Al profundizar se mantiene la homogeneidad mineralógica y la analogía con el horizonte superior, incrementándose en gran medida la reflexión a 0,71 nm de minerales 1:1. Presencia de una reflexión poco neta y de intensidad débil a 0,48 nm probablemente de gibbsita.

La similitud de estos diagramas entre sí indica: que no ha existido impacto por incremento de temperatura o bien la posible pérdida del horizonte superficial que pudiera estar más afectado, esto último se ha puesto de manifiesto por otros datos morfológicos y analíticos.

Al comparar los horizontes superficiales de los perfiles (testigo e impactados) se observa la similitud mineralógica entre ellos, sin ponerse de manifiesto el impacto por el fuego.

# ANALISIS GRANULOMETRICO

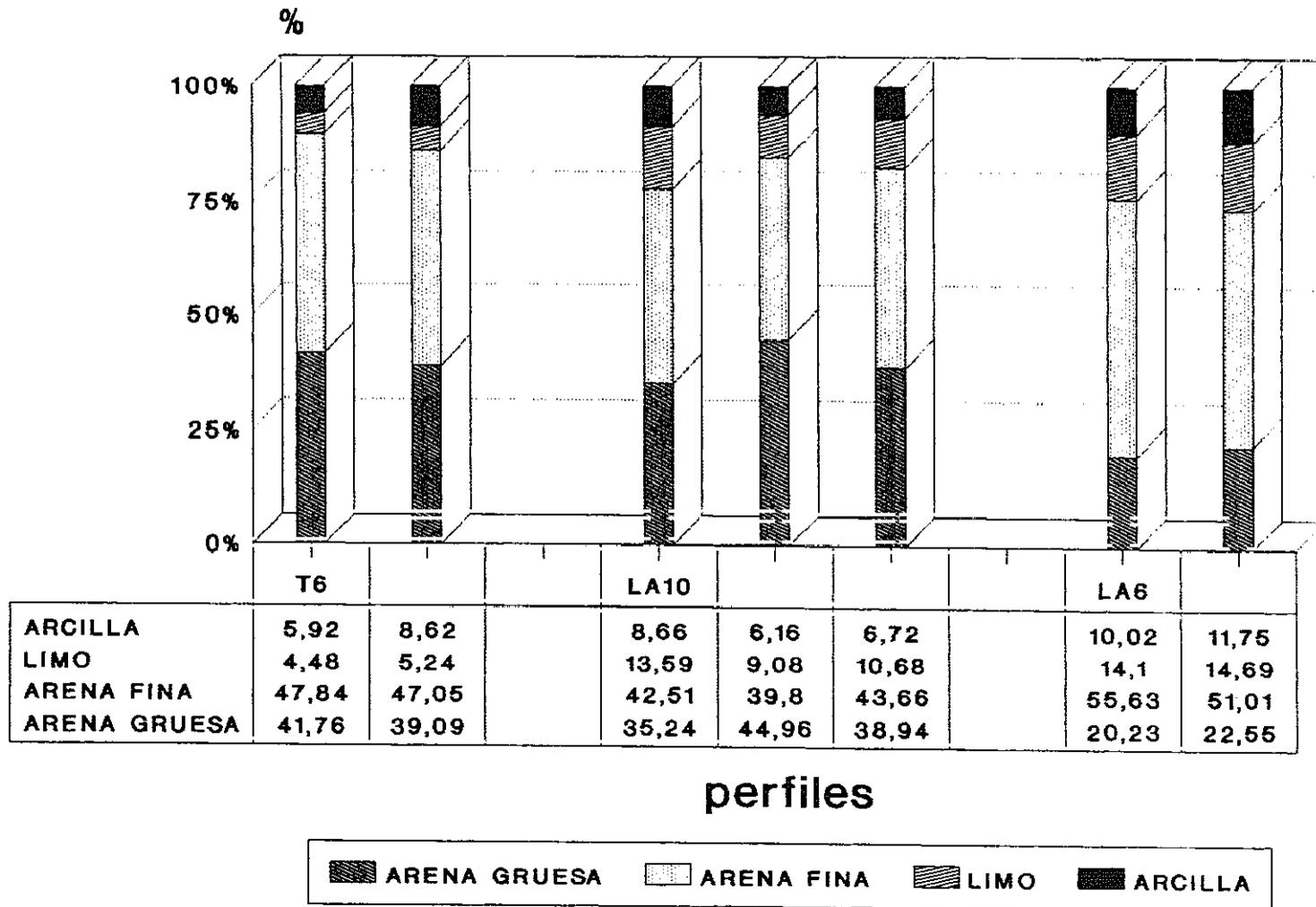


Fig 10. Porcentajes de arenas, limo y arcilla en los distintos horizontes.

# VALORES pH

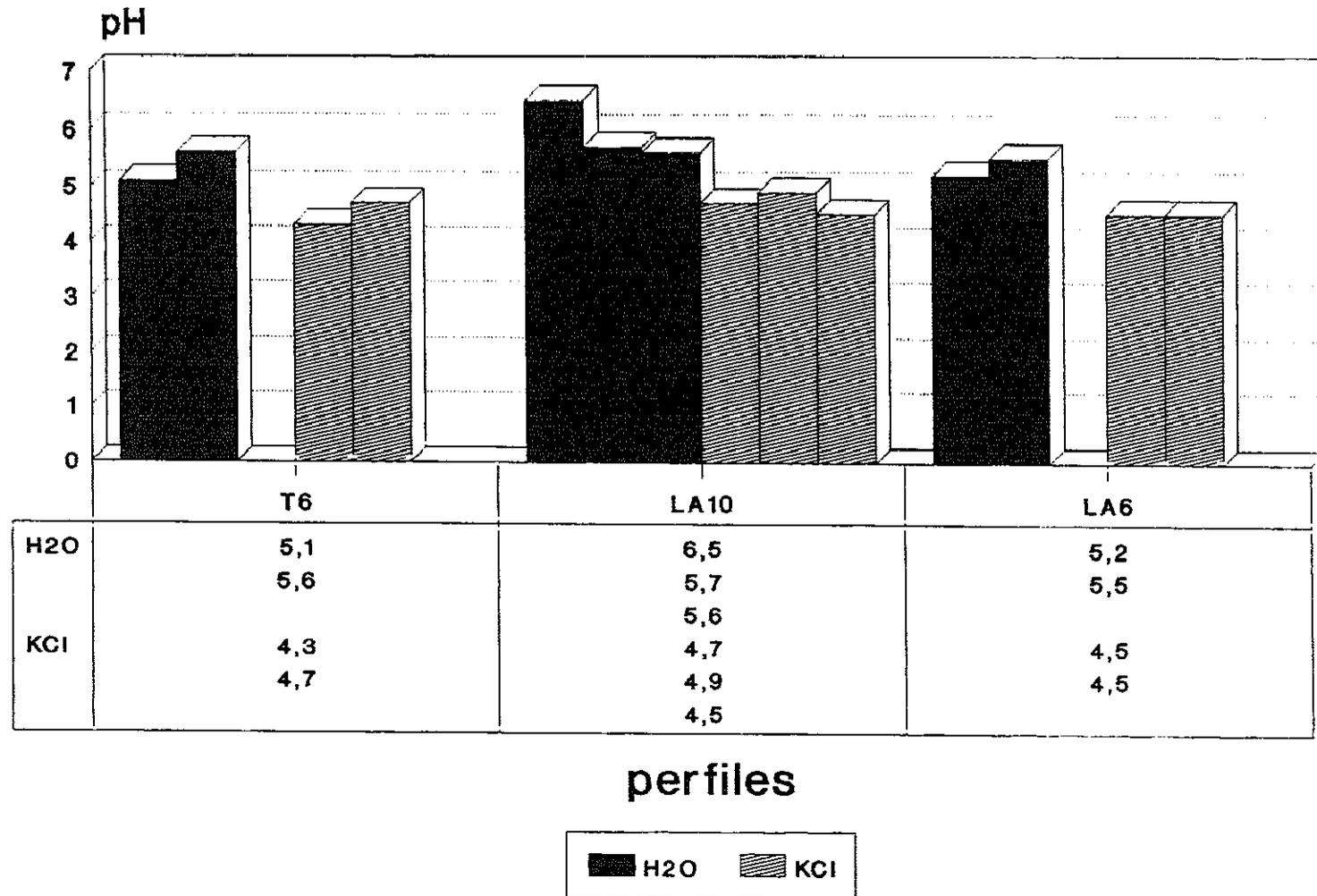
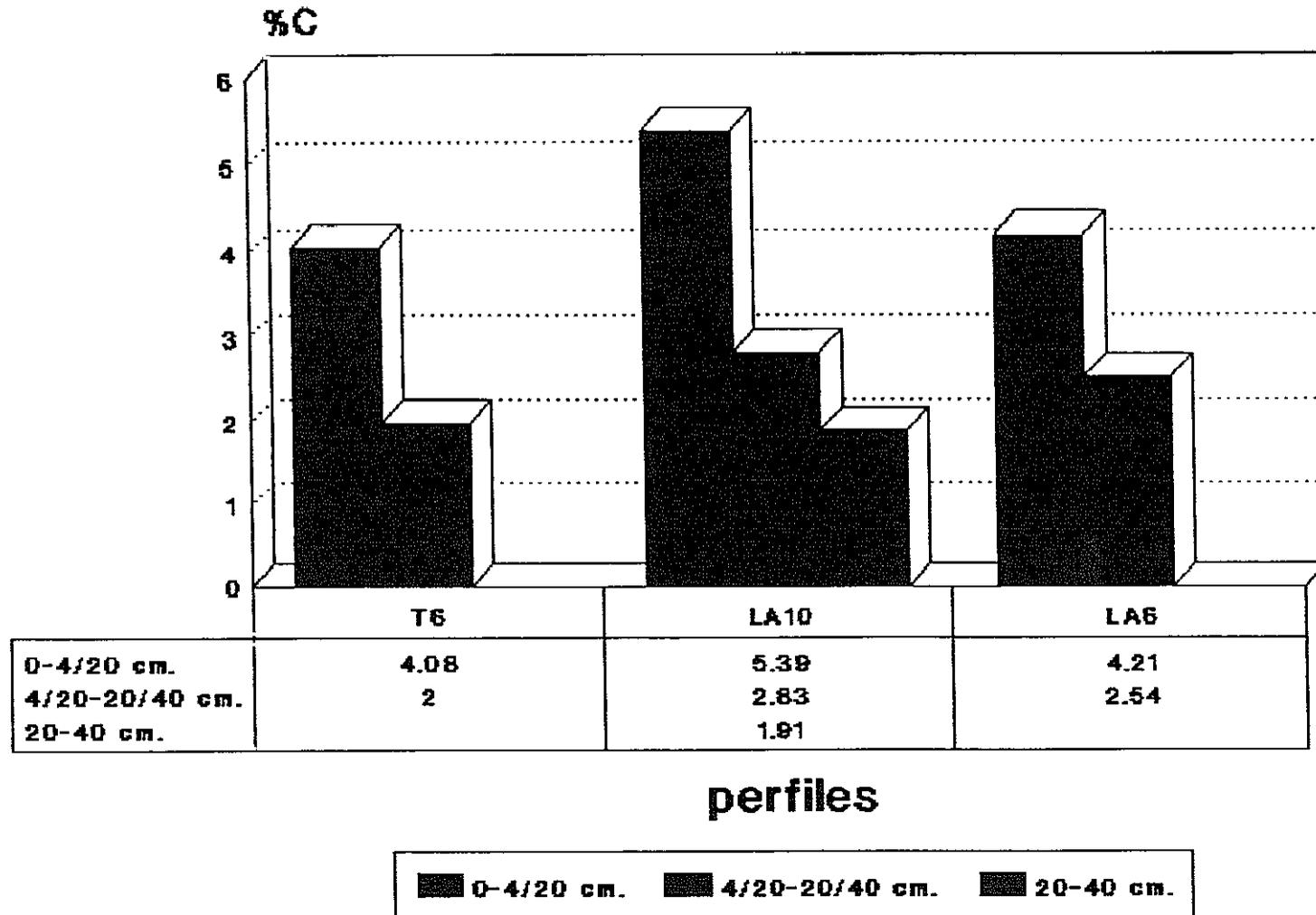


Fig 11. Valores de pH en H2O y KCl en los distintos horizontes.

# CARBONO



**Fig 12.** Porcentajes de carbono en los horizontes.

# NITROGENO

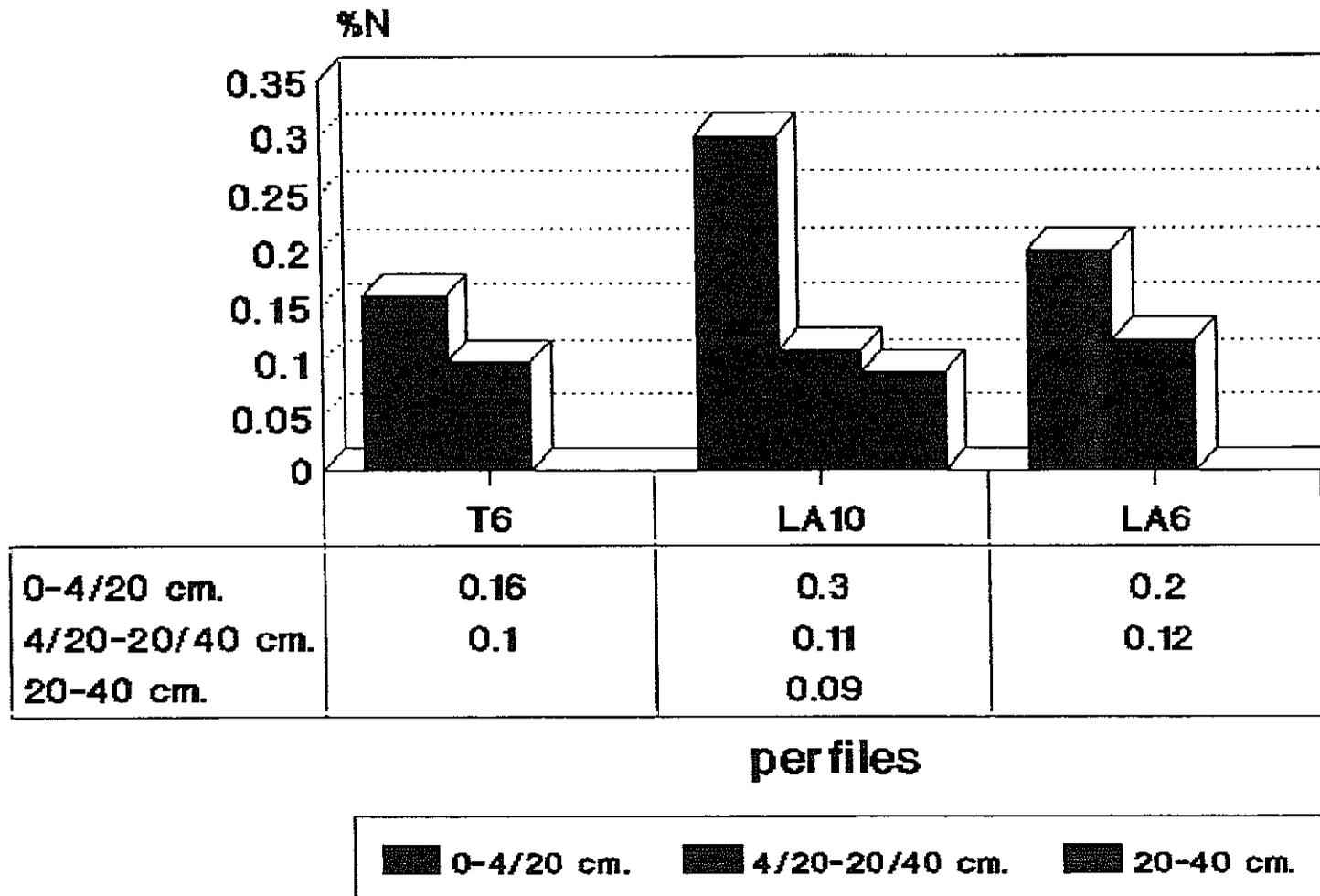
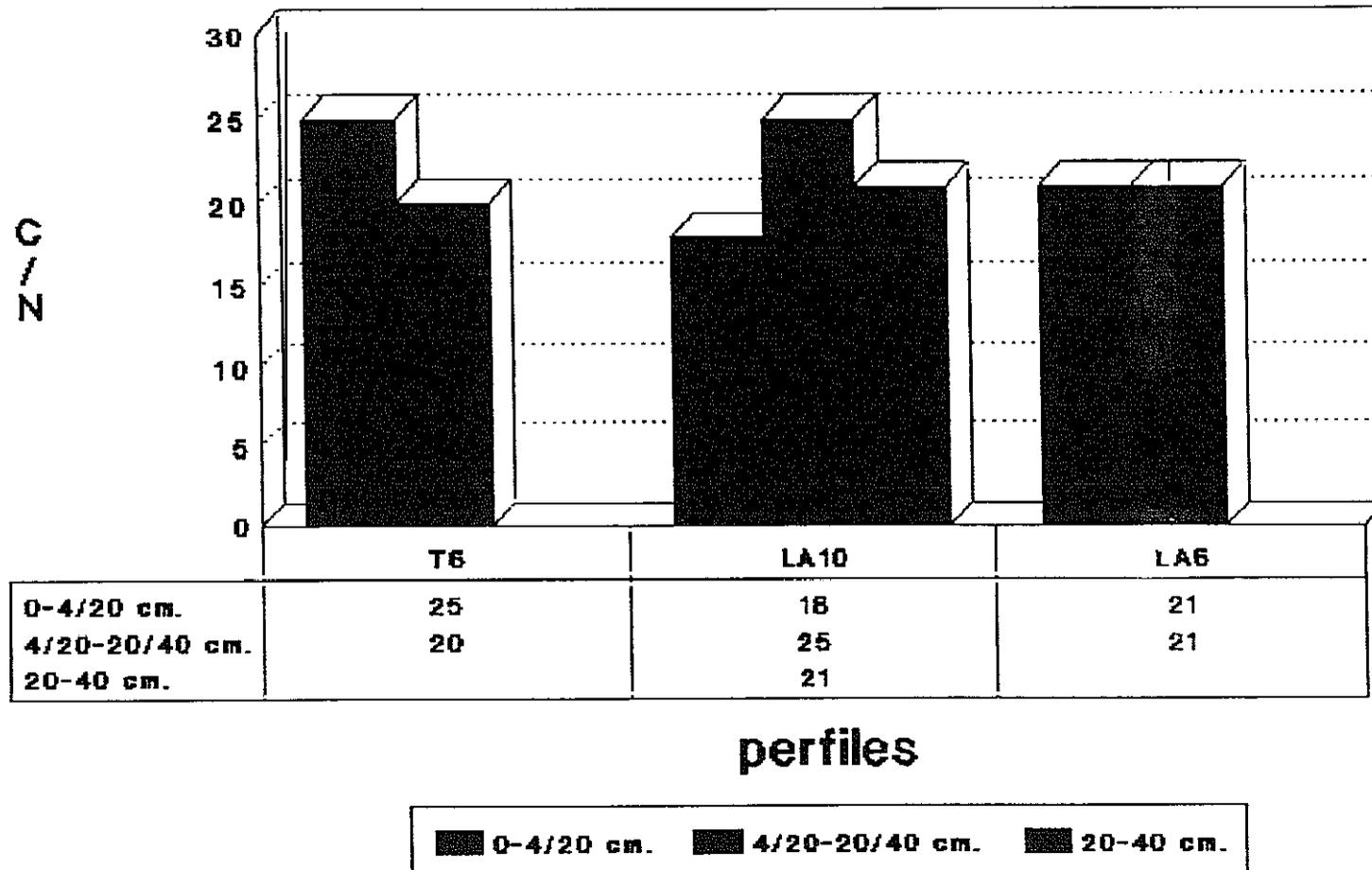


Fig 13. Nitrógeno en los horizontes de los suelos

# C/N



**Fig 14. Relaciones carbono a nitrógeno en los distintos horizontes de los suelos.**

# CAPACIDAD DE CAMBIO Y GRADO DE SATURACION

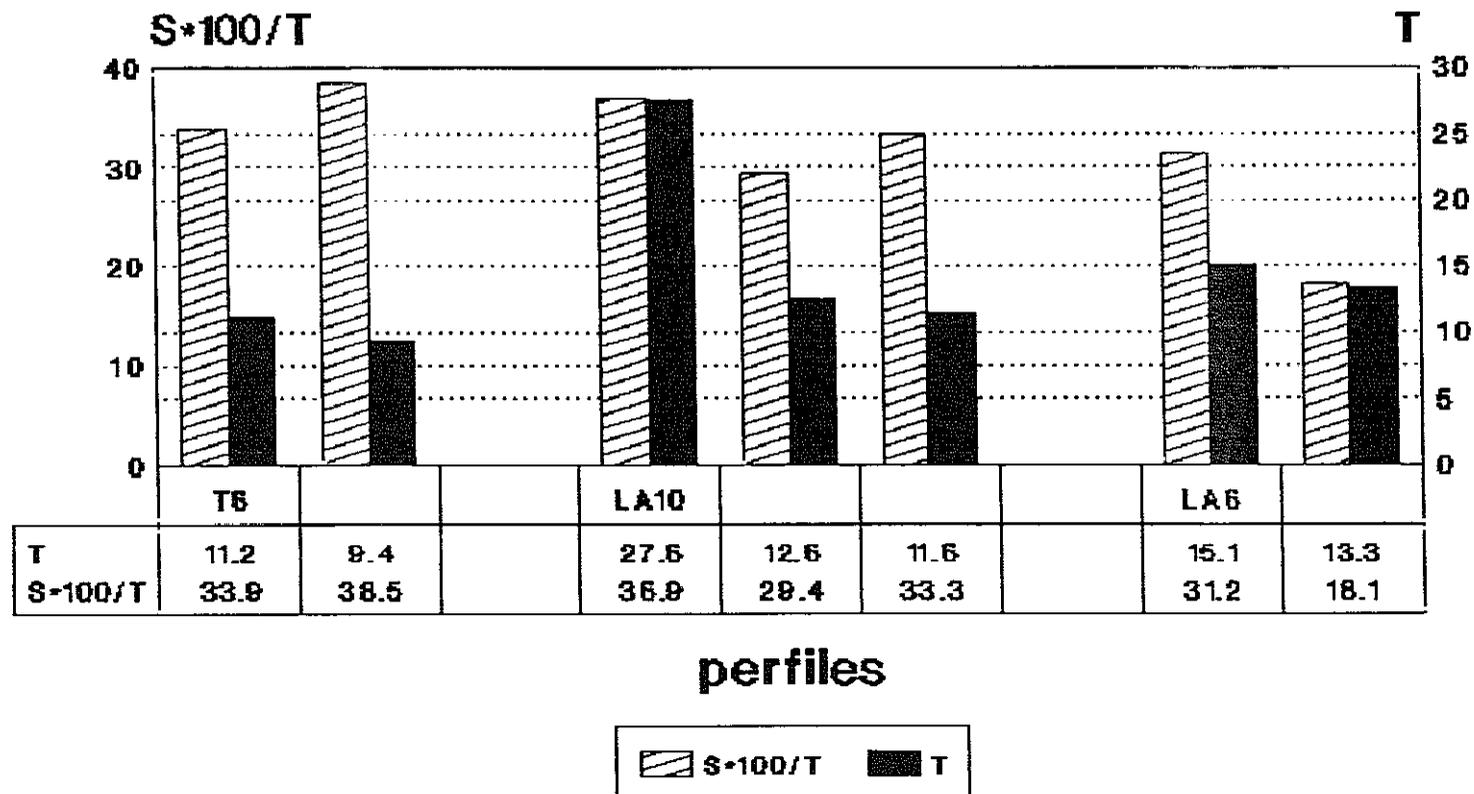


Fig 15. Capacidad total de cambio y grado de saturación en los distintos horizontes.

# CATIONES DE CAMBIO

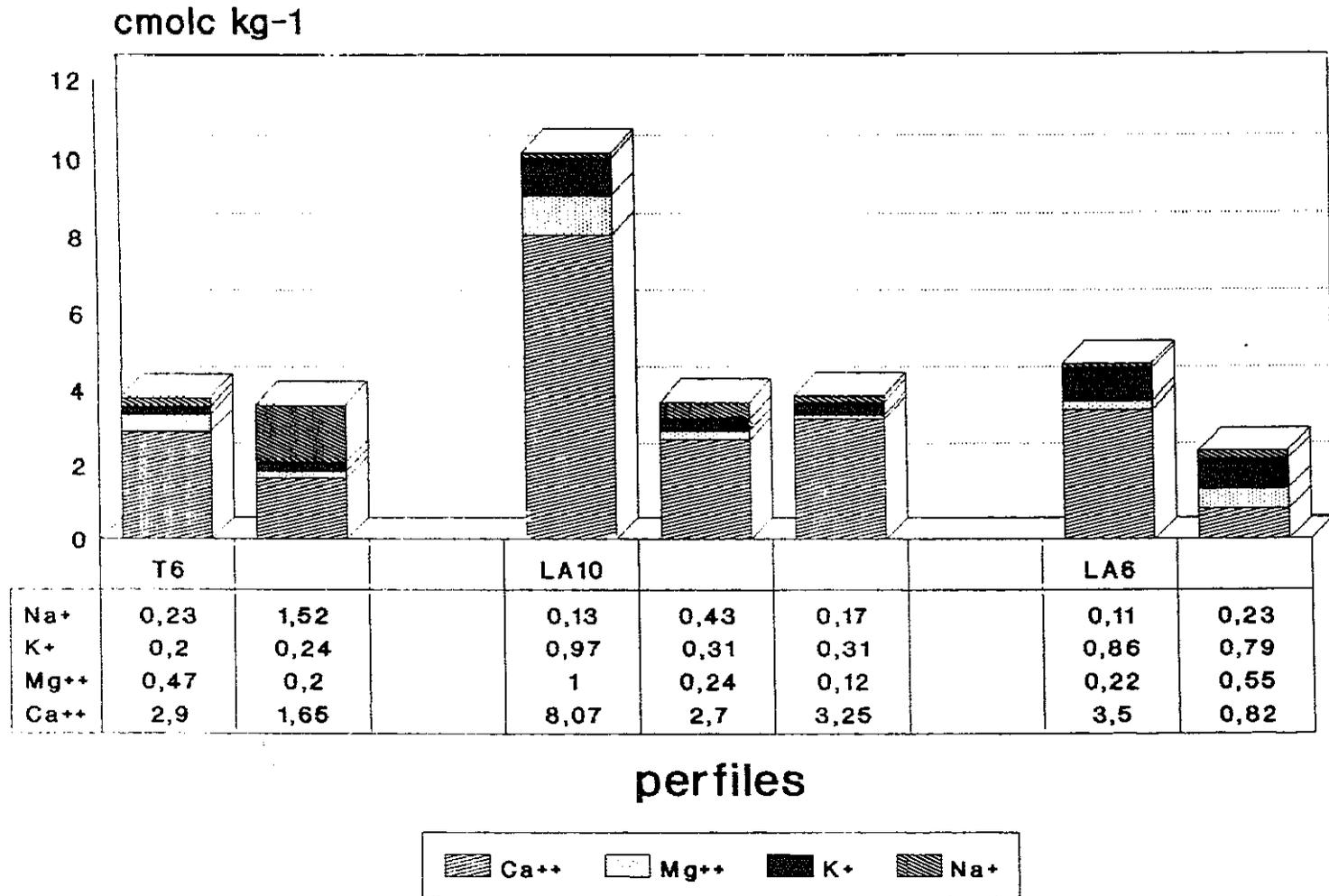


Fig 15. Cationes de cambio del complejo adsorbente en los distintos horizontes.

# HIERRO

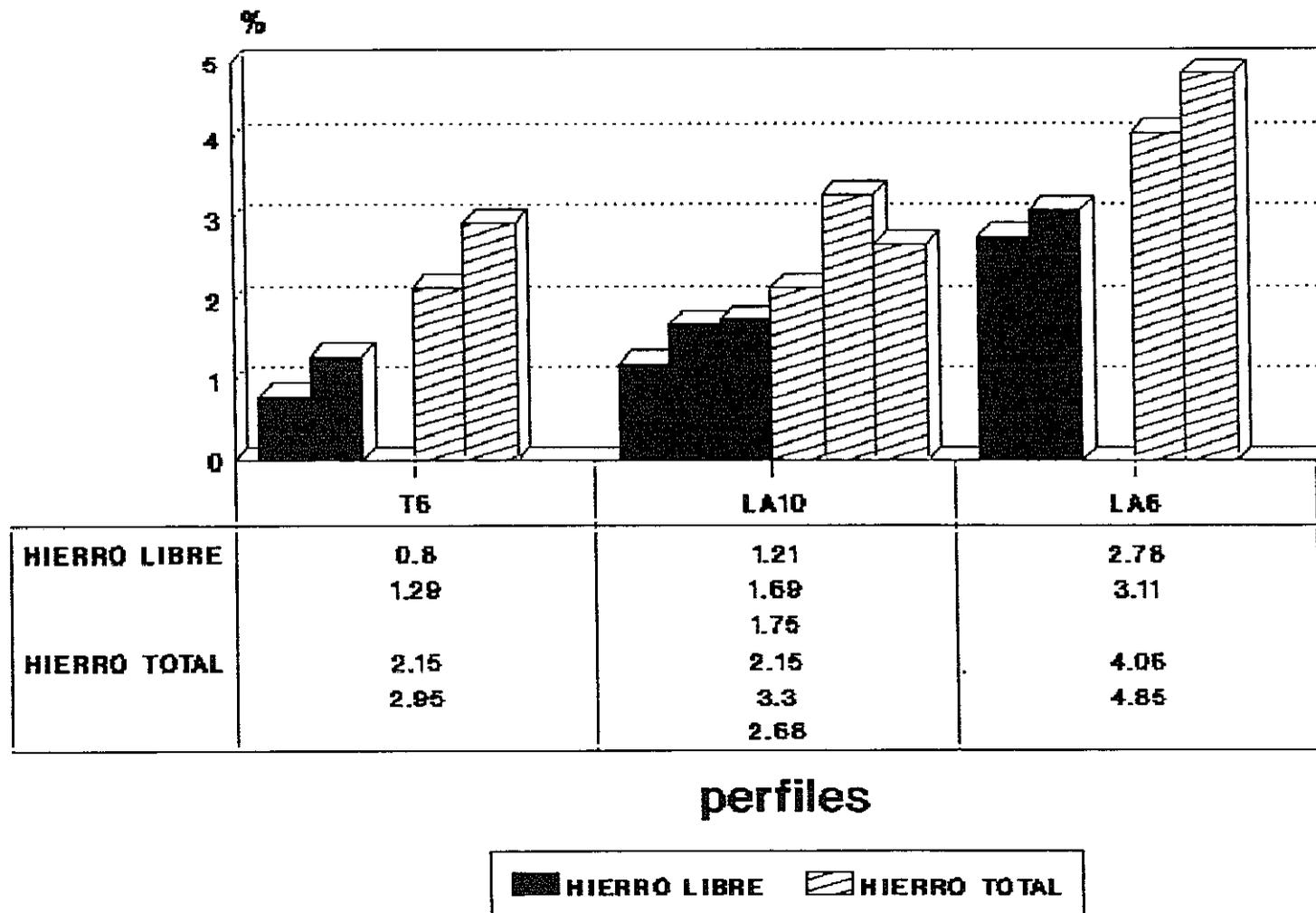


Fig 17. Hierro libre y hierro total en los horizontes.

# HIERRO LIBRE/HIERRO TOTAL

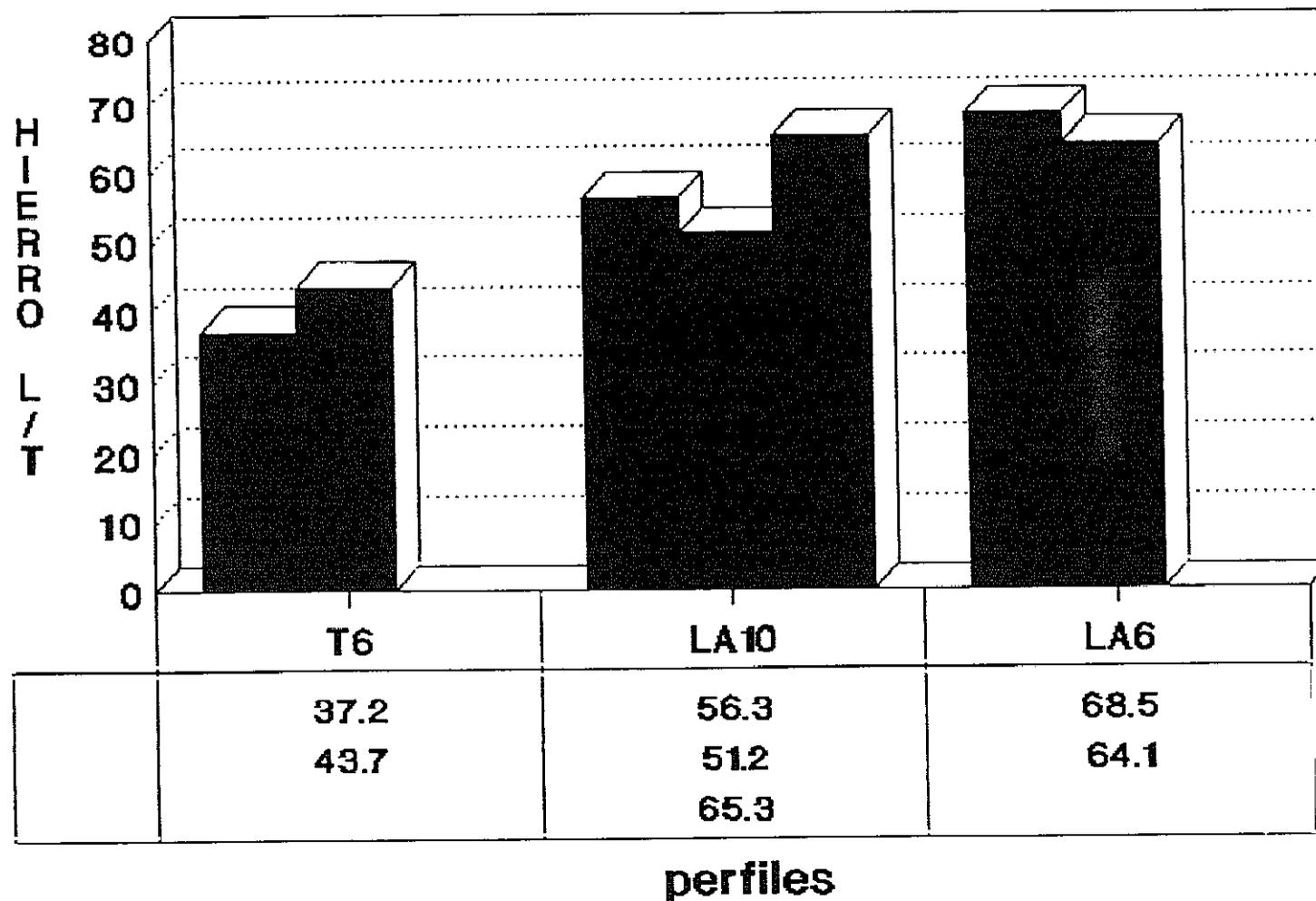


Fig 18.Relaciones hierro libre a hierro total en los distintos horizontes.

SERIE II. ARENA GRUESA

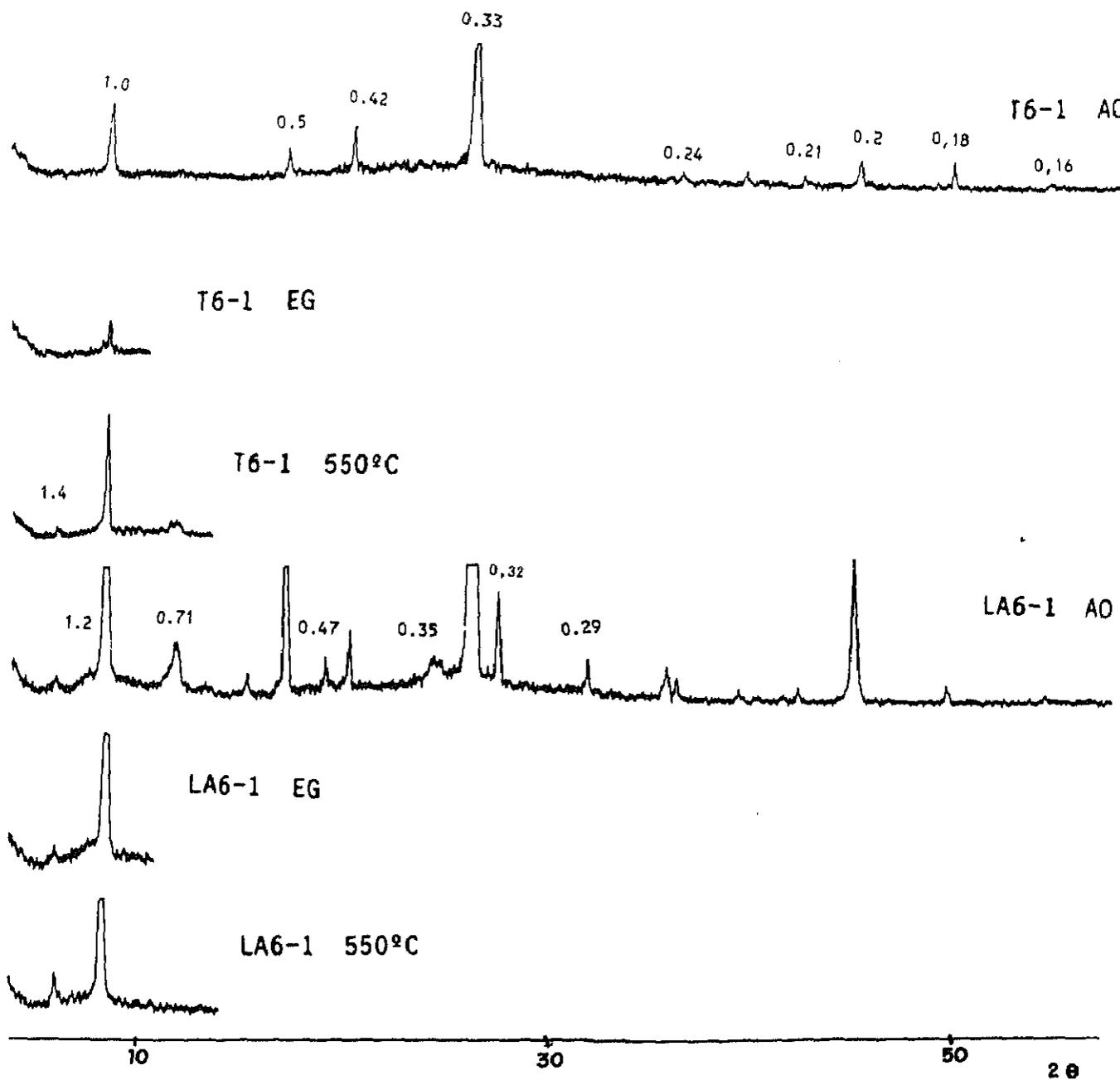
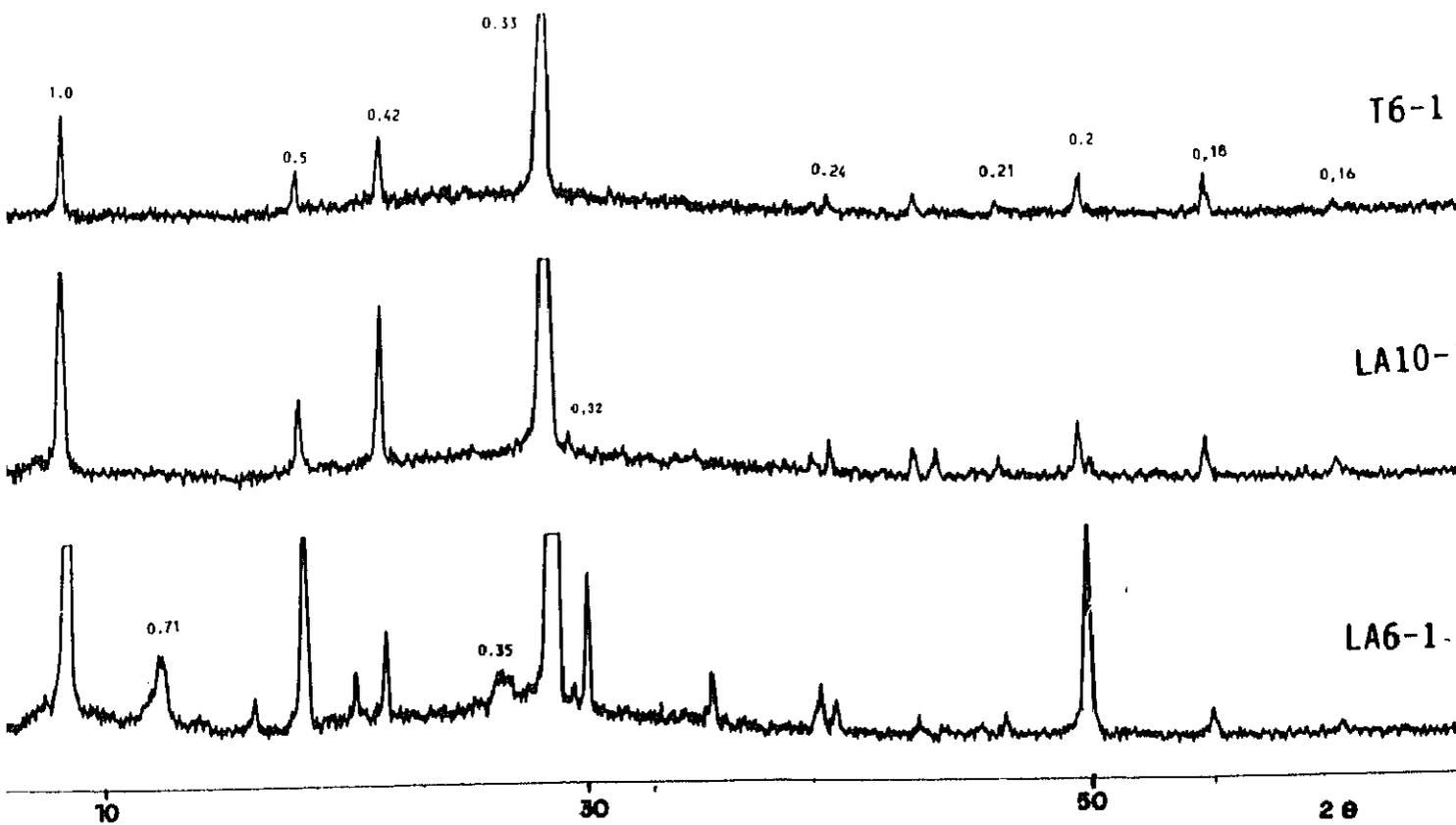


Fig. S 11. Horizontes superficiales



**Fig. S 12. Horizontes superficiales en agregados orientados**

SERIE II. ARENA FINA

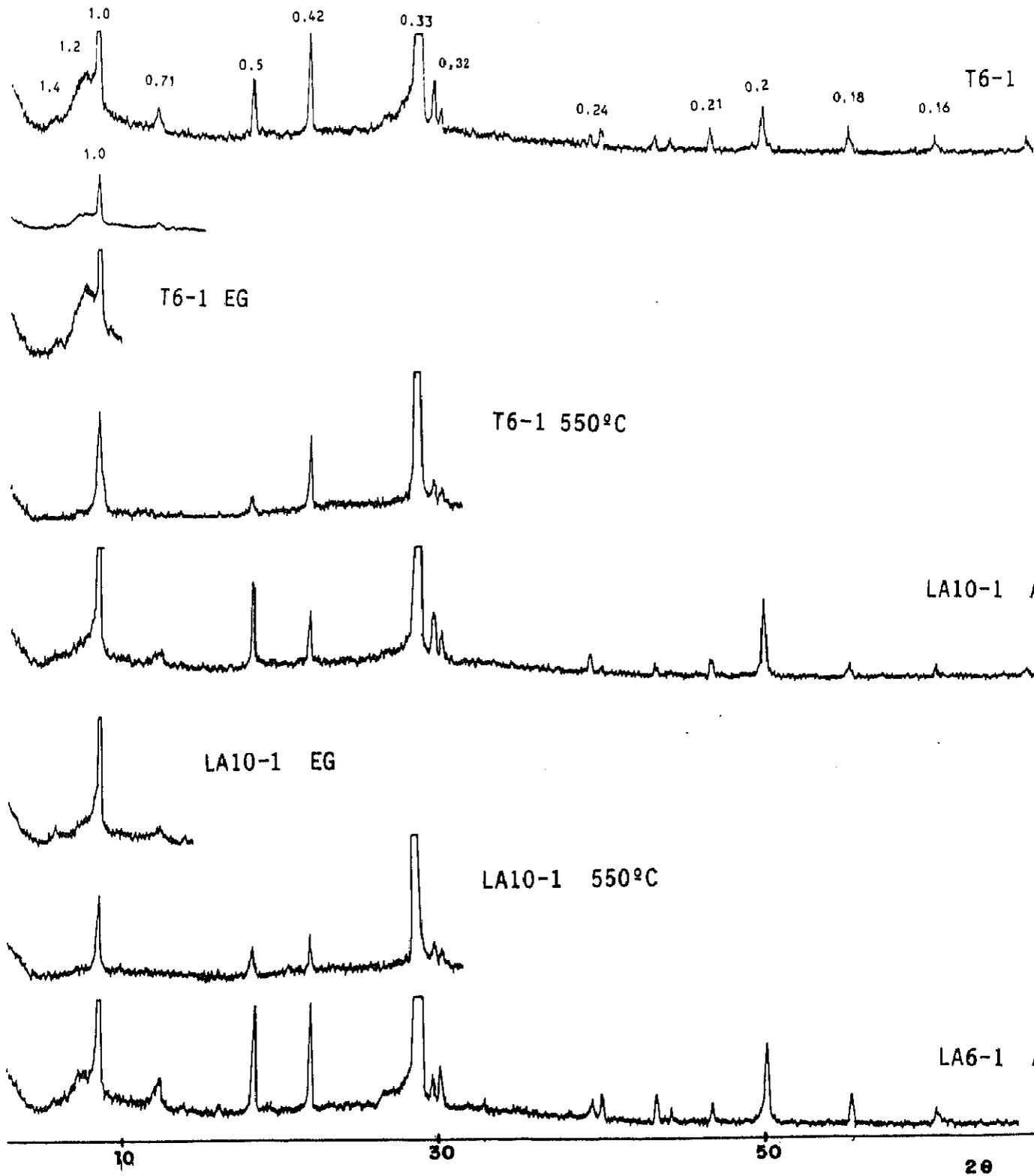


Fig. S 13. Horizontes superficiales

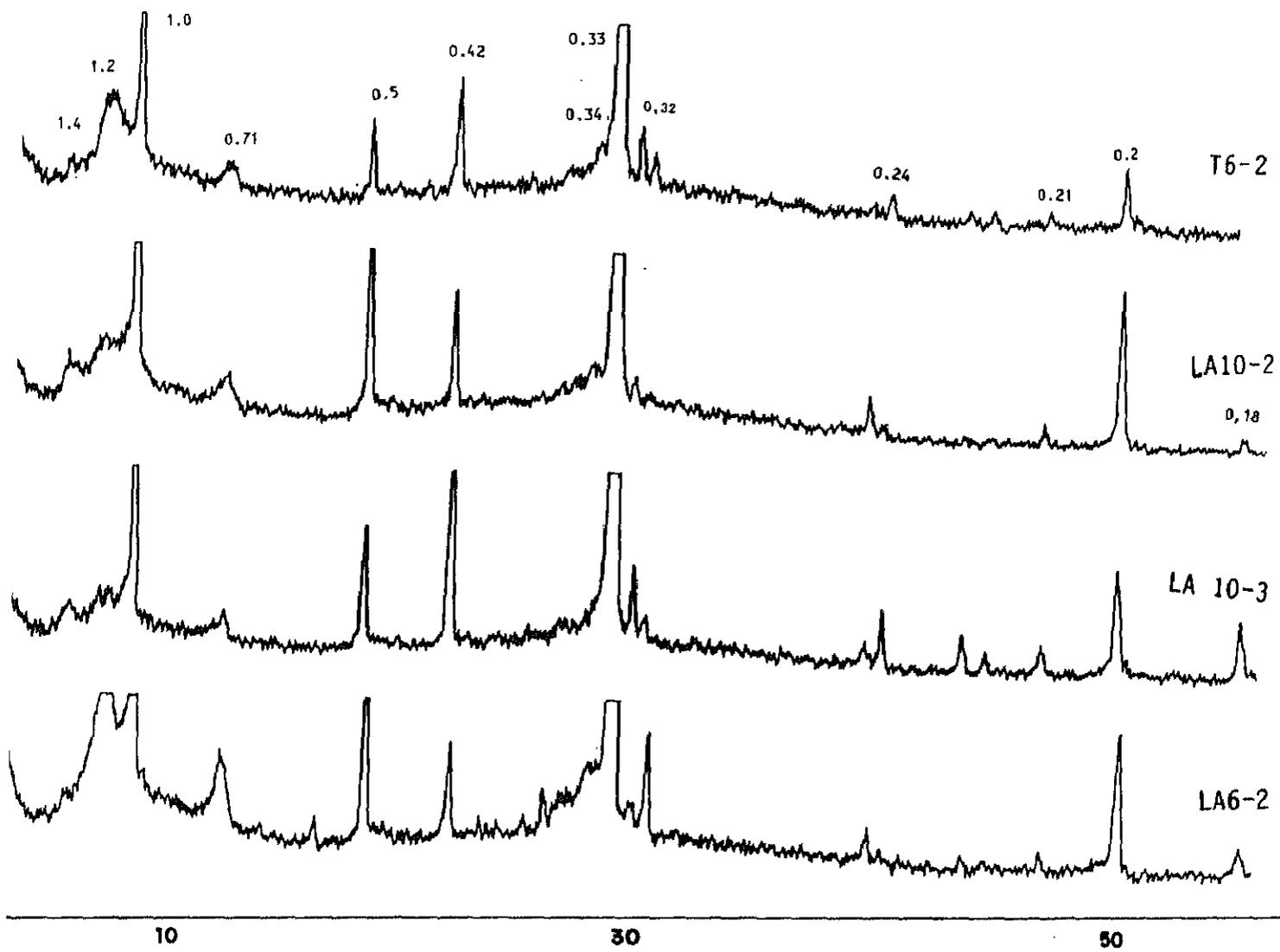


Fig. S 14. Horizontes profundos

SERIE II. ARCILLA

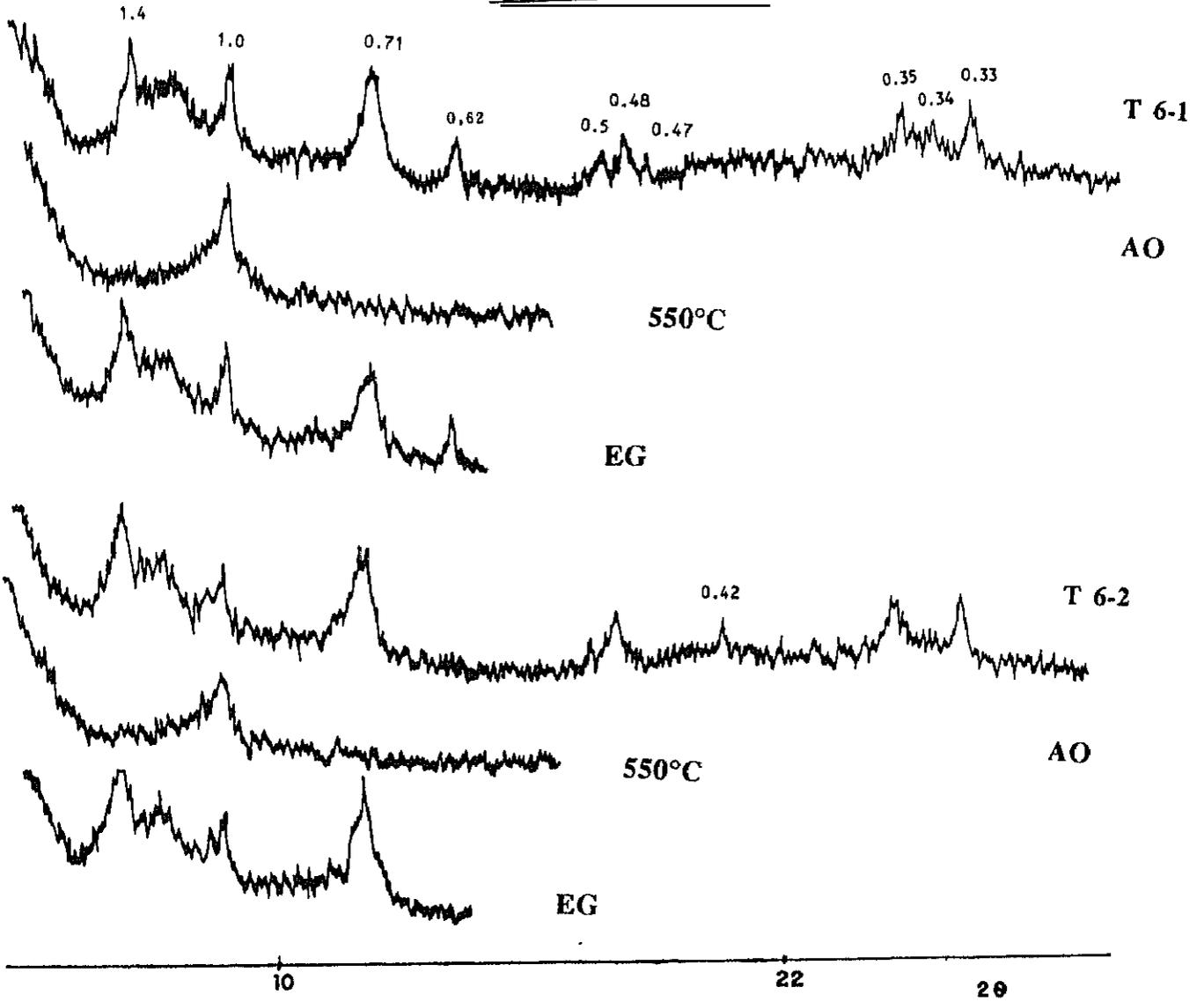


Fig. S 15. Perfil T 6

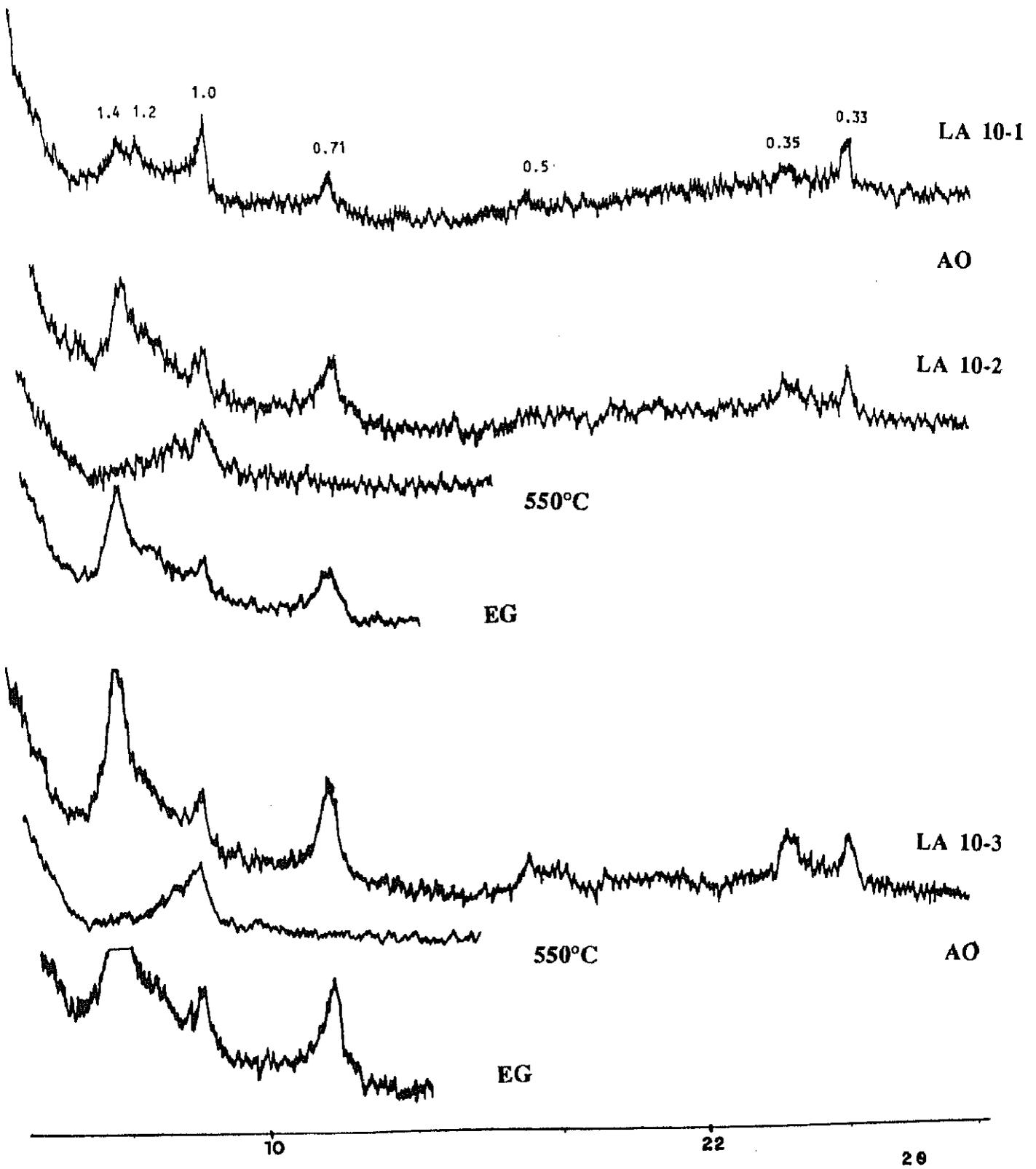


Fig. S 16. Perfil LA 10

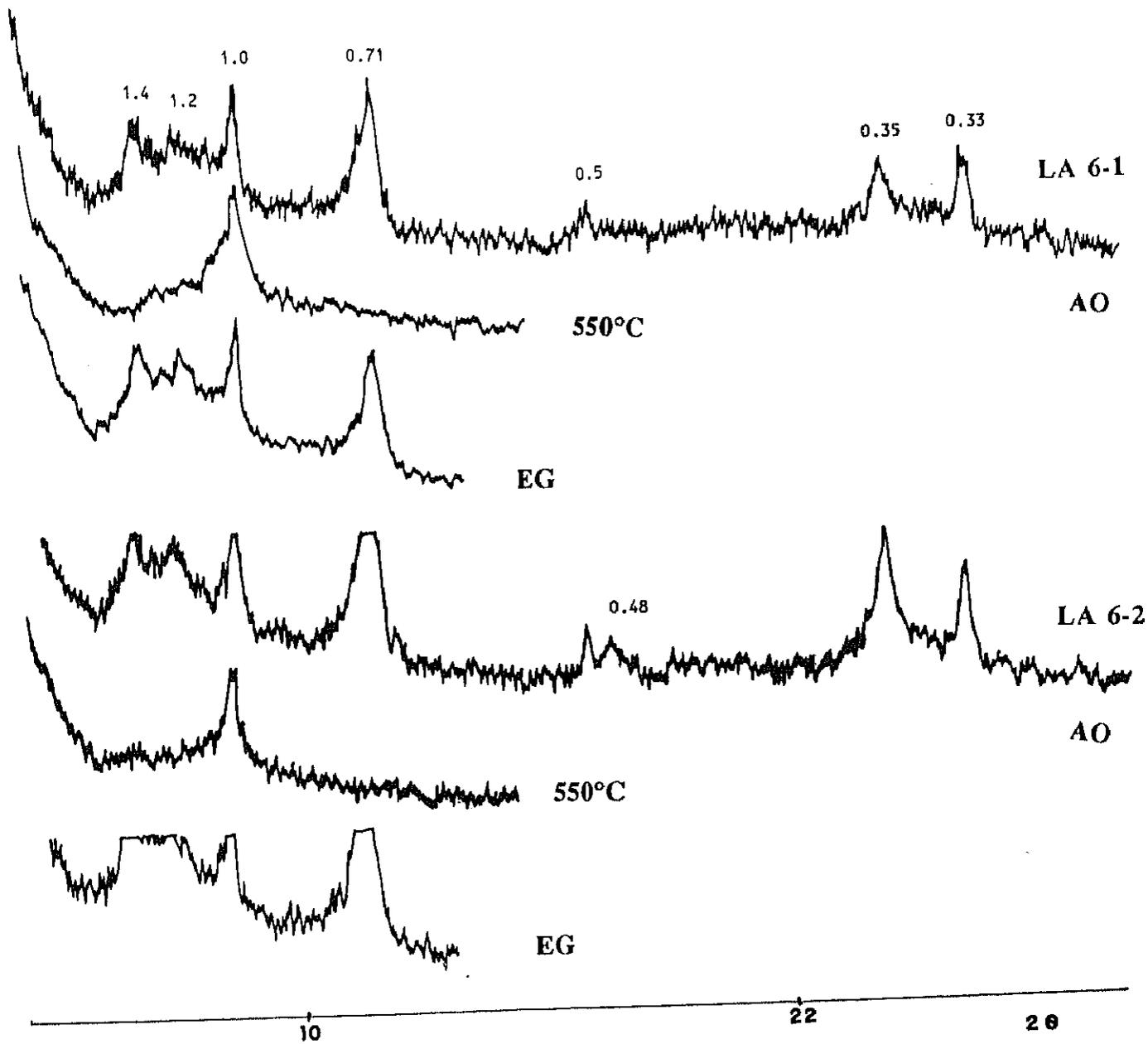


Fig. S 17. Perfil LA 6

5.3 SERIE 3

Se encuentra constituida por cuatro perfiles, situados a igual altitud (650 m), separados entre sí 200 a 400 m y todos ellos con pendientes acusadas del 25-30%; tres de estos perfiles sufrieron el impacto del fuego, tienen una orientación N y NE, siendo el orden según la distancia al testigo: LA7<LA8<LA12. El otro suelo está sin impactar y lo tomamos como testigo T 8 (Cambisol húmico) con orientación NE. Esta Serie se encuentra situada por debajo de la Serie 1 y entre ambas existe un camino forestal.

Tras el impacto del fuego tienen lugar modificaciones en la estructura de los ecosistemas edáficos. Las características morfológicas de los suelos, vienen dadas en la Tabla 3, en la que se observa que los perfiles afectados presentan un value en seco y húmedo inferior respecto al testigo, siendo esta diferencia más acusada en superficie por la acumulación de carbón. La estructura en superficie es en bloques subangulares en el perfil testigo (T8) y en el impactado LA8, mientras que en los perfiles LA7 y LA12 es granular; en profundidad pasa a bloques subangulares en todos los perfiles salvo en LA7 que es granular fina. En cuanto a la consistencia presenta ligeros cambios en el horizonte superficial de estos suelos, todos ellos son ligeramente adherentes y no plásticos en mojado, en húmedo el testigo es suelto sin coherencia y los impactados son muy friables; en seco hay algunas variaciones, así el testigo y LA12 son blandos, mientras que LA7 es ligeramente duro y LA8 es duro; al profundizar apenas se observan cambios en la consistencia.

La textura es generalmente franco-arenosa, que indica su similar composición granulométrica, lo que da idea de la homogeneidad del material, puesto que todos ellos se desarrollaron sobre esquistos y cuarcitas. Existe un incremento relativo de las fracciones finas (limo y arcilla), fundamentalmente arcilla, en los suelos afectados por el incendio, indicando que no ha existido erosión (Fig. 19). La escasez de erosión pudo ser condicionada a la ausencia de lluvias torrenciales desde que tuvo lugar el incendio hasta la toma de muestras y a que no se han destruido los agregados.

Son suelos ácidos (consecuencia del material original), existiendo un incremento del pH (Fig. 20) en los impactados, con relación al testigo, siendo más acusado en superficie, como resultado del aporte de bases.

Los porcentajes de carbono (Fig. 21) son menores en el horizonte superficial de los suelos afectados respecto al testigo, ésto se puede atribuir en parte a que existe en este una gran acumulación de restos vegetales y al posible aporte de carbón y en parte al impacto del incendio. El nitrógeno (Fig. 22) se mantiene constante en horizontes superficiales, disminuyendo ligeramente en el suelo aparentemente más afectado por el fuego (LA 12). Las razones C/N (Figura 23) disminuyen en todos los suelos en relación al testigo, como consecuencia de lo anteriormente expuesto.

Cuando se estudia el complejo de cambio, vemos que la

capacidad total de cambio (Fig. 24) disminuye en el horizonte superficial de los suelos postincendio, con una tendencia a aumentar en los horizontes subsuperficiales respecto al testigo. Estos suelos no están saturados a consecuencia del material ácido del cual proceden, aumentando el grado de saturación en superficie de los perfiles impactados respecto al testigo. La suma de bases es mayor después del incendio, así cuando estudiamos los cationes de cambio (Fig. 25) vemos que en el horizonte superficial aumentan los cationes divalentes (fundamentalmente  $\text{Ca}^{2+}$ ); respecto a los monovalentes, el  $\text{K}^+$  varía irregularmente (aumentando en LA8 y LA12) y el  $\text{Na}^+$  disminuye en todos los perfiles afectados respecto al testigo puesto que es el más soluble.

Analizando el efecto del incendio en el contenido de hierro del suelo (Fig. 26), encontramos que el hierro libre incrementa ligeramente en la superficie de los perfiles impactados respecto al testigo, variando irregularmente en los horizontes subsuperficiales; el hierro total disminuye en los impactados respecto al testigo a lo largo de todo el perfil. La relación hierro libre a hierro total (Fig. 27) aumenta, como en las series anteriores, en los suelos impactados, tanto en superficie como en profundidad, mostrando que existe alteración mineralógica que podría deberse a las condiciones creadas en el suelo durante el incendio de la vegetación.

El estudio de los difractogramas de la fracción arena gruesa de los horizontes superficiales de perfiles testigo T8 e impactados: LA7, LA8 y LA12, nos muestra (Figura S-18) que existe clorita, con reflexión poco intensa, asimétrica y no aguda a 1,4 nm, que no cambia con etilen glicol y se intensifica al calentar a 550°C, las reflexiones a 0,71 nm y 0,35 nm, también asimétricas y no agudas, desaparecen al calentar, pudiendo existir además de clorita, minerales 1:1; micas-ilitas con una reflexión , muy intensa a 1,0 nm e interestratificados mica-clorita por la banda de 1,4 nm a 1,0 nm que no desaparece al calentar a 550°C. Además y como minerales no laminares hay cuarzo, feldespatos y posiblemente óxidos de hierro. Comparando todos los horizontes superficiales de los distintos perfiles de esta serie (testigos e impactados), se puede deducir que la composición mineralógica es similar, no poniéndose de manifiesto la acción del incendio.

En la Figura S-19, aparecen los difractogramas en agregados orientados, etilen glicol y calentados a 550°C, de la arena fina, de los perfiles testigo (T 8) e impactado (LA 8), poniéndose de manifiesto su similitud mineralógica con la arena gruesa, es decir, existen los siguientes minerales: clorita, micas-ilitas, minerales 1:1, interestratificados-mica-vermiculita y como minerales no laminares: cuarzo, feldespatos, así como óxidos de hierro. Cuando se comparan los horizontes superficiales de los perfiles pertenecientes a esta serie (Figura S-20) cabe resaltar la semejante constitución mineralógica. La reflexión perteneciente a minerales 1:1

disminuye de intensidad en LA 12-1, lo que podría ser debido al impacto.

Se estudia la composición mineralógica de la fracción arcilla del suelo testigo y de los suelos afectados, describiéndose a continuación los resultados obtenidos:.

Perfil T8.- El perfil testigo (Fig. S-21) se encuentra constituido en superficie por minerales 1:1 con una reflexión neta y abierta a ángulos menores, micas-ilitas, cloritas e interestratificados mica-vermiculitas y mica-clorita; existencia de feldespatos y presencia de cuarzo como mineral no laminar, también aparece una reflexión a 0,62 nm de óxidos de hierro probablemente lepidocrocita.

Al calentar a 550°C se intensifica ligeramente la reflexión a 1,0 nm de micas-ilitas y permanece la reflexión a 1,4 nm de cloritas aunque débil, disminuyendo la intensidad de la banda de 1,4 a 1,0 nm. Con etilen glicol no se producen cambios en el difractograma que indiquen la existencia de minerales hinchables, manteniéndose semejante al de agregados orientados.

Al profundizar se mantiene la misma composición mineralógica del horizonte superior, observándose reflexiones algo más netas para clorita e interestratificados.

Presencia de una reflexión a 0,48 nm poco neta y débil en los horizontes superficial y subsuperficial, que posiblemente es de gibbsita.

Perfil LA7.- Los constituyentes minerales del horizonte superficial (Fig. S-22) aparecen muy alterados, poniéndose de manifiesto la presencia de minerales 1:1 con una reflexión muy poco neta y débil, presencia de micas-ilitas con una reflexión de pequeña intensidad y abierta a ángulos menores, trazas de cloritas y posiblemente de interestratificados micas-vermiculitas y mica-clorita.

Con el calentamiento a 550°C se intensifica bastante la reflexión a 1,0 nm de micas-ilitas y permanece la de cloritas a 1,4 nm. Con etilen glicol no se producen variaciones en el difractograma respecto al de agregados orientados, no apareciendo minerales hinchables.

En el horizonte subyacente se mantienen las características mineralógicas del horizonte superior siendo los diagramas muy similares, mientras que en el más profundo los picos aparecen más netos e intensos; como minerales no laminares: óxidos de hierro: lepidocrocita.

Perfil LA8.- Las reflexiones de los diagramas del horizonte superficial (Fig. S-23) son poco netas e intensas, como minerales constitutivos se observan: minerales 1:1, micas-ilitas con reflexión pequeña y abierta a ángulos menores, trazas de cloritas y de interestratificados mica-vermiculita y mica-clorita dioctaédrica.

Al profundizar se mantiene la misma composición mineralógica que en el horizonte superior, pero con reflexiones mucho más intensas, fundamentalmente la correspondiente a micas-ilitas. Se insinúa una reflexión a 0,48 nm que permanece

con etilen glicol y desaparece al calentar, probablemente debida a gibbsita. En el horizonte más profundo aparece un pico a 0,62 nm de óxidos de hierro (probablemente debido a lepidocrocita). Las modificaciones observadas en el horizonte superficial respecto a los profundos son: disminución de la cristalinidad de caolinita, desaparición de la gibbsita y disminución de la banda de 1,0 a 1,4 nm, que podrían ser debidas al impacto del fuego sobre el suelo.

Perfil LA12.- La fracción arcilla de este perfil (Fig. S-24) está constituida en superficie por minerales 1:1 (caolinita) con reflexión asimétrica y abierta a ángulos menores, micas-ilitas con un reflexión muy intensa y abierta a ángulos menores, trazas de cloritas y disminución de la banda de interestratificados.

Con el calentamiento a 550°C se intensifican las reflexiones de micas-ilitas y se hace más neta la de cloritas. Con etilen glicol no varía el difractograma respecto al de agregados orientados.

Al profundizar en el perfil se observa la semejanza en la composición mineralógica con el horizonte superficial, apareciendo los minerales menos alterados y observándose con más nitidez las reflexiones a 1,4 nm, a 0,71 nm y la banda de 1,4 a 1,0 nm; a 0,48 nm se insinúa una reflexión en los horizontes inferiores, que probablemente es debida a gibbsita, y en el horizonte más profundo aparece una reflexión a 0,62 nm probablemente debida a lepidocrocita.

Comparando los diagramas del horizonte superficial con los profundos, se observa una disminución de la banda de 1,0 a 1,4 nm, de la reflexión a 0,71 nm y desaparición del pico a 0,48 nm (gibbsita), lo que podría ser debido posiblemente a un mayor impacto del fuego sobre el horizonte superficial.

Con el propósito de estimar la posible temperatura alcanzada por el incendio, se observan las modificaciones experimentadas por los minerales que constituyen la fracción arcilla, tras someter a calentamiento sucesivo (200-300-400°C) dicha fracción procedente del horizonte más profundo del perfil LA 12 y observar los cambios ocurridos en los constituyentes minerales. Tras el estudio de los diagramas de difracción de Rayos X (Figura C-1), se aprecia que a medida que el calor aumenta, va disminuyendo la banda de 1,4-1,0 nm, así como la reflexión de 1,4 nm, con incremento de la reflexión a 1,0 nm cuando se alcanzan los 550°C; existe una sucesiva modificación de la reflexión a 0,71 nm hasta su desaparición a 550°C. Por todo ello se estima que la temperatura alcanzada por el horizonte superior como consecuencia del incendio, ha sido según se deduce del difractograma, posiblemente superior a 400°C.

TABLA 3: CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS

Perfil	Hor <sup>1</sup>	Prof.	Color Humedo	Color Seco	Textura	Estructura	Consistencia <sup>2</sup>	Carbón y otros <sup>3</sup>
T 8	Ah <sub>1</sub>	0-4	10YR3/2	10YR4/2	Ar-Fr	bloques s.a.	1,0,0,1	+, ácaros, lombrices, hifas
	Ah <sub>2</sub>	4-20	10YR4/4	10YR5/3	Fr-Ar	bloques s.a.	1,1,1,2	+, lombrices
	AB	20-40	10YR3/4	10YR5/4	Fr-Ar	bloques s.a.	1,1,2,2	+
LA 7	Ah <sub>1(b)</sub>	0-4	10YR2/1	10YR3/2	Fr-Ar	granular	1,0,1,2	+
	Ah <sub>2(b)</sub>	4-20	10YR2/2	10YR5/4	Fr-Ar	gr. fina	1,1,2,2	+
	AB <sub>b</sub>	20-40	10YR3/4	10YR5/8	Fr-Ar	gr. m. fina	2,2,1,2	
LA 8	Ah <sub>1(b)</sub>	0-3	10YR2/1	10YR3/1	Fr-Ar	bloques s.a.	1,0,1,3	+
	Ah <sub>2(b)</sub>	3-20	10YR2/2	10YR5/4	Fr-Ar	bloques s.a.	1,1,1,3	+, restos fieltro
	AB <sub>b</sub>	20-40	10YR4/6	10YR5/8	Fr-Ar	bloques s.a.	1,1,2,3	+
LA 12	Ah <sub>1(b)</sub>	0-3	10YR2/1	10YR3/1	Fr-Ar	granular	1,0,1,1	+
	Ah <sub>2(b)</sub>	3-20	10YR2/2	10YR5/4	Fr-Ar	bloques s.a.	1,1,1,2	+
	AB <sub>b</sub>	20-40	10YR3/4	10YR5/8	Fr-Ar	bloques s.a.	1,0,1,2	+

<sup>1</sup> b Horizonte impactado

<sup>2</sup> 1 Ligeramente adherente      Consistencia en mojado  
2 Adherente

0 No plástico                      Plasticidad  
1 Ligeramente plástico  
2 Plástico

0 Suelto                              Consistencia en húmedo  
1 Muy friable  
2 Friable

1 Blando                              Consistencia en seco  
2 Ligeramente duro  
3 Duro

<sup>3</sup> + poco carbón

# ANALISIS GRANULOMETRICO

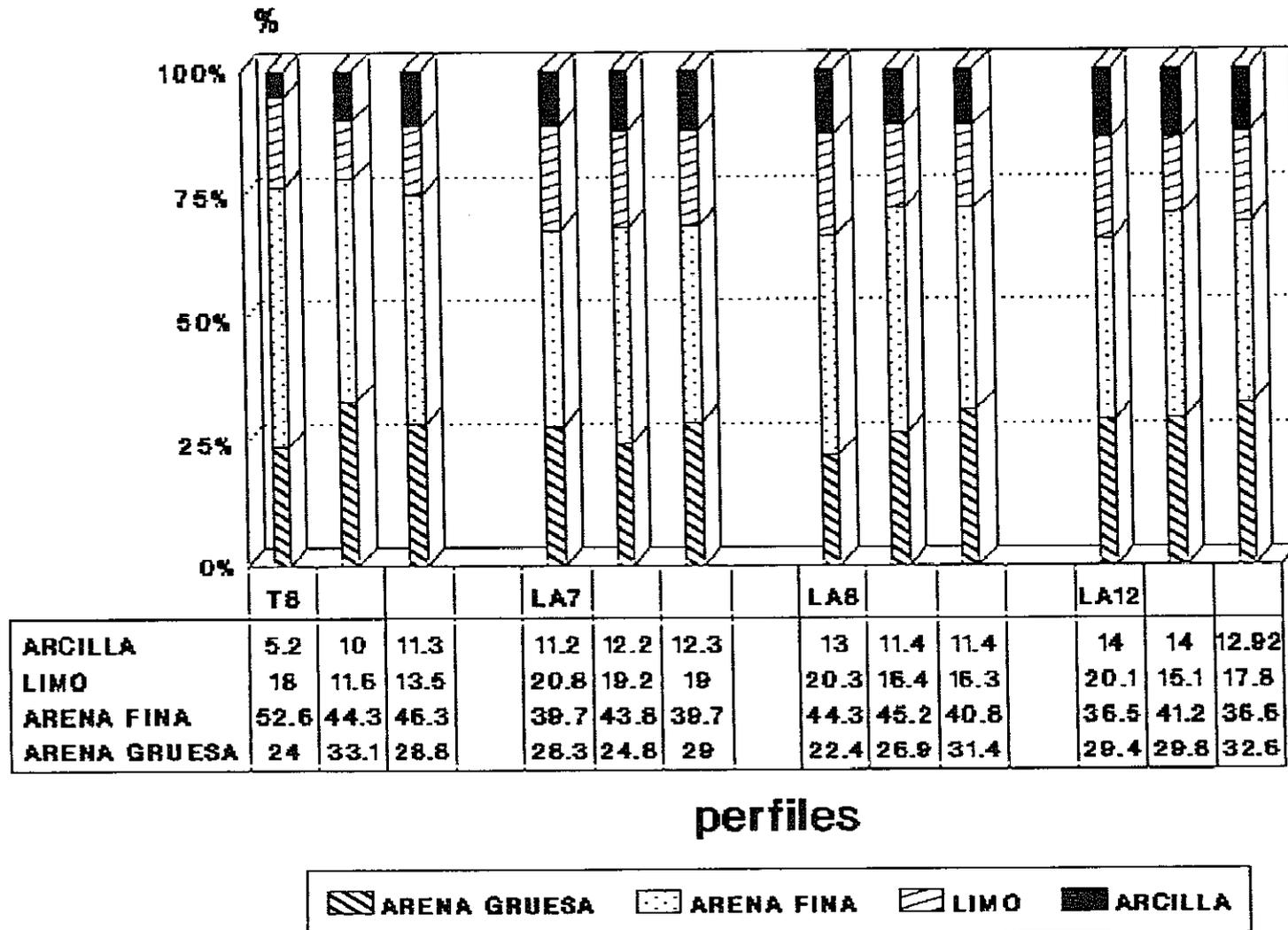


Fig 19. Porcentajes de arenas, limo y arcilla en los distintos horizontes.

# VALORES DE pH

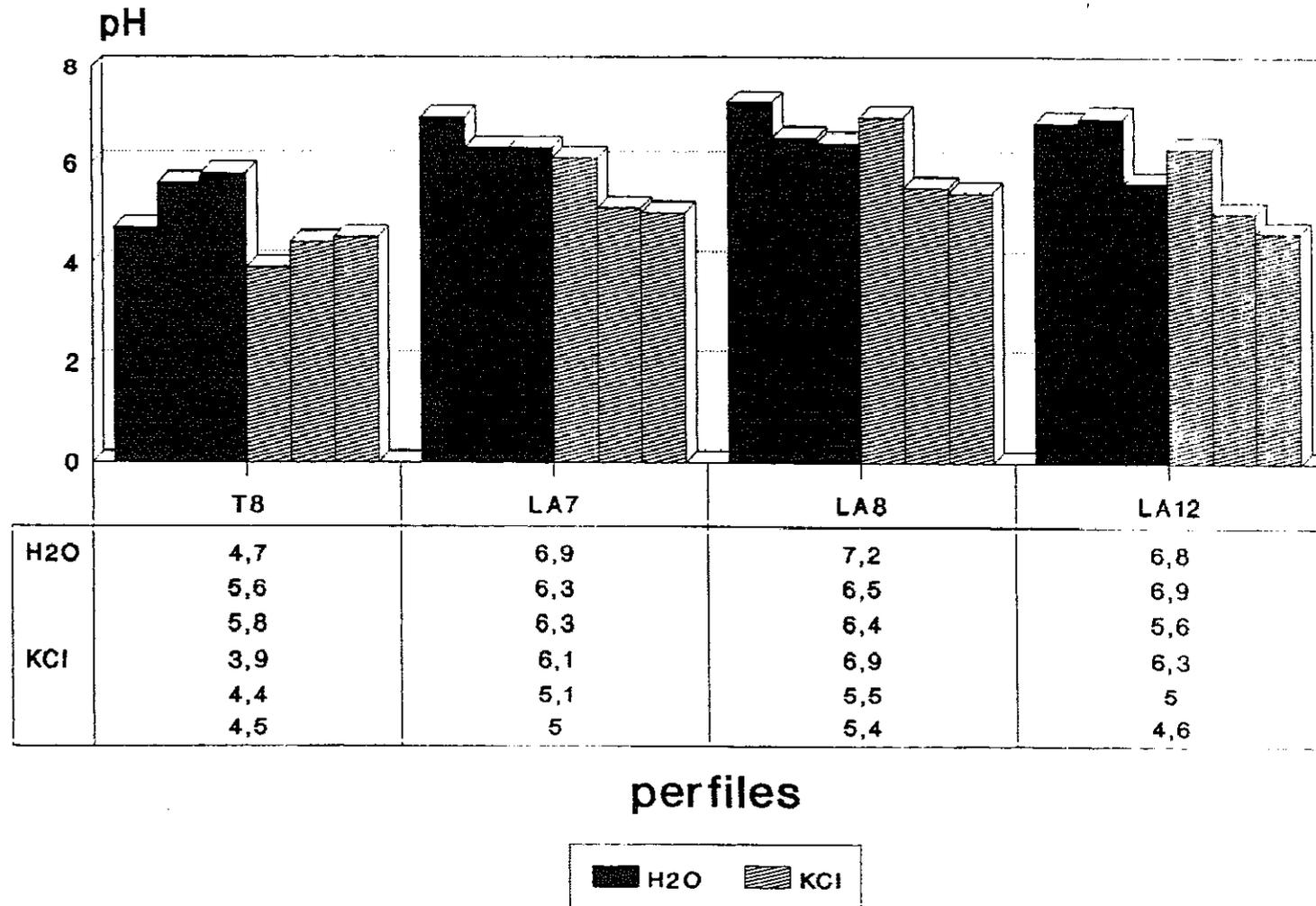
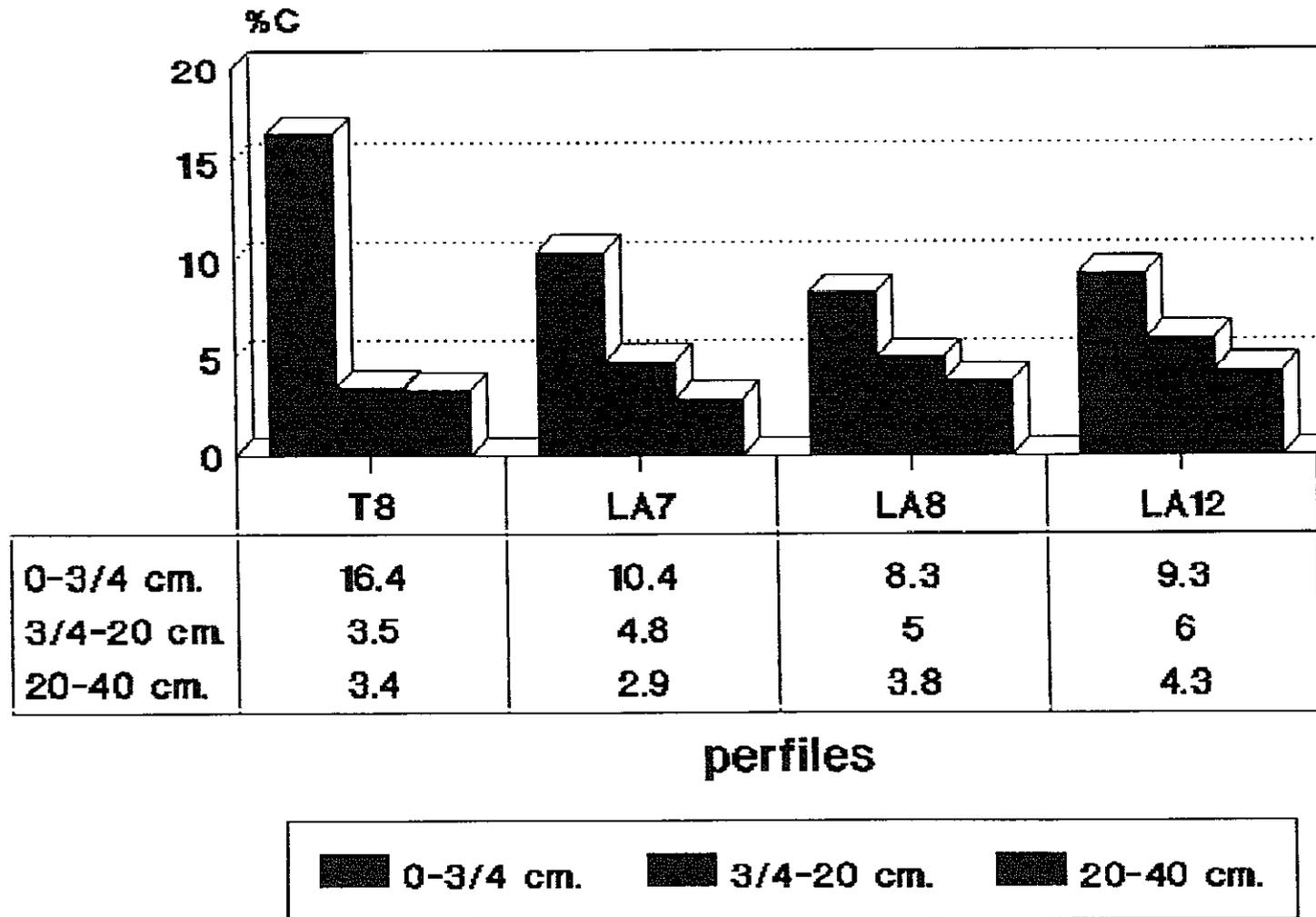


Fig 20. Valores de pH en H<sub>2</sub>O y KCl en los distintos horizontes.

# CARBONO



**Fig 21.** Porcentajes de carbono en los horizontes.

# NITROGENO

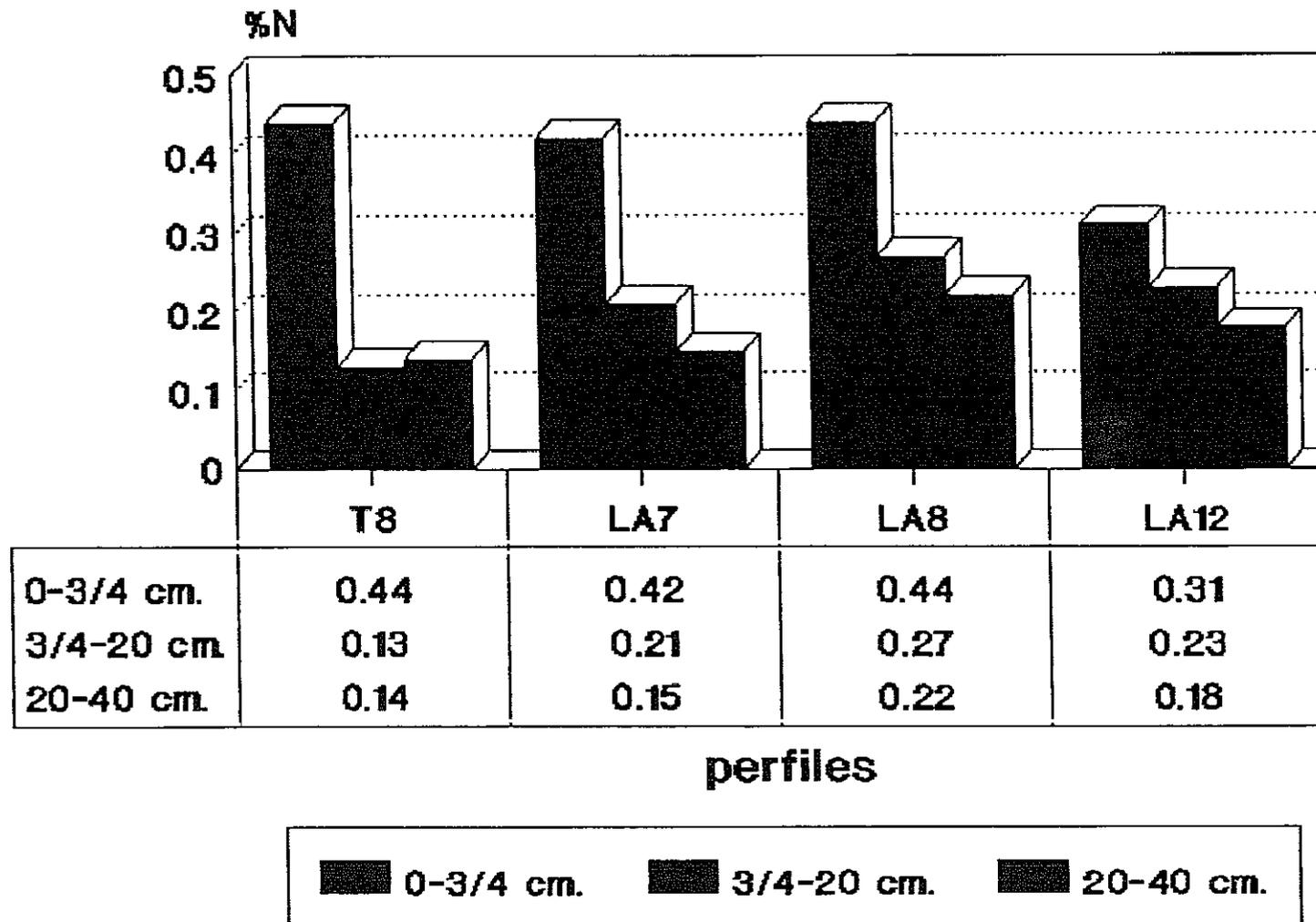
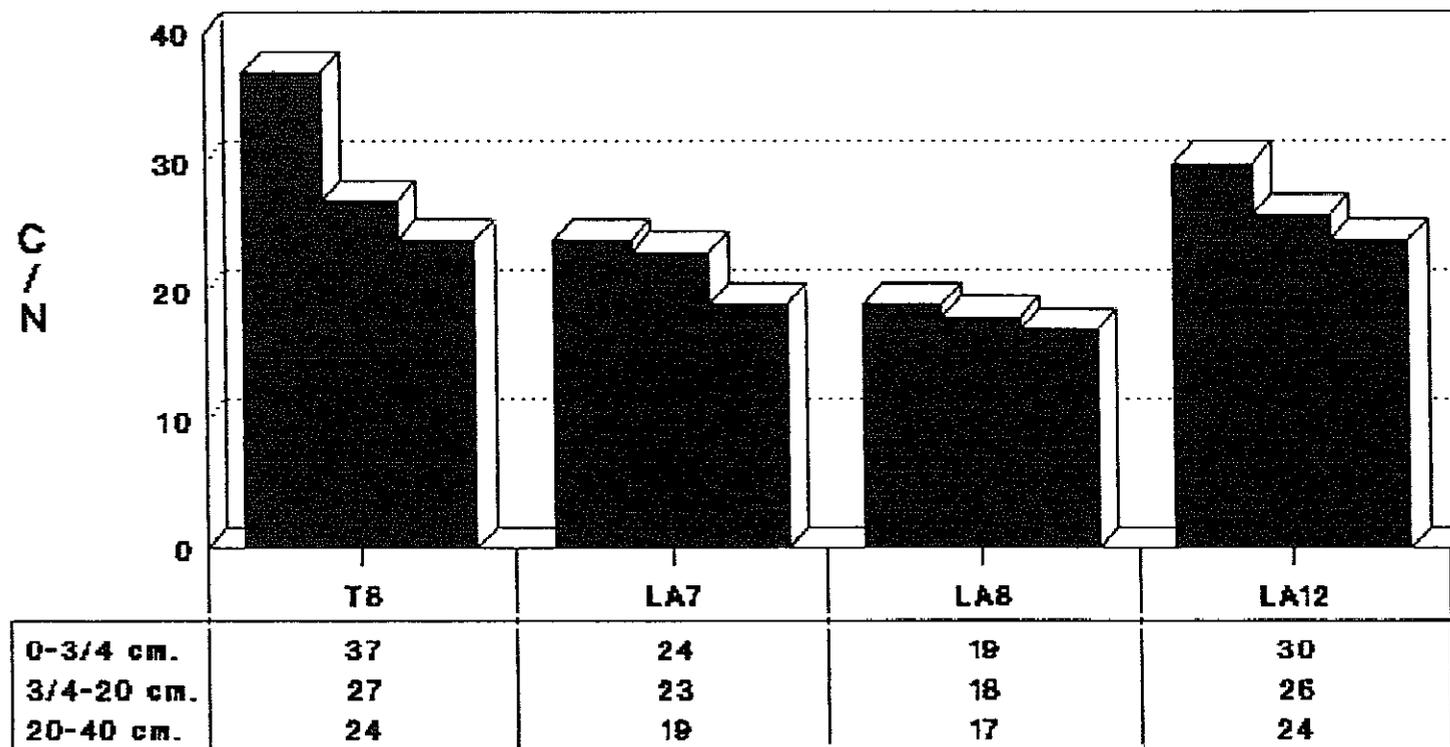
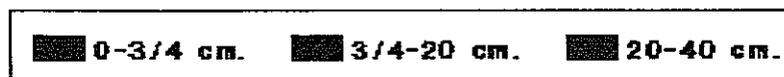


Fig 22. Nitrógeno en los horizontes de los suelos.

# C/N



perfiles



**Fig 23. Relaciones carbono a nitrógeno en los distintos horizontes de los suelos**

# CAPACIDAD DE CAMBIO Y GRADO DE SATURACION

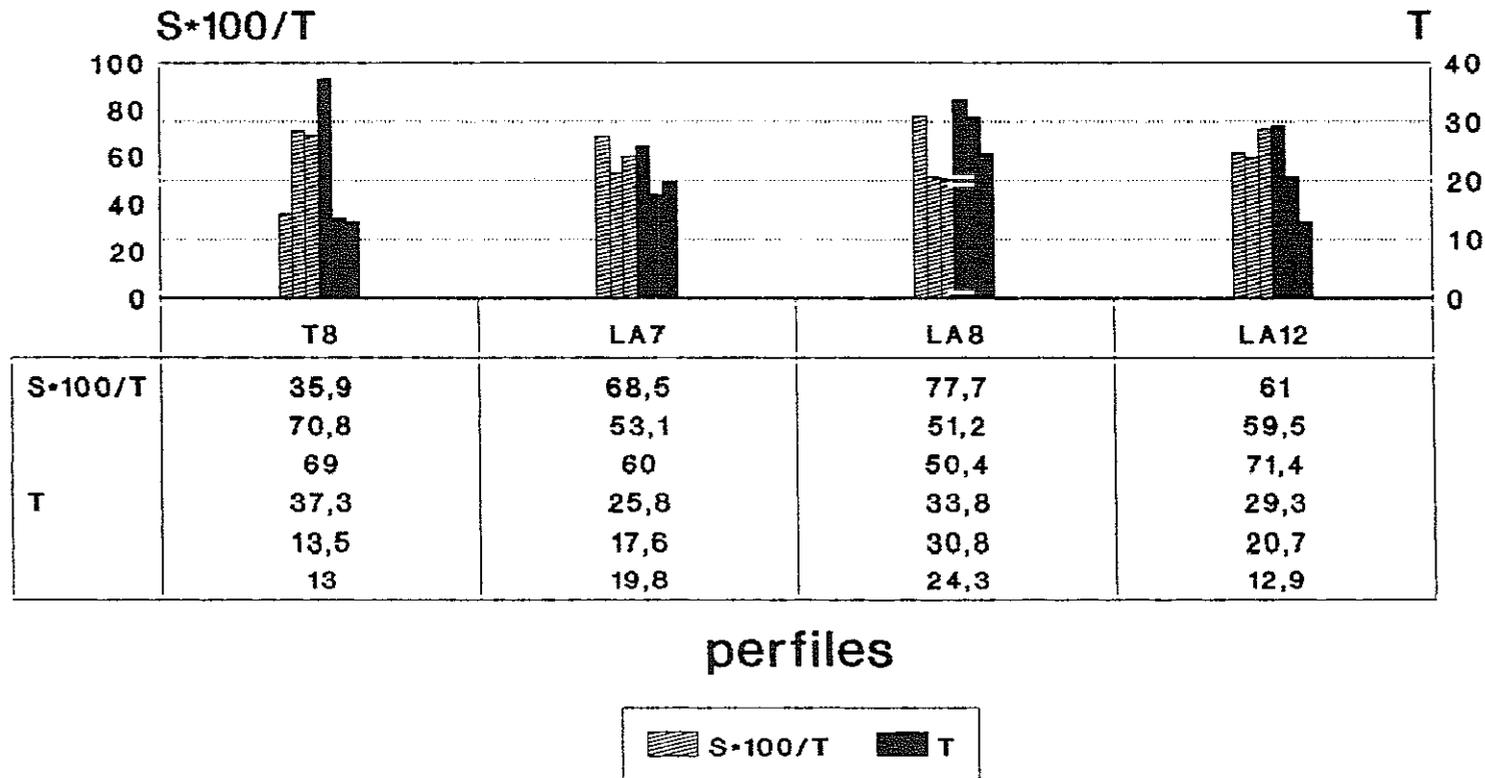


Fig 24. Capacidad total de cambio y grado de saturación en los distintos horizontes.

# CATIONES DE CAMBIO

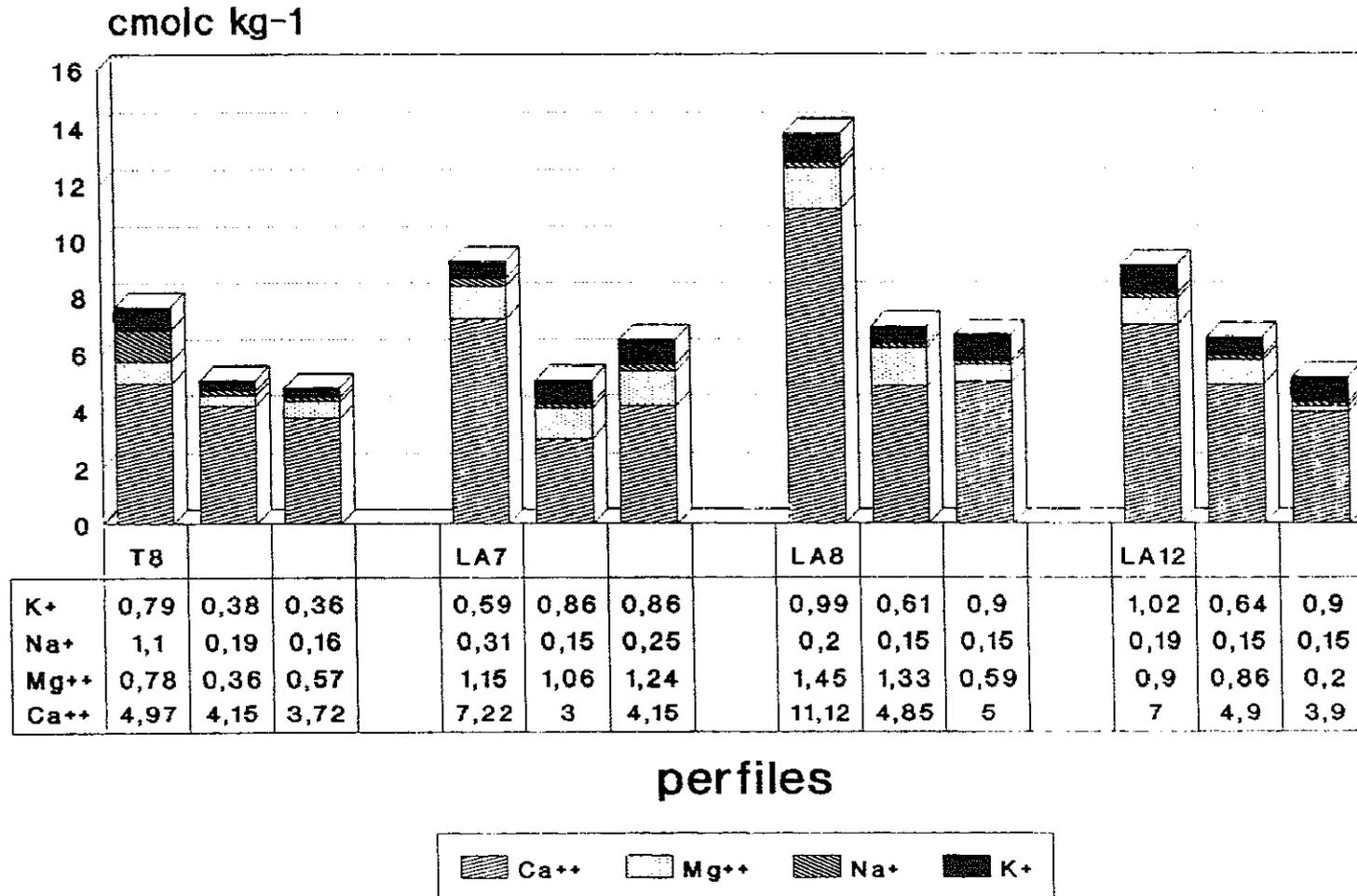
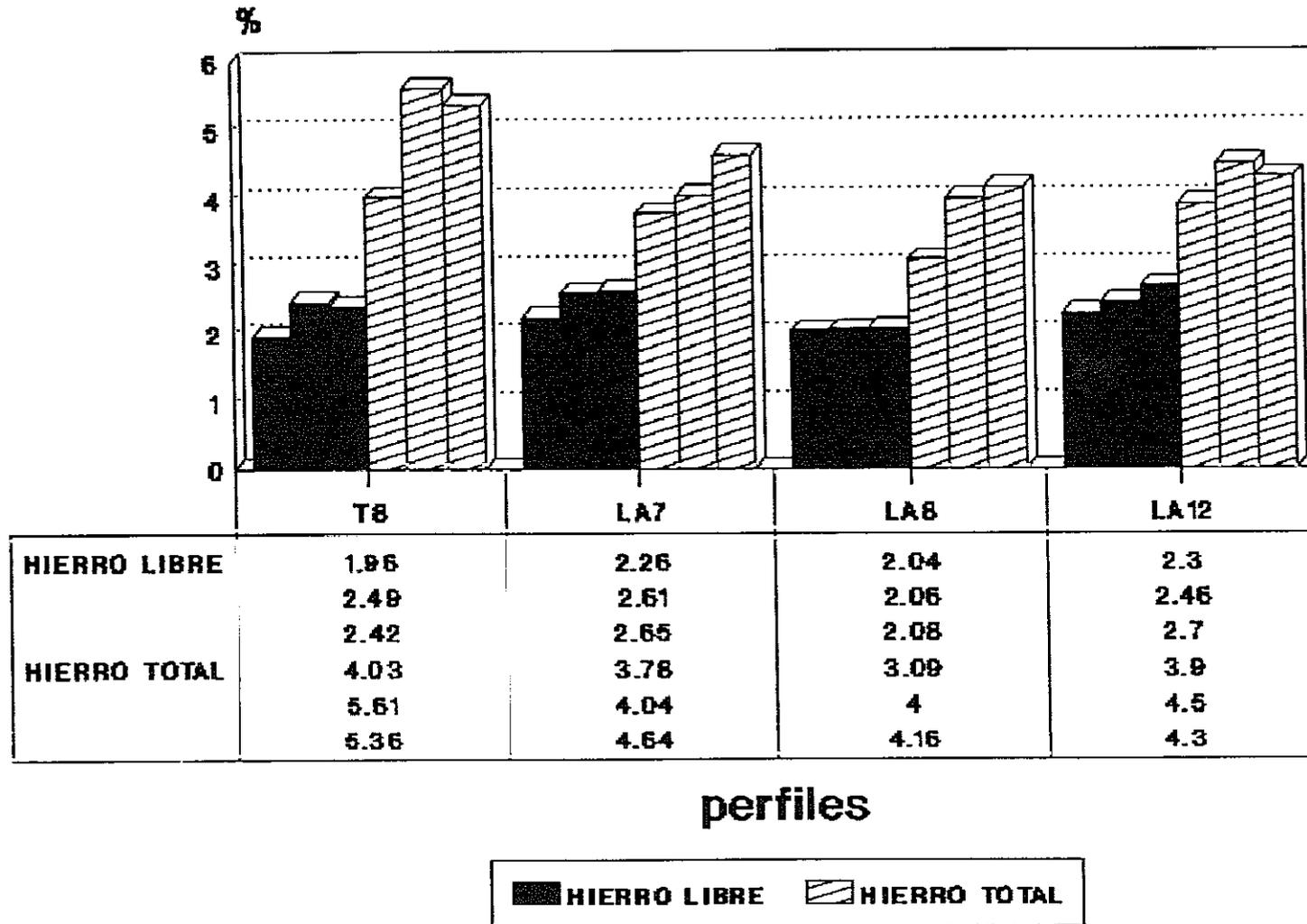


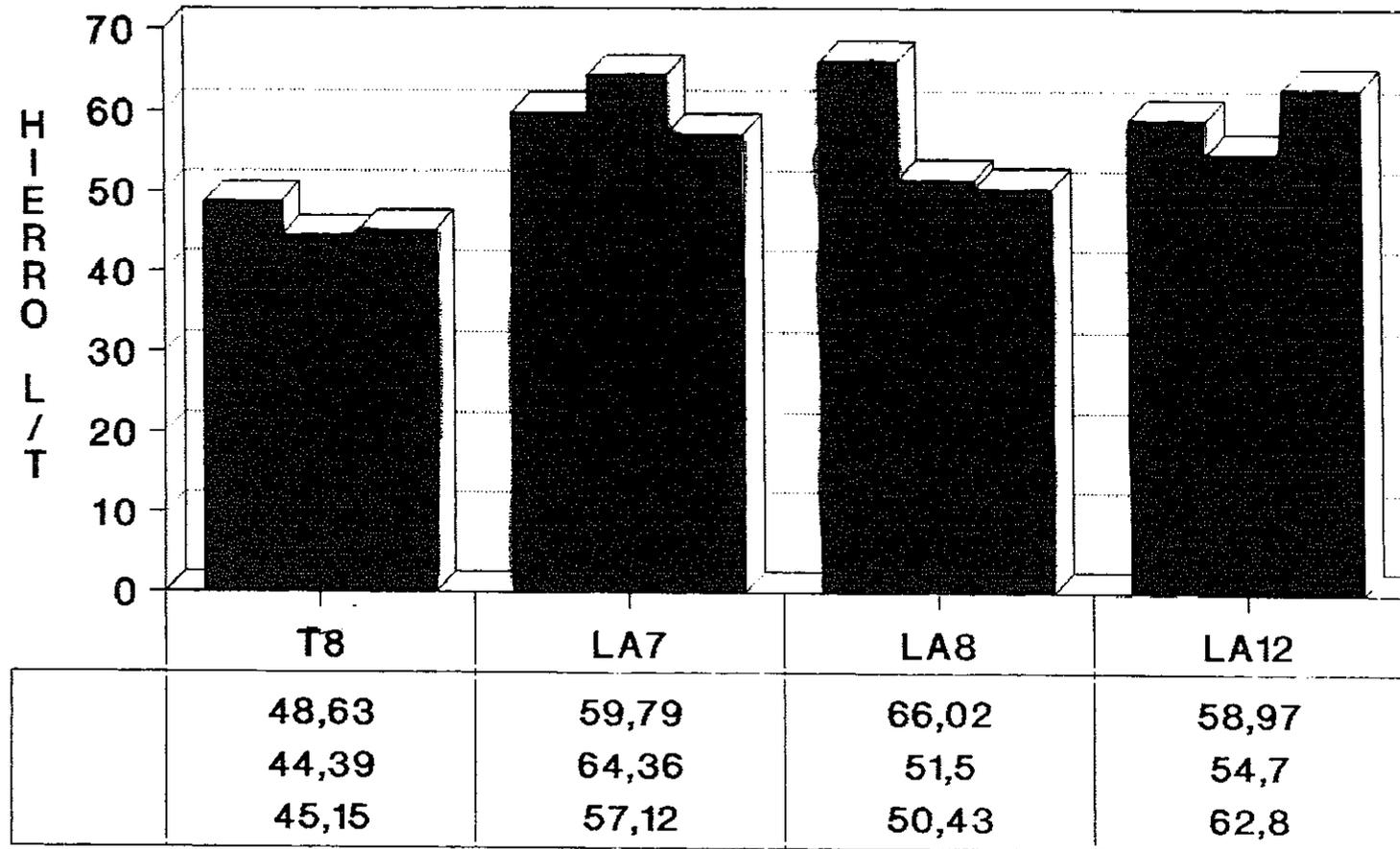
Fig 25. Cationes de cambio del complejo adsorbente en los distintos horizontes de los perfiles.

# HIERRO



**Fig 26. Hierro libre y hierro total en los horizontes.**

# HIERRO LIBRE/HIERRO TOTAL



perfiles

Fig 27.Relaciones hierro libre a hierro total en los distintos horizontes.

SERIE III. ARENA GRUESA

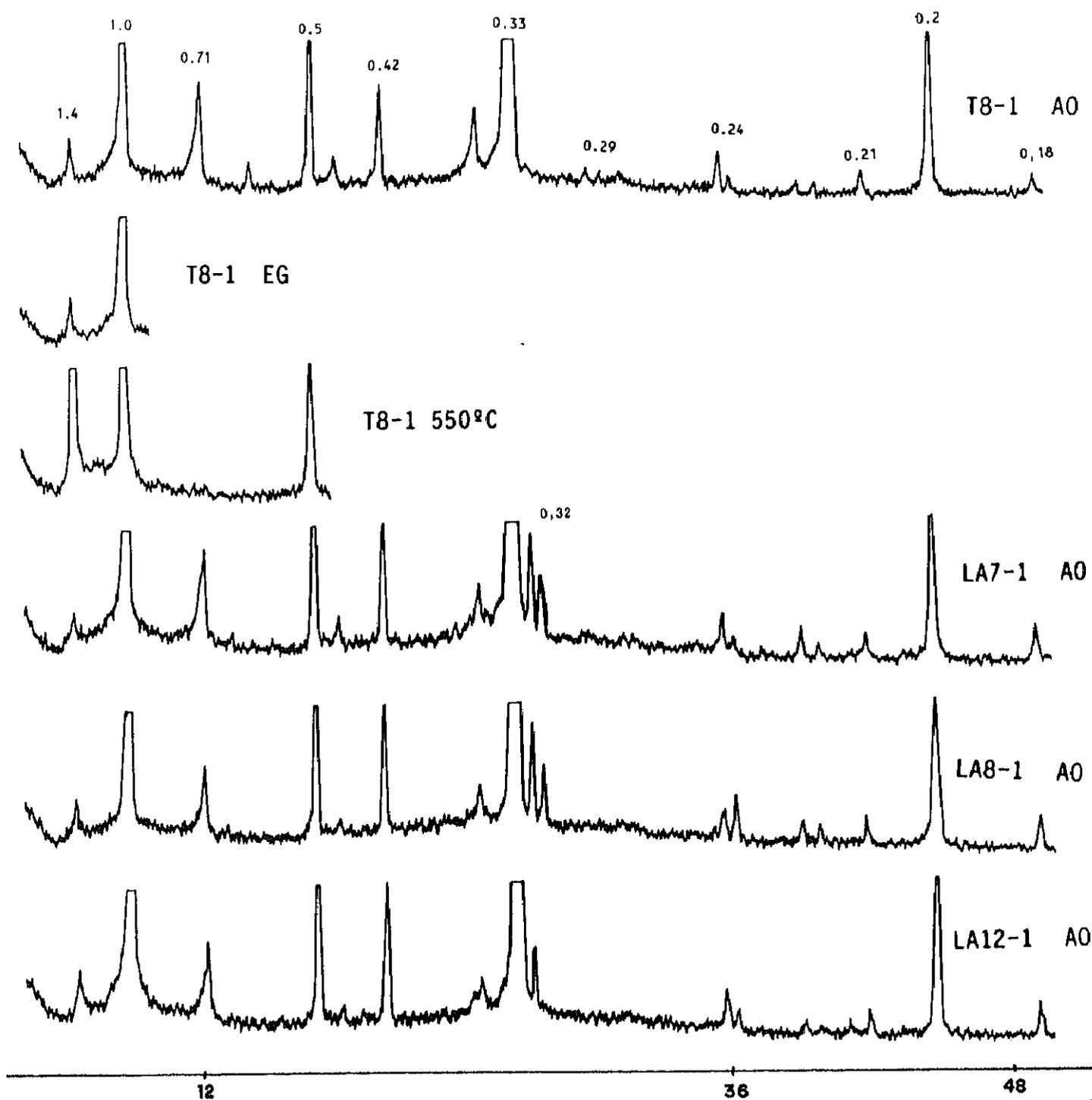


Fig. S 18. Horizontes superficiales

SERIE III. ARENA FINA

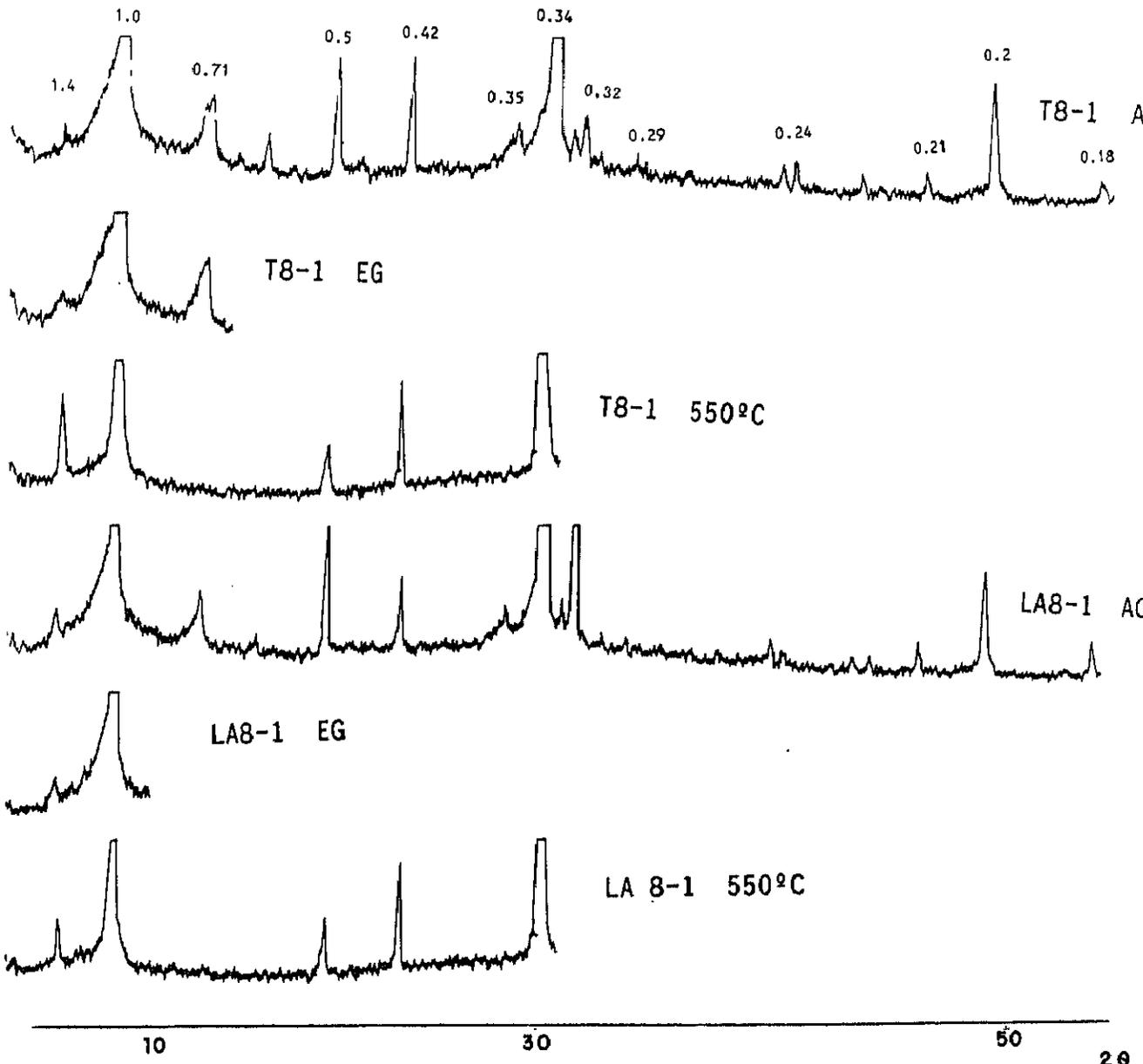


Fig. S 19 Horizontes superficiales

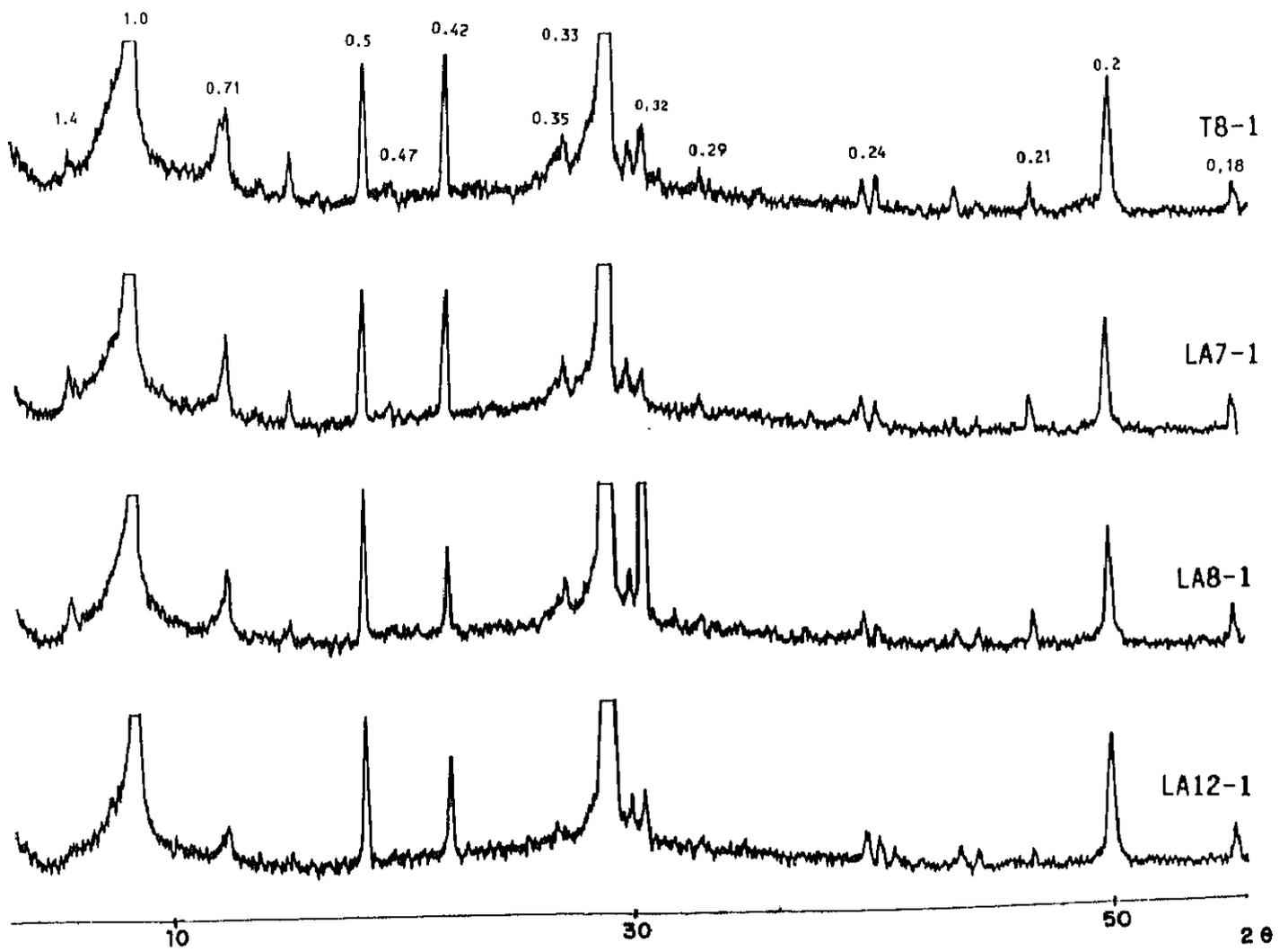


Fig. S 20. Horizontes superficiales en agregados orientados

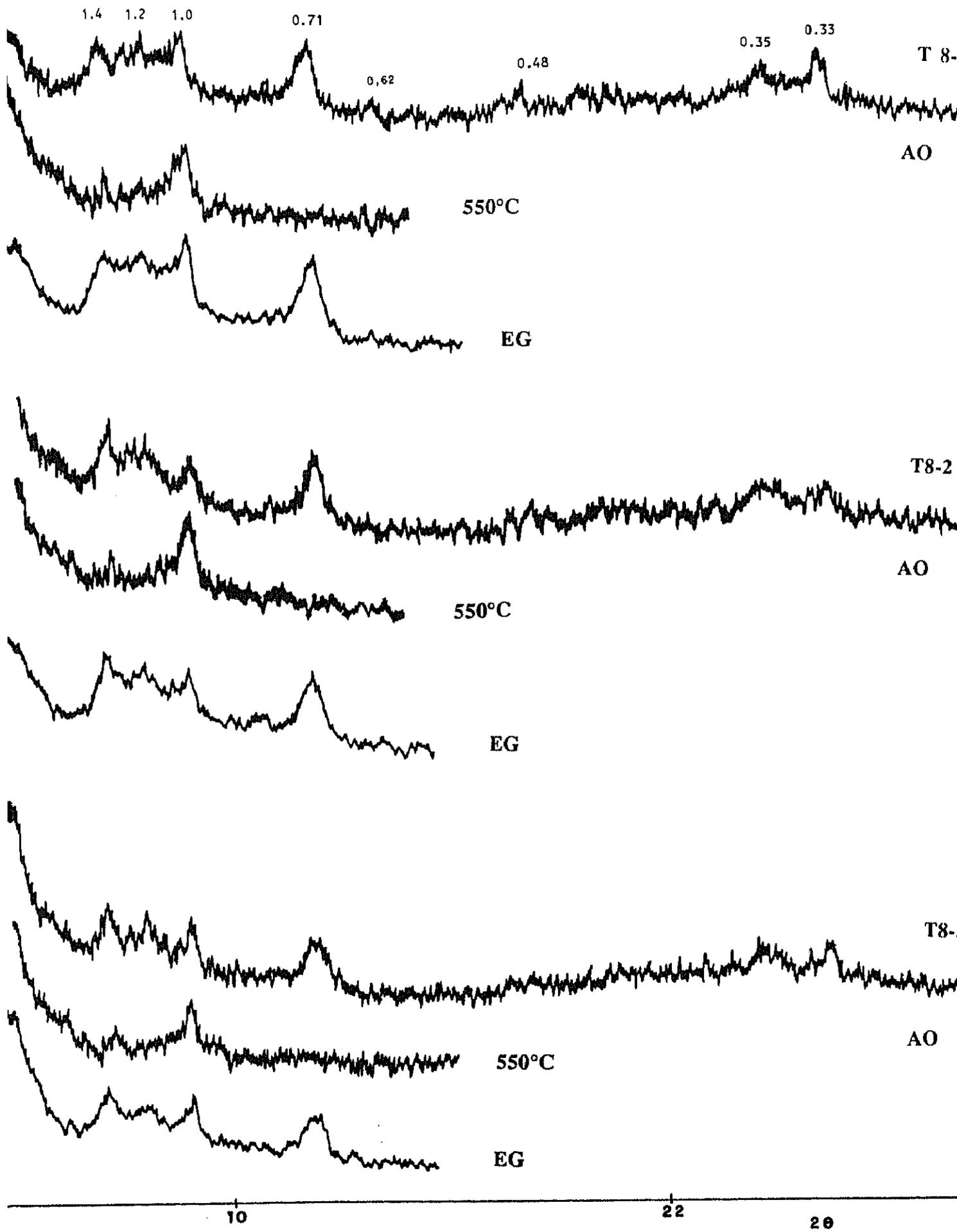


Fig. S 21. Perfil T 8

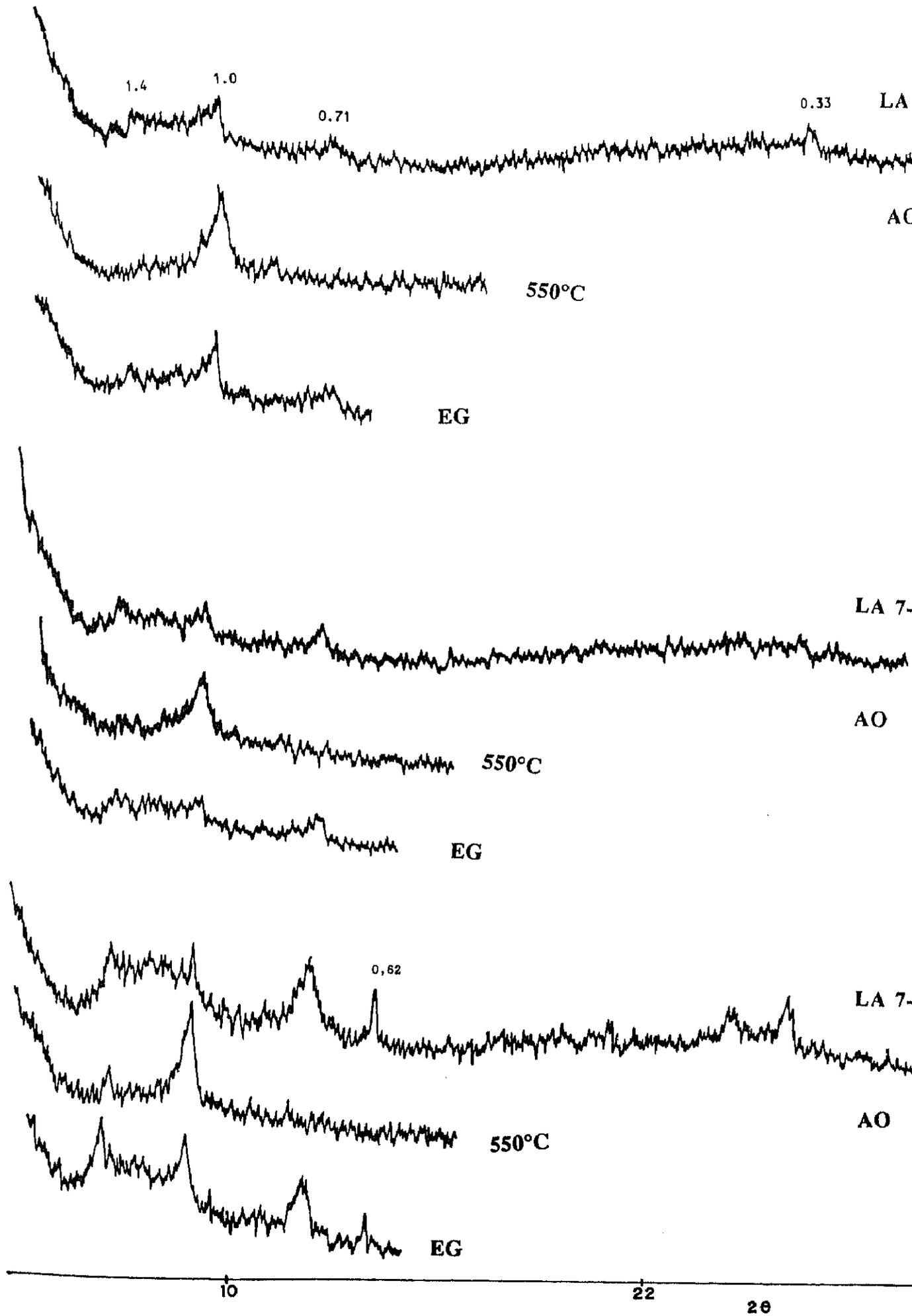


Fig. S 22. Perfil LA 7

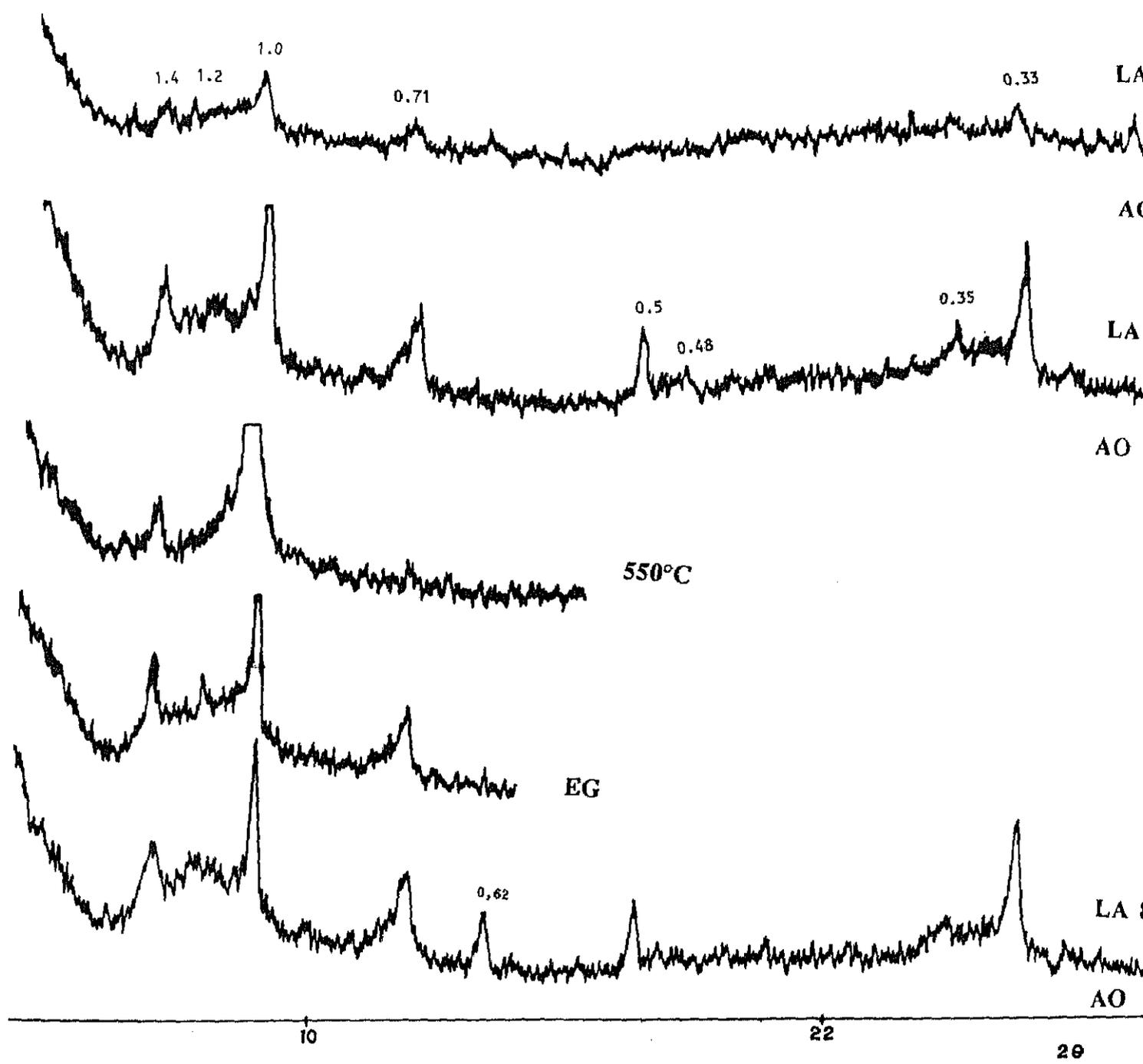


Fig. S 23. Perfil LA 8

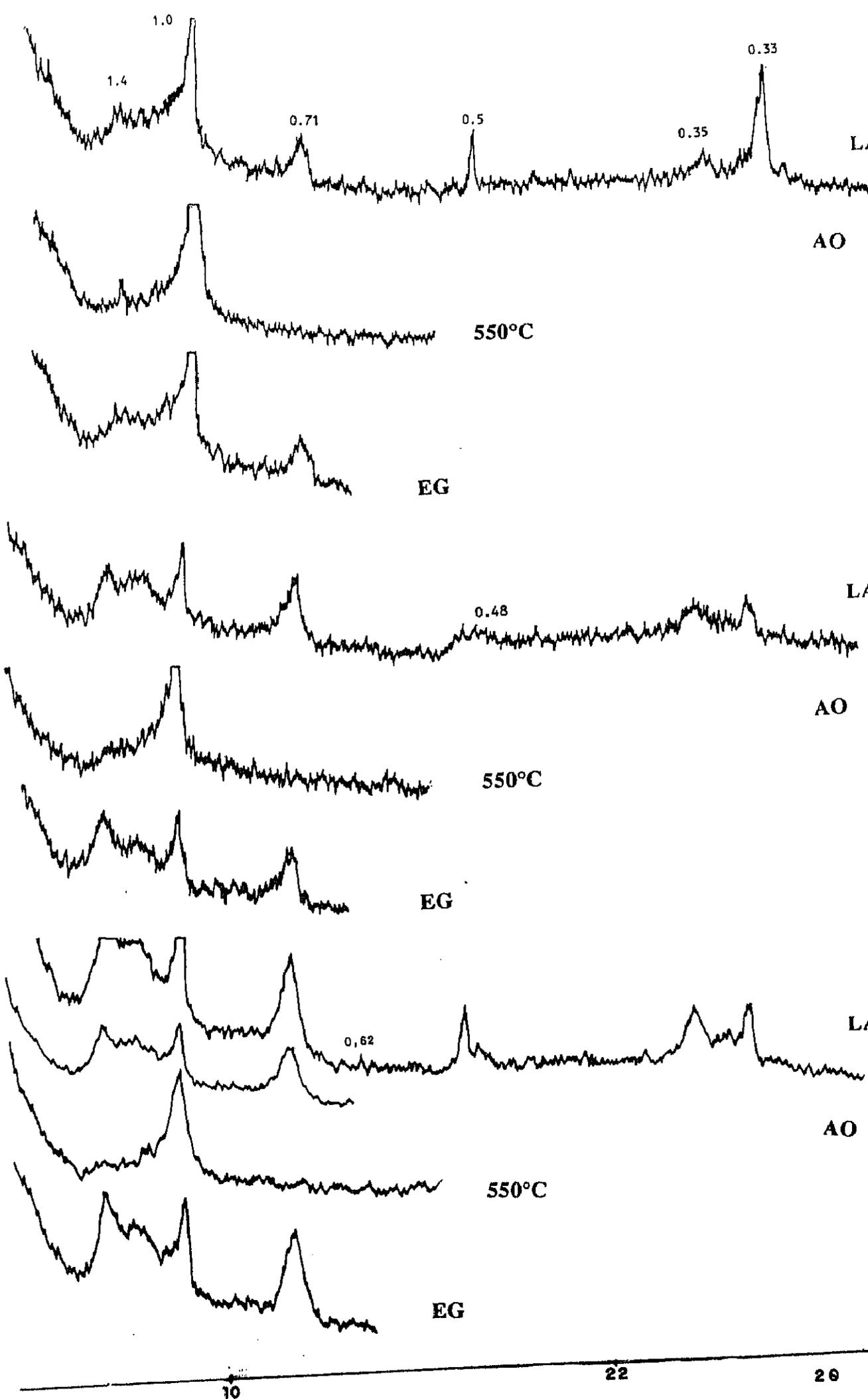


Fig. S 24. Perfil LA 12

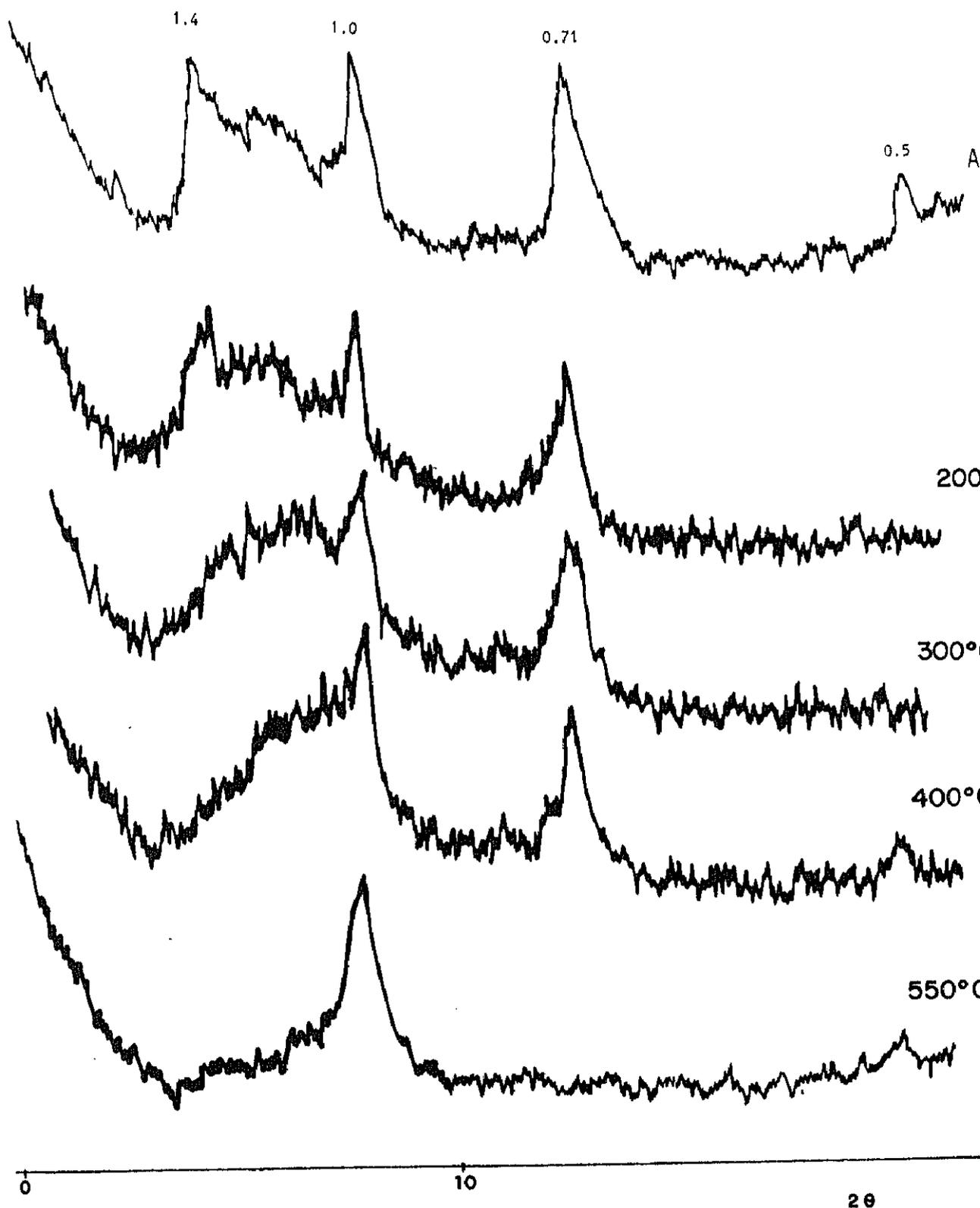


Fig. C 1. Experimento.

5.4 SERIE 4

En la Figura S-25, se estudian los difractogramas de la arena gruesa de los horizontes superficiales del perfil testigo (T 9) e impactados (LA 11 y LA 9) en agregados orientados, etilen glicol y calentados a 550°C, observando los siguientes constituyentes en el perfil testigo: micas-ilitas, clorita, minerales 1:1 por la desaparición de la reflexión a 0,71 nm al calentar a 550°C, como minerales no laminares: cuarzo que es muy abundante y feldespatos, también óxidos de hierro tipo hematites. En los perfiles impactados se observan los mismos minerales que en el testigo, a excepción de clorita y minerales 1:1, que no existen en LA11 y clorita en LA 9 y disminución en la intensidad del pico correspondiente a minerales 1:1. Las modificaciones observadas pueden deberse en parte a pequeñas variaciones en el material original y también al impacto sufrido por el incendio, que podría haber sido la causa de la alteración de los minerales 1:1.

Se estudian los difractogramas de arena fina en agregados orientados, etilen glicol y calentados a 550°C de horizontes superficiales de los perfiles, testigo (T 9) e impactado (LA 11), (Figura S-26); en el perfil testigo aparecen los siguientes minerales: micas-ilitas, clorita, minerales 1:1 y como minerales no laminares: cuarzo, feldespatos y óxidos de hierro, todos ellos existentes en la arena gruesa, además hay interestratificados que se ponen de manifiesto por las bandas 1,4 a 1,0 nm y 0,35 a 0,33 nm en agregados orientados, que al calentar a 550°C desaparece, lo que haría pensar que se trata de interestratificados mica-vermiculita y se hace neta una

reflexión a 1,2 nm de interestratificados mica-clorita dioctaédrica. En el perfil impactado LA 11 la composición mineralógica es: interestratificados mica-vermiculita, vermiculita, minerales 1:1, micas-ilitas y como minerales no laminares los mismos que en el testigo. Las diferencias encontradas con respecto al testigo suponen una dificultad para evaluar las modificaciones producidas por el incendio. En la Figura S-27, se estudian los horizontes superficiales y alguno profundo de los perfiles de esta serie, no observando diferencias en la cristalinidad de los minerales que puedan ser imputables al incendio.

Se estudian los difractogramas de arcillas, comenzando por el perfil testigo, seguido de los correspondientes impactados, obteniendo los siguientes resultados.

Perfil testigo (T9). - En la fracción arcilla del horizonte superficial de este perfil (Fig. S-28) aparecen minerales 1:1 fundamentalmente, con una reflexión abierta a ángulos menores, presencia de micas-ilitas, trazas de cloritas e interestratificados micas-vermiculitas, con una reflexión a 1,2 nm y posiblemente mica-clorita dioctaédrica.

El diagrama es similar con etilen glicol y al calentar a 550°C, permanece muy débil la reflexión de la clorita, desaparece casi totalmente la banda de interestratificados, así como el pico de minerales 1:1 y se intensifica la reflexión a 1,0 nm de micas-ilitas. Presencia de cuarzo como mineral no laminar.

Al profundizar se hace más intensa la reflexión de minerales 1:1, permaneciendo el resto del difractograma con las mismas características que ya se han citado. Cabe destacar la presencia de una reflexión poco intensa a 0,48 nm y que posiblemente se debe a gibbsita.

Perfil LA11.- La fracción arcilla de este perfil en superficie (Fig. S-29) aparece constituida por minerales 1:1 en banda, micas ilitas, trazas de cloritas y de interestratificados micas-vermiculitas y una reflexión muy débil a 0,48 nm (gibbsita).

En profundidad se mantiene la composición mineralógica del horizonte superficial y la reflexión a 0,48 nm se hace muy intensa. La presencia de gibbsita en el horizonte superficial puede indicar que la acción del fuego sobre el suelo no ha alcanzado la temperatura a la cual desaparece este mineral (1500C).

Perfil LA9.- Los constituyentes minerales del horizonte superficial (Fig. S-30) son: minerales 1:1, presencia de micas-ilitas con una reflexión poco neta, trazas de cloritas y de interestratificados micas-vermiculitas y mica-clorita dioctaédrica.

Al profundizar se mantiene la composición mineralógica en el difractograma respecto al horizonte superficial, pero haciéndose más netas las reflexiones, apareciendo además una débil reflexión a 0,48 nm de gibbsita.

Al comparar los diagramas de horizontes superficiales del suelo testigo e impactados, se observa que los difractogramas son similares a los del perfil testigo, no poniéndose de manifiesto el impacto por el fuego en el perfil LA 11 y muy débilmente en el perfil LA 9, por desaparición de la reflexión de la gibbsita.

TABLA 4: CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS

Perfil	Hor <sup>1</sup>	Prof cm.	Color Humedo	Color Seco	Textura	Estructura	Consistencia <sup>2</sup>	Carbón y otros <sup>3</sup>
T 9	Ah	0-15	10YR4/2	10YR5/1	Ar-Fr	gr. gruesa	1,1,1,1	fieltro, hornigas
	AB	15-40	10YR5/8	10YR6/6	Fr-Ar	gr. fina	2,2,2,1	+
LA 11	Ah(b)	0-10	10YR2/1	10YR3/1	Ar-Fr	granular	1,0,2,1	+,fieltro quemado
	AB(b)	10-40	10YR4/6	10YR5/6	Ar-Fr	bloques s.a.	1,1,2,1	+
LA 9	Ah(b)	0-20	10YR3/2	10YR5/3	Ar-Fr	sin estruct.	1,1,1,1	+,fieltro quemado
	AB(b)	20-40	10YR4/6	10YR6/8	Ar-Fr	bloques s.a.	2,1,2,2	+

<sup>1</sup> b Horizonte impactado

<sup>2</sup> 1 Ligeramente adherente      Consistencia en mojado  
2 Adherente

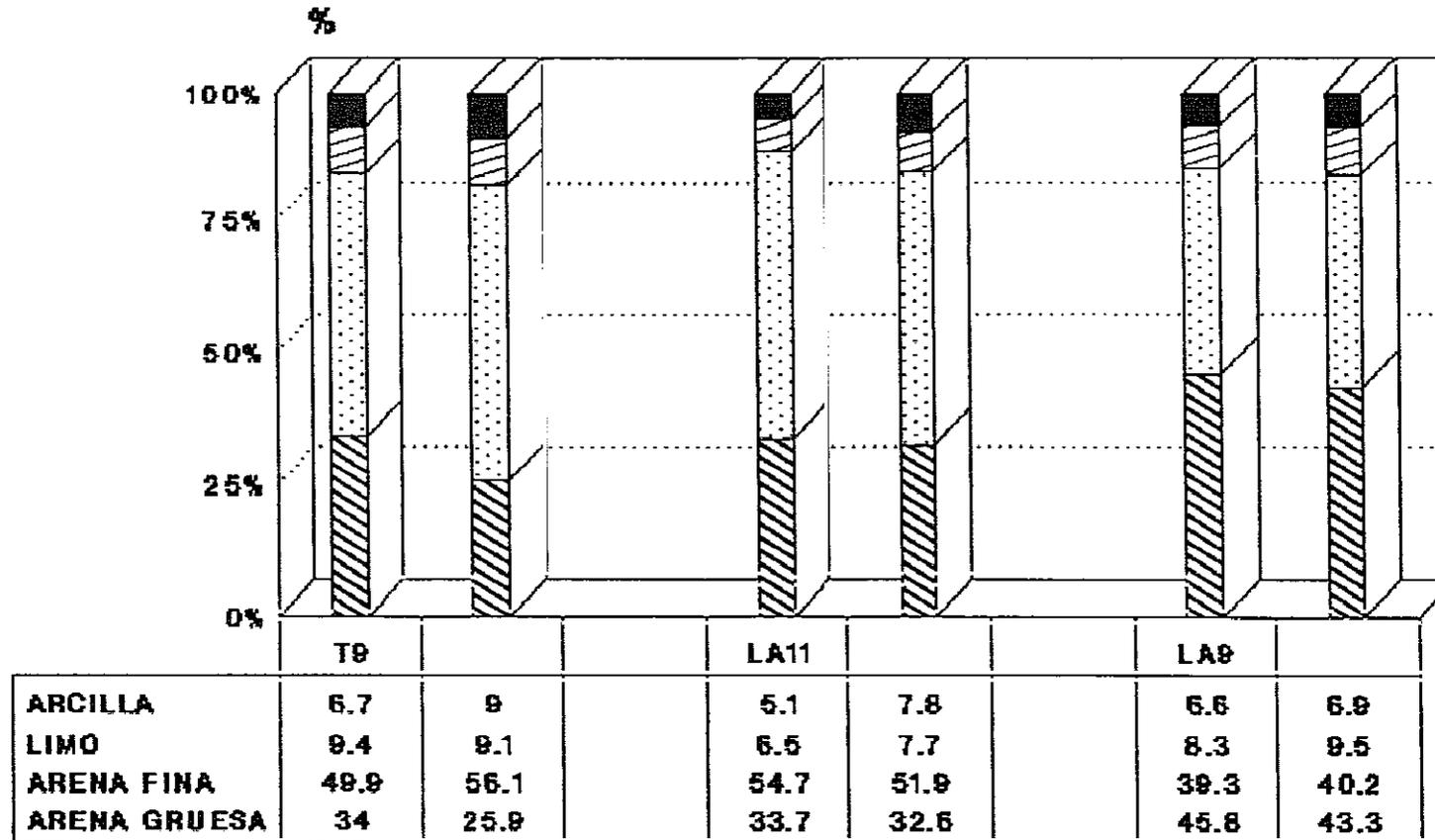
0 No plástico                      Plasticidad  
1 Ligeramente plástico  
2 Plástico

1 Muy friable                      Consistencia en húmedo  
2 Friable

1 Blando                              Consistencia en seco  
2 Ligeramente duro

<sup>3</sup> + poco carbón

# ANALISIS GRANULOMETRICO



## Perfiles



Fig 28. Porcentajes de arenas, limo y arcilla en los distintos perfiles.

# VALORES DE pH

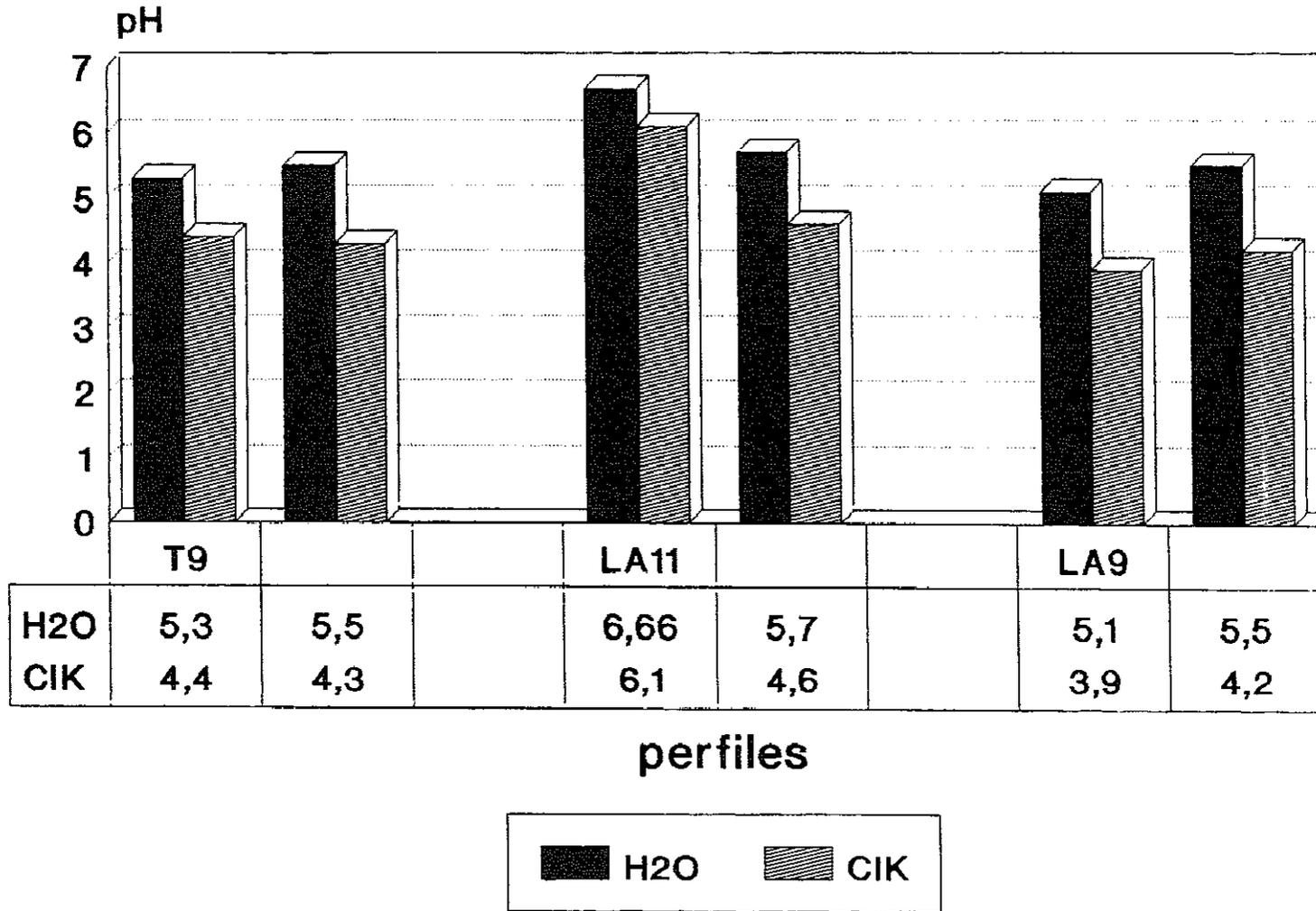
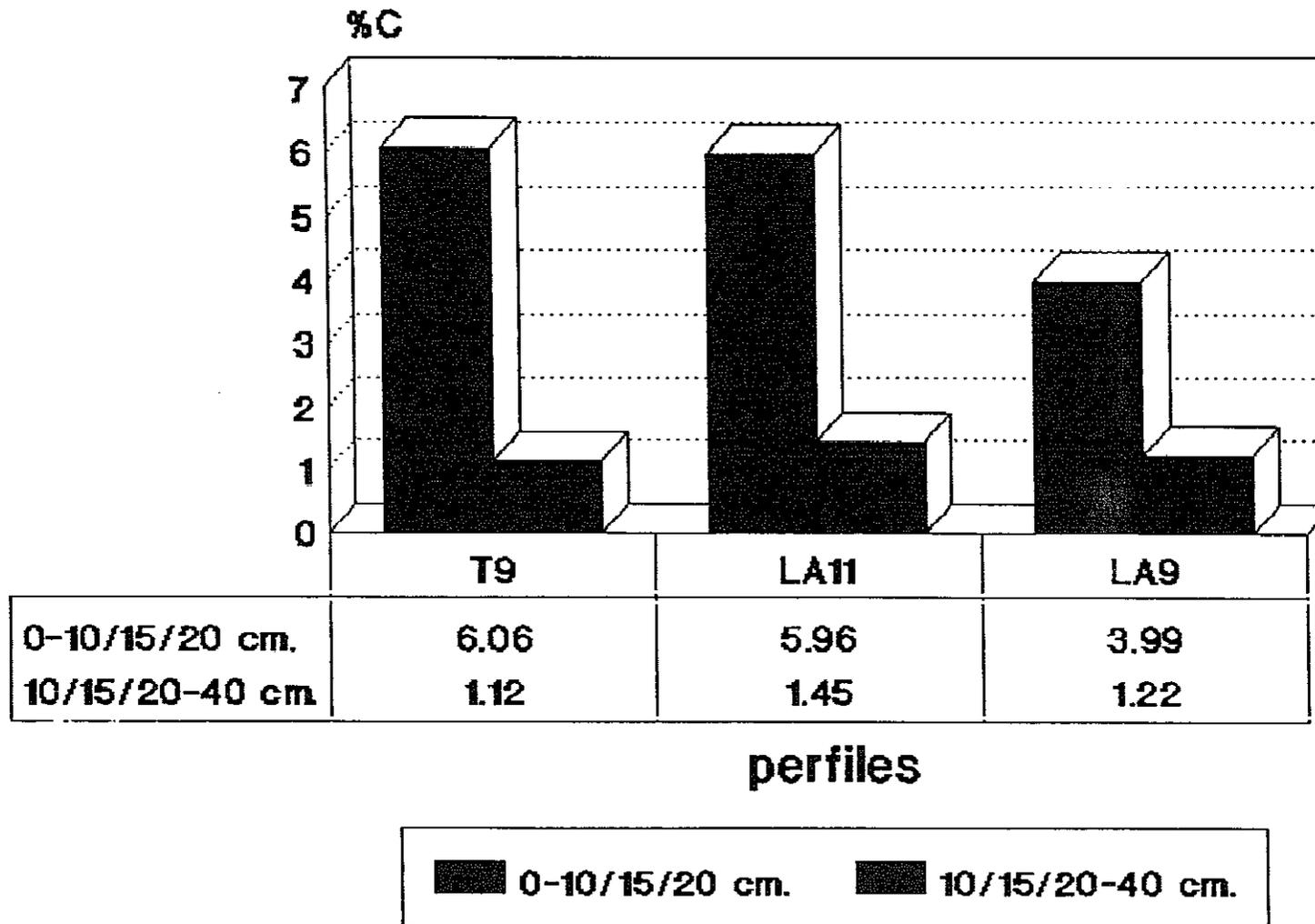


Fig 29. Valores de pH en H<sub>2</sub>O y KCl en los distintos horizontes.

# CARBONO



**Fig 30. Porcentajes de carbono en los horizontes**

# NITROGENO

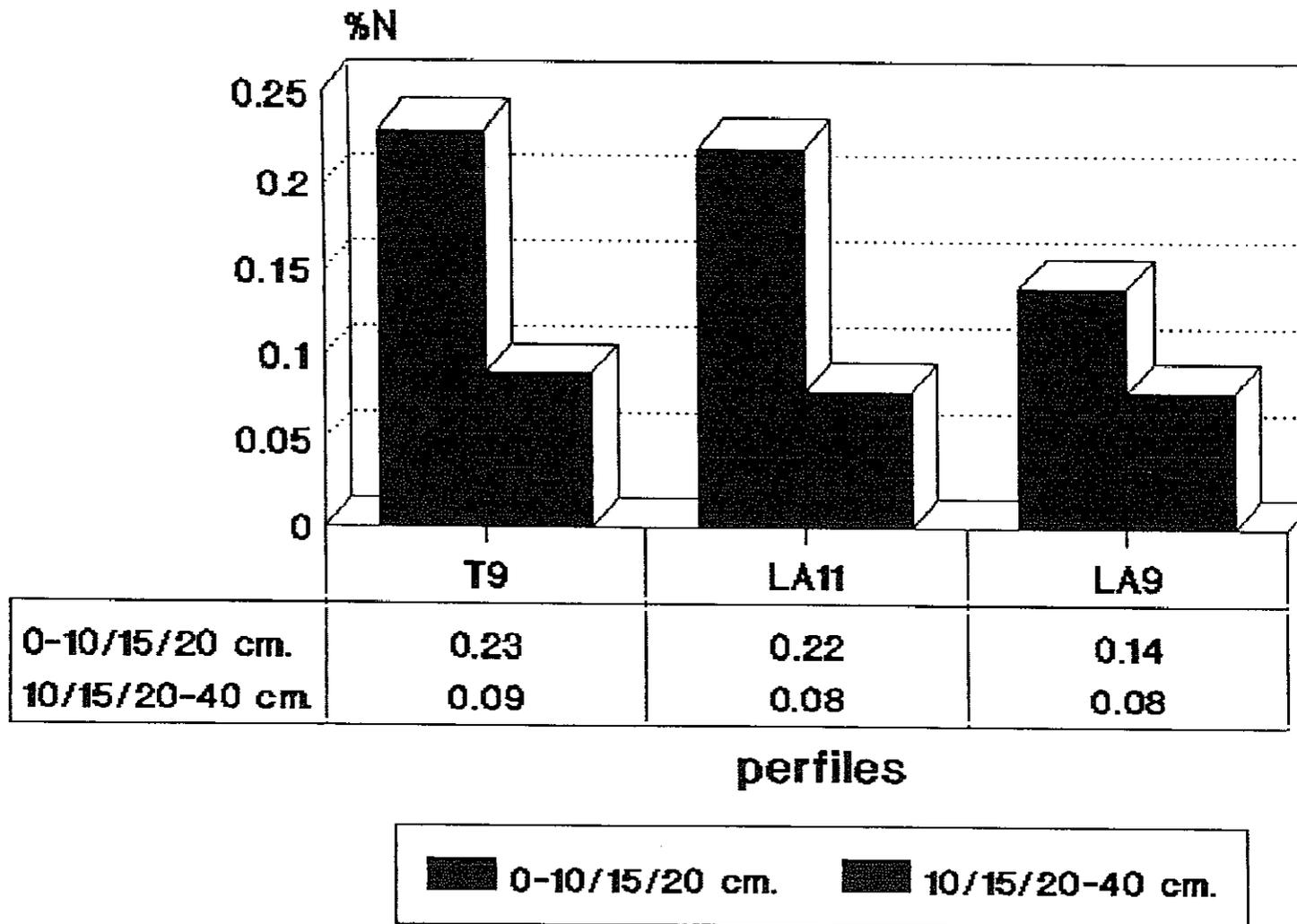
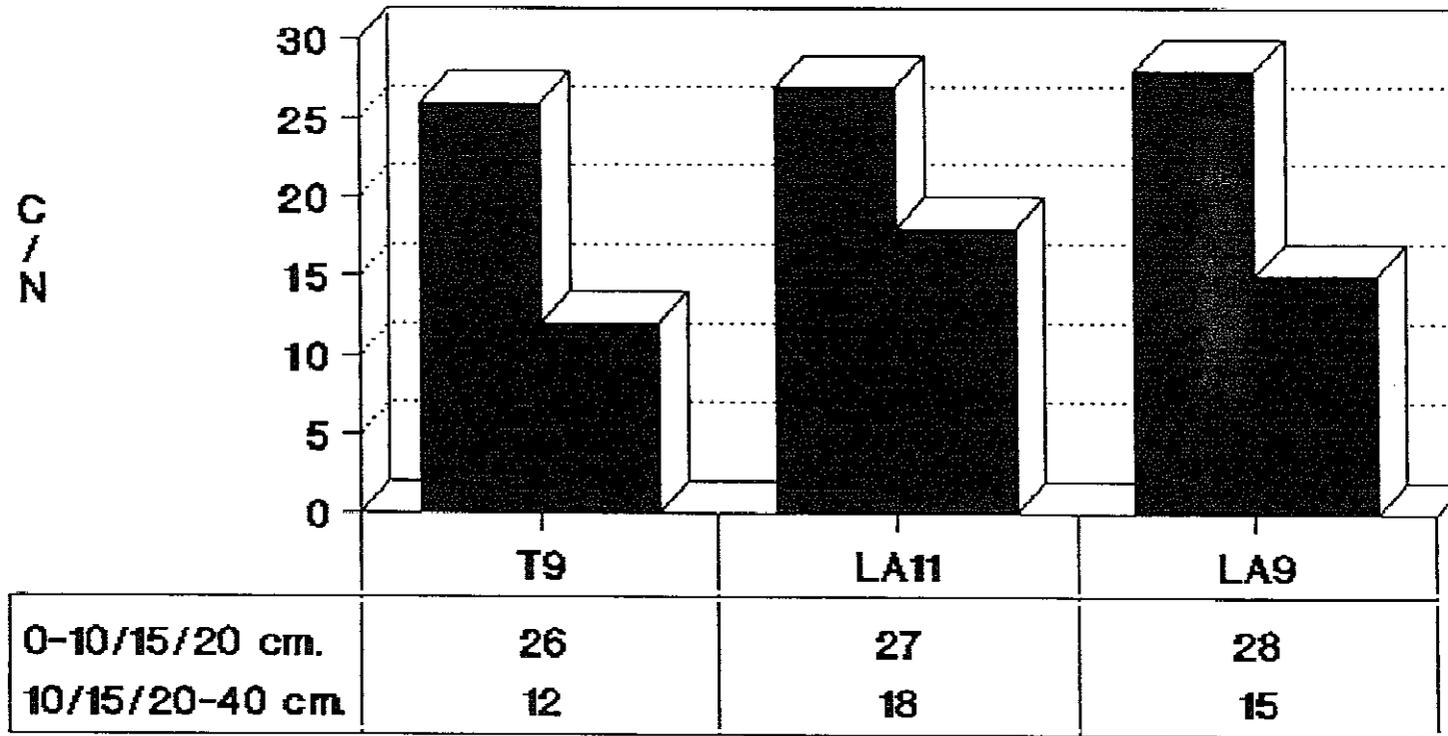


Fig 31. Nitrógeno en los horizontes de los suelos

# C/N



perfiles

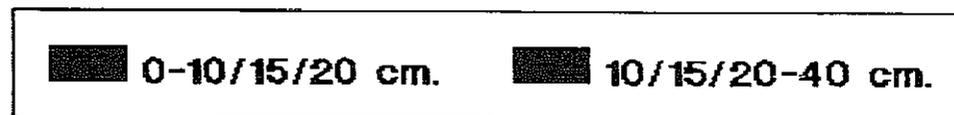


Fig 32. Relaciones carbono a nitrógeno en los distintos horizontes.

# CAPACIDAD DE CAMBIO Y GRADO DE SATURACION

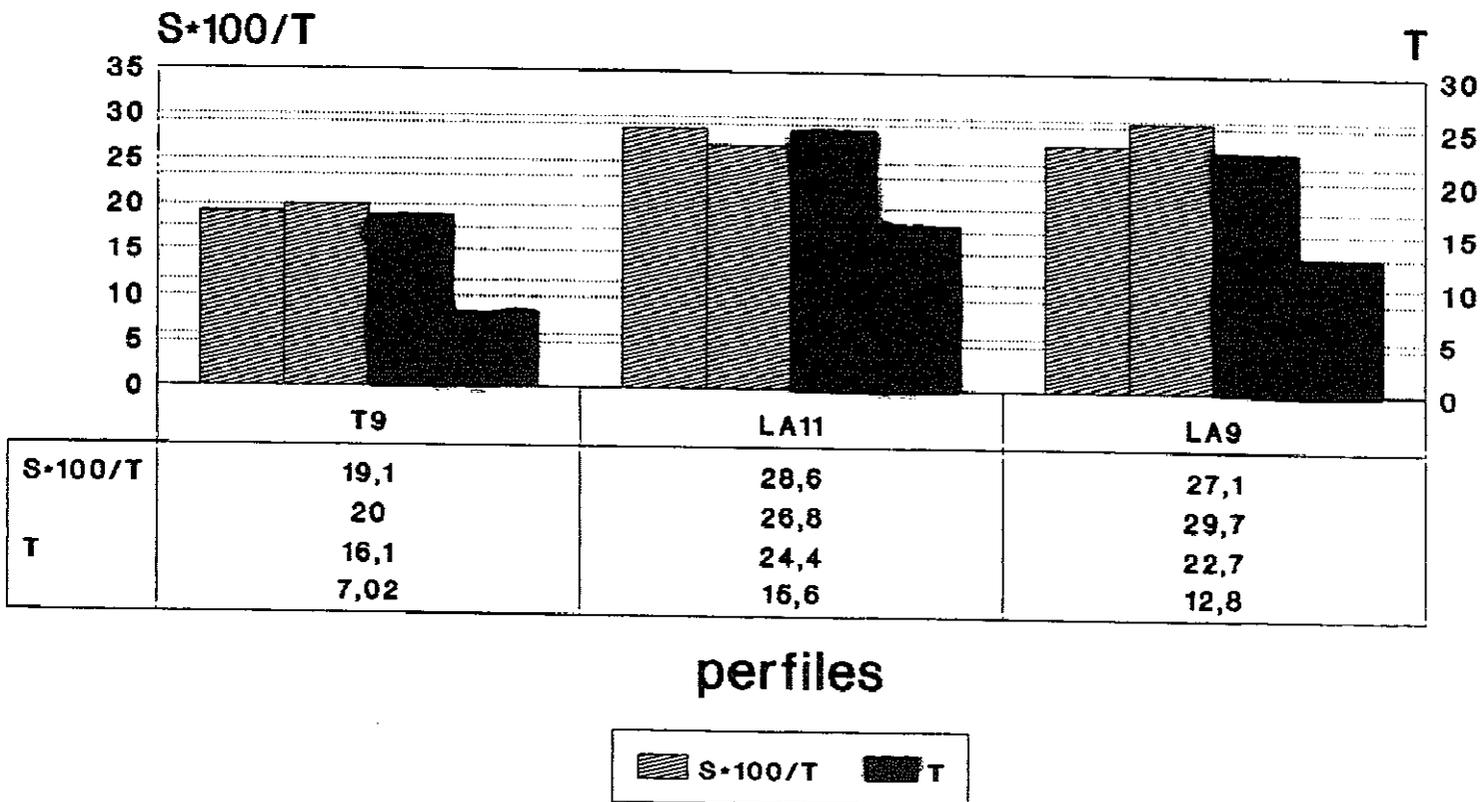


Fig 33. Capacidad total de cambio y grado de saturación en los distintos horizontes.

# CATIONES DE CAMBIO

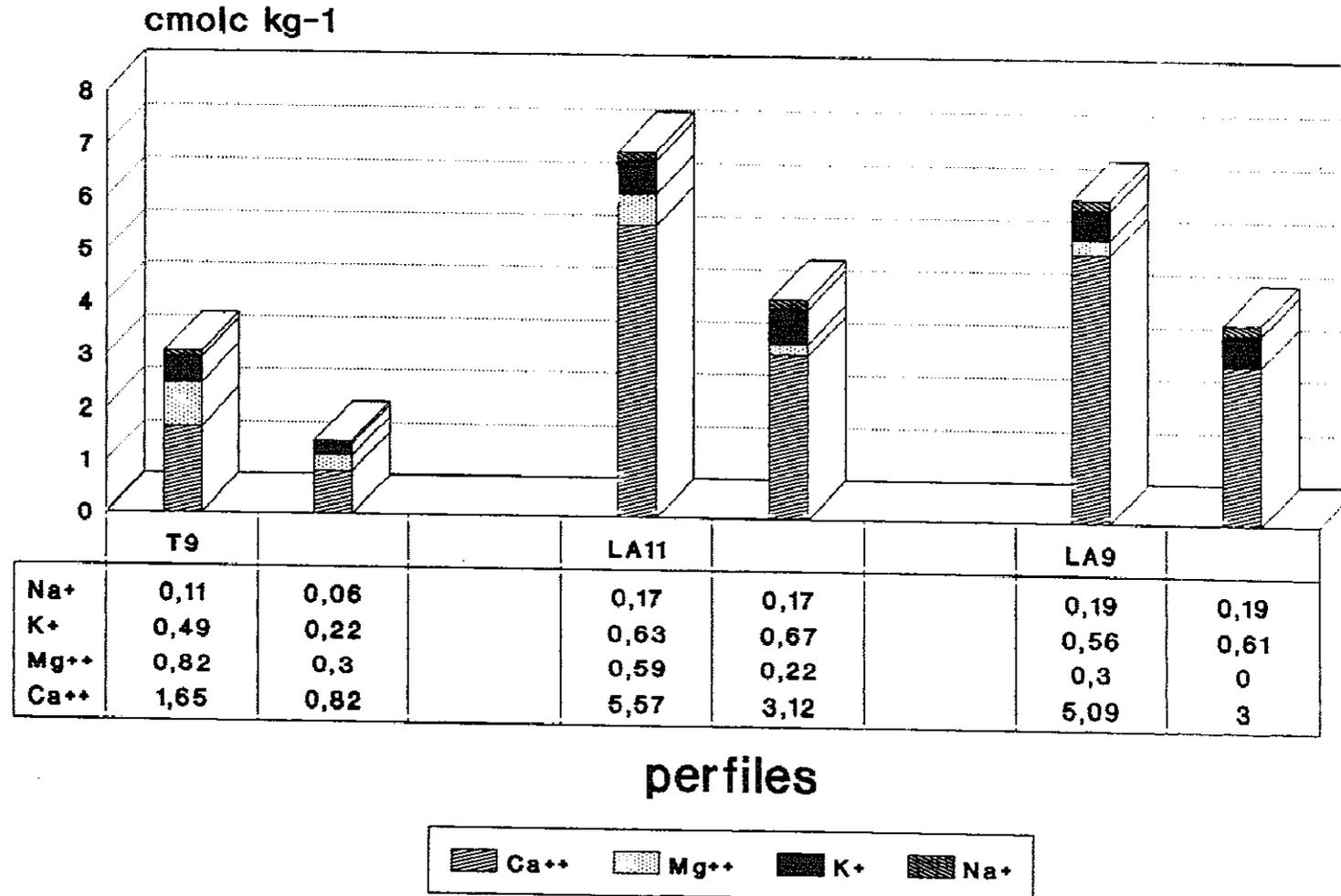


Fig 34. Cationes de cambio del complejo adsorbente en los distintos horizontes de los perfiles.

# HIERRO

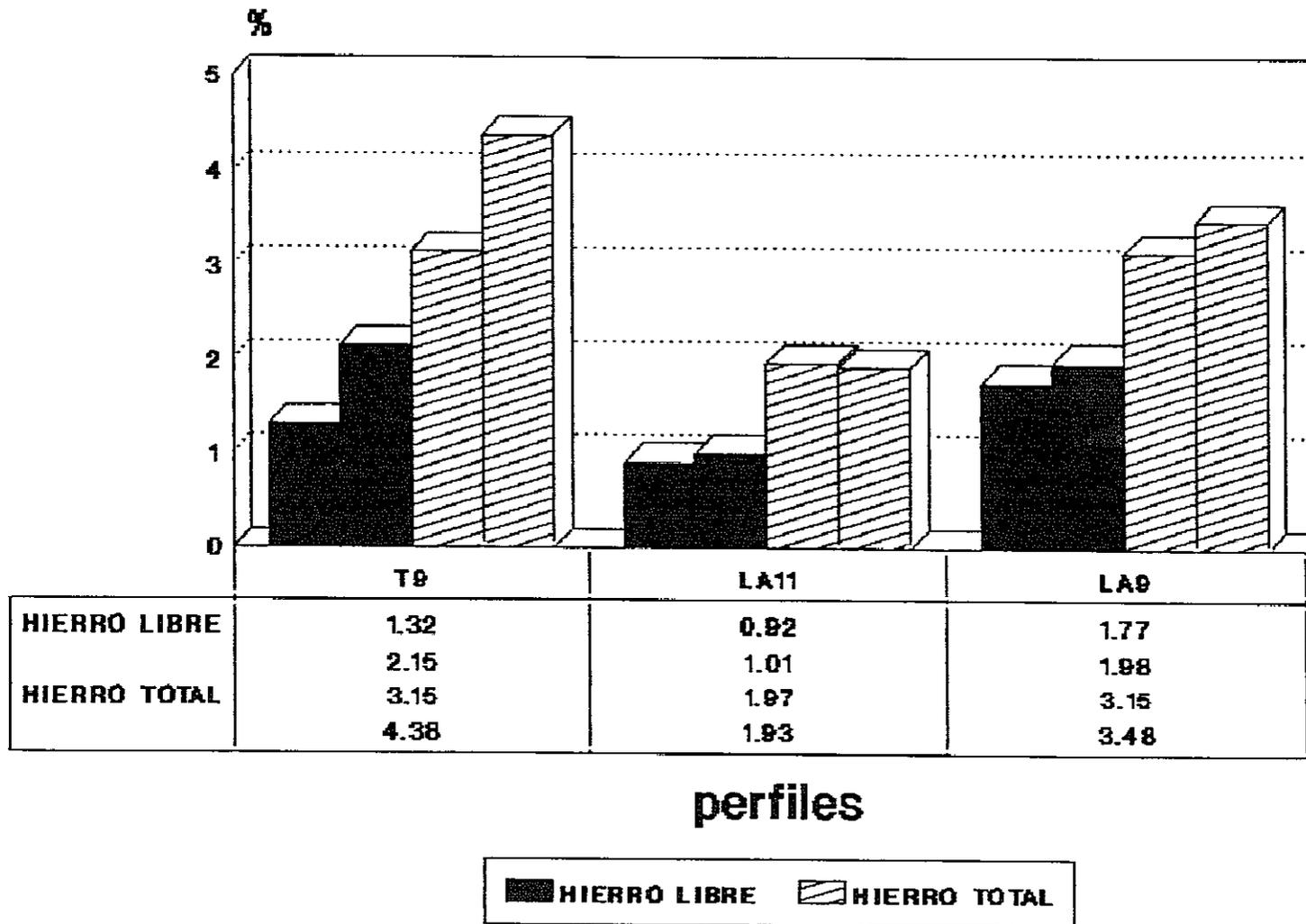


Fig 35. Hierro libre y hierro total en los horizontes.

# HIERRO LIBRE/HIERRO TOTAL

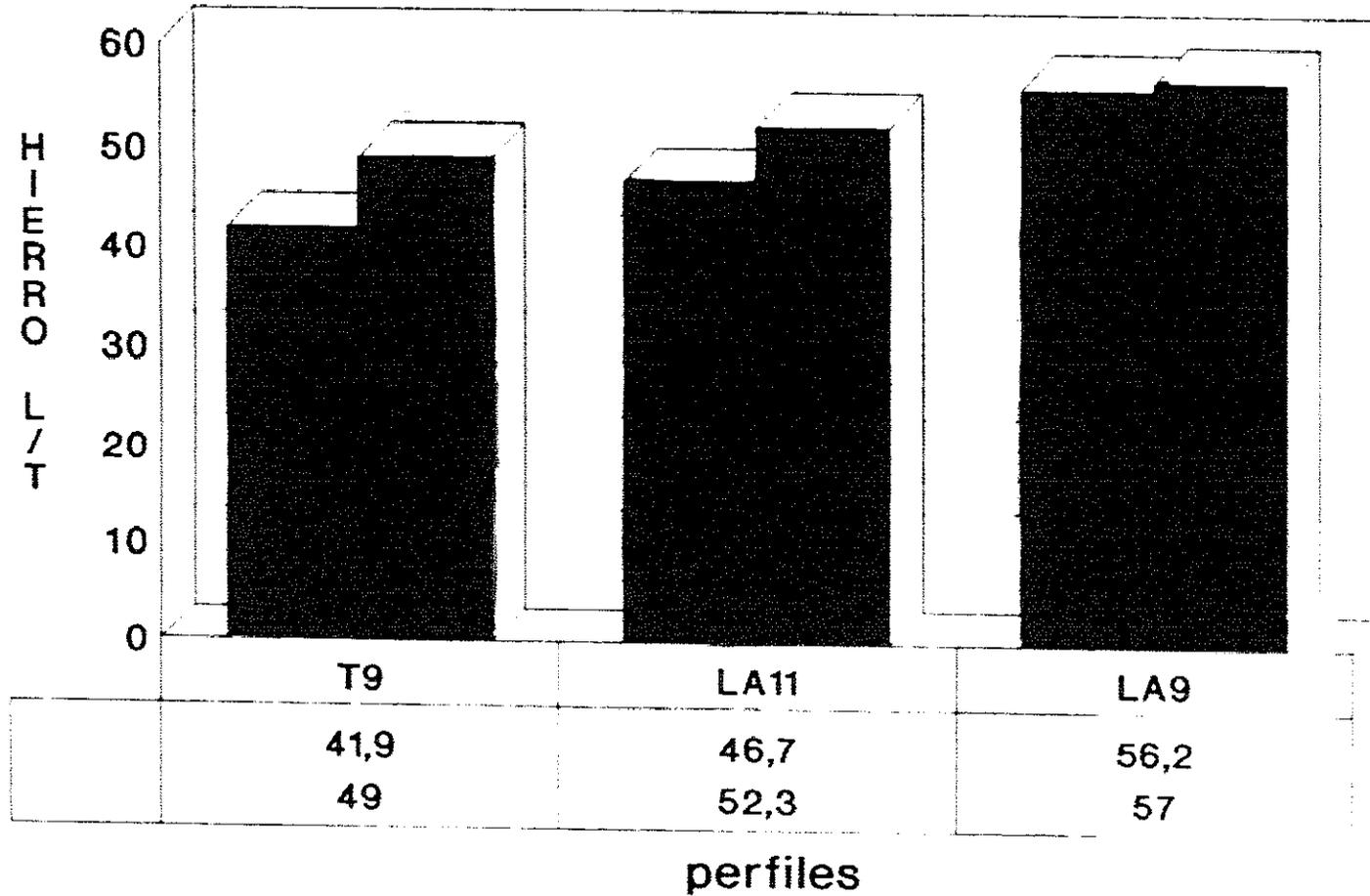


Fig 36. Relaciones hierro libre a hierro total en los distintos horizontes.

SERIE IV. ARENA GRUESA

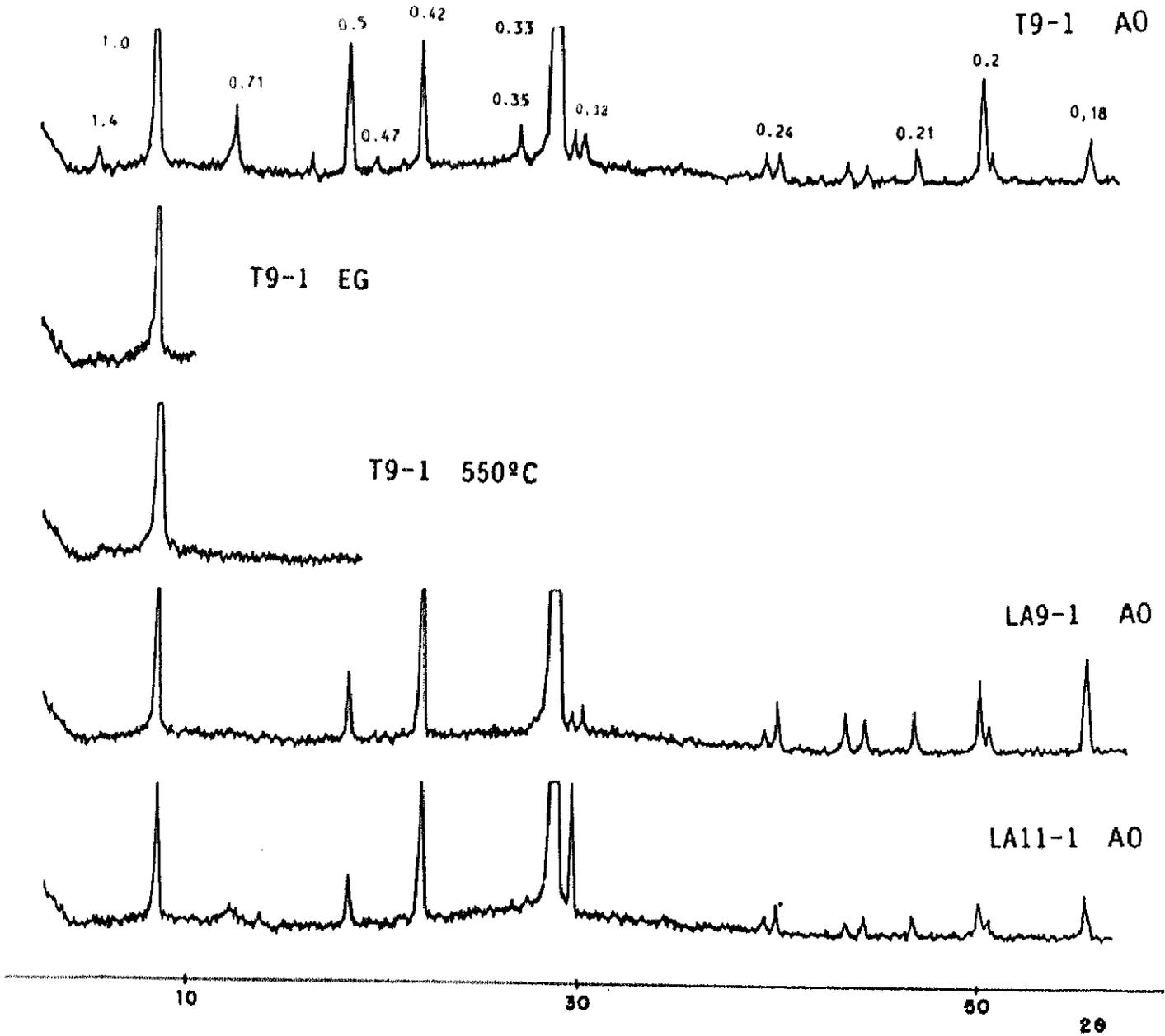


Fig. S 25. Horizontes superficiales

*SERIE IV. ARENA FINA*

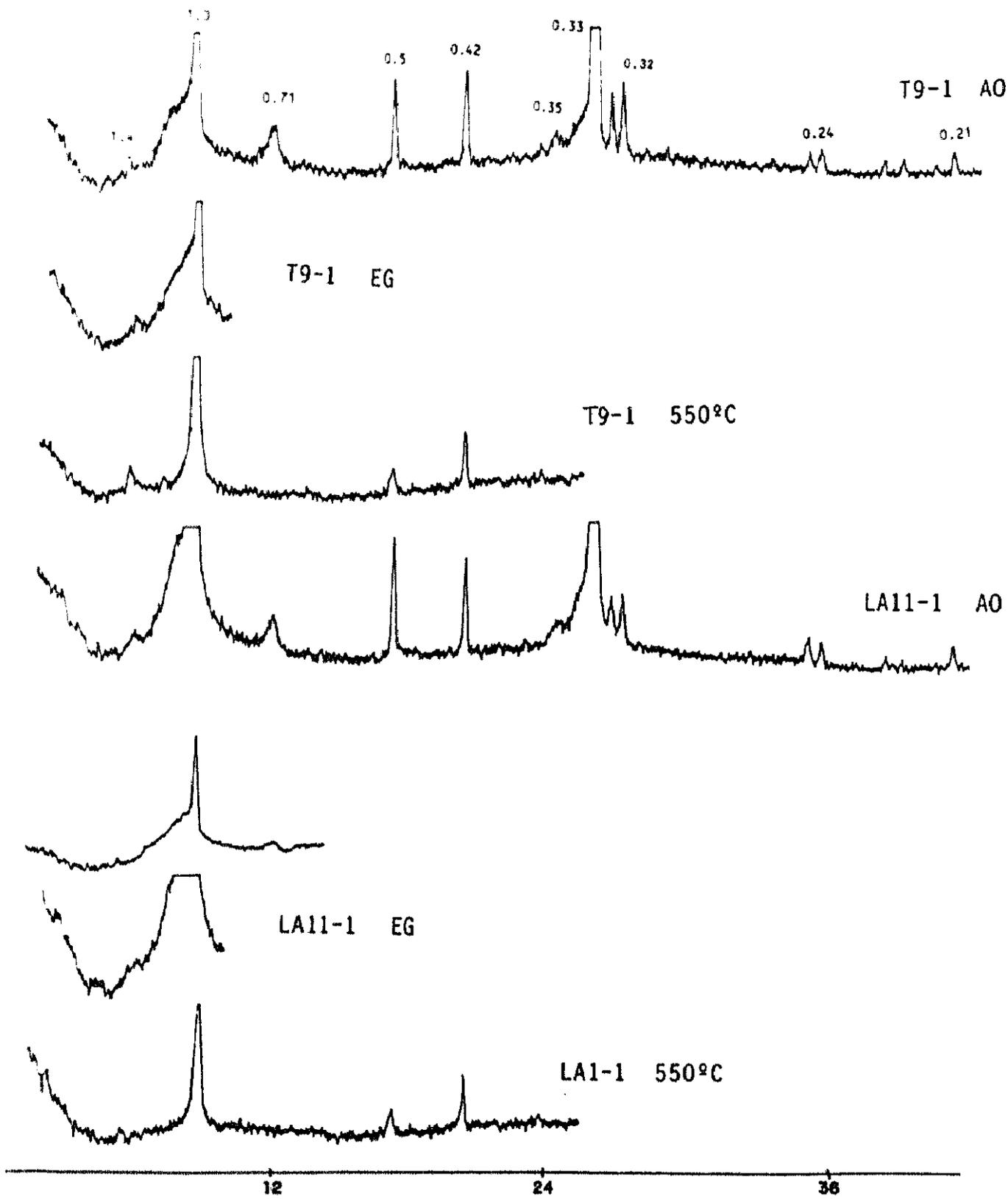


Fig. S 26. Horizontes superficiales

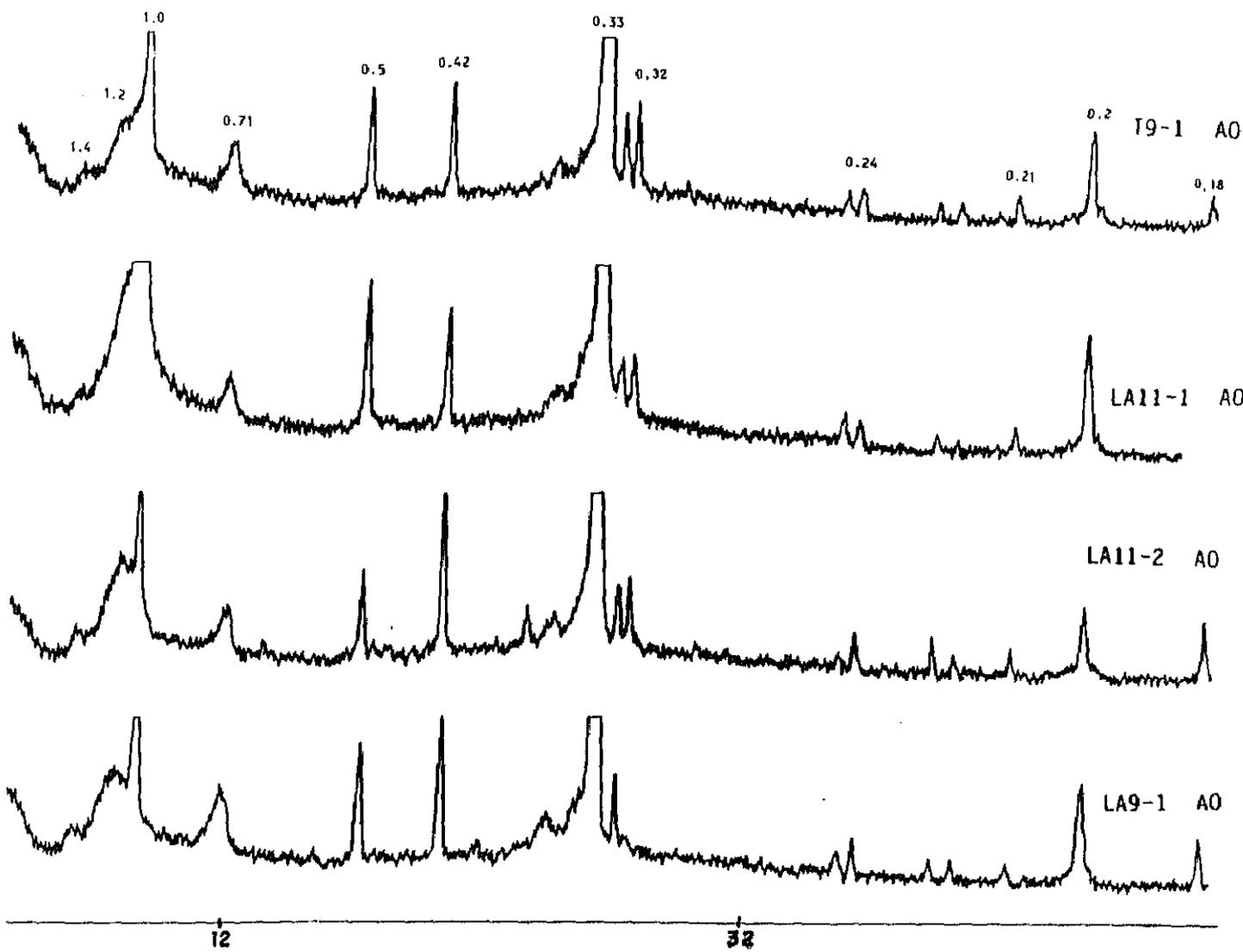


Fig. S 27. Horizontes superficiales y alguno profundo

SERIE IV. ARCILLA

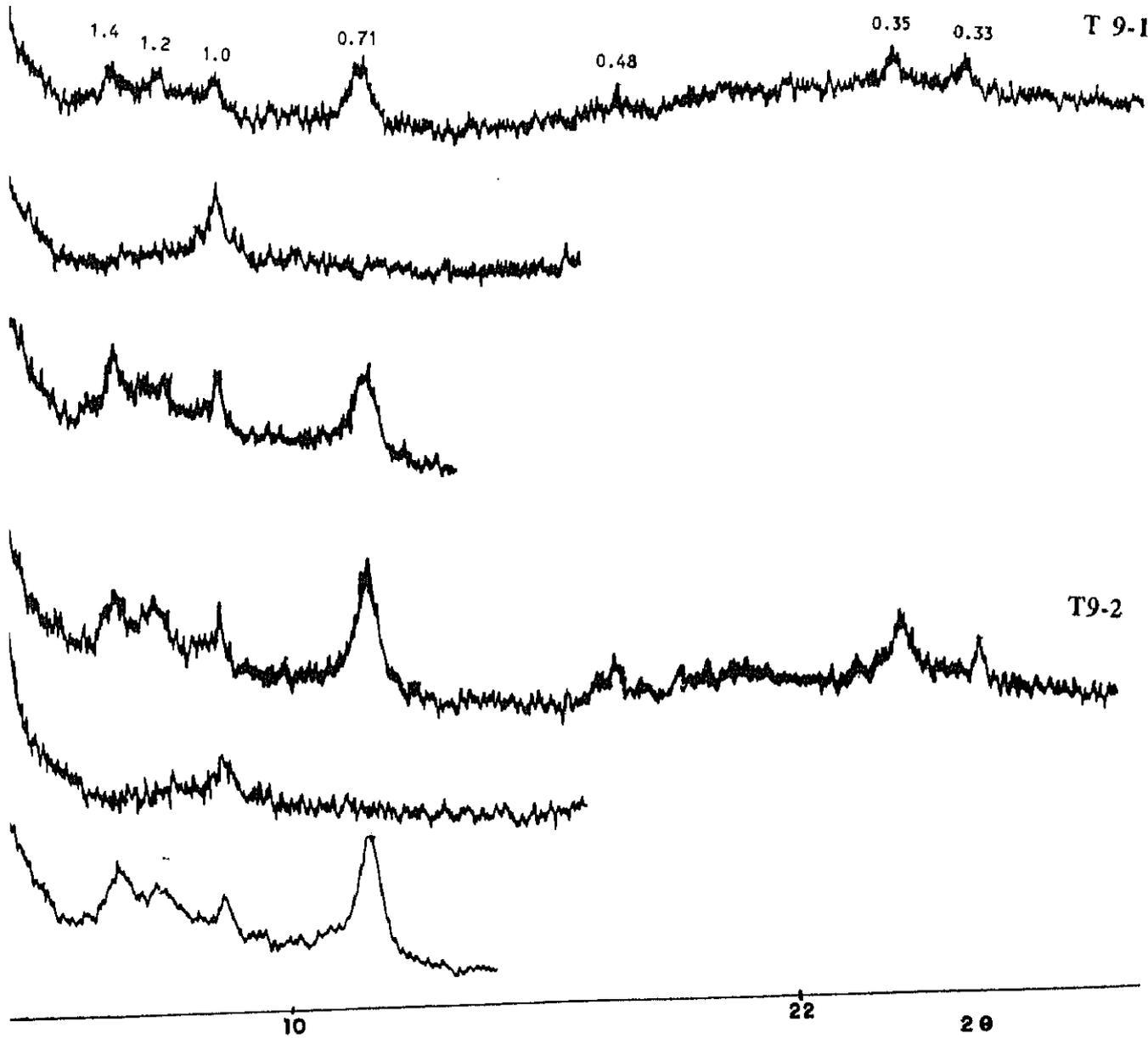


Fig. S 28. Perfil T 9

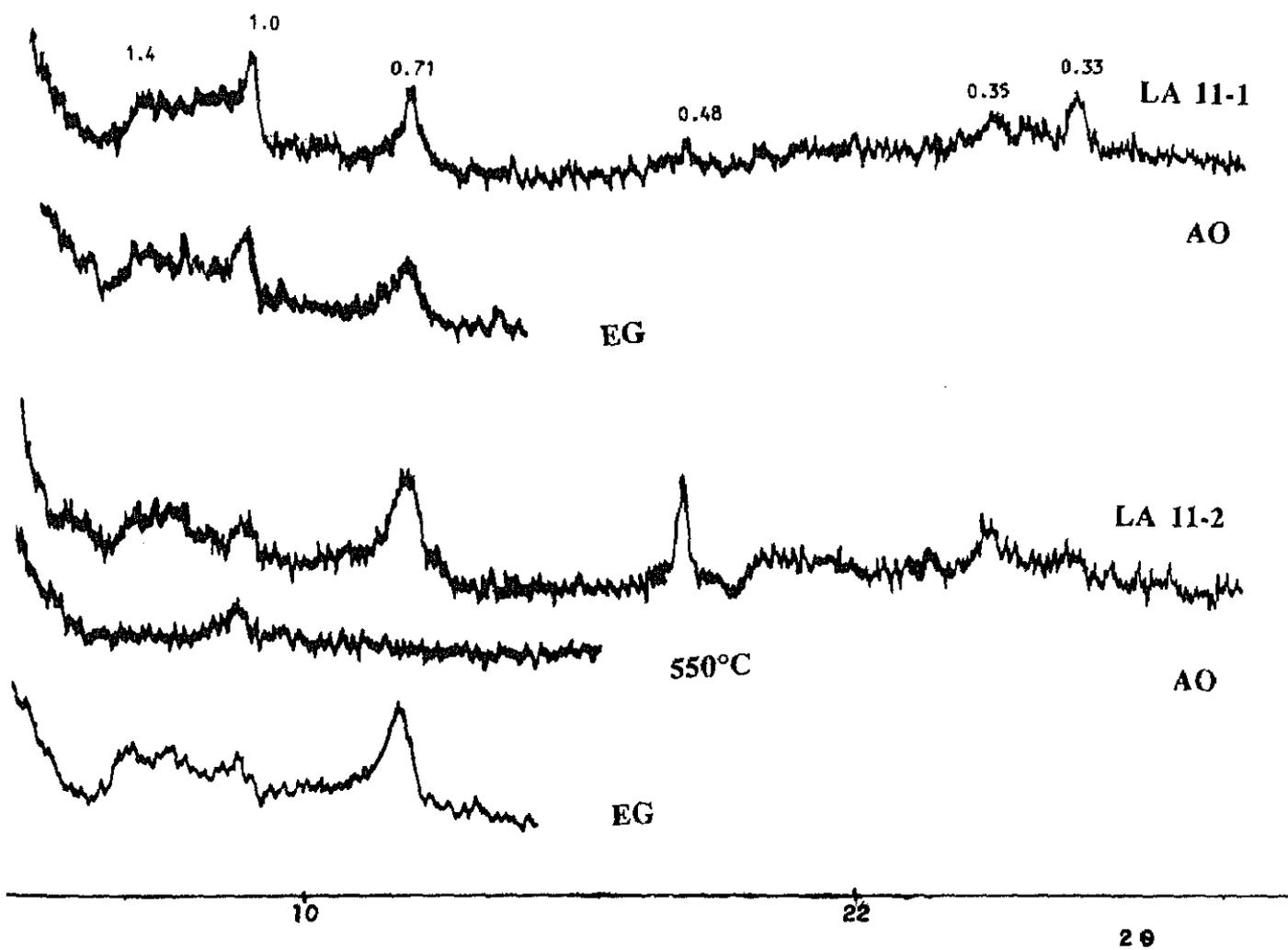


Fig. S 29. Perfil LA 11

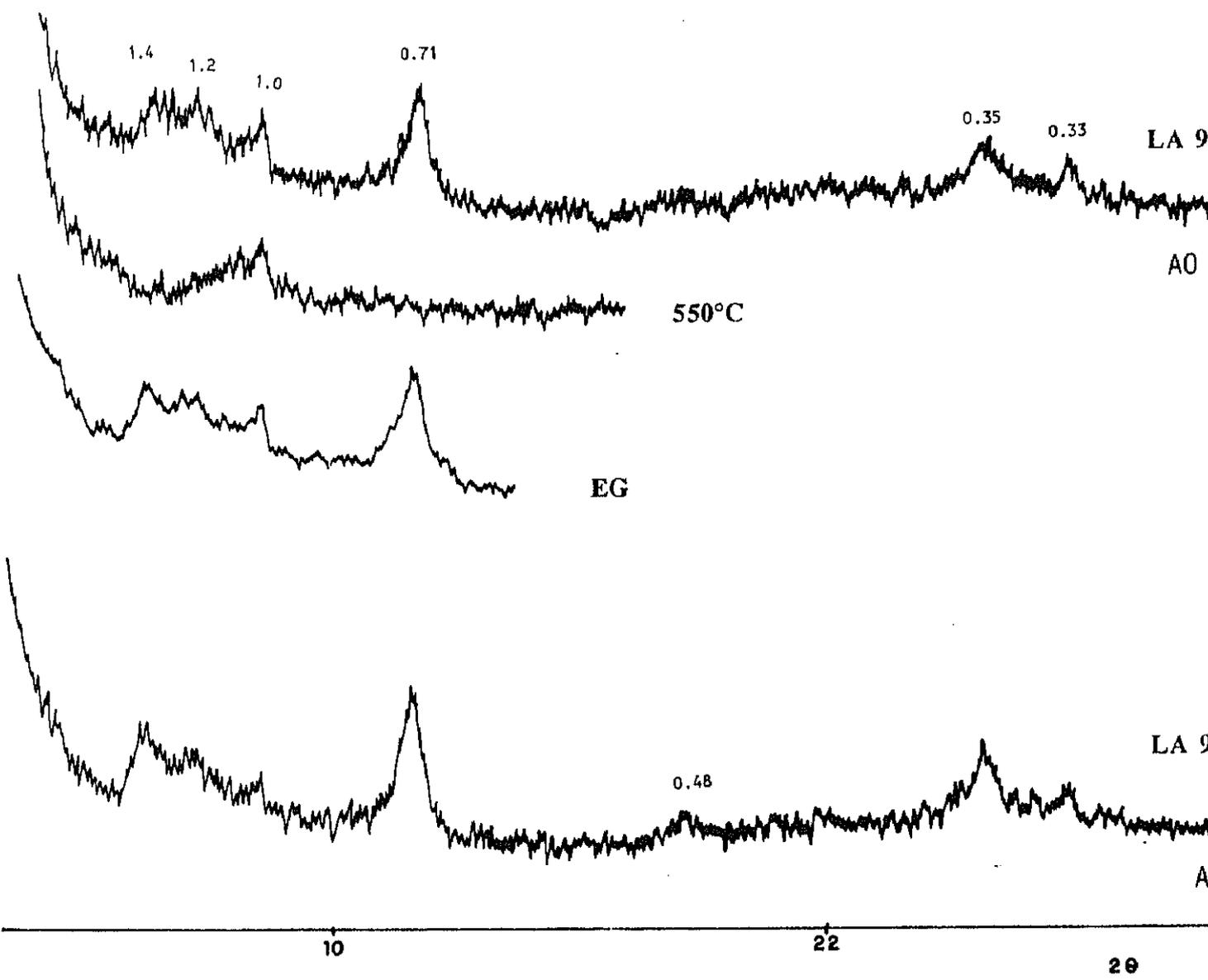


Fig S. 30. Perfil LA 9

5.5 SERIE 5

Se encuentra situada a una altitud de 550 m y la constituyen dos perfiles separados entre sí 50 m. El perfil LA13 que sufrió los efectos del incendio y el T10 (Cambisol dístico) que es tomado como testigo, presentan igual orientación (SO) y pendiente del 20-25%.

Las características morfológicas de estos perfiles (Tabla 5) muestran que ambos perfiles son idénticos en cuanto al color del horizonte profundo tanto en húmedo como en seco, mientras que en superficie el impactado es más oscuro que el testigo, manifestándose por su menor value y croma, debido como ya se ha indicado al acúmulo de carbón que existe en este horizonte tras el incendio. La estructura en superficie del testigo es granular fina pasando a sin estructura en el impactado, no observándose modificaciones en la consistencia en el horizonte superficial .

Dichos perfiles presentan igual textura, arenosa-franca, en superficie, pasando a franco-arenosa en profundidad. La similitud en la composición granulométrica (Fig. 37) indica que existe homogeneidad del material y que no ha habido procesos erosivos, o no se han puesto de manifiesto.

Son suelos ácidos, dada la naturaleza del material del cual proceden, esquistos y cuarcitas, y de la vegetación bajo la que se desarrollaron, *Pinus pinaster*. El pH (Fig. 38) incrementa a lo largo de todo el perfil impactado respecto al testigo, por aporte de bases.

Los porcentajes de carbono (Fig. 39) se elevan ligeramente en el horizonte superficial del perfil afectado. El nitrógeno (Fig. 40) apenas varía en el perfil afectado respecto al testigo. La razón C/N (Fig. 41) se mantiene constante tanto en superficie como en profundidad, después del incendio.

La capacidad total de cambio (Fig. 42) experimenta un incremento postincendio, posiblemente debido a la alteración de la estructura. El grado de saturación también aumenta, como consecuencia del aporte de bases que quedan retenidas en el complejo de cambio. Respecto a los cationes de cambio (Fig. 43) se puede observar que después del incendio tiene lugar un aumento de los cationes divalentes fundamentalmente en superficie; en profundidad únicamente se elevan  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ .

Cuando se estudian los efectos del incendio sobre el hierro (Fig. 44) se observa que en superficie disminuyen el hierro libre y el hierro total respecto al suelo testigo, lo mismo le sucede a la relación hierro libre a hierro total (Fig. 45), mientras que en profundidad sucede lo contrario.

Tras la observación de los diagramas de rayos X de arena gruesa, en agregados orientados, etilen glicol y calentados a 550°C (Figura S-31) del perfil testigo (T 10) e impactado (LA 13), se llega a que la composición mineralógica es la siguiente: micas-ilitas, minerales 1:1 alterados, cuarzo, feldespatos y óxidos de hierro, no observándose alteraciones después del impacto por el fuego.

En la Figura S-32, se representan los difractogramas en agregados orientados, etilen glicol y calentados a 550°C, de arena fina de horizontes superficiales del perfil testigo (T10) e impactado (LA13), observando que además de micas-ilitas, minerales 1:1, cuarzo, feldespatos y óxidos de hierro, existentes en la arena gruesa, aparecen interestratificados mica-vermiculita, cuyas reflexiones desaparecen totalmente al calentar a 550°C. Al igual que en la arena gruesa no se aprecian cambios en los minerales como consecuencia del incendio.

Para abordar el estudio de los difractogramas de arcillas se estudia el suelo considerado como testigo y el correspondiente afectado por el incendio, obteniendo los siguientes resultados.

Perfil testigo (T10).- En el horizonte superficial del suelo testigo (Fig. S-33) aparecen como minerales fundamentales minerales 1:1 con una reflexión a 0,71 nm abierta a ángulos menores, micas-ilitas con una reflexión a 1,0 nm abierta a ángulos menores, trazas de clorita, vermiculitas con una reflexión muy intensa a 1,4 nm y una banda de interestratificados mica-vermiculita de 1,4 a 1,0 nm.

Con etilen glicol el difractograma aparece semejante al de agregados orientados, lo que indica la no existencia de minerales hinchables. Al calentar a 550°C desaparece la reflexión de vermiculitas, de la banda de interestratificados y de minerales 1:1, intensificándose la reflexión a 1,0 nm de micas-

ilitas.

A lo largo de todo el perfil aparece una reflexión a 0.48 nm que persiste con etilen glicol y desaparece al calentar a 550°C, posiblemente de gibbsita.

Al profundizar se mantiene la composición mineralógica en el difractograma es similar al del horizonte superficial pero son más netas las reflexiones.

Perfil LA(13).- Los difractogramas del horizonte superficial (Fig. S-34) presentan picos poco netos, poniéndose de manifiesto la presencia de minerales 1:1 con reflexión poco intensa y en banda, micas-ilitas con una débil reflexión, trazas de interestratificados mica-vermiculita, y trazas de vermiculita.

Al calentar a 550°C se intensifica la reflexión a 1,0 nm de micas-ilitas, desapareciendo prácticamente el resto de las reflexiones entre 1,0 y 1,4 nm; con etilen glicol no varía el difractograma respecto al de agregados orientados.

En el horizonte subyacente las reflexiones son más netas, siendo la correspondiente a la caolinita de gran intensidad, observándose igualmente con más intensidad la de 1,0 nm (micas-ilitas), la de 1,2 nm (interestratificados mica-vermiculita y mica-clorita) y la de 1,4 nm (vermiculita y clorita).

Existe una reflexión a 0,48 nm, que desaparece al calentar y persiste con etilen glicol, posiblemente debida a gibbsita.

Las diferencias observadas cuando se compara el horizonte

superficial del perfil impactado con su horizonte profundo y con el perfil testigo, se pone de manifiesto que en el primero las reflexiones son muy débiles, además de la no aparición de gibbsita, cambios que podrían deberse al impacto del fuego.

TABLA 5: CARACTERISTICAS MORFOLOGICAS

Perfil	Hor. <sup>1</sup>	Prof cn.	Color Humedo	Color Seco	Textura	Estructura	Consistencia <sup>2</sup>	Carbón y otros <sup>3</sup>
T 10	Ah	0-10	10YR3/4	10YR6/6	Ar-Fr	gr. fina	1,1,1,2	
	AB	10-40	7.5YR4/6	10YR6/8	Fr-Ar	sin estruct.	2,2,2,2	
LA 13	Ah(b)	0-10	10YR2/1	10YR3/2	Ar-Fr	sin estruct.	1,1,1,2	+ cenizas
	AB(b)	10-40	10YR4/6	10YR6/8	Fr-Ar	gr. media	1,1,1,2	

<sup>1</sup> b Horizonte impactado

<sup>2</sup> 1 Ligeramente adherente      Consistencia en mojado  
2 Adherente

1 Ligeramente plástico      Plasticidad  
2 Plástico

2 Ligeramente duro      Consistencia en seco

<sup>3</sup> + poco carbón

# ANALISIS GRANULOMETRICO

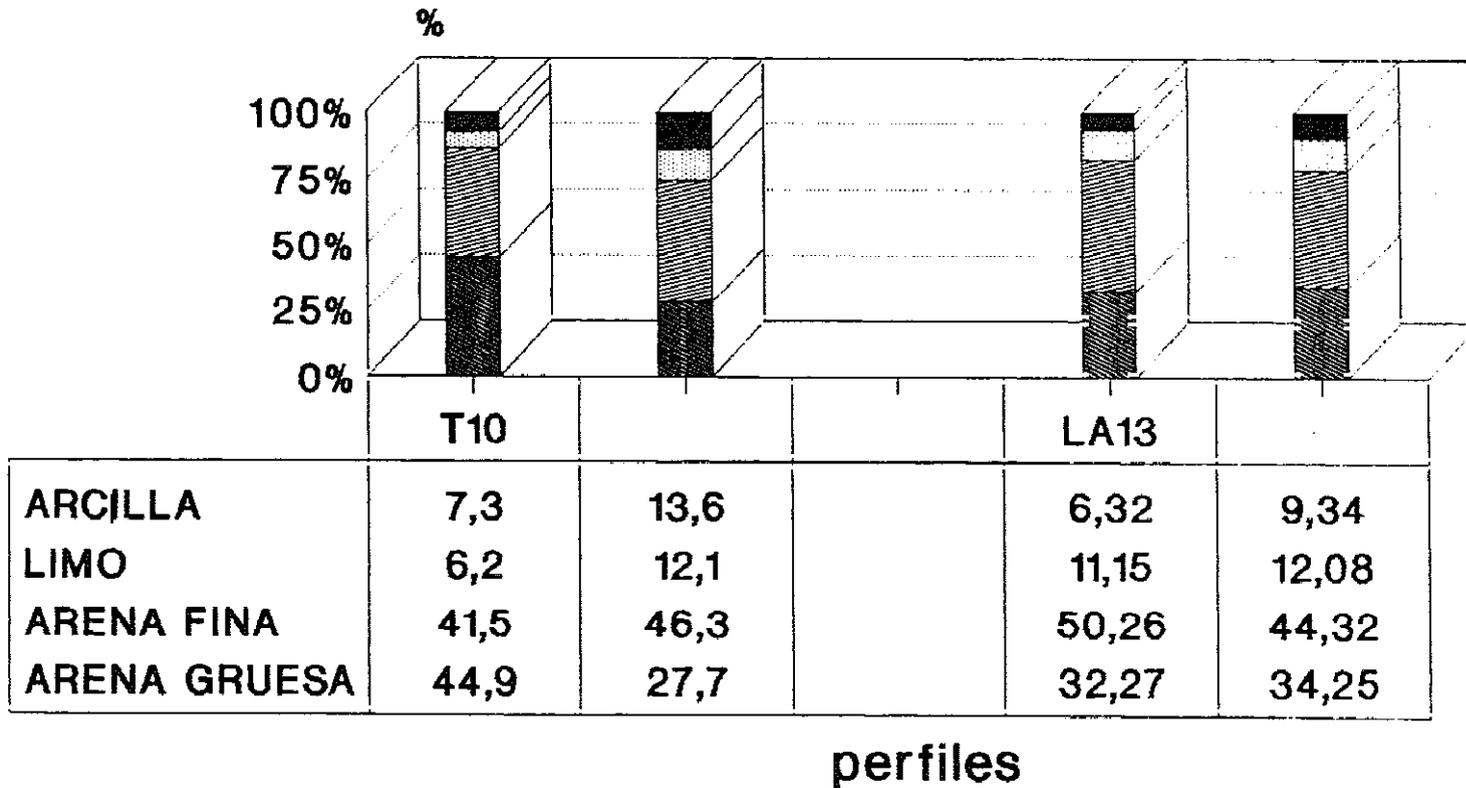


Fig 37. Porcentajes de arenas, limo y arcilla en los distintos horizontes.

# VALORES pH

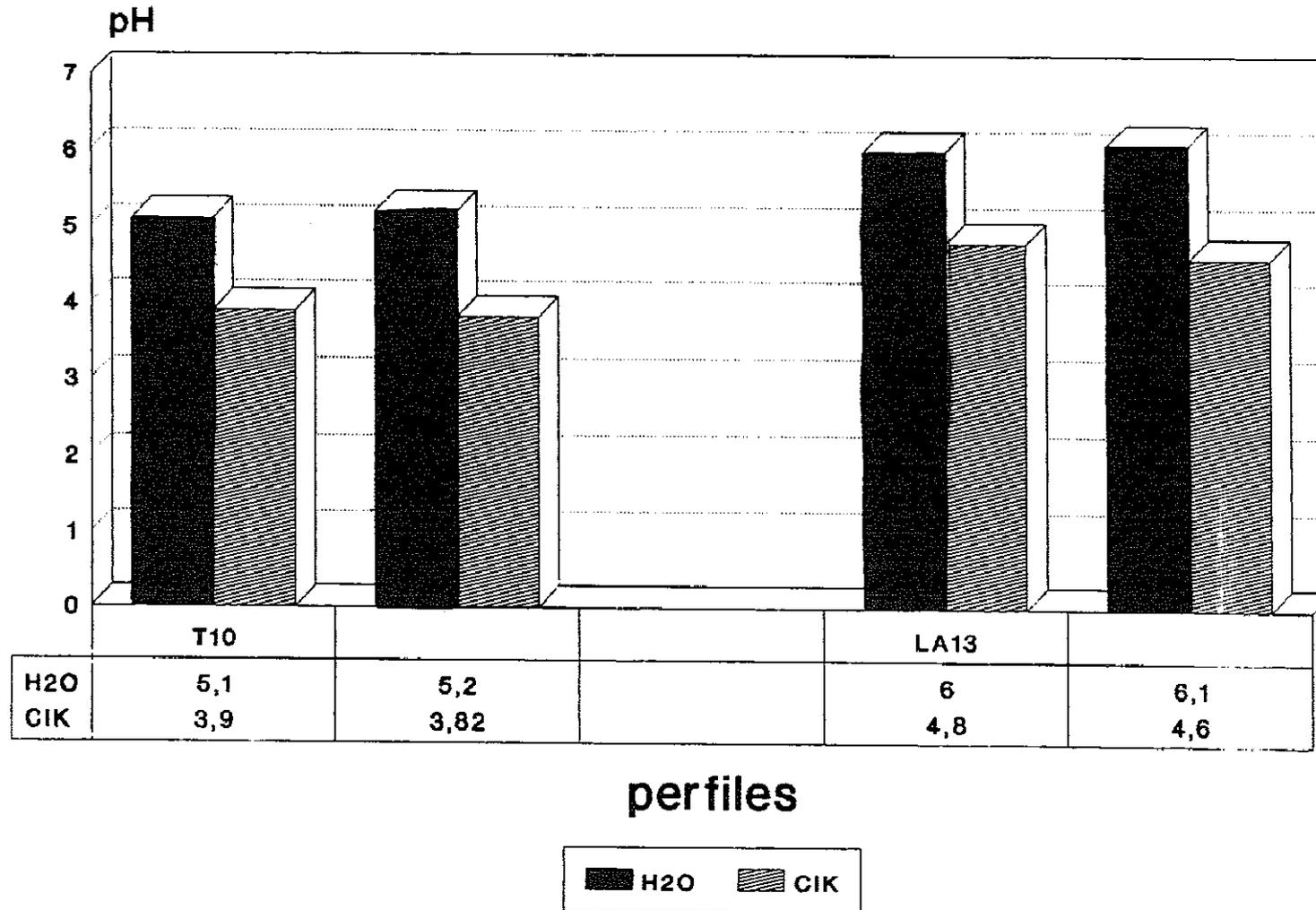


Fig 38. Valores de pH en H<sub>2</sub>O y KCl en los distintos horizontes.

# CARBONO

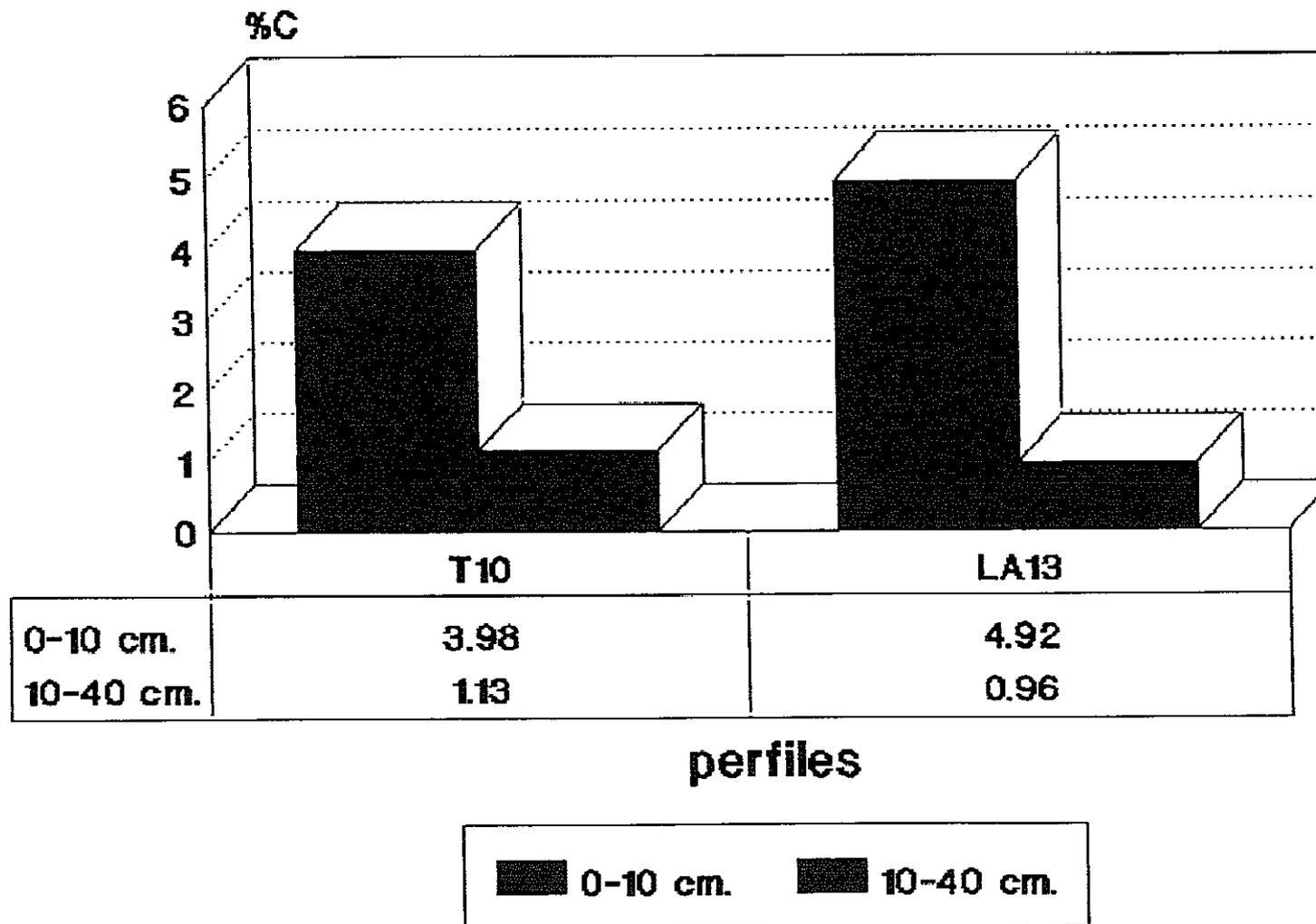


Fig 39. Porcentajes de carbono en los horizontes.

# NITROGENO

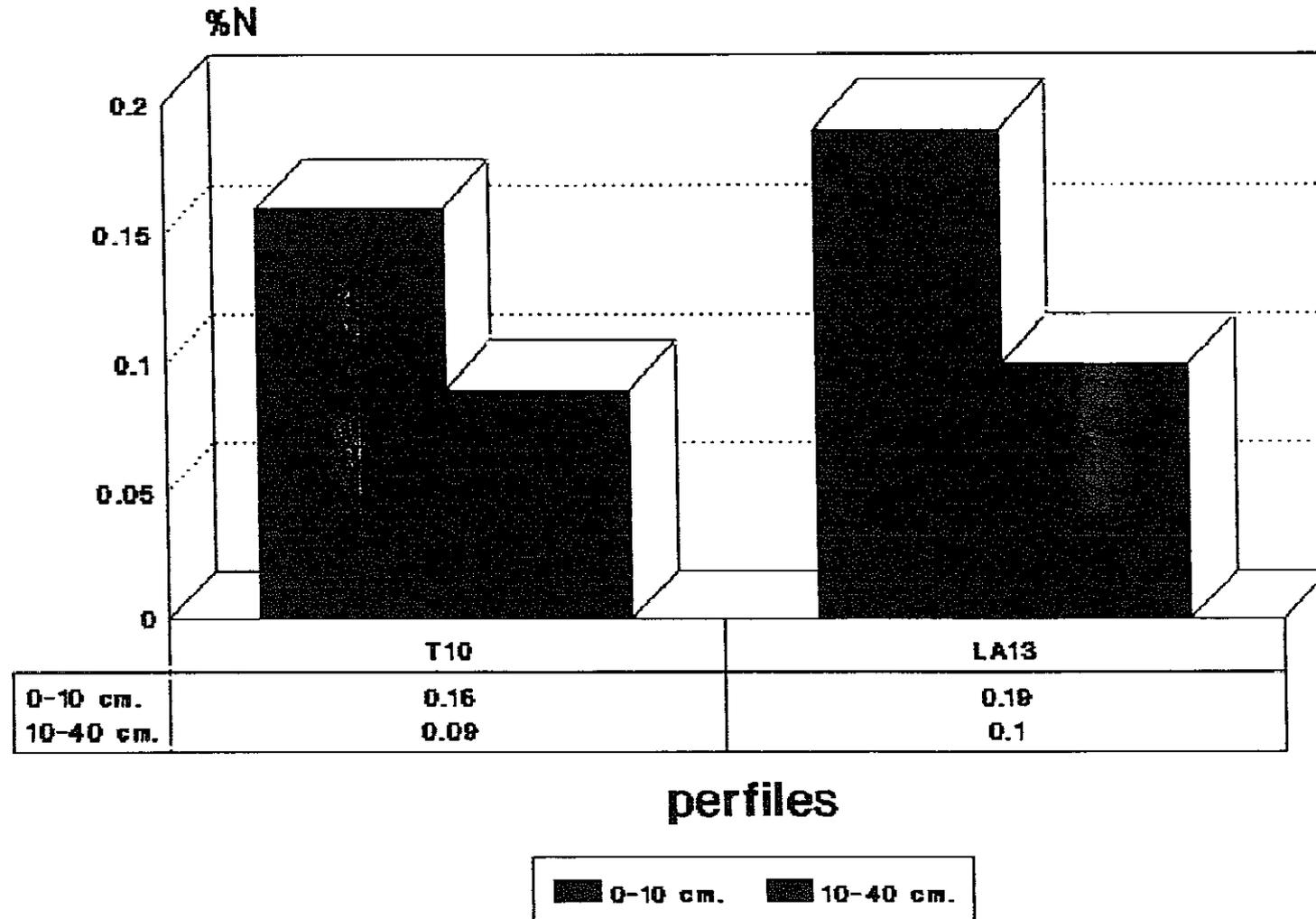


Fig. 40. Nitrógeno en los horizontes de los suelos.

# C/N

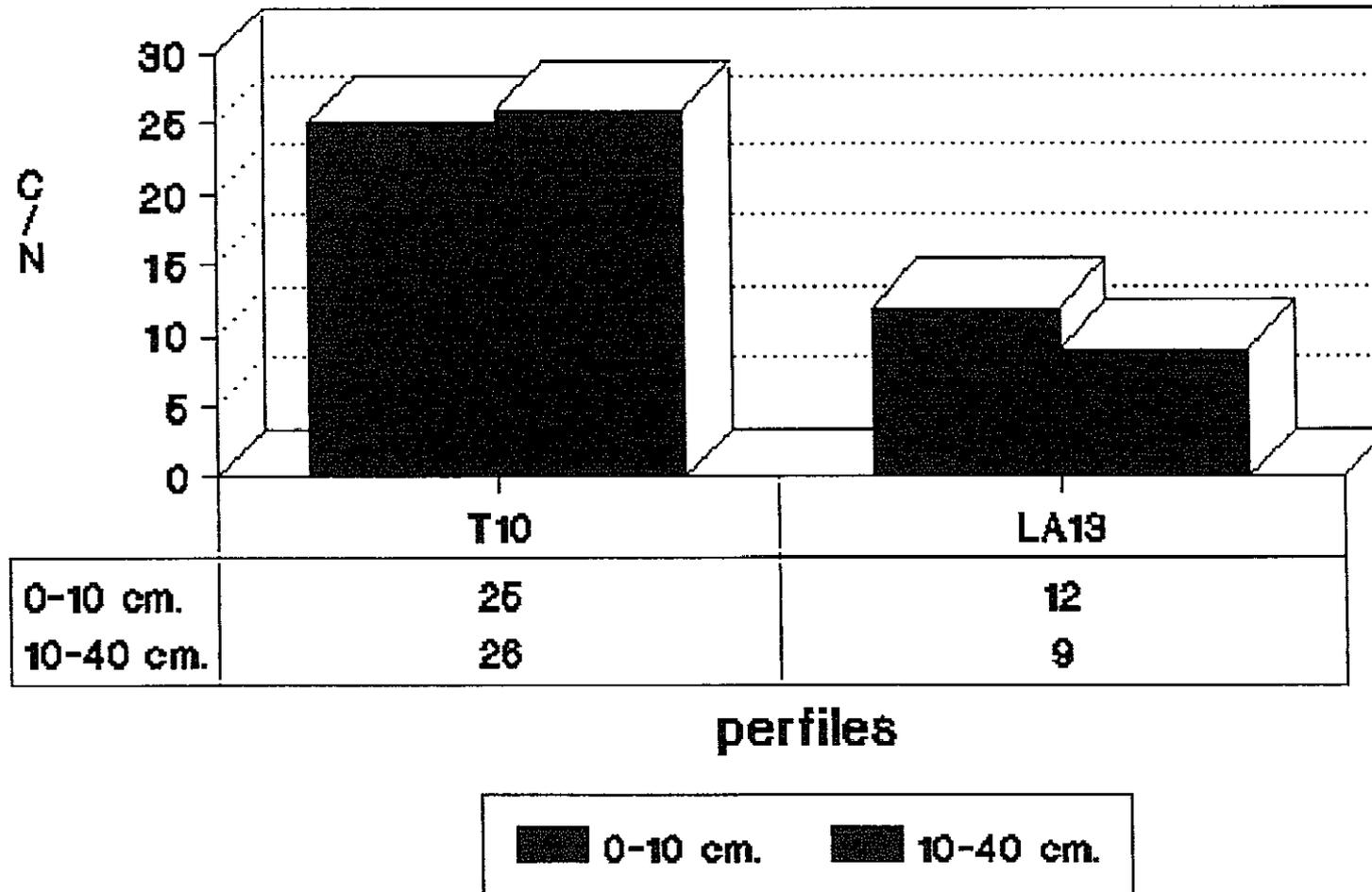
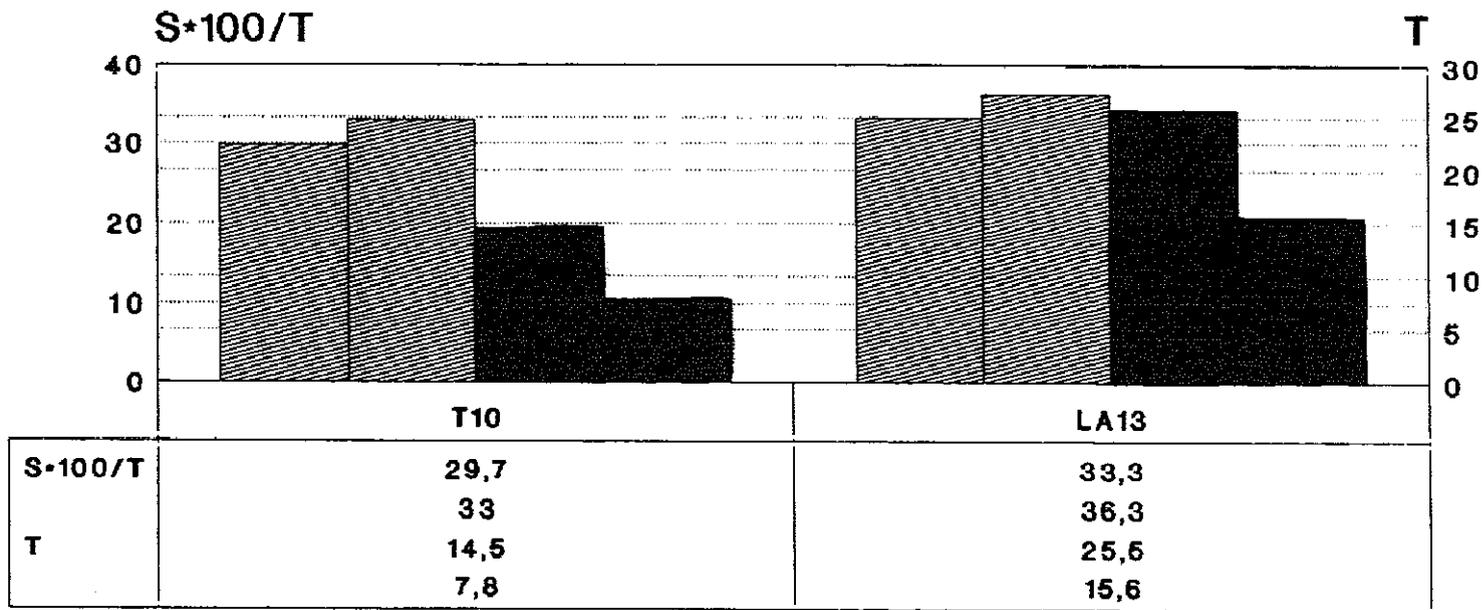


Fig 41. Relaciones carbono a nitrógeno en los distintos horizontes.

# CAPACIDAD DE CAMBIO Y GRADO DE SATURACION



perfiles

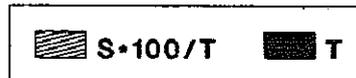


Fig 42. Capacidad total de cambio y grado de saturación en los distintos horizontes.

# CATIONES DE CAMBIO

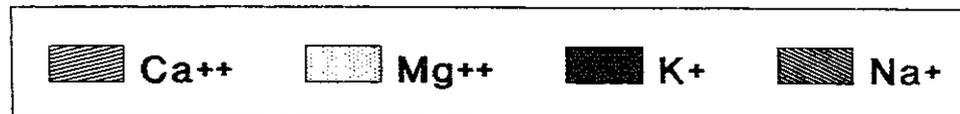
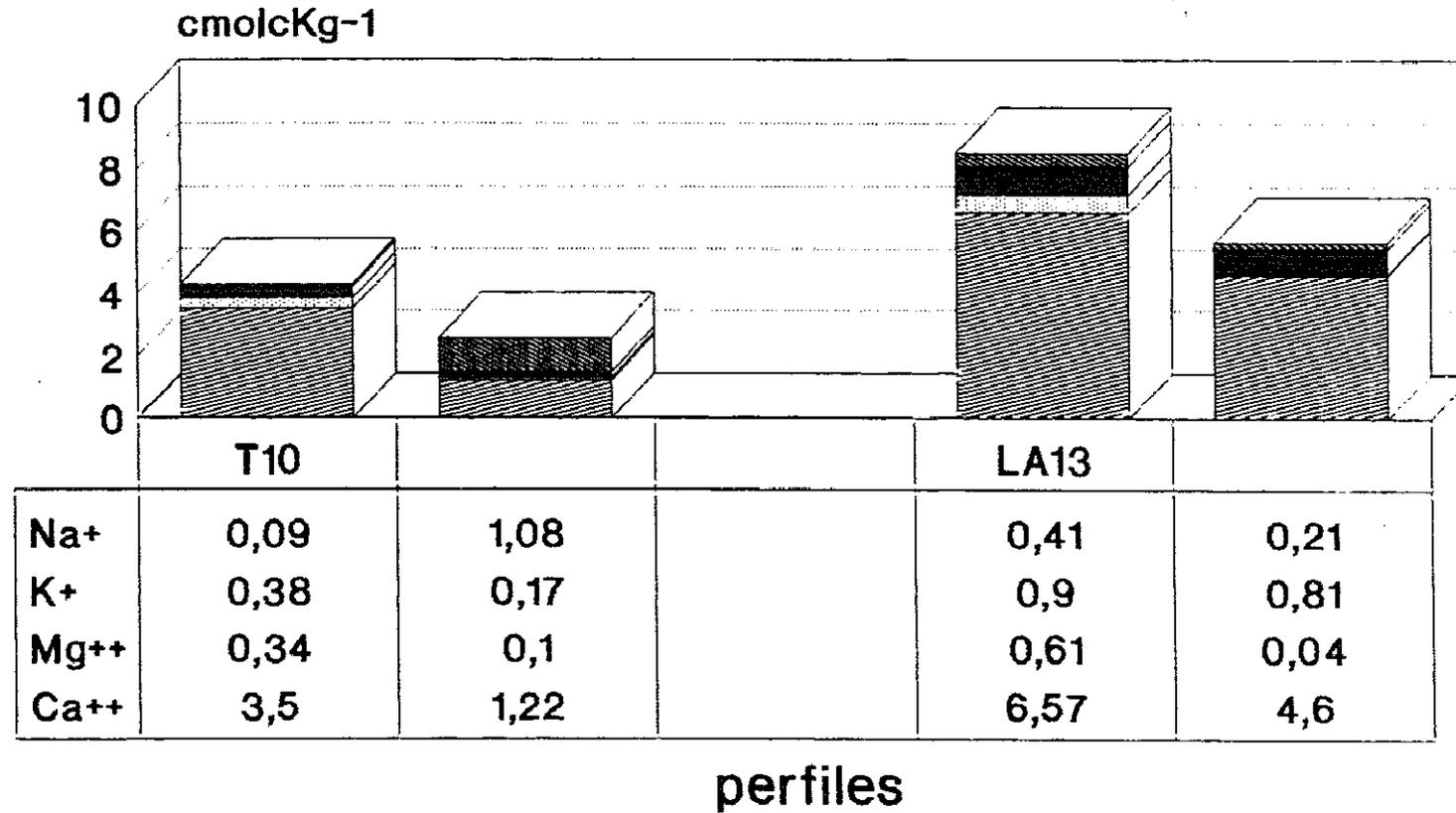


Fig 43. Cationes de cambio del complejo adsorbente en los distintos horizontes de los perfiles.

# HIERRO

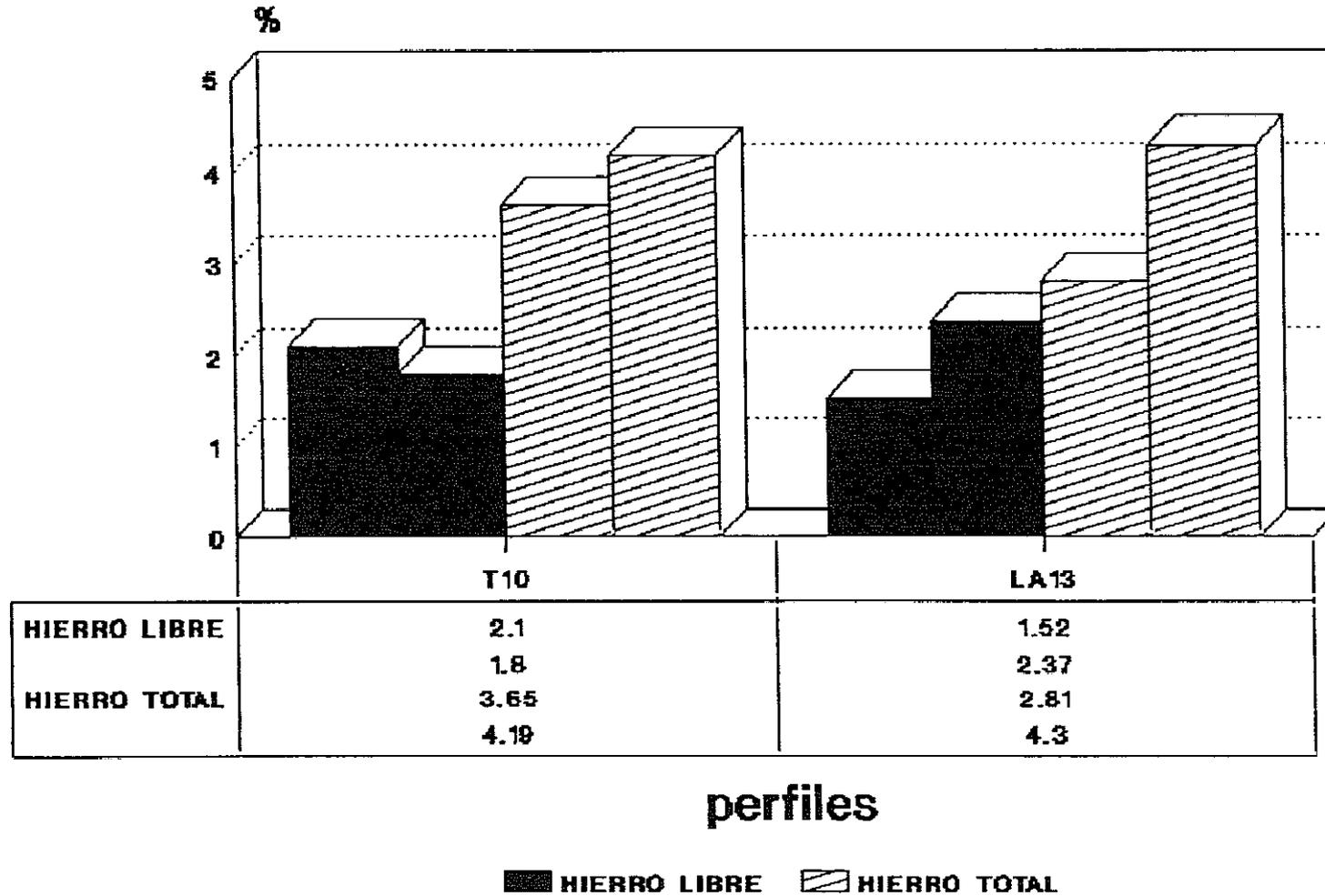


Fig 44.Hierro libre y total en los horizontes

# HIERRO LIBRE/HIERRO TOTAL

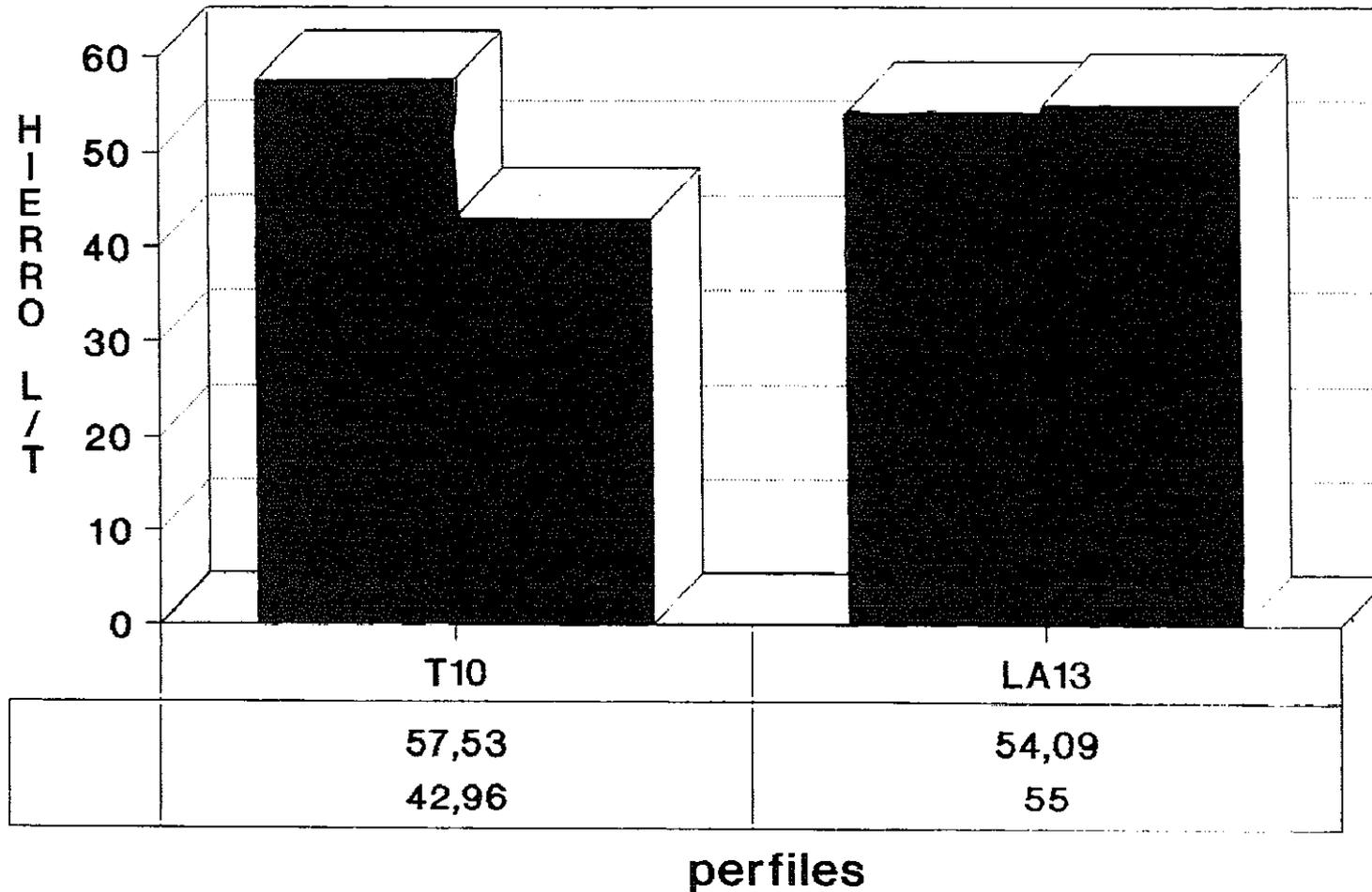


Fig 45. Relaciones hierro libre a hierro total en los distintos horizontes.

SERIE V. ARENA GRUESA

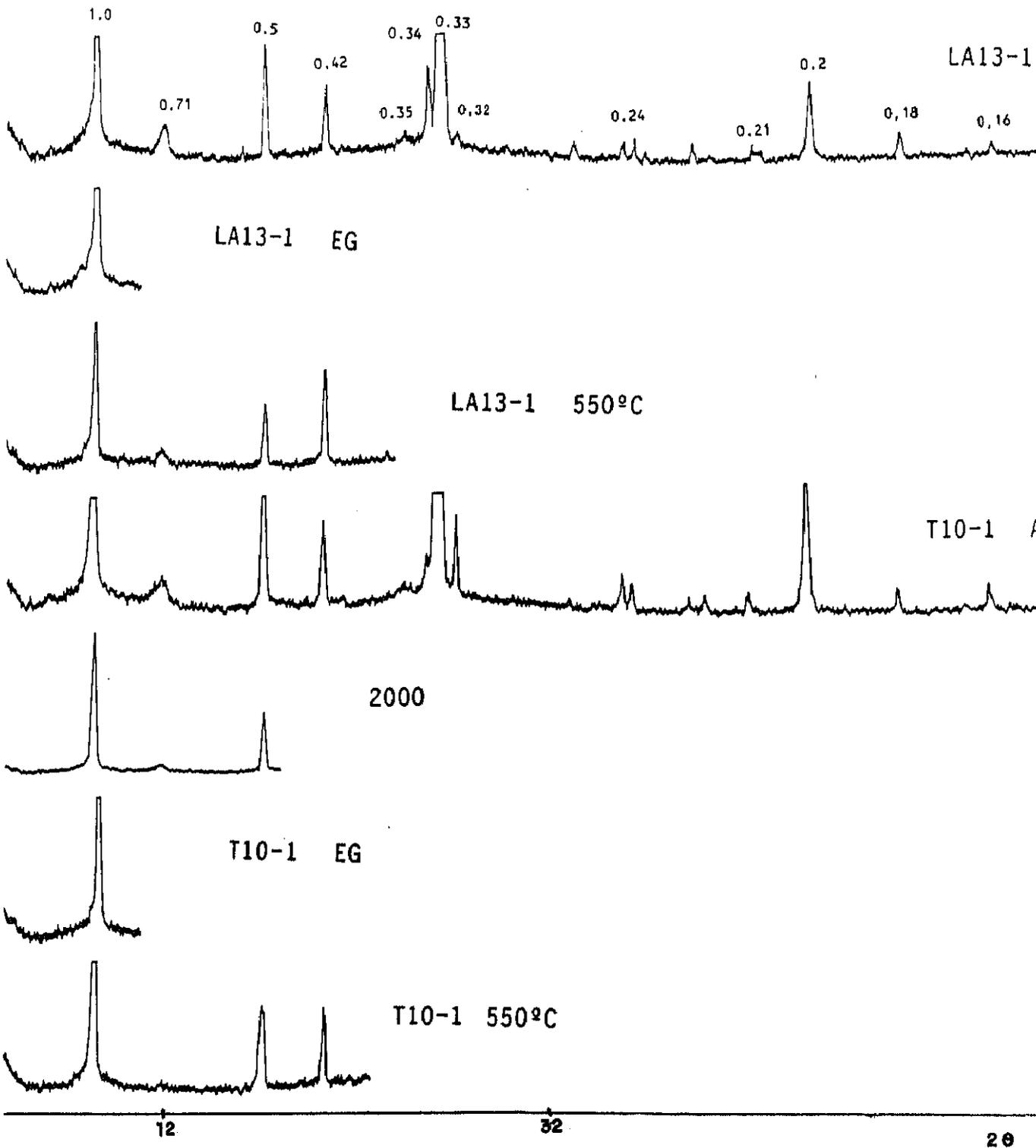


Fig. S 31. Horizontes superficiales

SERIE V. ARENA FINA

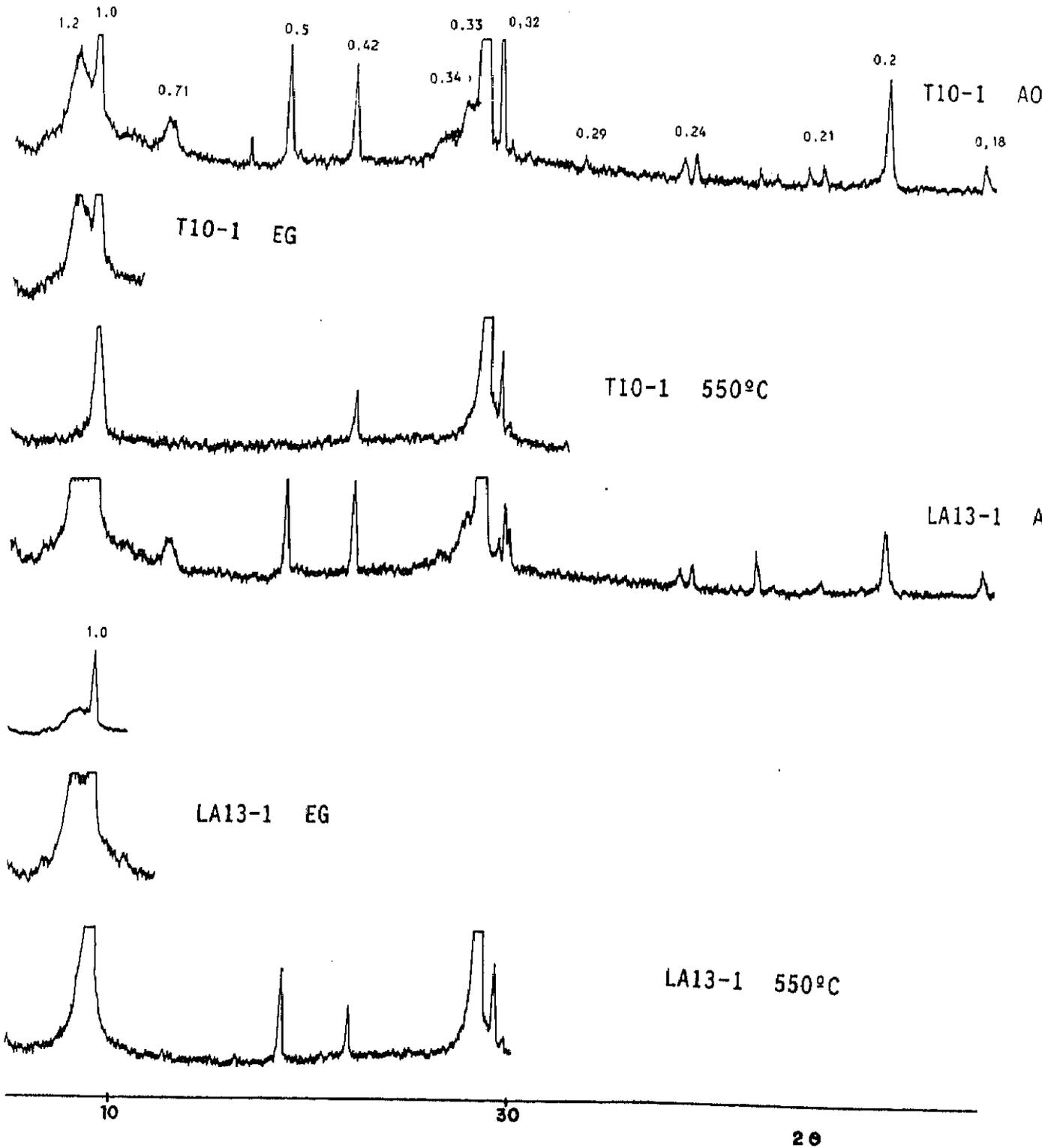


Fig. S 32. Horizontes superficiales

SERIE V. ARCILLA

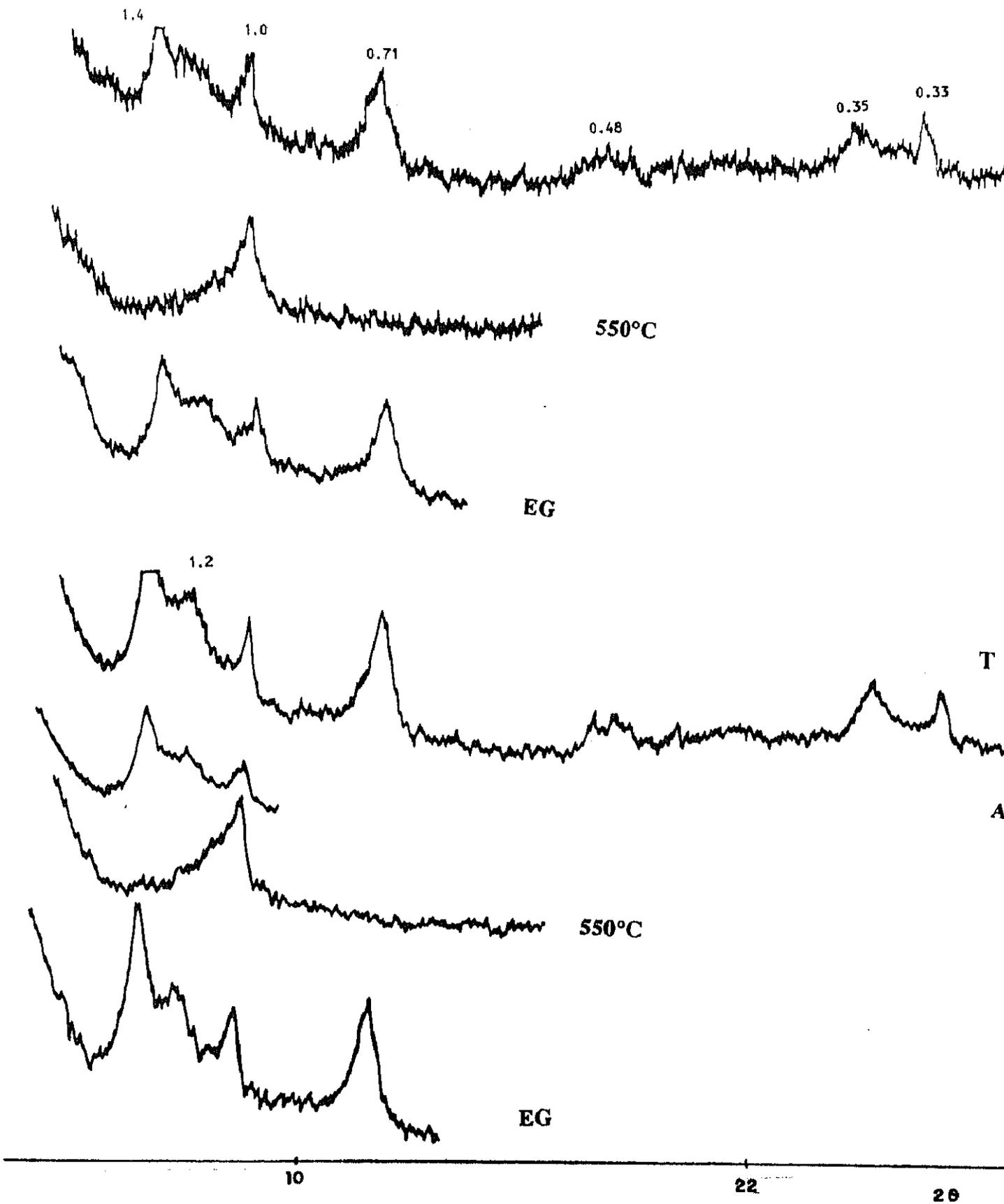


Fig. S 33. Perfil T 10

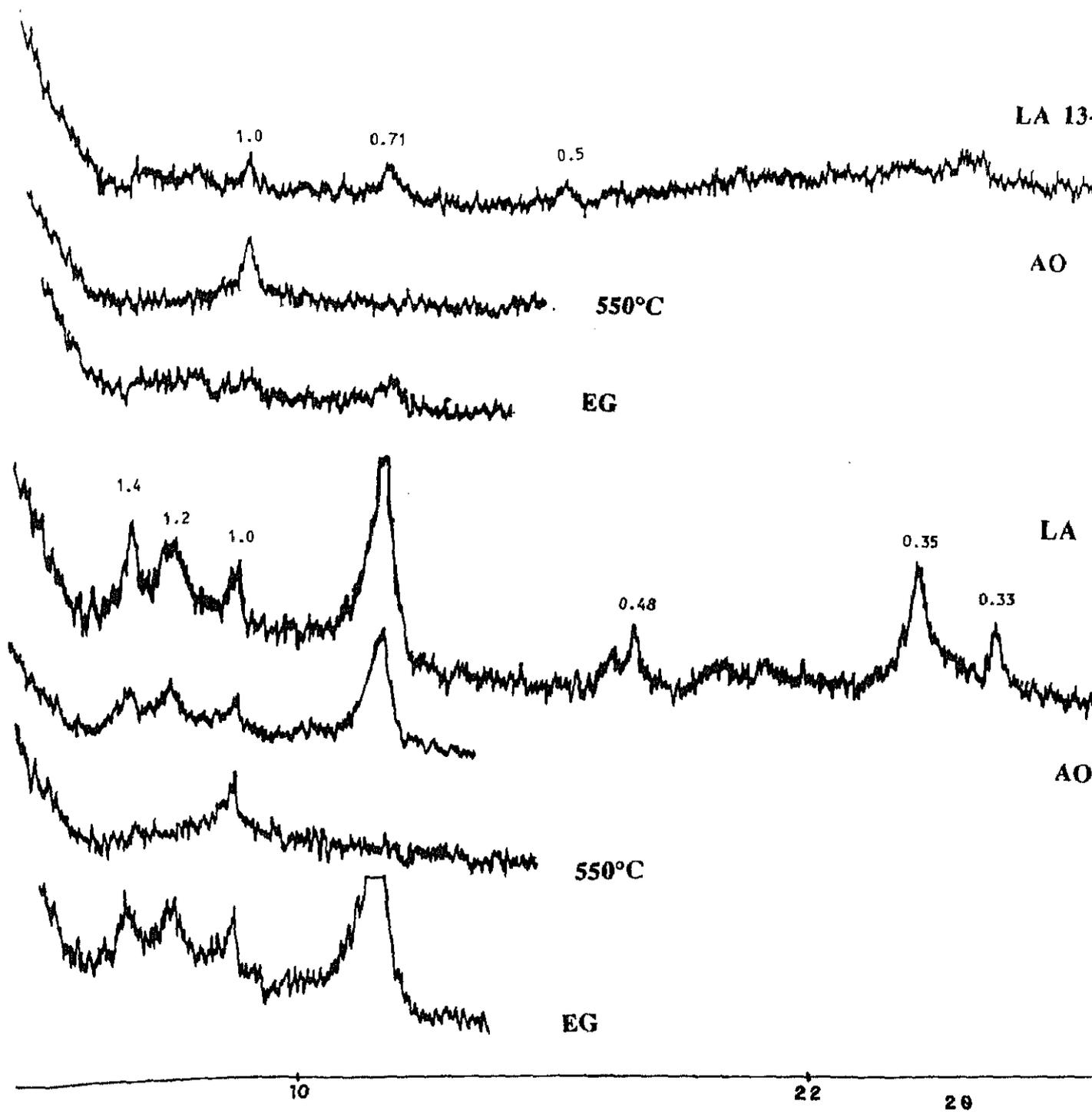


Fig. S 34. Perfil LA 13

6- DISCUSION GENERAL

Se han estudiado dieciocho perfiles de suelos (Cambisoles húmicos y Cambisoles dístricos), localizados en un pinar de repoblación (*Pinus pinaster*) y con clima Mediterráneo templado. Trece de los perfiles han sufrido los efectos de un incendio forestal. La toma de muestras se realiza a los diez meses de un incendio de superficie, que tuvo una duración de diez horas y después de la tala y arrastre de los pinos, no habiéndose registrado lluvias torrenciales en este periodo. Cinco perfiles están sin impactar habiéndose tomado como testigos.

Se han distribuido los perfiles afectados por el incendio en series según distintas altitudes y orientaciones, considerando para cada una de ellas un suelo testigo, con igual altitud y orientación. El material original (esquistos y cuarcitas) es el mismo para todos los perfiles. Las características generales de las series se expresan en la Tabla 6.

**TABLA 6: CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS SERIES**

Serie	Alt(m)	Orientación	Distancia(m)	Pendiente
I	750	N(LA3,LA2,LA1,LA4)	200	25-30%
		NE(LA5,T7)		
II	750	SO	200	25-30%
III	650	N(LA7,LA8)	200-400	25-30%
		NE(T8,LA12)		
IV	650	SO	200	25-30%
V	550	SO	50	20-25%

Se puede apreciar que la pendiente es acusada en todos los perfiles (20-30%), las altitudes se encuentran comprendidas entre 550 a 750 m, como altitud máxima, y la orientación es N-NE en las series I y III y SO en II, IV y V.

Según la distancia al testigo los perfiles siguen la siguiente secuencia en cada una de las series:

SERIE	TESTIGO	IMPACTADOS
I	T7	LA3<LA2<LA1<LA4<LA5
II	T6	LA10<LA6
III	T8	LA7<LA8<LA12
IV	T9	LA11<LA9
V	T10	LA13

En las Tablas 1, 2, 3, 4 y 5, aparecen las características morfológicas de los perfiles de las distintas series, observándose que todos los suelos tienen un Hue 10YR y únicamente en los perfiles T10 y LA13, situados en cotas inferiores, presentan en profundidad un color 7,5YR 4/6, matiz rojizo que no se ha relacionado con el incendio. El value en húmedo y en seco en los suelos afectados generalmente es inferior al del testigo, siendo esta diferencia más acusada en el horizonte superficial a consecuencia de la mayor acumulación de carbón en este nivel, que sera el causante del oscurecimiento del color, con mayor absorción de calor, por ennegrecimiento del horizonte superficial, (Armson, 1979; y García Fayés, 1987), lo que conlleva a una desecación del suelo, por incremento de la evaporación, que se acentúa por la mayor insolación debida a la deforestación. La estructura varía de forma irregular en los horizontes superficiales de los suelos estudiados, no presentando estructura los que morfológicamente aparecen más afectados por el fuego. En cuanto a la consistencia también varía irregularmente en todos estos perfiles, no encontrando diferencias significativas entre suelos testigos e impactados.

La textura es arenosa-franca o franco-arenosa dada la naturaleza y homogeneidad del material original de los perfiles analizados, lo que determina su similar composición granulométrica (Figs. 46 y 47). En la Fig. 48 se representan los resultados del análisis granulométrico de los horizontes superficiales de perfiles testigo, observándose que la

fracción arena es la mayoritaria, siendo bajos los contenidos en arcilla (Tabla 7). Si se compara la media de arena gruesa de horizontes superficiales de los suelos testigo (Fig. 49) con el horizonte superficial de los suelos impactados encontramos que existe una tendencia a disminuir esta fracción en estos últimos (Tabla 7). Respecto a la arena fina (Figura 50), no se detectan diferencias significativas al comparar el horizonte superficial de los suelos afectados con la media de los horizontes superficiales de los testigos. Las proporciones de limo y arcilla (Fig. 51), presentan ligeras variaciones en el horizonte superficial de los perfiles impactados, presentando una tendencia a incrementar, cuando se comparan con los valores medios de horizontes superficiales de testigos (Tabla 7), lo que indica por una parte que no ha existido erosión de esta fracción fina y por otra que ha podido haber un aporte heterogéneo de carbón en las distintas fracciones.

TABLA 7

	A. Gruesa (2-0,2 mm.)		A. Fina (0,2-0,02)		Limo (0,02-0,002)		Arcilla (<0,002 mm.)	
	Impactad	Testigo	Impactad	Testigo	Impactad	Testigo	Impactad	Testigo
MEDIA	29.6	34	45.4	48.6	15.4	10.6	9.5	6.8
VALOR MAX.	45.8	44.9	55.6	52.7	20.8	18	14	8.8
VALOR MIN.	20.2	24	36.5	41.5	6.5	4.5	5.1	5.3

Cuando se estudian los valores de pH en perfiles testigo, se puede ver que son suelos ligeramente ácidos (Figura 52), observando que tiene lugar un incremento del pH tras el incendio (Figura 53). En la Fig. 54 se expresan los valores de pH en agua de horizontes superficiales de perfiles testigo (valores medios) e impactados, poniéndose de manifiesto un incremento en los últimos. Comparando las medias de los valores de pH en agua de los horizontes superficiales en testigos e impactados, se obtiene una diferencia a favor de los segundos de 1,4, estadísticamente significativa ( $p < 0,001$ ); en los subsuperficiales la diferencia es menor 0,65 y también significativa ( $p < 0,01$ ); indicando que después del incendio aumenta el valor de pH en los suelos y aún más en superficie, lo que corrobora todos los resultados encontrados en la bibliografía ( Tarrant, 1956; Plata Astray y Guitian Ojea, 1966; Lobo e Ibañez, 1984; Gonzalez et al., 1992, entre otros. Estas variaciones de pH se deben: al aporte de bases por incineración de la vegetación, a que son retenidas por el complejo adsorbente y al poco tiempo transcurrido desde el incendio.

Los perfiles testigo (Figura 55) presentan contenidos en carbono muy variables en horizontes superficiales consecuencia del mayor o menor aporte de restos vegetales, naturaleza de estos restos y topografía; igual variabilidad se observa en los porcentajes en carbono de los suelos impactados (Figura 56), cuyos contenidos en superficie están comprendidos entre un 4% y 11% (Fig. 57). El valor medio de carbono en horizontes

superficiales de perfiles testigo es 5,6% (eliminando el valor de T8), mientras que en impactados es 7,1%; este aumento puede ser debido a la combustión incompleta, y al aporte de restos vegetales ocasionados como consecuencia de la tala del bosque. Esto concuerda con lo expuesto por distintos autores, entre otros, Díaz Fierros et al. (1982), Ibañez et al (1983), Almendros et al. (1984), Lobo et al. (1984), Forgeard y Frenot (1987), lo que puede dar idea de que el incendio ha sido de baja intensidad, ya que la destrucción total de la materia orgánica por la combustión completa supondría una disminución del carbono.

Si consideramos los porcentajes de nitrógeno de todos los suelos testigos (Figura 58), se puede ver que el perfil T8 es el de mayor contenido en el horizonte superficial. El valor medio es de 0,22%, con un intervalo de 0,29-0,16%. La proporción de este elemento en suelos afectados por el fuego presenta gran variabilidad (Fig. 59). Comparando la proporción de nitrógeno de horizontes superficiales de los suelos más afectados con el valor medio de perfiles testigos (horizonte superficial), se puede observar que existe generalmente una tendencia a incrementar el nitrógeno en los suelos impactados (Fig. 60), con ligerísimo incremento del valor medio con respecto al testigo. Diversos autores Burns (1952), Tarrant (1956), Jorgensen y Wells (1971), Adams y Boyle (1980), Biswell (1989), etc., relacionan el incremento del nitrógeno con incendios de baja intensidad y con el proceso de nitrificación consecuencia del mismo.

Analizando las relaciones carbono a nitrógeno en suelos testigo (Figura 61), se puede observar que para todos los perfiles, a excepción de T8, están comprendidas entre 25 y 28, lo que nos da idea de la naturaleza de la cubierta vegetal con aporte de restos vegetales de lenta humificación y por consiguiente de la existencia de materia orgánica mal humificada con humus de tipo moder; en el perfil T8 la relación C/N es superior a 35 como consecuencia de la acumulación de acículas de pino de muy lenta transformación, y formación de un horizonte con características de horizonte orgánico. En los suelos impactados (Figura 62) se observa una gran variabilidad de las relaciones carbono a nitrógeno de los horizontes superficiales, comparadas con el valor medio de los suelos testigo (horizontes superficiales), esto puede ser debido a las fluctuaciones existentes en los contenidos en carbono como ya se comentó anteriormente, causadas por la mayor o menor intensidad del fuego sobre los distintos perfiles, y por el mayor o menor aporte de restos carbonizados.

En la Figura 64 se expresa la capacidad total de cambio de perfiles testigos, cuyos valores están comprendidos entre  $7 \text{ cmolcKg}^{-1}$  y  $22 \text{ cmolcKg}^{-1}$  (siendo superiores en el perfil T8); después del incendio se incrementa la capacidad total de cambio con intervalo entre  $12 \text{ cmolcKg}^{-1}$  y  $34 \text{ cmolcKg}^{-1}$  (Fig. 65), siendo este aumento superior en superficie como se observa en la Fig. 66, donde se compara el valor medio de los perfiles testigo (exceptuando T8) con los impactados en horizontes superficiales. La mayor capacidad de cambio como consecuencia

del impacto por el fuego, puede ser debida en parte a la alteración sufrida por la fracción mineral, y a la liberación de cargas por destrucción de agregados.

Son suelos desaturados, existiendo una tendencia a incrementar el grado de saturación postincendio, esto concuerda con lo expuesto por la mayoría de los autores, entre otros por Spurr y Barnes (1982).

Los valores de los cationes de cambio de perfiles testigo e impactados, vienen representados en las Figuras 67 y 72, observándose que existe un predominio de  $\text{Ca}^{2+}$  frente a los demás elementos. Cuando se comparan los valores de  $\text{Ca}^{2+}$  de horizontes superficiales de perfiles impactados con el valor medio de testigos (Fig. 69), se observa que existe un aumento en impactados, la media de este catión en horizontes superficiales de perfiles impactados es de  $6,3 \text{ cmolcKg}^{-1}$ , siendo en los testigos de  $3,1 \text{ cmolcKg}^{-1}$ , con una diferencia entre ambos de  $3,2 \text{ cmolcKg}^{-1}$ ; los resultados son estadísticamente significativos ( $p < 0,01$ ). Los valores de este catión en horizontes subsuperficiales de perfiles afectados también son superiores a los correspondientes del testigo, siendo la diferencia entre las medias menor que en horizontes superiores ( $1,63 \text{ cmolcKg}^{-1}$ ) con resultados estadísticamente significativos ( $p < 0,05$ ). Indicando todo ello, que después del incendio, aumenta este catión y fundamentalmente en superficie.

El  $\text{K}^+$  de cambio (Fig. 71) presenta en horizontes

afectados por el incendio con respecto a la media de los testigos para igual profundidad. Al comparar los valores medios de horizontes superficiales de perfiles impactados (57%) y testigos (43%), se obtiene una diferencia entre ambos de 14%, estadísticamente significativa ( $p < 0,01$ ), al profundizar las diferencias son menores (12%) pero también son estadísticamente significativas ( $p < 0,001$ ).

Considerando la relación Fe libre/Fe total como un índice de alteración, los resultados anteriores podrían indicar que la alteración mineralógica como consecuencia del impacto ha sido más acusada en horizontes superficiales.

La composición mineralógica de la fracción arena gruesa de los perfiles objeto de este estudio es similar en términos generales a la de los esquistos (amarillo y rojo), exceptuando la ausencia de gibbsita y presencia de óxidos de hierro en la arena gruesa. Las modificaciones observadas en la reflexión correspondiente a minerales 1:1, que disminuye progresivamente de intensidad a medida que la distancia al testigo aumenta, en las series I y IV, podrían deberse al impacto por el fuego o cambios mineralógicos.

En el estudio de la fracción arena fina, se observa la misma composición mineralógica de la arena gruesa, en cuanto a la existencia de mica-ilita, minerales 1:1, generalmente clorita y como minerales no laminares: cuarzo, feldespatos y óxidos de hierro. Las diferencias mineralógicas de la arena

gruesa y arena fina se manifiestan en la presencia generalizada de interestratificados mica-vermiculita o mica-clorita dioctaédrica, así como por la existencia de vermiculita en la arena fina de algunos perfiles.

Las ligeras modificaciones de las reflexiones de minerales 1:1, en los perfiles impactados de la serie I respecto al testigo, podrían deberse al efecto del fuego. En los perfiles afectados de la serie II se aprecian cambios en la banda de 1,4 a 1,0 nm (interestratificados mica-vermiculita) respecto al testigo, que podrían ser debidas al calor. Por último únicamente en un perfil (LA 12-1) de la serie III, se observa una disminución de la intensidad de la reflexión de minerales 1:1, imputables al efecto del fuego.

Cuando se comparan los difractogramas de la fracción arcilla de horizontes superficiales con los subsuperficiales de los perfiles afectados por la acción del incendio en la serie I, se pueden observar modificaciones en las reflexiones de los minerales en horizontes superficiales: a 0,71 nm aparece la reflexión de minerales 1:1 menos neta e intensa y abierta desde la base en algunos perfiles; la reflexión a 0,48 nm debida a gibbsita desaparece en superficie, este mineral por calentamiento a 150°C se altera, desapareciendo la reflexión que le caracteriza, por lo que se puede considerar como mineral índice de la temperatura alcanzada en los horizontes superficiales de estos suelos, no inferior a 150°C. El perfil LA 5, más alejado del perfil testigo y que se encuentra ubicado

en el centro del incendio, presenta sin embargo similitud en cuanto a la composición mineralógica a lo largo del perfil, sin modificaciones claras en las reflexiones de los minerales de los distintos horizontes, presenta gibbsita en todos sus horizontes, y todo esto nos llevaría a pensar que se ha perdido el horizonte superficial más impactado.

Si se comparan los difractogramas de horizontes superficiales de suelos quemados con el del suelo testigo, se ponen de manifiesto modificaciones en el pico de minerales 1:1, que disminuye de intensidad en los primeros, así como la desaparición de la gibbsita en los impactados, a excepción del perfil LA 5.

En la serie II, al comparar los difractogramas de horizontes subsuperficiales de los suelos afectados respecto al horizonte superficial, se puede observar además de la homogeneidad en la composición mineralógica, las siguientes modificaciones: disminución de la intensidad de la reflexión perteneciente a minerales 1:1 (caolinita) en horizontes superficiales respecto a profundos; desaparición de la gibbsita de horizontes superficiales de impactados y disminución de la intensidad de la reflexión a 1,4 nm (vermiculita) en el perfil LA 10-1, todas estas variaciones podrían deberse al efecto del calor. En el perfil testigo no se observan estas modificaciones, apareciendo gibbsita tanto en horizontes superficiales como profundos. Por lo tanto la desaparición de este mineral en los horizontes superficiales de impactados puede deberse al

efecto del incendio.

La composición mineralógica de los suelos pertenecientes a la serie III es por lo general semejante a las series anteriores, observándose algunas modificaciones al comparar horizontes profundos con superficiales: la reflexión de minerales 1:1 disminuye de intensidad en superficie de impactados, mientras que en el testigo se mantiene con igual intensidad en todos sus horizontes; la gibbsita que existe en todos los horizontes del testigo, no aparece en los horizontes superficiales de los impactados LA 8 y LA 12, pero si lo hace en profundos; en el perfil LA 12 se observa en superficie una disminución de la intensidad de la reflexión a 1,4 nm de vermiculita con incremento acusado del pico a 1,0 nm. Todas las modificaciones anteriormente comentadas pueden ser originadas por el incendio.

En la serie IV no se observan las modificaciones existentes en otras series respecto a las reflexiones de minerales 1:1; con relación a la gibbsita existe en todos los horizontes de los perfiles testigo y del impactado LA 11 y únicamente desaparece del horizonte superficial del perfil LA 9, lo que podría atribuirse al impacto del fuego.

En la serie V, cuando comparamos horizontes superficiales con profundos se aprecia una disminución en la intensidad de la reflexión de minerales 1:1 y del pico a 1,4 nm, así como desaparición de gibbsita del horizonte superficial del perfil

afectado LA 13, mientras que en el testigo no se encuentran modificaciones, apreciando la gibbsita a lo largo del perfil, lo que hace pensar que estas modificaciones puedan ser causadas por el incendio.

Del estudio comparativo de los difractogramas de horizontes superficiales con profundos, tanto en perfiles testigos como impactados, se puede deducir que:

Todos los perfiles testigos (T 6, T 8, T 9 y T 10) a excepción del T 7 (serie I), así como en todos los perfiles impactados LA 3, LA 4, LA 5, LA 11 y LA 9, presentan con la misma intensidad las reflexiones de minerales 1:1, en los distintos horizontes. La intensidad de la reflexión de minerales 1:1 disminuye en el horizonte superficial de los perfiles LA 2, LA 1, LA 10, LA 6, LA 7, LA 8, LA 12 y LA 13, lo que puede ser atribuido al incendio.

Respecto a la reflexión a 0,48 nm atribuida a gibbsita, existe en todos los horizontes de los perfiles testigo, así como en los impactados LA5 y LA 11, ambos posiblemente afectados por erosión; este mineral no aparece en horizontes superficiales y sí en profundos de los perfiles impactados: LA2, LA 1, LA 4, LA 10, LA 6, LA 8, LA 12, LA 9 y LA 13, quedando patente que el efecto por el calor sólo se pone de manifiesto en horizontes superficiales, alcanzando una temperatura no inferior a 150°C (temperatura a la cual desaparece la gibbsita). Dada la pequeña conductividad calorífica del suelo, hace

que este mineral permanezca en horizontes profundos. En los perfiles LA 3 y LA 7, no aparece gibbsita en ningún horizonte.

La reflexión a 1,4 nm varía de forma irregular tanto en testigos como en impactados cuando se comparan horizontes superficiales y profundos, observándose en algunos perfiles una disminución de la intensidad de la reflexión a 1,4 nm de vermiculita con incremento del pico a 1,0 nm.

En cuanto a los óxidos de hierro, algunos autores han relacionado la formación de maghemita en suelos que han sufrido el impacto de un incendio se relaciona con condiciones reductoras, presencia de materia orgánica y existencia de minerales ferruginosos (Lepidocrocita, Al-goetita, etc.) (Stucki et al., 1988). La lepidocrocita ( $\gamma$  FeOOH) mineral menos frecuente en suelos que la goetita y hematites, parece ser indicativo de condiciones hidromórficas particularmente en aquellos suelos con elevados contenidos en arcillas y sin carbonatos (Schwermann y Taylor 1977). Gimeno Camacho (1987) y Fernandez et al. (1988) relacionaron la aparición de lepidocrocita después de un incendio, con condiciones de humedad por degradación de la estructura del suelo y la subsiguiente impermeabilidad de estos horizontes contribuyendo a ello el efecto hidrófobo ejercido por las cenizas. En los suelos objeto de estudio aparece irregularmente en horizontes superficiales y profundos de algunos testigos e impactados sin que se pueda relacionar con el incendio.

# ANALISIS GRANULOMETRICO

## SUELOS TESTIGO

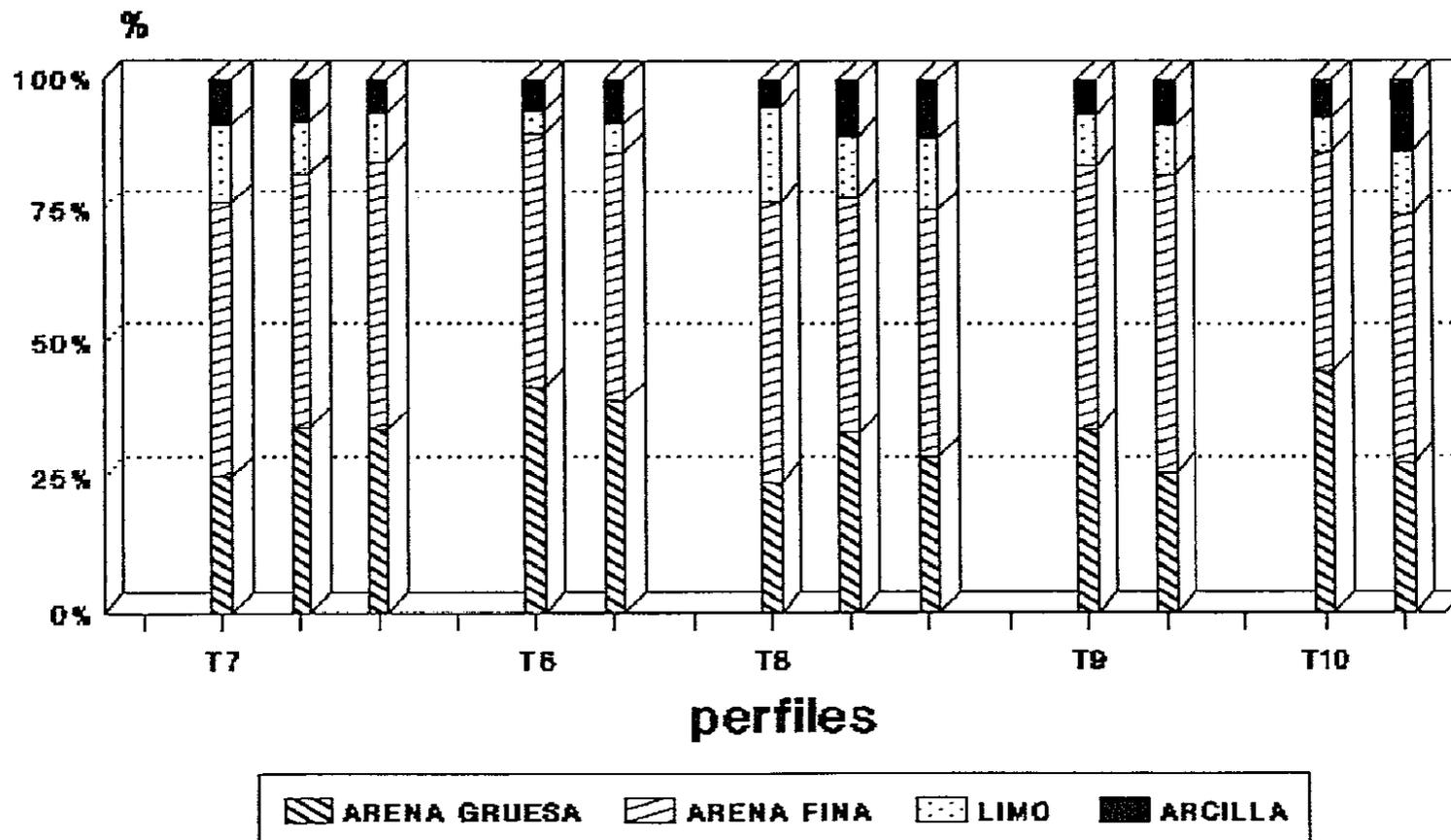


Fig 46. Porcentajes de arenas, limo y arcilla en los distintos horizontes de suelos testigo.

# ANALISIS GRANULOMETRICO SUELOS IMPACTADOS

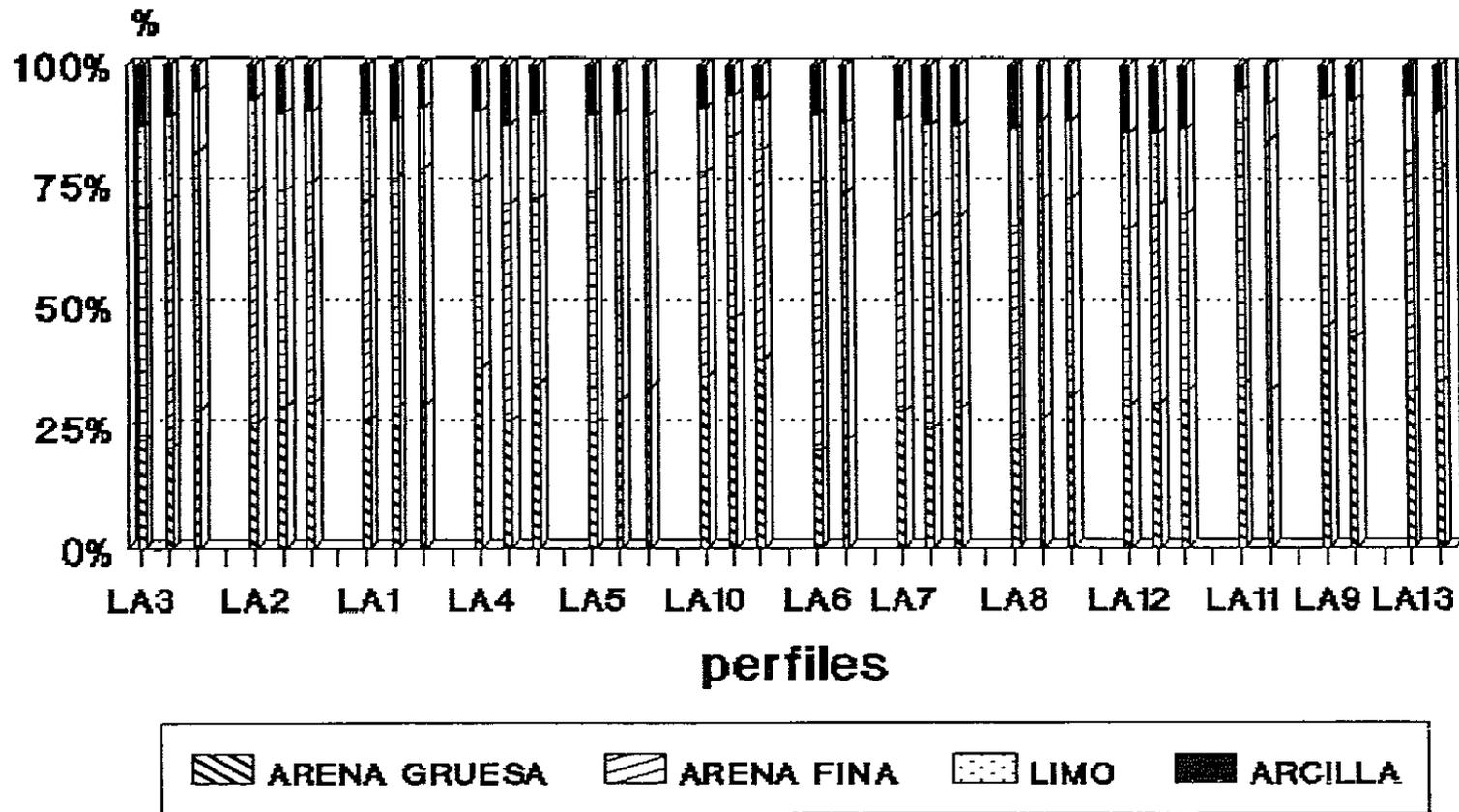


Fig 47. Porcentajes de arenas, limo y arcilla en los distintos horizontes de suelos quemados.

# ANALISIS GRANULOMETRICO SUELOS TESTIGO

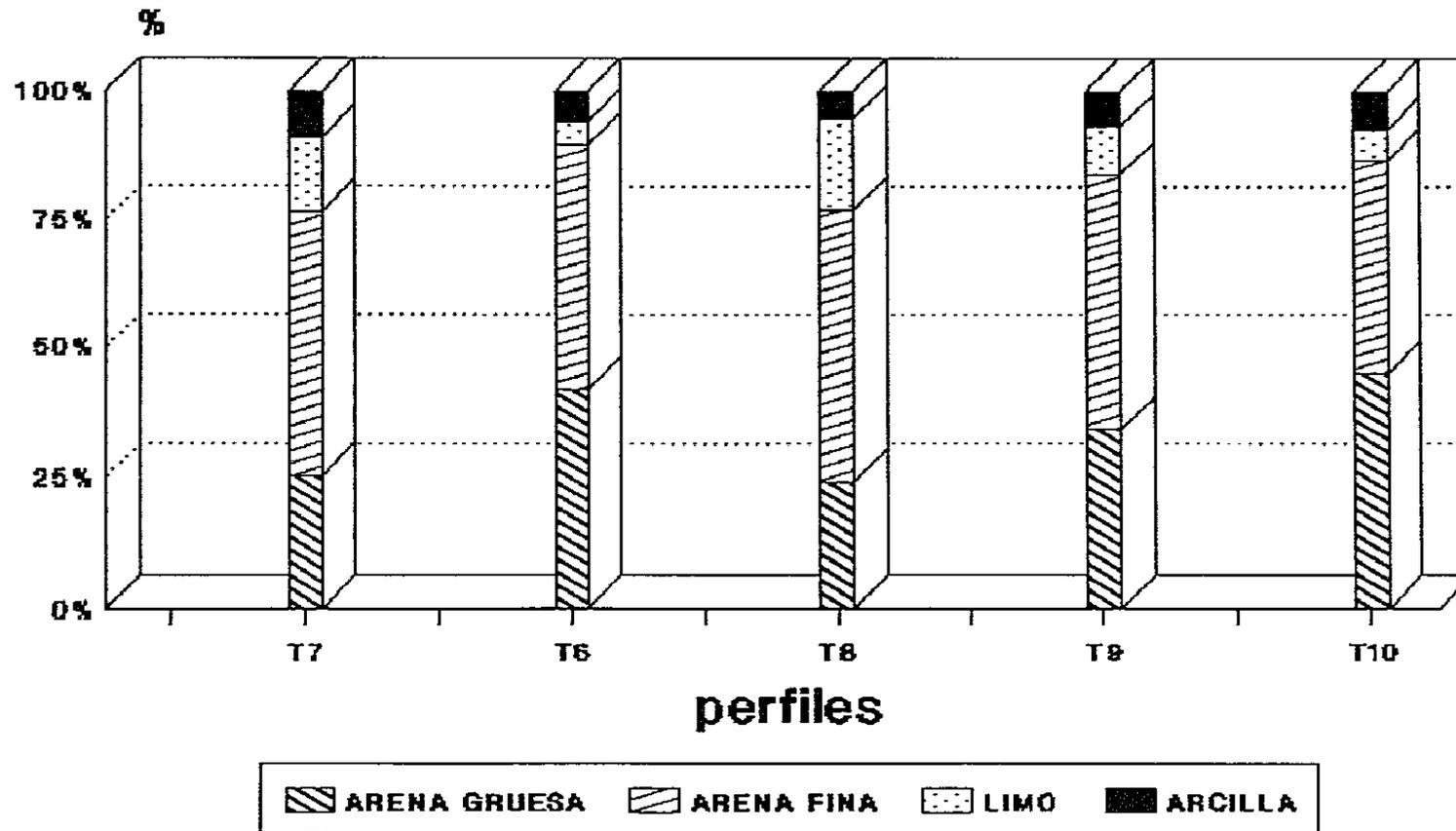


Fig 48. Porcentajes de arenas, limo y arcilla en el horizonte superficial de los suelos testigo.

# ANALISIS GRANULOMETRICO

## ARENA GRUESA (HORIZONTE SUPERFICIAL)

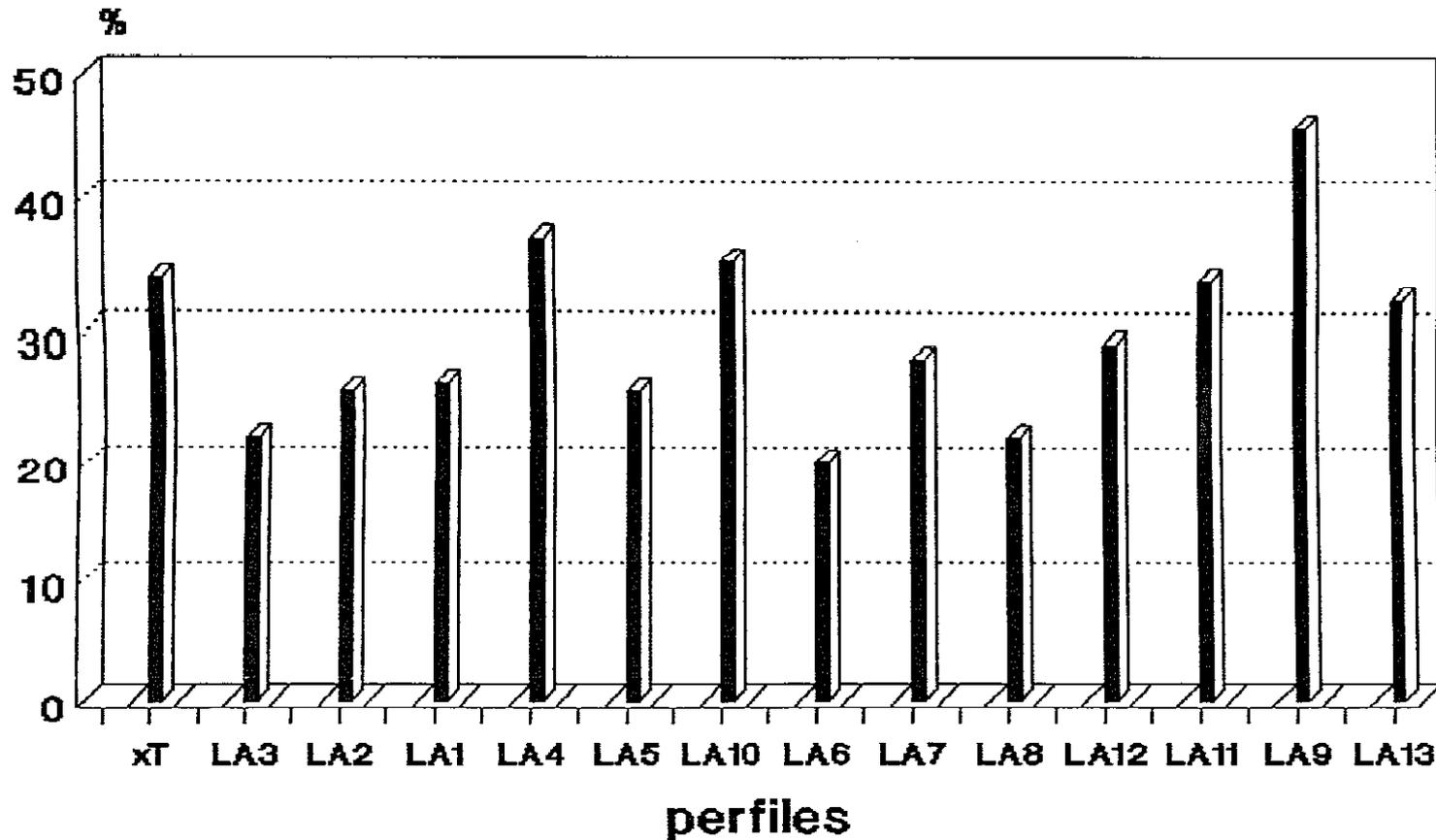


Fig. 49. Porcentajes de arena gruesa en

# ANALISIS GRANULOMETRICO

## ARENA FINA (HORIZONTE SUPERFICIAL)

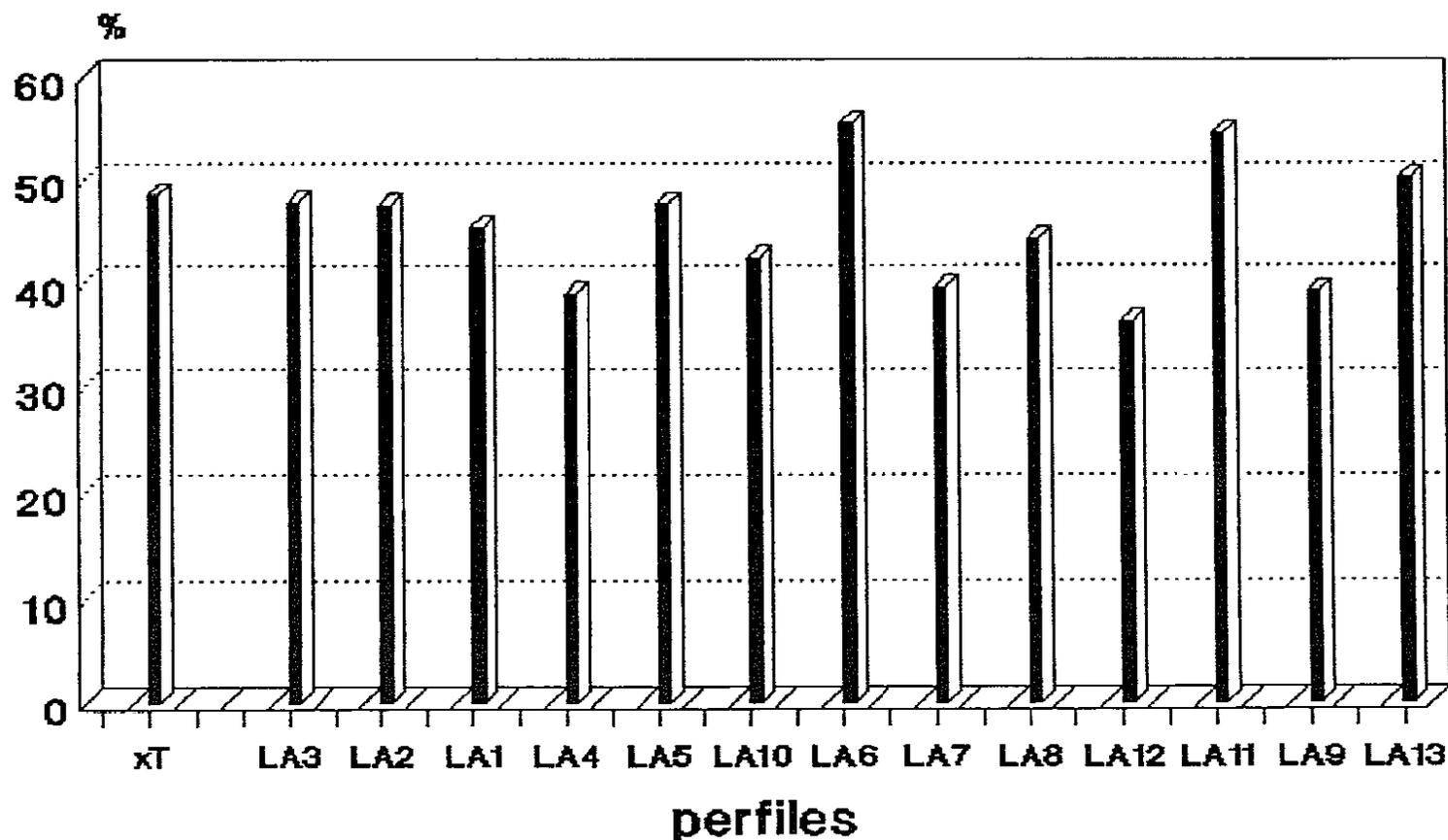


Fig 50. Porcentajes de arena fina en la media de los suelos testigo e impactados (Horizonte superficial).

# ANALISIS GRANULOMETRICO

## LIMO Y ARCILLA (HORIZONTE SUPERFICIAL)

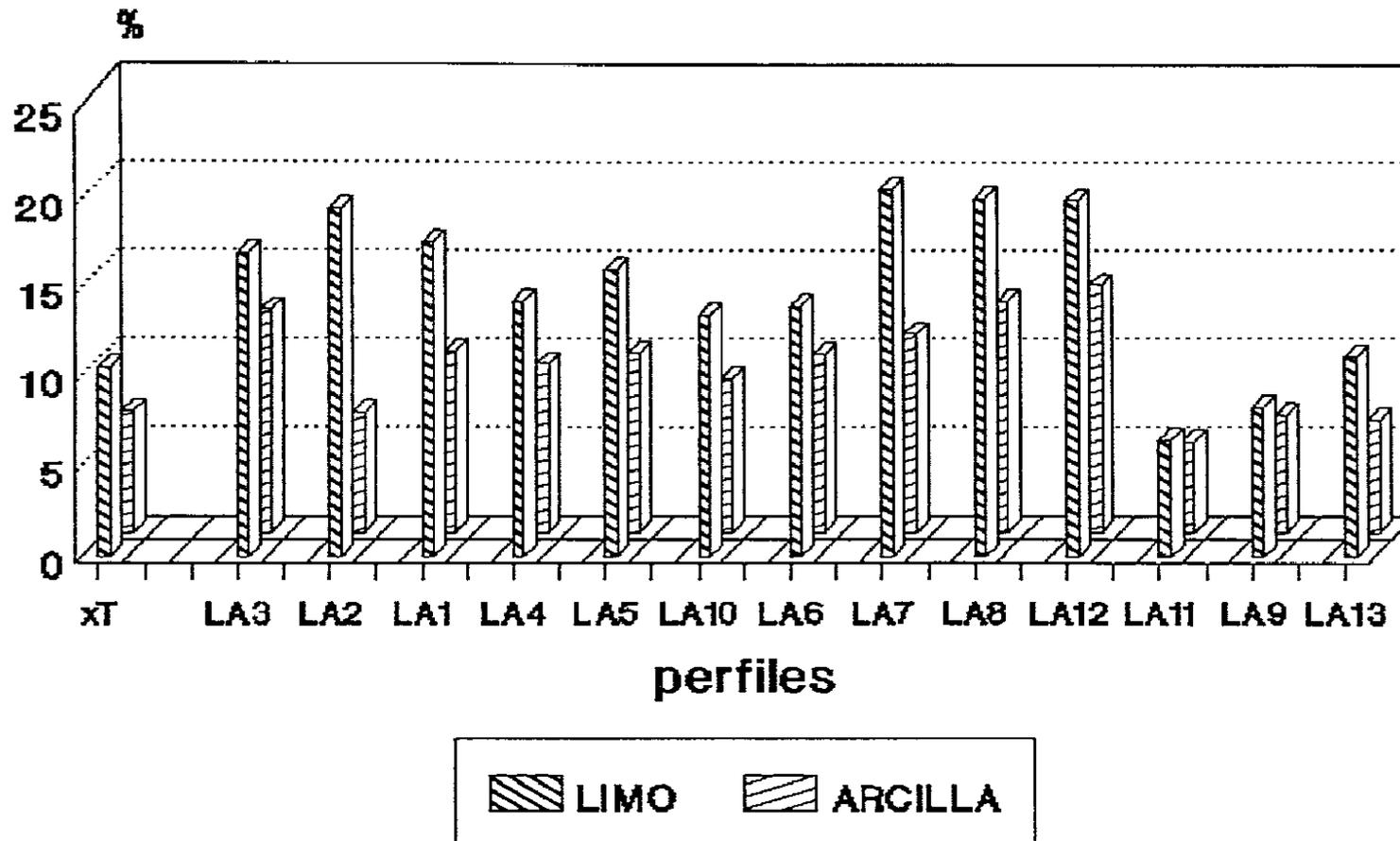


Fig 51. Porcentajes de limo y arcilla en la media de los suelos testigo e impactados (Horizonte superficial).

# VALORES pH SUELOS TESTIGO

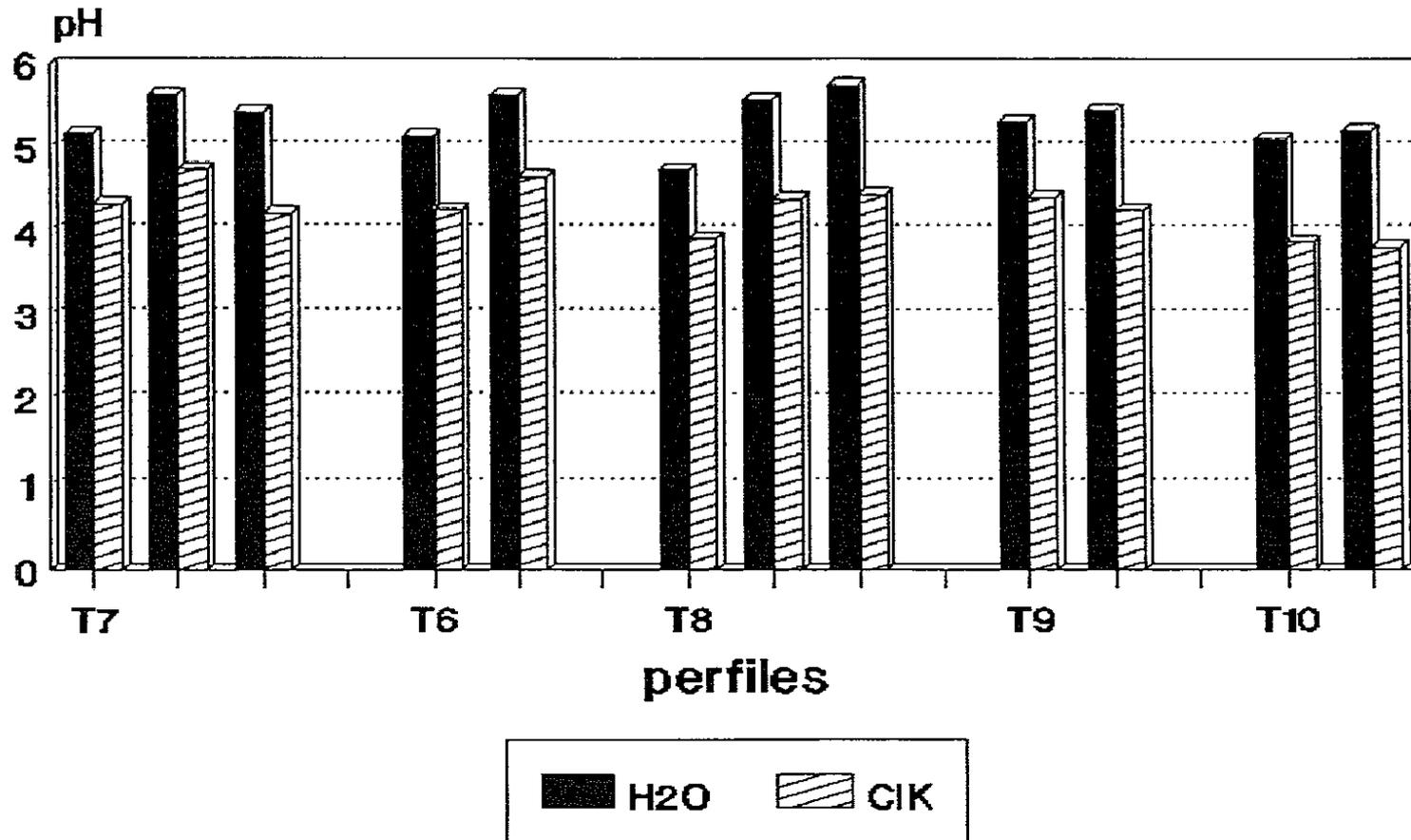


Fig52. Valores de pH en H2O y KCl en los distintos horizontes.

# VALORES pH SUELOS IMPACTADOS

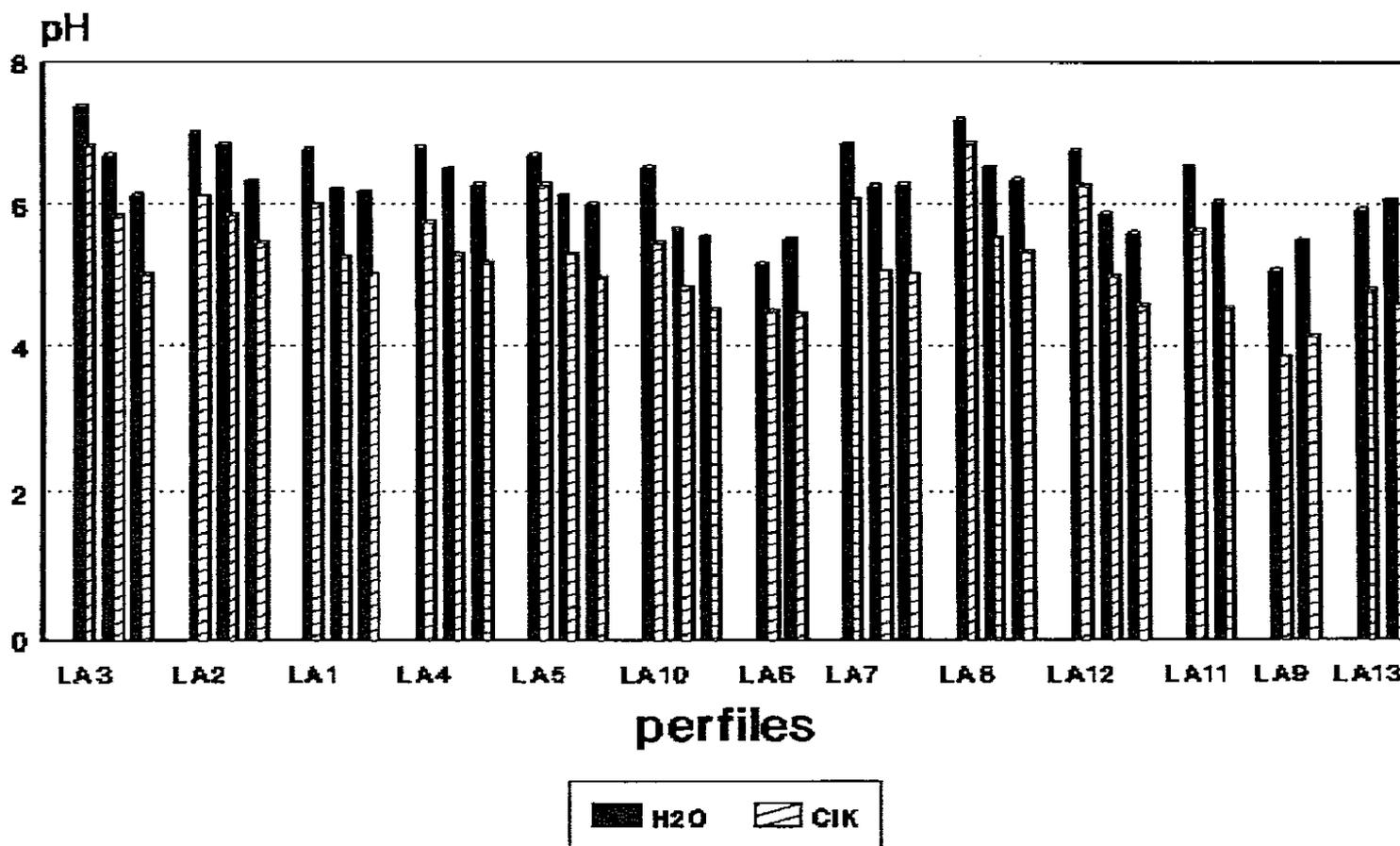


Fig 53. Valores de pH en H<sub>2</sub>O y KCl en los distintos horizontes.

# VALORES pH HORIZONTE SUPERFICIAL

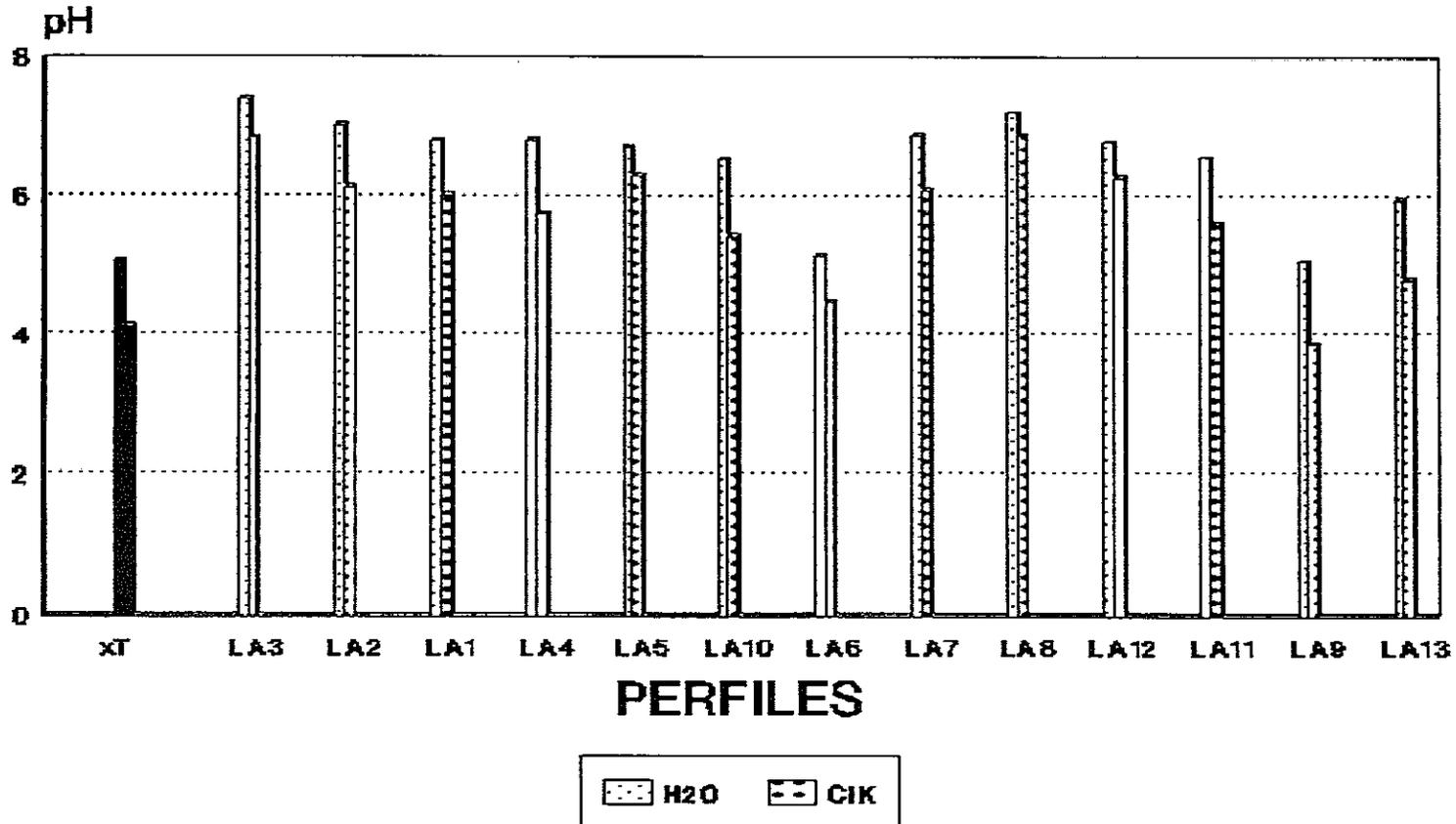


Fig 54. Valores de pH en H<sub>2</sub>O y KCl en la media de los suelos testigo e im

# CARBONO SUELOS TESTIGO

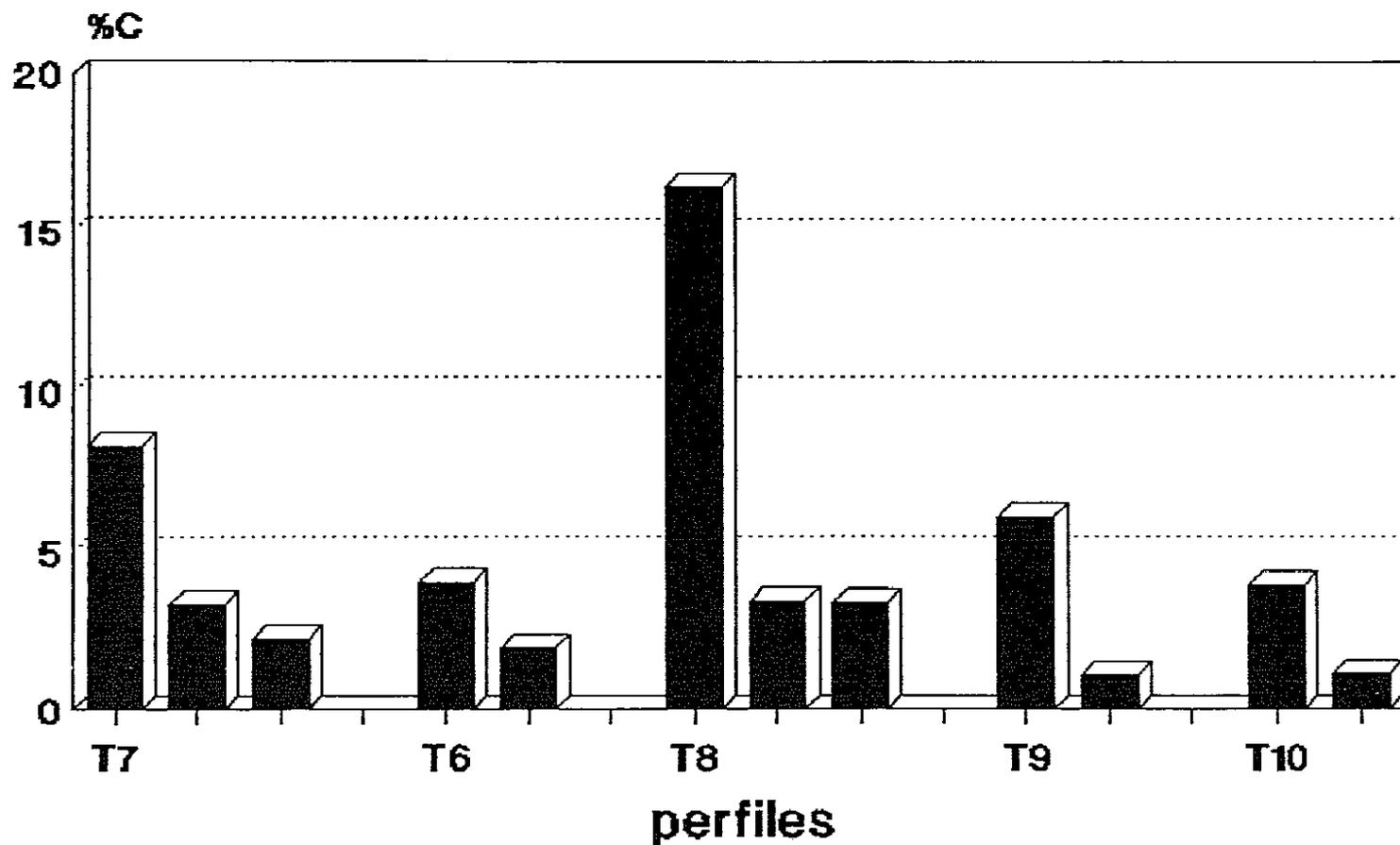


Fig 55. Porcentajes de carbono en los horizontes.

# CARBONO SUELOS IMPACTADOS

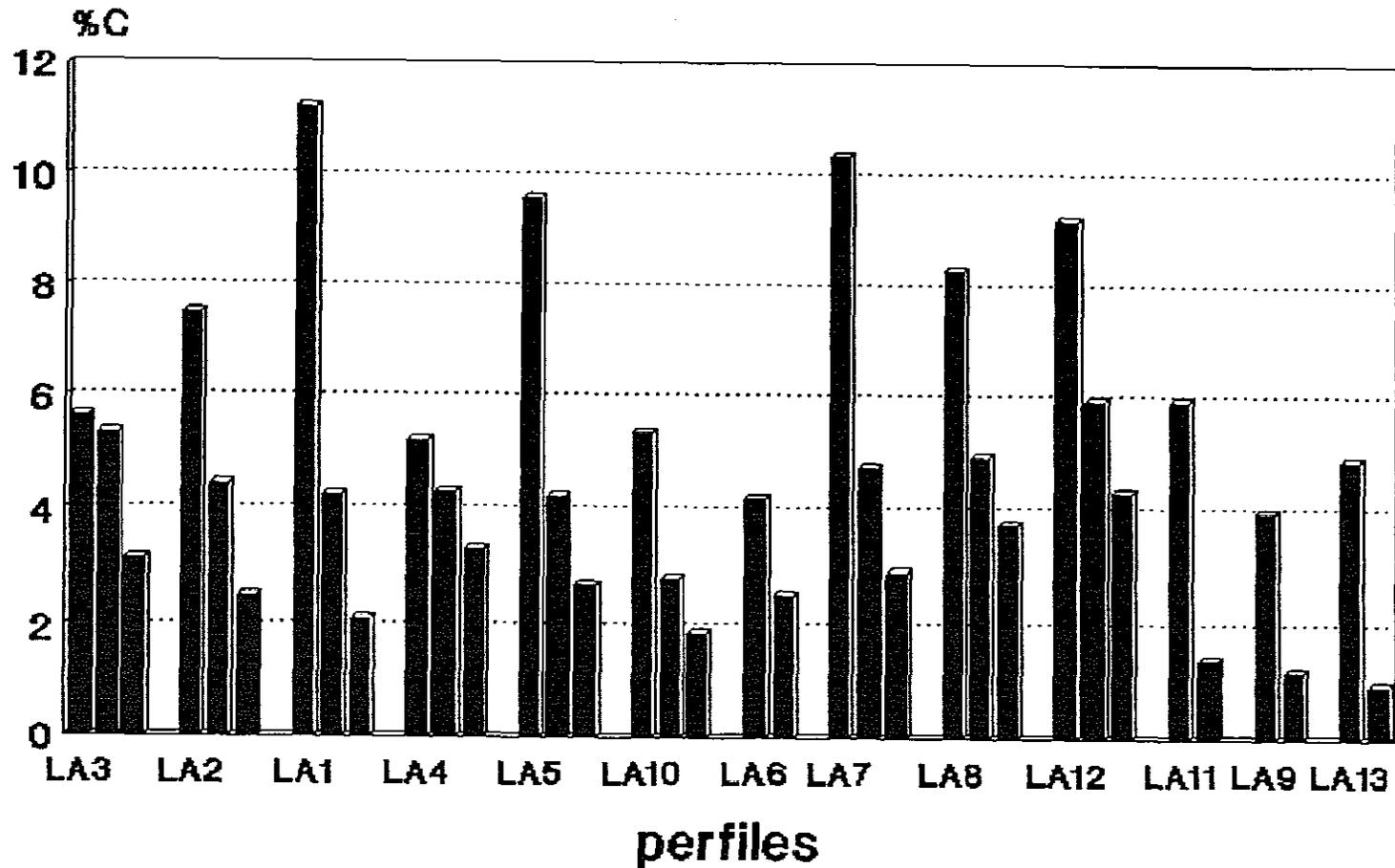


Fig 56. Porcentajes de carbono en los horizontes.

# CARBONO HORIZONTE SUPERFICIAL

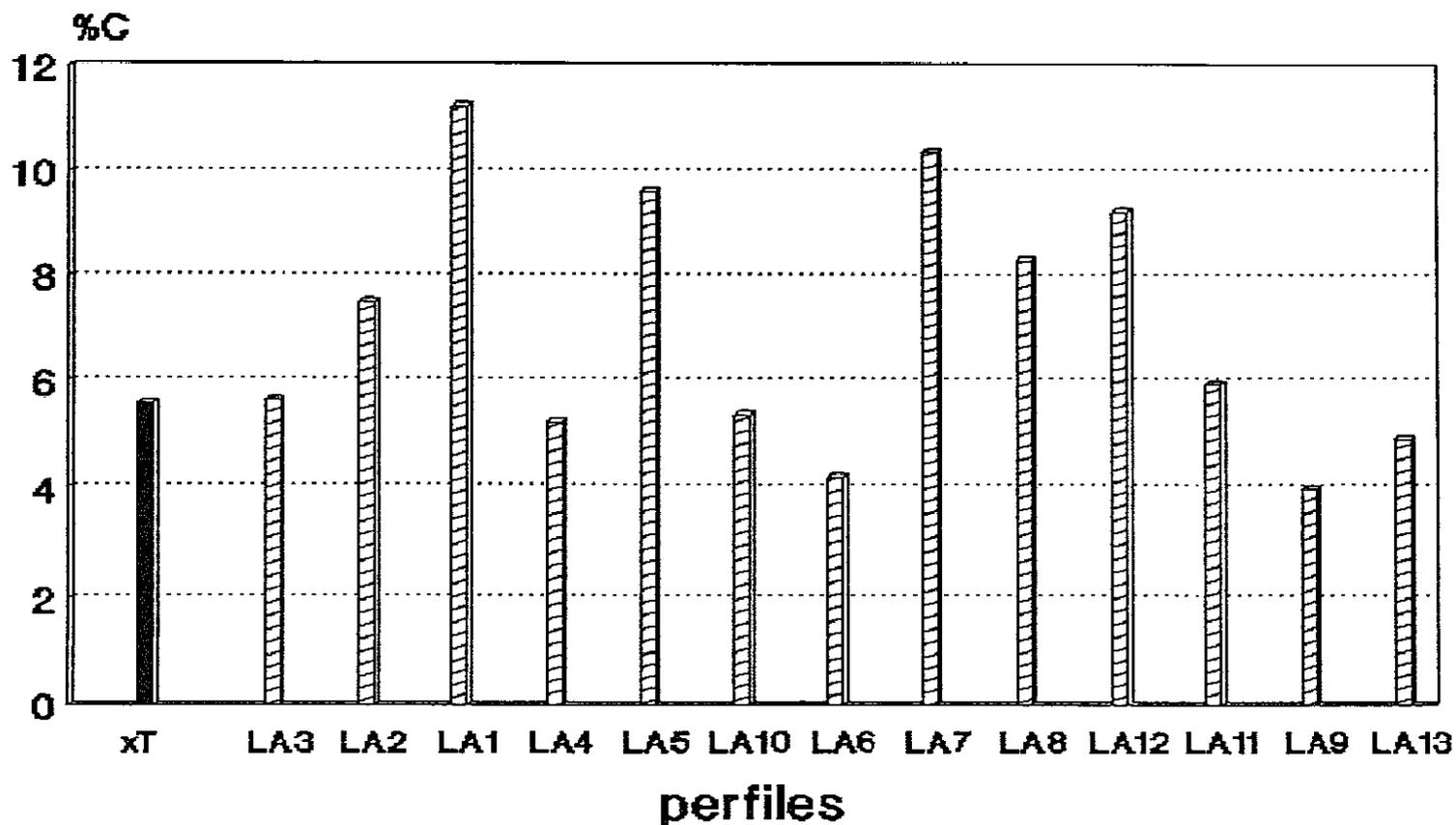


Fig 57. Porcentajes de carbono en la media de los suelos testigo e impactados (Horizonte superficial)

# NITROGENO SUELOS TESTIGO

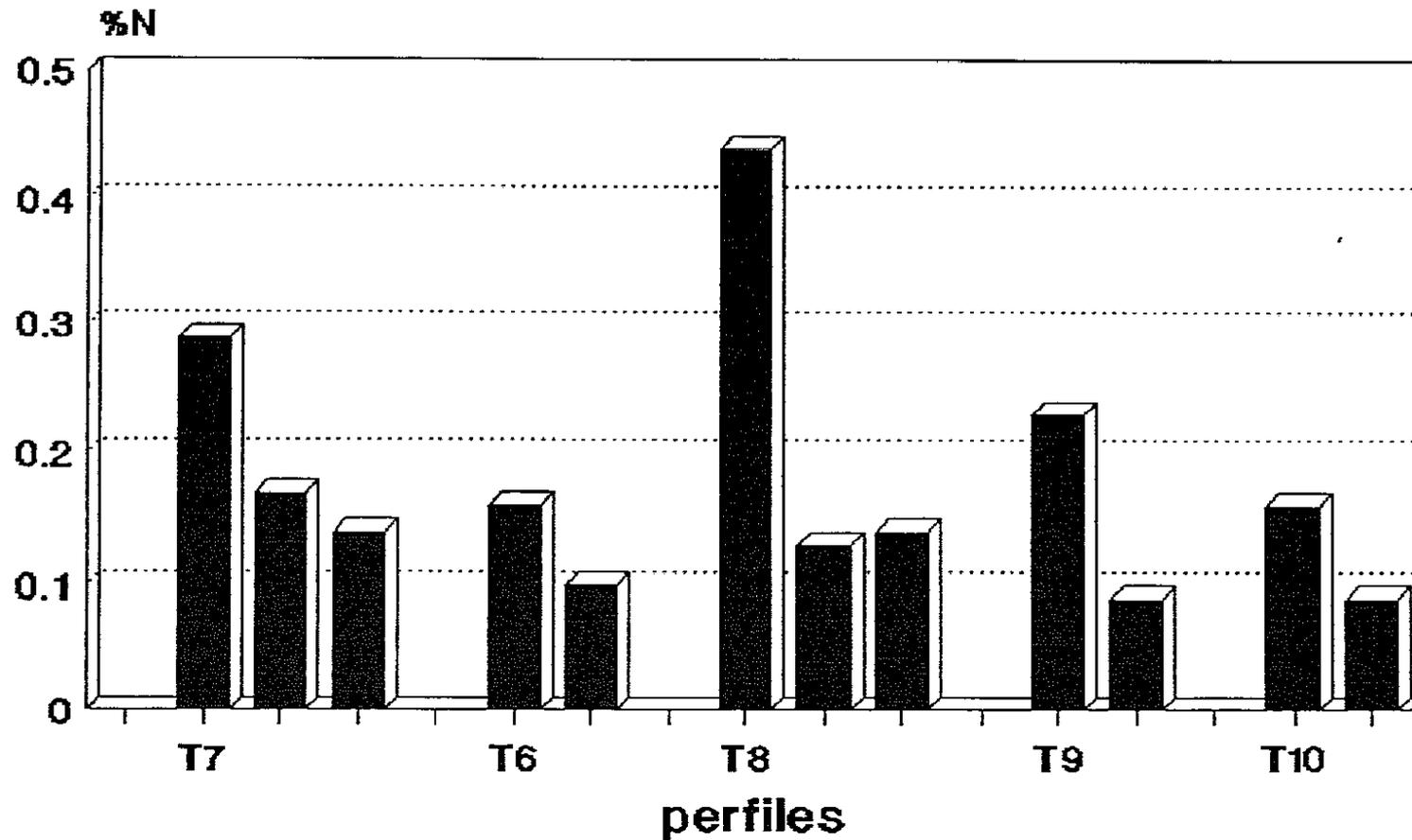


Fig 58. Nitrógeno en los horizontes de los suelos.

# NITROGENO SUELOS IMPACTADOS

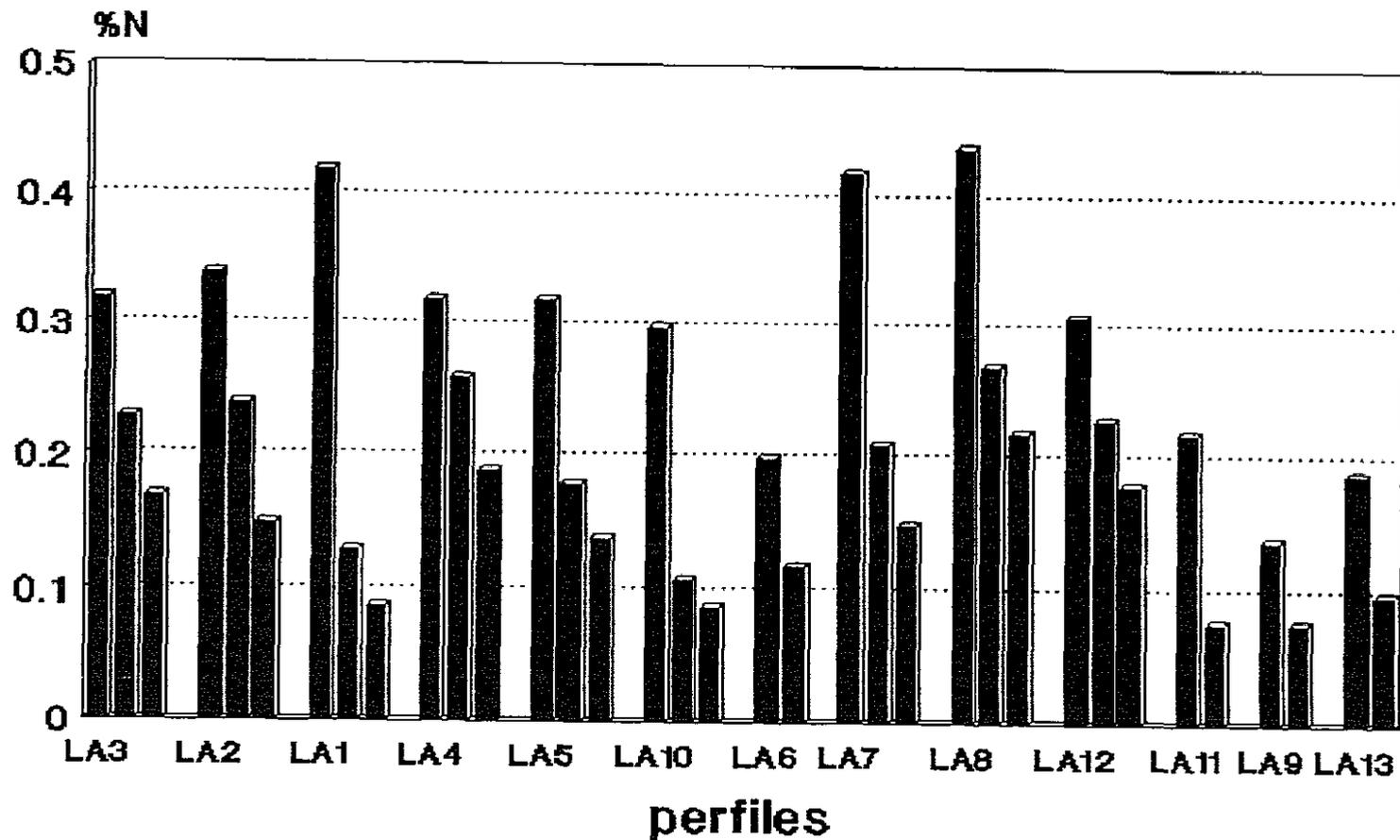


Fig 59. Nitrógeno en los horizontes de los suelos.

# NITROGENO HORIZONTE SUPERFICIAL

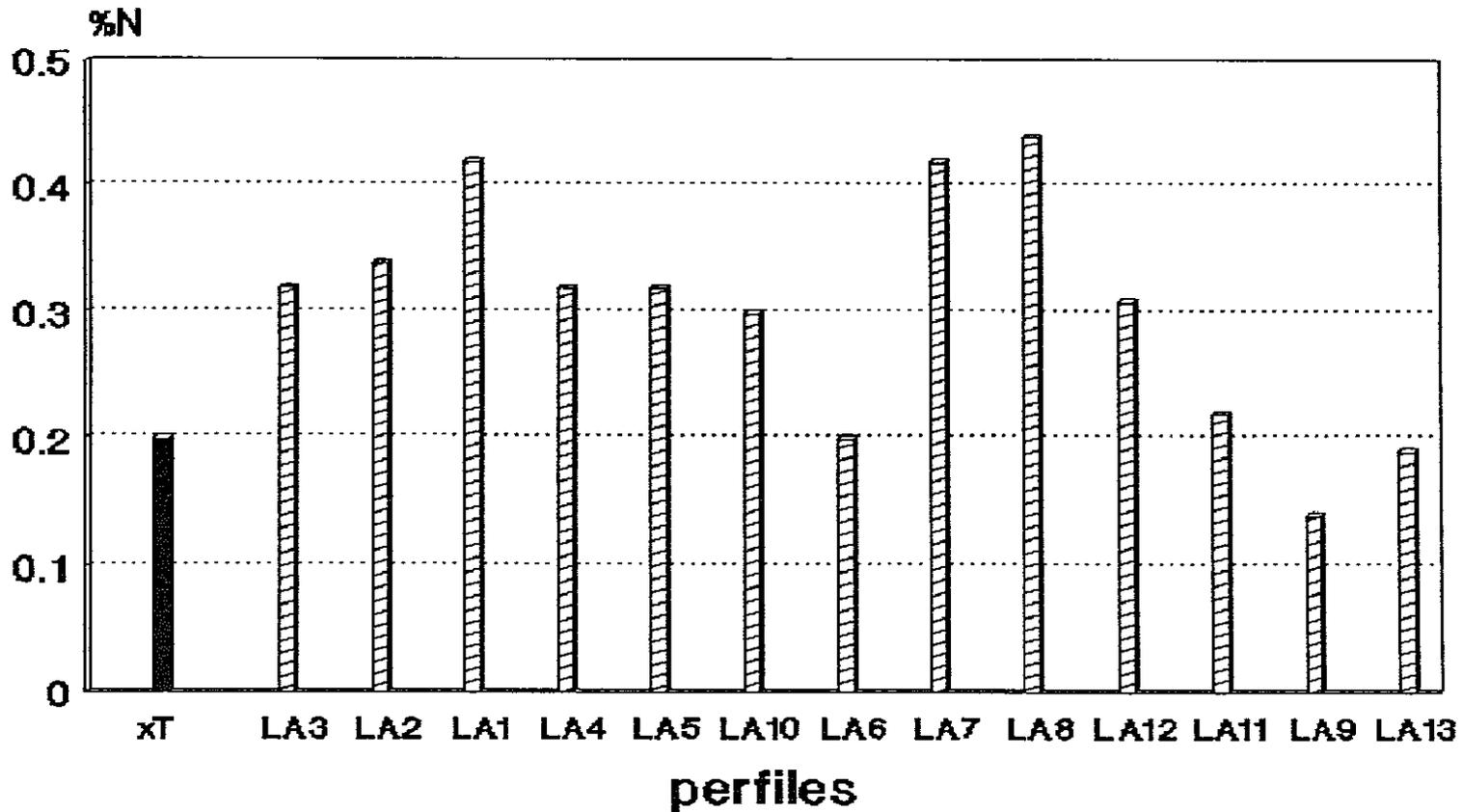


Fig 60. Nitrógeno en la media de los suelos testigo e impactados (Horizonte superficial)

# C/N

## SUELOS TESTIGO

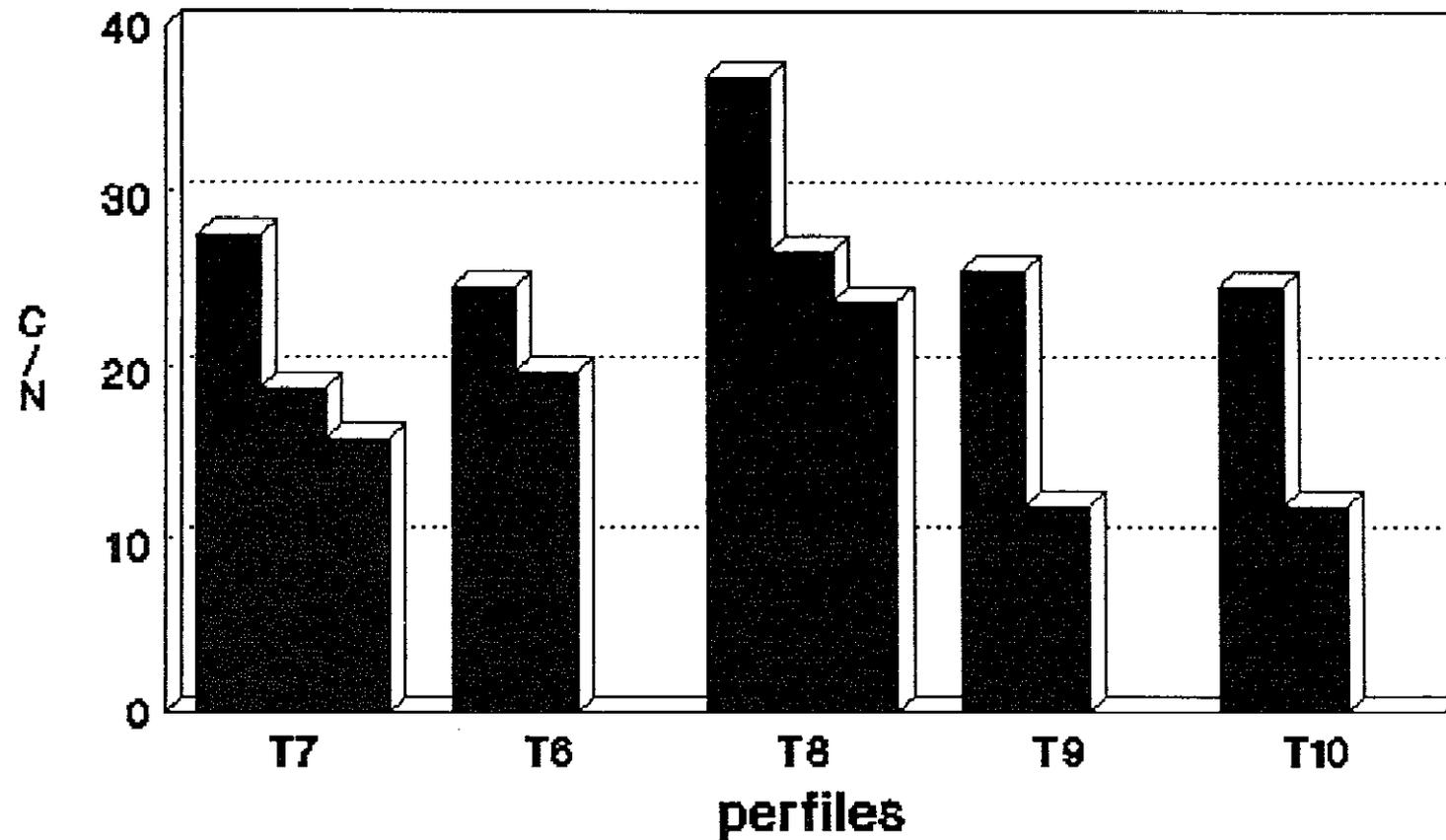


Fig81.Relaciones carbono a nitrógeno

# C/N

## HORIZONTE SUPERFICIAL

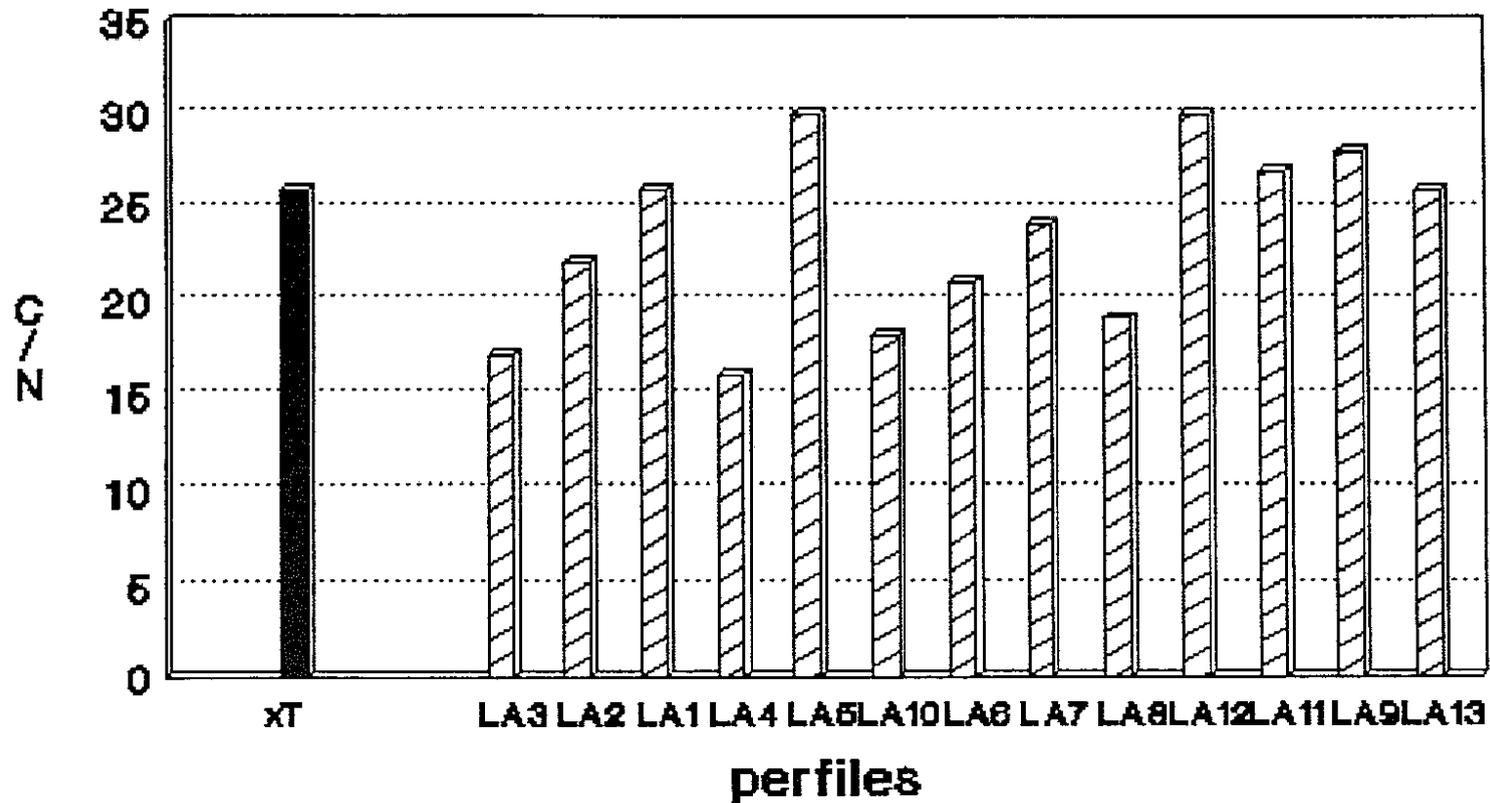


Fig 62. Relaciones carbono a nitrógeno en la media de los suelos testigo e Impactados (Horizonte superficial)

# C/N

## SUELOS IMPACTADOS

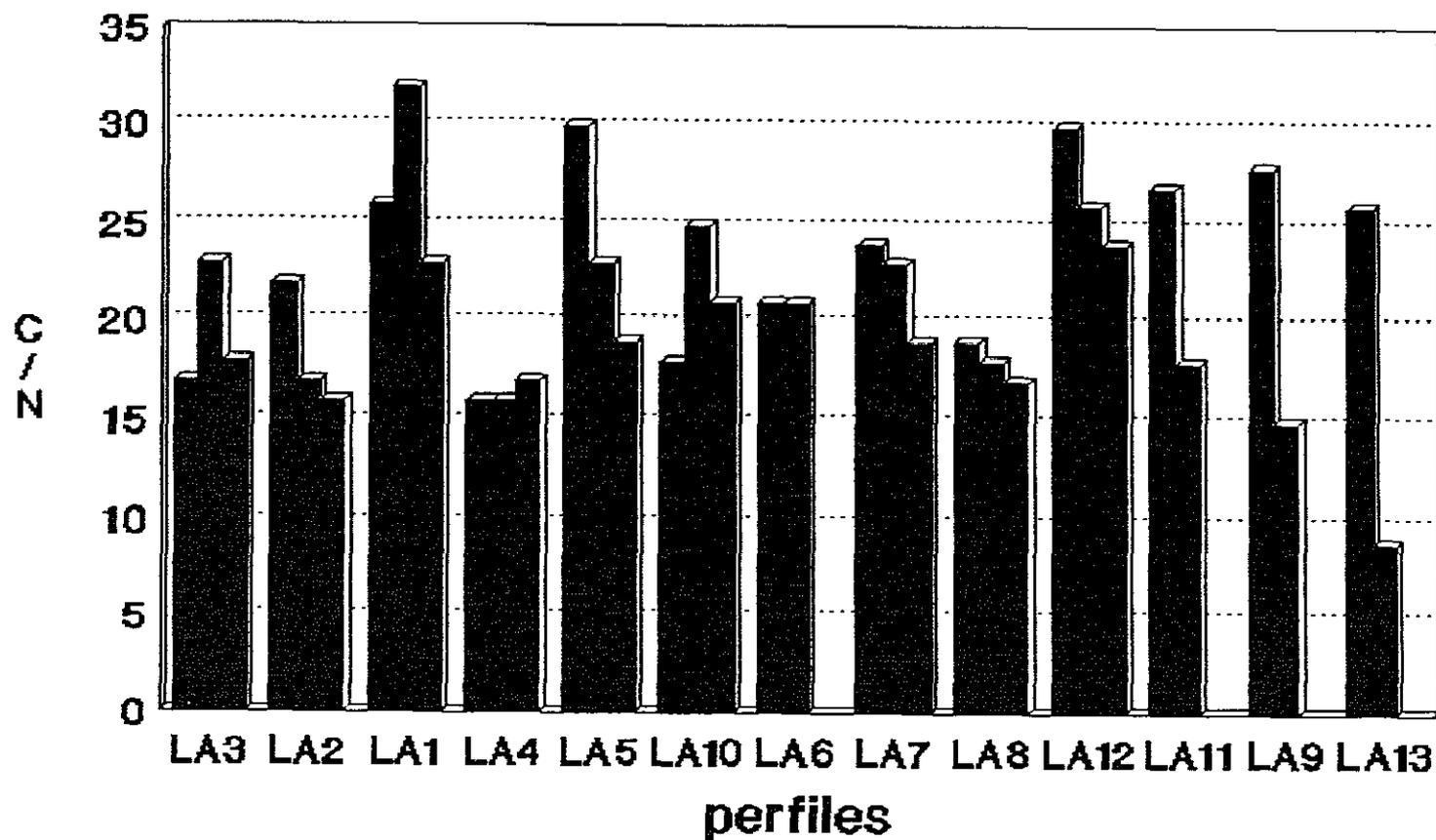


Fig 63. Relaciones carbono a nitrógeno

# CAPACIDAD DE CAMBIO Y GRADO DE SATURACION.SUELOS TESTIGO

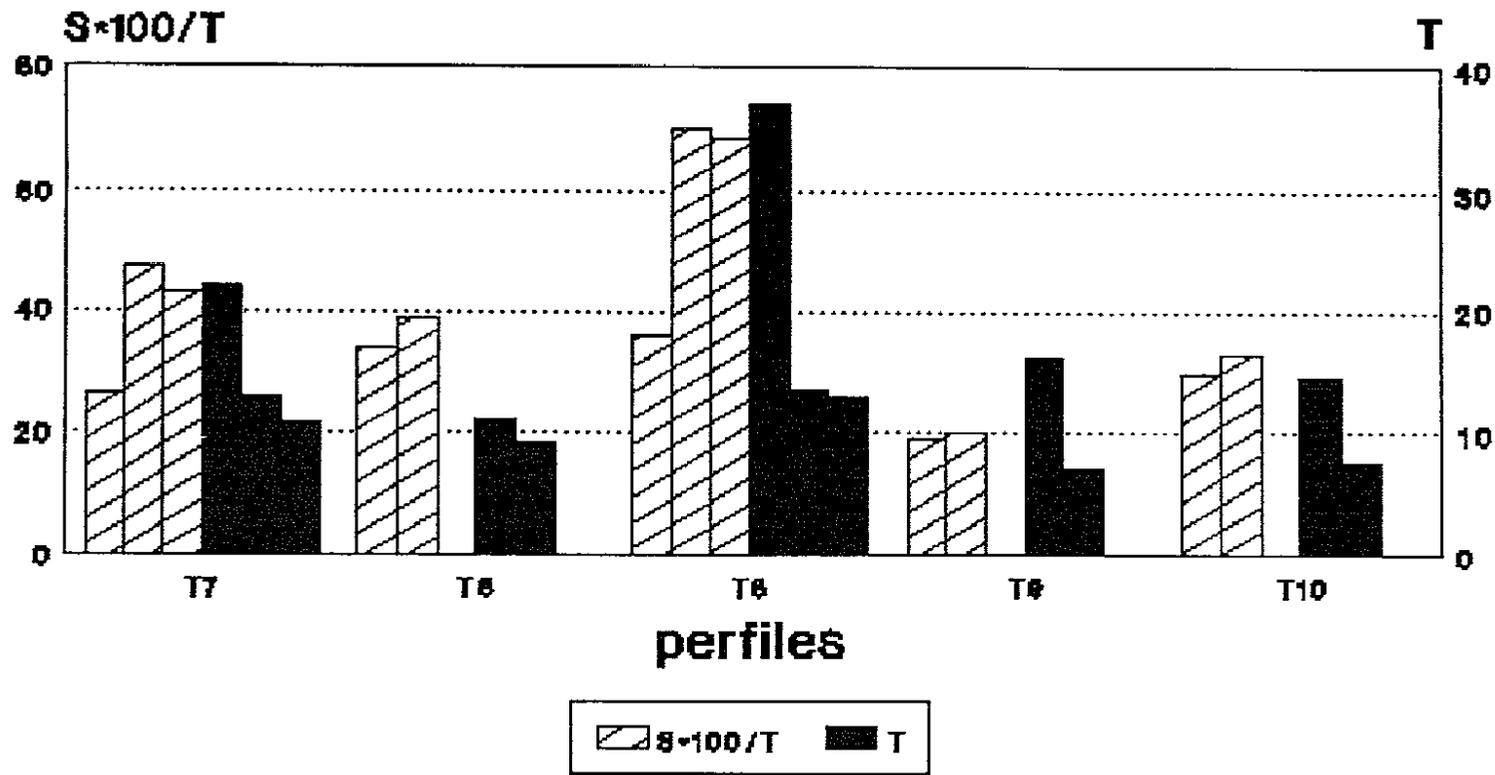


Fig 64. Capacidad total de cambio y grado de saturación en los distintos horizontes.

# CAPACIDAD DE CAMBIO Y GRADO DE SATURACION. SUELOS IMPACTADOS

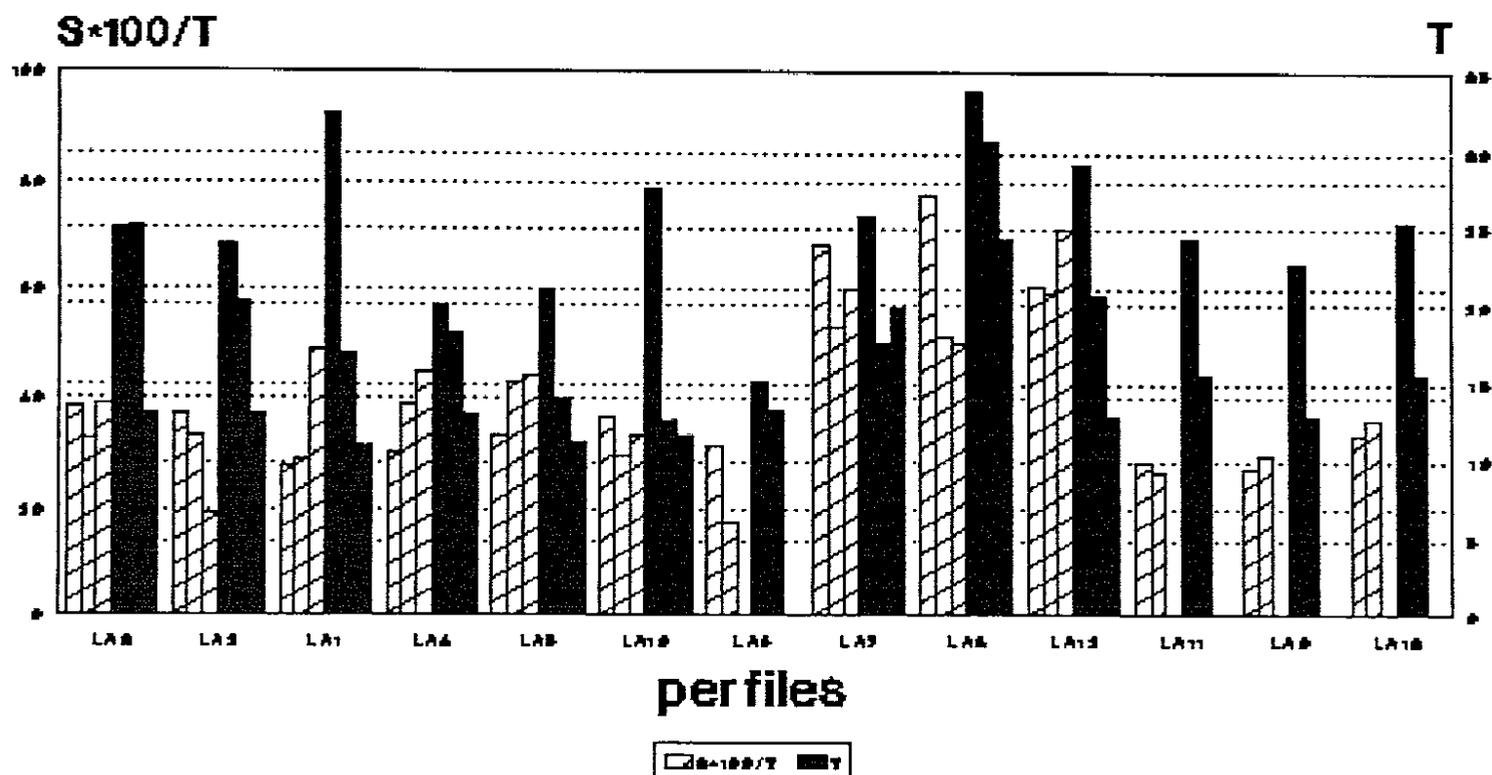


Fig 65. Capacidad total de cambio y grado de saturación en los distintos horizontes.

# CAPACIDAD DE CAMBIO Y GRADO DE SATURACION HORIZONTE SUPERFICIAL

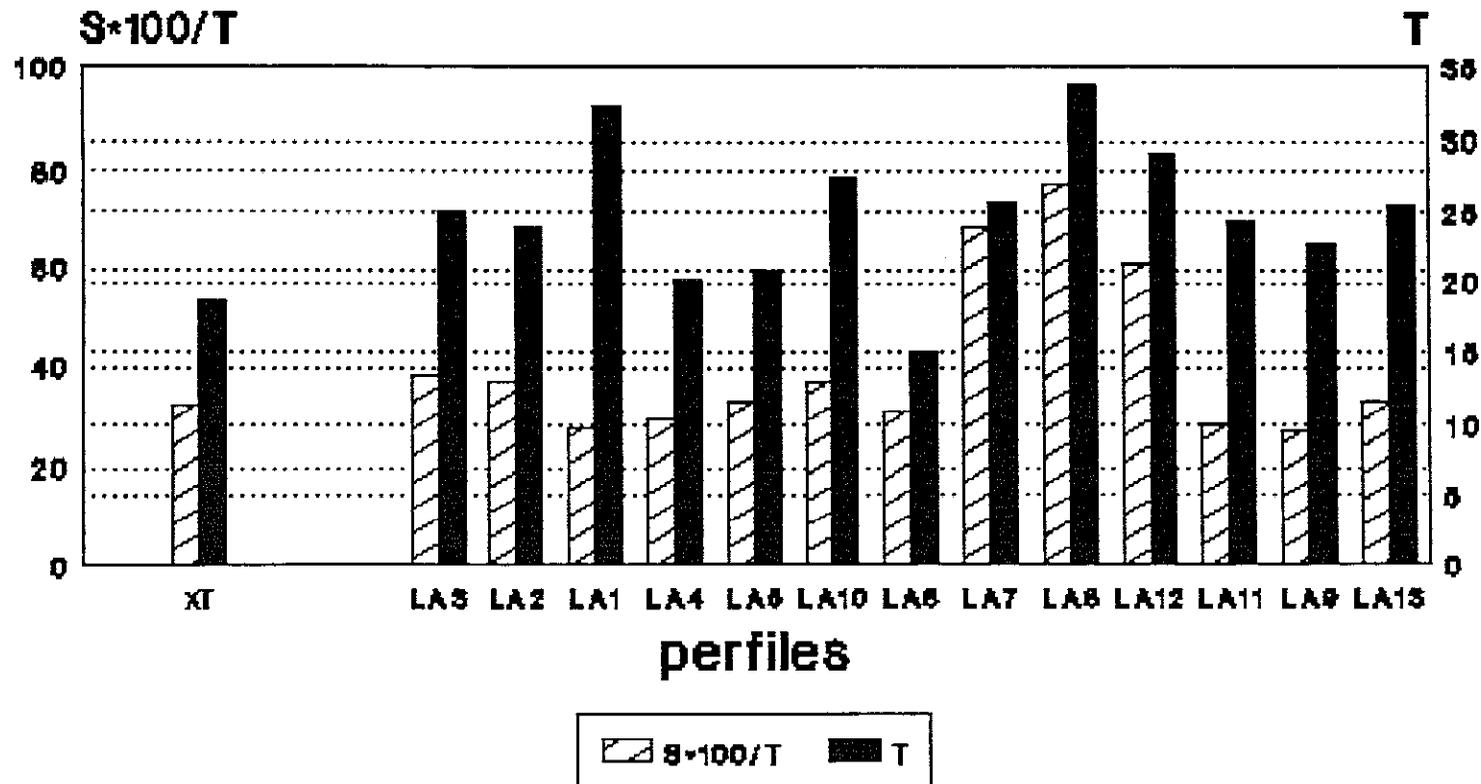


Fig 88. Capacidad total de cambio y grado de saturación en la media de los suelos testigo e impactados

# CATIONES DE CAMBIO SUELOS TESTIGO

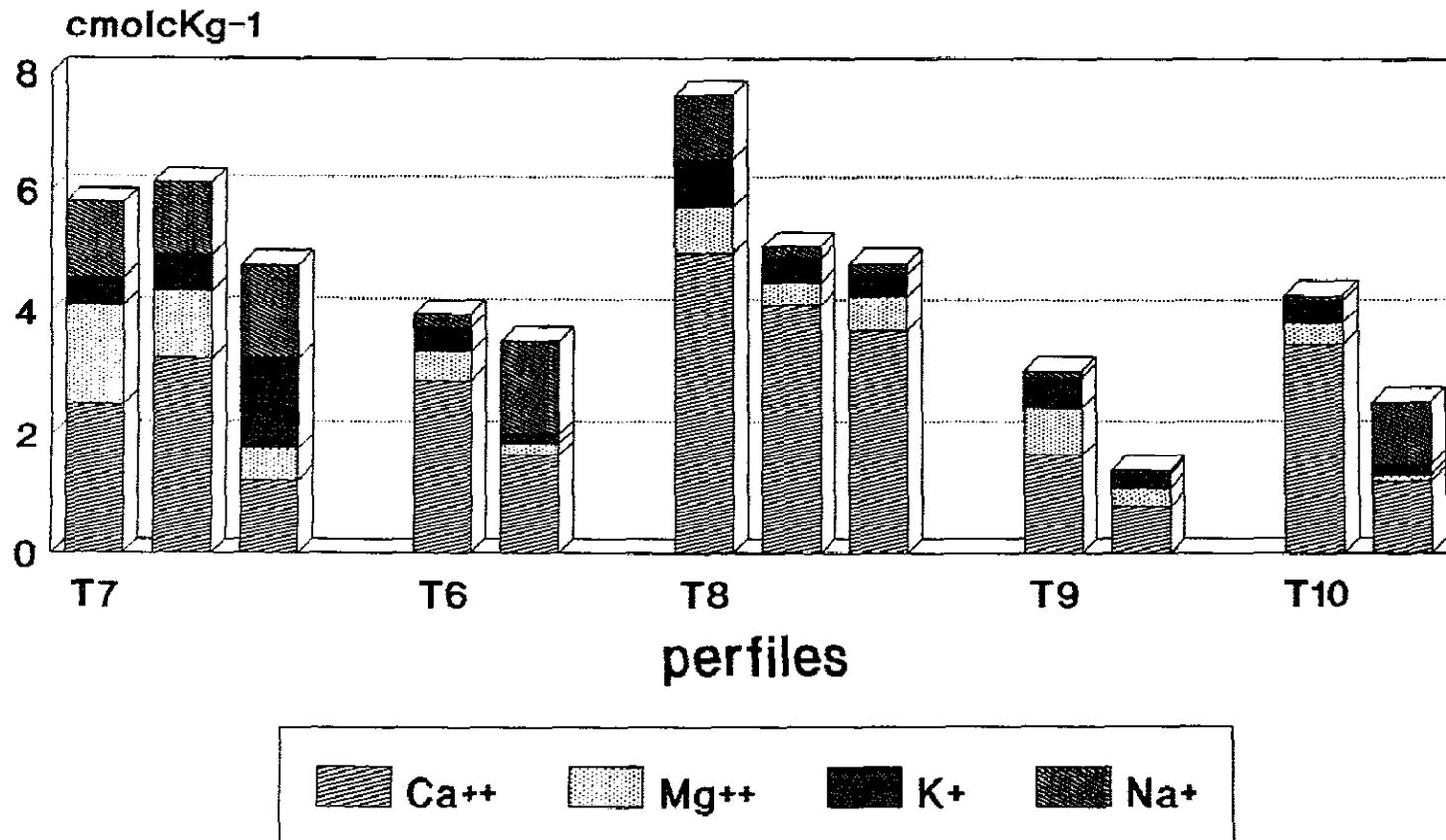


Fig 67. Cationes de cambio del complejo adsorbente en los distintos horizontes de los perfiles.

# CATIONES DE CAMBIO

## HORIZONTE SUPERFICIAL

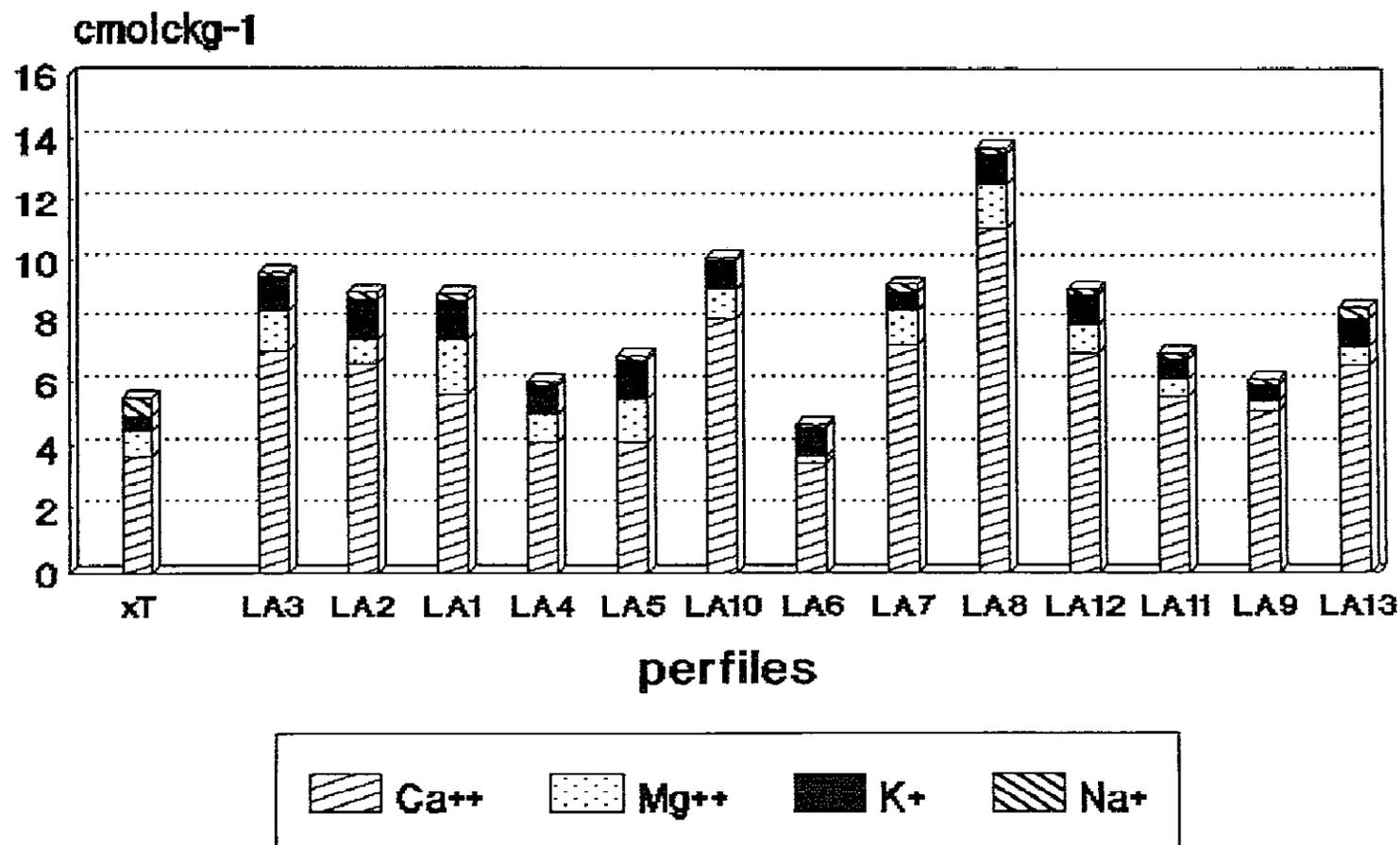


Fig 68. Cationes de cambio en la media de los suelos testigo e impactados (Horizonte superficial)

# Ca<sup>++</sup>

## HORIZONTE SUPERFICIAL

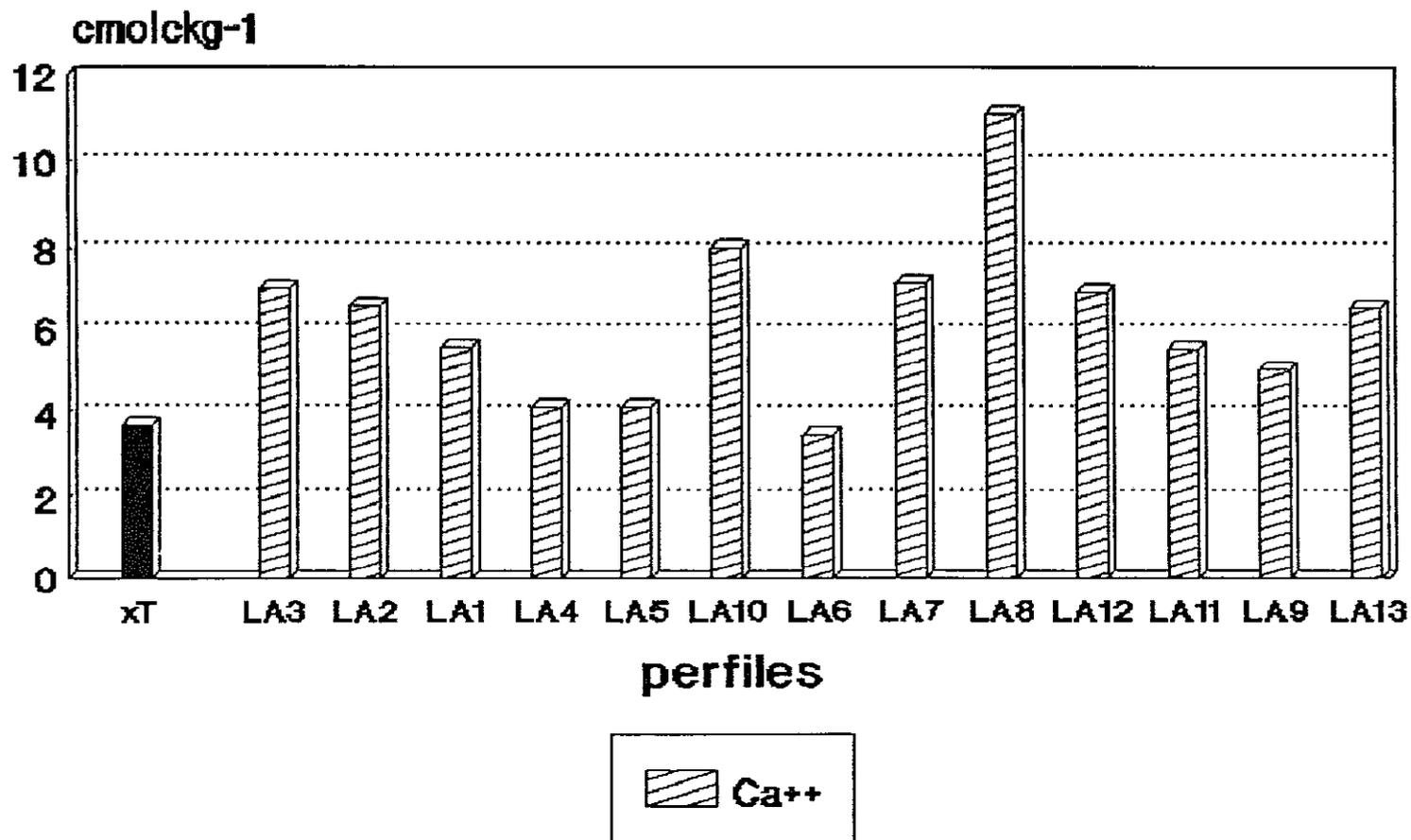


Fig 69. Ca<sup>++</sup> en la media de los suelos testigo e impactados (Horizonte super

# Mg<sup>++</sup> HORIZONTE SUPERFICIAL

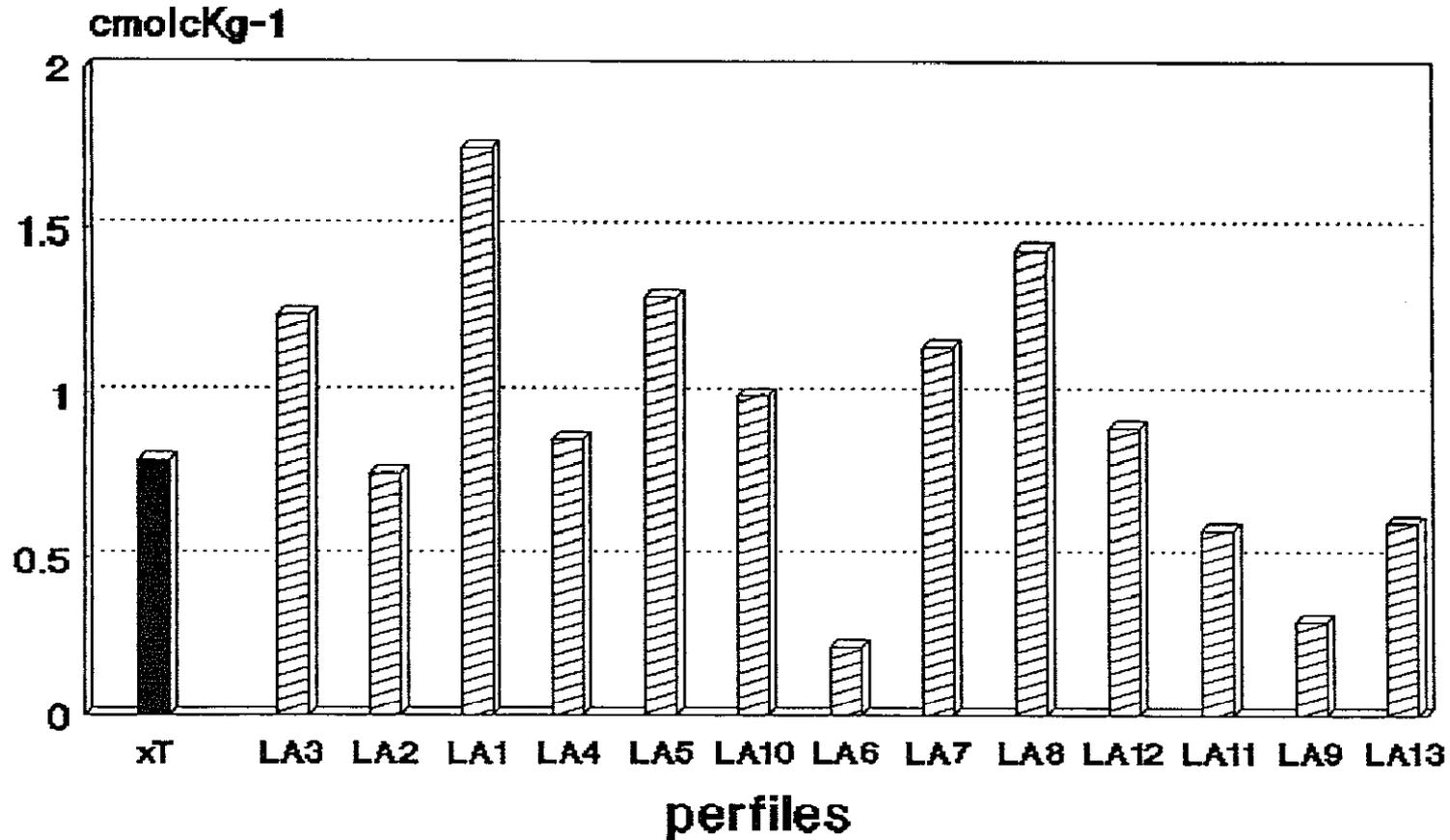


Fig 70. Mg<sup>++</sup> en la media de los suelos testigo e impactados (Horizonte superficial)

# K<sup>+</sup>

## HORIZONTE SUPERFICIAL

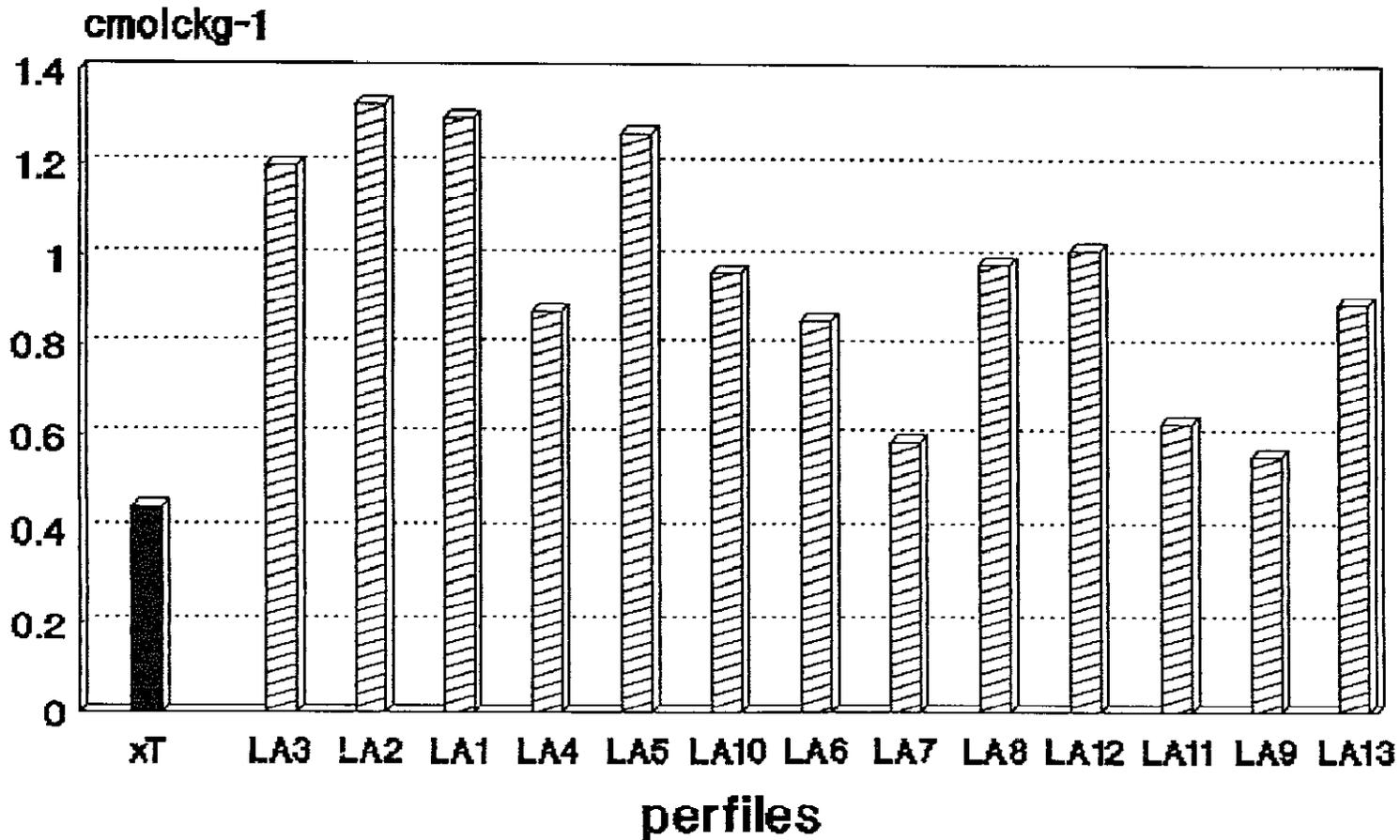


Fig 71.K<sup>+</sup> en la media de los suelos  
testigo e impactados (Horizonte super  
ficial)

# CATIONES DE CAMBIO SUELOS IMPACTADOS

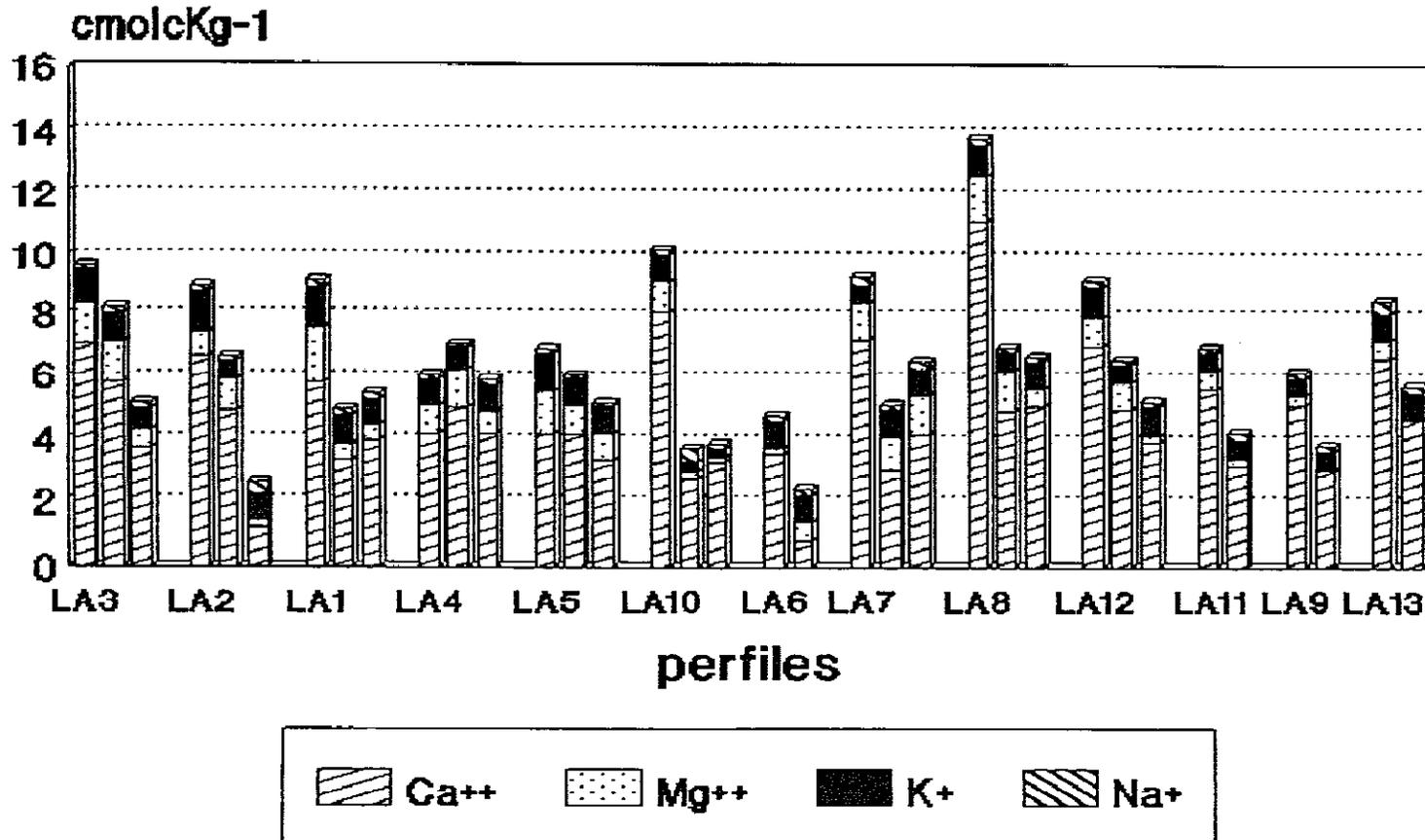


Fig 72. Cationes de cambio en el complejo absorbente en los distintos horizontes de los perfiles.

# HIERRO

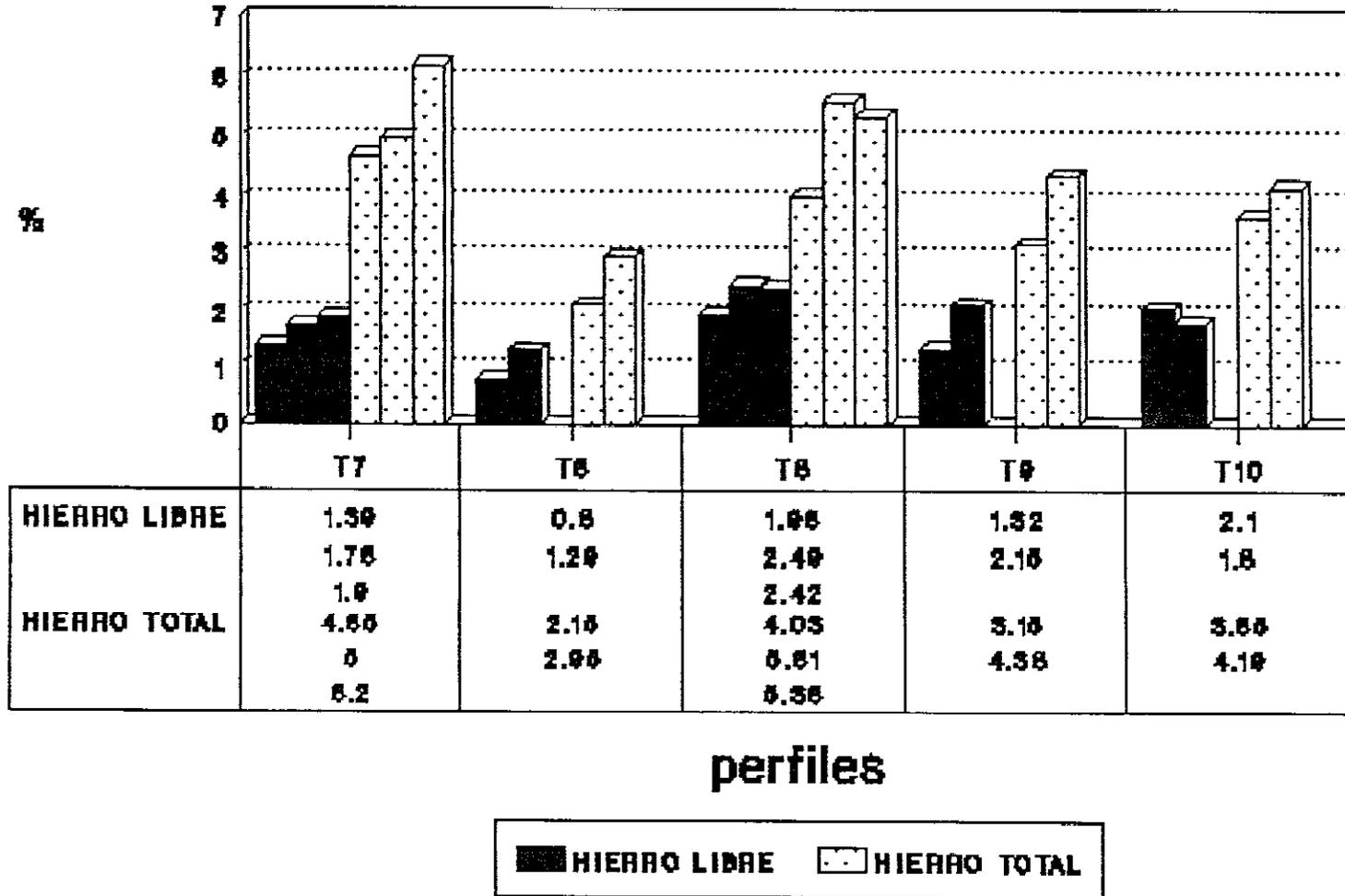


Fig 73.Hierro libre y total en los suelos testigo

# HIERRO TOTAL

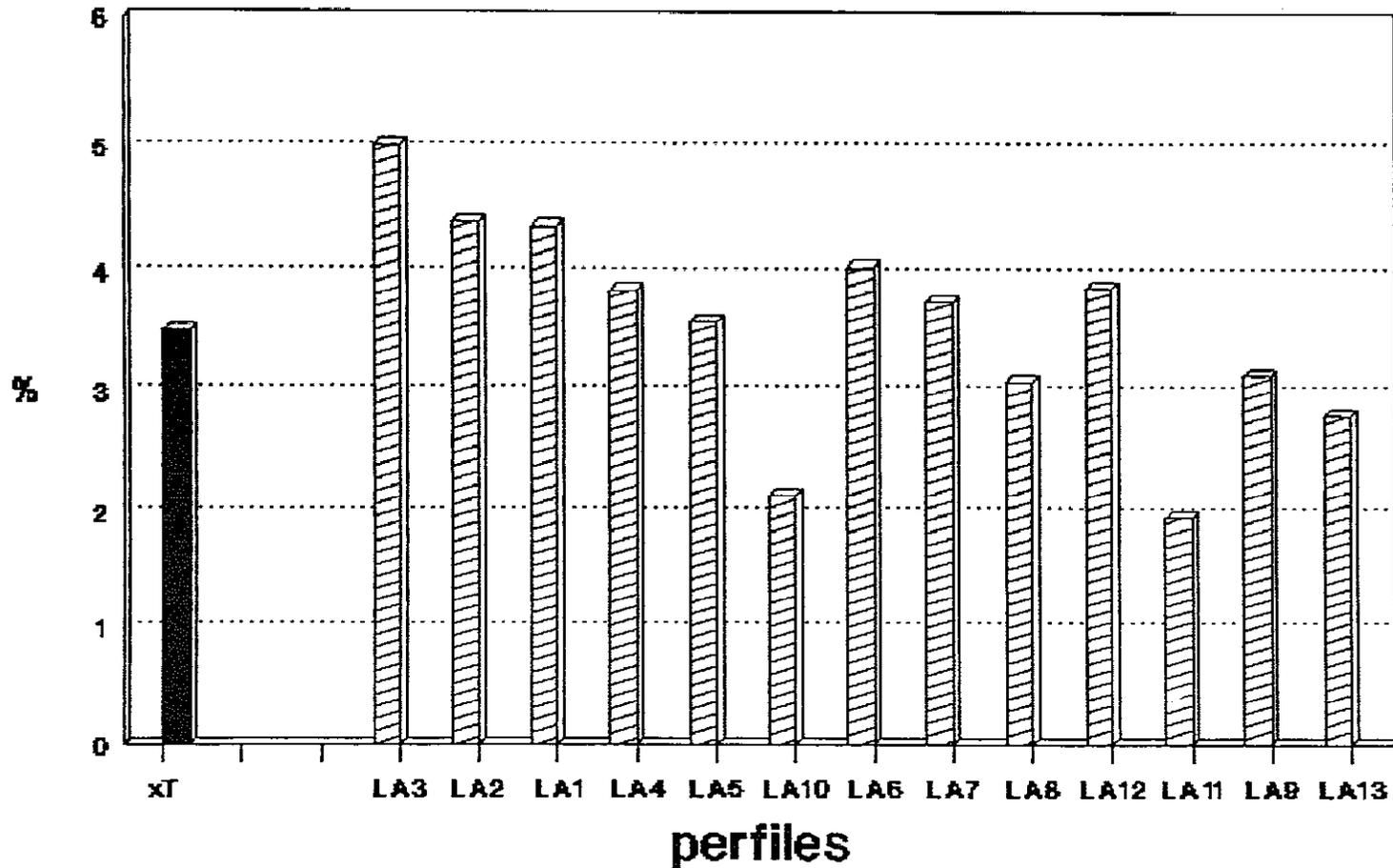


Fig 74. Hierro total en la media de los suelos testigo e impactados (Horizonte superficial)

# HIERRO LIBRE

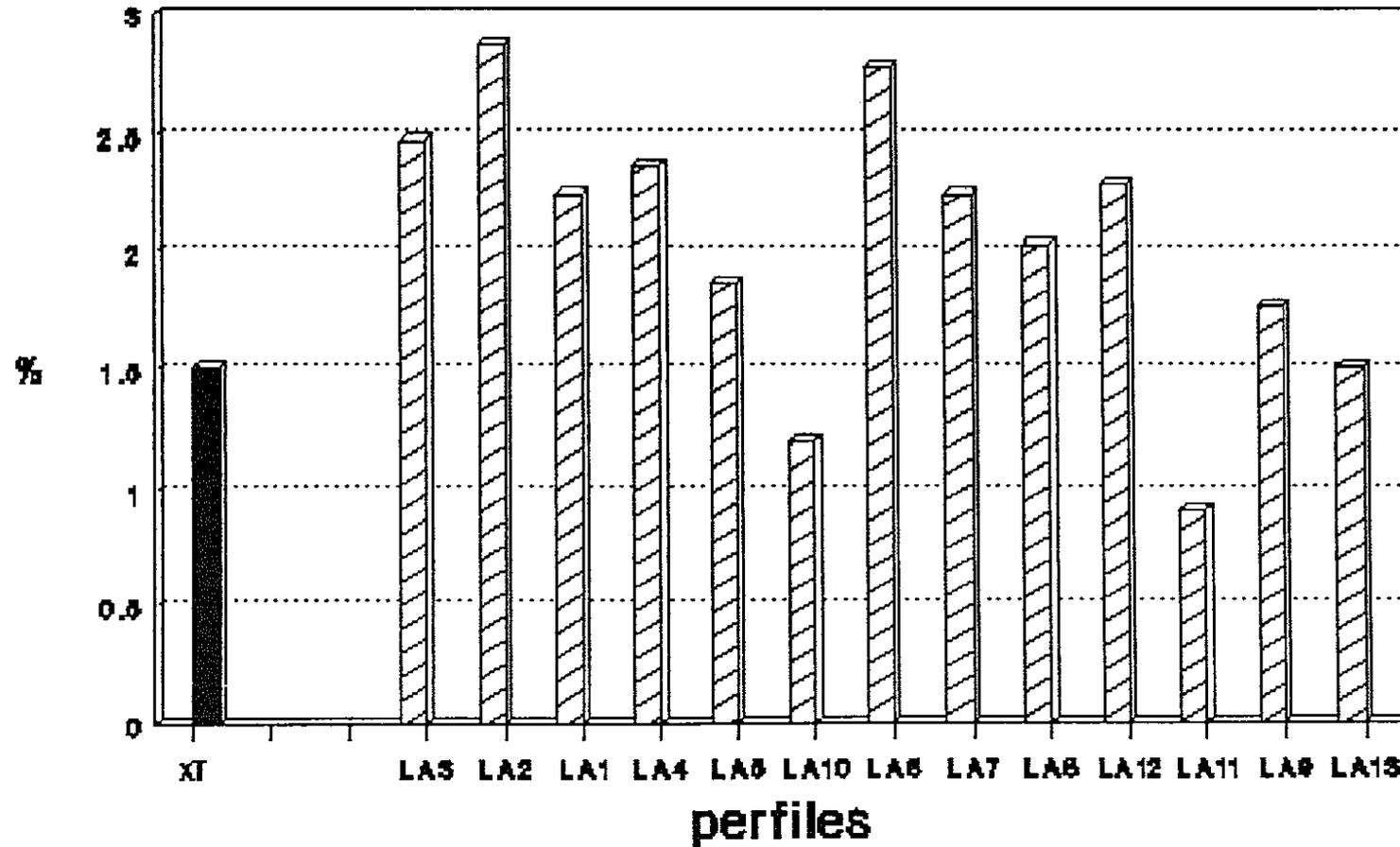


Fig 76. Hierro libre en la media de los suelos testigo e Impactados (Horizonte superficial)

# HIERRO LIBRE/HIERRO TOTAL SUELOS TESTIGO

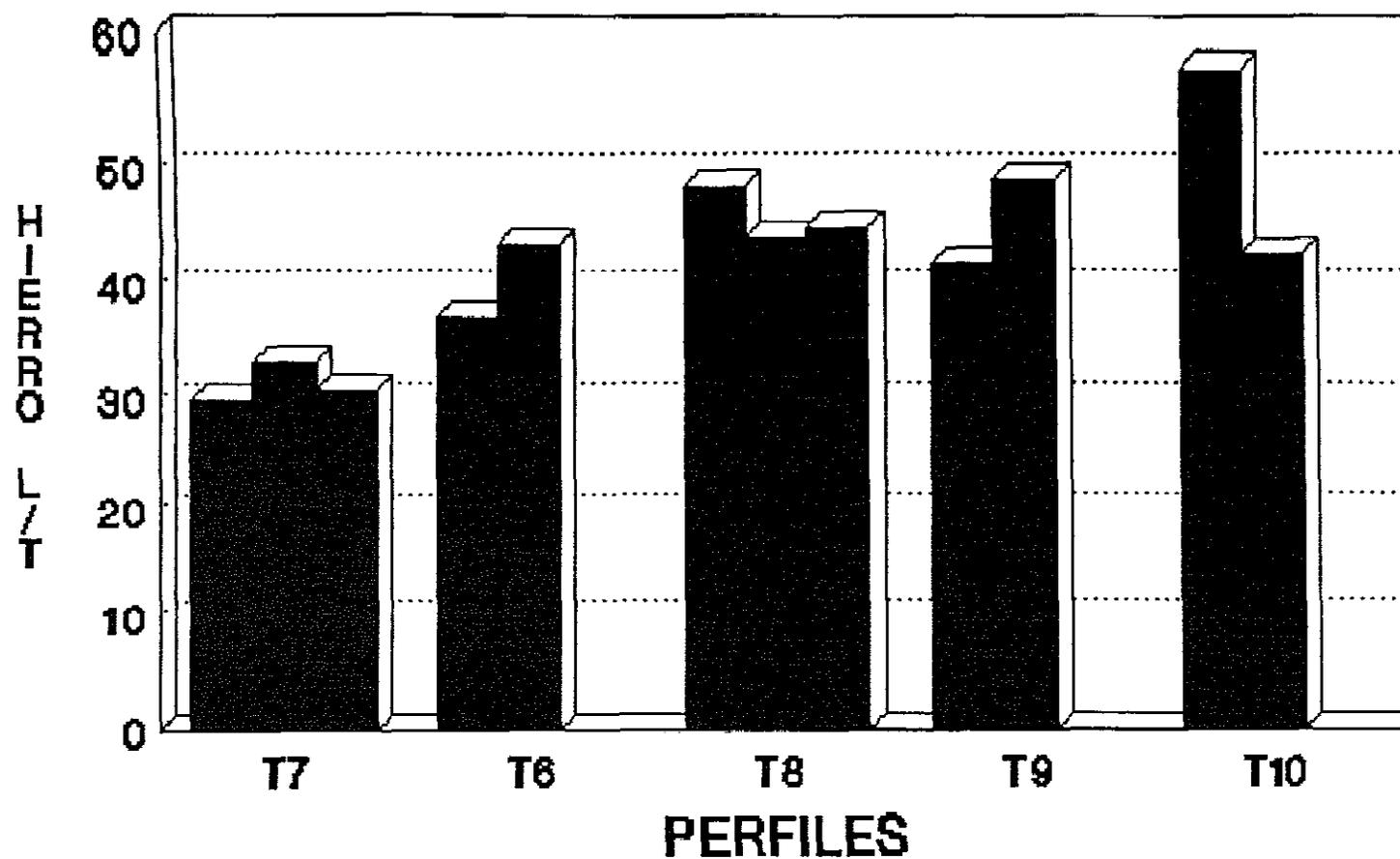


Fig 78. Hierro libre a total en los

# HIERRO LIBRE/HIERRO TOTAL

## Horizonte superficial

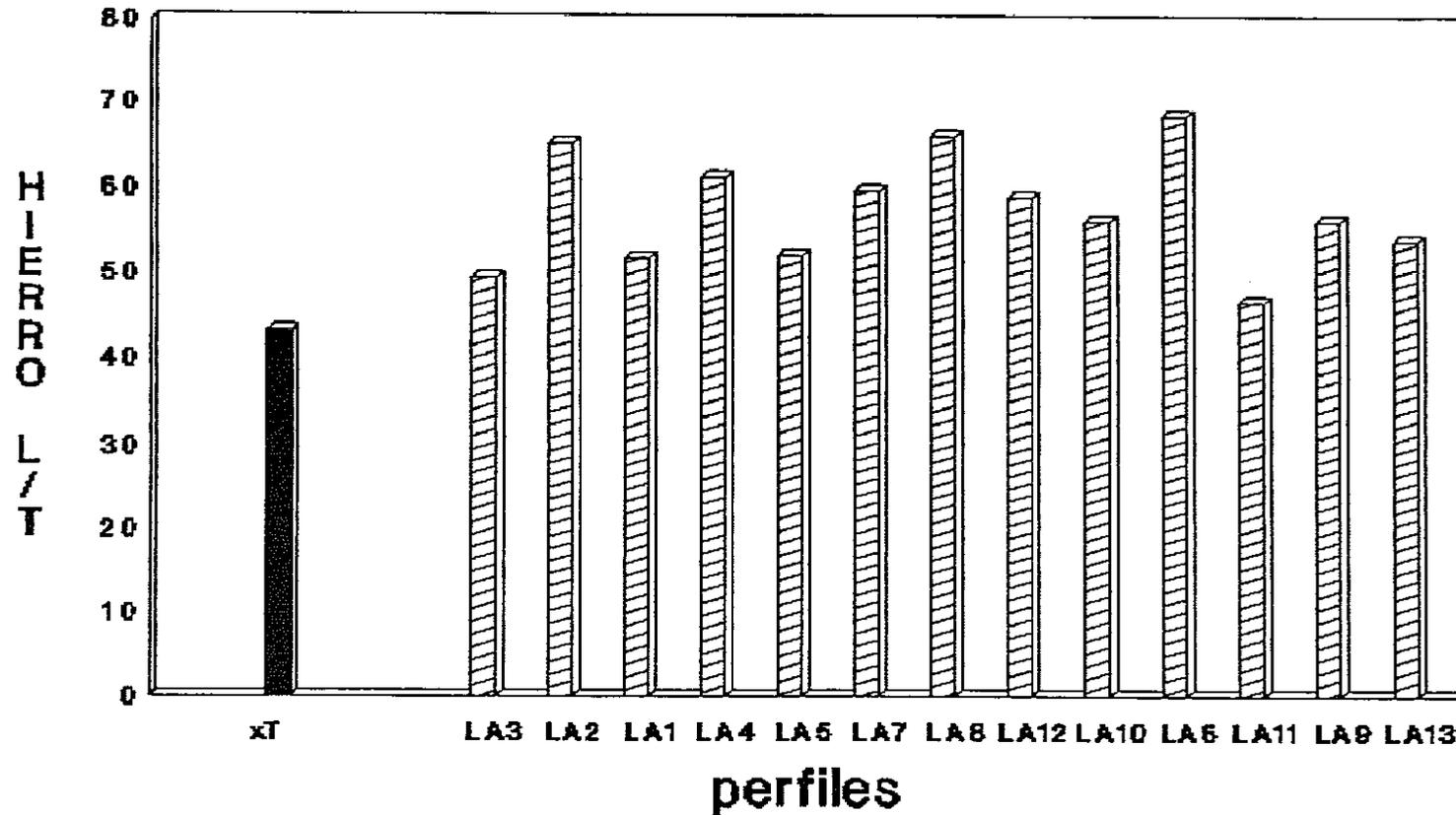


Fig 77. Hierro libre a hierro total en la media de los suelos testigo e impactados (Horizonte superficial)

# HIERRO LIBRE/HIERRO TOTAL 20-40 cm

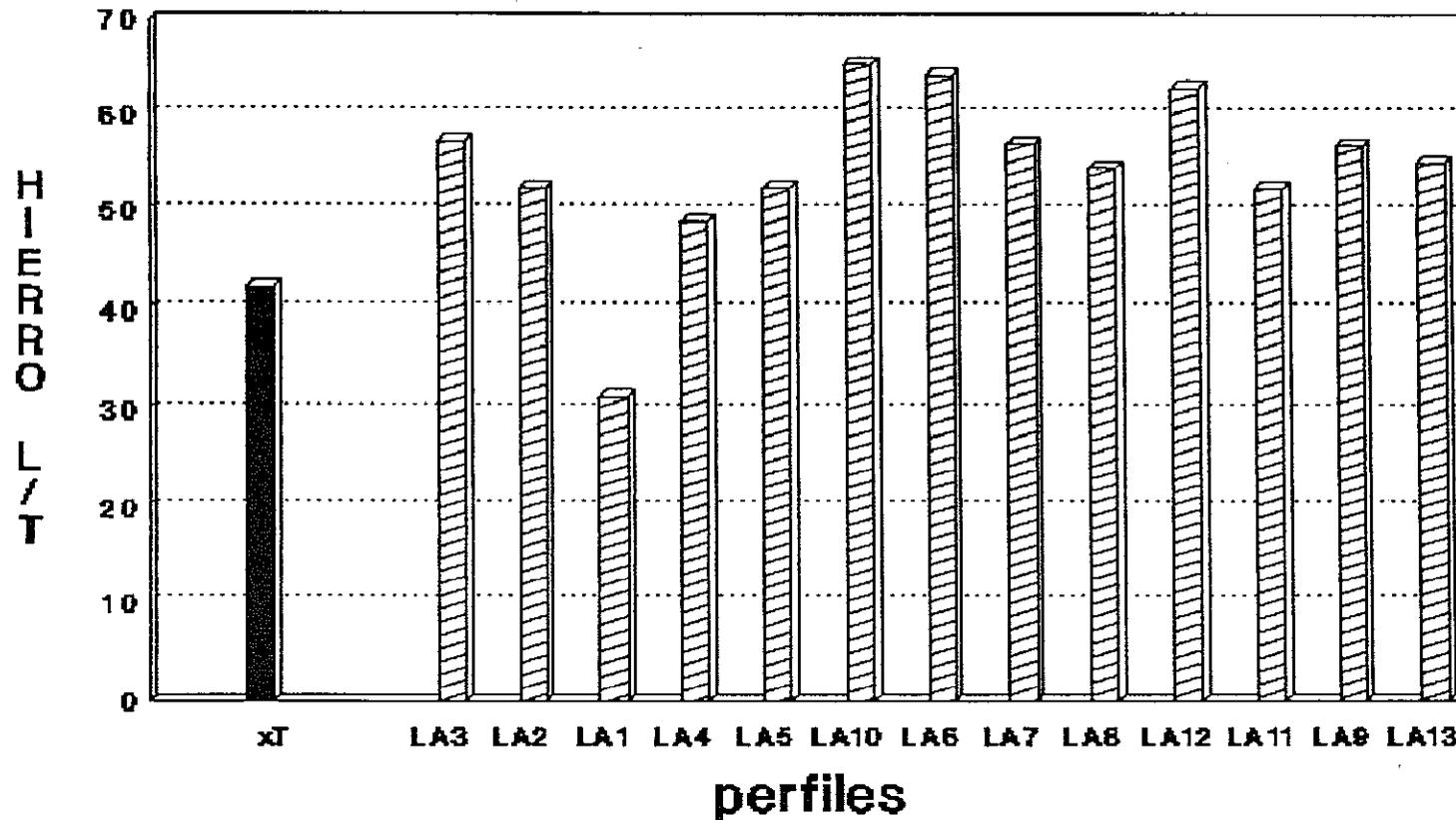


Fig 79. Hierro libre a total en la media de los suelos testigo e impactados (20-40 cm)

## 7. CONCLUSIONES

1.- La destrucción de la estructura postincendio se pone de manifiesto sólo en algunos perfiles, que son los más impactados.

2.- La textura de los perfiles no se modifica como consecuencia del incendio.

3.- Existe un incremento del pH en los perfiles afectados por el incendio, siendo este incremento mayor en superficie, como consecuencia del aporte de bases por incineración de la vegetación.

4.- En los perfiles impactados se observa un incremento de carbono, por aporte de restos carbonizados, debido a la combustión incompleta de la vegetación y restos procedentes de la tala del bosque.

5.- La capacidad total de cambio aumenta en los perfiles impactados, fundamentalmente en superficie, consecuencia de la alteración mineralógica y de la destrucción de agregados.

6.- Los cationes de cambio  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$  aumentan, con resultados estadísticamente significativos después del incendio, fundamentalmente en horizontes superficiales, lo que podría indicar que la vegetación incinerada (mayoritariamente *Pinus pinaster*) es más rica en  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{K}^+$ , que en  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{Na}^+$ . Las bases quedan retenidas por el complejo adsorbente y no se han lixiviado en los diez meses transcurridos desde el incendio.

7.- Los valores de hierro total y hierro libre obtenidos en perfiles impactados, tanto en superficie como en profundidad, no presentan diferencias estadísticamente significativas, respecto a los valores de perfiles testigo.

8.- Después del incendio, las relaciones hierro libre/hierro total aumentan, fundamentalmente en superficie, con resultados estadísticamente significativos; de lo que se deduce que ha existido alteración mineralógica como consecuencia del incendio.

9.- No se pone de manifiesto la acción del fuego sobre los minerales de la fracción arena (gruesa y fina), en horizontes superficiales de estos suelos.

10.- El efecto del calor sobre los minerales de la arcilla se pone de manifiesto en horizontes superficiales, por las siguientes modificaciones:

- \* desaparición de gibbsita
- \* variaciones en las reflexiones de minerales 1:1
- \* alteración de vermiculita

11.- En la mayoría de los perfiles impactados desaparece la gibbsita de horizontes superficiales, pudiendo indicar que la temperatura alcanzada no ha sido inferior a 150-200°C; la gibbsita se puede considerar como mineral índice de esta temperatura.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, P.W. y BOYLE, J.R., 1980. Effects of fire on soil nutrients in clearcut and whole-tree harvest sites in Central Michigan. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 44: 847-849.
- AGEE, J.K., 1982. La gestión del fuego y del combustible en los ecosistemas de clima Mediterráneo. Programas y temas prioritarios de investigación. Ed. del Serbal, 72 pp.
- ALMENDROS, G., MARTIN, F. y GONZALEZ-VILA, F.J., 1988. Effects of fire on humic and lipid fractions in a Dystric Xerochrept in Spain. *Geoderma*, 42: 115-127.
- ALMENDROS, G., GONZALEZ-VILA, F.J. y MARTIN, F., 1989. Alteraciones del humus en bosques mediterráneos continentales afectados ppor incendios. *Options Mediterranéennes. Série Séminaires*, 3: 95-99.
- ALMENDROS, G., GONZALEZ-VILA, F.J. Y MARTIN, F., 1990. Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: An experimental approach to the effects of fire on humic substances. *Soil Science*, 149(3): 158-168.
- ALMENDROS, G., POLO, A., IBAÑEZ, J.J. y LOBO, M.C., 1984a. Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la

materia orgánica del suelo.I. Transformaciones del humus en un bosque de Pinus pinea del Centro de España. Rev. Ecol. et Biol. Sol, 21(1): 7-20.

ALMENDROS, G., POLO, A., LOBO, M.C. e IBAÑEZ, J.J., 1984b. Contribución al estudio de la influencia de los incendios forestales en las características de la materia orgánica del suelo.II. Transformaciones del humus por ignición en condiciones controladas de laboratorio. Rev. Ecol. Biol. Sol, 21(2): 145-160.

ARIANOUTSOU-FARAGGITAKI, M., 1984. Post-fire sucesional recovery of a phyrargic (East Mediterranean) ecosystem. Oecol. Plant. 5(19): 387-394.

ARMSON, K.A., 1979. Fire and Soil, Forest Soils: Properties and processes, 390 pp. University of Toronto Press.

ASENSIO AMOR, I., 1966. El sistema morfogenético fluviotorrencial en la zona meridional de la Sierra de Gredos. Est. Geog., XVII (102): 53-73.

BARA, S. y VEGA, J.A., 1983. Effects of wildfires on forest soil in northwest of Spain. Freiburger Waldschutz-Adhanlungen, 41: 181-195.

BARD, J.P., CAPDEVILA, R. y MATTE, P., 1970. Les grands traits statigraphiques, tectoniques, metamorphiques et

plutoniques des Sierras de Gredos et de Guadarrama (Espagne Centrale). C.R. Acad. Sc. Paris, 270. 2630-2633.

BELHASSEN, E., PONENTE, D., TRABAUD, L. y GOUYOU, P.H., 1978. Recolonisation après incendie chez *Thymus vulgaris* (L): resistance des graines aux températures élevées. *Oecol. Plant.* 8 (22): 135-141.

BELLIDO, A., 1987. Approche experimentale de l'effect immédiat d'un incendie sur le peuplement de Microarthropodes d'une lande. *Rev. Ecol. Biol. Sol*, 24: 603-622.

BIROT, P. y SOLE SABARIS, L., 1954. In Juan Sebastián Elcano. *Geografía de España y Portugal*. CSIC, 87 pp.

BISWELL, H.H., 1989. Effects of prescribed burning on resources. Prescribed burning in California wildlands vegetation management. University of California Press, Berkley and Los Angeles, California, 255 pp.

BLAISDEL, J.P., 1953. Ecological effects on planned burning of sagebrush grass range on the upon snake riverplains. *Tech. Bull.*, U.S. Dept. Agric., 1-39.

BORGNE, E. le y MONNIER, G., 1959. Influence du feu sur certains propriétés du sol. C. R. Acad. Sc., 248-I: 1549-1551.

- BRINDLEY, G.W. y BROWN, G., 1980. Cristal structures of clay minerals and their X-Ray identification. Mineralogical Society. London, 495pp.
- BURNS, P.Y., 1952. Effect of fire on forest soils in the Pine Barren Region of New Jersey. Sch. of For. Bull., 1-33.
- CASAL JIMENEZ, M., BASANTA ALVES, M. y GARCIA NOVO, F., 1984. La regeneración de los montes incendiados en Galicia. Univ. Santiago de Compostela, 113 pp.
- CHRISTENSEN, N.L., 1973. Fire and the Nitrogen cycle in California chaparral. Science, 181. 66-68.
- CHRISTENSEN, P. y ABBOTT, I., 1989. Impact of fire in the eucalypt forest ecosystem os southern Western Australia: a critical review. Australian Forestry, 52(2): 103-121.
- CLARK, J.S., 1991. Twentieth-century climate change, fire supression, and forest production and decomposition in northwestern Minnesota. Canadian Journal of Forest Research, 20(2): 219-232.
- DEBANO, L.F. y CONRAD, C.E., 1978. The effect of fire in a chaparral ecosystem. Ecology, 59(3): 489-497.

- DEBANO, L.F., EBERLEIN, G.E. y DUNN, P.H., 1979. Effects of burning on chaparral soils:I. Soil Nitrogen. Soil Sci. Am. J., 43: 504-509.
- DEBANO, L.F., MANN, L.D. y HAMILTON, D.A., 1970. Translocation of hydrophobic substances into soil by burning organic litter. Soil Sci. Am. Proc., 34: 130-133.
- DEBANO, L.F., SAVAGE, S.M. y HAMILTON, D.A., 1976. The transfer of heat and hydrophobic substances during burning. Soil Sci. Am. J. 40: 779-782.
- DEER, W.A., HOWIE, R.A. y ZUSMAN, J. (1962). Rock forming minerals, Vol. 5, Non-Silicates. Ed. Longmans, 371 pp.
- DEKA, H.K. y MISHRA, R.R., 1983. The effects of slash burning on soil microflora. Plant and Soil, 73: 167-175.
- DIAZ FIERROS, F., GIL SOTRES, F. CABANEIRO, A. CARBALLAS, T., LEIROS DE LA PEÑA, M.C. y VILLAR CELORIO, M.C., 1982. Efectos erosivos de los incendios forestales en suelos de Galicia. An. Edaf. y Agrob., XLI(3-4): 627-639.
- DIEBLDOD, C.H., 1941. Effect of fire and logging upon the depth of the forest floor in the Adirondack Region. Soil Sci. Soc. Proc., 409-413.

- DIXON, J.B. y WEED, S.B., 1977. Mineral in soil environment. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin, USA, 948 pp.
- DOCTOR CABRERA, A., 1991. Los Incendios Forestales en la Provincia de Córdoba. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba, Serie: Estudios de Geografía, nº 2, 134 pp.
- DUNN, P.H., DEBANO, L.F. y EBERLEIN, G.E., 1979. Effects of burning on chaparral soils: II. Soil microbes and Nitrogen mineralization. Soil Sci. Am. J. 43: 509-514.
- DYRNESS, C.T., CLEVE, K. van y LEVISON, J.D., 1989. The effect of wildfire on soil chemistry in four forest types in interior Alaska. Canadian Journal of Forest Research, 19(11): 1389-1396.
- DYRNESS, C.T. y YOUNGBERG, C.T., 1957. The effect of logging and slash-burning on soil structure. Soil Sci. Soc. Proceed., 21: 444-447.
- ELIAS CASTILLO, F. Y RUIZ BELTRAN, L., 1977. Agroclimatología de España. Ministerio de Agricultura. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias.
- ELLIS, R.C. y GRALEY, A.A., 1983. Gains and losses in soil

nutrients associated with harvesting and burning eucalypt rainforest. *Plant and Soil*, 74(3): 437-450.

ELLIS, R.C., LOWRY, R.K. y DAVIES, S.K., 1982. The effect of regeneration burning upon the nutrient status of soil in two forest types in Southern Tasmania. *Plant and Soil*, 65: 171-186.

ELLIS, R.C. Y GRALEY, A.M., 1983. Gain and losses in soil nutrients associated with harvesting and burning eucalypt rainforest. *Plant and Soil*, 74: 37-450.

F.A.O. (1977). Guía para la descripción de perfiles del suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 2ª edic., 70 pp.

F.A.O. (1990). Mapa de suelos del Mundo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, 142 pp.

FERNANDEZ, M.C., GIMENO, P. y GONZALEZ, J., 1988. Impacto del fuego sobre ecosistemas edáficos. En II Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Sevilla, 603-608, Sociedad Española de la Ciencia del Suelo e Instituto de Recursos Naturales y Agrobiología de Sevilla (CSIC), Sevilla.

- FERNANDEZ, M.C., IGLESIAS, T. y GONZALEZ, J., 1991. Evaluación del impacto edáfico en un incendio forestal. XVIII Reunión Nacional de Suelos. Tenerife, 22-28 Septiembre, 387-394.
- FERNANDEZ, M.C., IGLESIAS, M.T. y GONZALEZ, J., 1993. Impacto de un incendio forestal sobre los cationes de calcio y el hierro del suelo. En prensa.
- FERNANDEZ GARCIA, M.P., 1977. Estudio geomorfológico del Mazizo Central de Gredos. Fund. Juan March, Serie Univ., 13, 41 pp.
- FORGEARD, F. y FRENOT, Y., 1987. Siuvi des quelques caractéristiques physico-chimiques d'un sol de lande a *Ulex europaeus* après un incendie de printemps. Rev. Ecol. Biol. Sol, 24(4): 715-728.
- FORTEZA DEL REY, M., 1984. Caracterización Agroclimática de la Provincia de Avila. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Dirección General de la Producción Agraria.
- FOLCH I GUILLEN, R., 1977. El caso de la estructura y dinámica de la vegetación y los incendios forestales, Sobre ecologismo y ecología aplicada, 105-144. Ed. Ketres.
- FROMENT, A., 1975. Les premiers stades de la sucesion végétale

après incendie de tourbe dans la réserve naturelle des Hautes Fagnes. *Vegetatio*, 29(3): 209-214.

FUJITA, H., 1988. Fluctuation of soil chemical properties immediately after fire on the secondary oak forest in northeastern part of Japan. *Ecological Review*, 21(3): 221-225.

GARCIA-BADELL, J.J., 1987. La contaminación y el equilibrio ecológico. *MQ Agricultura, Pesca y Alimentación*. INIA. Madrid. 238 pp.

GARCIA-FAYES, P., 1987. El impacto de los incendios forestales. *El Medio Ambiente en la Comunidad Valenciana Generalitat valenciana. Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transport*, 176-179.

GIESERING, J.E., 1975. Soil component. Vol. 2. Inorganic components. Springer-Verlag. New York. Inc., 648 pp.

GIMENO CAMACHO, G.P., 1987. Impacto del fuego sobre ecosistemas edáficos. Memoria de Licenciatura. Facultad de Farmacia. Departamento de Edafología. U.C.M.

GIOVANNINI, G., LUCCHESI, S. y GIACHETTI, M., 1987. The natural evolution of a burned soil: A three years investigation. *Soil Sci.* 143(3): 220-226.

- GIOVANNINI, G., LUCCHESI, S. Y GIACHETTI, M., 1990. Effects of heating on some chemical parameters related to Soil fertility and plant growth. *Soil Science*, 149(6): 344-350.
- GOH, K. y PHILLIPS, M.J., 1991. Effects of clearfell logging and clearfell logging and burning af a Nothofagus forest on soil nutrient dynamics in South Island, New Zeland- changes in forest floor organic matter and nutrient status. *Journal of Botany* 29(4): 367-384.
- GOLDAMNER, J.G., 1984. Fever und wald. Impacts de l'Homme sur la Foret. *Symposium International Strasbourg (France)*. INRA, 403-418.
- GONZALEZ, J., FERNANDEZ, C. Y GIMENO, P., 1992. Efectos de los incendios forestales sobre el suelo. *Suelo y Planta*, 71-79.
- GRANADOS CORONA, M., MARTIN VICENTE, A. y GARCIA NOVO, F., 1986. El papel del fuego en los ecosistemas de Doñana. *Bol. Est. Cent. Ecol.* 15(29): 17-28.
- GREGORY. K.J. y WALLING, D.E., 1987. Human activity and envi ronmental processes. John Wiley & Sons Ed., 466 pp.
- GUITIAN OJEA, F. y CARBALLAS FERNANDEZ, T. (1976). *Técnicas de*

- Análisis de Suelos. Ed. Pico Sacro. Santiago de Compostela, 288 pp.
- GUTIERREZ PALACIO, A., 1989. Conservacionismo y desarrollo del recurso forestal. Ed. Trillas, 205 pp.
- HERNANDEZ PACHECO, F., 1950. Rasgos fisiográficos y geológicos de La Vera, del tramo medio del Valle del Tiétar y del Campo Arañuelo. Bol. R. Soc. Esp. H. Nat. (Geol.) 48: 217-246.
- HELVEY, J.D., TIEDEMAN, A.R. y ANDERSON, T.D., 1985. Plant nutrient losses by soil erosion and mass movement after wildfire. Journal of Soil and Water Conservation, 40(1): 168-173.
- HERNANDEZ PACHECO, F., 1957. Livret-Guide de l'Excursion Cl. Gredos. INQUA. V Congrès International, 58 pp.
- HOYOS, A., HERNANDO, J., EGIDO, J.A. y CUCHI, M.J., 1980. Caracterización de suelos del Sistema Central: III Umbrepts (con carácter espódico). An. Edaf. y Agrob., 39: 743-752.
- IBAÑEZ, J.J., LOBO, M.C., ALMENDROS, G. y POLO, A., 1983. Impacto del fuego sobre algunos ecosistemas edáficos de clima Mediterráneo continental en la zona Centro de España. Bol. Est. Cent. Ecol., 12: 27-42.

- IGLESIAS, M.T., FERNANDEZ, M.C. y GONZALEZ, J., 1993. Acción del fuego sobre el ecosistema edáfico en un medio forestal. En prensa.
- JORGENSEN, J.R. y WELLS, C.G., 1971. Apparent Nitrogen fixation in soil influenced by prescribed burning. *Soil Sci. Am. Proc.*, 35(5): 806-810.
- KHANNA, P.K. y RAISON, R.J., 1986. Effect of fire intensity on solution chemistry of surface soil under a *Eucaliptus pauciflora* forest. *Aust. J. Soil Res.*, 24: 423-434.
- KOPLATEC, J.M., KOPLATEC, C.C. y DeBANO, L.F., 1990. Potential variation of nitrogen transformations in pinyon-juniper ecosystems resulting from burning. *Biology and Fertility of Soils*, 10(1): 35-44.
- KOVACIC, D.A., SWIFT, D.M., ELVIS, J.E. y HAKONSON, T.E., 1986. Immediate effects of prescribed burning on mineral soil Nitrogen in Ponderosa Pine of New Mexico. *Soil Sci.*, 141(1): 71-76.
- KUTIEL, P. y KTIEL, H., 1989. Effects of a wildfire on soil nutrients and vegetation in Aleppo pine forest, on Mount Carmel, Israel. *Pirineos*, 134: 59-73.
- LADERO ALVAREZ, M., 1987. España Luso-Extremadurensis. *Lavege*

tación de España. 544 pp. Col. Aula Abierta.

LAUTENSACH, H., 1968. Geografía de España y Portugal. Ed. Vicens-Vives.

LEITCH, C.J., FLINN, D.W. y GRAAFF, R.H.M. van de, 1983. Erosion and nutrient loss resulting from Ash Wednesday (February 1983) wildfires: a case study. Australian Forestry, 46(3): 173-180.

LOBO, M.C. e IBAÑEZ, J.J., 1984. Aportaciones al estudio de la estructura del sistema trófico en suelos afectados por incendios forestales. Aplicación del sistema de electroultrafiltración. An. Edaf. y Agrob., XLIII(11-12): 1527-1544.

LOPEZ RUIZ, J., APARICIO, A. y GARCIA CACHO, L., 1975. El metamorfismo de la Sierra de Guadarrama. Sistema Central Español. Mem. IG Geol. y Min., 86, 127 pp.

LUCENA CONDE, F., 1966. Mapa de suelos de la Provincia de Avila. CSIC, IOATO, 77 pp.

LUTZ, H.J., 1956. Ecological effect of forest fire in the interior of Alaska. Tech. Bull. U.S. Dpt. of Agric., 1133: 1-121.

LUTZ, H.J. y CHANDLER, F., 1949. Forest Soils. John Wiley &

Sons, Inc., 514 pp.

MAJER, J.D., 1984. Short-term responses of soil and litter invertebrates to a cool autumn burn in Jarrah (*Eucalyptus marginata*) forest in Western Australia. *Pedobiologia*, 26(4): 229-247.

MALANSON, G.P. y O'LEARY, J.F., 1985. Effects of fire and habitat on post-fire regeneration in Mediterranean type ecosystems: *Ceanothus spinosus* chaparral and California coastal sage scrub. *Oecol. Plant.*, 6: 169-181.

MARION, G.M. Y BLACK, C.H.. Potentially available Nitrogen and Phosphorus along a Chaparral fire cycle chronosequence. *Soil Sci. Soc. Journal*, 52(4): 1155-1162.

MARTIN ESCORZA, C., 1971. Estudio mesotectónico en los materiales metamórficos de los alrededores de Arenas de San Pedro (Provincia de Avila-Toledo). *Bol. R. S. Esp. Hist. Nat. (Geol.)*, 69: 303-327.

MARTINEZ DE PISON, E. y MUÑOZ JIMENEZ, J., 1972. Observaciones sobre la morfología del Alto Gredos. *Est. Geog.*, XXXIII (126): 597-690.

MARTINEZ DE PISON, E., 1977. Los paisajes naturales de Segovia,

Avila, Toledo y Cácares. Est. Geog., 51-106.

MROZ, G.D., JURGENSEN, M.F., HARVEY, A.E. y LARSEN, M.J., 1980.  
Effects of fire Nitrogen in forest floor horizons.  
Soil Sci. Am. J., 44: 395-400.

MUTCH, R.W., 1970. Wildland fires and ecosystems- A hypothesis.  
Ecology, 51(6): 1046-1051.

NAVEH, Z., 1975. The evolutionary significance of fire in the  
Mediterranean region. Vegetatio, 29(3): 199-208.

NICOLAS, A. y GANDULLO, J.M., 1967. Ecología de los pinares  
españoles. I. Pinus pinaster Ait. Mº Agricultura.  
I.F.I.E., 311 pp.

NUÑEZ, E., CABEZA, J. y ESCUDERO, J.C., 1989. Relación entre  
la biomasa de jarales y su rendimiento energético  
por pirolísis. Options Méditerranéennes, Série  
Séminaires, 3: 345-350.

ODUM, E.P., 1984. Ecología. Ed. Interamericana, Mexico, 3ª  
edic., 639 pp.

ORIOLO, G.A. y CURVETTO, N.R., 1978. The effect of fire on soil  
humics substances. Plant and Soil, 50: 91-98.

OYA, K. y TOKASHIKI, Y., 1984. Soil fertility in a shifting

cultivation on Iriomote Island of Okinawa. I. Nutrients stored in the forest and their input to the soil. *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, 28(4): 218-222.

PARGA, J.R., 1970. Evolución del Mazizo Hespérico en los tiempos antemesozoicos y sus relaciones con otras áreas europeas. *Bol. Geol. Min.*, LXXXI-II-III: 115-143.

PEDRAZA, J. y LOPEZ, J., 1980. Gredos: Geología y Glaciarismo. Trazo Ed., 31 pp.

PERRY, D.A., ROSE, S.L., PILZ, D. y SCHOENBERGER, M.M., 1984. *Soil Sci. Am. J.*, 48: 379-383.

PLATA ASTRAY, G. y GUITIAN OJEA, F., 1966. Transformaciones experimentadas en el suelo por la acción del fuego. *An. Edaf. Agrob.*, XXV(1-2): 57-68.

PRITCHETT, W.L. y FISHER, R.F., 1987. Effects of fire on soils and site. Properties and management of forest soils. John Wiley & Sons, 2<sup>o</sup> ed.

RAISON, R.J., 1979. Modifications of the soil environment by vegetation fires. With particular reference to Nitrogen transformations: A review. *Plant and Soil*, 51: 73-108.

RAISON, R.J., 1983. Effects of regeneration burning on the

properties of forest soils in southern Tasmania:  
Comments on recent study by Ellis et al. (1982).  
Plant and Soil, 74: 453-455.

RAISON, R.J., WOODS, P.V., JAKOBSEN, B.F. y BARY, G.A.V., 1986.  
Soil temperatures during and following low-intensity  
prescribed burning in a *Eucalyptus pauciflora*  
forest. Austr. J. Soil Res., 24(1): 33-47.

RAMAKRISHNAN, P. Y TOKY, P., 1981. Soil nutrient status of hill  
agro-ecosystems and recovery pattern after slash and  
burn agriculture (jhum) in north-eastern India.  
Plant and Soil, 60: 41-64.

REMMERT, H., 1988. Ecología. Autoecología, ecología de pobla-  
ciones y estudio de ecosistemas. Ed. Blume,  
Barcelona, 304 pp.

REYNA, S., 1988. Los Incendios Forstales en la Comunidad Valen-  
ciana. Generalitat Valenciana. Conselleria d'Agri-  
cultura I Pesca, 246 pp.

RICO RICO, F., 1983. Informe sobre los incendios forestales en  
España. Primeras jornadas forestales Hispano-  
Mexicanas. O.F. Subs. For. I.N.I.F., 41: 146-159.

RIVAS MARTINEZ, S., 1975. Mapa de vegetación de la Provincia  
de Avila. An. I. B. Cavanilles, XXXII(2): 1493-1556.

- RIVAS MARTINEZ, S., ARNAIZ, C., BARRENO, E. y CRESPO, A., 1977. Apuntes sobre las provincias corológicas de la Península Ibérica e Islas Canarias. *Op. Bot. Phar. Comp.*, 1: 1-48.
- RIVAS MARTINEZ, S., 1982. Etages bioclimatiques, secteurs chorologiques et séries de végétation de l'Espagne Méditerranée. *Ecol. Medit.* 8(12): 275-288.
- RIVAS MARTINEZ, S. y ARNAIZ, C., 1984. Bioclimatología y vegetación en la Península Ibérica. *Bull. Soc. Bot. Fr.*, 131, Act. Bot. (2/3/4): 111-120.
- RIVAS MARTINEZ, S., 1985. Biogeografía y Vegetación. Discurso leído para ingreso en Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.
- RIVAS MARTINEZ, S., FERNANDEZ GONZALEZ, F. y SANCHEZ-MATA, D., 1986. Datos sobre la vegetación del Sistema Central y Sierra Nevada. *Op. Bot. Phar. Comp.*, 2: 1-136.
- RIVAS MARTINEZ, S. Y COLS., 1987. Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España. ICONA, 268 pp.
- RODER, W., CALVERT, O. y DORJI, Y., 1993. Effect of burning on selected soils parameters in a grass fallow shifting cultivation system in Bhutan. *Plant and Soil*, 149: 51-58.

- ROZE, F., 1989. Mise au point d'une méthode d'échantillonnage par points pour l'interprétation de lames minces: Application á la comparaison de deux humus de landes après incendie. Re. Ecol. Biol. Sol, 26(2): 189-196.
- ROZE, F. y FORGEARD, F., 1982. Evolution de la minéralisation de l'azote dans sols de landes incendiées et non incendiées de la region de Paimpont (Bretagne, France). Oecol. Plant., 3(17): 249-268.
- RUIZ DEL CASTILLO, J., 1981. Efectos ecológicos de los incendios forestales. Vida Silvestre, 39: 180-189.
- SAMO LUMBRERAS, A.J., 1985. La regeneración natural de montes quemados en la Sierra del Espadán (Castellón). INIA, 190 pp.
- SANCHEZ-MATA, D., 1989. Flora y vegetación del Mazizo Oriental de la Sierra de Gredos (Avila). Institución Gran Duque de Alba. Dip. Prov. Avila, 440 pp.
- SAN ROQUE, P., RUBIO, J.L. y MANSANET, J., 1985. Efecto de los incendios en las propiedades del suelo, en la composición florística y en la erosión hídrica de zonas forestales de Valencia (España). Rev. Ecol. Biol. Sol, 22(2): 131-147.

- SAVAGE, S.M., OSBORN, J., LETEY, J. y HEATON, C., 1972. Substances contributing to fire-induced water repellency in soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 36: 674-678.
- SCHMIEDER, O., 1953. La Sierra de Gredos. *Est. Geog.*, XIV(50): 421-440, 629-653.
- SCOTT, V.H. y BURGY, R.H., 1956. Effect of heat and brush burning on the physical properties of certain upland soils that influence infiltration. *Soil Sci.*, 82: 63-70.
- SCOTT, D.F. y WYK, B. van, 1990. The effects of wildfire on soil wettability and hydrological behaviour of an afforested catchment. *Journal of Hydrology (Amsterdam)*, 121 (1-4): 239-256.
- SERRASOLSAS, I., FERRAN, A. y VALLEJO, V.R., 1989. Reconstrucción de los horizontes orgánicos tras el incendio en la garriga del mazizo de Garraf (Barcelona). *Options Méditerranéennes, Série Séminaires*, 3: 107-110.
- SEVINK, J., IMESON, A.C. y VERSTRATEN, J.M., 1989. Humus form development and hillslope runoff, and the effects of fire and management, under mediterranean forest in NE-Spain. *Catena*, 16, 4/5: 461-476.

- SPURR, S.H. y BARNES, B.V., 1982. Incendios, *Ecología Forestal*. AGT Editor, 275-294.
- STARK, N.M., 1977. Fire and Nutrient cycling in a Douglas-fir/-Larch forest. *Ecology*, 58: 16-30.
- STUCKI, J.W., GOODMAN, B.A. y SCHWERTMANN, U., (1988). Iron in soils and clay minerals. NATO ASI Series. Series C: Mathematical and Physical Sciences, vol. 217.
- SCHWERTMANN, U. y TAYLOR, M., (1977). Iron Oxides. Chapter 5. 145-180. In *Minerals in Soli Environments*, J.B. Dixon y S.B. Weed. Ed. Madison, Wisconsin, USA, 948 pp.
- TARRANT, R.F., 1956. *Effects of slash burning on some soils of the Douglas-Fir Region*. *Soil Sci. Soc. Proc.*, 408-411.
- TARREGA, R. y LUIS, E., 1989. Sucesion post-fuego y mecanismos de supervivencia en comunidades de *Quercus pyrenaica* en la Provincia de León. *Options Méditerranéennes, Série Séminaires*, 3: 137-140.
- TERAN, M. y SOLE SABARIS, L., 1952. *Geografía de España y Portugal*. Ed. Muntaner, Barcelona, I, 500 pp.
- TRABAUD, L., 1979. *Etude du comportement du feu dans la garri-*

gue de Chene Kermes á partir des températures et des vitesses de propagation. Ann. Sci. Forest., 36(1): 13-18.

TRABAUD, L., 1980. Evolution après incendie de la structure de quelques phytocénosis méditerranées du Bas-Languedoc (Sud de la France). Ann. Sci. Forest., 40(2): 177-196.

TRABAUD, L., 1985. Quantités d'énergie et puissance potentielle de feu de quelques communautés végétales du sud de la France. Oecol. Plant., 6(20): 387-394.

TRABAUD, L., 1989. Les effets du regime des feux: exemples pris dans le bassin mediterraneen. Options Mediterranéennes. Série Séminaires, 3: 89-94.

ULERY, A.L. y GRAHAM, R.C., 1993. Forest fire effects on soil color and texture. Soil Sci. Soc. Am. J., 57: 135-140.

VANCE, E.D. y HENDERSON, G.S., 1984. Soil nitrogen availability following long-term burning in an oak-hickory forest. Soil Sci. Soc. Am. Journal, 48(1): 184-190.

VEGA HIDALGO, J.A., 1978. Utilización del fuego controlado en las comunidades vegetales de Galicia. Bol. Est. Cent. Ecol., 7(14): 3-20.

- VELASCO, F., LOZANO, J.M. y BELLO, A., 1986. Alteraciones físico-químicas y bioquímicas en áreas quemadas de *Pinus pinaster*. Bol. Est. Cent. Ecol., 15(29): 29-39.
- VELEZ MUÑOZ, R., 1974. Efectos económicos, sociales y ecológicos de los incendios forestales. Bol. Est. Cent. Ecol., 3(5): 3-22.
- VELEZ MUÑOZ, R., 1980. Efectos del fuego y de la ordenación del combustible en ecosistemas Mediterráneos de Europa. Bol. Est. Cent. Ecol., 9(17): 3-18.
- VIDAL BOX, C., 1932. Morfología Glaciar Cuaternaria del Mazizo Oriental de la Sierra de Gredos. Bol. R. S. E. H. Nat., XXII(2): 117-135.
- WAGLE, R.F. y KITCHEN, J.H., 1972. Influence of fire on soil nutrients in a Ponderosa Pine type. Ecology, 53: 118-125.
- WESTON, C.J. y ATTIWIL, P.M., 1990. Effects of fire and harvesting on nitrogen transformations and ionic mobility in soils of *Eucalyptus regnans* forests on southeastern Australia. Oecologia, 83(1): 20-26.
- WOO, B.M. y LEE, H.H., 1989. Effects of forest fire on the forest vegetation and soil.(IV). Journal on Korean

Forestry Society, 78(3): 302-313.

ZARRAGA MORENO, J.L., 1988. Los incendios forestales y las actitudes de la población de las comarcas afectadas. IARA. Servicio de Estudios e Informes, Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, 92 pp.