

Estudio de los suelos forestales de la Depresión Central Catalana.

Victoriano Ramón Vallejo Calzada

ADVERTIMENT. La consulta d'aquesta tesi queda condicionada a l'acceptació de les següents condicions d'ús: La difusió d'aquesta tesi per mitjà del servei TDX (www.tesisenxarxa.net) ha estat autoritzada pels titulars dels drets de propietat intel·lectual únicament per a usos privats emmarcats en activitats d'investigació i docència. No s'autoritza la seva reproducció amb finalitats de lucre ni la seva difusió i posada a disposició des d'un lloc aliè al servei TDX. No s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant al resum de presentació de la tesi com als seus continguts. En la utilització o cita de parts de la tesi és obligat indicar el nom de la persona autora.

ADVERTENCIA. La consulta de esta tesis queda condicionada a la aceptación de las siguientes condiciones de uso: La difusión de esta tesis por medio del servicio TDR (www.tesisenred.net) ha sido autorizada por los titulares de los derechos de propiedad intelectual únicamente para usos privados enmarcados en actividades de investigación y docencia. No se autoriza su reproducción con finalidades de lucro ni su difusión y puesta a disposición desde un sitio ajeno al servicio TDR. No se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al resumen de presentación de la tesis como a sus contenidos. En la utilización o cita de partes de la tesis es obligado indicar el nombre de la persona autora.

WARNING. On having consulted this thesis you're accepting the following use conditions: Spreading this thesis by the TDX (www.tesisenxarxa.net) service has been authorized by the titular of the intellectual property rights only for private uses placed in investigation and teaching activities. Reproduction with lucrative aims is not authorized neither its spreading and availability from a site foreign to the TDX service. Introducing its content in a window or frame foreign to the TDX service is not authorized (framing). This rights affect to the presentation summary of the thesis as well as to its contents. In the using or citation of parts of the thesis it's obliged to indicate the name of the author.

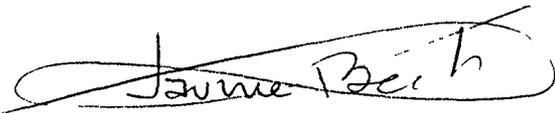
UNIVERSIDAD DE BARCELONA

FACULTAD DE BIOLOGIA

ESTUDIO DE LOS SUELOS FORESTALES
DE LA
DEPRESION CENTRAL CATALANA

Vº Bº

EL DIRECTOR,

A handwritten signature in black ink, reading "Jaime Bech", written over a horizontal line.

Tesis presentada por
Victoriano Ramón Vallejo Calzada
para optar al grado de Doctor.
Dirigida por el Profesor
Dr. D. Jaime Bech Borrás.

Barcelona, curso 1982-83.



SINTESIS DE LA TIPOLOGIA Y LA GENESIS DE LOS SUELOS ESTUDIADOS

Las clasificaciones climáticas de suelos, la rusa por ejemplo, consideran los suelos carbonatados como intrazonales, es decir, fuertemente condicionados por las características locales, de roca en este caso.

Según Čirič (1967), la edafogénesis sobre roca carbonatada está determinada fundamentalmente por el contenido y composición mineralógica del residuo insoluble. En este sentido, establece tres tipos de rocas carbonatadas: 1. Rocas que son muy sensibles a la desintegración mecánica como las margas. 2. Rocas con alto contenido en residuo insoluble, arenoso; la meteorización se inicia con la disolución y lixiviado de los carbonatos del cemento que facilita la posterior fragmentación mecánica. Es el caso de las areniscas calcáreas y calcarenitas. 3. Calizas puras, con muy bajo contenido en residuo insoluble, que son sujetas sólo a disolución química y no a desintegración mecánica. Son las calizas micríticas que dan lugar a los suelos fersialíticos.

Siguiendo el modelo de Čirič, los suelos sobre roca carbonatada de la Depresión Central se pueden agrupar según el tipo de material parental:

- Sobre calizas duras micríticas y coluviones en los que no haya mezcla importante de otros materiales más carbonatados (margas por ejemplo).

Sobre roca caliza dura la disolución es pelicular (Lamou-roux, 1972) y produce una lenta descarbonatación localizada. No hay disgregación física de la roca aunque si una cierta fragmentación producida sobre todo por cambios de temperatura. El material fino ocupa las abundantes fisuras de los estratos calizos.

Los suelos son fersialíticos, descarbonatados excepto en la fracción arena gruesa aparte de la existencia de piedras y gravas de naturaleza caliza. Pueden haber recarbonataciones secundarias, con aparición de precipitados de tamaño arcilla y li-

mo fino. Hay una rubefacción y liberación de hierro paralelos al proceso de descarbonatación, siendo los colores 5YR y 7'5YR; la tasa de liberación de hierro es inferior a la de suelos fersialíticos de sistemas cársticos observados en otras zonas de Cataluña, de la Península y del sur de Francia.

Son suelos de texturas finas, con dominancia de limo fino y arcilla, nada o débilmente ilimerizados, con pHs entre neutros (en A₀) a ligeramente básico y saturados en bases.

La mineralogía de arcillas muestra una evolución pasada de vermiculitización que en la actualidad es básicamente conservativa, con dominancia de illitas.

La génesis de estos suelos requiere las siguientes etapas: descarbonatación, rubefacción en clima contrastado, débil ilimerización, recarbonatación local. Posteriormente parece que han predominado los procesos de erosión/acumulación, con el consiguiente rejuvenecimiento de los perfiles. Todo parece indicar que en las condiciones actuales la descarbonatación es inapreciable y se produce una cierta recalificación.

En los suelos fuertemente recarbonatados hay formas de tránsito al grupo pardo calizo. En los casos de suelos decapitados, superficiales y con abundante materia orgánica, se dan intergrados con las rendsinas.

- Sobre areniscas calcáreas el proceso de alteración es mixto: primero disolución y después desintegración y arenización (Čirič, 1967).

Dependiendo del grado de desarrollo y acidificación tenemos:

- a) Fersialíticos pardos sin reserva cálcica (o con muy poca) y en algún caso ilimerizados. La distribución de estos suelos hace pensar en que son fundamentalmente relictos.
- b) Suelos carbonatados en que la acidificación es poco acentuada. Se supone que son suelos jóvenes, consecuencia de intensos procesos erosivos recientes.

Los primeros, grupo a, siguen características similares a los fersialíticos sobre calizas, diferenciándose por una textura franco arenosa, acidificación y desaturación acusadas, ausencia de piedras y empardecimiento causado probablemente por la existencia de goethita. En general ocupan huecos de los estratos de areniscas y se localizan en el extremo húmedo del área.

Los suelos carbonatados son estremadamente superficiales y a diferencia de los correspondientes a otras rocas madres, contienen menos caliza y los pHs son menos básicos. Al ser el contenido y tamaño de carbonatos muy homogéneos junto a una reactividad de la caliza moderada, el pH está gobernado fundamentalmente por la cantidad de materia orgánica.

- Sobre margas, calizas blandas y semiduras y coluvios margosos.

Predomina en las rocas citadas la disgregación mecánica sobre la disolución y lixiviación de carbonatos.

Dichas rocas son muy sensibles a los procesos erosivos con lo que difícilmente se hallan en posiciones culminales si no es a resguardo de otra roca más resistente.

Son suelos de texturas finas, menos arcillosos que los fersialíticos, predominando la fracción limo fino que también es la más carbonatada. Los contenidos en CaCO_3 equivalente son en general muy elevados y dependen de la cantidad de carbonatos preexistentes en la roca (varía entre calcilutitas y arcillas calcáreas). En los C margosos se han observado ocasionalmente precipitados calizos secundarios y, en topografías favorables, encostramientos.

Los pHs son próximos a 8. La tasa de liberación de hierro es muy baja (20-25%), menor que en los suelos equivalentes del Midi francés (Bottner, 1972). No se produce rubefacción sobre estos materiales.

Tanto en las rocas como en los suelos, la composición de arcillas es muy variada y, como hecho diferencial, cabe destacar la presencia de montmorillonitas en concentraciones apreciables.

Los suelos de este apartado son más profundos en general que los restantes estudiados aunque en las situaciones topográficas elegidas raramente sobrepasan los 50 cm..

La posición subyacente de las margas impermeables respecto a los afloramientos culminales de estratos calizos de poco espesor, (relieves en cuesta o tabulares), impide el desarrollo de morfología cárstica en la Depresión Central Catalana.

Las gravas encostradas de terrazas fluviales se incluyen en el presente apartado, con la salvedad de que ocasionan relieves sobresalientes y del alto contenido en gravas.

- Sobre calcarenitas, el proceso de meteorización no es básicamente distinto que en las areniscas calcáreas pero a diferencia de aquellas, el residuo de la disolución del cemento esparítico está formado por elementos detríticos de naturaleza predominantemente caliza. Los suelos resultantes son muy similares a los anteriores pero con una textura más arenosa.

Los yesos crean unas condiciones edáficas bien particulares debido a la superior solubilidad de los mismos respecto a los carbonatos y, por otra parte, a la intolerancia de muchas plantas a la presencia de esta sal.

El proceso de evolución sobre roca yesífera comporta la disolución y lixiviación de yeso con enriquecimiento relativo en caliza. La dinámica del proceso se ve afectada por el contenido total de yeso en la roca madre y el coluvionamiento. En las zonas culminales no hemos observado precipitados secundarios de yeso.

En los perfiles ricos en yeso son características destacables la presencia de A_0 bien desarrollado, los pHs ligeramente básicos, la C.E. de 2.5 mmhos., la ausencia de Lumbrícidis y la existencia de una vegetación especializada, gipsícola. A medida que se hace mayor el cociente caliza/yeso en el perfil, las propiedades se aproximan a las de los suelos carbonatados sobre margas.

En definitiva, vemos que los suelos existentes en la Depresión Central están condicionados básicamente por el material parental y la incidencia que sobre el mismo han tenido los procesos geomorfológicos y edafogenéticos a lo largo del tiempo. Todo ello para situaciones topográficas y clima general relativamente homogéneos.

Los suelos existentes se caracterizan de manera general por la predominancia del carbonato cálcico:

		lixiviación	
	recarbonatación	del yeso	
Suelos fersialíticos	→	Suelos carbonatados	← Suelos yesíferos

LAS RELACIONES ENTRE LOS SUELOS Y LAS ESPECIES ARBOREAS

Aunque el tema merecería un tratamiento específico, diferente del que se sigue en este trabajo, quisiéramos constatar algunas observaciones al respecto:

- No hay una correspondencia entre el tipo sistemático de suelo y la distribución de las especies forestales. Sólo los suelos ricos en yeso parecen presentar una toxicidad generalizada para todas ellas. No obstante, hemos observado, en alguna marga yesífera, como las raíces de carrasca atraviesan la roca y no parecen presentar problemas de desarrollo aunque el bosque es claro. En otros casos, los árboles se sitúan en los cambios de pendiente, enraizando en los materiales coluviales y no penetrando en el nivel de yesos. En la mayoría de casos, sobre yeso duro, los árboles se quedan en un estadio enfermizo y enano.
- El caso más generalizado es que los árboles y arbustos enraicen en los horizontes C. Así en los estratos de caliza, poco espesos, las raíces penetran a través de la roca muy fragmentada, concentrándose en la zona de contacto con la marga subyacente y, en ocasiones, penetrando en la misma. Tanto las fisuras de las calizas como la superficie de las margas son lugares en que probablemente hay una acumulación selectiva de agua. Es frecuente la presencia de grupos de coscojas entre los cuales prácticamente aflora la roca.

Las plantas de enraizamiento superficial suponemos que estarán mucho más relacionadas con el suelo que estudiamos clásicamente.

- En función del apartado anterior, parece que el estudio de las relaciones suelo-planta debería incluir también los estratos geológicos colonizables por las raíces.

Por otra parte, además de las características ecológicas propias, el suelo tendría un importante papel como regulador de la circulación de agua y nutrientes hacia la zona de acumulación

de las raíces arbóreas.

Sería pues necesaria una visión conjunta de suelo y substrato litológico.

Estos elementos y la relación entre tipología de suelos y material parental, establecida en el apartado correspondiente a tipificación de los suelos, hacen que no estemos de acuerdo con la afirmación de Montserrat (1966) de que el carrascal tiene un suelo característico y poco ligado a la roca que lo sostiene: hemos visto la estrecha relación entre suelo y roca madre para diversos estadios de desarrollo de los suelos.

E S T U D I O D E L A M A T E R I A O R G A N I C A

LOS HORIZONTES ORGANICOS

Morfología y denominación

En nuestro estudio hemos utilizado primordialmente la nomenclatura y conceptos de la C.P.C.S. (1967).

El horizonte A_{00} comprende los restos vegetales sueltos y prácticamente no fragmentados in situ. Este nivel se denomina O1 en la Soil Taxonomy (1975) y Oi en la reciente modificación (Soil Survey Staff, 1981). La nomenclatura de Hesselman (citado por Pritchett, 1979), muy utilizada en estudios forestales, emplea la letra L para la hojarasca poco descompuesta.

El horizonte A_0 comprende los restos vegetales fragmentados e incluso humificados, a condición de que el contenido en materia orgánica sea superior al 30%. La Soil Taxonomy establece unos límites dependientes de la textura que oscilan entre 20-30% (el valor máximo para 50% arcillas); la denominación empleada es O2. En la modificación de la Soil Taxonomy, se utilizan los símbolos Oe y Oa para separar los niveles orgánicos de composición intermedia y más transformados respectivamente, limitados entre sí por un contenido en fibras de 1/6 del volumen. La nomenclatura de Hesselman distingue el nivel F, de fragmentación, compuesto de restos vegetales reconocibles y muy poco humus, abundantemente colonizado por hongos, y el nivel H, constituido básicamente por coprolitos y con pocos restos vegetales. El nivel F presenta una característica estructura laminada y prensada en la que los micelios fúngicos parecen tener un papel enlazante. La capa H presenta una estructura migajosa.

Federer (1982) propone la consideración de horizontes orgánicos para contenidos en materia orgánica mayores del 40% (apro

ximadamente un 20% C), medida por ignición, dada la dificultad de valoración en estos casos del carbono.

Los horizontes orgánicos de los suelos estudiados: los A_{oo}

Se han muestreado y pesado los horizontes de hojarasca (A_{oo}) de una superficie de 25x25 cm² sobre todos los perfiles estudiados. El muestreo se ha realizado en épocas diferentes, al azar, con lo que se introduce una variabilidad debida a la concentración de la caída de las hojas y de la descomposición en determinados períodos.

En el aporte deben intervenir la edad y tipo de cubierta arbórea, estado fisiológico de la planta y transporte lateral.

El transporte lateral en las zonas muestreadas, de muy pequeña o nula pendiente, debe ser poco importante, especialmente en los bosques cerrados.

Según Rapp (1967, 1969), los aportes de hojarasca en bosques del sur de Francia son: Quercus ilex 4.2 Tm/Ha/año; Pinus halepensis 4.0 Tm/Ha/año; Quercus coccifera 2.4 Tm/Ha/año. Pouget (1980) estima los aportes de Pinus halepensis en el sur de Argelia entre 0.5 y 1.5 Tm/Ha/año. Los aportes de hojarasca de encina medidos por Terrades et al. (1981) en el Montseny, son de unas 5 Tm/Ha/año, y los medidos por Leonardi et al. (1977) en la zona del Etna son de 4.2 Tm/Ha/año.

La descomposición debe ser, en parte al menos, definida por el microclima y el suelo. Hay grandes variaciones de microclima, con masas arbóreas continuas, con los troncos de los árboles recubiertos de algas indicadoras de una cierta humedad (sobre todo encinares), contrapuestos a bosques claros con individuos prácticamente aislados. Los cerrados grupos de coscojas, suelen generar un microambiente aparentemente más húmedo en su interior con respecto a las zonas abiertas.

Comparando series de muestras recogidas con pocos días de

diferencia, se observa una variabilidad en el peso de hojarasca equivalente a la global, con lo que suponemos que la época de muestreo no tiene un papel determinante en la explicación de la varianza de la cantidad de hojarasca.

Por otra parte, el hecho de que el muestreo sea aleatorio respecto al tiempo, puede permitir una cierta aproximación a la importancia cuantitativa de las diferentes hojarascas. Las medidas vienen a representar valores máximos, pues los muestreos se han realizado bajo las copas de los árboles, y sólo son extrapolables a unidades de superficie superiores en los bosques cerrados que son la excepción en la zona de estudio.

Los resultados obtenidos son:

Hojarasca de <u>Quercus rotundifolia</u> :	media 1.07 Kg m.o./m ² ;	desviación típica = 0.50	n = 27
Hojarasca de <u>Q. pubescens</u> :	media 0.56 Kg m.o./m ² ;	desviación típica = 0.24	n = 3
Hojarasca de <u>Q. faginea</u> :	media 0.77 Kg m.o./m ² ;	desviación típica = 0.28	n = 10
Hojarasca de <u>Pinus nigra</u> y <u>P. halepensis</u> :	media 0.95 Kg m.o./m ² ;	desviac. típica = 0.35	n = 13
Hojarasca de <u>Q. coccifera</u> :	media 1.18 Kg m.o./m ² ;	desviación típica = 0.51	n = 14

Se observa que los valores más altos corresponden a la coja aunque se supone que los aportes de esta especie son menores (Rapp, 1969). Por otra parte, la inexistencia generalizada de A₀ bajo Quercus coccifera parece indicar que la descomposición es rápida. El elemento determinante debe ser la concentración del aporte de esta especie en áreas muy reducidas (que es donde se muestrea) a causa de su estructura cerrada.

Destacan los bajos valores correspondientes a los robles. Los resultados presentan una fuerte variabilidad que es menor pa-

ra las pinedas. La variabilidad importante en las muestras bajo Quercus pubescens que pertenecen al mismo bosquecillo y, además, son muy próximas entre sí, se explica porque el valor más elevado (0.82 Kg m.o./m^2) se muestreó en marzo, mientras que los otros dos, considerablemente menores, se midieron poco antes de la caída de la hoja, en septiembre.

Suponiendo un bosque de carrasca continuo, los promedios de hojarasca en la Depresión Central serían del orden de 10.7 Tm/Ha en zonas llanas, valor muy próximo a las 11 Tm/Ha citadas por Terrades et al. (1981) en el Montseny (zonas de pendiente y de acumulación de hojas).

La estimación del A_{00} en encinares del sur de Francia es de 11.5 Tm/Ha (Lossaint y Rapp, 1978).

Los horizontes A_0

La existencia de horizontes orgánicos A_0 comporta una velocidad de desaparición de la hojarasca menor de 1 año; por otra parte, su espesor y diferenciación es un indicador de la descomposición de la materia orgánica fresca.

Los pH son en general ligeramente ácidos, pero el complejo de cambio suele estar saturado.

La mayoría de los suelos estudiados presentan A_0 individualizado, o al menos horizontes mixtos A_0A_1 .

Las diferencias observadas son las siguientes:

- El máximo desarrollo y diferenciación de los niveles de A_0 , F y H, se da por una parte en los suelos sobre marga yesífera, en los que puede no formarse horizonte mineral A_1 , y en suelos fersialíticos muy pedregosos en superficie. Como caso singular, hay un suelo carbonatado sobre arenisca calcárea, muy superficial pero no pedregoso (perfil F8002) con F y H bien diferenciados; en cambio, presenta una cantidad de hojarasca de encina excepcionalmente alta (2.3 Kg/m^2) y además, no se han observado turrícolas de lombriz, al contrario que en

otros suelos similares.

En los suelos yesíferos con A_0 espeso y sin A_1 , tampoco hemos observado turrícolas.

- Los suelos fersialíticos presentan en general horizontes F y H, y son pedregosos en superficie. En los casos de escasa pedregosidad superficial, falta sobre todo el nivel H.
- La mayoría de los suelos bajo Quercus coccifera no tienen A_0 diferenciado, incluso con niveles pedregosos en superficie, aunque si A_1 rico en restos orgánicos y una considerable abundancia de turrícolas.
- Los suelos franco arenosos, sobre areniscas calcáreas y calcarenitas, presentan raramente niveles H. Sólo faltan las turrícolas en los suelos muy superficiales.
- Los suelos ácidos presentan horizonte F muy pequeño (1 cm.). El horizonte H parece ser temporal por lo siguiente: sólo se ha observado poco antes de la caída de la hoja, mientras que no se distinguió en un muestreo realizado en marzo a pocos metros (perfiles F8004, F8200 y F8201); el espesor es de 1 cm. frente a 0.5 cm. del F; es poco orgánico en la tierra fina (25% de m.o.); coincide con una disminución del peso de hoja rasca.

En estos suelos, a pesar de los pH próximos a 5, hay turrícolas, habiéndose observado asimismo ejemplares de lombriz vivos.

- En algunos casos de suelos de las zonas más secas de la Depresión, se ha observado una importante cantidad de deyecciones de hormigas, coincidiendo con la inexistencia de A_0 (véase por ejemplo el perfil F8027 bajo Pinus halepensis).

La secuencia morfológica completa observada en el presente trabajo sería: A_{00} suelto - A_{01} (F) con fragmentos vegetales relativamente grandes, colonizados por micelios fúngicos, y con fre

cuentas coprolitos adheridos a los fragmentos inferiores- A_{O2} (H) horizonte rico en coprolitos, con restos orgánicos poco frecuentes y menores que en el nivel anterior, con estructura migajosa, y que en la parte inferior se mezcla con turrícolas de lumbrícidos más o menos sueltas, dando lugar a una transición a los horizontes minerales.

La superposición de un A_0 fundamentalmente coprógeno, producto de la actividad de microartrópodos, sobre un A_1 de turrícolas, Cabidoche (1979) lo interpreta, en suelos pirenaicos, como una transición entre sustrato "poco fragmentado" (de guijarros) y sustrato fragmentado, con un principio de acumulación de tierra fina.

En función de las características descritas, los factores que creemos tienen relevancia en el desarrollo de los horizontes A_0 en la Depresión Central Catalana son:

- En general, los elementos climáticos que condicionan el período de actividad biológica: frío y sequedad. La combinación de estos factores limitantes reduce la actividad de los organismos edáficos a cortos períodos de primavera y otoño, en los que, sin embargo, la actividad debe ser intensa. Es lógico suponer que estos procesos presentan una gran irregularidad, al igual que el clima. Pouget (1980) describe el perfil fersialítico típico bajo bosque y matorral en Argelia, con A_0 diferenciado.
- Los factores limitantes del enterramiento de los restos orgánicos superficiales por la macrofauna (básicamente lumbrícidos), en particular el exceso de yeso y la pedregosidad superficial que puede llegar a formar prácticamente un pavimento continuo.

Los niveles pedregosos de superficie pueden, asimismo, crear un medio especialmente seco, debido a la falta de tierra fina y la consiguiente poca capacidad de retención de

agua que poseen. Este hecho ha sido observado por diversos autores (Duchaufcur y Bartoli, 1966; Bottner, 1972; Komornicki, 1977; Cabidoche, 1979; Escuredo, 1982). Mommaerts-Billet (1971) observa una mejor descomposición de las hojas de roble y haya en suelos despedregados.

- La magnitud de aporte de materia vegetal fresca en la medida que rebasa la capacidad de descomposición del suelo: es el caso, por ejemplo, de suelos muy superficiales y, por tanto, pobres en tierra fina. No hay una relación directa general entre la cantidad de A_{00} y la existencia de A_0 . Se da esta relación en algunos suelos bajo carrasca con altos contenidos de hojarasca.
- En relación con el tipo de hojarasca, no se observan diferencias atribuibles a la naturaleza de las mismas.

En los coscojares no suele haber A_0 diferenciado y ello quizá debe atribuirse al microclima creado por su propia estructura vegetativa, incluso en las zonas más áridas.

Bottner (1972) tampoco encuentra variaciones en los A_0 en relación a las diferentes especies forestales en una secuencia mediterráneo-alpina.



EL PERFIL ORGANICO

En el estudio de la distribución de la materia orgánica en el suelo se debe tener presente que la existencia de pequeños horizontes mixtos $A_0 A_1$ aporta una cierta subjetividad en la posición de la superficie del suelo mineral. Este hecho implica una considerable dispersión en los puntos próximos al cero de profundidad.

Los valores de %C y C/N de las gráficas (figuras 17 a 34) se representan contra la profundidad del punto medio del horizonte respectivo.

La distribución del carbono orgánico

En los suelos agrupados por la naturaleza predominante de la hojarasca:

Los suelos bajo coscoja presentan los %C menores. Se hace difícil obtener un perfil profundo bajo coscoja en la Depresión Central ya que, con frecuencia, la extensión de los grupos de dicho arbusto se lleva a cabo por rebrote, y mientras la parte central del conjunto ocupa suelos más o menos profundos, muchas veces fisurales, los brotes exteriores pueden colonizar sue los superficiales.

En los suelos bajo robles, se advierte un ligero aumento del %C en los A_1 margosos y yesíferos respecto a los formados a partir de arenisca calcárea.

Bajo hojarasca de pino, se observan contenidos un poco más altos de C que en los demás suelos entre 10 y 20 cm. de pro fundidad.

Agrupando las muestras por tipos de suelos, es decir, según el material parental, cabe destacar que los suelos sobre arenisca calcárea son algo menos orgánicos en los horizontes minera les que el resto. Por lo demás no hay diferencias significativas

entre los respectivos perfiles.

Aunque no hay diferencias muy acusadas entre los perfiles orgánicos: seleccionando las muestras por tipos de hojarasca o por tipo de suelo mineral, esta última distribución ofrece valores menos dispersos.

Las curvas presentan la máxima pendiente (o cambio máximo en el %C) entre 2-3 cm. de profundidad y contenido en C del orden de 5%. Los valores en profundidad, incluso en los horizontes C friables, raramente son inferiores al 1%C.

En función de los datos obtenidos por las curvas comentadas, nuestros suelos son algo menos orgánicos que los encinares estudiados por Bottner (1972) en el sur de Francia, y algo más orgánicos que los encinares y pinedas del sur de Argelia (Pouget, 1980) en clima subhúmedo y semiárido.

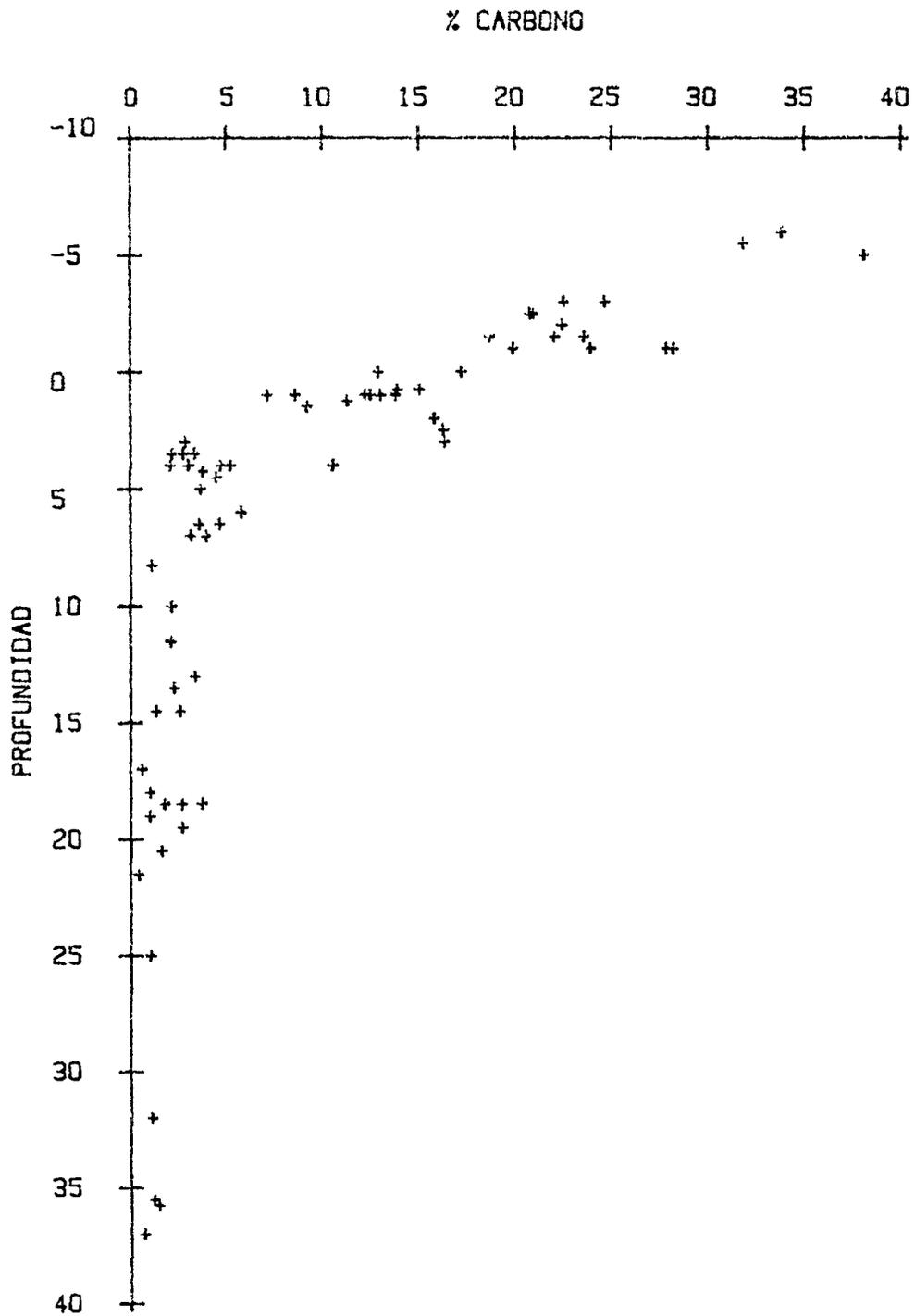


FIGURA nº 17.- Suelos con hojarasca de encina carrasca.

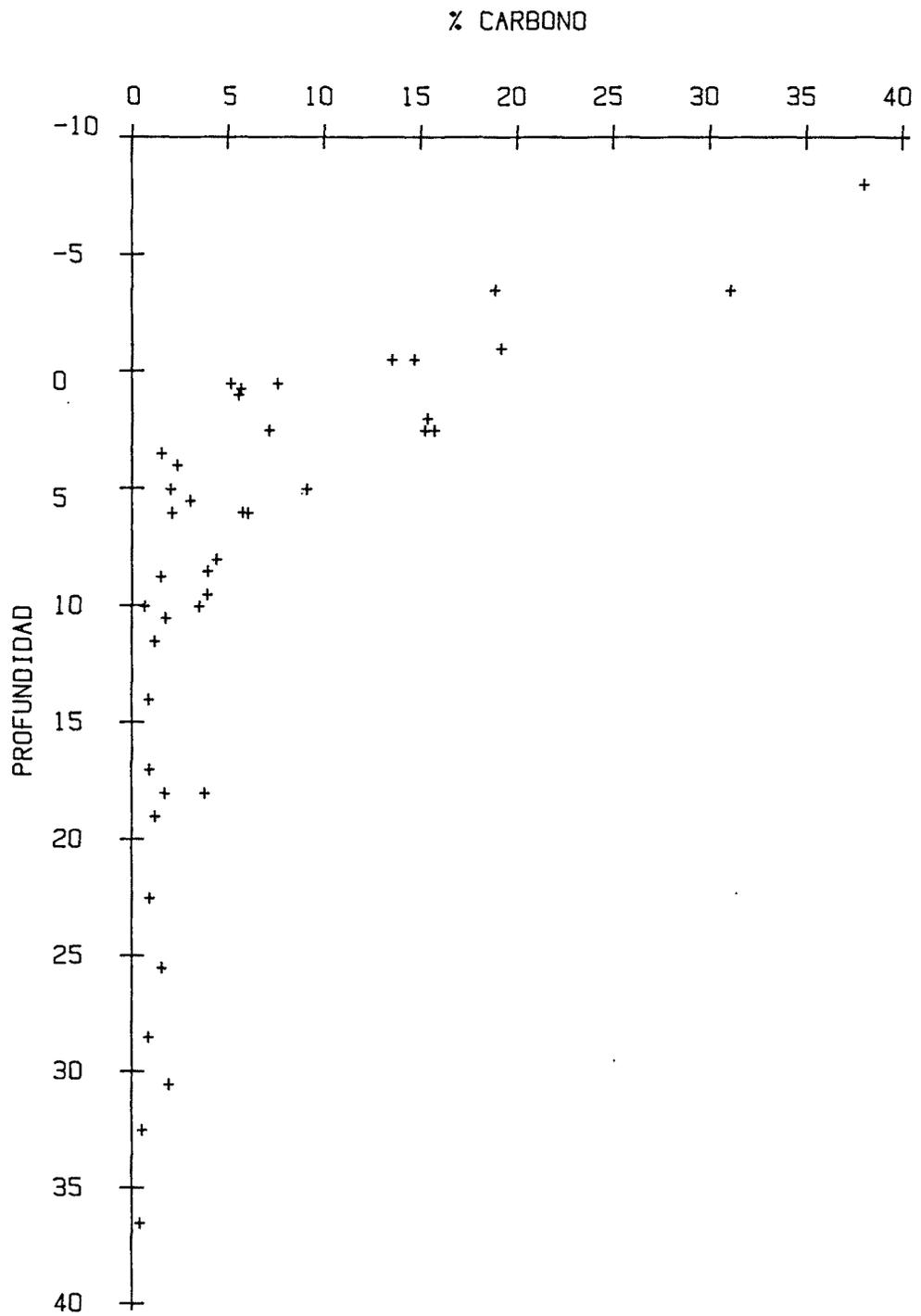
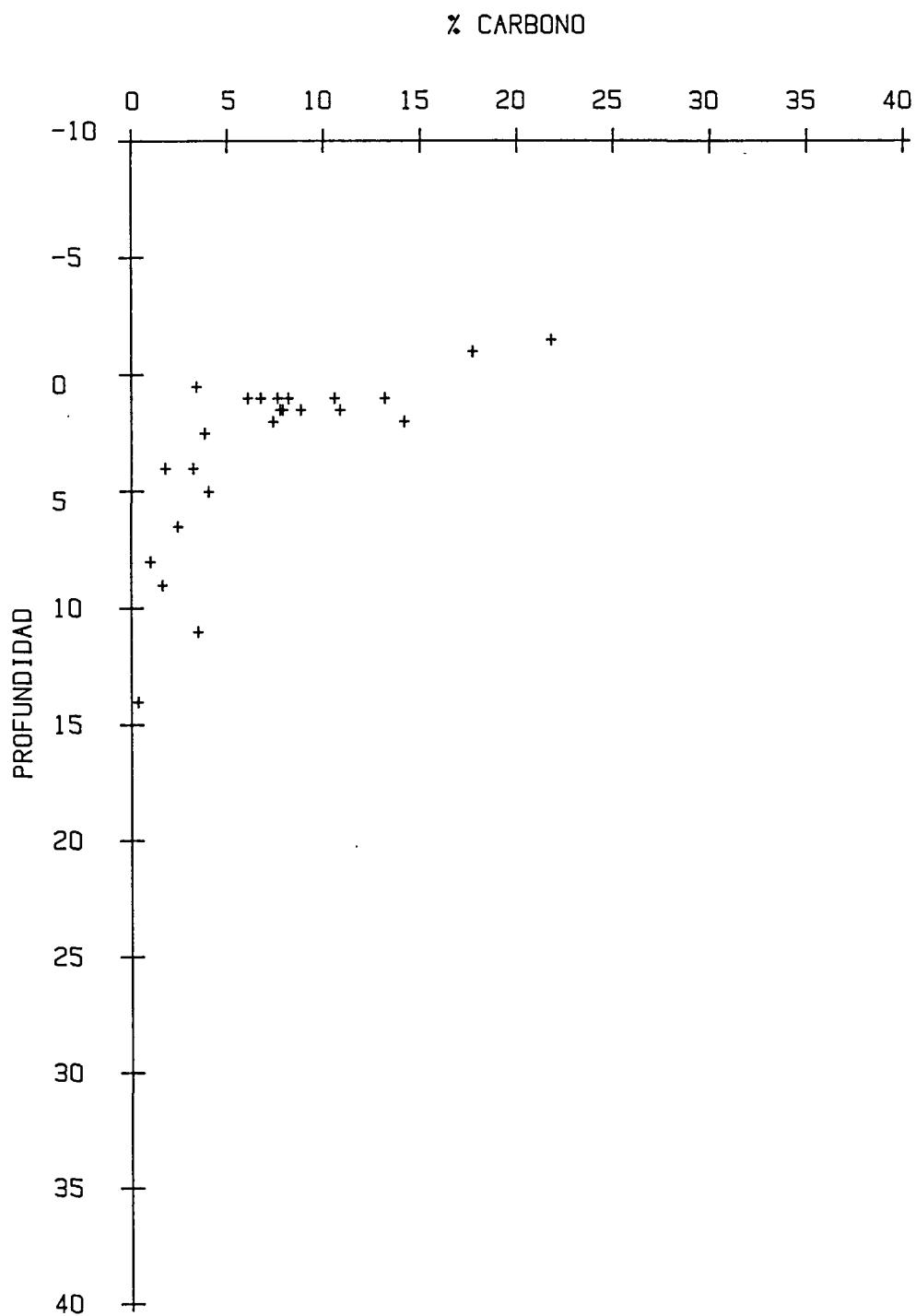


FIGURA nº 18.- Suelos con hojarasca de roble.



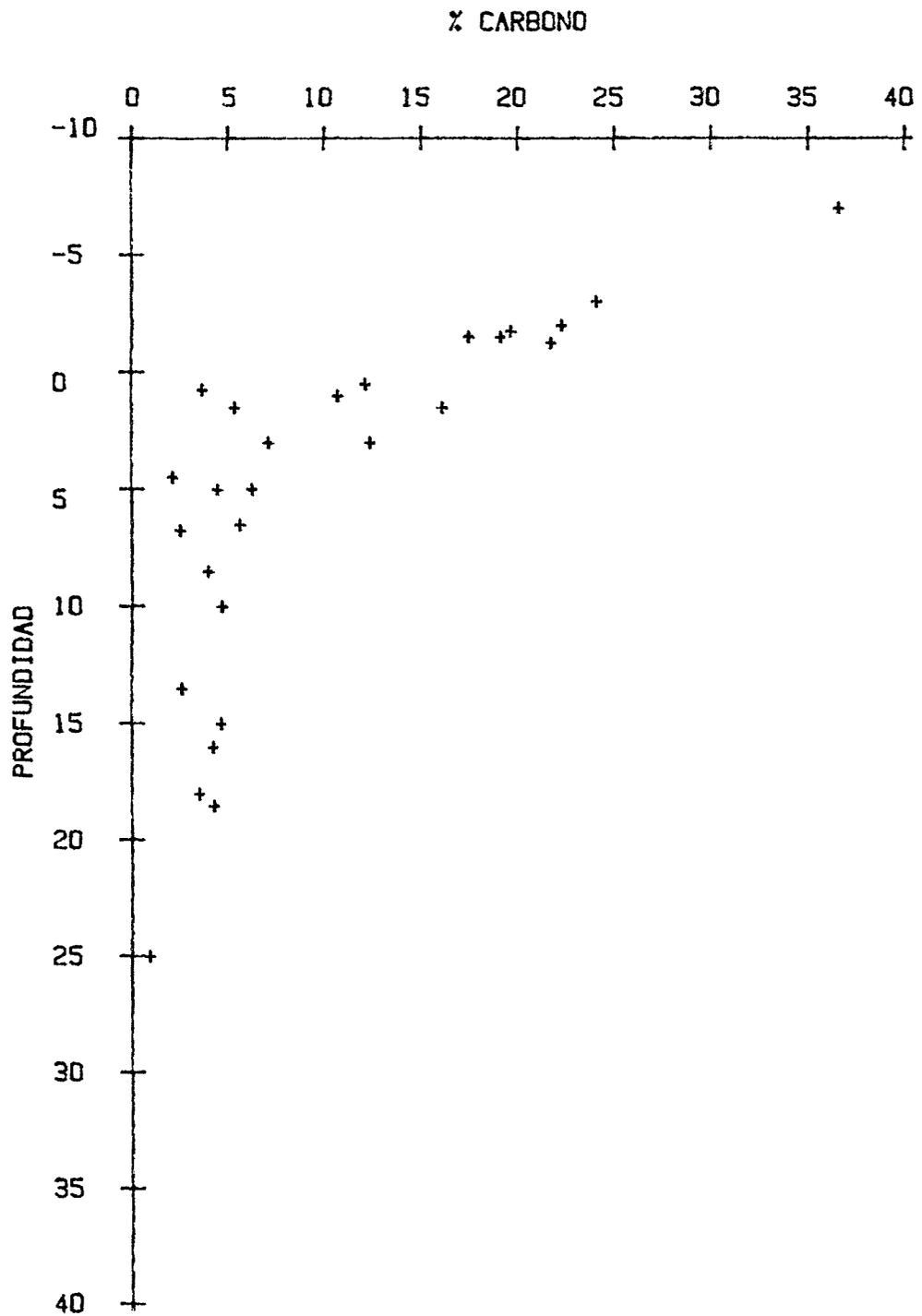


FIGURA n° 20.- Suelos con hojarasca de pino.

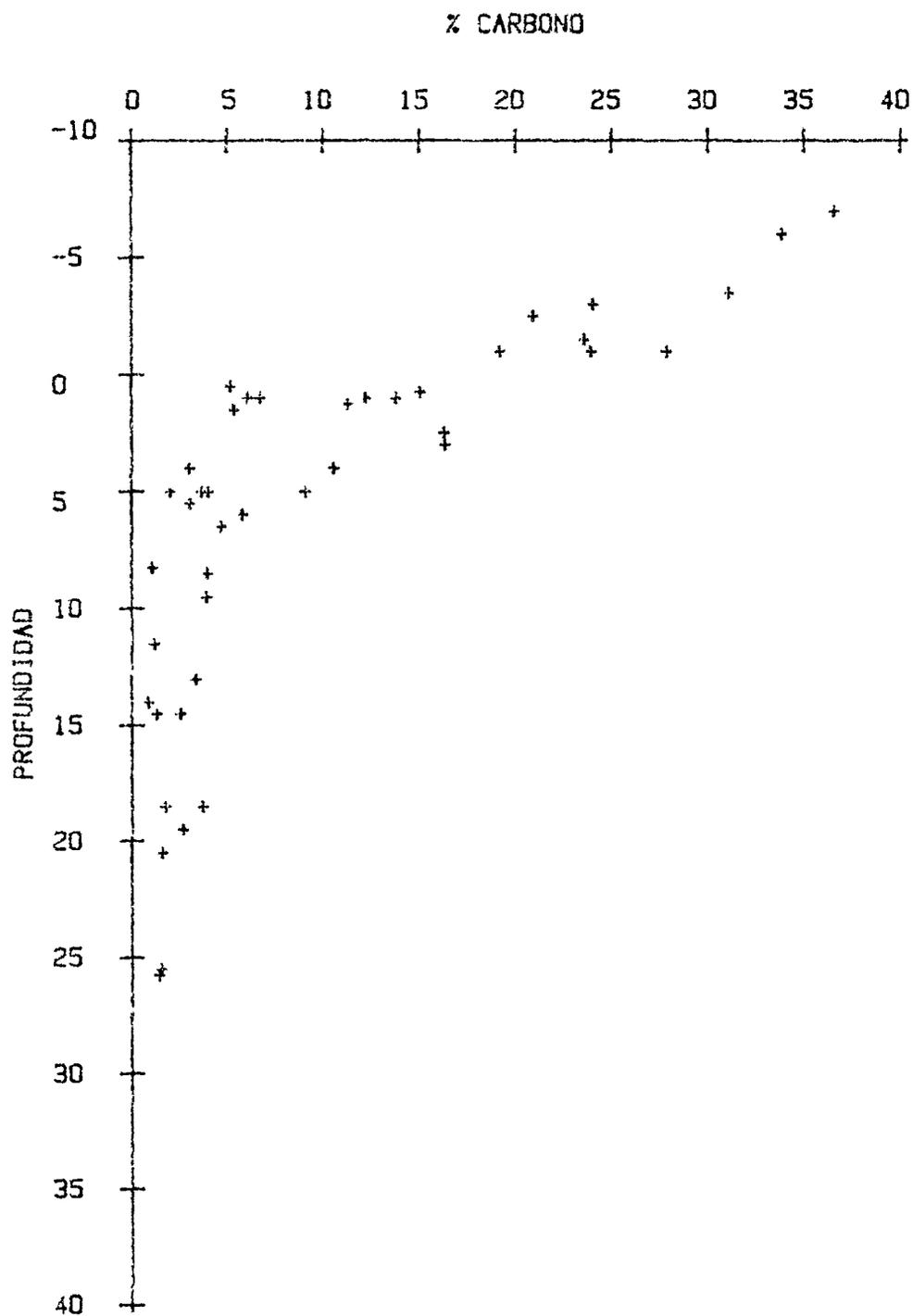


FIGURA nº 21.- Suelos sobre caliza dura.

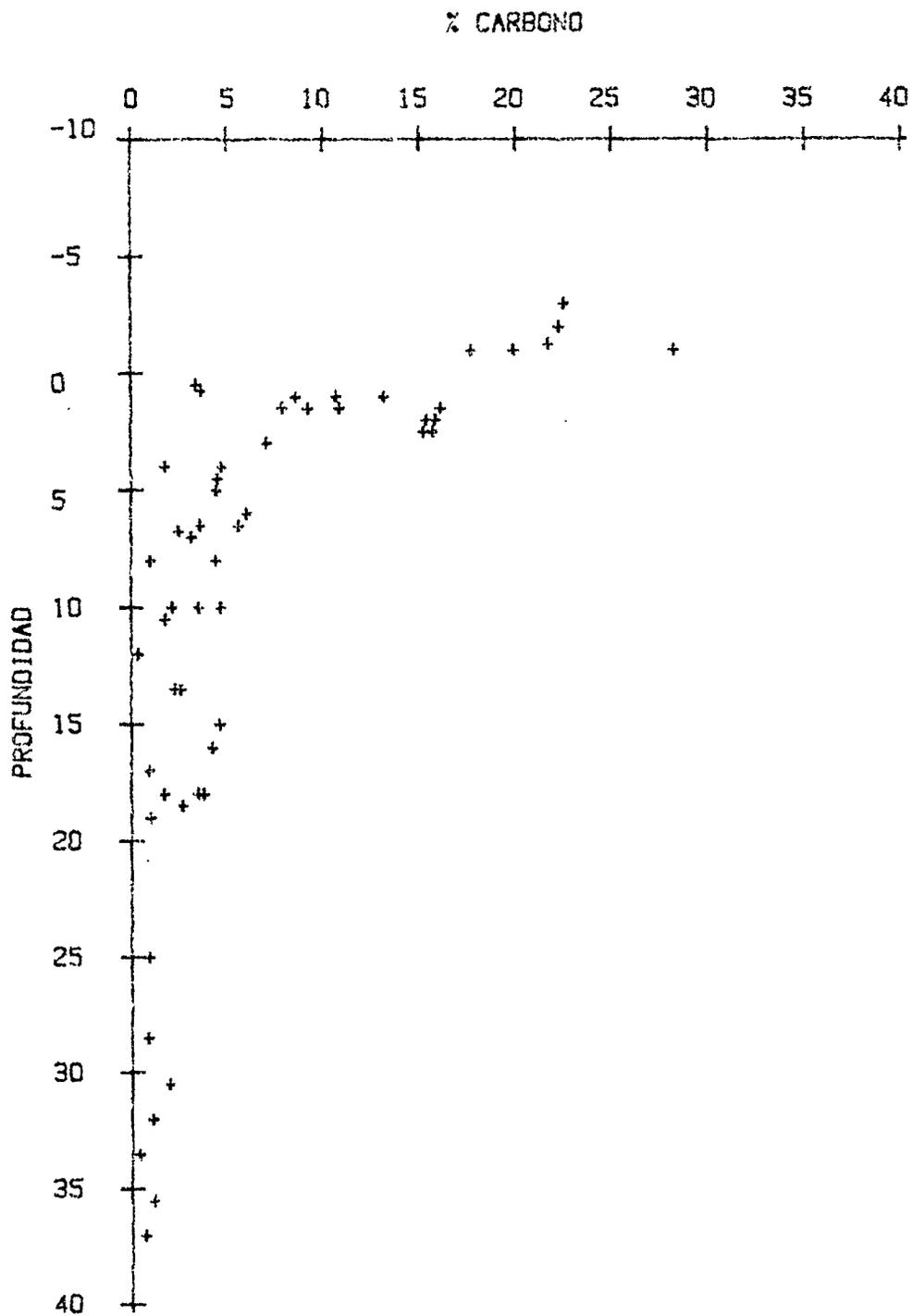


FIGURA nº 22.- Suelos sobre margas.

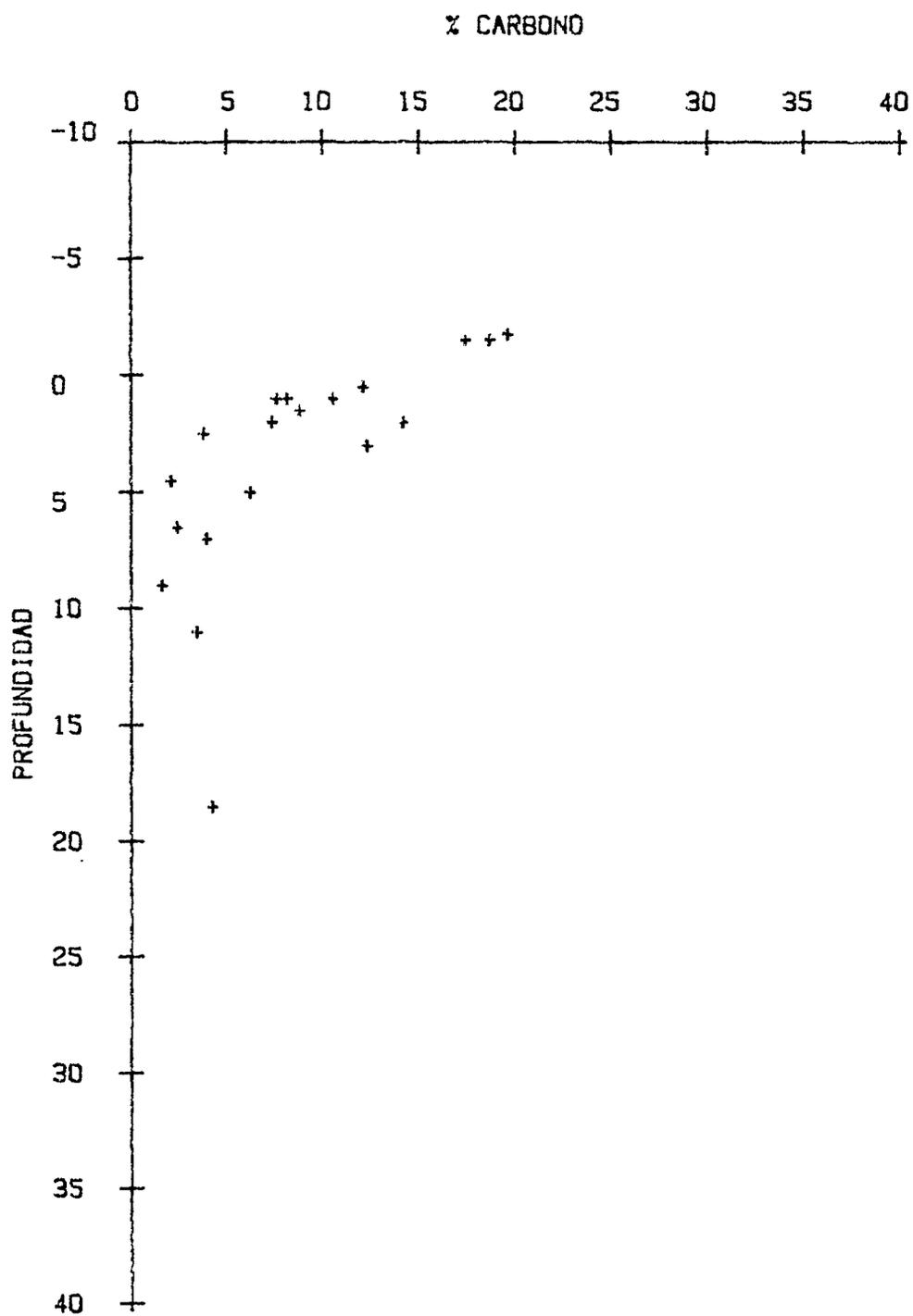


FIGURA nº 23.- Suelos sobre calcarenita.

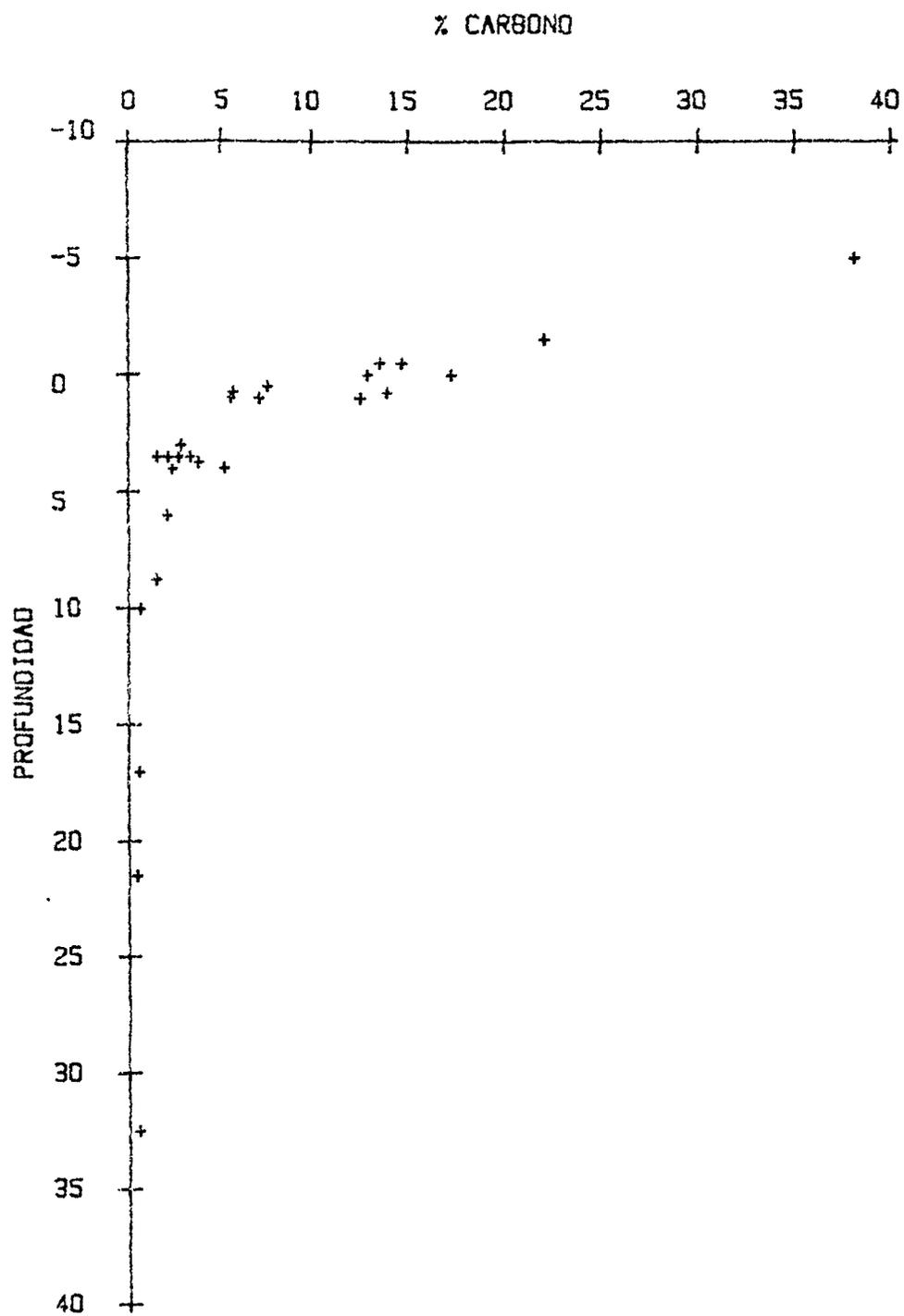


FIGURA nº 24.- Suelos sobre arenisca caliza.

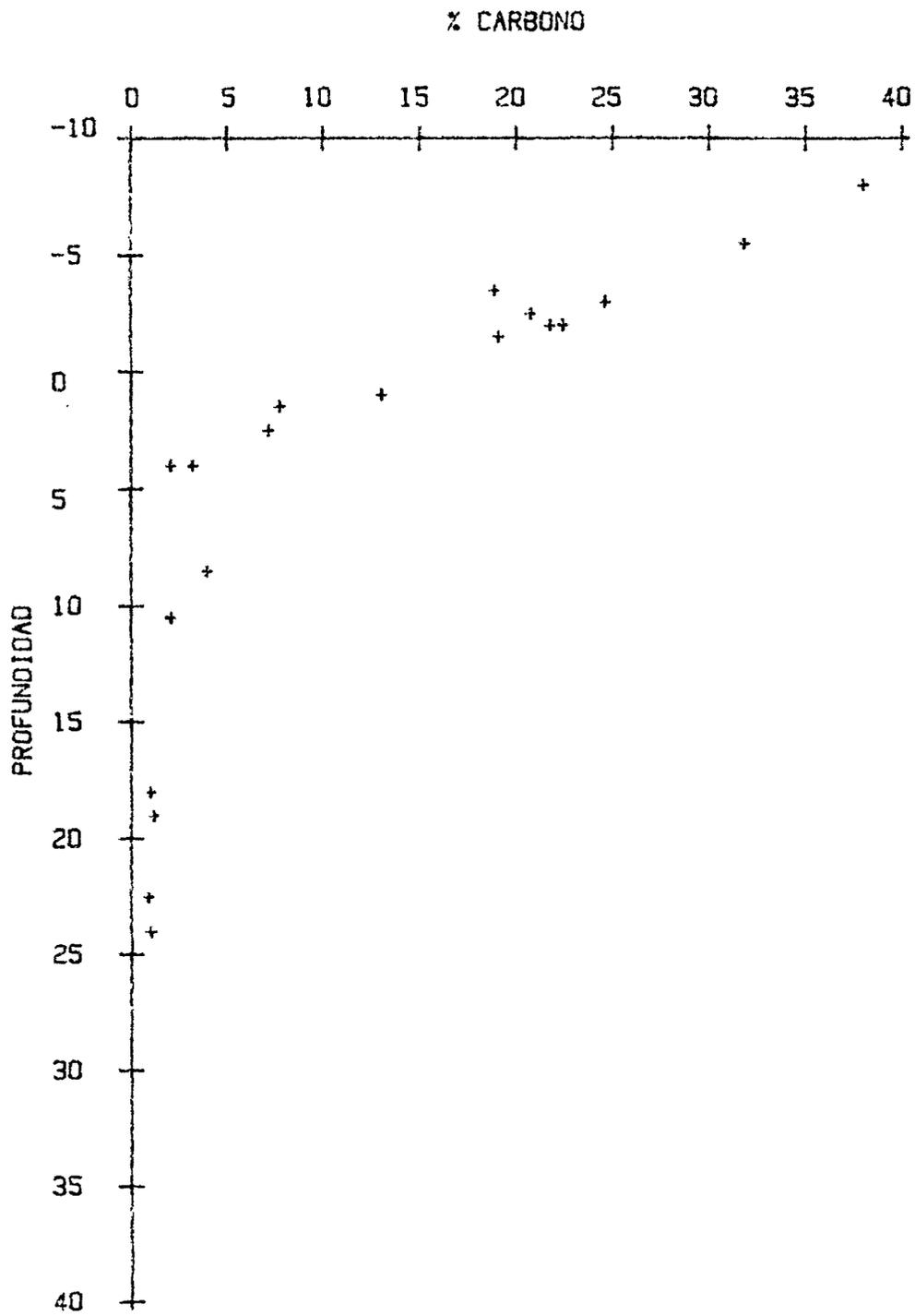


FIGURA nº 25.- Suelos sobre yesos.

La distribución en el perfil de la relación C/N

En nuestros suelos, el valor C/N está claramente ligado al tipo de vegetación, fundamentalmente en los horizontes de su perficie.

Se diferencian los horizontes orgánicos constituidos por hojarasca de pino, con valores de C/N elevados, entre 25 y 37. Los horizontes A minerales de estos suelos oscilan entre 22 en la parte superior y 18 a 10 cm. de profundidad los horizontes inferiores. Los valores son muy variables.

Los restantes suelos presentan en A_0 un C/N alrededor de 20, los A_1 de 17-18 en la parte superior y a 10 cm. son del orden de 13-14. Estos valores son similares a los obtenidos por Bottner (1970) en encinares y garrigas del sur de Francia.

Dada la interferencia que supone la interpretación del horizonte de superficie y la asignación consiguiente de profundidad respecto a la superficie del suelo mineral, hemos creído conve-niente comparar el C/N con el %C que evita la subjetividad de la denominación del horizonte y dado que, como se ha descrito arriba, ambos parámetros presentan una distribución relacionada con la profundidad. Esta aproximación es especialmente utilizable teniendo en cuenta la poca importancia de la traslocación de humus en muestros suelos y que el aporte orgánico es predominantemente epigeo, como corresponde a la escasa vegetación herbácea de los bosques de la Depresión Central.

La representación C-C/N consigue una menor dispersión de puntos que la profundidad - C/N.

Se obtienen funciones de tipo potencial. Todas las distribuciones presentan correlación positiva con un nivel de significación inferior al 1%. Gallardo et al. (1980) establecen relaciones lineales %C-C/N para horizontes minerales de suelos ácidos. El coeficiente que multiplica la x (%C), puede ser un indicador del C/N de los horizontes profundos. Así, tenemos los valores de C/N más altos para hojarasca de pinos y, en un segundo grupo, las

restantes hojarascas, con el valor algo más bajo para las coscojas.

Los valores C/N de suelos bajo pinos presentan una varia bilidad acentuada en los horizontes minerales.

Los suelos bajo las especies de Quercus de la Depresión son considerablemente homogéneos en los horizontes orgánicos, convergiendo los C/N hacia valores de 10 o algo inferiores en los horizontes más profundos. Hay, en cambio, una cierta diferencia ción al nivel de los horizontes A₁ que separa algo las curvas de las coscojas y robles por una parte y carrascas por la otra, pre sentando valores C/N más altos los dos primeros.

En un segundo nivel de aproximación, se consideran separa damente los suelos diferentes (básicamente coinciden con los tipos de material parental) para cada tipo de especie forestal.

En los suelos bajo pinos, la curva correspondiente a cal carenitas ofrece valores mayores de C/N y una pendiente muy lige ramente inferior a la de margas. El coeficiente multiplicador de x es de 12.7 para calcarenitas y de 11.1 para margas. Sobre otras rocas, el número de muestras es demasiado pequeño para su repre sentación. Las muestras margosas presentan peor ajuste debido qui zá a la heterogeneidad de los materiales incluidos dentro del tér mino "margas" en este caso: se agrupan margas in situ, un perfil encostrado, gravas encostradas de terraza, calizas blandas y coluvios margosos sobre calizas.

Los suelos con hojarasca de robles, presentan notables diferencias en los horizontes minerales de los diferentes tipos de suelos. Sobre margas se obtiene la curva de mayor pendiente y menores C/N en profundidad: del orden de 7.5; posiblemente sea debido a la mayor profundidad general de los suelos margosos. Los suelos fersialíticos y yesíferos presentan pendientes bajas, 0.19 y 0.14 respectivamente al contrario que las areniscas con pendien te de 0.29; los valores C/N en profundidad son equivalentes en los tres últimos grupos de suelos, entre 12.4 y 12.6, con lo que

las diferencias indicadas por la pendiente se concentran en los A_1 minerales que presentan mayor C/N sobre areniscas. Los tres perfiles sobre arenisca son, además, ácidos, especialmente en los horizontes A_1 y A_2 que presentan valores excepcionales en este estudio. El fuerte cambio de pH entre A_2 y B, puede ser la causa del brusco salto en los C/N. Los valores especialmente bajos de C/N para estos suelos, mencionados a propósito de las curvas C/N - profundidad, se explican por el bajo contenido en carbono de los correspondientes horizontes.

Los suelos bajo carrasca presentan una gran homogeneidad general. Los factores de x son todos muy próximos, de 10.2 y 10.5 y algo superior, 11.6, en los fersialíticos. Las pendientes son bajas, distinguiéndose dos grupos, margas y areniscas calcáreas con valores de 0.23 y calizas y yesos con exponentes 0.16 y 0.18. Las diferencias, pequeñas, se centran en los A_1 superficiales.

En suelos con hojarasca de coscoja, sólo tenemos muestras suficientes sobre margas y calcarenitas, que, por otra parte, son las rocas dominantes en las zonas de máxima abundancia de Quercus coccifera. El desglose en dichos materiales parentales, ofrece curvas próximas entre sí, pero con pendiente mayor sobre margas y menor C/N estimado en profundidad (8.8 frente a 10.5).

De los datos presentados parece claro que, en primera instancia, es el tipo de hojarasca el factor condicionante del valor C/N, sobre todo en los horizontes más orgánicos, teniendo un papel más importante el tipo de suelo en los horizontes minerales. Estos hechos son lógicos teniendo en cuenta la dominancia de fragmentos de tejidos vegetales en los horizontes superiores, mientras que en profundidad aumenta el contenido en material humificado, más dependiente del suelo. Así tenemos, que la hojarasca de pino que de por sí presenta valores C/N altos (del orden de 60) provoca diferencias respecto al resto de suelos que, sin embargo, se atenúan en los horizontes más minerales. Las especies de Quercus, por el contrario, tienen valores muy próximos entre sí en

los horizontes orgánicos. Bottner (1972) explica la diferencia en el C/N entre los horizontes superficiales de suelos forestales y de prado por la fracción ligera de la materia orgánica, poco transformada: los horizontes profundos son equivalentes en cuanto a C/N.

Es destacable el importante salto entre el C/N del A_{00} al A_0 . La fuerte disminución del C/N, acompañada de una ligera pérdida de C, entre los horizontes L y F, es atribuido por Ohta y Kumada (1978) a la pérdida en dicha transición de sustancias de alto C/N. Ledel (1974), en suelos forestales belgas, sitúa la máxima actividad celulolítica en nivel F. Ohta y Kumada (1977), refiriéndose a horizontes orgánicos, señalan que la disminución del C/N es fácil hasta valores de 25 o 30, pero que una disminución mayor ocurre con dificultad. Según Lousier y Parkinson (1978), el valor de C/N crítico está entre 20 y 30, produciéndose mineralización neta para cocientes inferiores. Smith (1979) afirma que un C/N de 30 corresponde al óptimo de población microbiana y al de disponibilidad de N para uso de las plantas, ya que para valores inferiores, el C es limitante para los microorganismos y, por tanto, se reduce la mineralización de N orgánico. Estos datos parecen indicar que el C/N de los horizontes orgánicos de nuestros suelos no es un factor limitante en la descomposición de la materia orgánica.

Las curvas presentan mayor similitud agrupadas por tipos de suelos: sobre margas se obtienen siempre las pendientes mayores seguidas de las areniscas; asimismo, las margas presentan los valores de C/N más bajos en profundidad, quizá debido al mayor desarrollo general de los perfiles margosos. Las areniscas, especialmente en los suelos ácidos, ofrecen los valores C/N más altos en los horizontes minerales. La curva correspondiente a suelos ácidos y hojarasca de roble es prácticamente idéntica a la de pinos y calcarenitas. En las pocas muestras estudiadas en que se pueden contrastar condiciones climáticas suficientemente diferentes, para equivalencia del resto de factores edafogenéticos, se

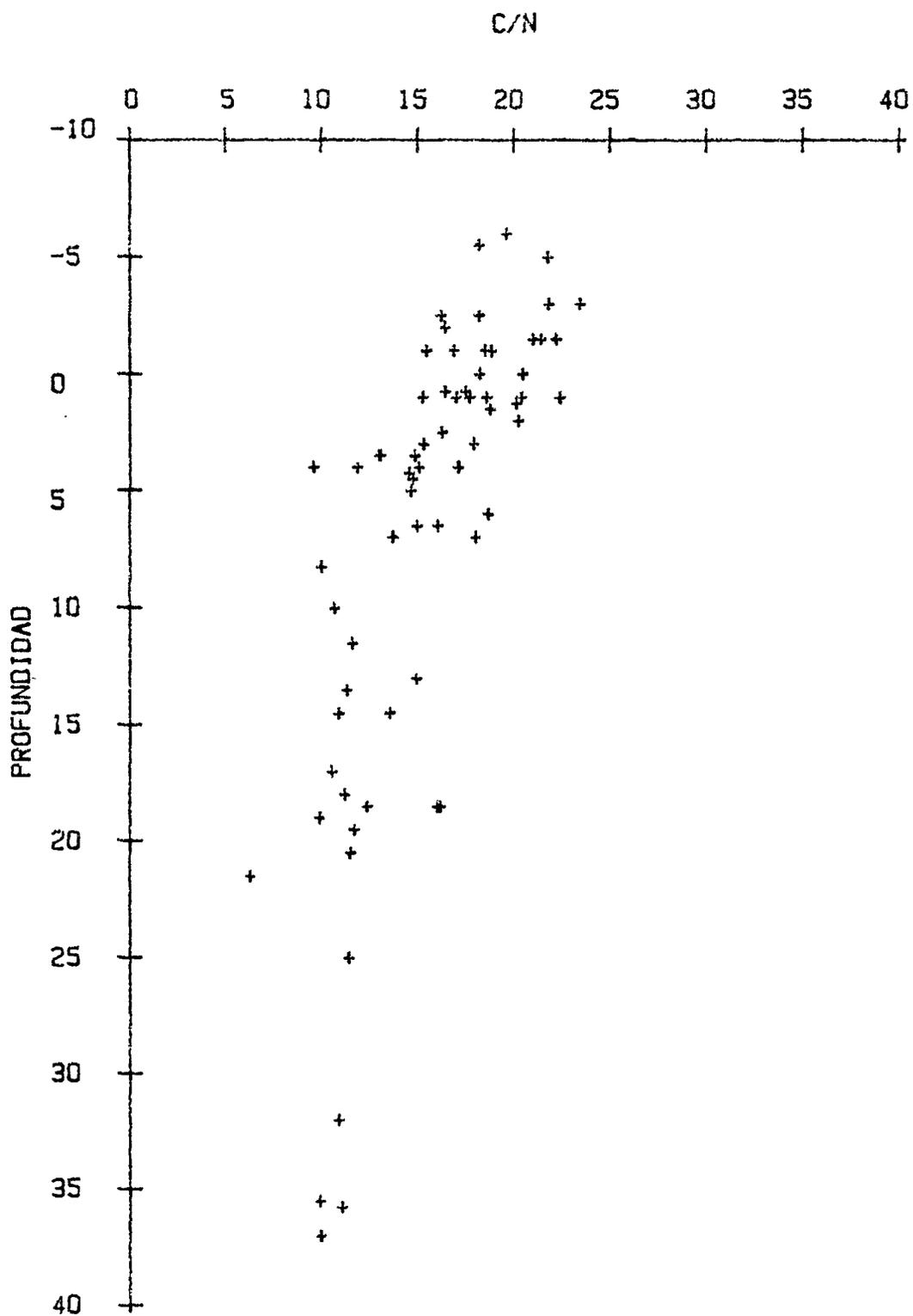


FIGURA nº 26.- Suelos con hojarasca de encina carrasca.

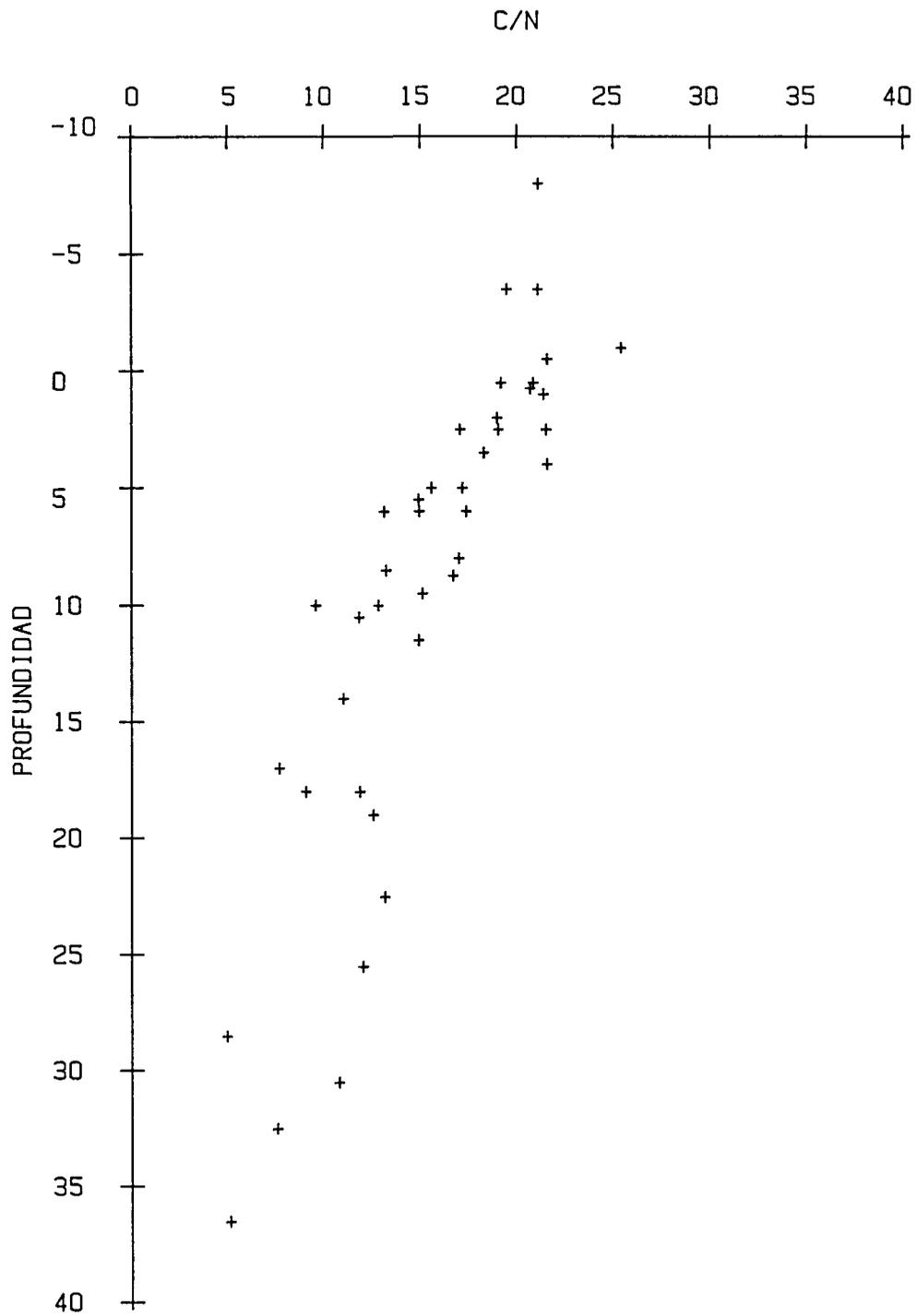


FIGURA n° 27.- Suelos con hojarasca de roble.

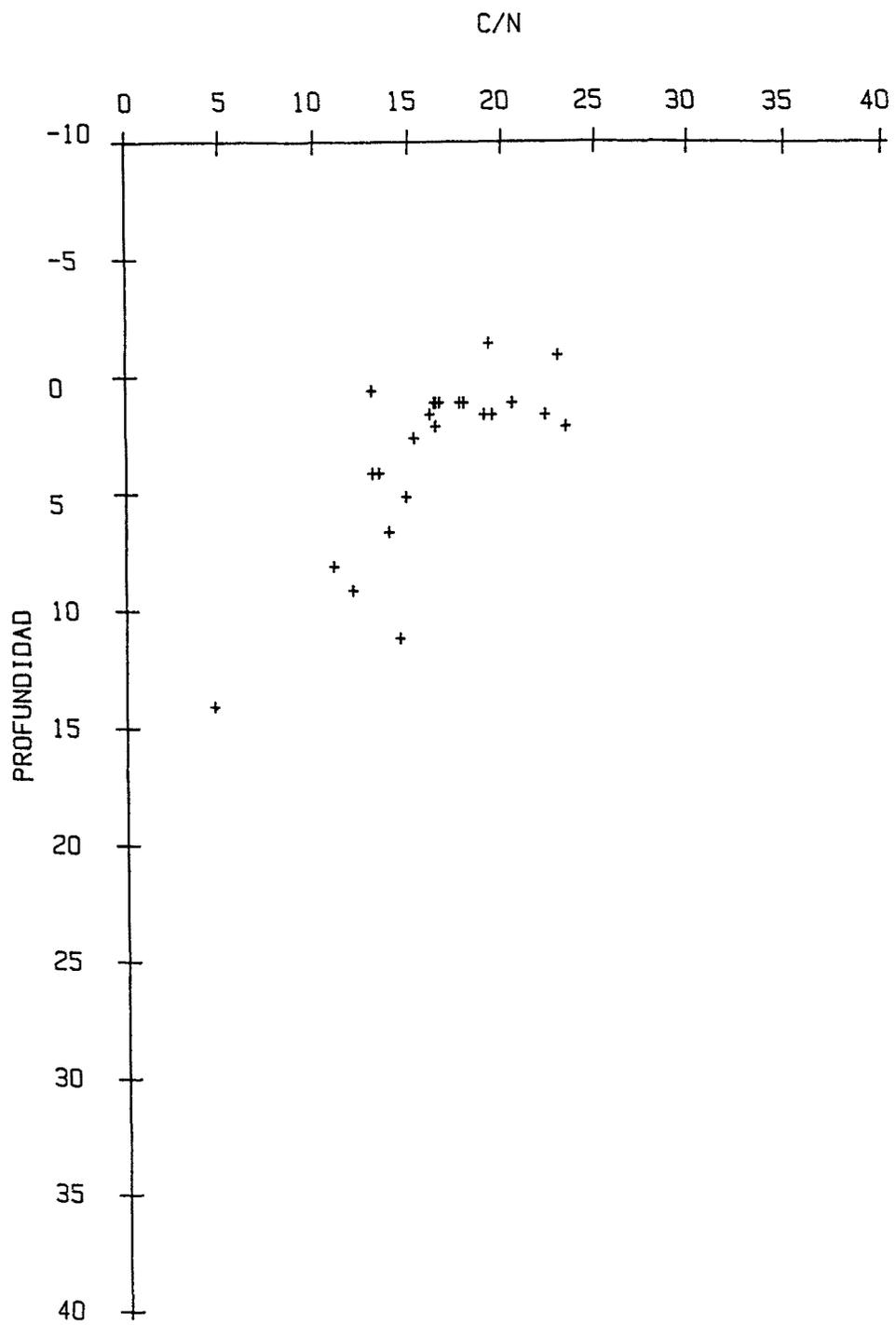


FIGURA nº 28.- Suelos con hojarasca de coscoja.

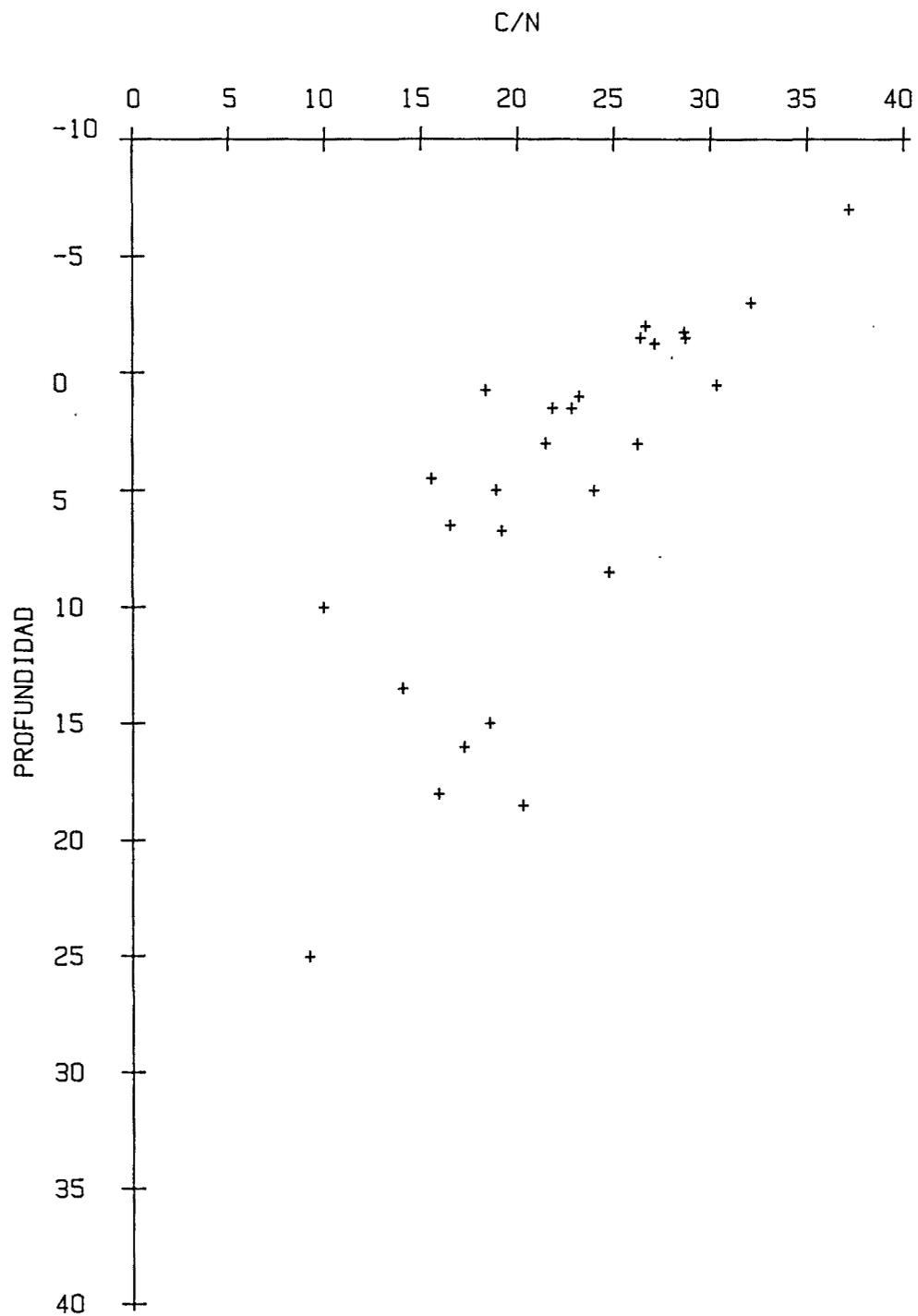
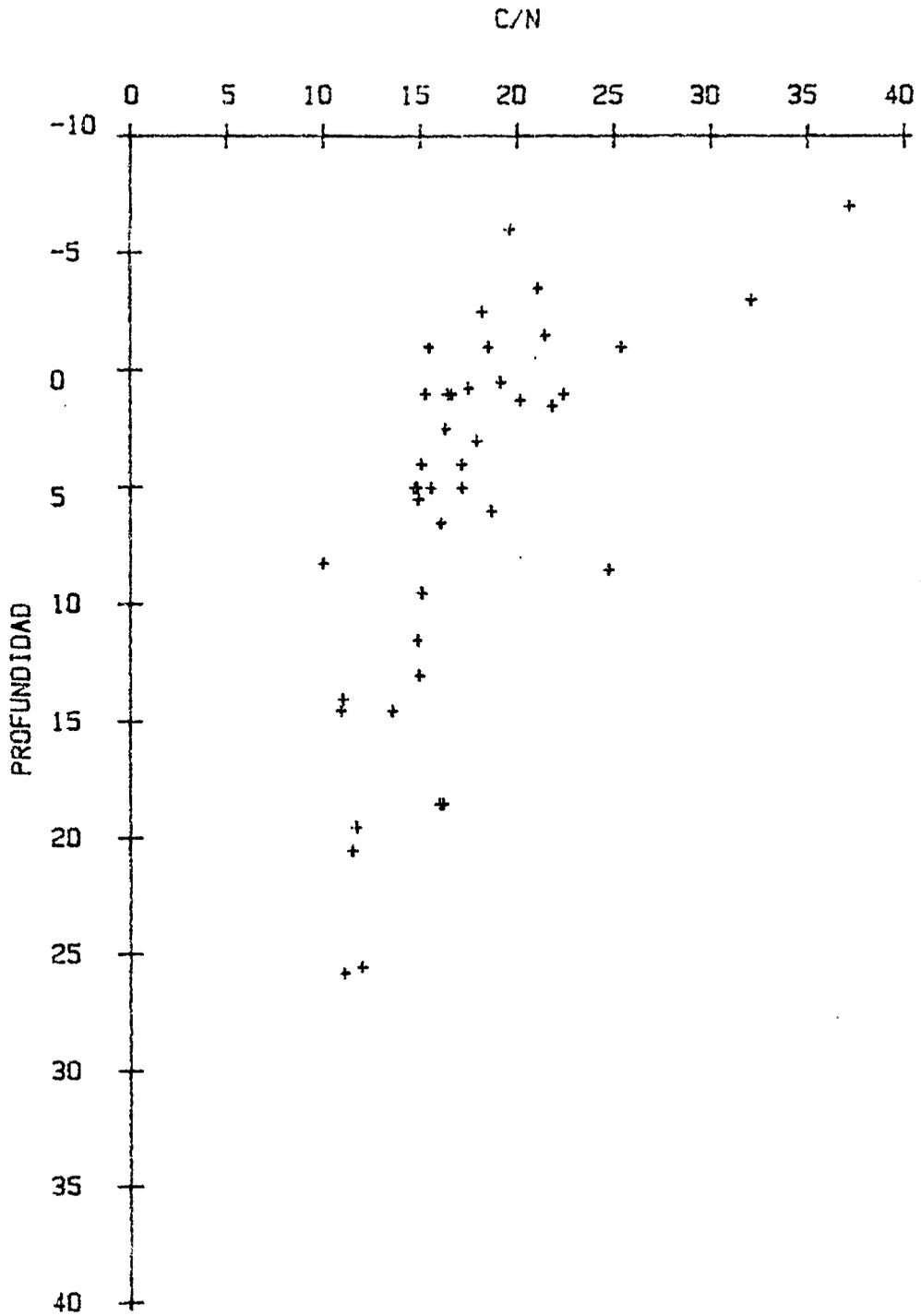


FIGURA nº 29.- Suelos con hojarasca de pino.



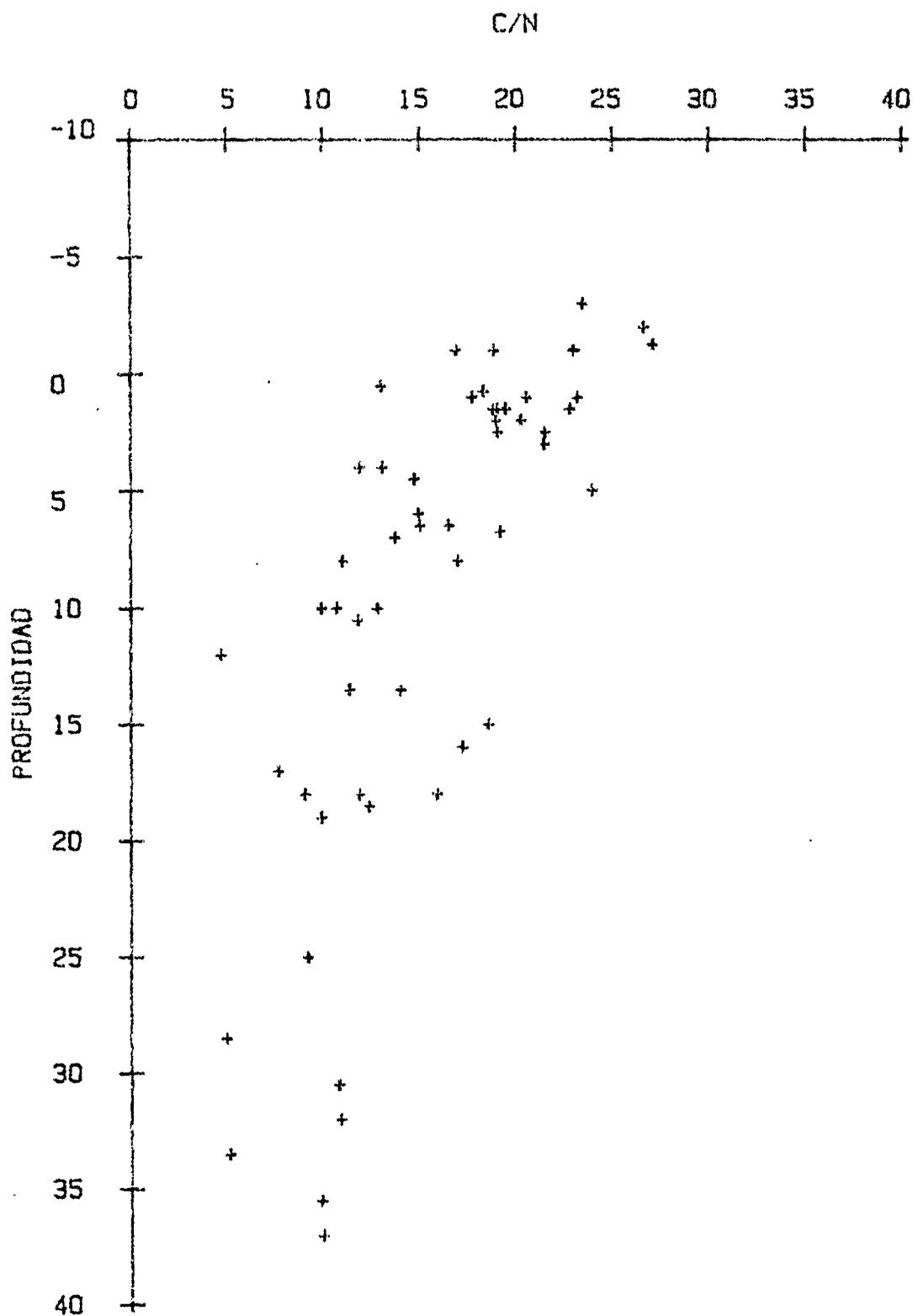


FIGURA n° 31.- Suelos sobre margas.

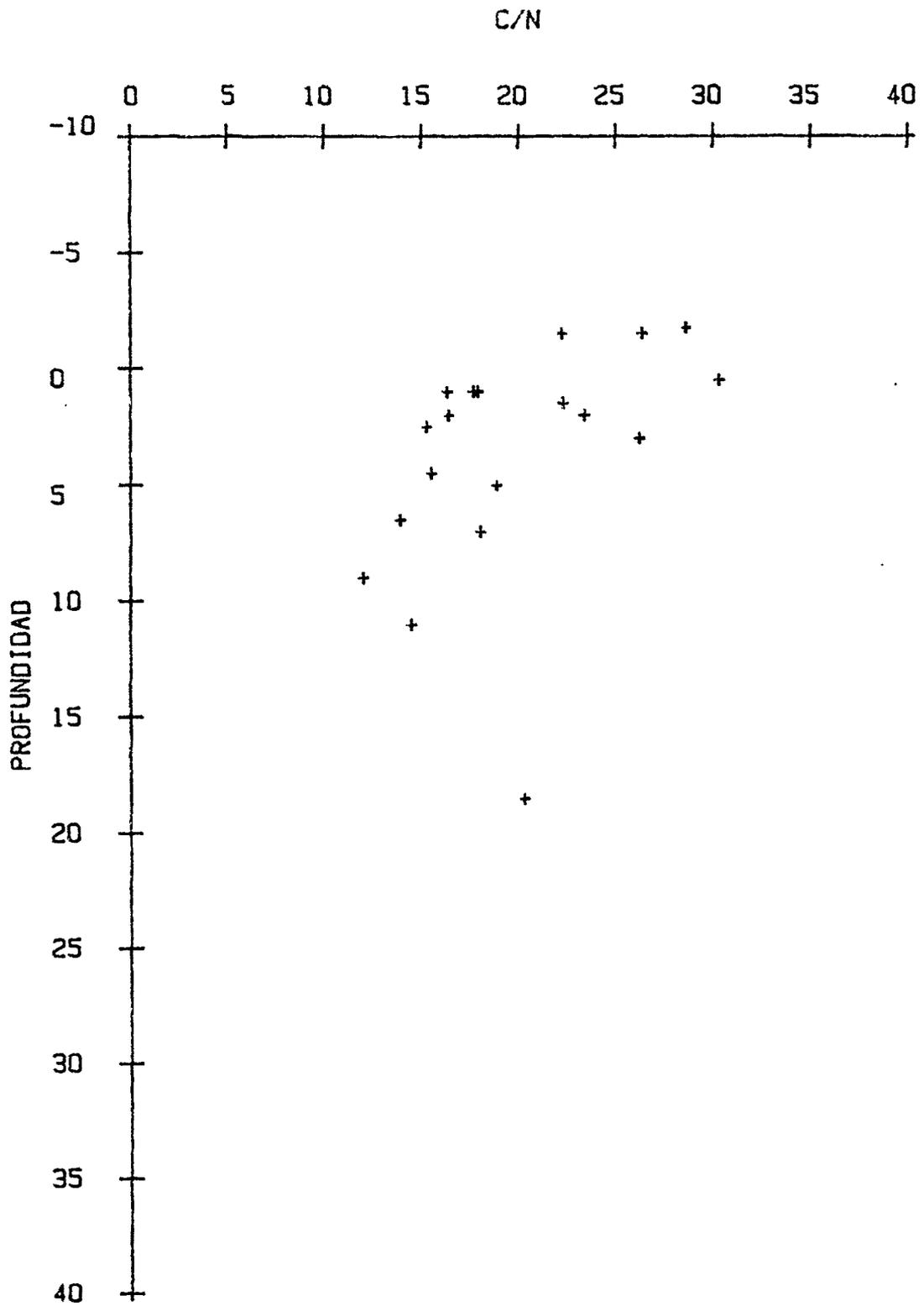


FIGURA nº 32.- Suelos sobre calcarenita.

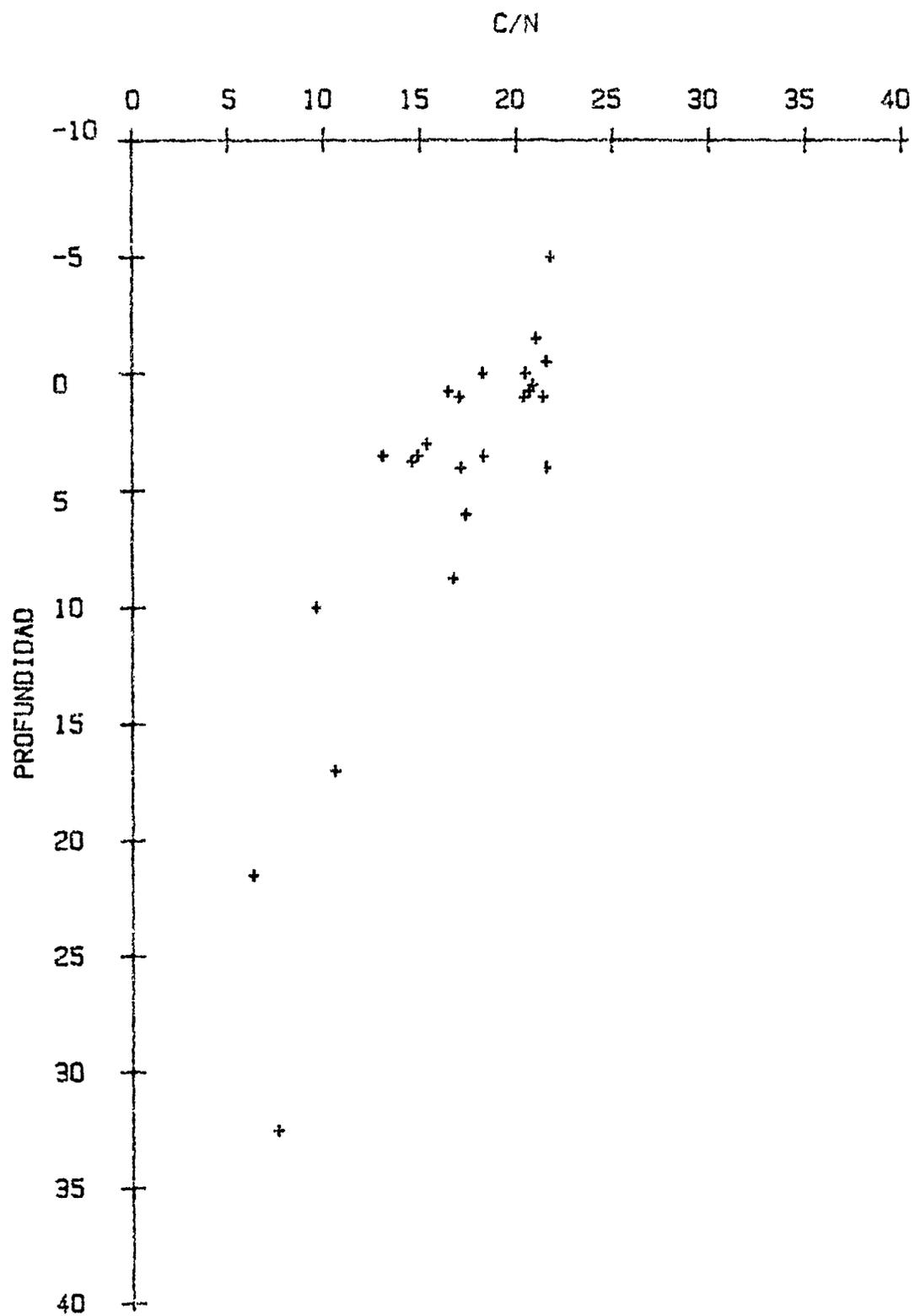


FIGURA nº 33.- Suelos sobre arenisca caliza.

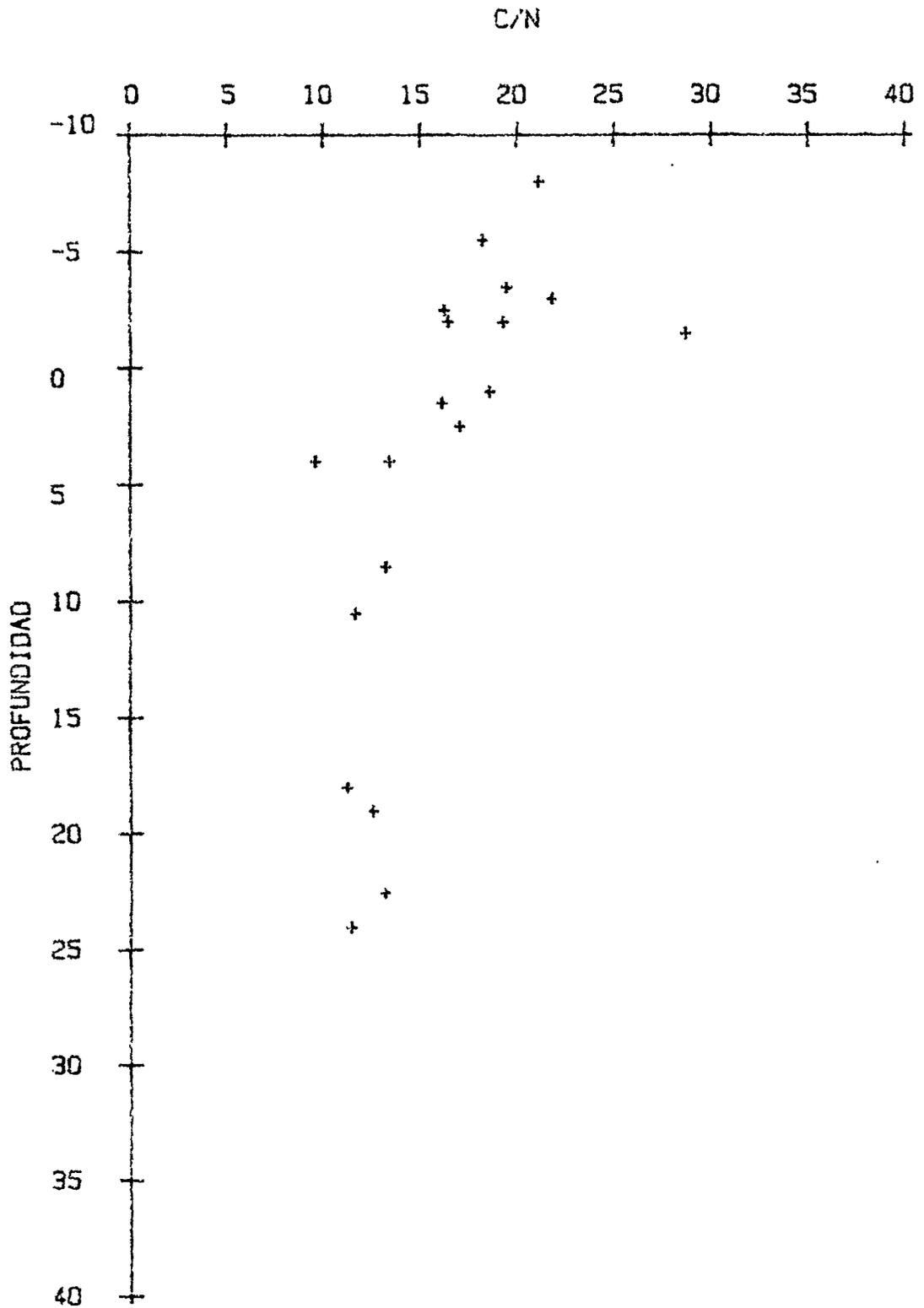
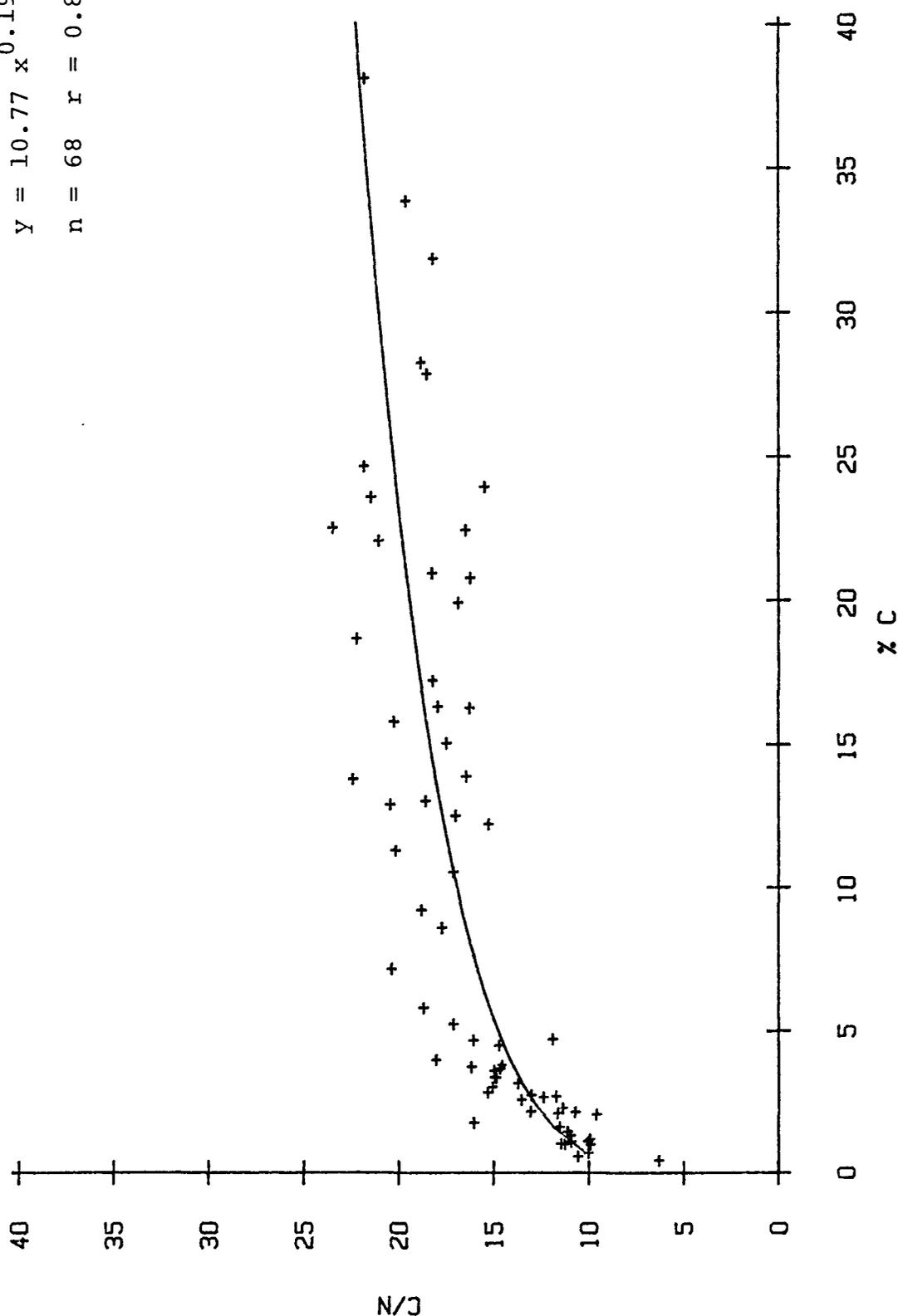


FIGURA nº 34.- Suelos sobre yesos.

$y = 10.77 x^{0.196}$
 $n = 68 \quad r = 0.869$

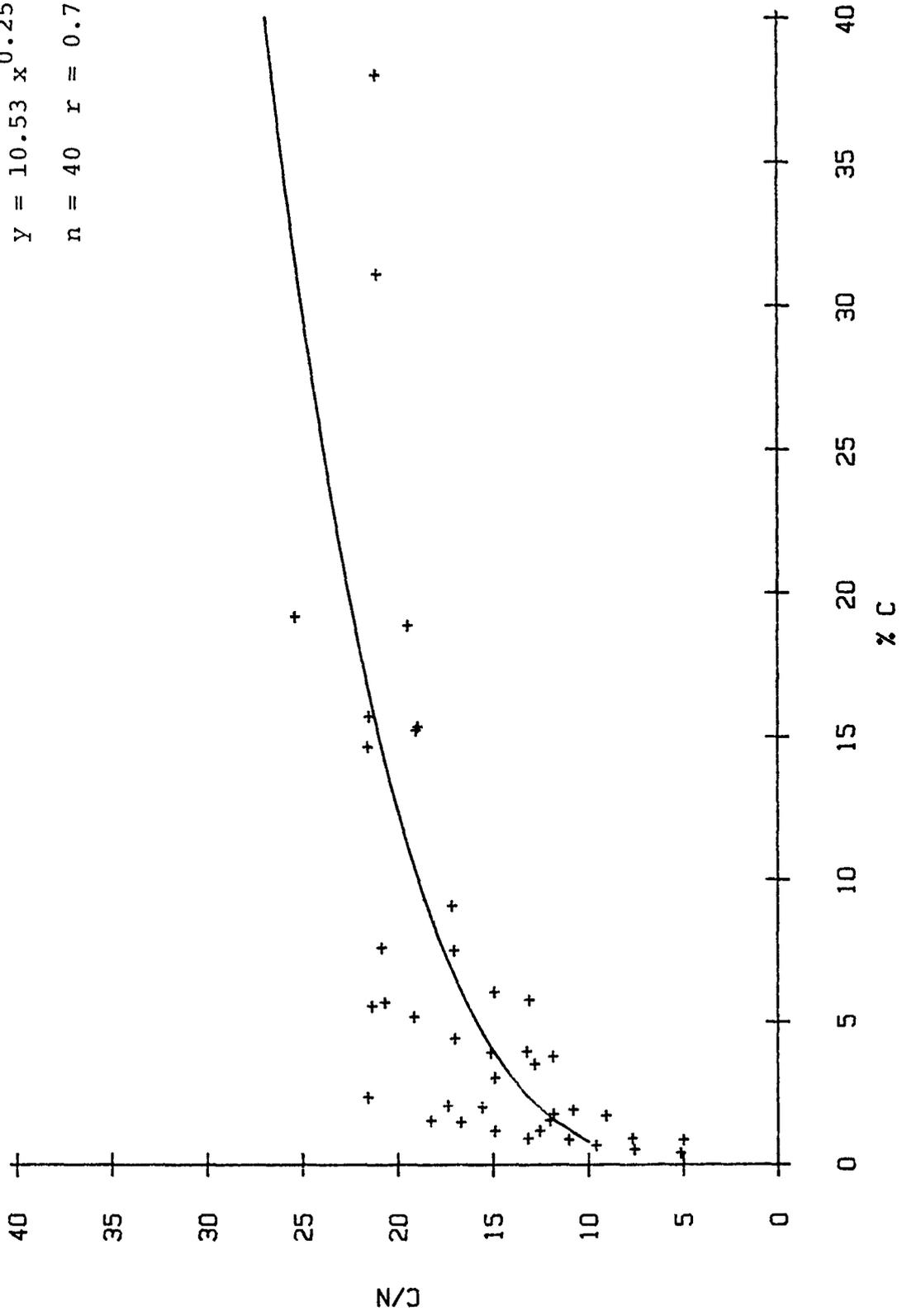


SUELOS BAJO CARRASCA

FIGURA nº 35

$$Y = 10.53 x^{0.254}$$

$n = 40$ $r = 0.769$

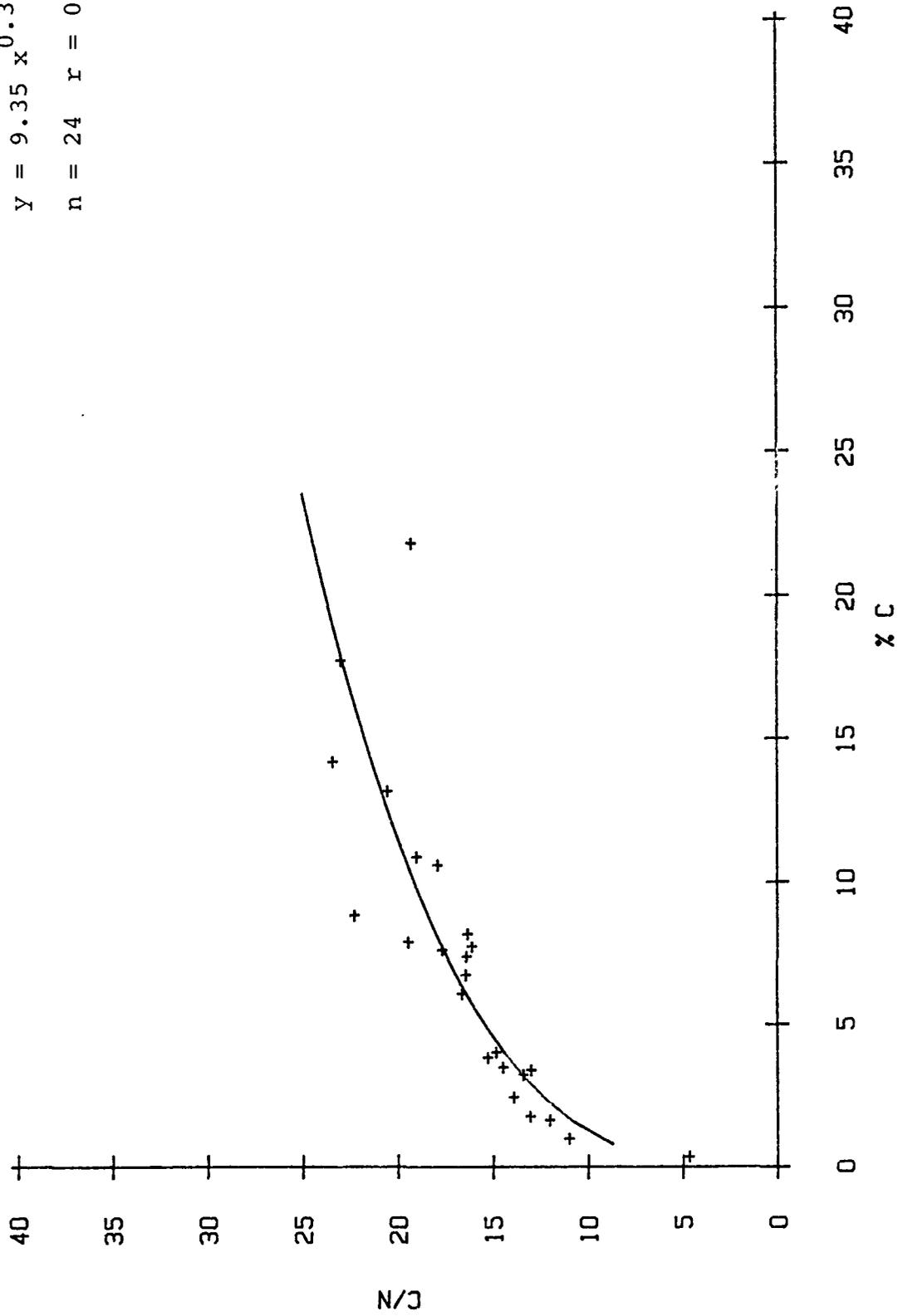


SUELOS BAJO ROBLES

FIGURA nº 36

$$y = 9.35 x^{0.312}$$

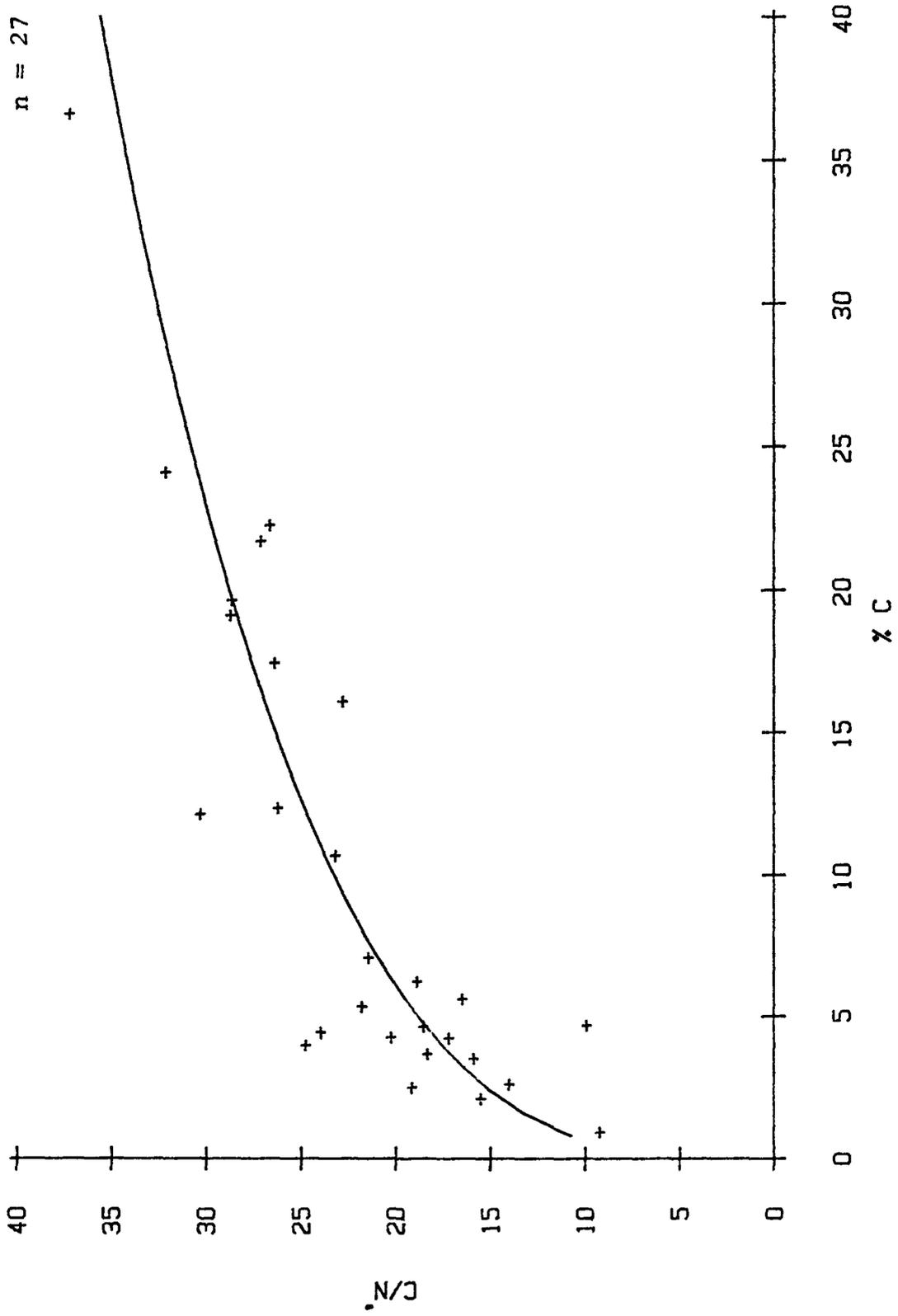
n = 24 r = 0.923



SUELOS BAJO COSCOJA

FIGURA no 37

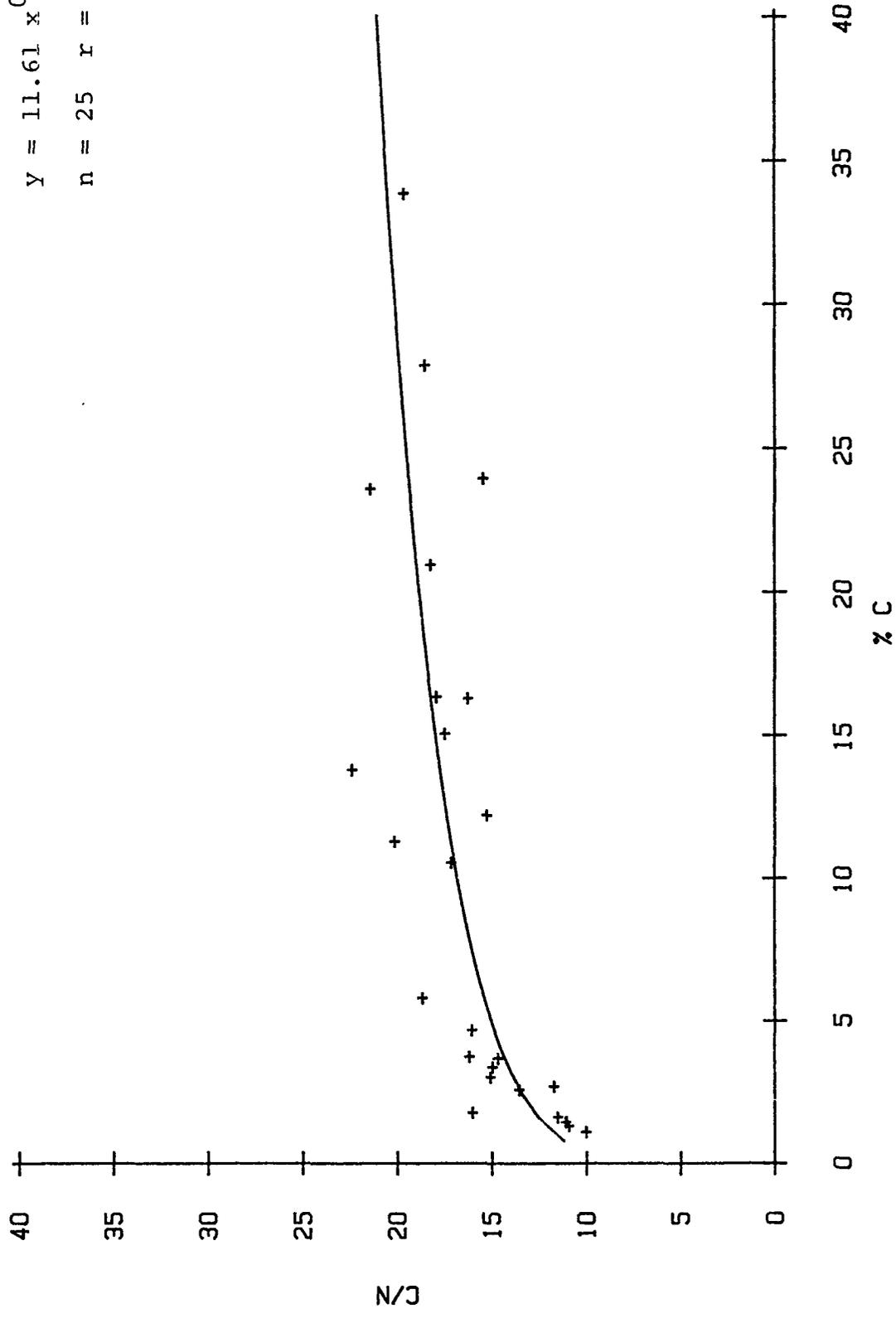
$Y = 11.51 x^{0.306}$
 $n = 27 \quad r = 0.835$



SUELOS BAJO PINOS

FIGURA nº 38

$y = 11.61 x^{0.161}$
 $n = 25 \quad r = 0.812$

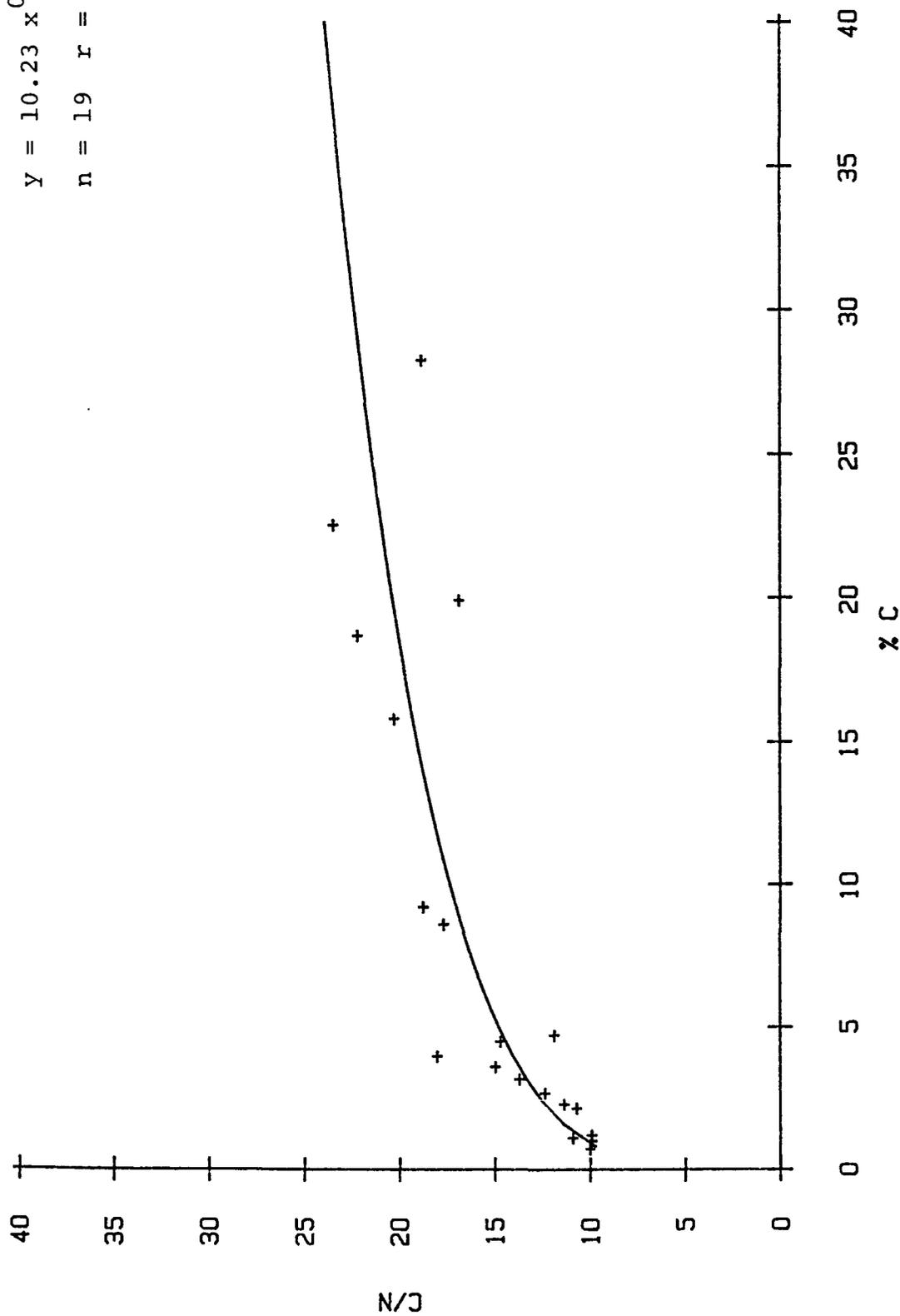


HOJARASCA DE CARRASCA Y CALIZA
(FERSIALITICOS)

FIGURA nº 39

$$y = 10.23 x^{0.23}$$

n = 19 r = 0.913

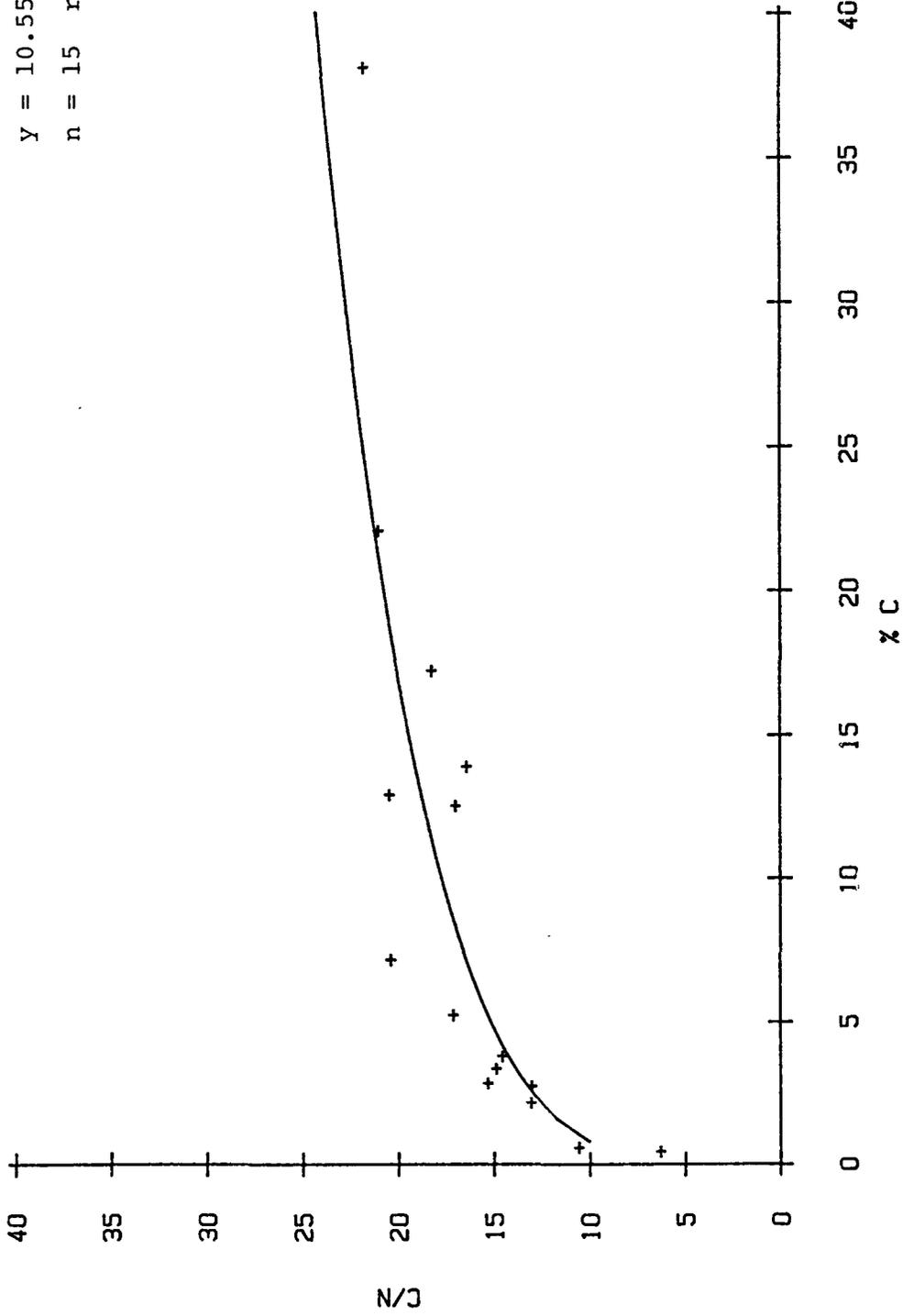


HOJARASCA DE CARRASCA Y MARGAS

FIGURA nº 40

$$y = 10.55 x^{0.226}$$

$$n = 15 \quad r = 0.902$$

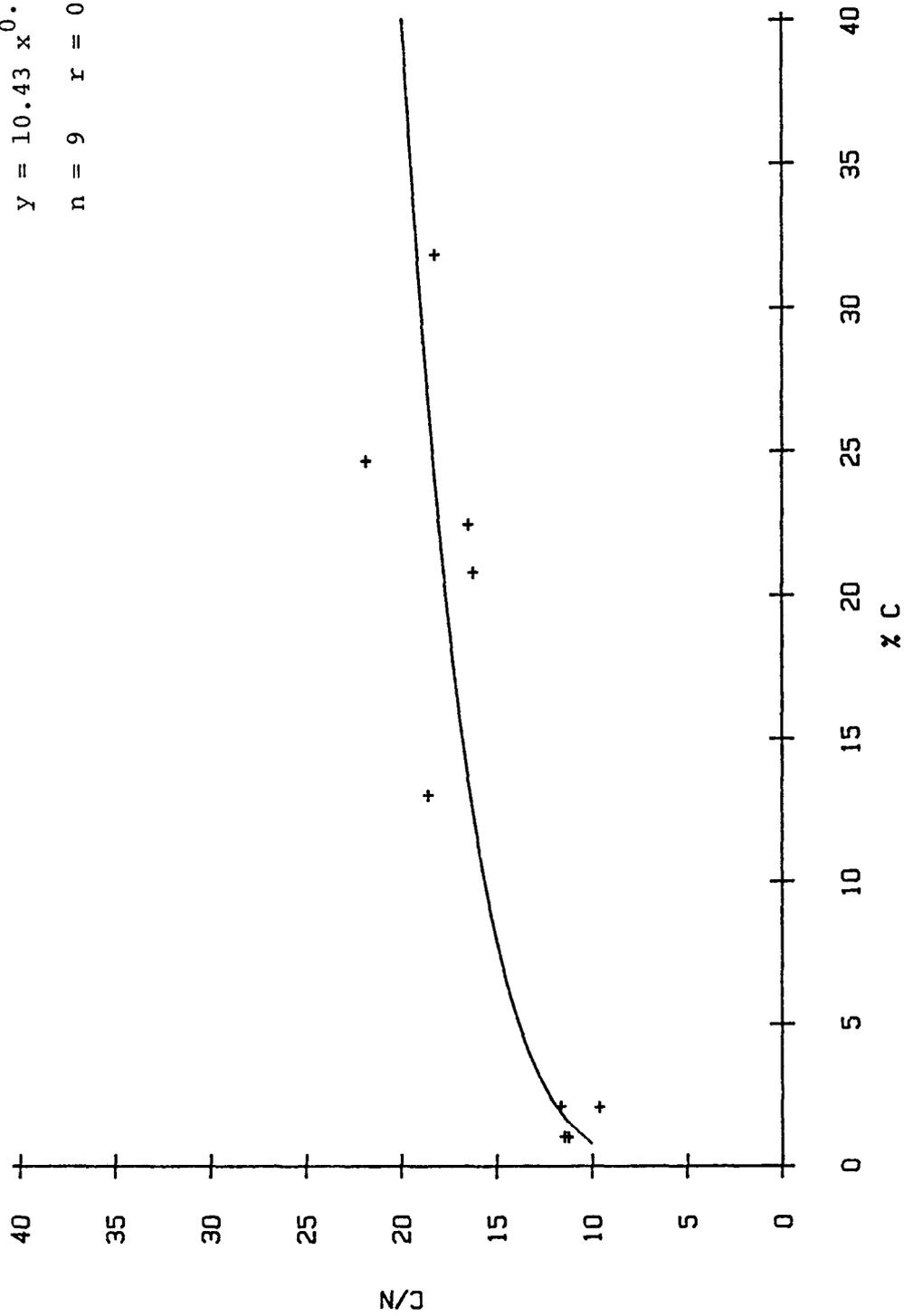


HOJARASCA DE CARRASCA Y
ARENISCA CALCAREA

FIGURA nº 41

$$y = 10.43 x^{0.175}$$

n = 9 r = 0.899

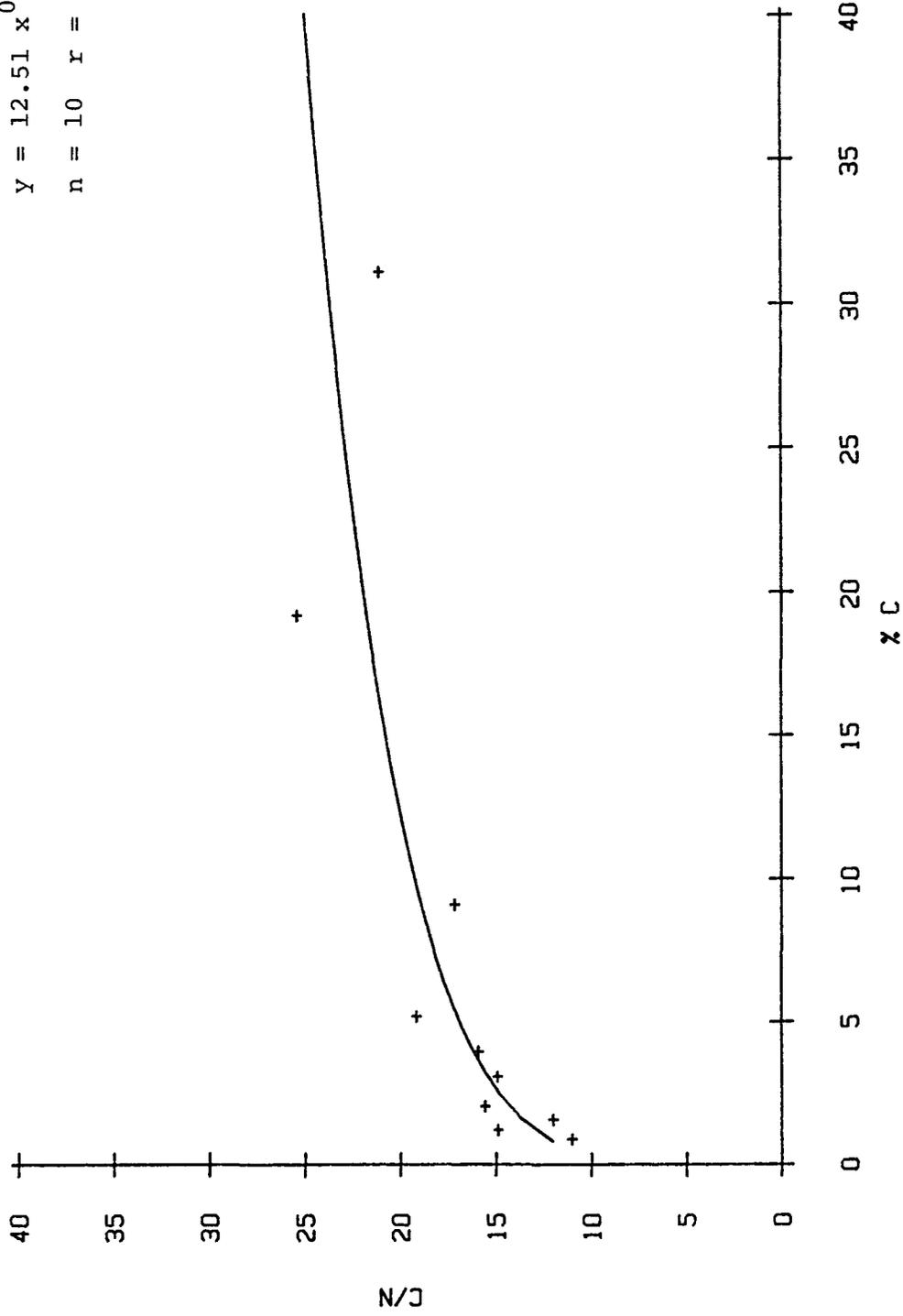


HOJARASCA DE CARRASCA Y YESOS

FIGURA nº 42

$$Y = 12.51 x^{0.187}$$

$$n = 10 \quad r = 0.888$$

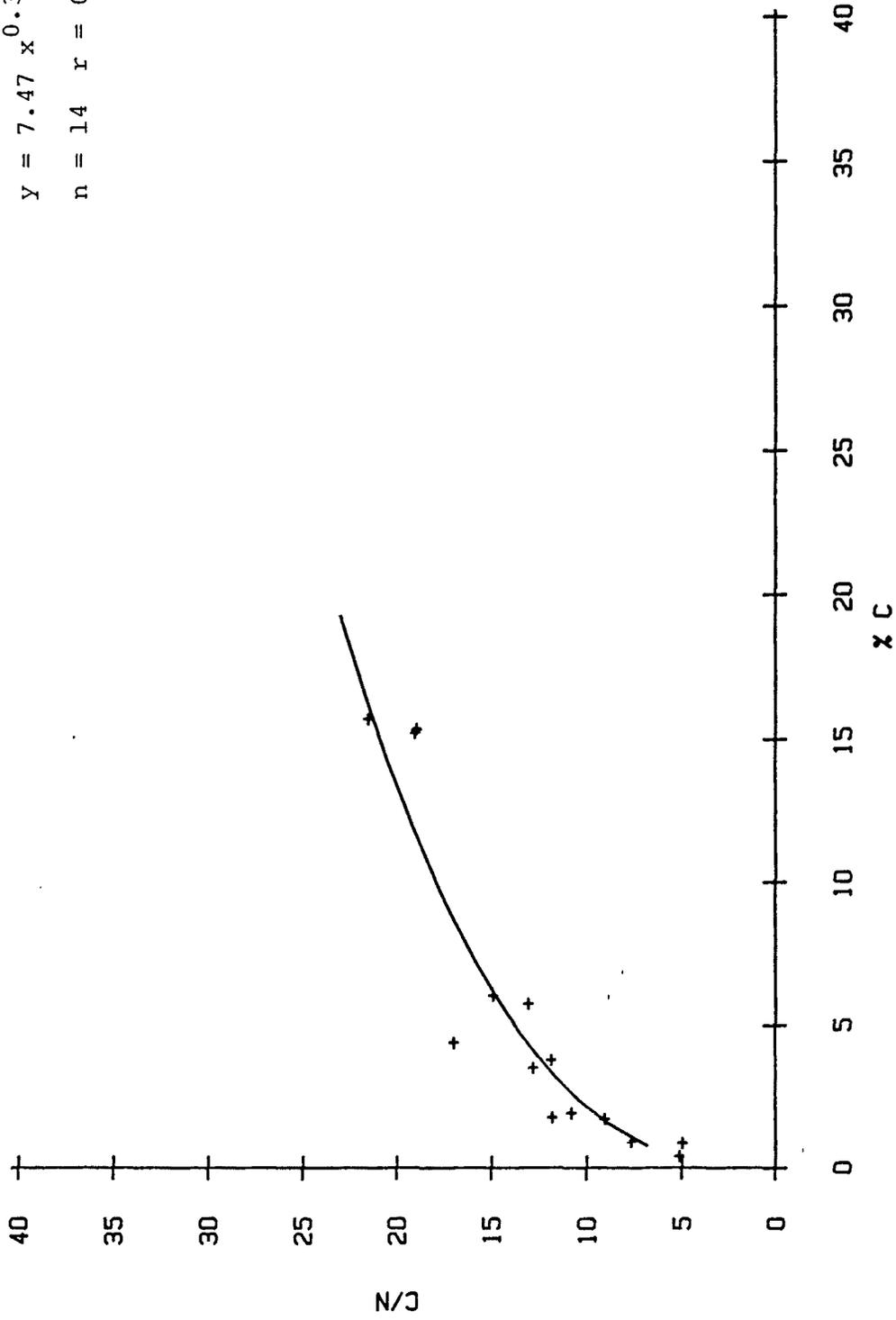


HOJARASCA DE ROBLES Y CALIZA
(FERSIALITICOS)

FIGURA no 43

$$Y = 7.47 x^{0.379}$$

$$n = 14 \quad r = 0.942$$

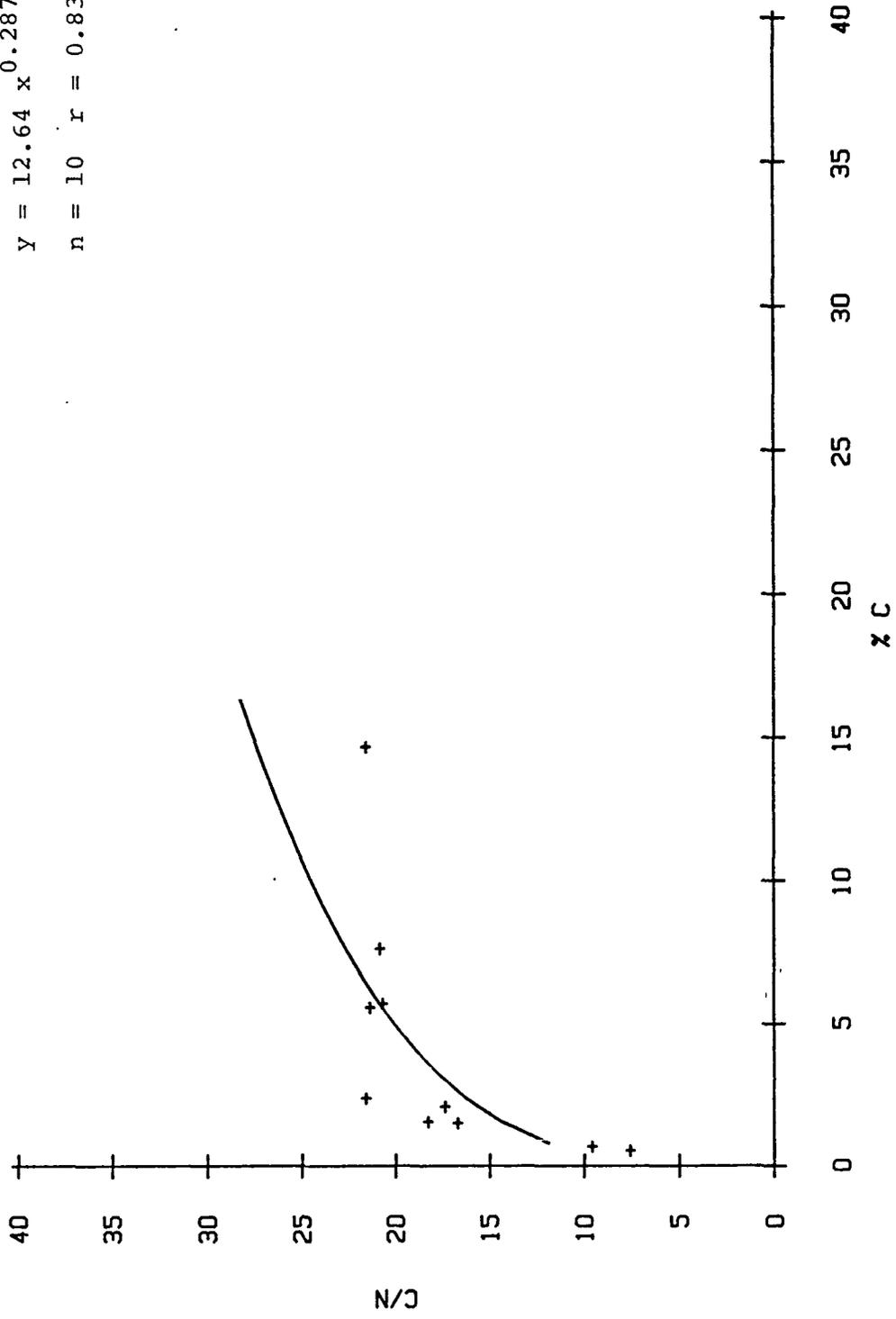


HOJARASCA DE ROBLES Y MARGA

FIGURA no 44

$$y = 12.64 x^{0.287}$$

$$n = 10 \quad r = 0.832$$

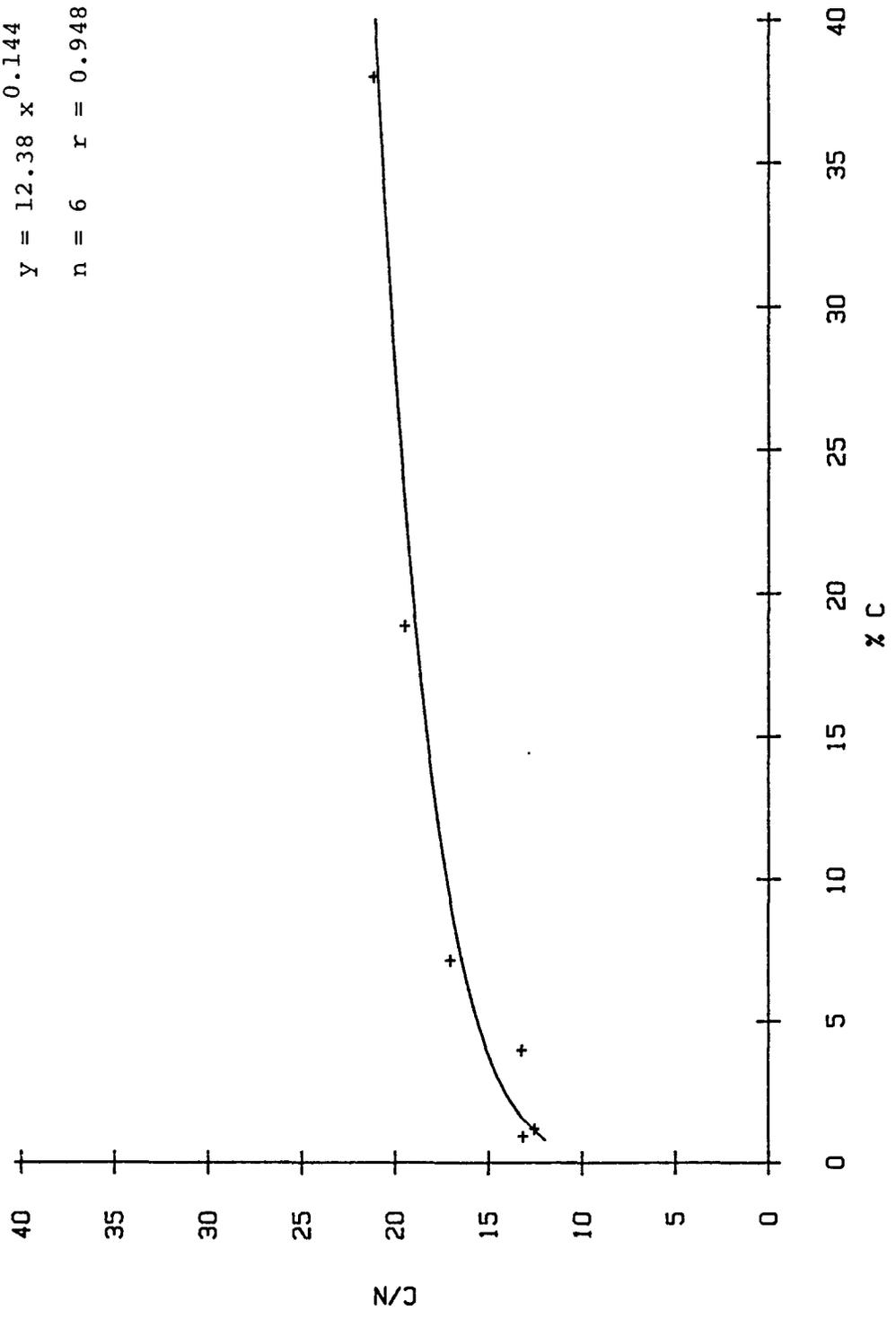


HOJARASCA DE ROBLES Y ARENISCA (ACIDOS)

FIGURA nº 45

$$y = 12.38 x^{0.144}$$

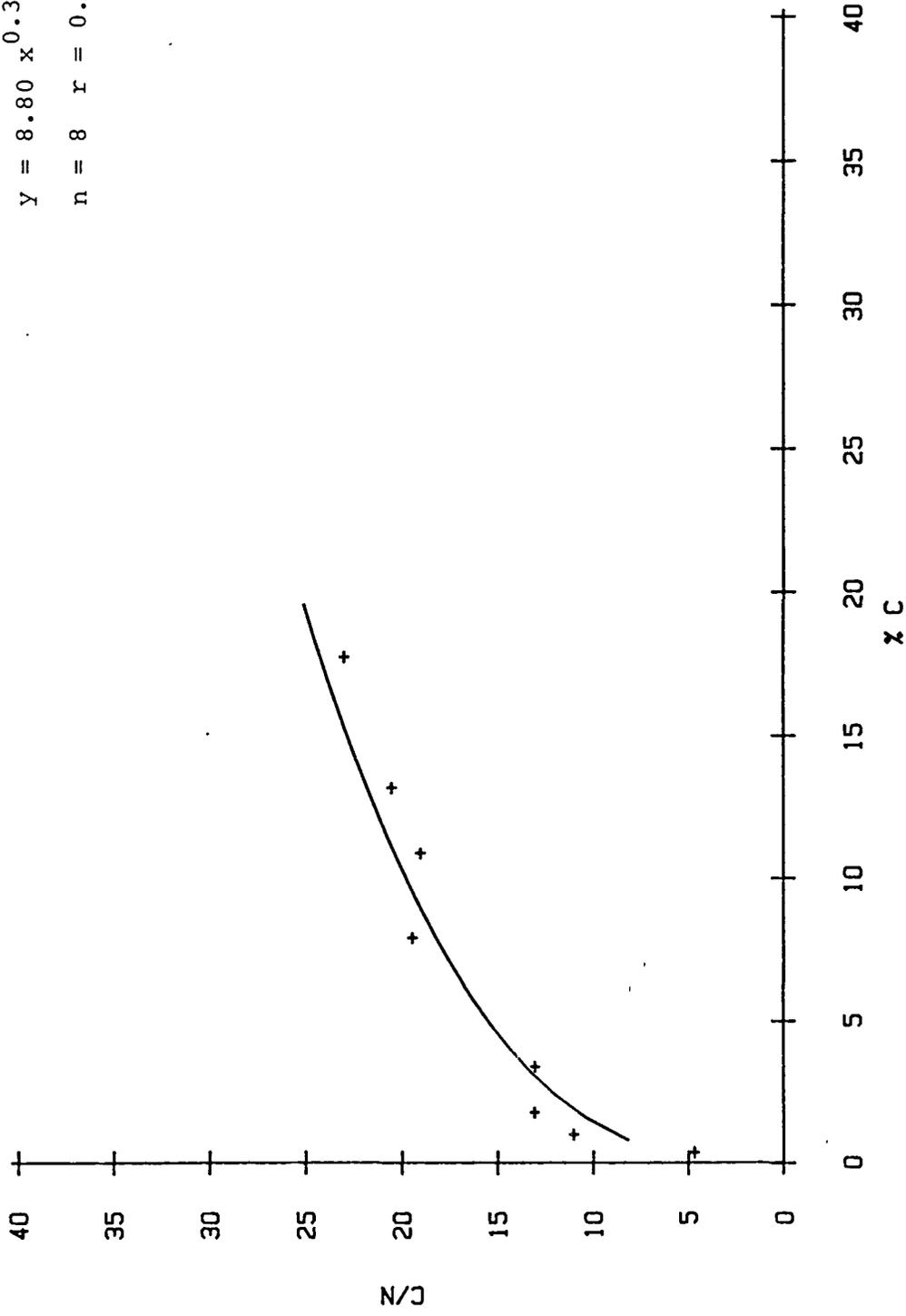
$$n = 6 \quad r = 0.948$$



HOJARASCA DE ROBLES Y YESOS

FIGURA nº 46

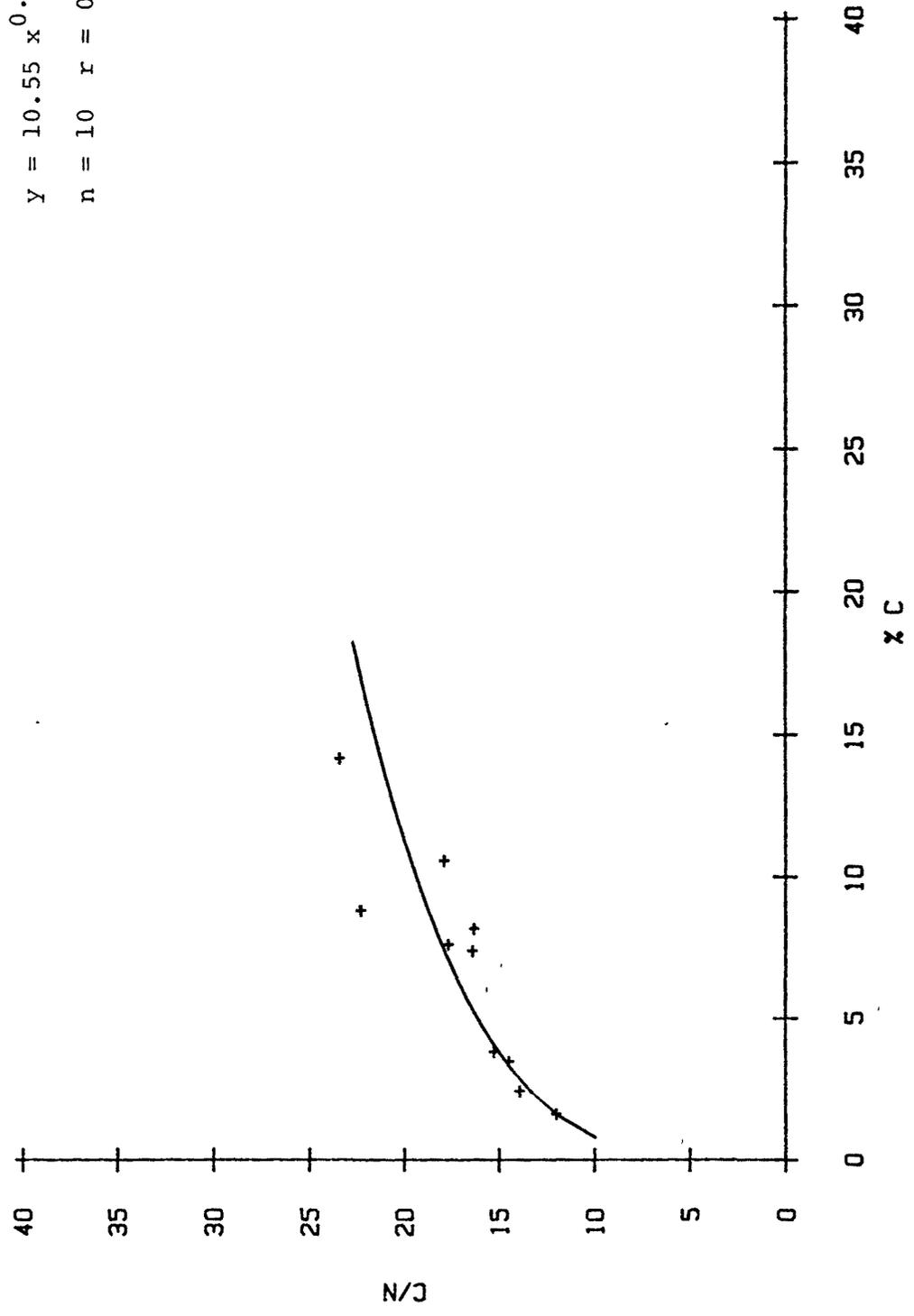
$$y = 8.80 x^{0.352}$$
$$n = 8 \quad r = 0.952$$



HOJARASCA DE COSCOJA Y MARGAS

FIGURA no 47

$Y = 10.55 x^{0.264}$
 $n = 10 \quad r = 0.899$

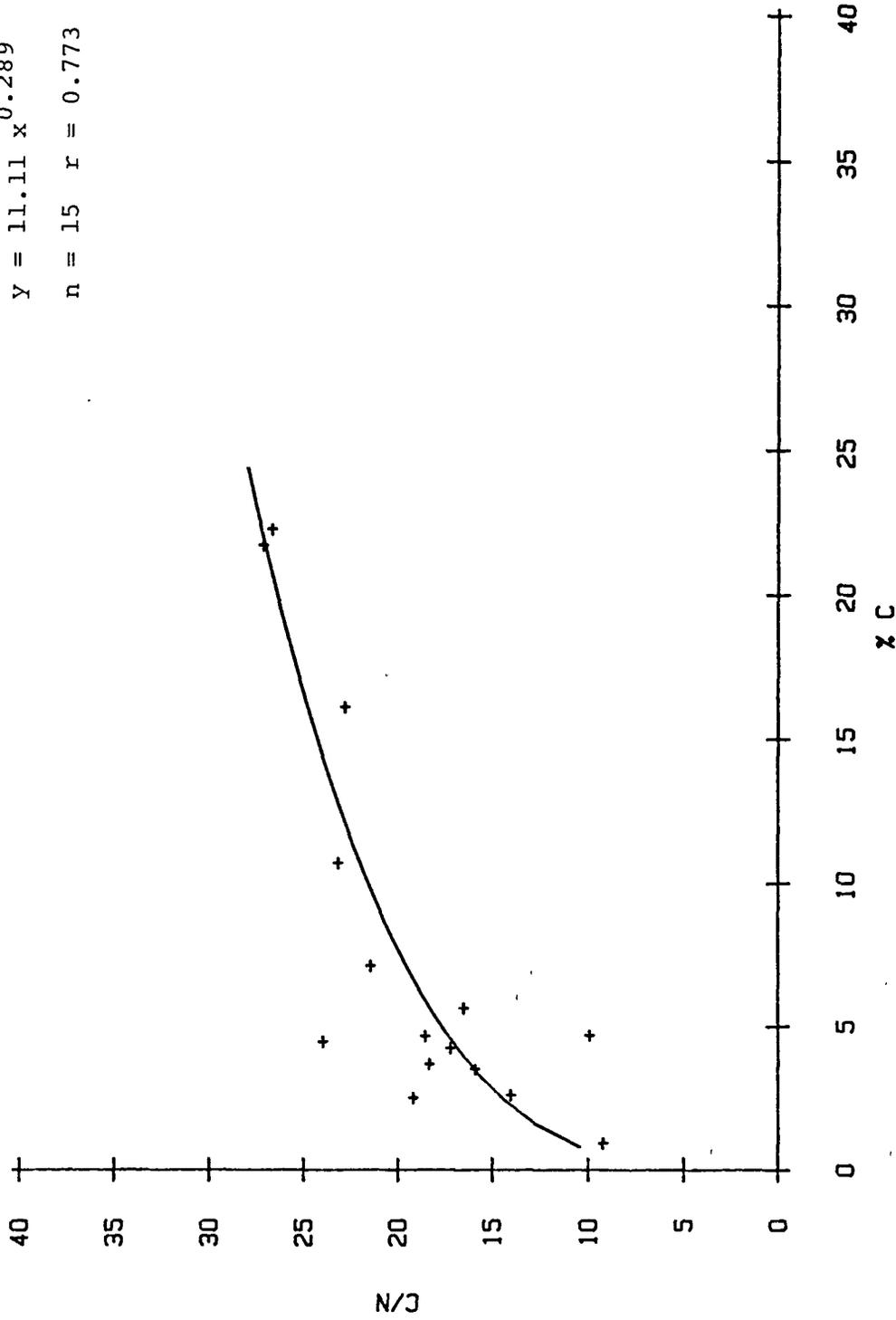


HOJARASCA DE COSCOJA Y CALCARENITAS

FIGURA nº 48

$$y = 11.11 x^{0.289}$$

n = 15 r = 0.773



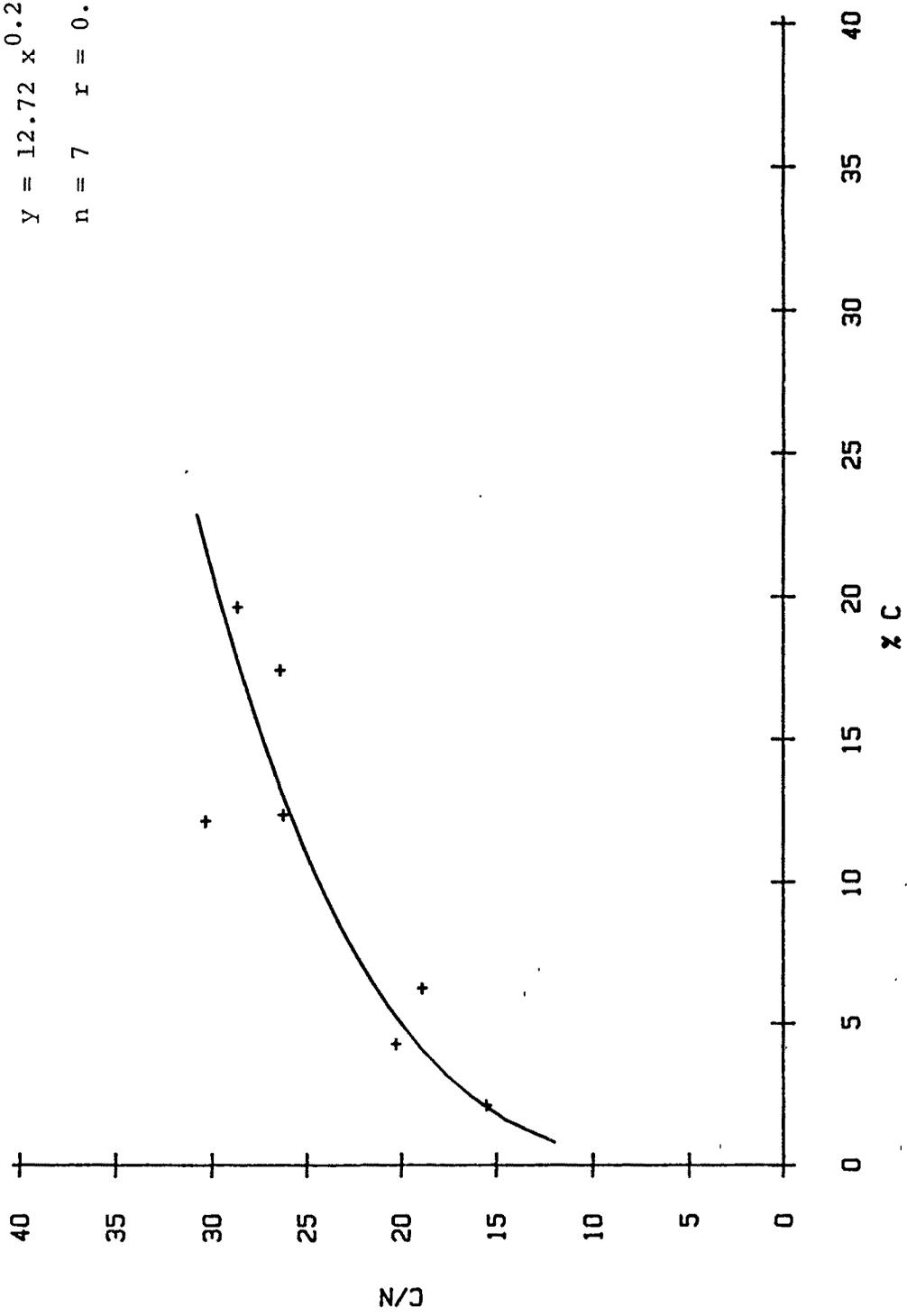
HOJARASCA DE PINOS Y MARGAS

FIGURA nº 49



$$y = 12.72 x^{0.282}$$

n = 7 r = 0.927



HOJARASCA DE PINOS Y CALCARENITAS

FIGURA no 50

observa un aumento del C/N en las zonas más áridas.

En resumen, podemos establecer las siguientes ordenaciones de nuestros suelos en función del C/N y tipo de horizonte:

Horizontes superficiales
según el tipo de aporte
vegetal dominante:

pinos > robles ≈ coscoja > carrasca

Horizontes subsuperficiales:

ácidos sobre areniscas ≫ carbonatados sobre arenisca calcárea y calcarenita

> fersialíticos > yesos > margas

La diferencia entre los dos tipos de horizonte se centra en la presencia en superficie de productos orgánicos lábiles, de reciclaje rápido, y en los horizontes más profundos, de humus estable, cuya estabilidad está estrechamente relacionada con las características del medio mineral (Bottner, 1972; Pouget, 1980).

Esta distinción entre los horizontes superficiales y profundos está de acuerdo con las dataciones realizadas por Bottner y Peyronel (1977) en suelos fersialíticos del sur de Francia, en los que en profundidad, la materia orgánica presenta una edad de 1600 años, mientras que en el A₁ es menor de 20 años. Estos datos hacen suponer una muy baja transferencia de materia orgánica joven a los horizontes profundos, a pesar de la existencia de lumbrídeos.

La evidencia de que la relación C/N está fuertemente influida por la naturaleza de los restos vegetales en los horizontes ricos en materia orgánica, hace que en estos casos no sea un buen indicador del grado de descomposición de la materia orgánica. Su validez aumenta con la profundidad, en la medida que disminuyen los restos orgánicos frescos (ver al apartado dedicado al humus).

Marion et al. (1981) observan en suelos del chaparral en

California que la relación C/N no se correlaciona con la mineralización de nitrógeno.

Estimación de la materia orgánica total de los suelos

Las diferencias en la profundidad de los horizontes y suelos, en la pedregosidad y en las densidades aparentes, hace que los valores de materia orgánica total expresados en porcentaje de la tierra fina, sean engañosos en la comparación de los diversos suelos. Mehlich (1980) recomienda el uso de las expresiones peso/volumen en estudios de las relaciones planta-suelo.

Para la valoración de la materia orgánica total de los suelos, hemos abordado la estimación de la misma referida a unidad de superficie de suelo, a partir de los datos analíticos obtenidos en %C de la tierra fina. La conversión se realiza según el siguiente cálculo (Cabidoche, 1979):

$$M.O.T. = \frac{1}{10} \cdot mo \cdot Da \cdot p \cdot \frac{100-V}{100}$$

M.O.T. es la materia orgánica total expresada en Kg/m².

mo es el % de materia orgánica referido a tierra fina o, en el caso de que el horizonte tenga restos orgánicos de tamaño superior a 2 mm., incluyendo esta fracción en el cálculo.

Da es la densidad aparente de la muestra, excluidas las piedras y gravas.

p profundidad del horizonte en cm..

V % en volumen ocupado por piedras y gravas.

El porcentaje de materia orgánica se ha calculado multiplicando por 1.724 el %C, los restos orgánicos mayores de 2 mm. se han pesado directamente y añadido al porcentaje correspondiente a la tierra fina.

La densidad aparente plantea en principio dificultades de determinación en suelos de elevada pedregosidad y contenido muy variable en materia orgánica. El primer problema lo hemos abordado determinando la D_a de la tierra fina para una serie de muestras representativas y descontando después el porcentaje en volumen de piedras. Para las muestras muy orgánicas, hemos calculado la D_a siguiendo el modelo propuesto por Cabidoche (1979):

$$D_a = \frac{1}{0.57 + 0.067 \text{ mo}}$$

El porcentaje en volumen de piedras y gravas es probablemente la mayor fuente de error en la estimación. Se parte del % en peso (R) respecto a muestra total que es el valor medido de partida, y se utilizan los siguientes valores de densidad aparente (D_{ar}) de los diferentes tipos de roca: caliza 2.68; arenisca 2.40; yeso 2.32; marga 1.9 . El cálculo es:

$$\% V = \frac{R}{D_{ar}} \cdot \frac{100}{\frac{R}{D_{ar}} + \frac{100-R}{D_a}}$$

en el cual, el denominador del segundo cociente es una estimación de la densidad aparente de la muestra total a partir de los porcentajes respectivos de piedras y tierra fina.

Los resultados obtenidos agrupados por tipo de suelo se exponen en la tabla nº 3.

En la M.O.T. se incluye la hojarasca. Se calcula asimismo el valor de materia orgánica por unidad de profundidad (cm.), descontado el valor del A_{00} . Los resultados no son extrapolables a unidades de superficie mayores, debido a la discontinuidad generalizada de la cobertera arbórea.

Los valores de M.O.T. oscilan entre 5 y 25 kg/m^2 , presentando en general importantes variaciones al igual que la profundidad del suelo.

Los suelos fersialíticos presentan el máximo promedio de

M.O.T. y la reserva más importante acumulada en los horizontes A_3 y (B). Lossaint y Rapp (1978) estiman entre 12.8 y 19.2 Kg/Ha para una profundidad media de 40 cm. bajo encinares del sur de Francia.

Los suelos carbonatados sobre materiales margosos, a pesar de ser más profundos que los anteriores, presentan menor cantidad de M.O.T. y por tanto, menor M.O.T./cm. La materia orgánica es cuantitativamente más importante en los horizontes subsuperficiales suponiendo los aportes orgánicos similares (pesos de hojarasca equivalentes); debe haber una menor estabilización del humus en los suelos margosos con respecto a los fersialíticos.

Los suelos yesíferos presentan una gran variación en la profundidad ya que algunos de ellos incluyen horizontes C de margayesífera blanda. La materia orgánica se acumula en general en los horizontes de superficie y en algunos casos está toda ella en horizontes orgánicos.

Los suelos sobre areniscas calcáreas y calcarenitas son muy superficiales, menos orgánicos que los grupos anteriores (algo superior para las calcarenitas) y con los mayores contenidos en los horizontes A_0A_1 .

Presentan los mayores M.O.T./cm. debido a su escasa profundidad.

Por último, los suelos ácidos sobre arenisca calcárea son los que presentan los valores mínimos de M.O.T. y M.O.T./cm.. Parece claro el efecto negativo en la conservación del humus de la textura arenosa y el pH ácido.

Las hojarascas representan de un 15% del total de materia orgánica en los suelos superficiales sobre arenisca calcárea, a un 6% en los fersialíticos.

En resumen, los suelos estudiados se ordenan en función de los promedios de M.O.T. de la forma siguiente:

	Prof.: cm	M.O.T.: Kg/m ²	M.O.T./cm	
FERSIALITICOS s./CALIZAS n = 15	23.4	14.08 (0.92)	0.61	\bar{x}
	10.12	5.42 (0.39)	0.21	d
ACIDOS s./ARENISCA CALCAREA n = 4	16.88	6.30 (0.60)	0.35	\bar{x}
	6.98	0.96 (0.21)	0.18	d
CARBONATADOS s./ARENISCA CALCAREA n = 6	12.83	8.10 (1.32)	0.71	\bar{x}
	12.37	4.54 (0.57)	0.28	d
CARBONATADOS s./CALCAREN. n = 7	15.36	11.77 (1.28)	0.68	\bar{x}
	12.30	8.30 (0.68)	0.21	d
CARBONATADOS MARGOSOS n = 18	27.67	13.40 (1.03)	0.46	\bar{x}
	12.07	4.92 (0.43)	0.12	d
s./YESOS n = 6	25.33	12.46 (1.10)	0.61	\bar{x}
	15.51	6.85 (0.60)	0.40	d

TABLA nº 3.- Contenidos totales de materia orgánica de los diferentes tipos de suelos estudiados. Entre paréntesis los valores correspondientes al A₀₀.
 \bar{x} = media; d = desviación típica; n = nº de perfiles.

FERSIALITICOS > CARBONATADOS > YESIFEROS > CARBONATADOS >
 s/CALIZAS MARGOSOS s/CALCARENITAS

> CARBONATADOS > ACIDOS
 s/ARENISCAS CALCAREAS s/ARENISCAS CALCAREAS

De esta ordenación, parece evidente que los factores que condicionan el contenido en materia orgánica son: textura, profundidad del suelo, contenido en yeso, caliza activa y acidez.

Son varios los autores que señalan el mayor contenido en materia orgánica de los suelos carbonatados respecto a los ácidos, a igualdad de otros factores (Gallardo y García, 1973; Duchaufour, 1976).

Si aplicamos el índice hidrofactor (Hf) de Volobuev (Kononova, 1961, 1975) a nuestras condiciones climáticas, tenemos:

$$Hf = 43.2 \log P - T \quad P = \text{Precipitación anual}$$

$$T = T^{\text{a}} \text{ media anual}$$

Hf: 112 (Solsona), 102 (Cervera), 97 (Aitona)

Llevados los valores obtenidos a la curva propuesta por Volobuev para suelos rusos, las reservas de humus correspondientes son del orden de 10-15 Kg/m² para Cervera y Aitona, que ajusta bien para los resultados calculados, pero para la estación de Solsona, el valor de la curva es de aproximadamente 80 Kg/m² que no se corresponde en absoluto con nuestros datos.

Minderman (1960), en estudios de suelos ácidos de robledales en Holanda, determina reservas de materia orgánica de 10 Kg/m² para mull y 15 Kg/m² para mor.

EXTRACCION Y FRACCIONAMIENTO DE LA MATERIA ORGANICA

Método utilizado

Se sigue el método de Dabin (1971, 1976) con alguna modificación.

El método (figuras nº 51 y 52) consiste en los siguientes tratamientos:

- 1) Pretratamiento ácido y densimétrico. Se utiliza ácido fosfórico 2 M, de densidad 1.2, que produce fuerte descarbonatación y descalcificación, al tiempo que por densimetría separa la fracción materia orgánica ligera (también llamada fresca o libre), $d < 1.2$; dicha fracción está totalmente formada por restos tisulares (Almendros y Polo, 1980). Por otra parte, se produce la disolución en el medio ácido de los ácidos fúlvicos libres (AF1), fracción previamente floculada por el calcio, o soluble.

La separación de la materia orgánica fresca previa al ataque alcalino, previene la posible formación artefactual de productos de la oxidación de dicha fracción.

En suelos carbonatados, se obtienen valores de humus muy bajos sin pretratamiento ácido (Muller y Vedy, 1978).

- 2) Extracción de los ácidos húmicos (AH) y ácidos fúlvicos (AF) por la mezcla $\text{NaOH } 0.1 \text{ N} - \text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \text{ } 0.1 \text{ M}$, al 50% y con pH de aproximadamente 11.5. Este reactivo alcalino fué propuesto por Kononova y Bel'chikova (citadas por Kononova, 1967).

El pirofosfato tiene un fuerte poder complejante (Thomann, 1963), que respecto al calcio tiene una acción equivalente al tratamiento ácido (Nguyen Kha, 1972) pero que no produce descarbonatación. Según Aleksandrova (1967), el pirofosfato extrae compuestos de Al o Fe con humus no firmemente adsorbidos a las superficies de las partículas minerales o en forma de complejos libres. A este efecto, se añade el de la hi-

drólisis alcalina y dispersión, aumentada por la presencia de sosa.

El ataque se realiza en atmósfera de nitrógeno para prevenir las oxidaciones provocadas por la sosa en presencia de oxígeno.

Se han realizado dos extracciones con el reactivo alcalino, seguidas de dos lavados con el mismo reactivo diluido al 10%. Se ha preferido este tratamiento no exhaustivo por aplicarse por igual a todas las muestras y, por tanto, permitir mejores comparaciones; las extracciones exhaustivas se llevan a cabo hasta que el color del extracto es claro, con lo que se introduce un elemento subjetivo y, además, puede producir errores relativos considerables en muestras de bajo contenido en humus con respecto a las muy orgánicas.

La proporción extractante:suelo es de aproximadamente 10.

La extracción por sosa-pirofosfato es menor que la de sosa (mayor pH); Dabin (1971) añade que, no obstante, la relación AH/AF se mantiene prácticamente constante mientras que Marini-Bettolo et al. (1977) opinan lo contrario, suponiendo una menor eficiencia del reactivo combinado en la extracción de AH.

- 3) El residuo de la extracción alcalina son las huminas. Se procede a su fraccionamiento siguiendo aproximadamente el protocolo del Laboratoire Pédologie de ORSTOM de Bondy, dirigido por el Dr. Dabin.

En síntesis, consiste en una desmineralización con H_2SO_4 y HCL-HF, y una ulterior separación densimétrica combinada a la dispersión mediante ultrasonidos.

El ataque con ácido sulfúrico concentrado en caliente se para el Fe y Al y solubiliza unos compuestos que se podrían asimilar a AF fuertemente enlazados con dichos cationes metálicos (H_2SO_4). El posterior ataque alcalino con NaOH 0.1N (pH 12.5) solubiliza las huminas ligadas al hierro (HFe).

El hecho de que el ataque alcalino del apartado 2 no se realice de forma exhaustiva, y que el reactivo alcalino utilizado aquí sea más básico, hace que se extraigan AH y AF no especialmente ligados al hierro, con lo que esta fracción de be estar probablemente abultada. Un reactivo frecuentemente utilizado para la extracción de las H_{Fe} es el ditionito sódico (Perraud et al., 1971); las dificultades que provoca en la valoración posterior del carbono por el dicromato, han he cho desaconsejable su uso en este trabajo.

El reactivo HCl 0.1N - HF 0.1N al 50% provoca la destrucción de las arcillas, liberando en el ataque alcalino la fracción H arc. .

El residuo de la mineralización son las huminas residuales que se suponen insolubles por su carácter fuertemente po limerizado, aunque se señala la persistencia de enlaces minerales muy fuertes.

Al objeto de tener una estimación de la naturaleza del re siduo final de extracción, así como de poder comparar los re sultados con otros trabajos de suelos calizos, se ha procedi do a la separación densimétrica de algunas muestras represen tativas, con bromoformo-etanol, $d = 1.8$ (Monnier et al., 1962), tras dispersión ultrasónica. Las fracciones separadas son las huminas de insolubilización (H_{ins}), llamadas por diversos autores huminas evolucionadas, y las huminas heredadas ($H_{her.}$) de densidad entre 1.2 y 1.8 . El lavado con agua del bromoformo, solubiliza sustancias sólo apreciables en las muestras muy orgánicas (H_{sol}). Según Muller y Vedy (1978) la fracción de densidad menor de 1.8 está compuesta por materia orgánica fresca o poco transformada en suelos calizos. Algunos autores realizan la densimetría con bromoformo antes de la extra cción alcalina (método Duchaufour, 1977), con lo que extraen abundantes compuestos húmicos (Almendros et al., 1980).

Almendros y Polo (1980) señalan la existencia de agrega-

dos organominerales en la fracción de densidad comprendida entre 1.8 y 1.2 .

De la observación microscópica de la humina residual de $d > 1.8$, Almendros et al. (1981) observan restos de tejidos junto a corpúsculos amorfos ligados a arcillas.

Spycher et al. (1983) aconsejan la utilización de líquidos densimétricos con $d < 1.59$ para excluir los complejos organominerales.

La valoración del C de los extractos líquidos (AF1, AH+AF, AH resolubilizados, H_2SO_4 y H_2S) se realiza previo desecado de la muestra a $70^\circ C$. Los AF de la fracción ligada, o densa, se obtienen por diferencia entre los extractos AH+AF y AH.

La pérdida de carbono en el proceso de fraccionamiento y extracción respecto al análisis directo, es en general inferior al 10%.

El método adoptado recientemente por la Sociedad Internacional de Sustancias Húmicas (IHSS, 1982) comprende un ataque ácido previo (HCl 1M) y la posterior extracción con sosa.

En el Laboratoire de Pédologie de Bondy, se ha realizado la comparación entre el método Dabin y el de la IHSS (Dabin, comunicación personal), obteniéndose una relación entre extracciones de materias húmicas algo superior en el método Dabin: 1.3/1 .

Schnitzer et al. (1981) proponen un método muy similar al utilizado en el presente estudio: pretratamiento ácido, para suelos carbonatados, y extracción posterior con sosa-pirofosfato.

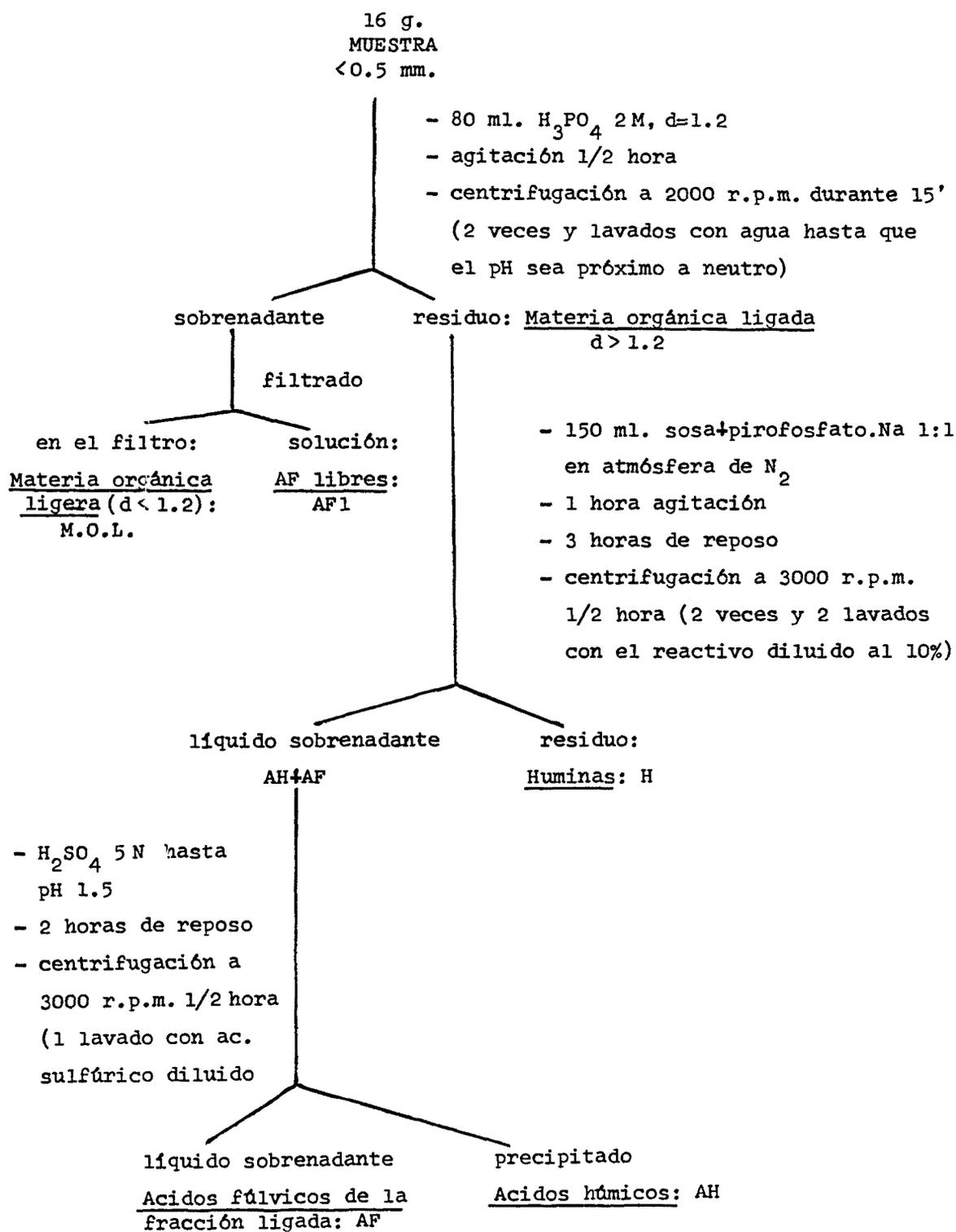


FIGURA nº 51.- Protocolo de extracción y fraccionamiento de la materia orgánica.

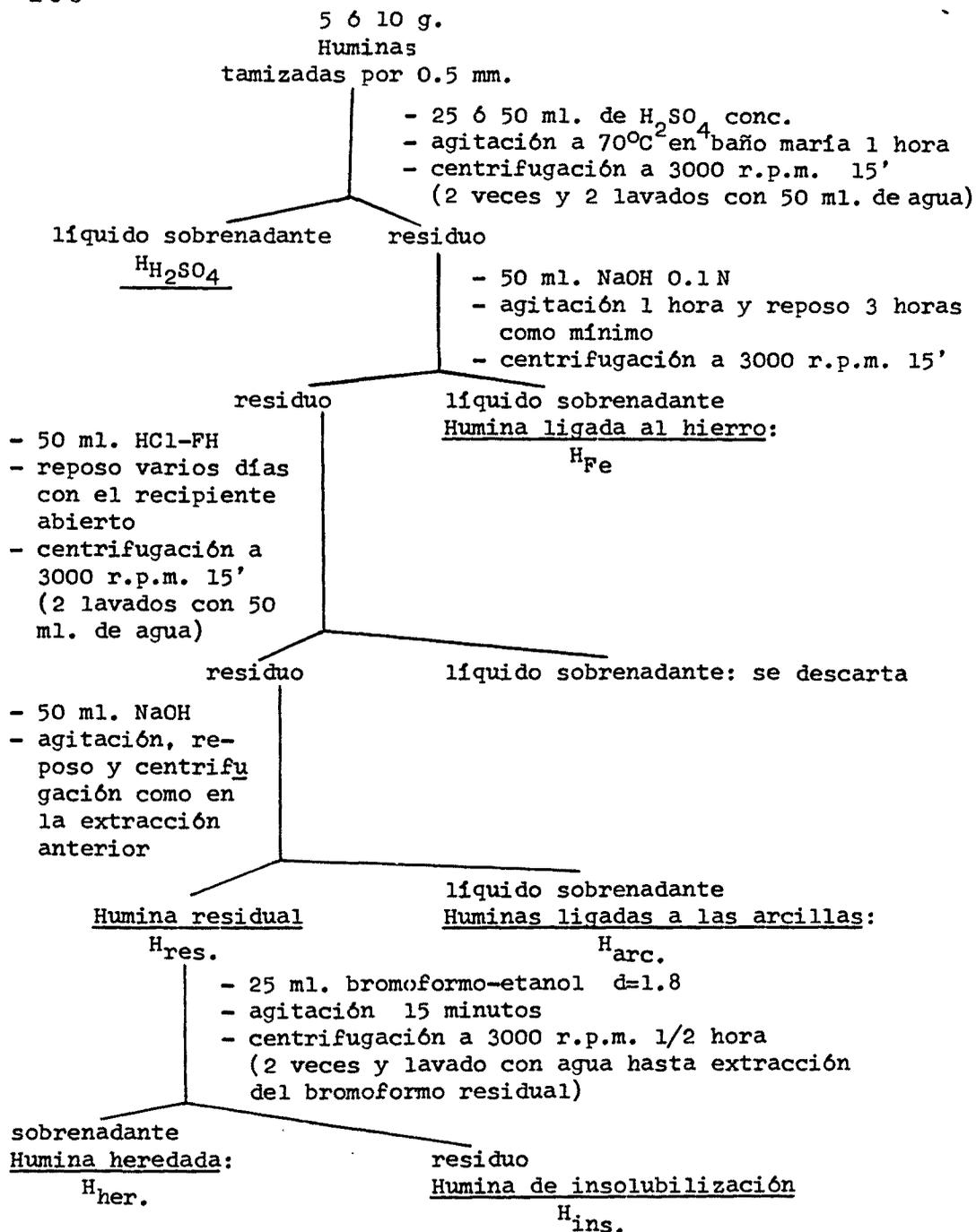


FIGURA nº 52.- Fraccionamiento de las huminas.

Discusión de los resultados

En las tablas n^{OS} 4 a 15 se presentan los resultados del fraccionamiento de la materia orgánica. El estudio se ha realizado sobre 27 perfiles representativos de los tipos de suelos reconocidos.

Al igual que para el C/N, hemos estudiado la relación entre el %C orgánico total y los porcentajes de las diferentes fracciones. Salfeld y Sochtig (1977) también establecen correlaciones entre ambos parámetros para diferentes tipos de suelos. En las figuras n^{OS} 53 a 58 se presentan las gráficas correspondientes a los suelos fersialíticos sobre calizas, por ser el grupo más homogéneo de entre los estudiados; los restantes suelos (excepto los yesíferos) presentan distribuciones del mismo tipo que se ajustan a funciones de tipo potencial. Los valores de máxima pendiente indican un umbral en el cambio de las propiedades de la fracción orgánica; varían entre un 3% C en suelos ácidos y un 4-5% C en los restantes. Este valor podría ser de interés en la separación de tipos de horizontes.

Waksman (1932) cita la ecuación de Zemmermann y Weissmann, con la que se relaciona el desprendimiento de CO₂ en el suelo (mineralización) y el tiempo, para otras condiciones constantes, según una función potencial y no exponencial como es el crecimiento bacteriano.

Se ha probado la agrupación de los suelos según el tipo de vegetación, obteniéndose peores ajustes que para las características minerales del suelo.

Los resultados se han referido a porcentaje de la tierra fina y a porcentaje del carbono orgánico total (C_t) respectivamente.

Todas las fracciones presentan una disminución absoluta (referidas a 100 g. tierra) en profundidad, concomitante con el descenso en C_t.

Las características cuantitativas destacables de las frac

Fraccionamiento del humus

C_{fracción}/100 g. tierra

Muestra	% C _t	m.o. libre	AF libres	m.o. ligada	AF	AH	H	AH/AF _t
F7966								
A ₀	23.12	2.15	1.51	19.46	2.26	2.15	15.05	0.57
A ₁₁	11.69	0.52	0.65	10.52	1.41	1.20	7.91	0.58
II A ₁₂	3.42	0.08	0.35	2.99	0.61	0.55	1.83	0.57
II A ₃	2.52	0.04	0.34	2.14	0.49	0.52	1.13	0.63
F7962								
A ₁	16.00	1.47	0.71	13.82	1.86	0.76	11.20	0.30
A ₃	3.35	0.03	0.26	3.06	0.57	0.35	2.14	0.42
F7960								
A ₀₂	28.83	3.23	1.25	24.35	1.82	1.46	21.07	0.48
A ₁	2.64	0.07	0.25	2.32	0.44	0.36	1.52	0.52
II (B) _{Ca}	1.50	0.01	0.19	1.30	0.26	0.31	0.73	0.69
F8025								
A ₀₂	25.51	2.11	1.39	22.01	2.18	1.56	18.27	0.44
II A ₁	3.76	0.03	0.30	3.43	0.54	0.53	2.36	0.63
F8026								
A ₁	13.80	0.36	0.88	12.56	1.39	1.00	10.17	0.44
F8107								
A ₁	6.38	0.39	0.35	5.64	0.68	0.70	4.26	0.68
II A ₃	4.17	0.09	0.31	3.77	0.67	0.45	2.65	0.46
F7955								
A ₁	16.50	0.55	0.81	15.14	1.76	1.02	12.36	0.40
A ₃	3.70	0.02	0.39	3.29	0.57	0.49	2.23	0.51

TABLA nº 4.- Suelos fersialíticos sobre calizas.

Fraccionamiento del humus

$$\% C_{\text{fracción}} / C_{\text{total}}$$

Muestra	m.o. libre	AF libres	m.o. ligada	AF	AH	H	$\frac{\%AH+AF_t}{C_t}$
F7966							
A ₀	9.30	6.53	84.17	9.78	9.30	65.10	25.61
A ₁₁	4.45	5.56	89.99	12.06	10.27	67.66	27.89
II A ₁₂	2.34	10.23	87.43	17.84	16.08	53.51	44.15
II A ₃	1.59	13.49	84.92	19.44	20.63	44.84	53.57
F7962							
A ₁	9.19	4.44	86.37	11.63	4.75	70.00	20.82
A ₃	0.90	7.76	91.34	17.01	10.45	63.88	35.22
F7960							
A ₀₂	11.20	4.34	84.46	6.31	5.06	73.08	15.71
A ₁	2.65	9.47	87.88	16.67	13.64	57.58	39.77
II (B) _{Ca}	0.67	12.67	86.67	17.33	20.67	48.67	50.67
F8025							
A ₀₂	8.27	5.45	86.28	8.55	6.12	71.62	20.12
II A ₁	0.80	7.98	91.22	14.36	14.10	62.77	36.44
F8026							
A ₁	2.61	6.38	91.01	10.07	7.25	73.70	23.70
F8107							
A ₁	6.11	5.49	88.40	10.66	10.97	66.77	27.12
II A ₃	2.16	7.43	90.41	16.07	10.79	63.55	34.29
F7955							
A ₁	3.33	4.91	91.76	10.67	6.18	74.91	21.76
A ₃	0.54	10.54	88.92	15.41	13.24	60.27	39.19

TABLA nº 5.- Suelos fersialíticos sobre calizas.

Fraccionamiento del humus

C_{fracción} / 100 g. tierra

Muestra	% C _t	m.o. libre	AF libres	m.o. ligada	AF	AH	H	AH/AF _t
F8005								
A ₁	7.82	0.95	0.16	6.71	0.59	0.86	5.26	1.15
(B)	0.65	0.004	0.16	0.49	0.10	0.05	0.34	0.19
F8004								
A ₁	9.24	1.18	0.22	7.84	0.93	0.65	6.26	0.56
A ₂ /B	2.08	0.11	0.15	1.82	0.30	0.07	1.46	0.16
F8200								
A ₁	5.32	0.36	0.20	4.76	0.73	0.61	3.42	0.66
A ₂	1.53	0.07	0.09	1.37	0.20	0.17	1.01	0.58
B ₁	0.76	0.02	0.09	0.65	0.08	0.08	0.49	0.47
B ₂	0.52	0.01	0.05	0.46	0.13	0.05	0.28	0.28
F8201								
A _{o2}	13.87	1.70	0.54	11.63	1.53	1.46	8.64	0.70
A ₁	5.24	0.57	0.26	4.41	0.77	0.61	3.03	0.59
A ₂	2.20	0.09	0.11	2.00	0.26	0.27	1.47	0.73
B ₁	1.31	0.02	0.06	1.23	0.25	0.16	0.82	0.52
F8017								
A ₁	13.52	2.10	0.57	10.85	0.76	0.83	9.26	0.63
II A ₃	3.85	0.13	0.23	3.49	0.47	0.34	2.68	0.49
F8036								
A ₁	2.47	0.15	0.12	2.20	0.34	0.33	1.53	0.72
(B)	0.44	-	0.06	0.38	0.02	0.08	0.28	1.00

TABLA nº 6.- Arriba, suelos ácidos sobre arenisca calcárea.
Abajo, suelos carbonatados sobre arenisca cal-
cárea.

Fraccionamiento del humus

$$\% C_{\text{fracción}} / C_{\text{total}}$$

Muestra	m.o. libre	AF libres	m.o. ligada	AF	AH	H	$\frac{\%AH+AF_t}{C_t}$
F8005							
A ₁	12.15	2.05	85.81	7.54	11.00	67.26	20.59
(B)	0.62	24.62	75.38	15.38	7.69	52.31	47.69
F8004							
A ₁	12.77	2.38	84.85	10.06	7.03	67.75	19.47
A ₂ /B	5.29	7.21	87.50	14.42	3.37	70.19	25.00
F8200							
A ₁	6.77	3.76	89.47	13.72	11.47	64.29	28.95
A ₂	4.58	5.83	89.54	12.75	10.78	66.01	29.41
B ₁	2.63	11.84	85.53	10.53	10.53	64.47	32.89
B ₂	1.92	9.62	88.46	25.00	9.62	53.85	44.23
F8201							
A ₀₂	12.26	3.89	83.85	11.03	10.53	62.29	25.45
A ₁	10.88	4.96	84.16	14.69	11.64	57.82	31.30
A ₂	4.09	5.50	90.91	11.82	12.27	66.82	29.09
B ₁	1.53	4.58	93.89	19.08	12.21	62.60	35.88

F8017							
A ₁	15.53	4.22	80.25	5.62	6.14	68.49	15.98
IIA ₃	3.38	5.97	90.65	12.21	8.83	69.61	27.01
F8036							
A ₁	6.07	4.86	89.07	13.76	13.36	61.94	31.99
(B)	-	13.64	86.36	4.55	18.18	63.64	36.37

TABLA nº 7.- Arriba, suelos ácidos sobre arenisca calcárea.
Abajo, suelos carbonatados sobre arenisca calcárea.

Fraccionamiento del humus

C_{fracción} / 100 g. tierra

Muestra	% C _t	m.o. libre	AF libres	m.o. ligada	AF	AH	H	AH/AF _t
F7952								
A ₁	5.82	0.17	0.26	5.39	0.61	0.90	3.88	1.03
A ₃	3.68	0.05	0.21	3.42	0.43	0.57	2.42	0.89
II (B)	1.96	0.02	0.13	1.81	0.22	0.47	1.12	1.35
F8010								
A ₁₁	15.59	0.67	0.59	14.33	1.16	1.02	12.15	0.58
A ₁₂	5.42	0.13	0.39	4.90	0.56	0.58	3.76	0.61
II A ₃	2.65	0.02	0.19	2.44	0.34	0.34	1.76	0.64
F8015								
A ₁	9.89	1.50	0.29	8.10	1.88	0.65	5.57	0.30
A ₃	3.46	0.17	0.20	3.09	0.46	0.46	2.17	0.70
II (B)	1.15	0.06	0.11	0.98	0.15	0.16	0.67	0.61
F8016								
A ₀	23.97	4.30	0.68	18.99	1.44	1.13	16.42	0.53
A ₁	5.05	0.27	0.52	4.27	0.66	0.80	2.81	0.67
F8022								
A ₀₂	19.63	1.97	0.63	17.03	1.36	1.80	13.87	0.90
A ₁	4.52	0.09	0.34	4.09	0.45	0.88	2.76	1.11
F8023								
A ₀₂	15.79	0.92	0.73	14.14	1.18	1.24	11.72	0.65
II A ₁	6.23	0.12	0.66	5.45	0.75	0.81	3.89	0.57
F8024								
A ₁	7.39	0.49	0.66	6.24	0.78	1.02	4.44	0.71
F8001								
A ₁	7.12	1.14	0.48	5.50	0.69	0.92	3.89	0.79
(B)	1.47	0.11	0.16	1.20	0.18	0.19	0.83	0.56

TABLA nº 8.- Arriba, suelos carbonatados sobre materiales margosos. Abajo, suelos carbonatados sobre calcarenitas.

$$\% C_{\text{fracción}} / C_{\text{total}}$$

Muestra	m.o. libre	AF libres	m.o. ligada	AF	AH	H	$\frac{\%AH+AF_t}{C_t}$
F7952							
A ₁	2.92	4.47	92.61	10.48	15.46	66.67	30.41
A ₃	1.36	5.71	92.93	11.68	15.49	65.76	32.88
II (B)	1.02	6.63	92.35	11.22	23.98	57.14	41.83
F8010							
A ₁₁	4.30	3.78	91.92	7.44	6.54	77.93	17.76
A ₁₂	2.40	7.20	90.41	10.33	10.70	69.37	28.53
II A ₃	0.75	7.17	92.08	12.83	12.83	66.42	32.83
F8015							
A ₁	15.17	2.93	81.90	19.01	6.57	56.32	28.51
A ₃	4.91	5.78	89.31	13.29	13.29	62.72	32.36
II (B)	5.22	9.57	85.22	13.04	13.91	58.26	36.52
F8016							
A ₀	17.94	2.84	79.22	6.01	4.71	68.50	13.56
A ₁	5.35	10.30	84.55	13.07	15.84	55.64	39.21
F8022							
A ₀₂	10.04	3.21	86.75	6.93	9.17	70.66	19.31
A ₁	1.99	7.52	90.49	9.96	19.47	61.06	36.95
F8023							
A ₀₂	5.83	4.62	89.55	7.47	7.85	74.22	19.94
II A ₁	1.93	10.59	87.48	12.04	13.00	62.44	35.63
F8024							
A ₁	6.63	8.93	84.44	10.55	13.80	60.08	33.28
F8001							
A ₁ (B)	16.01	6.74	77.25	9.69	12.92	54.63	29.35
	7.48	10.88	81.63	12.24	12.93	56.46	36.05

TABLA nº 9.- Arriba, suelos carbonatados sobre materiales margosos. Abajo, suelos carbonatados sobre calcarenitas.

Fraccionamiento del humus

C_{fracción} / 100 g. tierra

Muestra	% C _t	m.o. libre	AF libres	m.o. ligada	AF	AH	H	AH/AF _t
F7953								
A _{o1}	28.63	3.09	1.47	24.07	2.60	1.90	19.57	0.47
A _{o2}	19.95	1.81	1.68	16.46	2.39	2.10	11.97	0.52
C	2.08	0.06	0.24	1.78	0.11	0.03	1.64	0.09
F7957								
A _{o2}	19.74	0.70	1.71	17.33	2.18	2.34	12.81	0.60
C	1.00	0.06	0.12	0.82	0.05	-	0.77	-
F8019								
A ₁	6.79	1.18	0.36	5.25	0.42	0.71	4.12	0.91
B	1.08	0.07	0.11	0.90	0.09	0.04	0.77	0.20
F8109 b.								
A ₁	6.96	0.40	0.38	6.18	0.71	0.80	4.67	0.74
A ₁ C	2.83	0.13	0.19	2.51	0.26	0.30	1.95	0.67
F8031*								
A ₁	12.19	2.01	0.70	9.48	1.36	1.13	6.99	0.55
(B)	2.11	0.13	0.16	1.82	0.29	0.32	1.21	0.71
F8108*								
A _{o2}	18.04	2.64	0.99	14.41	1.93	1.46	11.02	0.50
A ₁	3.64	0.06	0.34	3.24	0.48	0.48	2.28	0.58

TABLA nº 10.- Suelos sobre roca yesífera. El asterisco indica las muestras que no contienen yeso en la tierra fina.

Fraccionamiento del humus

$$\% C_{\text{fracción}} / C_{\text{total}}$$

Muestra	m.o. libre	AF libres	m.o. ligada	AF	AH	H	$\frac{\%AH+AF}{C_t}$
F7953							
A _{o1}	10.79	5.13	84.07	9.08	6.64	68.35	20.85
A _{o2}	9.07	8.42	82.51	11.98	10.53	60.00	30.93
C	2.88	11.54	85.58	5.29	1.44	78.85	18.27
F7957							
A _{o2}	3.55	8.66	87.79	11.04	11.85	64.89	31.56
C	6.00	12.00	82.00	5.00	-	77.00	17.00
F8019							
A ₁	17.38	5.30	77.32	6.19	10.46	60.68	21.94
B	6.48	10.19	83.33	8.33	3.70	71.30	22.22
F8109 b.							
A ₁	5.75	5.46	88.79	10.20	11.49	67.10	27.16
A _{1C}	4.59	6.71	88.69	9.19	10.60	68.90	26.50
F8031*							
A ₁	16.49	5.74	77.77	11.16	9.27	57.34	26.17
(B)	6.16	7.58	86.26	13.74	15.17	57.35	36.49
F8108*							
A _{o2}	14.63	5.49	79.88	10.70	8.09	61.09	24.28
A ₁	1.65	9.34	89.01	13.19	13.19	62.64	35.71

TABLA nº 11.- Suelos sobre roca yesífera. El asterisco indica las muestras que no contienen yeso en la tierra fina.

Fraccionamiento de las huminas

$$C_{\text{fracción}}/C_{\text{total}}$$

Muestra	H _t	H _{H₂SO₄}	H _{Fe}	H _{arc.}	H _{res.}	H _{her.}	H _{sol.}	H _{ins.}
F7966								
A ₀	65.10	0.78	2.50	2.06	59.76	35.25	3.20	21.31
A ₁₁	67.66	1.56	5.21	5.11	55.78	7.87	0.43	47.48
II A ₁₂	53.51	3.96	6.28	4.95	38.32	2.92	-	35.40
II A ₃	44.84	3.62	4.98	4.08	32.16			
F7962								
A ₁	70.00	1.74	2.08	4.02	62.16			
A ₃	63.88	5.02	7.18	6.10	45.58			
F7960								
A ₀₂	73.08	1.61	1.29	1.98	68.20	47.90	2.01	18.29
A ₁	57.58	3.65	4.87	4.87	44.20	5.68	-	38.52
II (B) _{Ca}	48.67	3.09	5.41	4.64	35.54	1.33	-	34.21
F8025								
A ₀₂	71.62	3.04	3.00	4.15	61.42			
II A ₁	62.77	2.60	3.18	3.47	53.51			
F8026								
A ₁	73.70	2.18	3.15	4.12	64.26			
F8107								
A ₁	66.77	2.86	4.82	5.71	53.38	5.33	-	48.05
II A ₃	63.55	2.62	3.92	6.28	50.74	6.24	-	44.50
F7955								
A ₁	74.91	2.07	2.35	3.04	67.46			
A ₃	60.27	2.86	3.71	7.14	46.56			

TABLA nº 12.- Suelos fersialíticos sobre calizas.

Fraccionamiento de las huminas

$$C_{\text{fracción}} / C_{\text{total}}$$

Muestra	H _t	H _{H₂SO₄}	H _{Fe}	H _{arc.}	H _{res.}	H _{her.}	H _{sol.}	H _{ins.}
F8005								
A ₁	67.26	3.66	4.29	7.16	52.15			
(B)	52.31	6.08	12.17	-	34.06			
F8004								
A ₁	67.75	3.72	3.72	6.95	53.36			
A ₂ /B	70.19	5.51	5.01	4.01	55.65			
F8200								
A ₁	64.29	5.18	7.34	6.04	45.74			
A ₂	66.01	6.07	5.31	4.55	50.08			
B ₁	64.47	7.33	7.33	4.40	45.42			
B ₂	53.85	12.43	8.28	2.07	31.07			
F8201								
A ₀₂	62.29	1.48	3.87	2.72	54.23	14.64	0.22	39.37
A ₁	57.82	3.77	5.24	3.98	44.83	4.58	-	40.25
A ₂	66.82	5.93	6.47	5.39	49.04	5.45	-	43.59
B ₁	62.60	7.04	7.83	3.91	43.82	4.58	-	39.24
F8017								
A ₁	68.49	3.15	5.27	6.53	53.53			
II A ₃	69.61	6.27	11.65	8.07	43.62			
F8036								
A ₁	61.94	4.33	6.50	6.06	45.05			
(B)	63.64	8.49	6.36	-	48.79			

TABLA nº 13.- Arriba, suelos ácidos sobre arenisca cal-
cárea. Abajo, suelos carbonatados sobre
la misma roca.

Fraccionamiento de las huminas

$$C_{\text{fracción}} / C_{\text{total}}$$

Muestra	H _t	H _{H₂SO₄}	H _{Fe}	H _{arc.}	H _{res.}
F7952					
A ₁	66.67	4.20	4.20	7.85	50.41
A ₃	65.76	4.19	4.84	6.77	49.96
II (B)	57.14	4.76	1.79	5.36	45.24
F8010					
A ₁₁	77.93	2.42	1.59	3.26	70.66
A ₁₂	69.37	3.39	8.27	6.36	51.34
II A ₃	66.42	6.21	8.60	9.56	42.05
F8015					
A ₁	56.32	3.61	5.54	-	47.17
A ₃	62.72	5.64	8.47	6.27	42.34
II (B)	58.26	8.19	8.19	-	41.87
F8016					
A ₀	68.50	2.11	3.55	3.88	58.96
A ₁	55.64	4.80	7.67	7.91	35.25
F8022					
A ₀₂	70.66	1.84	4.96	5.85	58.01
A ₁	61.06	3.80	7.85	8.36	41.04
F8023					
A ₀₂	74.22	3.44	3.14	4.56	63.07
II A ₁	62.44	2.91	6.92	8.01	44.60
F8024					
A ₁	60.08	3.73	5.45	6.31	44.59
F8001					
A ₁	54.63	3.59	6.20	2.61	42.24
(B)	56.46	5.41	4.64	5.41	40.99

TABLA nº 14.- Arriba, suelos carbonatados sobre materiales margosos. Abajo, suelos carbonatados sobre calcarenitas.

Fraccionamiento de las huminas

$$C_{\text{fracción}} / C_{\text{total}}$$

Muestra	H _t	H _{H₂SO₄}	H _{Fe}	H _{arc.}	H _{res.}
F7953					
A ₀₁	68.35	2.76	2.76	3.78	59.05
A ₀₂	60.00	4.78	3.65	3.05	48.53
C	78.85	6.69	0.96	0.48	70.73
F7957					
A ₀₂	64.89	3.76	4.41	4.80	52.02
C	77.00	5.78	-	35.29	35.93
F8019					
A ₁	60.68	2.86	1.25	6.96	49.61
B	71.30	6.16	0.88	0.88	63.38
F8109 b.					
A ₁	67.10	3.97	4.42	3.66	55.05
A ₁ C	68.90	4.62	0.92	8.79	54.57
F8031*					
A ₁	57.34	3.57	3.19	6.76	43.83
(B)	57.35	7.24	3.90	7.24	38.98
F8108*					
A ₀₂	61.09	2.30	3.35	3.10	52.34
A ₁	62.64	6.47	3.06	8.51	44.60

TABLA nº 15.- Suelos sobre roca yesífera. El asterisco señala las muestras que no tienen yeso en la tierra fina.

ciones, expresadas en porcentaje del carbono total, son:

Materia orgánica libre

Las proporciones de esta fracción son siempre bajas, incluso en horizontes orgánicos y, aunque sólo extraen restos vegetales no humificados, probablemente no los extrae todos (Almendros y Polo, 1980). Los valores oscilan en general entre un 5 y un 15% del carbono total en los horizontes A_0 y A_1 , disminuyendo en profundidad hasta hacerse prácticamente nulos.

Se obtienen valores relativamente altos en los horizontes superficiales de los suelos ácidos sobre arenisca. En los suelos sobre yesos, hay una distinción clara entre los horizontes de superficie: los A_0 con yeso presentan los valores más bajos (10% o menos). Es de destacar el alto contenido en M.O.L. (17.38%) del A_1 yesífero del perfil F8019, para un % C_t de 6.78 .

Los valores en general presentan distribuciones potenciales positivas (figura nº 53), próximas a rectas.

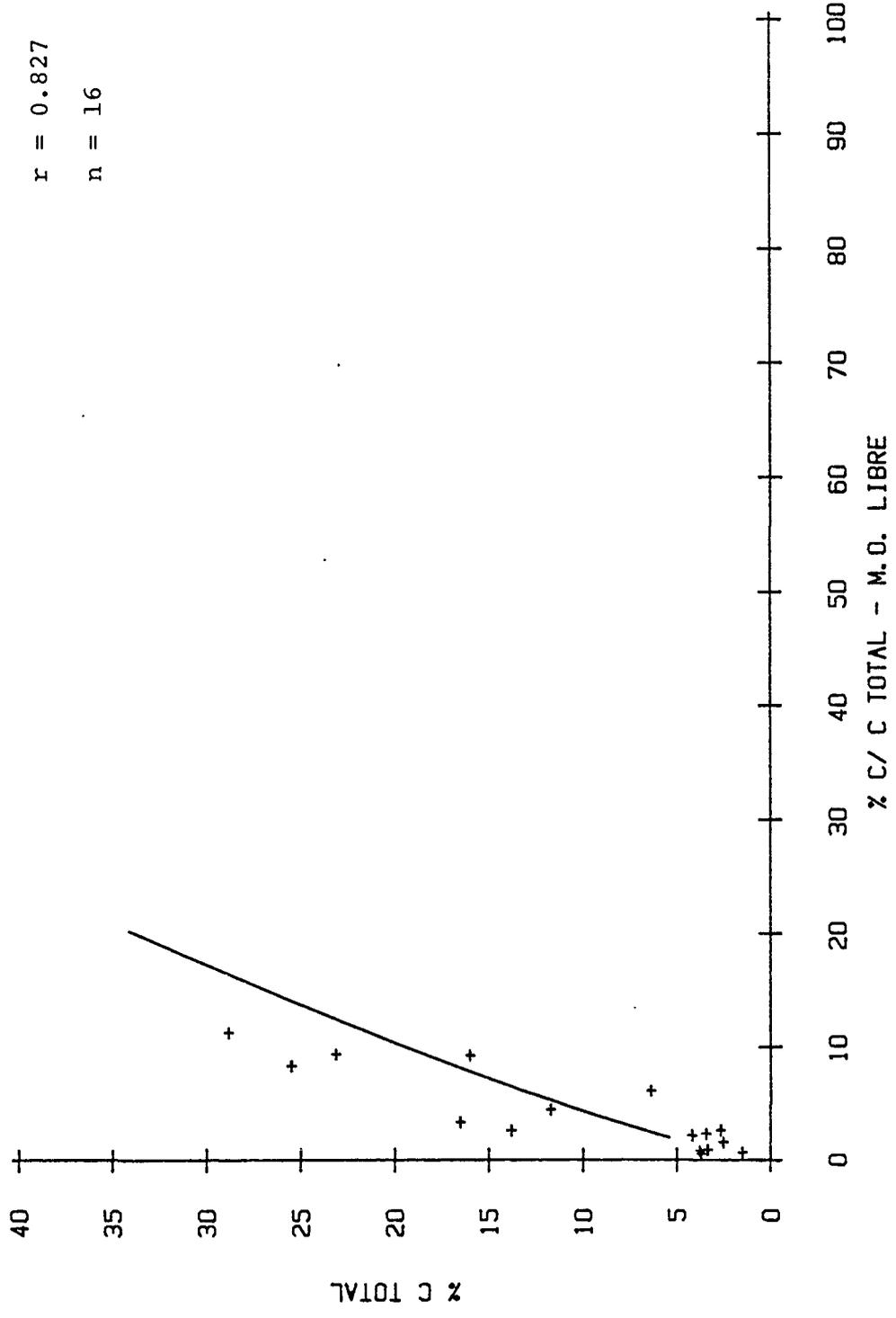
Acidos fúlvicos libres y AF de la fracción ligada

Los AF_l. presentan un aumento relativo en profundidad.

Los valores extremos son 2% y 25%, ambos pertenecientes al mismo perfil, ácido sobre arenisca calcárea. Este grupo de suelos presenta, además, altas relaciones AF_l/AF_t en los horizontes situados debajo del A₁, y en los perfiles más desarrollados, una disminución en profundidad de los AF_l. . Todo parece indicar la existencia de iluviación de AF_l. en estos suelos; es de destacar que los horizontes de acumulación coinciden aproximadamente con los A₂ eluviales, en los suelos ilimerizados, con lo que se evidencia la discordancia de ambos fenómenos, reforzándose la hipótesis del carácter relicto de estos suelos.

Los perfiles yesíferos presentan sólo un ligero aumento de AF_l. en profundidad.

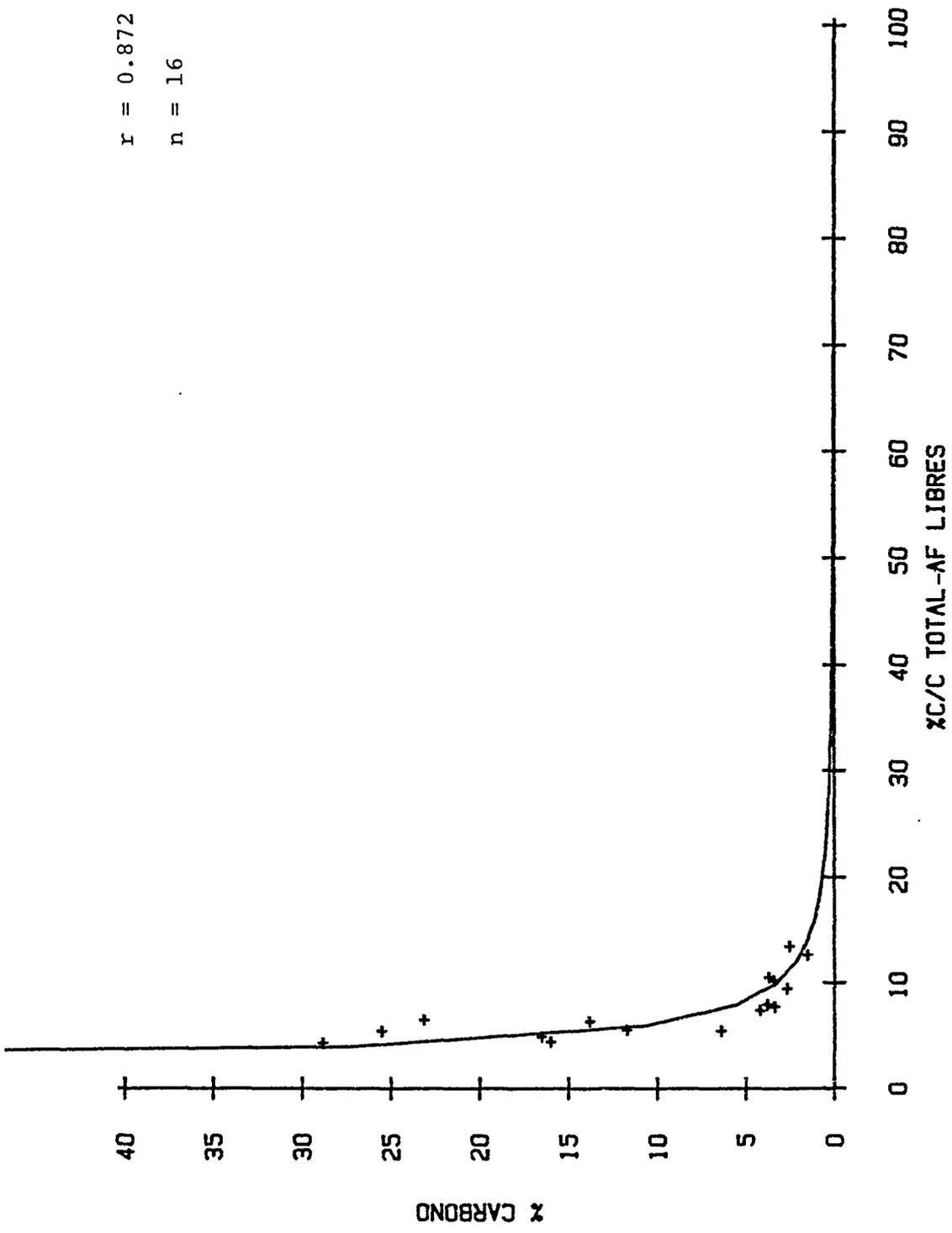
En general, los porcentajes AF_l/AF_t son más bajos en los suelos ácidos que en los restantes. En los suelos fersialíticos,



FERSIALITICOS

FIGURA no 53.- Suelos sobre calizas.

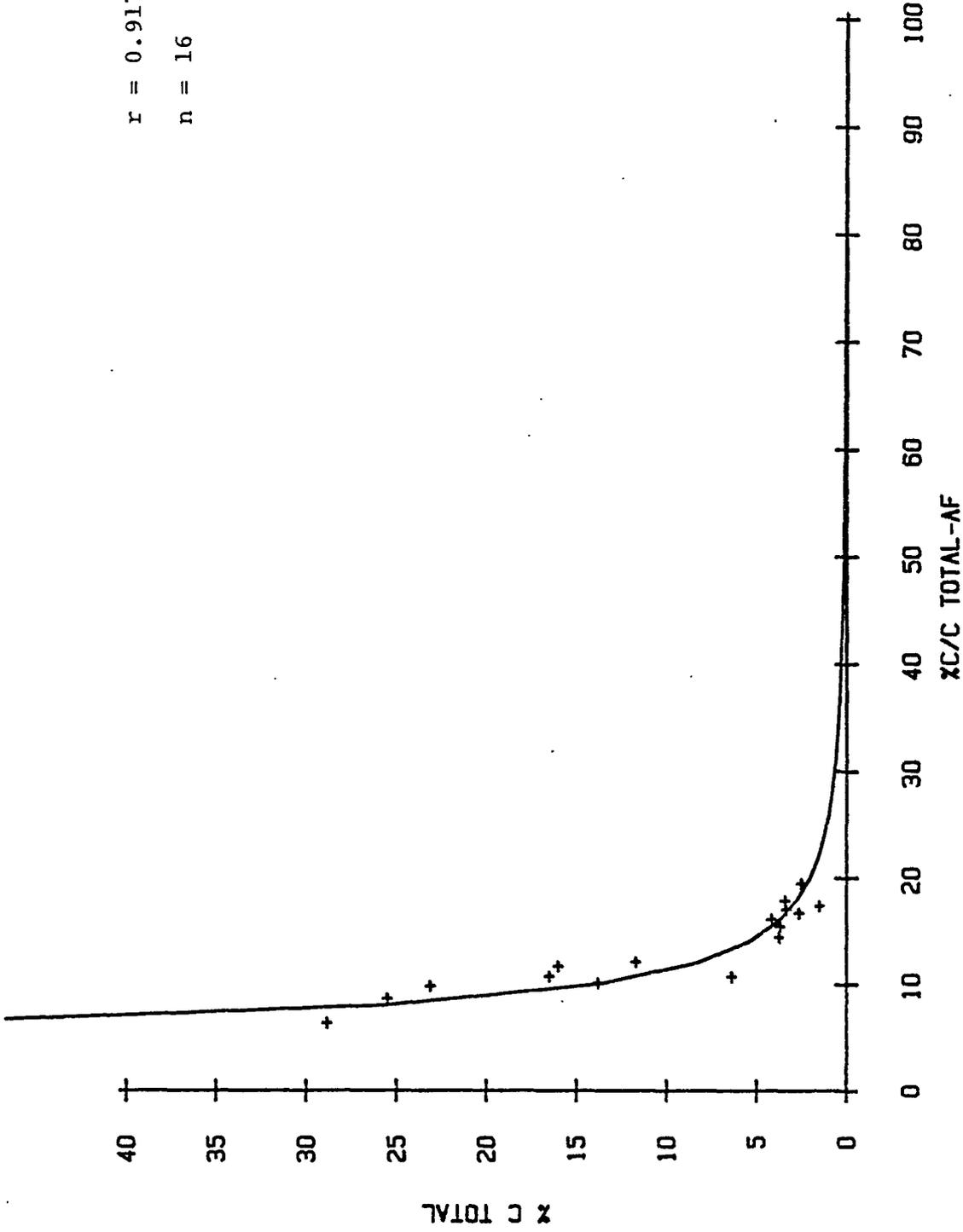
r = 0.872
n = 16



FERSIALITICOS

FIGURA nº 54.- Suelos sobre calizas

$r = 0.917$
 $n = 16$



FERSIALITICOS

FIGURA nº 55.- Suelos sobre calizas.

r = 0.891
n = 16

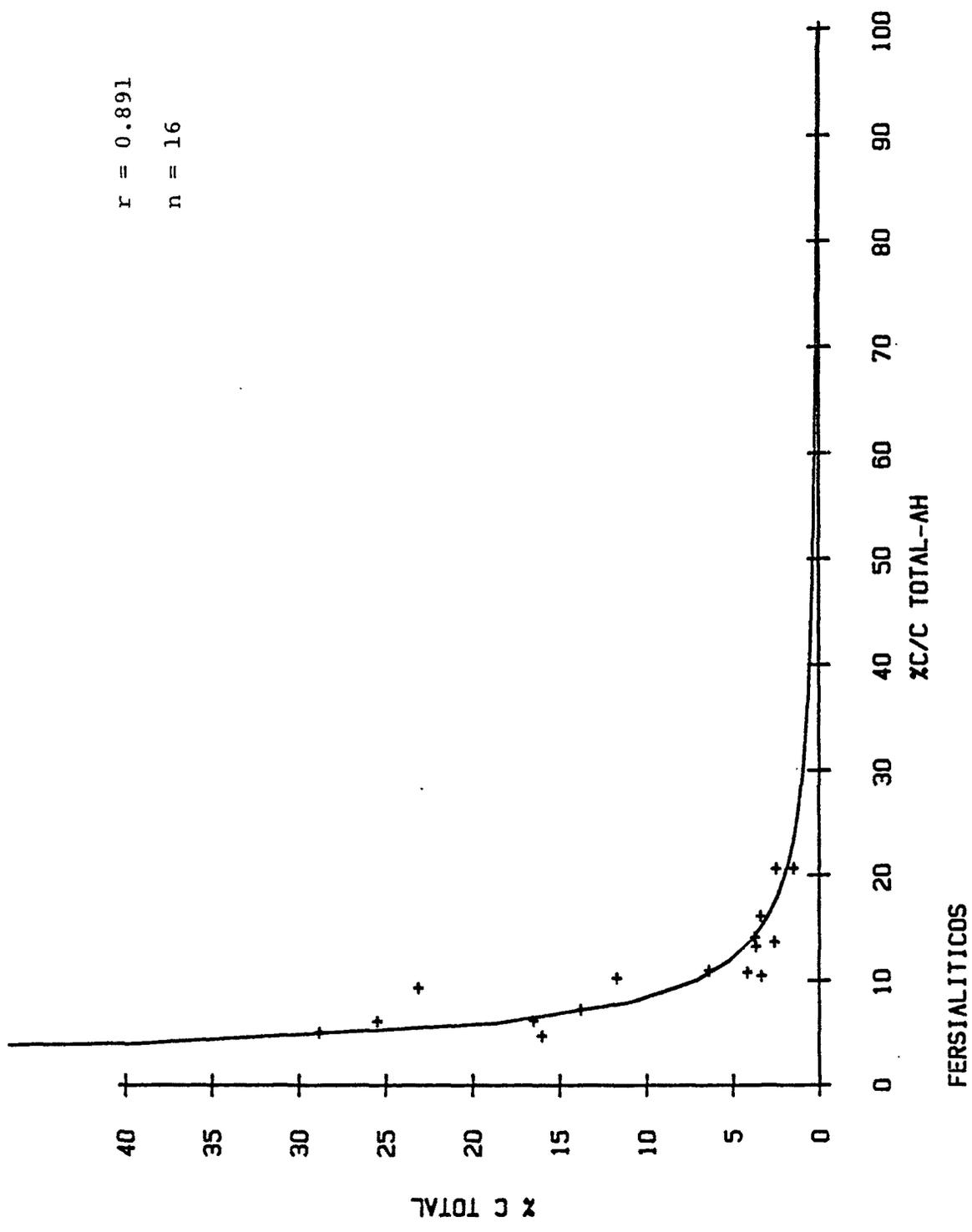
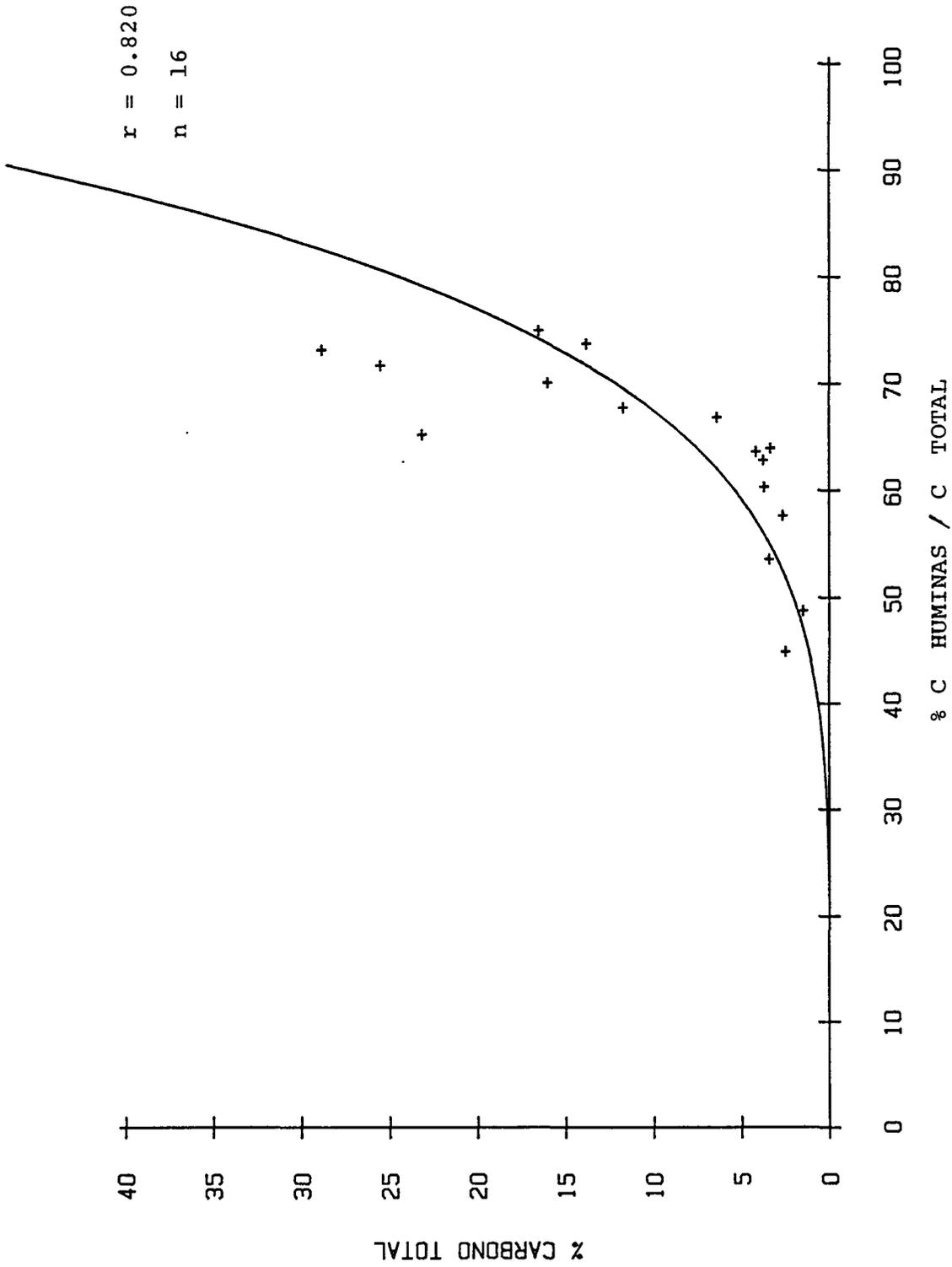
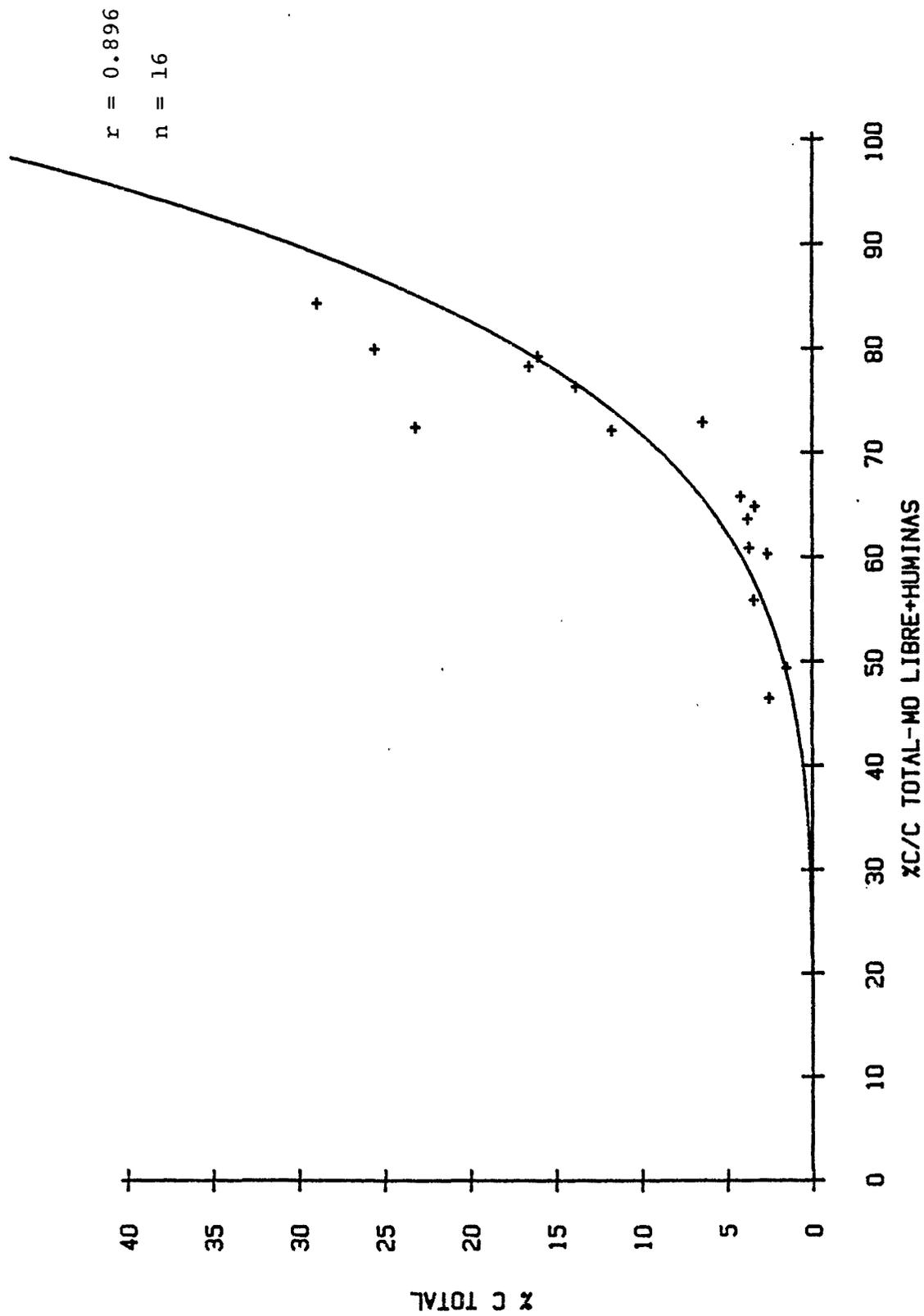


FIGURA nº 56.- Suelos sobre calizas.



FERSIALITICOS

FIGURA nº 57.- Suelos sobre calizas.



FERSIALITICOS

FIGURA nº 58.- Suelos sobre calizas

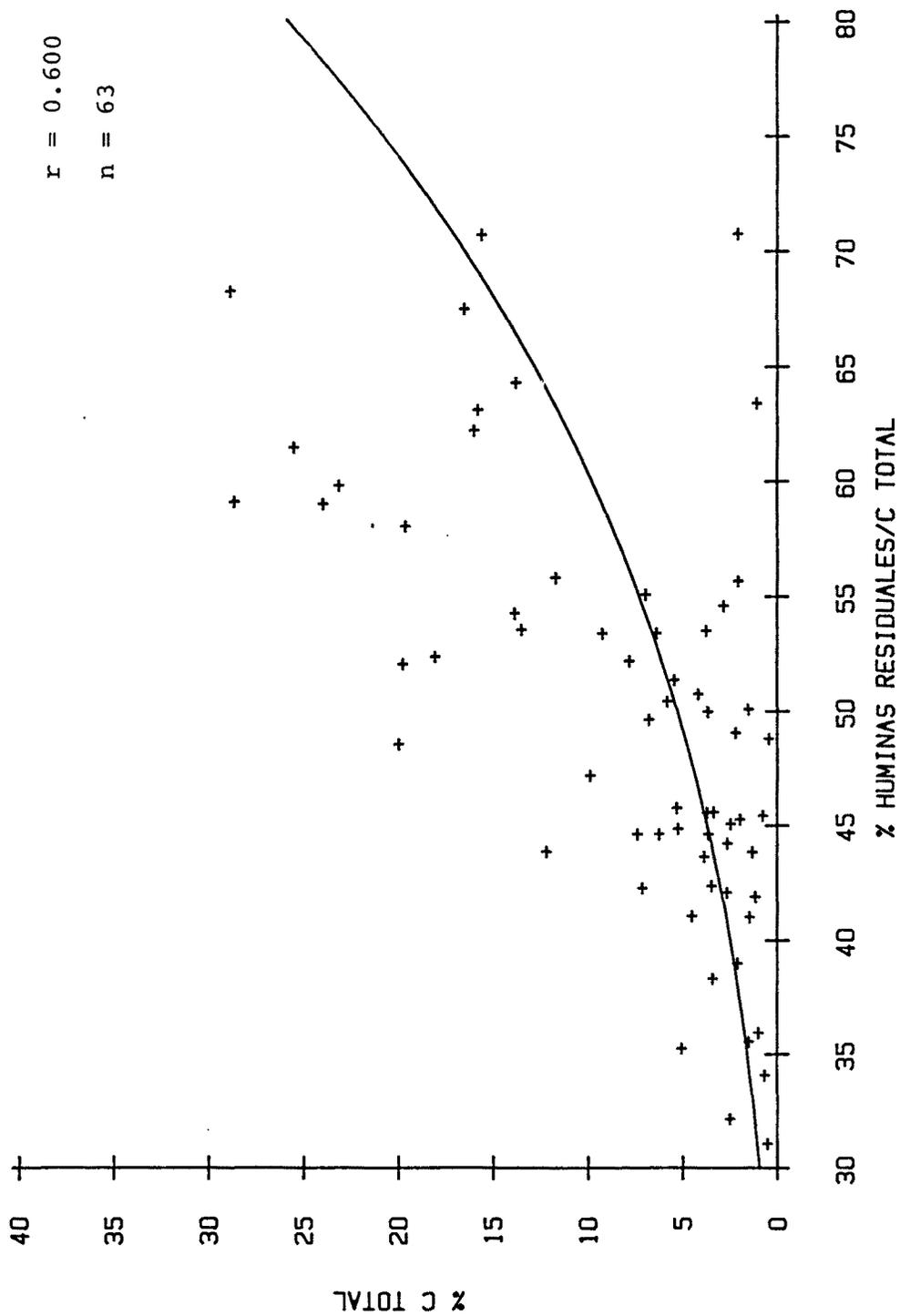


FIGURA nº 59

dicho cociente es de 30-40% en A_0 , disminuyendo en A_1 . En suelos margosos predominan asimismo relaciones entre 30 y 45%.

En nuestros suelos no hay una correlación entre los AF_1 y el porcentaje de carbonatos tal como ha observado Pouget (1980) en Argelia, aunque si hay un aumento en los suelos básicos respecto a los ácidos, con lo que se verifica su estabilización por el calcio.

Lógicamente, la máxima producción de hidrosolubles (precursores de los AF libres) debe ser en los A_0 , aunque su precipitación por el calcio sea superior en A_1 .

Los porcentajes de AF oscilan poco alrededor del 10% del carbono total, siendo ligeramente superiores en los suelos fersialíticos y ácidos. Los contenidos aumentan generalmente en profundidad, a excepción de los suelos ricos en yesos.

La mayoría de los suelos estudiados presentan contenidos en AF_t del orden del 15% en superficie que aumentan hasta un 30% en profundidad.

Acidos húmicos

Por la distribución de los porcentajes de ácidos húmicos en el perfil, se pueden distinguir dos grupos de suelos:

- 1) Suelos en los que el porcentaje aumenta en profundidad. Se incluyen los fersialíticos y los carbonatados, junto a los suelos sobre roca yesífera que no contiene yeso en la tierra fina. Los valores oscilan entre 5% en A_0 y 20% en los horizontes profundos; dentro de estos márgenes, los valores superiores se obtienen en los suelos fersialíticos.
- 2) Suelos en los que el porcentaje de AH disminuye en profundidad. Este apartado comprende dos tipos de suelos de características opuestas, pero que tienen en común una baja capacidad estabilizadora de los AH en los horizontes minerales. Son los suelos ácidos y los yesíferos.

Los suelos ácidos, sobre arenisca, presentan valores pró-

ximos al 10% y disminuyen poco en profundidad.

Las muestras yesíferas presentan valores relativamente altos en A_0 , del 10%, y muy bajos en los horizontes minerales, sobre todo en las margas yesíferas.

La relación AH/AF_t

Orlov et al. (1979) destacan la utilidad de la relación AH/AF en la determinación de grandes grupos de suelos.

Loewe (1980) advierte de la dificultad de interpretar dicho índice en los horizontes orgánicos, ya que los restos vegetales pueden contribuir significativamente a las fracciones AH y AF.

Marini-Bettolo et al. (1977) determinan importantes diferencias en la extracción de los compuestos húmicos dependiendo del extractante empleado, con lo que le restan valor analítico al cociente AH/AF.

En la mayor parte de las muestras estudiadas, la relación es inferior a 1.

Los suelos fersialíticos aumentan la relación con la profundidad entre los valores extremos de 0.3 a 0.7; la mayoría de las muestras presentan AH/AF_t próximos a 0.5 .

En suelos carbonatados sobre materiales margosos, se obtienen en promedio los mayores AH/AF_t, con aumentos en los horizontes más profundos. Alias et al. (1974) obtienen relaciones más altas sobre margas que para suelos arenosos. Según Velasco (1976), el cociente AH/AF es menor cuanto lo sea el porcentaje de arcillas, relación que se cumple a grandes rasgos en nuestros suelos.

Los suelos ácidos presentan una distribución muy condicionada por la migración de AF₁.; el horizonte que presenta máxima eluviación de dichos ácidos fúlvicos, llega a tener un AH/AF_t de 1.15 . Los valores disminuyen con la profundidad. Los restantes suelos arenos también presentan una distribución decreciente hacia abajo, pero con los valores algo superiores a los ácidos. Ga-

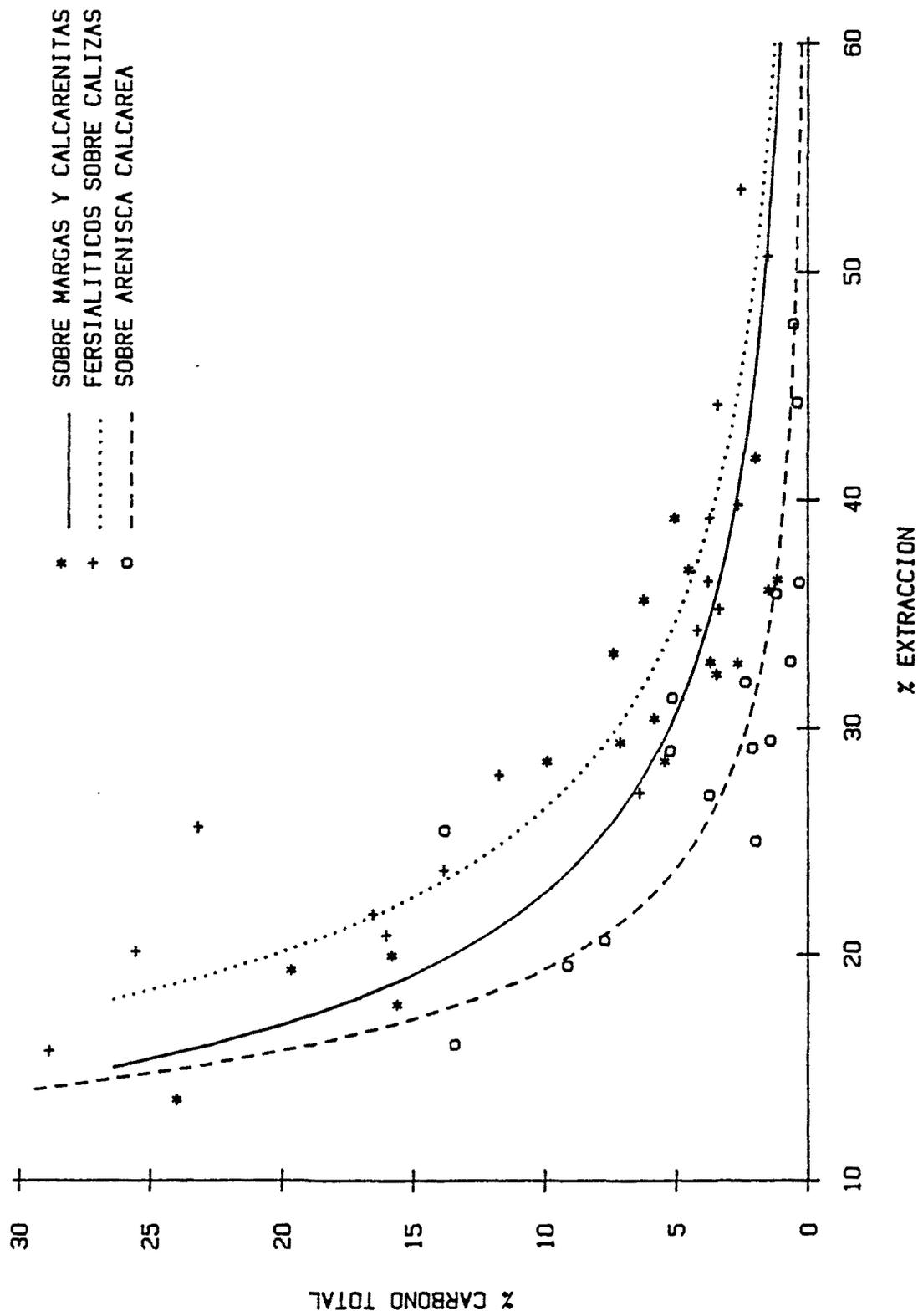


FIGURA nº 60

llardo y García (1973), en suelos ácidos del oeste español, obtienen distribuciones similares.

Los suelos yesíferos presentan la distribución parecida a los arenosos y ácidos, pero con cocientes muy bajos en los horizontes minerales (0 a 0.20).

Bottner (1970), en suelos fersialíticos del sur de Francia, obtiene AH/AF de 1 o algo superiores, descendiendo el cociente, en los suelos acidificados.

Según Pouget (1980), en los bosques del sur de Argelia la relación AH/AF_t es menor de 1, disminuyendo con la degradación de la vegetación.

Turski y Ngo Van Phu (1971) observan valores inferiores a 1 en rendsinas iniciales de Polonia y que la relación disminuye hacia el Trópico.

Gallardo y García (1973) suponen que la producción de AF es característica de zonas semiáridas.

El porcentaje de extracción $\% \frac{AH+AF_t}{C}$

Los estudios de Schnitzer y Khan (1978) destacan la naturaleza básicamente equivalente de AH y AF, entre los cuales existe una gradación sin solución de continuidad. Por tanto, hemos seleccionado el porcentaje de extracción como indicador de la humificación.

La distribución de dicho porcentaje (figura nº 60) sigue una curva potencial negativa, al igual que los sumandos individualmente (figuras nº 54, 55 y 56). Se han representado conjuntamente las curvas correspondientes a suelos fersialíticos, ácidos y carbonatados sobre arenisca calcárea, y carbonatados sobre materiales margosos. Estos grupos presentan diferente grado de homogeneidad interna; así vemos que las pocas muestras estudiadas sobre calcarenitas, ocupan una situación intermedia entre los ácidos-arenisca calcárea y los margosos, habiéndose incluido dentro de estos últimos. Por otra parte, como se ha comentado en

diferentes ocasiones, el grupo de suelos carbonatados sobre materiales margosos comprende materiales diversos.

No obstante lo anterior, las curvas presentan correlaciones aceptables con niveles de significación inferiores al 1%; mediante el test de libre distribución (Hollander y Wolfe, 1973) basado en la comparación de las sumas de rangos de Friedman, aplicado a las pendientes, se demuestra que las pendientes de las curvas están ordenadas de la forma siguiente:

Acidos y Areniscas > Carbonatados sobre margas y calcarenitas > Fersialíticos sobre calizas

con un nivel de significación del 1%.

Las curvas han debido convertirse a rectas mediante la aplicación de logaritmos, al objeto de poder utilizar el test de Friedman.

Los suelos con yeso tienen un comportamiento bimodal: los A_0 , en comparación con horizontes orgánicos de los restantes suelos, presentan mayor grado de humificación; los horizontes minerales ricos en yeso, tienen grados de humificación inferiores a los otros tipos de suelos (incluidos los ácidos).

Los suelos sobre material yesífero pero que no contienen yeso en la tierra fina, presentan un comportamiento equivalente al grupo de suelos carbonatados margosos.

La pendiente de las curvas es proporcional a un menor contenido en humus respecto al C_t . Debe haber, por tanto, una combinación de parámetros que presentan un gradiente en el sentido de las pendientes y que condicionan la mineralización de las sustancias húmicas.

Gallardo y García (1973) y Velasco (1976), a partir de estudios de suelos del centro de España, observan un mayor porcentaje de extracción en los suelos ácidos que en los carbonatados. Tan (1978), por el contrario, señala que vertisols y mollisols contienen más AH y AF que ultisols y alfisols. Quizá el elemento dominante en nuestros suelos sea, más que la acidez, la textura,

lo cual está de acuerdo con el comportamiento similar de los sue carbonatados sobre arenisca calcárea, con respecto a los ácidos arenosos. Es de destacar en la curva correspondiente a los sue los ácidos, el desplazamiento hacia los mayores contenidos en hu mus de los dos horizontes A_1 y el A_0 muestreados poco antes de la caída de la hoja de roble, en contraste con las muestras recogidas en marzo con mucho menos humus. Esto parece demostrar la labi lidad de la materia orgánica en los horizontes de superficie de este tipo de suelos.

Dos horizontes A_1 sobre coluvio calizo y con abundante pe dregosidad, se aproximan a la curva de los suelos fersialíticos. Por el contrario, el A_1 del perfil F8107 fersialítico, se desajus ta bastante de la curva correspondiente; es un suelo recarbonatado y se localiza en el extremo árido de la zona de estudio.

El papel del calcio sólo debe ser importante a partir de un cierto umbral de concentración: las diferencias se establecen entre suelos ácidos (aunque se incluyen los sobre arenisca calcárea que no lo son) y los ricos en calcio, pero el mayor contenido en carbonatos y calcio de los margosos respecto a los fersialíticos no supone un incremento paralelo en el humus.

Bottner (1972) obtiene, en el Midi francés, grados de ex tracción inferiores a los del presente estudio y tampoco observa relación alguna de este parámetro con el tipo de vegetación. Bajo vegetación forestal en Argelia, Pouget (1980) presenta porcentajes de extracción similares a los de la Depresión Central y una dis minución de dicha relación paralela a la degradación de la co bertura vegetal.

Las huminas

Suponen en general más del 50% del carbono orgánico total y siempre son, en conjunto, la fracción dominante. Los A_1 contie nen en promedio alrededor del 65% (\pm 10%) de huminas. Se presen tan valores especialmente altos en los A_0 de hojarasca de pino.

En la medida que los A_0 contienen cantidades importantes



de materia orgánica libre, la fracción H es algo inferior a lo que correspondería en la curva %C - H (figura nº 57). Este hecho nos ha sugerido la presentación conjunta de ambas fracciones que, por otra parte, presentan una evolución paralela (figura nº 58). En este sentido, Oades (1981) interpreta ambas fracciones como substrato fácilmente utilizable por los microorganismos y las huminas como una fracción lábil más que un producto final de la humificación.

La curva obtenida presenta correlación positiva, aceptable con un nivel de significación inferior al 1%. En los suelos fersialíticos, los valores oscilan entre un 70-80% en A_0 , hasta 45-60% en los horizontes profundos. En los margosos son algo superiores.

Las huminas totales disminuyen en profundidad, salvo en los siguientes casos: A_2 de suelos ácidos en los que hay un incremento, quizá debido a la acidez relativamente fuerte de estos horizontes; horizontes ricos en yeso (C y (B)).

A partir de estudios en el Líbano, Lamouroux (1972) señala un aumento de las huminas en las regiones más áridas.

Del subfraccionamiento de la huminas se observa que la fracción dominante corresponde a las huminas residuales, excepto en los horizontes de superficie, en los que domina la humina heredada. La H_{res} . tiene una distribución paralela a la H_t , mientras que las huminas insolubilizadas por hierro y arcillas siguen una evolución opuesta aunque bastante irregular.

En el apartado correspondiente al comentario del método de extracción ya se ha sugerido el poco significado de la fracción H_{Fe} en nuestro estudio, hecho confirmado por su relativamente débil acumulación y la irregularidad de su distribución. En particular, no se observa correlación significativa con la cantidad de hierro libre.

Las H_{arc} . suelen ser la fracción insolubilizada minoritaria y tampoco se correlacionan con el porcentaje de minerales de arcilla.

La suma de ambas fracciones es algo superior en los suelos ácidos con respecto a los carbonatados. Según Toutain (1974), el calcio frena la formación de H_{Fe} y $H_{arc.}$. Nguyen Kha (1972) destaca la poca importancia del hierro en la dinámica de la materia orgánica de rendsinas.

La $H_{res.}$ supone en general un 35 a 50% del carbono total en los horizontes minerales. Los aumentos, señalados arriba, de las H_t con la profundidad en suelos ricos en yeso y A_2 ácidos, corresponden a la fracción $H_{res.}$.

Toutain (1974) propone como índice de humificación el porcentaje de $H_{ins.}/C_t$ en A_1 , encontrando buena correlación del mismo con los tipos de humus. Para mull establece valores de 25-50 (media 36.6). Aunque el método de extracción no es exactamente el mismo que el utilizado en nuestro trabajo, los valores entran dentro de dichos límites del mull. Según Chouliaras et al. (1975), esta fracción es reducida en suelos carbonatados, y la interpreta como producto de procesos de polimerización.

Muller y Vedy (1978) señalan la importancia en rendsinas de la fracción $H_{her.}$ separada por densimetría ($d=1.8$) después de tratamiento ácido y dispersión con ultrasonidos. Observan, en muestras no tratadas, la existencia de precipitados de calcita sobre fragmentos vegetales poco transformados. La fracción $H_{her.}$ tiene valores C/N menores que la materia orgánica libre.

Almendros et al. (1981), detectan asimismo un descenso general en el C/N, desde la M.O.L. a $H_{res.}$, pero que se hace menos evidente en suelos bajo Ericáceas.

En la figura nº 59, se comparan todos los valores medidos de $H_{res.}$ con el $\%C_t$, obteniéndose una correlación positiva con nivel de significación menor del 1%.

El paralelismo entre $H_{res.}$ y M.O.L., también señalado por Gallardo et al. (1980), hace pensar que las huminas residuales, más que huminas evolucionadas en el sentido de Duchaufour (1977) correspondan a sustancias poco transformadas, probablemente pro-

ducto de la oxidación de ligninas (Almendros et al., 1980): complejos lignino-proteínas (Almendros et al., 1981)

Carballas et al. (1971), en estudios de laboratorio, afirman que las ligninas se transforman poco, acumulándose en la fracción húmica inextractable ($H_{ins.}$).

En profundidad, las huminas sufrirían mineralización y partición en moléculas de menor tamaño (AH y AF). Stott et al. (1983) encuentran, al cabo de un año de incubación de material marcado, gran parte del C de las ligninas en los AH.

Síntesis de las características orgánicas de los suelos estudiados

Los suelos forestales de la Depresión Central seleccionados en el presente trabajo se han agrupado según las características de la fracción mineral para la interpretación de la componente orgánica de los mismos. Este criterio se ha mostrado más eficiente que la distribución de los suelos por el tipo de vegetación.

Las propiedades de la materia orgánica, como la relación C/N y la composición cuantitativa de las diferentes fracciones del humus, expresada en % respecto al C_t , se correlacionan de forma significativa con el carbono orgánico total, según funciones de tipo potencial. En general, las correlaciones son positivas únicamente para el C/N, materia orgánica libre, huminas totales, huminas residuales y huminas heredadas. Son excepción los suelos ácidos y yesíferos, para los cuales los AH, AH/AF_t y grado de extracción disminuyen con la profundidad del perfil y con el $\%C_t$. En los suelos ácidos se observa iluviación de AF libres.

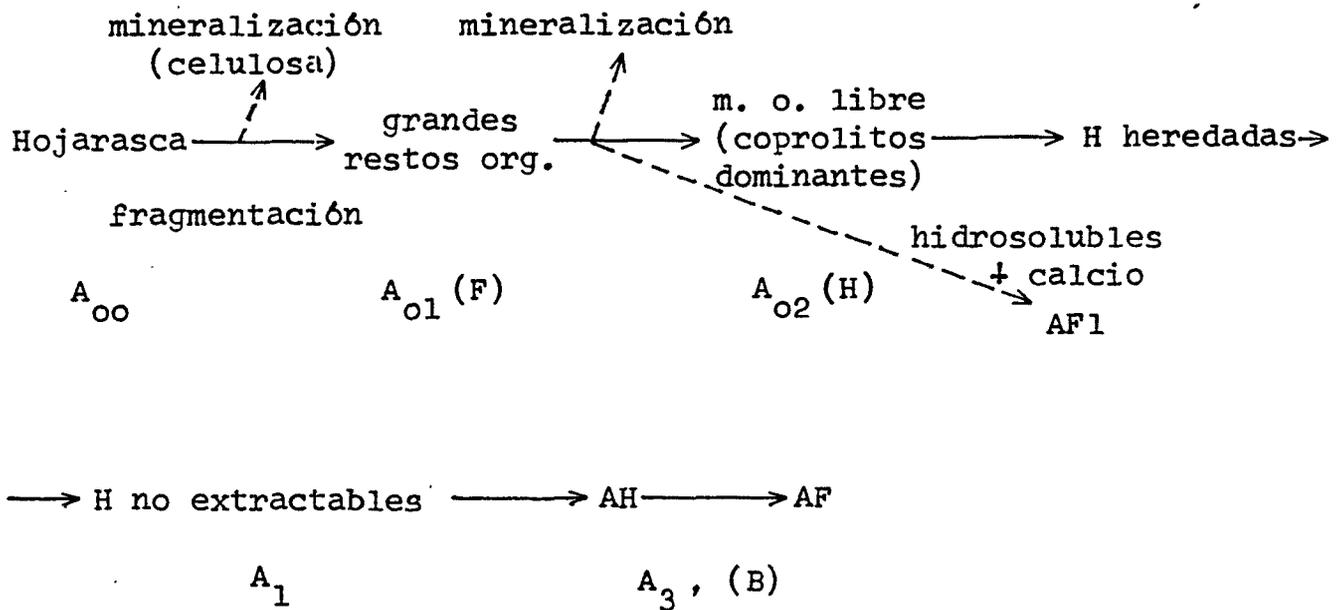
Los valores de $\%C_t$ para los cuales las curvas presentan la pendiente máxima, suponen un límite entre los horizontes de superficie con materia orgánica lábil y C/N más dependiente del tipo de hojarasca, de los horizontes en que la materia orgánica está más humificada, es más estable y presenta una dependencia fuerte respecto al medio mineral. Ohta y Kumada (1977) y Salfeld

y Sochting (1977) establecen una compartimentación parecida. El límite entre ambos compartimientos orgánicos se sitúa entre 4 y 5% C en los suelos carbonatados, y en 3% C en los suelos ácidos.

En todos los suelos estudiados, la fracción dominante es la humina residual y en los horizontes minerales, la humina de insolubilización no extractable ($H_{ins.}$). La relación AH/AF es generalmente inferior a 1.

Los suelos fersialíticos sobre calizas son los más ricos en materia orgánica (14 Kg/m^2) y los que presentan mayor grado de humificación; predomina, por tanto, en la reserva orgánica total de estos suelos, la fracción estabilizada de los horizontes minerales. En general, ambas características son paralelas, en la medida en que no haya un factor limitante en la estabilización del humus, por ejemplo la falta de tierra fina en suelos muy superficiales, o el excesivo contenido en yeso. En ambos casos, para bajos contenidos en humus, la reserva orgánica se encuentra en los horizontes orgánicos, pudiendo ser la cantidad total relativamente importante (suelos yesíferos). En el primer grupo, el elemento que condiciona el contenido en materia orgánica total es la estabilización del humus, y en el segundo, la poca mineralización de la materia orgánica fresca.

La evolución paralela de huminas residuales y materia orgánica libre (fresca), nos sugiere que el proceso dominante en la humificación de los suelos de la Depresión Central es la vía directa de Duchaufour y Jacquin (1975) que, sin la existencia de fases solubles intermedias, sigue una transformación fundamentalmente degradativa:



Según Duchaufour (1976), en presencia de caliza activa, la precipitación de compuestos húmicos se realiza sin polimerización, con lo que son los AF más importantes que los AH. Este razonamiento no sería aplicable a la mayor parte de nuestros suelos fersialíticos, saturados en calcio, pero sin caliza activa.

Schnitzer (1977) comprueba que la aromaticidad del humus de los suelos mediterráneos neutros es menor que la de los ácidos, de clima templado-frío.

Schniter y Khan (1978) suponen la degradación oxidativa de las moléculas de mayor peso molecular a las más pequeñas (AH → AF) como proceso más generalizado.

De los datos anteriores, parece probable la producción de AF a partir de hidrosolubles, huminas y AH. Además debe haber poca diferencia en la estabilidad de los AH respecto a los AF en nuestros suelos, la cual, por otra parte, está fuertemente condicionada por las características del medio mineral.

Comparando nuestros suelos con los de vegetación y litología parecidas del sur de Francia y Argelia, ocupan una posición intermedia en cuanto a contenidos en materia orgánica y relación AH/AF que disminuyen hacia la zona árida. Por otra parte,

en el sur de Francia, Bottner (1972) señala la independencia de tales características con respecto al tipo de vegetación, sobre todo en los horizontes minerales. En el presente estudio se ha llegado a similares resultados.

En conclusión, los factores principales que controlan la humificación en la zona de estudio son: porcentaje de minerales de arcillas, textura, presencia de yeso, caliza activa, pedregosidad y profundidad del suelo. La expresión de dichos factores se concreta en la estabilización del humus, la inhibición directa de la actividad biológica (yeso), y la influencia en las características del clima edáfico.

A mayor escala, parecer ser el clima el factor diferenciador de los humus de la Depresión Central con respecto a los de otras zonas mediterráneas, el cual, por otra parte, justifica la cierta homogeneidad generalizada de la composición fraccional de los humus estudiados.

TIPIFICACION DEL HUMUS

La clasificación del humus forestal tiene sus orígenes en los trabajos de Muller en el último cuarto del siglo pasado que distinguía los grupos extremos mull y mor. Desde entonces, los avances en el conocimiento del humus han producido una diversificación de tipos que en ocasiones ha llegado a extremos de confusión terminológica. Ya en 1938, Waksman definía la nomenclatura del humus como un caos. En la actualidad, aún estamos lejos de una clasificación con amplia aceptación, con particular divergencia entre los tipos basados en estudios micromorfológicos y los basados en las características bioquímicas.

Un hecho común a las diferentes clasificaciones existentes es que tienen su epicentro conceptual en los humus de los bosques de clima templado húmedo, dedicando una atención nula o marginal a los correspondientes a bosques de zonas semiáridas y tropicales.

De entre los sistemas de clasificación con una cierta vigencia actual, cabe destacar los dos siguientes:

- 1) Los basados fundamentalmente en criterios micromorfológicos, cuya obra básica es la clasificación de Kubiena (1952). En este sentido, cabe destacar el trabajo reciente de Babel (1975).

Una clasificación que se aparta de la nomenclatura tradicional es la de Wilde (1971); basada en la posición de los niveles orgánicos, respecto al suelo mineral, su pigmentación, y el tipo de actividad biológica dominante.

En estos sistemas de clasificación tienen un papel preponderante los rasgos de la actividad biológica. Manil (1958) llega a diferenciar los humus zoógenos (mull y mōder) de los micógenos (mor).

- 2) La línea Bioquímica-morfológica tiene su máxima expresión en los trabajos realizados principalmente por autores franceses

del grupo de Duchaufour, con centro en Nancy (Duchaufour y Jacquin, 1975; Duchaufour, 1976; Duchaufour, 1977). Esta clasificación aporta una serie de ventajas en cuanto a la objetivación que conlleva la cuantificación de las fracciones húmicas y su relación con los estudios de dinámica de la materia orgánica. En cambio, presenta importantes inconvenientes ligados a la variedad de métodos de extracción del humus y a su diferente eficiencia.

En función de la información obtenida en el presente estudio, vamos a intentar establecer una denominación que se ajuste a las principales características morfológicas y bioquímicas de los humus forestales de la Depresión Central.

Duchaufour (1977) considera los mull calizos dentro de los suelos poco evolucionados, definiéndolos por la fuerte proporción de materia orgánica con estructura organizada (incluyendo la humina heredada) y por la insolubilización inmediata de los AF por el CaCO_3 ($\text{AF} > \text{AH}$); son humus caracterizados por la presencia de caliza activa. La velocidad de mineralización del N en este tipo de humus es aproximadamente la mitad que en el mull mesotrófico, no calizo (Duchaufour y Jacquin, 1975).

Nuestros humus no se distinguen fundamentalmente por la presencia o no de caliza activa: los suelos fersialíticos suelen ser pobres en carbonatos de la fracción fina y también los A_1 en general. Por otra parte, la fracción humina heredada sólo es dominante en los A_0 , mientras que es mayoritaria la humina residual inextractable ($H_{ins.}$), no ligada a los carbonatos.

No hemos encontrado una definición clara del tipo xerómóder que, en principio, podría ajustarse conceptualmente a los humus estudiados en la medida que tenemos una aproximación a móder provocada por la xericidad. Kubiena (1952) no contempla tal tipo de humus. Se menciona con frecuencia como una forma de humus característica de microclima seco sobre calizas (Duchaufour y Bar-

toli, 1966).

Bottner (1972) relaciona la formación de xeromóder con la xericidad provocada por la esqueletización del suelo y su acidificación; en nuestro caso, sólo encontramos un paralelismo con el primer factor mencionado.

Alias et al. (1973), en suelos forestales de Murcia, describen xeromóder con bajos AH/AF y una estructura elemental, suelta.

Aunque nos falta un estudio micromorfológico, hay bastante coincidencia de la mayoría de nuestros humus con los móder de rendsina y móder de rendsina mulliforme de Kubiena (1952) definidos en suelos carbonatados. Ambos tipos de humus se caracterizan fundamentalmente por una pequeña desintegración química, limitada por la sequedad, y la abundancia de deyecciones de pequeños animales. El móder de rendsina mulliforme presenta, dentro de las características apuntadas, un mayor grado de humificación.

Cabidoche (1979) define el mull-móder carbonatado por la presencia de A_0 que contiene agregados coprógenos y turrícolas de lombriz: hay una situación intermedia de procesos de yuxtaposición (coprolitos de artrópodos) y de incorporación (turrícolas). Esta definición se ajusta a las características de los suelos estudiados. El mismo autor, en suelos pirenaicos, atribuye la superposición del A_0 , coprógeno, sobre un A_1 de turrícolas a la transición entre un sustrato no fragmentado (pobre en materia mineral fina) y un sustrato fragmentado, con un principio de acumulación de tierra fina. Esta explicación se puede aplicar a algunos de nuestros suelos, aunque no a todos.

Alias et al. (1974) mencionan la presencia de mull-móder cálcico sobre coluvios calizos en la Sierra de La Pila (Murcia).

A partir de las características de la materia orgánica de los suelos estudiados, expuestas en el capítulo precedente, y los comentarios anteriores, se clasifican los humus forestales de la Depresión Central Catalana de la manera siguiente:

- 1) Móder de rendsina o móder calizo (Kubiena, 1952), sobre material yesoso, con A_1 débil o nulo, muy rico en materia orgánica

ca poco transformada.

- 2) Mull-móder calizo (Cabidoche, 1979), móder de rendsina mulliforme (Kubiena, 1952), mull calizo o carbonatado (Duchaufour, 1977): incluye la mayoría de los suelos estudiados. Se desarrolla en suelos fersialíticos sobre calizas y carbonatados de diferentes sustratos litológicos.

Existe toda una gradación entre un máximo desarrollo del A_0 , a menudo en relación con la presencia de un nivel de gujarros superficial, y su práctica inexistencia. Este gradiente no está correlacionado con la caliza activa.

Desde otra óptica, se podría considerar la superposición de xeromóder sobre mull calizo,

El humus de los suelos carbonatados sobre arenisca calcárea supone una transición hacia los mull ácidos, al sumarse dos características que en nuestros suelos parece que actúan en el mismo sentido: la baja proporción de carbonatos de la tierra fina y la textura arenosa.

- 3) Mull ácido (Duchaufour, 1977), muller mulliforme (Kubiena, 1952). Corresponde a los suelos ácidos estudiados. Se caracterizan por un grado de humificación y contenido en materia orgánica total bajos, poco desarrollado del horizonte A_0 y migración de los AF_1 , supuestamente no floculados por el calcio. Por tanto, este tipo de humus se define por la fuerte mineralización de la materia orgánica fresca y la baja estabilización del humus.

No obstante las diferencias señaladas, hay una serie de características generales comunes que distinguen los suelos de la Depresión Central de los estudiados en regiones próximas. Este hecho nos hace considerar al clima como factor primordial de la humificación en nuestra zona, en la medida que constituye el elemento más limitante de la actividad biológica. En un segundo término, estarían las características del suelo como modificadoras del cli

ma general (clima edáfico) y por su diferente efectividad en la estabilización del humus.

