

RELACIONES MINERALÓGICAS DE SUELOS VÉRTICOS EN ANDALUCÍA ORIENTAL.

Carlos M. ASENSIO⁽¹⁾; Eduardo ORTEGA⁽²⁾; F.Javier LOZANO⁽¹⁾; F.Javier MARTINEZ⁽¹⁾ y Cayetano SIERRA⁽²⁾

⁽¹⁾ Dpto. Edafología y Química Agrícola. Facultad de Ciencias Experimentales (Univ. de Almería). Carretera de Sacramento s/n. La Cañada. 04120. Almería.

⁽²⁾ Dpto. Edafología y Química Agrícola. Facultad de Farmacia (Universidad de Granada). Políg. Universitario de Cartuja s/n. 18071. Granada.

Abstract: A determination on mineralogical composition from 34 soil types showing vertic characteristics (28 Vertisols and 6 vertic Cambisols) is done. These soils are located at the Malaga and Granada provinces. The high amount of found smectites is correlated with total and crystal included Fe and Al contents.

Key words: Mineralogy, Vertisols.

Resumen: Se ha determinado la composición mineralógica de 34 tipologías de suelos con características vérticas (28 Vertisoles y 6 Cambisoles vérticos) que se localizan en las provincias de Málaga y Granada. Las elevadas cantidades de esmectitas presentes se relacionan con los contenidos en Fe y Al total e incluidos en las redes cristalinas.

Palabras clave: Mineralogía, Vertisoles.

INTRODUCCION.

En los suelos vérticos de Andalucía Oriental la montmorillonita es un mineral muy abundante. Generalmente proviene de materiales iniciales básicos desarrollados en ambientes alcalinos, en condiciones semiáridas y situaciones de drenaje restringido; su formación exige ambientes con adecuado abastecimiento de iones alcalinotérreos (Ca, Mg) o hierro y pendiente suave, aunque si el medio se empobrece en cationes K, Mg o Ca, por efecto de un lavado intenso y acelerado, habrá tendencia a que se forme caolinita.

Como señalaron Ross y Hendricks (1945), para la formación de la montmorillonita el ión Mg es esencial; así, parece ser que el Mg aumenta el tamaño y la carga de la hoja octaédrica tendiendo a disminuir la tensión de la capa. Para Weaver y Pollard (1973) la principal acción del Mg es la de posibilitar al ión Al tomar coordinación 6 en condiciones básicas. En medios básicos, en los que se forman montmorillonita e ilita, es probable que el Al tienda a resistir la coordinación 6 y por ello el Mg podría ser indispensable para nuclear la coordinación octaédrica, como comprueba Asensio (1993) en la provincia de Málaga.

Las illitas, generalmente minerales heredados por alteración de las micas, muestran una gradación o transición completa entre micas bien cristalizadas, illitas, montmorillonita y otras esmectitas.

Para Jackson (1964) estos procesos se ligan con desecación de los suelos, ya que se acelera la liberación de K^+ desde las micas, sobretodo si el nivel de potasio de cambio es suficientemente bajo.

Dixon (1982) indica que las concreciones de calcita son bajas a moderadas en los Vertisoles, mientras que los óxidos de hierro libre incrementan su proporción en Vertisoles desarrollados sobre rocas básicas frente a los formados sobre depósitos sedimentarios, como es nuestro caso; no obstante, la determinación de óxidos libres está sujeta a error, ya que el método usado puede extraer elementos interlaminares.

MATERIAL Y MÉTODOS.

Se estudian 34 tipologías vérticas localizadas en el sureste de la Península Ibérica (Andalucía) siguiendo la metodología empleada por Asensio (1993).

En el análisis mineralógico se ha utilizado la fracción molida a un tamaño inferior a $53 \mu m$ (140 ASTM o < 240 mesh). Los picos de difracción obtenidos se han comparado con el fichero JCPDS (The Joint Committee of Powder Diffraction Standards). Se realizaron los diagramas de agregado orientado sin tratamiento; agregado solvatado con etilén-glicol (Martín Vivaldi y Rodríguez Gallego, 1961); agregado orientado solvatado con dimetil-sulfóxido (González García y Sánchez Camazano, 1968); agregado orientado con un calentamiento a $550^\circ C$, durante 60 minutos (Martín Vivaldi y Rodríguez Gallego, 1961).

Análisis mineralógico cualitativo.- Se ha utilizado un difractómetro Phillips, modelo PW-1710. Con radiación $K\alpha Cu$ y monocromador de grafito, obtenemos un registro digital operando

a 40 KV y 40 nA, utilizando rendija automática y rendija de contador a $0,1^\circ$.

Análisis mineralógico semicuantitativo.- Hemos abordado el estudio semicuantitativo como medio para caracterizar los distintos tipos de minerales de la arcilla contenidos en las muestras estudiadas, de acuerdo con el método de Martín Ramos (1990). No obstante, los datos no deben tomarse como valores absolutos de cantidad sino como indicadores relativos de la concentración de cada mineral.

Mineralogía total.- Efectuada sobre el difractograma de la muestra total, midiendo las áreas de las reflexiones más significativas. Para la obtención de los valores finales se utilizaron los poderes reflectantes recogidos en la Tabla nº 1.

Minerales de la arcilla.- La técnica seguida es semejante a la descrita para la mineralogía total; las medidas de áreas se han efectuado en los diagramas de AAOO. Se han elegido las reflexiones y poderes reflectantes expresados en la Tabla nº 2 como los más idóneos.

Tratamiento de los datos.- Todos los datos analíticos correspondientes al análisis semicuantitativo por difracción de rayos X, han sido sometidos a un estudio porcentual a partir de un programa informático «Programa evaluador de diagramas de rayos X» diseñado por Martín Ramos (1990).

Microscopía electrónica de barrido (SEM).- El microscopio utilizado es el DSM 950 de Zeiss, a 20 Kv, usando 200, 2000 y 5000 x.

Aluminio y Hierro total (t).- Se sometieron las muestras a digestión con HF , H_2SO_4 y HNO_3 . La materia orgánica se destruyó con mezcla de nítrico-perclórica, Shapiro y Brannock (1956). Posteriormente, tras la dilución de la muestra, se procedió a su medida en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin-Elmer 1100 B y longitud de onda de 475 nm, 248.3 nm, y 279.5 nm, respectivamente.

Aluminio y Hierro libre (d).- La extracción se realizó mediante agitación de las muestras en una solución de ditionito-citrato sódico (Holmgren, 1967) y se determinó a partir de los líquidos de extracción, en un espectrofotómetro de

absorción atómica Perkin-Elmer 1100 B a longitud de onda de 475 nm, 248.3 nm, y 279.5 nm, respectivamente.

Aluminio y Hierro amorfo (o).- Determinados por el método de Schwertmann (1964) utilizando una solución de oxalato amónico. Se midieron por EAA en Perkin- Elmer 1100 B, a longitud de onda de 475 nm, 248.3 nm, y 279.5 nm, respectivamente.

Aluminio y Hierro asociado a materia orgánica (p).- Las formas complejadas móviles e inmóviles de hierro, aluminio y manganeso, se extraen de los complejos orgánicos con

pirofosfato sódico 0.1 N a pH 9.8, según McKeague et al. (1971).

RESULTADOS.

Los valores promediados para pH, bases de cambio, C.E.C., C.O., N, hierro y aluminio, en el que podemos considerar perfil modal, se encuentran reflejados en la Tabla nº 3.

En ella se observa que los Vertisoles de estas latitudes tienen, como era de esperar dada la composición mineralógica, elevada C.E.C. y el

Tabla nº 1.- Poderes reflectantes utilizados para la cuantificación de la mineralogía total.

| Mineral | Reflexión | Poder reflectante | Referencia |
|---------------|-----------|-------------------|---------------------|
| Yeso | 7,56 | 1,5 | Schultz,1964 |
| Filosilicatos | 4,45 | 0,1 | Barahona 1974 |
| Cuarzo | 3,34 | 1,5 | Bradley y Grim,1961 |
| Feldespatos | 3,25 | 1,0 | Schultz,1964 |
| Plagioclasas | 3,20 | 1,0 | Schultz,1964 |
| Calcita | 3,03 | 1,0 | Schultz,1964 |
| Dolomita | 2,88 | 1,0 | Schultz,1964 |
| Hematites | 2,69 | 0,75 | Schultz,1964 |

Tabla nº 2.- Poderes reflectantes utilizados para la cuantificación de la mineralogía de arcillas.

| Mineral | Reflexión | Poder reflectante | Referencia |
|--------------------------------|-----------|-------------------|---------------|
| Esmectita | 14 -15 | 4,0 | Barahona,1974 |
| Esmectitas interestratificadas | 12 -15 | 1,0 | Asensio, 1993 |
| Ilita | 10,0 | 1,0 | Schultz, 1964 |
| Caolinita | 7,1 | 2,0 | Biscaye, 1965 |
| Clorita | 7,1 | 2,0 | Biscaye, 1965 |

Tabla n° 3.- Resultados analíticos.

| Hor. | pH | | Bases extraíbles (cmol / kg) | | | | Color | | | | (cmol / kg) | |
|------|------------------|--------------------|---------------------------------|------------------|-----------------|----------------|------------|-------------------------------|--------|-------|-------------|--|
| | H ₂ O | Ca Cl ₂ | | | | | seco | C.E.C. NH ₄ OAc | % C.O. | % N | | |
| | 1:2 | 1:2 | Ca | Mg ²⁺ | Na ⁺ | K ⁺ | | | | | | |
| Ap | 8,1 | 7,5 | Sat | 2,58 | 0,10 | 0,52 | 10YR 4.5/4 | 29,78 | 0,93 | 0,106 | | |
| Bw1 | 8,1 | 7,6 | Sat | 5,75 | 1,74 | 0,36 | 10YR 5/4 | 31,09 | 0,61 | 0,089 | | |
| Bw2 | 8,0 | 7,5 | Sat | 5,70 | 1,85 | 0,30 | 10YR 5.5/4 | 30,83 | 0,56 | 0,088 | | |
| C | 7,9 | 7,6 | Sat | 5,54 | 2,83 | 0,27 | 10YR 6/3.5 | 30,22 | 0,47 | 0,084 | | |

| Hor. | % Fe ₂ O ₃ (Tierra fina) | | | | | % Al ₂ O ₃ (Tierra fina) | | | | |
|------|--|--------|--------|--------|---------------|--|--------|--------|--------|----------------|
| | Fe (t) | Fe (d) | Fe (o) | Fe (p) | Fe(t) - Fe(d) | Al (t) | Al (d) | Al (o) | Al (p) | Al(t) - Al (d) |
| Ap | 1,46 | 1,21 | 0,54 | 0,04 | 0,25 | 3,51 | 0,25 | 0,21 | 0,08 | 3,26 |
| Bw1 | 1,86 | 1,68 | 0,66 | 0,06 | 0,18 | 4,63 | 0,27 | 0,24 | 0,08 | 4,36 |
| Bw2 | 1,87 | 1,60 | 0,63 | 0,06 | 0,17 | 4,68 | 0,28 | 0,24 | 0,08 | 4,40 |
| C | 1,76 | 1,57 | 0,43 | 0,10 | 0,19 | 4,67 | 0,30 | 0,23 | 0,09 | 4,37 |

complejo de cambio saturado por Ca²⁺ y Mg²⁺. Estos datos unidos al pH básico, imperfecto drenaje y el ambiente semiárido imperante en el entorno (Asensio, 1993), justifican la evolución de los silicatos por adición, mediante mecanismos de agradación y neoformación, causa del complejo entramado de interstratificados esmectíticos existentes en los Vertisoles analizados.

El color pardo amarillento, más o menos oscuro, propio de los suelos del lugar, se relaciona con el bajo contenido en materia orgánica, en general muy evolucionada, la escasa entidad del valor Fe (o) y el porcentaje de Fe (p).

El grado de evolución, definido por la relación Fe (d):Fe (t), próxima a 0.9 en la totalidad de los suelos estudiados, marca el desarrollo de los Vertisoles, matizado a su vez por el bajo contenido de Fe (t).

En lo referente al aluminio hay que indicar que se encuentra mayoritariamente ligado a la estructura de los minerales de la arcilla.

Tras el estudio mineralógico por difracción de rayos X y microscopía electrónica de barrido

se determinó la composición mineralógica de los suelos, pudiéndose marcar los siguientes márgenes de ocurrencia para cada mineral (Tabla n° 4).

Las esmectitas al microscopio electrónico se reconocen con cierta facilidad por su morfología característica, conformada por laminillas irregulares y muy delgadas (0.002 mμ de espesor y 0.2 a 0.02 mμ de largo aproximadamente) que dobladas o curvadas se agrupan en un conjunto nuboso, como zonas más oscuras. Las laminillas no constituyen cristales individuales sino que forman un conjunto de láminas dispuestas de formas paralelas, como un paquete de hojas.

Las ilitas aparecen como agregados irregulares, poco definidos, a veces con un diseño poligonal grosero o en forma de hojas muy finas. Se aprecian cristales con bordes bien conformados y superficie plana.

El yeso, presente en alguno de nuestros suelos, se puede observar en cristales con hábito fibroso.

Tabla n° 4.- Porcentajes de ocurrencia de los diferentes minerales.

| Horizonte | Yeso | Cuarzo | Esmectita interstrat. | Ilita | Caolinita | Clorita | Feldesp. K | Plagiocl. | Calcita | Dolomita | Hematita |
|-----------|-------|---------|--------------------------|--------|-----------|---------|------------|-----------|---------|----------|----------|
| A ó Ap | 0 | 12 - 26 | 31 - 43 | 5 - 14 | 27 - 36 | 0 - 1 | 0 - 1 | 0 - 1 | 0 - 20 | 0 - 5 | 0 - 1 |
| Bw ó Bwz | 0 - 1 | 11 - 24 | 31 - 48 | 7 - 15 | 29 - 32 | 0 - 1 | 0 - 2 | 0 - 3 | 0 - 17 | 0 - 7 | 0 - 1 |
| C ó Cz | 0 - 2 | 9 - 54 | 9 - 48 | 9 - 18 | 25 - 30 | 0 - 2 | 0 - 6 | 0 - 4 | 0 - 19 | 0 - 7 | 0 - 2 |

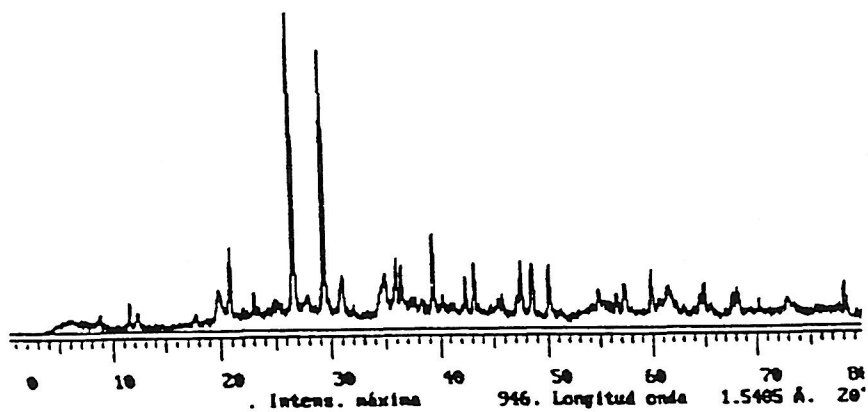


Fig. n° 1.- Diffractograma de polvo de un Vertisol (Horizonte Bw) localizado al NW de la Estación de Cártama.

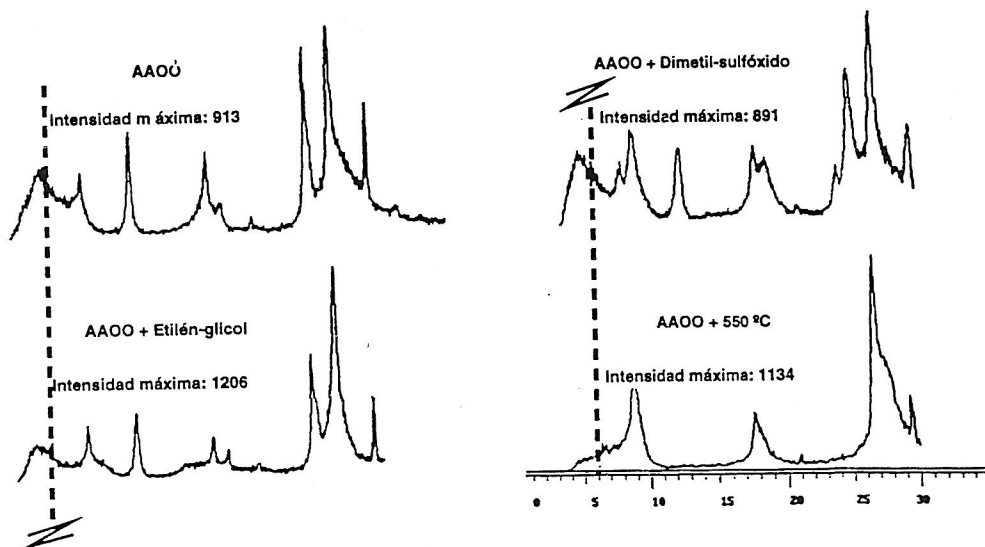


Fig. n° 2.- Diffractogramas de agregados orientados sometidos a distintos tratamientos del horizonte Bw del mismo Vertisol (Fig. n° 1).

Los difractogramas modales para estos suelos son del tipo de los de las Figuras n° 1 y 2.

Se ha efectuado el análisis estadístico con los siguientes resultados:

El contenido en arcilla aparece altamente correlacionado con el de esmectitas, tras un análisis de correlación simple, quedando explicada su interdependencia en un 61% ($r^2=0.6108$), atribuyéndose el 39% restante a la variabilidad de los diferentes tipos de arcillas, dominados en segundo lugar por la caolinita. Esta interdependencia se puede apreciar en la Figura n° 3, donde se observa la ecuación a la que responde este comportamiento.

Los contenidos en arcillas y esmectitas presentan correlaciones altas y significativas con Fe(t) explicándose en más de un 58 % y 51 % ($r^2 = 0.5821$ y 0.5136) respectivamente; algo similar ocurre frente a el Al (t) y el Al (t-d) (Asensio, 1993).

Una vez obtenidas las matrices de correlación, se procedió al análisis de las variables que presentan una estrecha dependencia, puesta de manifiesto por sus coeficientes de correlación, que nos demuestran una alta significación estadística.

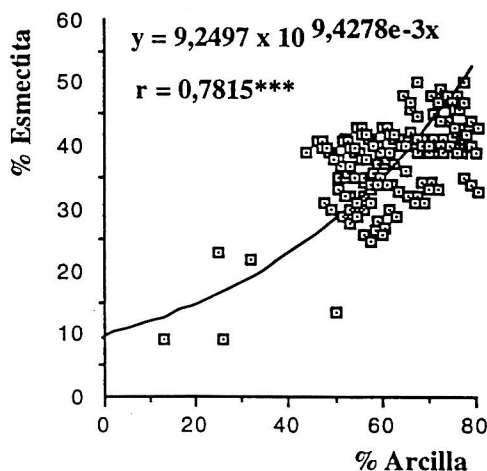


Fig. n° 3.- Correlación exponencial arcilla-esmectita.

Se observan los comportamientos de los óxidos de Fe y Al tanto frente a los contenidos de arcilla como de esmectitas, mostrándose bien relacionadas las parejas de parámetros que incluyen a los contenidos totales en óxidos, así como las que incluyen al Al que se encuentra dentro de la estructuras de los silicatos. El Fe(d) presenta un aceptable coeficiente de correlación frente al contenido en esmectitas (con una significación estadística menor de 0.01), aumentando el valor de r cuando se confronta con los contenidos en arcilla (la significación pasa a ser menor de 0.001).

Son de destacar las correlaciones exponenciales entre arcilla-esmectitas Fe (t)-Al (t) (Figura n° 4), junto a las que presentan Al (t-d)-arcilla ($r = 0.6285$) y Al (t-d)-esmectitas ($r = 0.5423$), ya que todas ellas presentan significaciones estadísticas inferiores a 0.001.

Al establecer otros tipos de comportamientos, aparecen variaciones en los coeficientes de correlación, manteniendo el mismo nivel de significación. Se han escogido los comportamientos, para estos parámetros, de tipo exponencial, en los cuales aparecen incrementos significativos en los valores de r.

Al realizar una correlación múltiple por etapas, lo que pretendemos es explicar la variabilidad de un parámetro en función de otros.

Para explicar la variabilidad en los contenidos de arcilla de los diferentes suelos se han introducido en la correlación múltiple por etapas los contenidos en Fe (t), Al (t-d) y Al (t). Solo intervienen de forma directa los dos primeros parámetros presentando un buen coeficiente de correlación múltiple ($R = 0.78$).

En el caso de las esmectitas, el comportamiento es idéntico al de las arcillas, con la salvedad de que disminuye ligeramente su coeficiente de correlación múltiple ($R = 0.65$).

A la vista de los resultados anteriormente obtenidos, se hace imprescindible el realizar una correlación múltiple por etapas entre el contenido en arcillas y los parámetros anterior-

mente estudiados (esmectitas, Fe (t) y Al (t-d)). El resultado demuestra que las arcillas están altamente relacionadas con estos parámetros, representativos de nuestra tipología de suelos ($R = 0.81$).

El último paso del estudio estadístico consistió en un análisis de la varianza (ANOVA) de los parámetros estudiados, con objeto de efectuar un test de mínimas diferencias significativas (M.D.S.). Este se realiza con los valores correspondientes a los contenidos en arcilla, esmectitas, Fe (t), Al (t), Al (t-d), hematites, calcita y dolomita. Todos estos datos están referidos a los tres horizontes más superficiales

de cada perfil. Los resultados obtenidos, se encuentran recogidos en la Tabla nº 5.

Los horizontes subsuperficiales presentan estadísticamente mayor contenido en arcilla que los superficiales con el 15 y 12,5 % de aumento. Sin embargo no aparecen diferencias estadísticas entre 108 distintos horizontes para el contenido en esmectitas, Fe (t), Al (t), Al (t-d), hematites, calcita y dolomita.

DISCUSION Y CONCLUSIONES.

Los suelos con características vérticas es-

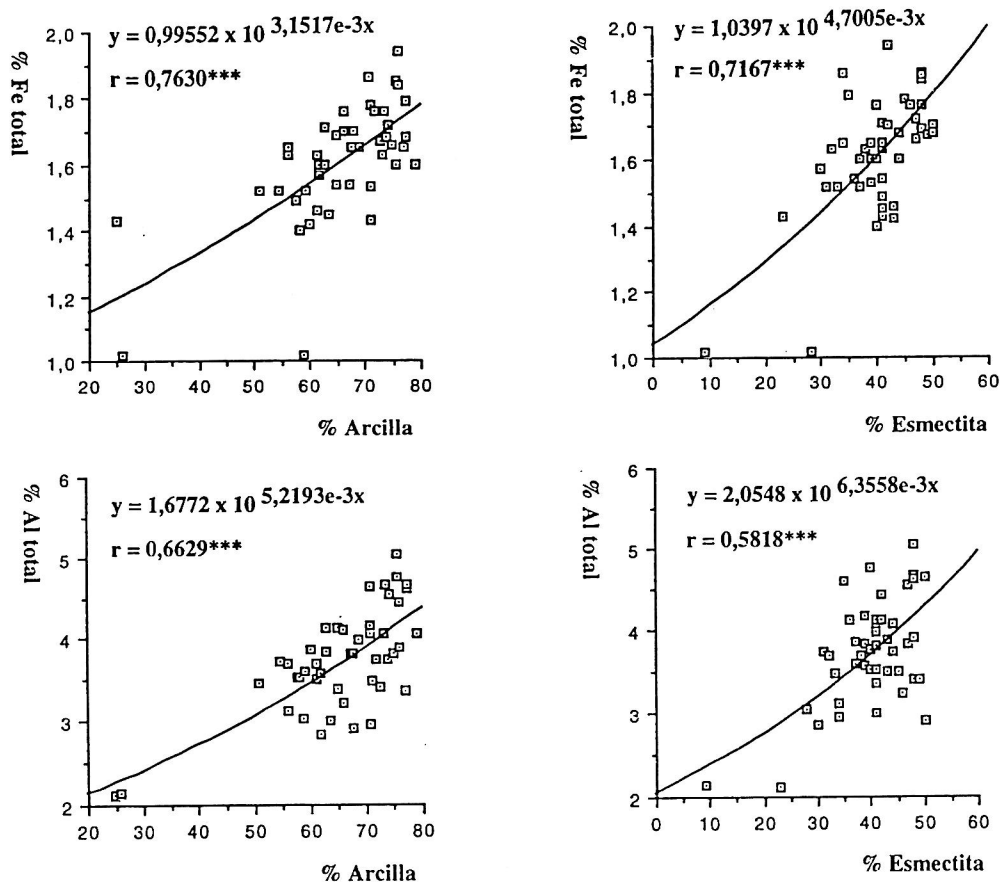


Fig. nº 4.- Correlaciones exponenciales arcilla-esmectita frente a Fe-Al (totales).

Tabla nº 5.- Valores medios de diferentes parámetros edáficos, con su correspondiente significación

a-c: Medias seguidas por distinta letra, dentro de cada columna, difieren estadísticamente al nivel de probabilidad de P-0.05, según el test de MDS. estadística.

| Horizonte | Arcilla | Esmectita | Calcita | Dolomita |
|-----------|---------|-----------|----------|-----------|
| 1 | 54,6 b | 32,6 a | 6 a | 2 a |
| 2 | 64,3 a | 38,1 a | 4 a | 1 a |
| 3 | 63,2 a | 33,4 a | 5 a | 1 a |
| Horizonte | Fe (t) | Al (t) | Al (t-d) | Hematites |
| 1 | 1,58 a | 3,48 a | 3,08 a | 1 a |
| 2 | 1,69 a | 3,77 a | 3,42 a | 1 a |
| 3 | 1,63 a | 3,69 a | 3,30 a | 1 a |

tudiados están dominados por esmectitas interestratificadas, seguidas de caolinita e ilita, existiendo cantidades significativas de cuarzo y calcita, junto a porcentajes menores de dolomita, feldespato potásico, plagioclasas, hematites y pequeñas cantidades, variables, de yeso.

Las esmectitas constituyen un complejo entramado de interestratificados evolucionados mediante mecanismos de agradación y neoformación, inducidos por las condiciones fisicoquímicas y ambientales del suelo.

El análisis de correlación múltiple por etapas confirma, por el buen coeficiente de correlación múltiple de las relaciones de las arcillas con Fe (t)-Al (t-d) y Al (t) y de las esmectitas con Al (t-d) y Fe (t), la clara dependencia entre estos parámetros, con la puntualización del bajo contenido en Fe (d) respecto del total. Además, si se correlacionan las esmectitas con Fe (t)-Al (t-d) y Al (t), se comprueba que el coeficiente de correlación disminuye, lo que nos lleva a explicar la variabilidad de los contenidos en arcillas por las esmectitas y Fe (t) y Al (t-d).

AGRADECIMIENTOS.

Este trabajo ha sido financiado por el proyecto PB95-1216 de la DGICYT.

BIBLIOGRAFIA.

- Asensio, C. (1993): "Génesis, degradación y evaluación de suelos vérticos en la hoja de Alora (1052). Málaga". Tesis Doct. *Serv. Publ. Univ. Granada*. 359 p.
- Barahona, E. (1974): "Arcillas de ladrillería de la provincia de Granada. Evaluación de algunos ensayos de materias primas". Tesis Doctoral. *Univ. de Granada*. 398 p.
- Biscaye, P.E. (1965): "Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans". *Geol. Soc. Am. Bull.*, 76: 803-832.
- Bradley, G.W., Grim, R.E. (1961): "Mica clay minerals". *En. X-ray Identification and Crystal Structure of Clay Minerals*, 2^a Ed. (G. Brown ed) *Mineralogical Society*. pp. 544. London. U.K.
- Dixon, J.B. (1982): "Mineralogy of Vertisols. Vertisols and rice soils of the Tropics". *Simposium II. 12th International Congress of Soil Science*. pp. 48-60. New Delhi. India.
- González García, F. and Sánchez Camazano, M. (1968): "Differentiation of kaolinite from chloride by treatment with dymetylsulfoxide". *Clay minerals*. 7: 447-451.

- Holmgren, G. (1967): "A rapid citrate-dithionite extractable iron procedure". *Soil Science Soc. Amer. Proc.* 31: 210 - 211.
- Jackson, M.L. (1964): "Chemical composition of the soil". *En Bear, F.E. Ed. Chemistry of the Soil, 2ª Edición*. pp. 71-141. Reinhold. New York. USA.
- McKeague, J.A.; Brydon, J.E. and Miles, N.M. (1971): "Differentiation of forms of extractable iron and aluminium in soils". *Soil Science Soc. Amer. Proc.* Vol. 35: 33-38.
- Martín Ramos, J.D. (1990): "Programa evaluador de diagramas de rayos X". *Universidad de Granada. Dep. Legal. M-11719. nº de Reg. 08605*.
- Martín Vivaldi, J.L. and Rodríguez Gallego, M. (1961): "Some problems in the identification of clay minerals in mixtures by X-ray diffraction photographs. Part I - Chlorite-Kaolinite mixtures Part II.- Chlorite-swelling, chlorite and montmorillonite". *Clay. Min. Bull.* 4: 282-298.
- Ross, C.S. and Hendricks, S.B. (1945): Minerals of montmorillonite group". *US. Geol. Surv.* pp 23-47.
- Schultz, L.G. (1964): "Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for the Pierce shale". *Geol. Surv. Prof. Paper*, 391 - C.
- Schwertmann, U. (1964): "The differentiation of iron oxides in soils by their extraction with acid ammonium oxalate". *Z. Pflanzenernahr. Dung. Bodenkunde.* 105:194-201.
- Shapiro, L. and Brannock, W. (1956): "Rapid analysis of silicate rocks". *U.S. Geol. Survey. Bull.* 1036.C: 19-56.
- Weaver, C.E. and Pollard, L.D. (1973): The chemistry of clay minerals". *Ed. Elsevier.* pp. 213. Amsterdam. The Netherlands.