

LA QUIMICA EN EL AMBIENTE DEL SUELO APLICADA A  
LOS SUELOS DE PUERTO RICO

POR

JUAN A. BONNET, PADRE



CENTER FOR ENERGY AND ENVIRONMENT RESEARCH  
UNIVERSITY OF PUERTO RICO — U.S. DEPARTMENT OF ENERGY

CEER-T-145

LA QUIMICA EN EL AMBIENTE DEL SUELO APLICADA A  
LOS SUELOS DE PUERTO RICO

POR

JUAN A. BONNET, PADRE

Presentada

XV Congreso Latinoamericano de Química

Octubre 24-29, 1982

LA QUIMICA EN EL AMBIENTE DEL SUELO APLICADA A  
LOS SUELOS DE PUERTO RICO

Por

Juan A. Bonnet, padre\*

CONTENIDO

RESUMEN EN EXTENSO .....	1
INTRODUCCION .....	3
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES Y ANIONES .....	5
La Floculación y el Potencial Zeta .....	7
CARGAS ELECTRICAS NEGATIVAS Y POSITIVAS Y METODOS QUIMICOS .....	8
LA NUEVA CLASIFICACION TAXONOMICA DE LOS SUELOS DE PUERTO RICO CON SUS CARGAS ELECTRICAS NEGATIVAS Y POSITIVAS .....	10
CONCLUSION .....	12
REFERENCIAS .....	13
CUADROS: 1, 2, 3, 4 .....	14
FIGURAS: 1, 2, 3, 4 .....	19

---

\*Profesor Emérito Recinto Universitario de Mayaguez

RESUMEN EN EXTENSO

LA QUIMICA EN EL AMBIENTE DEL SUELO APLICADA A  
LOS SUELOS DE PUERTO RICO

Por

Juan A. Bonnet, Padre\*

La composición física aproximada por volumen de un suelo normal consiste de una cuarta parte de Aire y Agua, respectivamente y una mitad de Sólidos Minerales y Orgánicos, 45 y 5% respectivamente. La reacción físico-química más importante en el ambiente de los suelos es la Capacidad de Intercambio de Cationes sobre lo cual hemos investigado y publicado datos de las Series de Suelos clasificadas en Puerto Rico. Falta información sobre la Capacidad de Intercambio de Aniones y las Cargas Positivas y Negativas de nuestros suelos que sirvan de base para entender mejor las reacciones químico-físicas complejas entre las sustancias minerales y orgánicas coloidales contaminantes y los minerales en la fracción arcilla (menos de .002 mm) de las Series de Suelos y la materia orgánica.

El competente químico americano, Dr. A. Mehlich, publicó en 1981 un valioso trabajo donde explica cómo se distribuyen las cargas negativas y positivas en las Series de Suelos; las divide en tres negativas: Constante, CECc: Variable, CECv; y Total, CECt: y una positiva, Intercambio de Aniones, AEC: Los datos fueron obtenidos de los análisis químicos hechos en muestras de suelos según se describen en este trabajo.

---

\*Profesor e Investigador Emérito del Recinto Universitario de Mayaguez

Un nuevo Survey de Suelos de Puerto Rico fué terminado en 1976 por el Servicio de Conservación de Suelos del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos en cooperación con el Colegio de Ciencias Agrícolas del Recinto de Mayaguez de la Universidad de Puerto Rico. Seis informes basados en divisiones geográficas se han publicado: Area de Lajas, de Mayaguez, de Humacao, de San Juan, Ponce y de Arecibo. Se han clasificado 163 Series de Suelos que ahora se han dividido en nueve Ordenes Taxonómicas: Alfisol, Ultisol, Histosol, Inceptisol, Mollisol, Spodosol, Oxisol, Ultisol, y Vertisol. Estas Ordenes son descritas en este trabajo. Muestras representativas de los perfiles de suelos de las Series de Suelos clasificadas han sido tomadas, descritas y analizadas por métodos físicos y químicos que incluyen los mismos métodos químicos usados por el Dr. Mehlich para calcular las cargas eléctricas negativas y positivas de los suelos.

He calculado las tres cargas eléctricas Negativas y una Positiva, ASC, Capacidad de Adsorción de Aniones, para algunas muestras representativas del perfil de algunas Ordenes Taxonómicas de Puerto Rico que se informan por primera vez.

## INTRODUCCION

La composición física aproximada por volumen de la capa superficial arable de un suelo normal es: Aire - 25%; Agua - 25%; Materia Mineral - 45% y Materia Orgánica - 5% (Fig. 1). El suelo con buena ventilación tiene una composición en su aire similar al de la atmósfera; pero generalmente tiene .25% de bióxido de carbono; ocho veces más y concentraciones algo más altas de metano y sulfuro de hidrógeno debido a la descomposición de la materia orgánica por los microorganismos activos presentes.

El aire del suelo se contamina cuando el oxígeno se reduce o falta para la respiración de las células radicales de las plantas debido a una condición anaerobia producida por inundación o subida del nivel freático a la superficie o por la Demanda de Oxígeno Biológico (BOD) requerida por los microorganismos para los procesos biológicos.

El agua o la solución del suelo se contamina con el exceso de sales solubles y sustancias tóxicas solubles, con los desperdicios industriales y aguas negras y con los insecticidas persistentes que no son descompuestos por los microorganismos del suelo del tipo de hidrocarburos clorinados como: DDT, Aldrin, Dieldrin, Heptaclor, Lindano, etc., que se acumulan en los tejidos celulares de las plantas, los organismos y peces. Los insecticidas fosfororgánicos como: Malación, Paración, etc., y los del tipo Carbonato son descompuestos rápidamente.

Los suelos se contaminan y se vuelven infértiles cuando se convierten de normales a suelos salinos, salinos sódicos y sódicos, debido a la acumulación de sales sódicas o por efecto de un cambio de la atmósfera radical aerobia a una anaerobia que aumenta su acidez debido a la liberación del gas,

---

\*Profesor e Investigador Emérito del Recinto Universitario de Mayaguez

sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ) producido por bacterias específicas que reducen los sulfatos presentes. Este gas es tóxico y mata las raíces de las plantas excepto las similares al arroz y mangle, que tienen una estructura específica que deja pasar el oxígeno de la atmósfera por los tejidos celulares de los tallos y lo lleva al extremo de las raíces para su proceso de respiración; se forma óxido férrico o un complejo de óxido férrico-óxido ferroso en la superficie de las raíces del arroz que es reducido por el gas  $H_2S$  para formar piritas,  $FeS_2$ ; reacción química que protege la raíz del arroz. Un suelo deficiente en hierro reduce el rendimiento de arroz.

Los suelos están sirviendo ahora de cementerios para desperdicios de sustancias tóxicas complicadas difíciles de identificar por análisis químicos. Es necesario conocer como actúan los suelos en relación con los procesos físico-químicos relacionados con el intercambio, adsorción y desadsorción de cationes y aniones. Algunos datos presentados aquí los he tomado de la reciente publicación de la Sociedad Americana de Agrónomos (1) que informa nuevos conocimientos profesionales disponibles sobre el tema de esta ponencia.

## CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES Y ANIONES

La Capacidad de Intercambio de Cationes y Aniones ocurre principalmente en las partículas con menos de .002 de milímetro de diámetro en la fracción arcilla del suelo y en la materia orgánica; es la reacción físico-química más importante de los suelos. La fracción arcilla se compone de dos grupos amplios; uno de silicatos de aluminio que son minerales cristalinos como la caolinita, la montmorillonita y las micas con estructuras específicas (Fig. 2), y el otro, de óxido hidratados de hierro y aluminio que son amorfos; ambos grupos están mezclados con otros minerales incluyendo el silíceo. El núcleo de cada partícula cristalina de arcilla constituye una micela con una carga eléctrica negativa bordando su superficie; tanto externa como interna. La micela es un anión gigante, en sentido figurado, saturado de cationes (Fig. 3). La selección del catión intercambiable absorbido por la micela depende del catión en la solución del suelo y del clima de la región. En la región húmeda; los cationes: Hidrógeno (H+) y Calcio (Ca++) se absorben primero; le siguen los de Magnesio (Mg+) y luego los de Amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), Potasio (K+) y Litio (Li++) (Cuadro 1). En los suelos con buen drenaje de la región árida, los cationes de calcio y magnesio se absorben primero; los de sodio y potasio le siguen y el de hidrógeno es el último. Cuando los suelos de la región árida no tienen buen drenaje y se acumulan sales solubles, los cationes de sodio son absorbidos, en menor y mayor cantidad que los de calcio convirtiéndose los suelos en salinos, salino-sódicos o sódicos, alcalinos, que contribuyen en contaminar el suelo y reducir su productividad al mínimo. En la región húmeda, la pérdida de los cationes básicos lavados por las lluvias favorece mayor absorción de los cationes de hidrógeno en los ácidos inorgánicos y orgánicos del suelo y se acentúa la formación de los



suelos ácidos. Otros cationes intercambiables pueden estar también presentes en cantidades pequeñas como los de hierro ferroso, manganeso, aluminio y zinc.

## LA FLOCULACION Y EL POTENCIAL ZETA

La floculación es la coagulación o precipitación de la materia coloidal en suspensión. La dispersión de la materia mineral, orgánica o mineral-orgánica, en el agua del suelo, se conoce en la Química Coloidal como un Sol Sólido-Agua; en este caso; un Sol Suelo-Agua. La regla Schulze-Hardy prescribe que un Sol es floculado por cargas eléctricas opuestas a los coloides dispersos. Un Sol Suelo-Agua tiene generalmente carga negativa. Los iones trivalentes como Aluminio ( $Al^{+++}$ ) son más eficaces en causar la floculación que los iones bivalentes, Calcio ( $Ca^{++}$ ) y Magnesio ( $Mg^{++}$ ) y éstos más que los iones monovalentes, Sodio ( $Na^{+}$ ) y Potasio ( $K^{+}$ ). El hidrógeno ( $H^{+}$ ) es una excepción (Cuadro 1).

El poder de floculación de un catión depende de lo que se llama, Potencial Zeta; la caída potencial expresada en milivoltios desde el borde exterior de la micela hasta un punto de la solución (Fig. 3). El Potencial Zeta está relacionado con el tamaño del catión, con su poder de hidratación y de floculación y con la eficiencia del catión en desplazar otros cationes (Cuadro 1). La floculación se produce cuando el Potencial Zeta tiene un valor alrededor de 42 milivoltios; se obtiene añadiendo una solución de cloruro de potasio a arcillas saturadas con iones respectivos. El Potencial Zeta de sodio es alrededor de 57.5 milivoltios; más alto que el de calcio que es 52.5. No debe confundirse la propiedad de floculación con la agregación de las partículas minerales-orgánicas y otros agentes que ayudan a cementarlas.

## CARGAS ELECTRICAS NEGATIVAS Y POSITIVAS Y METODOS QUIMICOS

Todo lo presentado aquí sobre cargas eléctricas negativas y positivas, Capacidad de Intercambio de Cationes y Aniones, lo he tomado de la valiosa contribución del Químico, Dr. A. Mehlich (1) publicada en 1981. Los nuevos conocimientos disponibles sobre las reacciones físico-químicas de Cargas Eléctricas y de Capacidad de Intercambio y Absorción de Aniones tienen gran importancia en la clasificación y fertilidad de los suelos en sus relaciones con el agua y la descomposición de los plaguicidas y desperdicios sólidos minerales y orgánicos, de origen animal, industrial y municipal.

Las Cargas Eléctricas de los suelos se dividen en negativas y positiva; incluyen cuatro grupos: tres negativas con capacidad de Intercambio de Cationes que se denominan: Total, CECT, constante, CECc; y variable, CECv; y una positiva con Capacidad de Intercambio de Aniones y de Absorción-Desadsorción de Aniones, AEC. Mehlich (1) informa que la diferencia entre CECT y CECc es igual a CECv. Los valores de todas estas cargas eléctricas se expresan como miliequivalentes por 100 gramos de suelo seco, Meq/100g.

La carga eléctrica total, CECT, se determina sumando los Meq/100g, de las bases metálicas intercambiables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{Al}^{+++}$ ) extraídas en la muestra de suelo con una solución neutral de acetato de amonio,  $\text{NH}_4\text{OAc}$  a pH 7.0 y los Meq/100g de la Acidez Intercambiable, EA, extrayendo la muestra de suelo con una solución amortiguadora de cloruro de bario,  $\text{BaCl}_2 \cdot 0.05\text{N}$  y de TEA, trietanolamina.  $(\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH})_3\text{N}$ , 0.2N ajustada a pH 8.2 y titulando el extracto con una solución de HCl, 0.2N, por el método 5A3A, recomendado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (5). La carga eléctrica CECc es igual a la suma de los Meq/100g de las

bases intercambiables ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) determinadas individualmente en otra muestra de suelo por el método 5B1a de SCS (5) y del aluminio intercambiable,  $\text{Al}^{+++}$ , determinado en otra muestra de suelo extrayendo con una solución de fluoruro de potasio, KF, normal por el método GG1d, de SCS (5). La diferencia entre los Meq/100g de Acidez Intercambiable, EA y los de la carga negativa variable,  $\text{CEC}_v$ , es igual a los Meq/100g de la Capacidad de Intercambio de Aniones, AEC.

## LA NUEVA CLASIFICACION TAXONOMICA DE LOS SUELOS DE PUERTO RICO CON SUS CARGAS ELECTRICAS NEGATIVAS Y POSITIVAS

El nuevo Survey de los Suelos de Puerto Rico realizado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos en cooperación con el Colegio de Ciencias Agrícolas del Recinto Universitario de Mayaguez terminó en 1976. Informes para seis Areas Geográficas de Puerto Rico se han publicado: Lajas (3), Mayaguez (7), Humacao (8), Ponce (10) y Arecibo (11). Esta nueva re-clasificación sustituye la del Survey de Suelos de Roberts (2) de 1942) con 311 mapas de suelos, a escala 1:20,000. Las Series de Suelos se describen en los Informes incluyendo el perfil vertical consistente de los horizontes o capas en la superficie y subsuelo y el regolito o la roca madre descompuesta. Los datos obtenidos de los análisis químicos, físicos y mineralógicos de las muestras obtenidas de los horizontes y el regolito se informan para las Series de Suelos más importantes en el informe publicado por el Servicio de Conservación de Suelos, SCS, de los Estados Unidos (4).

Las 163 Series de Suelos en Puerto Rico clasificadas nuevamente se re-valoran taxonómicamente en cinco Categorías Superiores: Familia, Subgrupo, Gran Grupo, Suborden y Orden (Cuadro 2). La Categoría Superior, Orden, incluye nueve Taxa para Puerto Rico: Alfisol, Entisol, Histosol, Inceptisol, Mollisol, Oxisol, Spodosol, Ultisol y Vertisol descritas en el Cuadro 3. Este nuevo sistema taxonómico usado también para reclasificar los suelos de los 50 estados americanos e Islas Vírgenes se explica en el libro publicado en 1975 por SCS (6). Las cargas negativas constante, CECc, variable, CECv, y total, CECt, a base de Meq/100g, miliequivalentes por 100 gramos de suelo seco y las cargas negativas CECc, CECv, y la positiva con poder de Absorción-Absorción

de Aniones, ASC, a base de por ciento sobre CECt, se informan en el Cuadro 4 que incluye también el contenido de bases intercambiables;  $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ , y de aluminio,  $\text{Al}^{+++}$ , intercambiable y la clase de mineral dominante en la fracción arcilla del suelo.

## CONCLUSION

Todas las series de suelos y órdenes taxonómicas de Puerto Rico tienen tres cargas eléctricas negativas: CECt, total; CECc, constante, y CEC, variable, pero las series que incluyen las dos órdenes Oxisol y Ultisol tienen también carga positiva según revela el Cuadro 4. Estas Series y Ordenes de suelos contienen en su fracción arcilla, partículas menos de 2 micrones 0.002mm, de diámetro, los minerales caolinitas, oxídico y mixtos (K, O, y otros) cuya composición variable de silicatos de aluminio, sesquióxidos de hierro y aluminio e hidróxido de aluminio contribuyen a producir aluminio intercambiable con carga eléctrica positiva. Las otras Series de suelos principales dentro de las Ordenes taxonómicas: Alfisol, Entisol, Inceptisol y Vertisol tienen cargas eléctricas negativas solamente. El mineral, Montmorillomita influye sobre las series del orden Vertisol y algunas del orden Inceptisol, para que el suelo no tenga aluminio intercambiable. La diferencia entre los Meq/100g de los aniones intercambiables, EA y la carga eléctrica negativa variable,  $CEC_v$  y es igual al aluminio, Al intercambiable, obtenido por análisis de los suelos.

## REFERENCES

1. Mehlich, A., Charge properties in relation to sorption and desorption of selected cations and anions, p.47-75, Chemistry in the Soil Environment, ASA Special Publication No. 40, 259p., 1981, Amer. Soc. of Agronomy, Soil Science Soc. of America 677 South Segoe St., Madison, Wisconsin, 53711.
2. Roberts and Party, Soil Survey of Puerto Rico, USDA in cooperation with Agr. Exp. Sta. UPR, Series 1936 No. 8, 503pp., published in 1942 with soil maps and legend.
3. Soil Conservation Service, USDA, in cooperation with UPR Agr. Exp. Station, 1965. Soil Survey Lajas Valley, Area del Valle de Lajas, Puerto Rico Series 1961 No. 23, 170pp. with Soil maps and legend.
4. \_\_\_\_\_ Survey Laboratory Data and Descriptions for some soils of Puerto Rico and the Virgin Islands. Soil Survey Investigation Report No. 12, 191pp., 1967.
5. \_\_\_\_\_ 1972, Soil Survey Laboratory Methods and Procedures for Collecting Soil Samples. Soil Survey Investigation Report No. 1., 63 pp.
6. \_\_\_\_\_ Soil Survey Staff, Soil Taxonomy, A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Survey, Agric. Handbook No. 436, 754pp., 1975, Supt. of Documents, U.S. Printing Office, Washington, D.C. 20402, Price \$17.50.
7. \_\_\_\_\_ in cooperation with UPR College of Agriculture Sciences. Soil Survey of the Mayaguez Area of Western Puerto Rico, 296pp., 1975 with soil maps and guide of mapping units.
8. \_\_\_\_\_ Soil Survey of the Humacao Area, Eastern Puerto Rico, 103pp., 1977, with soil maps and mapping units.
9. \_\_\_\_\_ Soil Survey of San Juan Area, Puerto Rico, 142pp. 1978, with soil maps and mapping units.
10. \_\_\_\_\_ Soil Survey of Ponce Area of Southern Puerto Rico, 80 pp., 1979, with soil maps and mapping units.
11. \_\_\_\_\_ Soil Survey of Arecibo Area, Northern, Puerto Rico published in 1982 with soil maps and mapping units.



Cuadro 1 - Datos Importantes Relacionados con las Actividades de los Cationes en las Reacciones de las Micelas Coloidales

Cation	Radio del catión Angstrom ( $10^{-8}$ cm) Normal Hidratado		Velocidad de migración, micrones por segundo por voltio por cm	Orden de	
				Eficiencia de Desplazamiento	Poder de Floculación
Li <sup>+</sup>	.78	10.03	3.45	8	8
Na <sup>+</sup>	.98	7.90	3.31	7	7
K <sup>+</sup>	1.33	5.32	----	5	6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.43	5.37	3.48	6	5
Rb <sup>+</sup>	1.49	5.09	3.25	4	-
H <sup>+</sup>	.29	----	2.84	1	2
Ca <sup>++</sup>	1.06	9.60	3.27	2	3
Mg <sup>++</sup>	.78	10.80	3.18	3	4
Al <sup>+++</sup>	.57				1

Cuadro 2 - Número de Taxa y rasgos característicos de las seis categorías en la clasificación taxonómica de los suelos de Puerto Rico.

Categoría	Número de Taxa	Rasgos Característicos
Orden	9	Procesos en la formación de los suelos relacionados con su movimiento, adición o pérdida, transformación o translocación de material mineral u orgánico en el horizonte del suelo.
Suborden	22	Homogeneidad genética. Subdivisión de las Ordenes de acuerdo con la presencia o ausencia de propiedades asociadas con la humedad del suelo, del material de la roca madre o de efectos de la vegetación como la materia orgánica y cantidad de fibra en los suelos orgánicos de la Orden: Histosol.
Gran Grupo	38	Subdivisión de las Ordenes de acuerdo con clase similar, arreglo y grado de expresión de los horizontes con énfasis en la superficie (epipedón); estado de bases (calcio y magnesio), presencia o ausencia de capas moteadas con colores rojizos o duras que ayudan al diagnóstico.
Subgrupo	82	Concepto central del Taxa para el Gran Grupo y propiedades que indican intergradación a otro Gran Grupo y Ordenes; incluye 26 adjetivos que modifican al Gran Grupo y Cuadro 6.
Familia	51	Incluye una combinación de clases del tamaño de partículas, clases mineralógicas, clases calcáreas y de reacción; clases de temperatura del suelo y clases de la profundidad del suelo.
Series	163	Declive del Suelo, clase y arreglo de los horizontes, color, textura, estructura, consistencia y reacción y las propiedades químicas y mineralógicas de los horizontes.

Cuadro 3 - Descripción de las Nueve Ordenes de Suelos Clasificados en Puerto Rico

Orden	Descripción
Alfisol	Un suelo mineral ácido sobre pH 5.0 con contenido moderado a alto de bases: calcio y magnesio, que tiene un horizonte argílico u arcilloso de diagnóstico en el subsuelo que reduce la permeabilidad; sostiene la humedad por lo menos 3 meses del año. Alf, no tiene significado. La saturación de bases por suma de cationes es 35% o más a una profundidad de 1.25m debajo del límite superior del horizonte argílico, o a 1.8m debajo de la superficie o sobre un contacto lítico con una roca o materia dura; tiene una permeabilidad que se inclina a ser baja debido al horizonte argílico.
<u>Entisol</u>	Un suelo mineral joven que no ha desarrollado sus horizontes en la superficie y subsuelo. Los hay ácidos, pH 5.0 o menos y no ácidos, pH 5.0 o más y calcáreos; indica juventud.
<u>Histosol</u>	Suelo orgánico con más de 50% de materia orgánica por volumen; de 12 a 18% de carbón orgánico saturado con agua y 20% sin estar saturado: <u>Ist</u> derivado del griego histo, tejido. La materia orgánica se deriva de los tejidos vegetales que quedan como fibra o descompuestos en humus.
<u>Inceptisol</u>	Un suelo mineral que empieza a señalar cambios incipientes en la formación de sus horizontes y alteración de la roca madre descompuesta; no hay acumulación de arcilla en el subsuelo; son suelos no-estables en las laderas inclinadas de la región montañosa; <u>ept</u> indica incipiente.
<u>Mollisol</u>	Un suelo mineral fértil con un epipedón (capa de la superficie) mólico de diagnóstico, profundo, oscuro, rico en humus y en bases, calcio y magnesio; formado bajo una vegetación herbácea en un medio rico en materia orgánica en la presencia de calcio; tiene buena permeabilidad y es calcáreo; <u>oll</u> significa suelo, fácil de laborar. El epipedón mólico tiene un contenido de 50%, o más de saturación de bases; el de carbón orgánico es 2.5% o más en los 18cm superiores que a veces baja a 0.6% (1% de materia orgánica); posee una buena reserva de calcio, magnesio, potasio y nitrógeno si el suelo no ha sido cultivado intensamente; la materia orgánica le proporciona una capacidad alta de intercambio de cationes que protege la planta de efecto de toxicidad por el aluminio y manganeso; posee buena permeabilidad.
<u>Oxisol</u>	Suelo mineral de la región húmeda, pobre en bases, calcio y magnesio, con declive moderado altamente intemperizado, de poca fertilidad, con buena permeabilidad, color rojo pardo a rojo oscuro debido a la acumulación de sesqui-óxido de hierro y aluminio que forman parte de la fracción arcilla. Estos sesquióxidos no se expanden o contraen como ocurre con la arcilla y no se agrietan. El mineral dominante en la arcilla es caolinita que está mezclado con los sesquióxidos libres, cuarzo y materia orgánica formando un horizonte óxico a una profundidad dentro de 2 metros o conteniendo una fase continua de plintita dentro de 30 cm de la superficie saturada con agua alguna parte del año. Algunos conservan más bases y son más fértiles; <u>ox</u> indica la presencia de un horizonte óxico. Beinroth, F. H. indica los óxisoles en la publicación de Buol(1).

Continuación

Cuadro 3 - Descripción de las Nueve Ordenes de Suelos Clasificados en Puerto Rico

Orden	Descripción
<u>Spodosol</u>	Suelo Mineral ácido con un horizonte espódico compuesto de materia orgánica y aluminio, con o sin hierro, de zona fría o templada con capa superficial delgada formada de arena gruesa; <u>od</u> indica la presencia de un horizonte espódico.
<u>Ultisol</u>	Un suelo mineral de poca fertilidad con un subsuelo arcilloso de poca permeabilidad producto de la descomposición última de los compuestos de silicato de hierro, magnesio y aluminio de la roca madre en las fracciones de arena, limo y arcilla que forman las texturas de los suelos. El suelo ha perdido por lixiviación de la lluvia grandes cantidades de bases y arcilla que se depositan en el subsuelo; el subsuelo es más ácido que la superficie debido a la presencia de aluminio depositado como hidróxido de aluminio en las estratas del subsuelo; <u>ult</u> significa último.
<u>Vertisol</u>	Un suelo mineral arcilloso que se raja con aberturas de 1 cm o más de espesor a una profundidad de 50 cm hasta un metro o más durante la sequía y se extiende hasta la superficie o a la profundidad del suelo arable; tiene 30% o más de arcilla; el mineral dominante es la montmorillonita; <u>ert</u> indica propiedad de agrietarse.

Cuadro 4. Cargas negativas y positivas incluyendo bases metálicas intercambiables y Acidez Intercambiable de seis Ordenes Taxnómicas con 19 Series de Suelos de Puerto Rico.

Orden	Series	Base Meq/100g	Al Meq/100g	EA*	Cargas			Negativas			Carga Positiva		Mineral Dominante
					CEC <sub>c</sub>	CEC <sub>v</sub>	CEC <sub>t</sub>	CEC <sub>c</sub>	CEC <sub>v</sub>	CEC <sub>t</sub>	ASC % de CECT	% de CECT	
Alfisol	Vega Baja	12.8	20.0	16.2	32.8	-3.8	29.0	113.1	-13.1	68.9		m	
Inceptisol	Múcara	41.9	0	12.3	41.9	12.3	54.2	77.3	22.7	0		M	
Mollisol	Toa	18.6	0.5	15.4	19.1	14.9	34.0	56.2	43.8	0.02		m	
Oxisol	Catalina	7.2	2.7	21.9	9.9	19.2	29.1	34.0	66.0	41.2		0	
	Coto	6.3	4.0	15.9	10.3	11.9	22.2	46.4	53.6	25.2		k	
	Nipe	2.9	5.0	31.9	7.9	26.9	34.8	22.7	77.3	14.4		0	
	Aibonito	4.1	10.4	18.8	14.5	8.4	22.9	63.3	36.7	45.9		0	
	Corozal	10.4	12.2	11.8	22.6	-0.4	22.2	101.8	-1.8	55.0		m	
	Daguey	11.8	7.9	14.1	19.7	6.2	25.9	76.0	24.0	22.8		0	
	Humatas	4.4	8.6	31.5	13.0	22.9	35.9	36.2	63.3	24.0		k	
	Ingenio	6.0	12.1	12.7	18.1	0.6	18.7	96.8	3.2	64.7		m	
	Lares	8.1	20.2	26.6	28.3	6.4	34.7	81.6	18.4	58.2		m	
	Limones	4.7	6.2	14.2	10.9	8.0	18.9	57.7	42.3	32.8		k	
	Los Guineos	5.4	16.9	18.7	22.3	1.8	24.1	92.5	7.5	70.0		m	
	Sabana Seca	2.0	10.9	23.6	12.9	12.7	25.6	50.4	49.6	43.0		m	
	Vega Alta	8.8	14.7	12.8	23.5	-1.9	21.6	109.3	-9.3	68.1		m	
Vertisol	Cartagena	58.6	0	7.6	58.6	7.6	66.2	88.5	11.5	0		m	
	Fraternidad	40.5	0	10.2	40.5	10.2	50.7	79.1	20.9	0		m	
	Mabí	17.6	0	16.9	17.6	16.9	34.5	51.0	49.0	0		M	

\* Clase de Mineral; m-Mixto; M-Montmorillonita; k-Caolinita; O-Oxídico

\*EA - Acidez Intercambiable

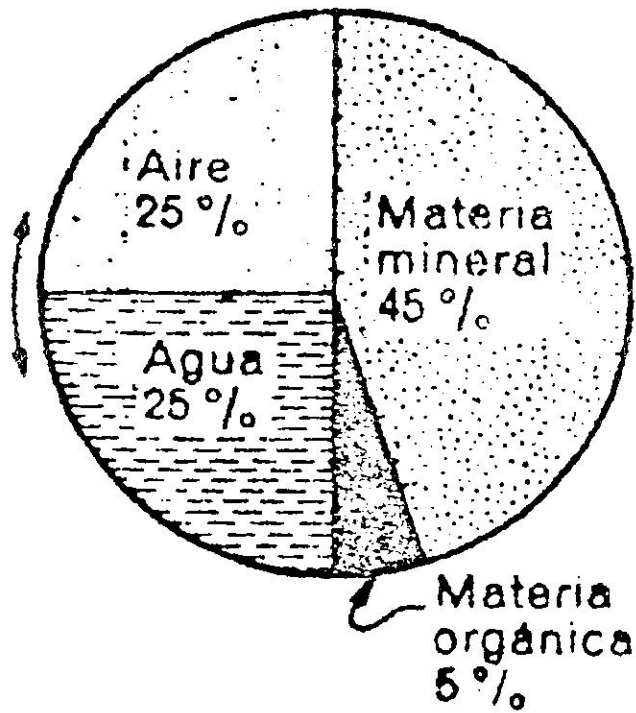


Fig. 1 - Composición física aproximada por volumen de la capa superficial arable de un suelo normal.

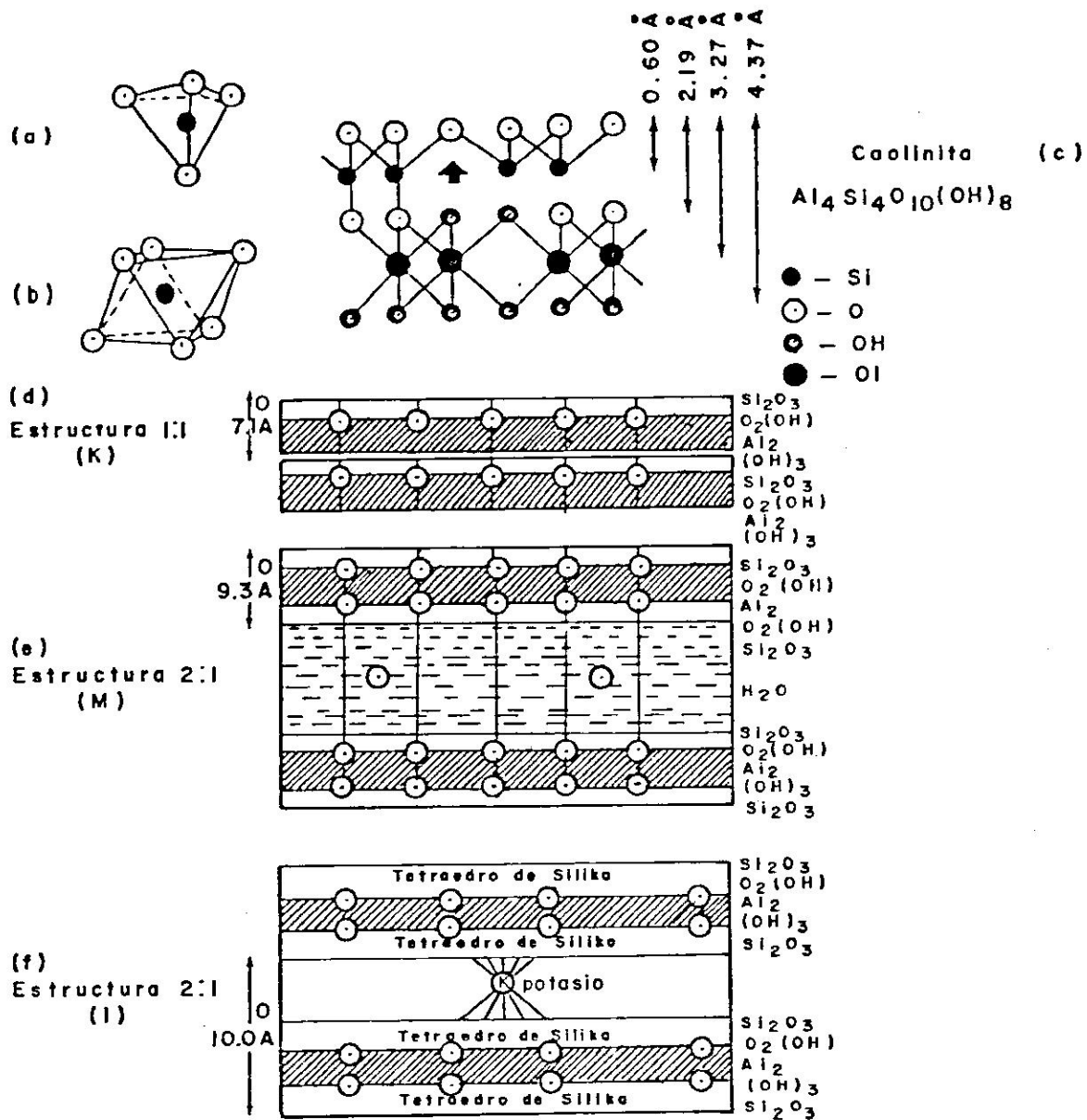


Fig. 2 - Estructuras: (a), Tetraedro de Silica; (b), Octaedro de alúmina; (c), (d), (e), (f), vistas de lado: caolinita (K), niotmonllonita (M), ilita (I), Las distancias entre las flechas están expresadas en unidades Angstrom (Å); un Å igual a  $10^{-8}$  cm.

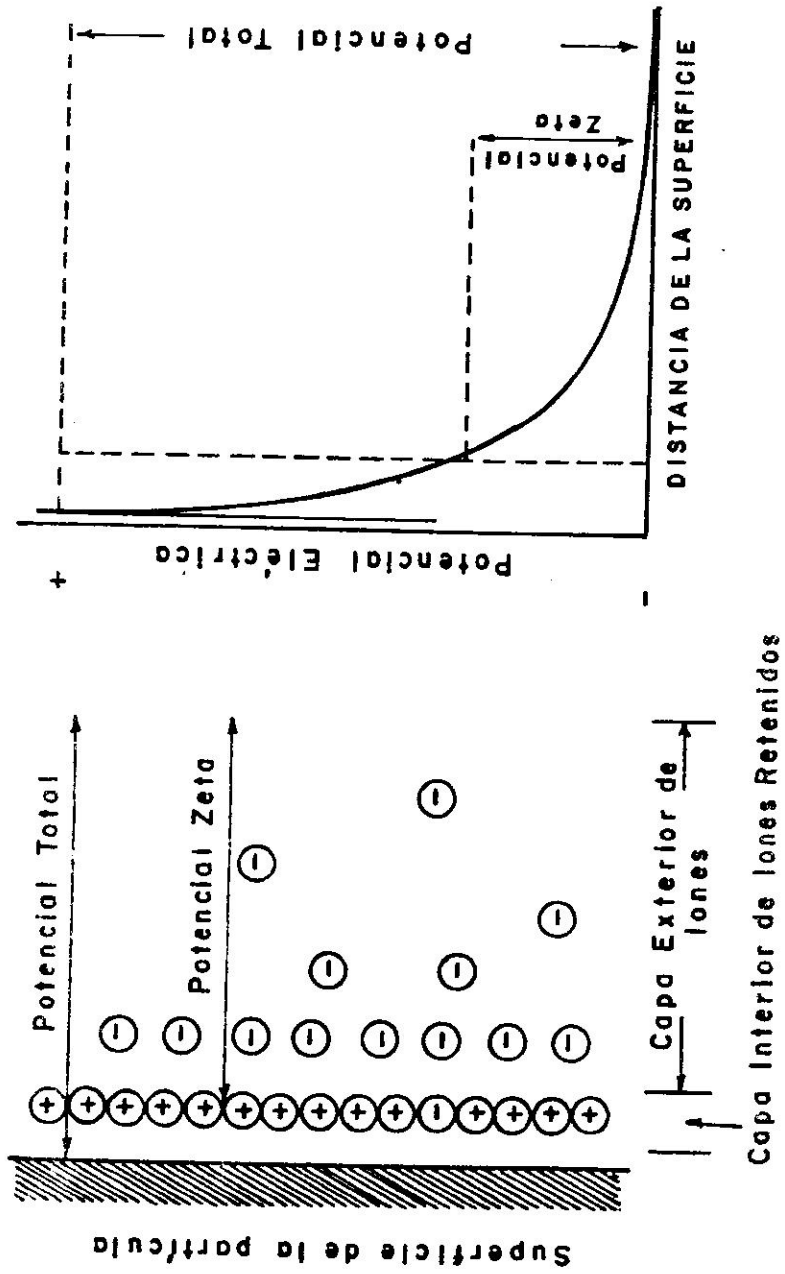


Fig. 3- La doble capa de la micela de arcilla y el potencial eléctrico zeta.



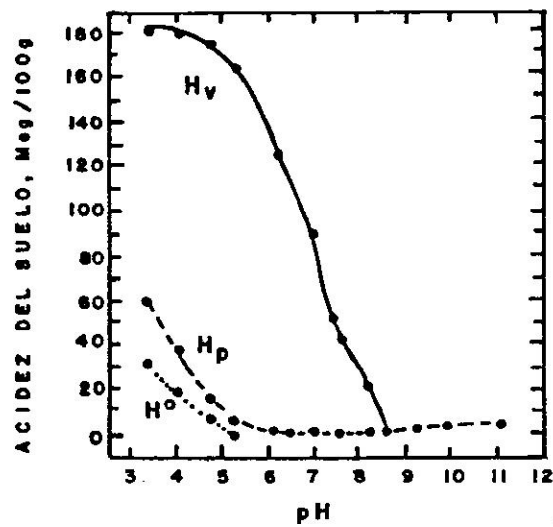


Fig.4 - EFECTO DE  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  SOBRE LA NEUTRALIZACION DE ACIDEZ EN UN HISTOSOL (muck) EN RELACION AL pH PUBLICADO POR MEHLICH ( ).