

CARACTERIZACION DE COMPLEJOS ARCILLA-HUMUS Y SU EFECTO EN EL DESARROLLO DE CULTIVOS FLORICOLAS

AMADA L. REYES ORTIGOZA*, NICOLAS AGUILERA HERRERA+, NORMA E. GARCIA CALDERON*, FRANCISCO VELASCO DE PEDRO*

*Ciudad Universitaria, Facultad de Ciencias, Laboratorio de Edafología C.P. 04510. México, D.F.
.. Centro de Ciencias Medioambientales CSIC. 28006 Madrid, España

Abstract: Humic-clay complexes from soils with high concentration of organic matter were investigated in order to know their dynamic by analysis of clay and organic fractions. All samples were characterised with infrared spectroscopy (IR), atomic plasma spectrochemical analysis and humification degree.

Then we proved the effects of 12 clays added in a greenhouse experiment design on quartz sand on the development of *Antirrhinum majus*.

The clay originated from the samples of soils with acid pH showed a best response and significant statistical differences to Duncan test <0.01 .

We explained our results because the acid clay showed the best concentration of Ca^{+2} (39 cmol/Kg), Mg^{+2} (10 cmol/Kg), K^{+} (3.26 cmol/Kg), $\text{Fe}^{+2,+3}$ (8180 ppm) and for their higher concentration of the functional groups defined by 3400, 1773, 1600, 1522, 1400, 1100, 800 and 458 cm^{-1} bands of IR, they gave a chelation with the root organic acids produced, showing an increase on the dynamic of the nutrients.

Key words: Humic-clay complexes, organomineral.

Resumen: En suelos ricos en materia orgánica se analizaron los complejos arcilla-humus a través del estudio de sus arcillas y fracciones orgánicas, usando técnicas de IR, determinación de metales totales y grados de humificación. Posteriormente se probó el efecto de los complejos arcilla-humus sobre el desarrollo vegetativo de la planta *Antirrhinum majus* "Perrito" usando 12 arcillas tratadas.

Las mejores respuestas se obtuvieron con la arcilla proveniente del suelo ácido, mostrando una diferencia estadística significativa <0.01 al realizar prueba de Duncan; ello se atribuyó a la óptima concentración de iones Ca^{+2} (39 cmol/Kg), Mg^{+2} (10 cmol/Kg), K^{+} (3.26 cmol/Kg) y $\text{Fe}^{+2,+3}$ (8180 ppm), así como a un mayor número de grupos funcionales caracterizados por las bandas 3400, 1773, 1600, 1522, 1400, 1100, 800 y 458 cm^{-1} del IR, que permitieron la quelación y mejor asimilabilidad de los nutrientes.

Palabras clave: Complejos arcilla-humus, organomineral.

INTRODUCCION

La importancia de estudiar organominerales (OM) de complejos arcilla-humus (CAH), radica en su participación activa en dinámicas edáficas y por consiguiente agrícolas.

Los procesos bioquímicos generados por OM en un suelo, establecen las bases óptimas de su manejo y aprovechamiento agrícola, pues forman parte indispensable de la agricultura orgánica moderna en grupos de alta productividad.

La naturaleza química de los OM del suelo

se ha investigado a través del estudio de las fracciones orgánicas e inorgánicas (Theng et al, 1986; Schnitzer et al, 1988; Satoh, 1984).

También se han hecho sintetisis de OM para definir su estructura y reactividad con metales específicos a diferente pH del medio (Chen & Schnitzer, 1976; Ruiz-Hitzky & Fripiat, 1976).

Sin embargo, existen pocos estudios publicados que relacionen la dinámica y caracterización de los CAH con el desarrollo vegetal, por ello el objetivo del presente trabajo fue caracterizar algunos CAH extraídos de suelos con diferentes contenidos de materia orgánica, pH y salinidades de la zona chinampera de México y probar su efecto en el desarrollo vegetativo del cultivo *Antirrhinum majus* "Perrito", altamente comercial, utilizado en ornato como relleno en arreglos florales (Larson, 1988)

MATERIAL Y METODOS

Con base en una caracterización de 120 calicatas se escogieron y muestrearon 2 suelos del área chinampera San Gregorio Atlapulco-Tláhuac con diferentes pHs (5.8, 9.1) y salinidades (CE 4 y 26 dS/m)

De cada suelo se seleccionaron para el análisis las capas superficiales (10-20 cm), las blancas de profundidad variable y las cercanas al manto freático (180-90 ó 190-200 cm). Las muestras se fraccionaron por tamaño, usando centrifugación y tiempo de sedimentación, según la Ley de Stockes, se obtuvieron arcillas, limos y arenas.

También a través de métodos alcalinos y usando bromoformo-etanol se aislaron AH y AF, se evaluó su complejidad por la distribución del contenido de carbono y su relación con nitrógeno (Duchaufour & Jacquín, 1975).

Las arcillas fueron tratadas con H_2O_2 para eliminar su contenido de MO, y estas junto con material no tratado se caracterizaron por medio de análisis de IR, utilizando un espectrofotómetro Perkin Elmer Mod.683 y determinando el con-

tenido total de algunos metales por emisión de plasma.

El efecto de los OM presentes en el CAH se probó sobre el desarrollo de *Antirrhinum majus* "Perrito", utilizando la fracción arcilla con y sin MO, proveniente de suelos con diferentes pHs, salinidades y profundidades.

Se sembró en macetas de 40 g y se trabajó en invernadero con un diseño de bloques incompletos, en arreglo latice simple de 5X5 con 4 repeticiones por tratamiento.

Se probaron 25 tratamientos, con 2 dosis de OM y arcilla sin MO (30 y 80 mg/Kg). Se uso como sustrato inerte arena de cuarzo, que a su vez funcionó como testigo.

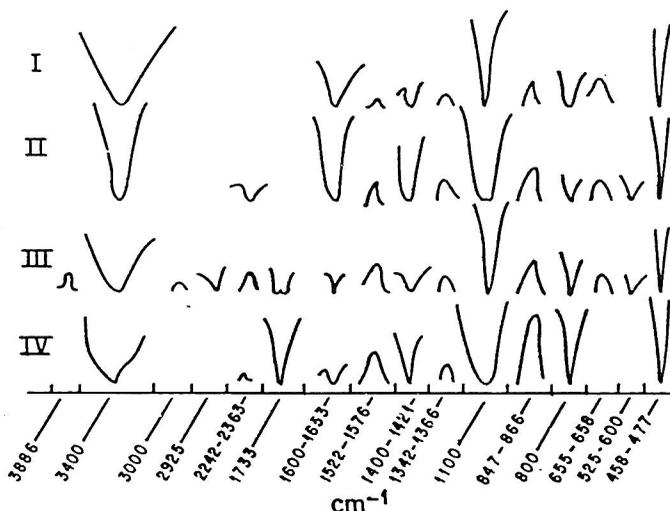
La respuesta del desarrollo de la planta se evaluó con el número de hojas por planta, el peso fresco y las longitudes de tallo y raíz, finalmente se hicieron prueba de varianza y Duncan.

RESULTADOS Y DISCUSION

Los valores d(HKL) de 17.28, 10.13, 7.54, 4.47 y 1.54 A^0 de los espectros de DRX, así como las bandas 3650, 3400, 1640 y 1100 cm^{-1} de IR además de las fotografías de MEB Y MET permitieron identificar las arcillas extraídas de los suelos chinamperos como montmorillonita y haloisita (Reyes et al, 1996).

Los espectros de IR de las arcillas mostraron diferencias en amplitud y tamaño de diversas bandas, (Figuras No.1,2,3) principalmente por contenidos de MO y diferencias de humedad, por ejemplo en las arcillas de capas superficiales sin MO, las bandas 3400, 1773, 1600, 1522, 1400, 1342, 1100, 847, y 458 cm^{-1} fueron más definidas.

En ciertos casos también se dieron diferencias, con respecto al pH, tal fue el caso de las bandas 1600, 847 y 800 cm^{-1} (Figura No.1) en capas superficiales y 2900, 1773, 1571, 1400, 948, 850 y 800 en capas blancas (Figura No. 2) que aunque mantuvieron la regla de ser más simétricas en muestras sin materia orgánica, casi todas fueron de mayor tamaño en mues-



I Complejo Arcilla-humus proveniente de suelo ácido. II Arcilla sin materia orgánica proveniente de suelo ácido. III Complejo Arcilla-humus proveniente de suelo alcalino. IV Arcilla sin materia orgánica proveniente de suelo alcalino

FIGURA 1: ESPECTROS DE INFRARROJO DE LOS COMPLEJOS ARCILLA-HUMUS Y ARCILLAS SIN MATERIA ORGANICA DE CAPAS SUPERFICIALES.

tras ácidas, índice de una mayor concentración de los grupos químicos señalados en la Tabla No.1. Ello indudablemente originó una mejor respuesta en el desarrollo vegetativo de la planta.

Las diferencias de concentraciones atribuidas al pH se debieron a la mayor solubilidad de iones metálicos $Fe^{+2,+3}$, Ca^{+2} , Mg^{+2} y K^{+1} a pH ácido (Tabla No.3), mientras que en muestras alcalinas, se promovieron diversas precipitaciones, por lo tanto aparecieron bandas más intensas en arcillas sin MO y especialmente en las que provenían de suelos con un pH ácido.

En muestras superficiales, blancas y profundas, la banda $3727-3886\text{ cm}^{-1}$ solo se presentó en CAH (Figuras No.1, 2 y 3), siendo evidente la presencia de grupos iminas, aminas, ésteres, ácidos carboxílicos, aldehídos y cetonas, que provienen de las sustancias húmicas asociadas probablemente, a diversos productos metabólicos vegetales y animales.

Se observó que el tratamiento de 80mg/Kg de arcilla sin MO de la capa superficial

ácida, produjo el mejor desarrollo fenológico evaluado con las mayores longitudes de tallo, raíz, No. de hojas y peso fresco, (Tabla No.2); presentándose siempre diferencias significativas con respecto al testigo, esto se atribuyó más que nada a todas las características favorables de concentración de grupos definidos por IR, como CH_3O , Si-

O, O-Si-O, OH, H_2O , triplete Me-OH-O, Al, Mg, Si-O-Me, Fe, así como a la cantidad óptima de metales, a la casi ausencia de iones sodio, y al mayor contenido de iones Ca^{+2} y K^{+} , (Tabla No.3). La producción de ácidos orgánicos pudo originarse del metabolismo propio de la planta, y permitió la quelación de iones necesarios para su mejor nutrición y desarrollo, esto aunado al pH ácido permitió solubilizar con mayor eficiencia los nutrientes, a diferencia de la respuesta con las arcillas alcalinas donde el pH promovió la precipitación de nutrientes.

La presencia de MO en el complejo organo-

TABLA 1: GRUPOS FUNCIONALES ENCONTRADOS EN COMPLEJOS ARCILLA-HUMUS Y ARCILLAS SIN MATERIA ORGANICA POR ESPECTROS DE INFRARROJO.

LONGITUD DE ONDA cm^{-1}	GRUPO QUIMICO
3400	H_2O , OH, Metales, Al-O-H, Me-OH-O,
2900-3000	CH, CH_2 , CH_3 , $\text{C}\equiv\text{N}$, CO, CO_3 , $\text{O}=\text{C}(\text{O-R})_2$, S-H, N-H, NH_4 , NO_3 , R-O- NO_2 , R- NO_2 , R-O-NO, R-NO
2242-2456	Metales
1733-1773	CO_3 , SO_4 , RSO_3 , R- SO_3 -H RO- SO_2 -O-R, ROSO $_2$ -R, RSO $_2$ - NH_2 , R- SO_2 -R, R-SO-R, CH_2 -O-P-O, (R-O) $_3$ -O
1600-1653	CH_3 -O, Si-O-Si, H_2O , COO, NH, C=C, sales y metales
1522-1576	Aromáticos, heterociclicos, OH
1400-1461	CO---HO-Me, CO_3H
1342-1366	Metales, Si-O, O-Si-O
948-959	Si de esmectitas, Al-OH-O, Al_2OH
1090-1117	Si-O
800	SiO_2 , $\text{MgFe}^{+3}\text{OH}$, $\text{Fe}^{+2}\text{Fe}^{+3}\text{OH}$, Si-O-Si C-O, C-N, C-C, CH_2 -O (P,S,Si)
656-658	OH, Si-O, CH_2 -S- CH_2 , CCl, CCl
525-600	Al, Mg, Fe, Si-O-Me, Si-C, $(\text{CH}_2)_n$
458-469	SiO, Si-O- Fe^{IV} , $\text{Fe}^{\text{VI}}\text{OH}$, Si-O-H, $(\text{CH}_2)_n$
315-397	$(\text{CH}_2)_n$, SiO_2

mineral tampoco fue favorable probablemente por la aromaticidad de la estructura, donde las sustancias húmicas se estabilizan al unirse por enlaces covalentes-electrostáticos a las arcillas, mostrándose como moléculas difíciles de degradar a corto plazo (Tabla No.4); mientras que en las arcillas sin materia orgánica, por el tratamiento a que fueron sometidas (oxidación con H_2O_2 , lavado y centrifugación), quizás se promovió que los elementos nutritivos del comple-

jo de cambio, quedaran sujetos a una asimilación más inmediata.

Así, por un lado, aunque el CAH extraído de un suelo alcalino, tuvo una menor complejidad en su material orgánico humificado, las sustancias húmicas promovieron a ese pH la precipitación de nutrientes.

Y en el CAH que proviene de suelo con pH ácido, la presencia de MO, altamente aromática, impidió un mejor desarrollo de las plantas,

TABLA .2: VALORES PROMEDIO DE 4 REPETICIONES DE LAS RESPUESTAS FENOLOGICAS DE *Antirrhinum majus* "Perrito" EN TRATAMIENTOS REPRESENTATIVOS EN LOS QUE SE USARON DIVERSAS DOSIS DE COMPLEJO ARCILLA-HUMUS Y ARCILLA SIN MATERIA ORGANICA.

TRATAMIENTO	LONG. TALLO (cm)	LONG. RAIZ (cm)	No. HOJAS	PESO FRESCO (g)
80mg/Kg CS A CAH	3.03b	3.62a	6.25ab	0.20b
80mg/Kg CS Ar- A S/MO	6.37a	4.74a	9.00a	0.77a
80mg/Kg CS Al CAH	1.94c	2.35b	3.00bc	0.13b
80mg/Kg CS Ar- Al S/MO	3.27b	2.58b	5.00b	0.16b
TESTIGO	0.87 ^c	1.57 ^b	2.25 ^c	0.02 ^c

Tratamientos con distinta literal difieren significativamente ($p < 0.01$).

CS Capa superficial. A= ácida., Al = alcalina. CAH=Complejo Arcilla-Humus., Ar = Arcilla., S/MO = Sin materia orgánica.

en consecuencia, la mejor respuesta se dió en sustratos que contenían arcillas ácidas sin MO.

Previo al experimento se investigó la naturaleza de las sustancias húmicas del complejo OM, representada en la Tabla No.4, mostrando que las sustancias húmicas jóvenes (AF y humina heredada H_3), asociadas a suelos ácidos o alcalinos, fueron siempre menores que las sustancias húmicas evolucionadas.

En las capas blancas, siempre hubo un mayor porcentaje de (AF + H_3) material poco evolucionado, si se compara con el encontrado en capas superficiales y profundas.

Las fracciones evolucionadas tuvieron la siguiente serie de aromaticidad:

Capas Superficiales (CS) > Capas Profundas (CP) > Capas Blancas (CB), mientras que el porcentaje de carbono de las fracciones

jóvenes, tuvo una relación inversa: CB > CP > CS.

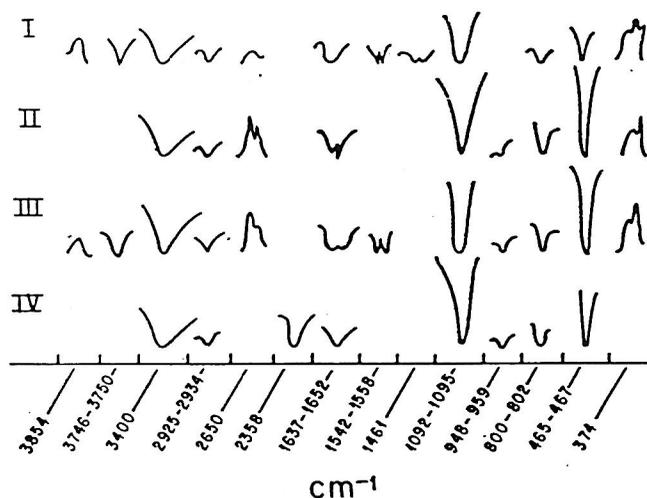
Los resultados permitieron comprobar una mayor evolución del humus. La escasa proporción de humina heredada indicó que los procesos de humificación se han desarrollado principalmente por vía indirecta, donde la neoformación biofísicoquímica a partir de precursores solubles, desemboca en la formación de humus con predominio de los compuestos húmicos extraíbles por los reactivos alcalinos (AH y AF), sobre las fracciones insolubles (huminas de insolubilización), a excepción de lo que ocurrió en las capas superficiales (Tabla No. 4).

Asimismo, la relación de AF/AH está equilibrada en todas las arcillas, excepto en las capas profundas, pues presentaron valores menores a 1. El material orgánico humificado, fue elevado con respecto a la materia orgánica

TABLA 3: CONCENTRACIONES DE ALGUNOS METALES TOTALES EN ppm DE COMPLEJOS ARCILLA-HUMUS Y ARCILLAS SIN MATERIA ORGANICA DE LA ZONA DE SAN GREGORIO ATLAPULCO (pH ACIDO, C56), TLAHUAC (pH ALCALINO C69)

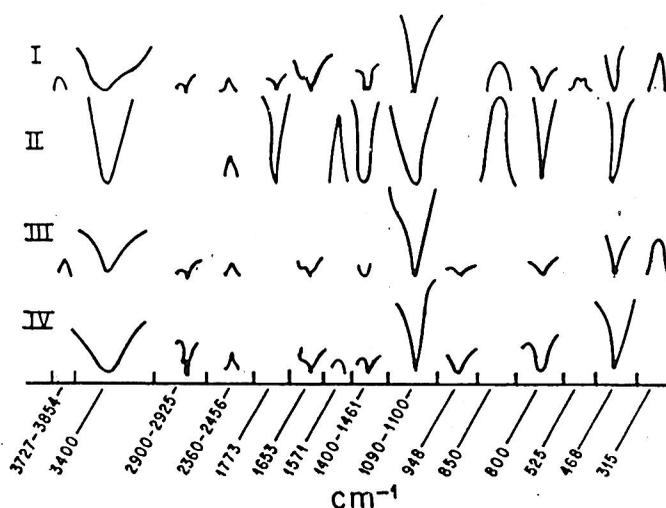
MUESTRA	cmol/Kg											
	Al ⁺³	Co	Fe ^{+2,3}	Cr	Cd	Ni	Zn	Cu	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺
C56 10-20 CAH	40,130	8	15,37	6	6	39	95	40	50	17	0.56	3.26
C56 10-20 AS/MO	36,215	2	8,180	4	4	13	35	18	39	10	0.32	2.80
C56 140-42 CAH	8,417	5	5,718	4	3	12	51	26	17	15	0.32	1.52
C56 140-42 AS/MO	6,212	3	2,117	2	1	4	19	8	12	9	0.25	0.98
C56190-200 CAH	23,318	7	10,99	5	8	29	184	58	40	30	0.56	4.05
C56190-200 AS/MO	15,321	3	4,386	3	3	9	126	18	32	17	0.36	2.20
C69 10-20 CAH	17,420	0	6,370	13	0	29	46	20	34	37	31.95	0.77
C69 10-20 AS/MO	12,515	0	2,123	4	0	9	30	9	17	21	26.40	0.43
C69 86-96 CAH	4,355	0	1,145	5	0	10	21	10	15	22	0.40	0.26
C69 86-96 AS/MO	2,900	0	381	3	0	2	12	4	10	15	0.27	0.12
C69190-200 CAH	8,571	0	1,717	7	0	18	35	15	40	9	26.40	0.67
C69190-200 AS/MO	733	0	733	4	0	4	20	7	34	7	19.60	0.51

CAH= COMPLEJO ARCILLA-HUMUS, AS/MO=ARCILLA SIN MATERIA ORGANICA



I Complejo Arcilla-humus proveniente de suelo ácido. II Arcilla sin Materia orgánica proveniente de suelo ácido. III Complejo Arcilla-humus proveniente de suelo alcalino. IV Arcilla sin Materia Orgánica proveniente de suelo Alcalino

FIGURA 2: ESPECTROS DE INFRARROJO DE LOS COMPLEJOS ARCILLA-HUMUS Y ARCILLAS SIN MATERIA ORGANICA DE CAPAS BLANCAS.



I Complejos Arcilla-humus proveniente de suelo ácido. II Arcilla sin materia orgánica proveniente de suelo ácido. III Complejo Arcilla-humus proveniente de suelo alcalino. IV Arcilla sin materia orgánica proveniente de suelo alcalino

FIGURA 3: ESPECTROS DE INFRARROJO DE LOS COMPLEJOS ARCILLA-HUMUS Y ARCILLAS SIN MATERIA ORGANICA DE CAPAS PROFUNDAS.

TABLA 4: FRACCIONAMIENTO DE MATERIA ORGANICA DE LAS MUESTRAS UTILIZADAS EN EL EXPERIMENTO

MUESTRA	PROF	% C	% N	C/N	% C	% C	H ₃	AF	AF+AH	AH	H ₁	H ₂	AF/AH	H ₃ +AF	AH+H ₁ +H ₂
				MOL		MOH									
C-A-S	10-20	8.66	0.76	11.39	0.14	7.16	1	0.16	1.65	2.98	1.33	0.9	3.10	1.24	
							2	2.07	19.05	41.61	15.36	10.39	35.79		
							3	2.51	23.04	18.57	12.57	43.30		25.55	74.44
C-A-B	140-42	2.03	0.12	16.92	0.21	1.82	1	0.20	0.56	1.11	0.55	0.01	0.50	1.02	
							2	9.85	27.59	54.68	27.09	0.49	24.63		
							3	10.99	30.77	30.22	0.55	27.47		41.76	58.24
C-A-P	190-200	31.07	1.80	17.26	0.51	28.19	1	0.35	9.38	23.68	14.30	0.90	3.26	0.66	
							2	1.12	30.19	76.21	46.02	2.89	10.49		
							3	3.97	33.27	50.72	3.19	11.56		37.24	65.47
C-AI-S	10-20	6.66	0.66	10.09	0.25	6.41	1	0.23	1.50	2.90	1.40	0.78	2.50	1.07	
							2	3.45	22.52	43.54	21.02	11.71	37.54		
							3	3.59	23.40	21.84	12.17	39.00		26.99	73.01
C-AI-B	86-96	2.68	0.44	6.09	0.34	2.34	1	0.45	0.61	1.20	0.59	0.09	0.60	1.03	
							2	16.79	22.76	44.78	22.01	3.36	22.39		
							3	19.23	26.07	25.21	3.85	25.64		45.30	54.70
C-AI-P	190-200	6.57	0.70	9.39	0.46	5.37	1	0.29	1.27	1.31	0.63	1.87	0.97		
							2	4.41	19.33	19.94	9.59	28.46			
							3	5.40	23.65	24.39	11.73	34.82		29.05	70.94

1 % C Orgánico respecto al peso del suelo. 2 % C Orgánico respecto al carbono total. 3 % C Orgánico respecto al carbono de la fracción humificada. MOL Materia Orgánica Libre

H₃ Humina Heredada, H₁ Humina de insolubilización extraíble. H₂ Humina de insolubilización no extraíble. AF Acidos Fúlvicos, AH Acidos Húmicos. MOH Materia Orgánica Humificada

C-A Calicata ácida, C-AI Calicata Alcalina. S=Superficial, B=Blanca, P=Profunda

libre, y siempre estuvo en relación a los porcentajes de carbono y nitrógeno.

Por otro lado, la concentración de metales totales analizados (Tabla No.3), siempre fue más elevada en muestras ácidas y la mayor proporción quedó retenida en la fracción arcilla, atribuible a la ubicación en la estructura de los coloides del complejo.

Los rangos de cadmio en las arcillas provenientes de la calicata ácida siempre fueron elevados (3-8 ppm) con respecto a los valores normales de 0.2-1 ppm (Alloway & Blackie, 1992).

Todas las cantidades del resto de los metales encontrados, permanecieron por debajo de los rangos tóxicos, a excepción del Zn y Cu, encontrado en el CAH proveniente de capas profundas. Por tanto el contenido de metales en las muestras utilizadas como parte del sustrato en que se sembró la planta se consideraron aptos para el cultivo.

CONCLUSIONES

Los OM de arcillas ácidas sin MO, mostraron una mayor concentración de nutrientes (Ca^{+2} , Mg^{+2} , K^+ , $\text{Fe}^{+2,+3}$) y de grupos funcionales, señalados en los espectros de IR por bandas más definidas (3400 1773, 1600, 1522, 1400, 1100, 800 y 458 cm^{-1}).

La planta *Antirrhinum majus* "Perrito" mostró un mejor desarrollo vegetativo al utilizar como parte del sustrato a la arcilla ácida sin MO a una dosis de 80 mg/Kg. Dicha respuesta se atribuyó a la activación de sitios de intercambio al eliminar la MO, que promovió la mayor proporción y disponibilidad inmediata de nutrientes.

La complejidad de las sustancias húmicas estuvo relacionada con la profundidad del sue-

lo, encontrándose un rango de aromaticidad expresado por la siguiente serie $\text{CS} > \text{CP} > \text{CB}$.

BIBLIOGRAFIA

- Alloway, B., Blackie, B., 1990: Heavy metals in soils. John Wiley & Sons Inc, 125-186.
- Chen, Y., Schnitzer, M. 1976: Scanning electron microscopy of a humic acid and a fulvic acid and its metal and clay complexes. Soil Sci. Soc. Am. J. 40:682.
- Duchaufour, Ph., Jacquin, F., 1975: Comparison des processus d'humification dans les principaux types d'humus forestiers. Bull. A.F.E.S. 1, 29-36.
- Larson, R.A. 1980: Introducción a la floricultura. ed. AGT. México. 95-117.
- Reyes, O., Aguilera, H., García, C., Cañetas, O. 1996 : Organomineral complexes in lacustrine soils from Xochimilco (Mexico). International Union of Crystallography XVII Congress. Seattle, C 337.
- Ruiz-Hitzky E. & Fripiat, J. 1976: Organomineral derivatives obtained by reacting organochlorosilanes with the surface of silicates in organic solvents. Clay and Clay Minerals. 24, 25-30.
- Satoh, T. 1984: Organo-mineral complex status in soils. Soil Sci Plant. Nutr. 30(1), 95-104.
- Schnitzer, M., Ripmeester, J., Kodoma. 1988: Characterization of the organic matter associated with a soil clay. Soil Sci. 145(6), 448-454.
- Theng, B., Churchman, G., Newman, R. 1986: The occurrence of interlayer clay-organic complexes in two New Zealand soils Soil Sci 142:262-266