

APLICACIÓN DE RESIDUO SÓLIDO URBANO AL PROBLEMA DE DEGRADACIÓN DE LOS SUELOS: IMPLICACIONES DE LOS PROCESOS DE CAMBIO IÓNICO EN LA MEJORA ESTRUCTURAL.

C. FORTUN GARCÍA y A. FORTUN GARCÍA

Centro de Ciencias Medioambientales (C.S.I.C) Serrano 115 dpdo 28006 Madrid.

Abstract: The effect on soil physical and chemical properties of composted Solid Urban Waste (S.U.W.) has been studied. In addition its effect on soil aggregation processes was also determined. The survey was undertaken in soils subjected to two crops with different root development and using manure as a reference organic matter.

A significant effect of organic matter is observed with regard to the formation of new aggregates in the soil having originally the worse structure, which also showed a positive response to the application of S.U.W. Root development no affects the efficiency of organic matter.

Key words: Solid urban waste, Soil degradation, Structural improvement

Resumen: Se ha estudiado el efecto que ejerce, sobre la recuperación de suelos degradados un Residuo Sólido Urbano (R.S.U.), compostado, así como también fué determinada la implicación de ciertos metales en dichos procesos de agregación. El estudio se llevó a cabo después de haber sometido a los suelos a dos cultivos de distinto desarrollo radicular y utilizando como material orgánico de referencia el estiércol.

Se observa una mayor eficacia de los materiales orgánicos, sobre la formación de nuevos agregados, en el suelo peor estructurado, así como una mejor respuesta a la aplicación de R.S.U. El desarrollo radicular del cultivo no incide sobre la eficacia del material orgánico.

Palabras clave: Residuo sólido urbano, Degradación edáfica, Mejora estructural

INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas medioambientales de gran repercusión en nuestro país es la degradación física de los suelos si no se controla adecuadamente sobretodo, en aquellos ambientes Mediterráneos que puede conducir a suelos áridos.

Entre los constituyentes del suelo, la materia orgánica humificada contribuye en gran medida a su fertilidad, ya que favorece la es-

tructura, aireación y adecuada actividad biológica del suelo, lo que repercute en el desarrollo vegetal y evita posibles procesos de erosión (Martin et al. 1955).

Los efectos que ejerce la materia orgánica (M.O) sobre la estructura del suelo, especialmente sobre la estabilidad de agregados (Chaney y Swift 1984, Christensen 1986), han sido ampliamente estudiados, pero todavía se desconocen los mecanismos implicados en los procesos de agregación, aunque parece probable que

presente gran influencia la formación de puentes catiónicos (Oades 1984, Theng 1979).

Los iones más comunmente implicados son Ca, Mg, Al y Fe y, en menor proporción, Pb, Cu y Zn. La velocidad de cambio iónico de éstos elementos decrece a medida que los grupos libres de la M.O se van saturando (Fortún et al. 1986), dependiendo el cambio de unos iones por otros del tipo de arcilla presente en el suelo (Fortún et al. 1991).

Resulta evidente que las enmiendas orgánicas son una solución a los problemas de degradación edáfica tanto física como química ó biológica pero, surge a su vez el inconveniente, de la escasez, cada vez mayor, de abonos orgánicos naturales, por lo que es preciso recurrir a otros productos que, en algunos casos, pueden conducir a otra problemática como puede ser una contaminación por metales pesados.

El objeto del presente trabajo es un intento más de utilización de materiales orgánicos humificadores fin de paliar el doble problema que se presenta: evitar la degradación estructural de los suelos, de una parte, y la eliminación de residuos urbanos de otra.

A tal fin, se llevará a cabo un estudio del efecto que, sobre la agregación de un suelo con bajo contenido en agregados estables y otro de buenas características estructurales (ambos sometidos a cultivo), ejerce un R.S.U. Asimismo se realizará una valoración de los iones implicados en los procesos de agregación a fin de establecer cuales son los implicados en los procesos de formación de complejos estables, hecho que está relacionado no sólo con la formación de unidades estructurales de agregado, sino también con el posible efecto residual. El estudio fué establecido en comparación con el estiercol.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaron dos suelos, un Luvisol Vértico desarrollado sobre arcosa, que denominamos suelo no degradado, y un Vertisol

Crómico desarrollado sobre material coluvial arcillo-margoso, que denominamos suelo degradado. Esta denominación se eligió sobre la base del contenido de agregados estables al benceno (tabla 1) que, como es sabido, es el pretratamiento que pone de manifiesto los agregados en cuya formación está implicada la materia orgánica. Como materiales orgánicos se eligieron un estiercol de vacuno de un año de maduración y un R.S.U. compostado. Las características generales de suelos y materiales se expresan en la tabla 1.

En ambos suelos se implantaron, paralelamente y por separado, dos cultivos: ray-grás (*Lolium rigidum* L. Gau) y tomate (*Lycopersicon esculentum* L.).

El primero de ellos se llevó a cabo con 1 g de semilla por kg de suelo en macetas de 1,2 kg de suelo; se pusieron tres repeticiones por tratamiento y se aplicó la dosis de 40.000 kg/ha de cada uno de los materiales orgánicos. Paralelamente se estableció un tratamiento en blanco. Se efectuaron dos cortes, al mes y a los dos meses de la nascencia.

De forma similar se estableció un cultivo de tomate, pero, en éste caso, el experimento se duplicó puesto que una de las partes fué realizada sin fertilización mineral (como el cultivo de ray-grás) y otra con fertilización mineral de fondo con N,P,K.

Fue utilizada una plántula de tomate por cada contenedor que contenía 7 kg de suelo, y el cultivo se mantuvo hasta la obtención de fruto con la cuarta floración.

En todos los casos, una vez retirados los cultivos, se determinó en los suelos, el contenido de M.O de oxidable, el contenido de agregados estables (Henin 1972) y los contenidos de Na, K y Ca por espectroscopía de llama, Mg, Fe, Mn y Al por absorción atómica, tanto en forma soluble como asimilable (Lakanen and Ervio 1971), que permitió establecer la cantidad de iones intercambiada (Bunzl et al. 1984) y el porcentaje de movilidad.

Los contenidos de elementos solubles se obtuvieron agitando 5 g de suelo con 50 ml de

TABLA 1 Características generales de suelos y enmiendas orgánicas fertilizantes.

	Suelo no degradado	Suelo degradado	Estiércol	R.S.U
% AgB	57.2	9.0		
Isg	1.66	1.59		
Textura	Franco-Aren.	Arcillosa		
pH (agua)	4.4	6.9	6.8	7.2
C.I.C.mg/100g	120	1200		
% M.O.(oxidable)	0.59	1.66	16.6	43.6
C/N	8.2	8.0	10.7	16.9
Elem. asimilables (mg/Kg)				
Na	5	40	2800	4250
K	140	540	16000	7000
Ca	300	11900	18000	47500
Mg	18	483	3940	2980
Fe	40	38	5940	3190
Mn	42	155	109	250
Al	40	100	12520	13825

AgB: Agregados estables (pretratamiento con benceno) Isg: Índice de Inestabilidad global. C.I.C Capacidad de intercambio catiónico

agua destilada durante cuatro horas. Una vez centrifugadas las muestras a 3.000 r.p.m, se procedió a la medida de los elementos conforme ha sido indicado anteriormente.

El cálculo de la cantidad de iones intercambiada (Q), dará en muchas ocasiones signo negativo (ver tablas) que se interpreta como una retención de iones. El caso contrario se interpreta como liberación.

Los resultados fueron sometidos a un estudio estadístico consistente en el cálculo de las mínimas diferencias significativas (valor absoluto) para cada grupo de valores y considerando los suelos separadamente.

tercambio catiónico, materia orgánica oxidable y contenido en elementos asimilables que el suelo no degradado, así como una menor proporción de agregados estables. Las arcillas de aquél suelo son illita y caolinita, la primera está saturada y la segunda inerte. En el suelo no degradado, la arcilla predominante es la esmectita tipo montmorillonita, que puede expandirse y permitir la entrada y salida de cationes, por lo que puede ser alto su poder de complejación.

Respecto a las enmiendas orgánicas, se observa claramente el más elevado contenido en materia orgánica en el caso del R.S.U así como de elementos asimilables excepto K y Fe.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El suelo degradado (tabla 1) de textura arcillosa, presenta una mayor capacidad de in-

Suelo Degradado

a) Cultivo de ray-grás (tabla 2)

Con la aplicación de R.S.U, la materia orgánica experimenta una mineralización elevada. Esta circunstancia puede estar relacionada

Tabla 2.- Efecto de enmiendas orgánicas en la estabilidad estructural y composición química de suelos sometidos a un cultivo de ray-grás

	Suelo no degradado				Suelo degradado			
	B	E	R.S.U	L.S.D p≤0.05	B	E	R.S.U	L.S.D p≤0.05
M.O oxidable (%)	0.70	0.89	1.14	0.25	1.36	1.86	1.77	0.36
AgB(%)	64.1	64.3	64.3	3.1	10.4	8.9	14.7	1.9
Isg(%)	0.84	0.69	0.89	1.22	1.54	2.04	1.24	0.21
C.I.E.S (mg/kg)								
Q _t		-154	-201	31		-248	-734	102
Q ⁺		-138	-94	27		-157	-106	28
Q ²⁺		-22	-125	35		-24	-181	45
Q ³⁺		16	18	11		-67	-447	93
C.I.E.A (mg/kg)								
Q _t		-510	-563	23		-833	-1020	121
Q [±]		-158	-125	10		-165	-86	32
Q ²⁺		-88	-108	15		-404	-595	61
Q ³⁺		-261	-332	42		-256	-344	35
M.E.S(%)								
M _t		398	461	37		436	275	99
M ⁺		66	72	15		16	19	6
M ²⁺		111	154	21		231	133	35
M ³⁺		304	215	29		188	123	30
M.E.A (%)								
M _t		367	378	32		526	517	78
M ⁺		86	81	12		163	174	36
M ²⁺		250	257	12		293	286	45
M ³⁺		42	40	7		70	57	17

B: Blanco; E: Estiércol; L.S.D.: Mínima diferencia significativa (nivel de probabilidad < 0.05); AgB: Agregados estables (pretratamiento con benceno); Isg: Índice de inestabilidad global; C.I.E.S (Q): Cantidad intercambiada de elementos solubles; C.I.E.A (Q): Cantidad intercambiada de elementos asimilables M.E.S.: Movilidad elementos solubles; M.E.A: Movilidad elementos asimilables; t: Total; +: Monovalentes; 2+: Divalentes; 3+: Trivalentes

con el hecho de que sea este tratamiento el único que conduce a una mejora estructural (% AgB) produciendo unos agregados más estables (Isg) que los del suelo sin tratamiento.

El estiercol puede incluso llegar a producir un efecto depresivo.

Los valores relativos a la cantidad de iones intercambiados, sugieren una importante retención de los mismos tanto en forma soluble como asimilable, siendo el R.S.U el material que conduce a un efecto más intenso.

El porcentaje de movilidad de elementos asimilables es similar con ambos materiales y menor la de solubles cuando se aplica R.S.U. La baja movilidad de elementos trivalentes (Fe y Al) asimilables confirma su fuerte retención (Q3+) y otro tanto sucede con las formas solubles divalentes, hecho éste último que sólo sucede con R.S.U.

En nuestra opinión, el incremento de agregados estables que se produce en éste suelo como consecuencia de la aplicación de R.S.U, puede ser debido a la nueva formación de complejos estables del tipo: arcilla-metal-materia orgánica, que, como se sabe, es la unidad básica de agregado (Martin 1955). Estas unidades se aglutinan entre sí formando agregados de mayor ó menor tamaño.

b) Cultivo de tomate (tabla 3)

El contenido de agregados estables con el pretratamiento con benceno, aumenta como consecuencia de la aplicación de enmiendas orgánicas. El R.S.U es más eficaz que el estiercol en ausencia de fertilización mineral, pero en presencia de la misma, la mejora conseguida es muy similar con ambos materiales orgánicos.

La producción de cosecha obtenida (datos no publicados en éste trabajo), puso de manifiesto la eficacia de éstos abonos respecto al control. Dicha eficacia fué mayor en presencia de fertilización mineral y la mejora conseguida quedó patente en ambos suelos.

Las cantidades de iones intercambiados, muestran una fuerte retención de las formas asimilables (con y sin fertilización mineral) que

es debida fundamentalmente, a los metales divalentes. El proceso es ligeramente más intenso cuando no se aplicó N,P,K, y no se produce demasiada desviación por efecto de los abonos orgánicos.

En cuanto a las formas solubles, la retención es sensiblemente menor que la de las asimilables y, al mismo tiempo, aquellas son más fuertemente retenidas cuando se aplicó N.P.K. Se aprecia que las formas solubles divalentes son las menos retenidas contrariamente a lo que sucedía en sus correspondientes asimilables.

El porcentaje de movilidad total es superior cuando no se aplica fertilización mimeral y es atribuida a los iones trivalentes fundamentalmente, si bien, en menor proporción participan los demás. El % de movilidad de elementos asimilables es similar (con y sin fertilización mimeral) destacando el hecho del considerable descenso de la movilidad de iones trivalentes lo que confirma la retención apreciada en ésta misma tabla (Q3+).

Las enmiendas orgánicas aplicadas a éste tipo de suelos favorecen la formación de agregados estables independientemente del cultivo que se haya implantado en él. Los lazos de unión que han producido el efecto agregante han podido ser el Fe y el Al. Este hecho puede estar relacionado con la naturaleza de la arcilla y con la circunstancia, también favorable, de poseer una mayor capacidad de intercambio catiónico, lo que confirmaría lo ya expuesto por Godfin et al. (1989).

Suelo no degradado

a) Cultivo de ray-grás (tabla 2)

No se aprecia variación, respecto del control, en el contenido de agregados estables como consecuencia de la aplicación de estiercol y R.S.U.

La retención de las formas asimilables de iones es mucho más acusada que la de las solubles y, en el caso de ambas enmiendas, son entre sí muy similares. Con respecto a las formas solubles, son los metales trivalentes los

Tabla 3.- Efecto de enmiendas orgánicas en la estabilidad estructural y composición química de un suelo degradado sometido a un cultivo de tomate.

	Sin fertilización mineral				Con fertilización mineral			
	B	E	R.S.U	L.S.D p≤0.05	B	E	R.S.U	L.S.D p≤0.05
M.O oxidable (%)	1.59	2.00	2.50	0.35	1.72	2.18	2.31	0.20
AgB (%)	9.1	12.1	23.6	2.1	9.9	18.9	16.5	2.5
Isg	2.20	1.86	1.13	0.40	2.38	1.24	1.39	0.66
C.I.E.S (mg/kg)								
Q _t		-21	-184	46		-385	-563	89
Q ⁺		-129	-77	31		-159	-115	24
Q ²⁺		-24	-87	12		-45	-163	36
Q ³⁺		132	-20	60		-181	-259	41
C.I.E.A (mg/kg)								
Q _t		-2569	-2672	85		-1999	-1703	105
Q ⁺		-220	-163	32		-260	-170	52
Q ²⁺		-2024	-2170	86		-1481	-1197	110
Q ³⁺		-253	-334	50		-256	-331	61
M.E.S.(%)								
M _t		646	368	102		366	243	58
M ⁺		107	108	21		93	86	16
M ²⁺		190	122	29		143	86	25
M ³⁺		359	138	96		110	69	18
M.E.A.(%)								
M _t		413	415	17		425	434	52
M ⁺		130	139	15		133	127	21
M ²⁺		245	244	19		251	266	32
M ³⁺		38	32	11		41	41	3

B: Blanco; E: Estiércol; L.S.D.: Mínima diferencia significativa (nivel de probabilidad <0.05); AgB: Agregados estables (pretratamiento con benceno); Isg: Índice de inestabilidad global; C.I.E.S (Q): Cantidad intercambiada de elementos solubles; C.I.E.A (Q): Cantidad intercambiada de elementos asimilables M.E.S.: Movilidad elementos solubles; M.E.A: Movilidad elementos asimilables; t: Total; +: Monovalentes; 2+: Divalentes; 3+: Trivalentes.

más fuertemente retenidos en los tratamientos con R.S.U, mientras que son los monovalentes los que lo hacen con estiercol (este último hecho sucede también en las formas asimilables).

El porcentaje de movilidad total es similar en el caso de ambas enmiendas y tanto en las formas solubles como asimilables. La mayor movilidad corresponde a trivalentes y divalentes en el caso de las formas solubles, y divalentes en la de asimilables.

El importante descenso de la movilidad de Fe y Al en forma asimilable confirma su fuerte retención en el suelo (Q3+), y es muy probable, que se haya producido bien una absorción por parte del cultivo, ó bien una fijación en el suelo entre las láminas de arcilla ó formando agregados.

Pensamos que la primera posibilidad es la más adecuada, dado que se observó un aumento de la producción con la aplicación de éstos abonos orgánicos, y no hubo efecto en la formación de agregados.

b) Cultivo de tomate (tabla 4)

La cantidad de iones intercambiada muestra que las formas asimilables de iones son más intensamente retenidas que las formas solubles, y más aún en presencia de fertilización mineral.

En ambos casos, la retención viene marcada por metales trivalentes y divalentes con el tratamiento de R.S.U y monovalentes en el caso de estiercol.

Estos hechos están relacionados con el porcentaje de movilidad, observándose que ésta es más elevada en ausencia de fertilización mineral, que había muy poca variación de la misma a causa de las enmiendas orgánicas y que R.S.U ejerce un ligero efecto depresivo sobre la movilidad de elementos divalentes y trivalentes.

La importante retención de los iones trivalentes Fe y Al en forma asimilable, puede explicar la no eficacia de las enmiendas orgánicas en la formación de agregados. Su baja movilidad puede haber sido una consecuencia de la absorción, por parte del cultivo, de aquellos iones fácilmente asimilables. Ello ha podi-

do dificultar la formación de complejos estables del tipo arcilla-metal-materia orgánica de los que ya se ha hecho referencia,

Investigaciones precedentes (Fortún et al. 1989) pusieron de manifiesto el efecto agregante de turba y estiercol sobre los suelos. El comportamiento de cada material orgánico fué diferente, y estaba relacionado con su estado de madurez y/o envejecimiento.

Mediante microscopía electrónica y análisis de imagen (Fortún et al. 1990) se comprobó, que un material joven (estiercol) actuaba incrementando la formación de agregados de los suelos formando macroagregados, poco numerosos, que se habían formado a partir de las fracciones más finas (limo y arcilla). La técnica analítica de Henin daba en éste caso un porcentaje de agregados más alto. Por su parte la turba (material más envejecido), parecía actuar incrementando menos acusadamente el porcentaje de agregados (técnica de Henin), pero la microscopía electrónica nos indicaba un mayor número de agregados aunque más pequeños.

Empleando otros materiales agregantes como las emulsiones bituminosas de asfalto (Fortún et al. 1994), se observó también una mejora estructural que fué comprobada (datos aún sin publicar) por microscopía de scanning y análisis de imagen. Estos resultados confirmaron los anteriores además de observar una relación entre ellos y los encontrados con los iones intercambiados (concretamente Fe y Al).

Estas investigaciones nos pueden llevar a la consideración de que, en el caso del suelo degradado. el mecanismo que ha podido tener lugar, puede haber sido, bien el de formación de microagregados mediante puentes de unión de Fe y Al con las arcillas y la materia orgánica humificada, que posteriormente se unen entre si formando macroagregados de baja estabilidad al agua, bien que la formación de micro y macroagregados pueda haber sido como consecuencia del efecto agregante (mediante uniones físicas) de la materia orgánica humificada.

Tabla 4.- Efecto de enmiendas orgánicas en la estabilidad estructural y composición química de un suelo no degradado sometido a un cultivo de tomate.

	Sin fertilización mineral				Con fertilización mineral			
	B	E	R.S.U	L.S.D p≤0.05	B	E	R.S.U	L.S.D p≤0.05
M.O oxidable (%)	0.84	1.45	1.64	0.23	0.90	1.52	1.46	0.27
AgB (%)	62.5	62.9	59.9	3.8	61.7	58.7	60.1	3.4
Isg	1.00	0.56	1.12	0.17	1.23	0.89	1.37	0.11
C.I.E.S (mg/kg)								
Q _t		-142	-177	12		-169	-226	27
Q ⁺		-132	-74	36		-157	-101	22
Q ²⁺		-8	-97	25		-14	-125	32
Q ³⁺		-2	-6	7		2	0	2
C.I.E.A (mg/kg)								
Q _t		-491	-560	46		-828	-953	66
Q ⁺		-225	-118	53		-390	-260	48
Q ²⁺		-22	-117	61		-200	-373	71
Q ³⁺		-242	-320	66		-236	-315	48
M.E.S (%)								
M _t		413	362	28		398	303	46
M ⁺		75	87	12		38	42	13
M ²⁺		136	88	20		110	53	38
M ³⁺		202	187	32		250	208	26
M.E.A (%)								
M _t		450	391	45		259	256	12
M ⁺		75	78	10		25	52	22
M ²⁺		325	273	27		183	163	27
M ³⁺		50	40	16		51	41	13

B: Blanco; E: Estiércol; L.S.D.: Mínima diferencia significativa (nivel de probabilidad <0.05); AgB: Agregados estables (pretratamiento con benceno); Isg: Índice de inestabilidad global; C.I.E.S (Q): Cantidad intercambiada de elementos solubles; C.I.E.A (Q): Cantidad intercambiada de elementos asimilables M.E.S.: Movilidad elementos solubles; M.E.A: Movilidad elementos asimilables; t: Total; +: Monovalentes; 2+: Divalentes; 3+: Trivalentes.

CONCLUSIONES

- La aplicación de R.S.U a un suelo con bajo contenido en agregados estables (suelo degradado), aumenta el contenido de los mismos y en ello no influye el desarrollo radicular del cultivo implantado en él.

- En el caso anteriormente indicado, el aumento de los agregados puede ser debido a una nueva formación de microagregados a partir de las unidades ó complejos arcilla-metal-materia orgánica.

- Cuando el contenido de agregados estables del suelo es aceptable (suelo no degradado), las enmiendas de estiercol y R.S.U. no influyen en su estados de agregación.

En éste caso los iones presentes en la solución del suelo, han tomado parte únicamente en el desarrollo del cultivo y no en la formación de agregados.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Comunidad Autónoma de Madrid la financiación del presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Bunzl, K (1984). Kinetics of ion exchange in soil organic matter. II. Ion exchange during continuous addition of Pb^{2+} ions to humic acid and peat. *J. Soil Sci.* 25, 343-349.
- Chaney, K y SWIFT, R.S. (1984). The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *J. Soil Sci.* 35 223-230.
- Chistensen, B.T. (1986). Straw incorporation and soil organic matter in macroaggregates and particle size separates. *J. Soil Sci.* 37 125-135.
- Fortun, C. Ortega, C. y Fortun, A (1986). Selectividad de las sustancias húmicas por los elementos Na, K, Ca, Mg, Zn y Fe. *Agrochimica* 30 93-103.
- Fortun, C. y Fortun, A. (1989). The effect of organic materials and their humified fractions on the formation and stabilization of soil aggregates. *Sci. Total Environmental* 81/82 561-570.
- Fortun, A. Benayas, J. y Fortun, C. (1990). The effects of fulvic and humic acids on soil aggregation: a micro-morphological study. *J. Soil Sci.* 41 563-572.
- Fortun, C. y Fortun, A (1991). Exchange processes in two soils subjected to different organic treatments. *Suelo y Planta* 1, 153-163.
- Fortun, A. Tomas, R. y Fortun, C. (1994). Effects of bituminous materials in soil aggregation. *Arid Soil Research* (en prensa).
- Godfrin, J.M. Closs, P y Van-Bladel, R. (1989). Selective des échanges ioniques Ca-Cu et Ca-Zn dans quelques sols belges. *Pédologie* 39-1, 89-110.
- Hatira, A. (1987).- Géochimie des complexes organo-metalliques en Pédologie expérimentale. Application à l'étude des interactions entre les acides fulviques on les oxyhydroxydes de fer et les métaux, Cu, Pb, Zn. Thèse de Doctorat de spécialité en Géologie. Tunis 147 p.
- Henin, S. Gras, R. Monnier, G. (1972).- El perfil cultural. Mundi-Prensa. S.A. Madrid.
- Lakanen, E. y Evio, R. (1971). A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agr. Fenn.* 123 223-232.
- Martín, J.P. (1955). Soil aggregation. *Adv. Agron.* 7 1-37.
- Oades, J.M. (1984).- Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management. *Plant and Soil* 76 319-337.
- Theng, B.K.G. (1979). Formation of properties of clay-polymer complexes. Elsevier. Amsterdam. 332p.