

REVISTA FACULTAD NACIONAL DE AGRONOMIA

DIRECTOR: GILBERTO GUERRA E. I. A.

Vol. XX

Diciembre de 1960

Nº 55

Apartado aéreo 568 — Dirección postal: Facultad Nal. de Agronomía
BIBLIOTECA — Medellín - Colombia S. A.
TARIFA POSTAL REDUCIDA, REGISTRO Nº 648
DEL MINISTERIO DE COMUNICACIONES

SUPERFICIE ESPECIFICA Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES EN VARIOS SUELOS COLOMBIANOS *

OSCAR OSPINA L. **

INTRODUCCION

El estado actual del conocimiento de nuestros suelos exige una inversión parcial de los procedimientos generales de estudio adoptados para la búsqueda de una más benéfica utilización de aquéllos. La forma de aproximación a la resolución de los problemas edáficos y pedológicos de este país se fundamenta —en la mayoría de los casos— en la adopción de sistemas y técnicas que han probado ser satisfactorios en otras latitudes, olvidando de paso que la aplicación de tales procedimientos se está llevando a cabo sin la más elemental revisión de los conocimientos teóricos básicos y con la más mínima apreciación de la composición y constitución de los suelos.

Si bien es cierto que las circunstancias actuales no permiten la dedicación exclusiva de todo esfuerzo al estudio y comprobación de las leyes o principios fundamentales de la ciencia del suelo en nuestro medio, tampoco es aceptable ir a la búsqueda de todas las soluciones con un conocimiento "a priori" basado en experiencias foráneas, las más de las veces no aplicables a estos suelos. Ambos puntos de vista se podrían conjugar en una sola actitud, cual es la de echar mano de técnicas actuales que alivien momentáneamente la situación presente pero que al mismo

* Trabajo de tesis presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo.

** Profesor de Suelos de la Facultad.

tiempo se utilicen para clarificar o relieves los fundamentos que darán las bases para el desarrollo de técnicas más juiciosas. Cuando los principios son entendidos a cabalidad, el modo y la forma de utilizarlos generalmente se encuentran rápidamente; pero sin un conocimiento de aquéllos, los procedimientos serán siempre empíricos.

La determinación de la superficie específica de los materiales del suelo por medio del método de retención de etileno glicol ha traído a la luz una forma nueva de estudio para la solución de interrogantes que velan aún la concisa interpretación del conocimiento que hoy se tiene de los suelos.

Cualquier intento de caracterización de la actividad superficial de los suelos justifica tal fin por cuanto con ello se allega más información y se simplifican ciertas investigaciones relacionadas con la alimentación de las plantas en la fase sólida. Es de recordar que el ambiente catiónico de una raíz en un sistema mixto de iones mono y divalentes, es enteramente diferente en un suelo eléctricamente dominado por caolinita que en otro similar dominado por montmorillonita. La reacción de los fertilizantes fosfatados depende, entre otros factores, de la naturaleza y cantidad de superficie expuesta por las partículas del suelo; un conocimiento de estas propiedades ayudaría a resolver la sinética del intercambio entre el fósforo adsorbido y el soluble, así como el mecanismo de fijación de dicho elemento.

El aspecto de identificación de arcillas es otro inquietante problema, que exige inmediata solución. Normalmente los métodos para estimar la naturaleza de la fracción menor de 2 micras en los suelos se han basado en la defracción de rayos X, análisis térmico diferencial, análisis químico para constituyentes característicos y capacidad de intercambio de cationes. Ninguno de ellos es enteramente adecuado para la caracterización de las arcillas, aunque el uso combinado de varios de ellos da resultados que son dignos de confianza. No obstante, la presencia en los suelos de minerales de tipos laminares diferentes que disfrutan en parte de la propiedad de expansión o hinchamiento y capacidad de intercambio, pone ciertas dudas sobre el tipo de análisis a seguir. El método analítico desarrollado por Dyal y Hendricks y adoptado en el presente trabajo, mide la expansión interplanar y se adapta fácilmente para la diferenciación general de las arcillas en expandibles y no expandibles.

Muchos problemas relacionados con la génesis del suelo están estrechamente relacionados con los coloides minerales de éste y así, una medida de la retención del etileno glicol, ayudaría en la descripción de los suelos y reemplazaría, en parte, la necesidad de los análisis minera-

lógicos. En suelos inmaduros el cambio de superficie específica con el tiempo, bajo condiciones de laboratorio arbitrariamente fijadas, introduce el concepto de índice de meteorización y ayudaría a la clasificación de los suelos para propósitos tales como adaptación de cultivos y aplicación de fertilizantes.

El presente trabajo es una iniciación al estudio de la actividad superficial de algunos suelos de Colombia en relación con ciertas propiedades físicas y químicas de los mismos. Al realizarlo se tuvo presente más que todo el propósito de introducir dos técnicas simples y relativamente recientes que, en buenas manos, ayudarán a esclarecer y asentar ciertos conocimientos fundamentales para la mejor utilización y manejo de los suelos del país.

REVISION DE LITERATURA

Las propiedades físicas y químicas de los suelos son una función de su actividad superficial, la cual está dada por la superficie específica de las partículas que componen el suelo. Hasta hace algunos años se reconocía únicamente a la fracción arcilla (entre los componentes de la parte inorgánica) como la sola responsable de poseer actividad superficial y por consiguiente, ser el asiento de las principales reacciones que tenían lugar en los suelos. Sin embargo, recientemente se ha venido demostrando que las fracciones limo y arena también contribuyen en cierto grado a la capacidad de reacción del suelo; de ahí que la mayoría de los estudios publicados sobre superficie específica se refieran a resultados obtenidos sobre arcillas, lo cual ha venido sosteniendo un concepto algo viciado sobre la verdadera naturaleza de la actividad superficial.

El creciente interés por el conocimiento del fenómeno de la fase sólida en las partículas del suelo ha llevado a los investigadores a estudiarlo bajo distintos puntos de vista. Para hacer más concisa la revisión de los trabajos anteriores, se agruparán éstos de acuerdo con los métodos generales propuestos.

I - METODOS BASADOS EN EL TAMAÑO DE LAS PARTICULAS

Los estudios al respecto se han basado en el supuesto de que la capacidad de reacción de las partículas es una función del diámetro de las mismas. F. H. King en 1899, citado por MacKower *et al.* (29), fue el primero en computar la superficie específica de algunos suelos al asumir que estaban compuestos por partículas esféricas de cierto diámetro. El mismo autor encontró cierta correlación entre dicha propiedad y la composición química del coloide. Más reciente, Puri (57) es quien ha con-

tinuado dicha trayectoria y para tal efecto obtuvo distintos separados por medio del análisis mecánico a los cuales asignó diámetros determinados de acuerdo con la ley de Stokes. La forma aritmética de computar superficie específica por este método es bastante simple. Si bien encontré una estrecha semejanza entre los valores hallados por dicho procedimiento y al aplicar la fórmula semiempírica de Orchiston (52), los resultados en general sólo dan una ligera idea de la verdadera actividad superficial en las partículas de dimensiones coloidales, por cuanto parte del supuesto de que tales partículas tienen forma esférica lo cual es falso a la luz de la naturaleza misma de aquéllas. Consecuentemente, excluye tal tratamiento la contribución que hace a la superficie específica total, la misma superficie interna que manifiesta cierto tipo de arcillas. El mismo autor en colaboración con Singh y Sharma (58), hace depender la capacidad de reacción de los suelos de las solas forma y tamaño de las partículas más bien que de su naturaleza, al decir que el poder de intercambio depende mucho más del área superficial expuesta que de la composición química de la muestra. Aunque se ha reconocido (22) que al disminuir el tamaño de las partículas aumenta su área superficial por unidad de peso o volumen, el hecho es que tal aumento en sí no es el único ni el principal responsable de la actividad superficial que puede exhibir cierto tipo de superficies, ya que como lo explica Kelley (24), sustancias que exhiben una alta superficie específica no tienen o acaso sí, una muy ligera capacidad de reacción. Jurinak (19) establece que el conocimiento de la naturaleza de la superficie es factor primordial en los fenómenos de adsorción.

II - METODOS BASADOS EN LA ADSORCION DE VAPOR DE AGUA

Del estudio de numerosas investigaciones acerca de la adsorción de moléculas de agua por los coloides arcillosos, se desprende que dicho fenómeno es una función de las fuerzas de atracción sobre la superficie de las partículas. Estas fuerzas están asociadas con la naturaleza química y mineralógica de la red cristalina. Mitscherlich, citado por Baver (2), asumió que la cantidad de vapor de agua adsorbido por un suelo era proporcional a la superficie total y trató de calcular ésta en base a que el agua estaba presente como una capa monomolecular. En 1955 y 1953, Orchiston (52, 53) utilizó la adsorción de vapor de agua a 25°C. sobre muestras de arcilla calentadas a 600°C. y sin calentar, con el fin de determinar la superficie específica interna y externa de dichos materiales. Al querer comprobar la utilidad de este método para tal fin, Quirk (59) no encontró ninguna relación entre los valores así obtenidos y los encontrados por el método de adsorción de N a bajas temperaturas; dicho autor explica que las diferencias encontradas fueron debidas a variacio-

nes en la densidad de carga de las superficies. Sin embargo, las razones más acertadas para atribuir tales diferencias son las de que la presión de vapor relativamente alta del agua forma "solvados" incompletos, además de tener una fuerte tendencia a continuar la red cristalina en el eje de la C, tal como explican Sor y Kemper (65). De ahí que tales dificultades técnicas excluyen la adsorción de vapor de agua como método práctico para determinar superficie específica.

III - METODOS BASADOS EN LA ADSORCION DE GASES

El empleo de moléculas gaseosas para la determinación de superficie específica en sólidos se inició en 1938 cuando Brunauer, Emmett y Teller, citados por Emmett *et al.* (11) desarrollaron un método basado en la adsorción de N a bajas temperaturas. Este método, y los demás que utilizan gases o líquidos polares, se fundamentan en la ecuación desarrollada por Langmuir la cual fue derivada basándose en el hecho bien conocido de que un sólido tiene estructura cristalina y su superficie es como un tablero de ajedrez con átomos distribuidos en una forma ordenada. Cada átomo en la superficie tiene valencias libres o no satisfechas las cuales están disponibles para recibir una y solamente una molécula de la fase gaseosa o en solución. Permanentemente hay un vuelo continuo de moléculas de la fase externa a la superficie y viceversa. La rata a la cual las moléculas son adsorbidas depende de tres factores: 1) El número de moléculas (5) que golpean a la superficie por segundo; 2) la fracción (m) de moléculas incidentales que se adhieren; 3) El área (1 - g) que no está cubierta por moléculas adsorbidas, siendo g la fracción cubierta. La rata de desorción es gr, donde r es la rata de evaporación de una superficie completamente cubierta.

En equilibrio:

$$gr = ms (1-g) = ms - gms$$

$$g = \frac{ms}{r + ms}$$

Sustituyendo l por la constante m/r:

$$g = \frac{ls}{1 + ls}$$

Usando diferentes constantes a y b, el peso del material adsorbido y por unidad de superficie de material adsorbente está dado por la fórmula

$$y = \frac{abp}{1 + ap}$$

donde p es la presión del gas. Puede usarse concentraciones c en lugar de presiones; y puede considerarse proporcional al peso de material adsorbido por peso de material adsorbente. El supuesto de esta teoría es el de que en equilibrio se forma una sola capa molecular de sustancia adsorbida.

Emmett, Brunauer y Love (11) fueron quienes primero aplicaron el método de Brunauer *et al.* a la determinación del área superficial de los suelos y los coloides derivados de éstos. Esto sucedía en 1938. Ese mismo año, Makower, Shaw y Alexander (29) presentaron una extensión del trabajo de Emmett, Brunauer y Love (loc. cit.) pero aplicado ya a suelos correspondientes a los grandes grupos de los Estados Unidos; una de las principales conclusiones de este estudio fue la de que existe una amplia relación entre superficie específica y la composición química del coloide. En 1943 Nelson y Hendricks (50) demostraron que el método de Brunauer, Emmett y Teller aplicado a los coloides inorgánicos del suelo, únicamente mide la superficie externa de éstos, por cuanto las determinaciones se hacen en muestras previamente deshidratadas provocando que el eje C del cristal arcilloso esté al mínimo de amplitud y por consiguiente las moléculas del gas no puedan penetrar entre las láminas. Agregan los autores mencionados que el método de la adsorción de N es aplicable para la determinación de la cantidad de coloides en un suelo y de gran utilidad cuando no se puede lograr una buena dispersión de las partículas por el método de sedimentación. Vapores de dibromuro de etileno fueron utilizados por Jurinak y Volman (19) para determinar superficie específica en los suelos aplicando la fórmula desarrollada por Brunauer, Emmett y Teller; concluyeron que la adsorción de este gas también se limitaba a la superficie externa. En 1958 dichos autores desarrollaron una teoría termodinámica sobre la adsorción del mencionado gas.

Dentro de las pocas correlaciones en que se ha incluido la superficie específica de los suelos, cabe anotar la obtenida por Olsen y Watanabe (1957) al encontrar una estrecha correspondencia entre esta propiedad, determinada por el método de B.E.T., y la máxima adsorción del fósforo. Para ellos, los suelos ácidos retienen más P_2O_5 por unidad de superficie y con mayor energía de enlace que los suelos alcalinos. Esto puede ser debido a que, en términos generales, los suelos ácidos están dominados por coloides de tipo 1:1 en los cuales la naturaleza de la

carga es debida a enlaces rotos y grupos OH^- expuestos, además de que la densidad de carga por unidad de superficie es mayor.

En general, puede decirse de estos métodos que el propuesto por Brunauer, Emmett y Teller es el que da valores más exactos y todos ellos son bastante laboriosos para trabajos de rutina. Además, por estos métodos solamente se mide la superficie externa de las partículas lo cual los excluye como sistema práctico en estudios de suelos, aunque son de gran utilidad para confrontar valores de superficie externa obtenidos por otros procedimientos.

IV - METODOS BASADOS EN LA RETENCIÓN DE MOLECULAS POLARES

El fundamento de estos métodos se basa en la teoría general de la adsorción explicada anteriormente. La retención de moléculas polares por las superficies de las partículas del suelo es de naturaleza química y física. La propiedad que se mide por estos métodos es la retención por las arcillas, bajo condiciones de equilibrio, de algún compuesto que contenga predominantemente grupos hidroxilos. A bajas presiones el agua y algunos otros líquidos polares forman "solvados" incompletos; sin embargo, muchos glicoles forman "solvados" definidos que tienen baja presión de vapor relativo a la del líquido, lo cual permite darle más aceptación al supuesto de que, en equilibrio, se forma una sola capa monomolecular sobre la superficie expuesta por las partículas.

El método clásico, basado en la anterior consideración, fue el desarrollo por Dyal y Hendricks (9) en 1950, como medio simple para estimar cuantitativamente el contenido de montmorillonita en los suelos y consiste en la determinación gravimétrica directa de etileno glicol adsorbido en muestras de suelo o de arcilla. La selección de etileno glicol se basó en su razonable pero baja volatilidad al vacío a temperatura ambiente. Los autores mencionados hacen la consideración de que las moléculas orgánicas no penetran entre las láminas de la coalinita por razón del enlace hidrógeno que las une; en cambio, sí penetran entre las láminas de minerales hidratados (montmorillonita) ya que el enlace entre éstas es del tipo O-O. Se tiene hasta aquí que los minerales no expandibles o hidratables interlaminarmente no presentan superficie interna de adsorción y los expandibles sí, por consiguiente, la superficie específica total de estos últimos es considerablemente mayor que la de los primeros. Al deshidratar a 500°C . los minerales expandibles se destruye dicha propiedad y al saturarlos posteriormente con etileno glicol, éste ya no puede penetrar entre las láminas de la red cristalina. Mediante una serie de determinaciones del etileno glicol retenido por muestras en su estado natural y deshidratadas, es posible determinar el tipo general

de arcilla en un suelo ya que la retención de tal compuesto orgánico por una arcilla cualquiera tiene un valor único y las diferentes arcillas tienen valores de retención de etileno glicol considerablemente diferentes.

Dyal y Hendricks presentaron evidencias de mucho valor para establecer que la retención de etileno glicol es más digna de confianza que las mediciones de las intensidades de defracción de los rayos X para caracterizar las arcillas de los suelos.

La montmorillonita y la endelita (haloisita hidratada) son los únicos minerales arcillosos que forman solvados definidos con moléculas polares entre las capas estructurales; en presencia de un exceso de etileno glicol, en la montmorillonita se forman dos capas monomoleculares en lugar de una (9). En muestras que contengan vermiculita y haloisita la superficie específica determinada por este método no es el área total ya que la superficie interna es dos veces el área superficial hidratada, o sea que su presencia en los suelos da valores muy bajos (65).

Existen algunas modificaciones al método propuesto inicialmente por Dyal y Hendricks, sin llegar ninguna a afectar el fundamento general del procedimiento y solamente se refieren a la técnica en sí, buscando con ello adaptarlo más a determinaciones de rutina. A este respecto merece citarse las modificaciones propuestas por Bower y Gschwend (4), Mortland (46), Martin (36), Bower y Goertzen (5) y Sor y Kemper (65), las cuales han correlacionado bien con el método de B.E.T. La saturación de muestras de suelo y arcilla con glicerol y desorción en la estufa a 110°C. hasta obtener peso constante, es un nuevo método propuesto en 1959 por Mehra y Jackson (43) y el cual ha dado valores de superficie específica para la montmorillonita comparables con el valor teóricamente propuesto para tal mineral.

Al estudiar el efecto producido por los distintos cationes intercambiables sobre la retención de etileno glicol por las arcillas, se ha llegado a conclusiones que limitan en cierto grado de practicabilidad del método. Dyal y Hendricks (10) y Bower y Gschwend (4) demostraron que la presencia de cationes susceptibles de sufrir fijación (K y NH_4) reducían la retención de etileno glicol por la montmorillonita y la illita; esto lo explican como debido a que las arcillas saturadas con dichos cationes están en parte no solvadas y en parte contienen dos capas de etileno glicol. La retención total por suelos y bentonita saturados con Na y Mg es menor que la retención sobre las mismas muestras saturadas con H y Ca (4). Martin (36) explica que distintos cationes dan valores diferentes de retención de etileno glicol en montmorillonita como consecuencia de una asociación o coordinación diferencial entre los distintos ca-

tiones y el etileno glicol. En cambio, en caolinita y pirofilita la clase de catión intercambiable no influye en la retención de etileno glicol (49). Por lo tanto, conviene concluir con Bower y Gschwend (4) que el efecto variable de los distintos cationes intercambiables sugiere que desde un punto de vista de aplicación práctica, la retención total debe determinarse sobre muestras que no han sido alteradas con respecto a su contenido de cationes intercambiables.

De acuerdo con la bibliografía revisada, el método propuesto por Dyal y Hendricks es el que más aceptación ha tenido y el que ha dado valores más concordantes. Fuera de eso, su fácil ejecución e ilimitada aplicación lo sitúan dentro de los procedimientos de investigación más útiles para un conocimiento fundamental de los suelos.

Probablemente no hay un derrotero de investigación más promisorio, para el esclarecimiento de la adsorción e intercambio de cationes de los coloides del suelo, que el estudio de su comportamiento electrocinético. La relación entre los dos fenómenos es evidente por la forma como la naturaleza del catión adsorbido e intercambiable afecta a la carga eléctrica de las partículas del suelo. Los cambios en las propiedades físico químicas de las arcillas se explican como una función del número de "iones activos" sobre las partículas.

El poder de intercambio de cationes es una función de dos variables independientes: clase de superficie y cantidad de superficie. En cuanto concierne a la primera, es un hecho establecido (22) que el intercambio de cationes es una propiedad de cierta clase de superficies y no de otras, por cuanto diferentes minerales exhiben distintas clases de superficie debido a la naturaleza inherente de su estructura cristalina. En relación a la cantidad de superficie, es evidente que a mayor superficie de exposición, mayor será la capacidad de reacción de la sustancia que manifieste la propiedad de intercambio, alcanzando el máximo aquellas sustancias que se encuentren en estado coloidal. Sin embargo, conviene recordar que el intercambio de cationes no es una propiedad esencial de la materia en el estado coloidal, ya que de acuerdo con Kelley (24), sustancias tales como el azufre finamente dividido, el oro, el platino y ciertos sulfuros son ejemplos clásicos de sustancias coloidales, ninguna de las cuales manifiesta la propiedad de intercambio a no ser en una magnitud muy limitada.

En el estudio del intercambio de cationes de los suelos, además de considerar los factores mencionados y los puramente electrostáticos (diferentes cationes están retenidos con diferentes energías libres, etc.) se debe atender a las relaciones geométricas entre iones y superficies expuestas así

como a la distribución de la carga en relación con la estructura cristalina de la fase sólida (33).

La literatura sobre capacidad de intercambio de cationes es una de las más extensas en la ciencia del suelo; de ahí que solamente se presentará una revisión sobre el método basado en la titulación conductiométrica. Para una mejor documentación sobre el tema general se recomienda revisar la obra de Kelley (24).

El estudio electroquímico de las arcillas empezó con las titulaciones potenciométricas y conductiométricas de Bradfield sobre coloides ácidos preparados por electrodiálisis; su principal contribución fue la de que la montmorillonita se comporta en forma similar a un ácido débil (30). Hissink propuso la titulación conductiométrica con $\text{Ba}(\text{OH})_2$, como medio para determinar el H intercambiable de los suelos (6). Posteriormente distintos autores (12, 17, 56) han recurrido a estos métodos electroquímicos para estudiar las arcillas, y en 1955, Low (28) dijo que el Al puede determinarse conductiométricamente, lo cual ayudaría a resolver muchos problemas de fijación del P.

En 1954, Mortland y Mellor (47) propusieron el empleo de las titulaciones conductiométricas para determinar capacidad de intercambio de cationes. A este respecto no se encontró en la bibliografía revisada ninguna otra referencia sobre tal procedimiento. Kolthoff y Sandell (25) explican el fundamento de dicho método en la siguiente forma: al añadir un electrólito a una solución de otro electrolito sin cambia el volumen en una magnitud apreciable, la conductividad aumenta hasta tanto los electrolitos no reaccionen entre sí. Si un ión de un electrólito se une con un ión del otro para formar una sustancia ligeramente disociada o ligeramente soluble, o si dicho ión cambia la concentración total de iones por un proceso de oxidación o reducción, la conductividad de la solución puede cambiar en tres formas diferentes antes de alcanzar el punto de equivalencia, así: 1) - La conductividad disminuye; 2) - La conductividad permanece igual; 3) - La conductividad aumenta. Luego de haberse alcanzado el punto de equivalencia, la adición de incrementos de la solución tituladora produce aumentos regulares de conductancia; si ésta exhibe una diferencia relativamente grande, antes y después del punto de equivalencia, el punto final de la titulación es la intersección de las dos porciones lineares de la curva establecida gráficamente. Mientras más agudo sea el ángulo entre los dos segmentos lineares de la curva, el punto equivalente es más exacto. El hecho de que una marcada hidrólisis, solubilidad o disociación del producto de la reacción no afecta la exactitud del método en mayor grado, hace posible la aplicación de la titulación conductiométrica en aquellos casos en los cuales fallan otros métodos de titulación.

En la titulación conductiométrica de los suelos, la reacción que se utiliza es aquella entre un suelo saturado con Ba y una solución de SO_4 estandarizada, tal como MgSO_4 la cual elimina las amplias fluctuaciones de pH que ocurren en la titulación conductiométrica con hidróxidos de suelos saturados de H:



Antes del punto de equivalencia, la conductividad permanece comparativamente constante a medida que el MgSO_4 reacciona con el suelo para formar BaSO_4 insoluble. Cuando todo el suelo saturado de Ba se ha titulado, la conductividad de la suspensión aumenta rápidamente a medida que se añade incrementos sucesivos de MgSO_4 (47).

PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

DESCRIPCION DE LAS MUESTRAS

Las determinaciones realizadas se llevaron a cabo en muestras correspondientes a 28 perfiles de distintas regiones del país. Dicho material, junto con las descripciones de la mayoría de los perfiles, fue suministrado por el Instituto Geográfico "Agustín Codazzi" por intermedio del Doctor Servio Tulio Benavides. La descripción del primer horizonte de la serie Gachancipá (Cundinamarca) fue tomada de Rojas Cruz (61). Igualmente se hicieron determinaciones sobre algunos minerales arcillosos de referencia colectados por el Doctor Ralph J. Holmes, de la Universidad de Columbia, suministrados también por el Doctor Benavides. En la Tabla N° I presentan las principales características de las muestras estudiadas.

Equipo.

1. Bomba de vacío.
2. Desecador al vacío de 25 cms. de diámetro interno con llave de paso de vidrio y plato de porcelana.
3. Horno.
4. Pesa sustancias.
5. Cajas de aluminio.
6. Medidor de conductividad con electrodo de platino.
7. Agitador eléctrico.

Reactivos.

1. Etileno glicol puro.
2. Cloruro de calcio anhidro.
3. Pentóxido de fósforo.
4. Solución de $BaCl_2$ amortiguada a pH 8.1 con trietanolamina, según Mehlich (41).
5. Solución de $BaCl_2$ 1 N.
6. Alcohol etílico.
7. Solución de $MgSO_4$ 0.2 N.
8. $AgNO_3$ para prueba de cloruros.

Métodos experimentales.

I - RETENCION TOTAL DE ETILENO GLICOL, SEGUN EL METODO DE DYAL Y HENDRICKS (9)

Se toma 1.1 g. de muestra secada al aire, pasada por tamiz de 60 mallas y se distribuye uniformemente en el fondo de un pesa sustancias; se coloca en el desecador al vacío sobre P_2O_5 y se aplica vacío hasta cuando la muestra adquiera peso constante. Esto demora aproximadamente de 5 a 6 horas. Se pesa y este peso se registra como "peso de muestra secada al vacío". Con una pipeta de orificio pequeño se distribuyen 20 gotas de etileno glicol uniformemente sobre la superficie de la muestra y se coloca en otro desecador al vacío sobre 250 g. de $CaCl_2$ anhidro; se deja en reposo durante una noche con el fin de que el glicol **impregne** bien a todas las partículas y luego se aplica vacío hasta cuando la **pérdida** de peso por hora sea menor del 3% del peso del etileno glicol retenido. En la práctica, las pesadas se hacen después de 16 horas de vacío aproximadamente. El P_2O_5 se descarta luego que presente una consistencia pastosa y el $CaCl_2$ se renueva después de 18 determinaciones.

II - RETENCION EXTERNA DE ETILENO GLICOL

Se pesa 1.1 g. de la muestra en caja de aluminio y se determina su peso seco al vacío como en I. Se distribuye uniformemente el suelo sobre el fondo de la caja y se calienta a una temperatura de $\pm 600^\circ C$. durante 2 horas; se lleva a desecador sobre $CaCl_2$, se deja enfriar y se pesa. Se aplican 20 gotas de etileno glicol al suelo, se deja en reposo durante

TABLA 1 - (Cont.)

Suelo	Profundidad	Arenas	Limo	Arcilla	N Total	C Organ	C/N	M. O.	pH.	Ca Int.	Mg Int.	K Int.	Na Int.	C.I.	Hint.	C.I.C.	Saturación Cationica
Nº	Localidad	cm.	%	%	%	%	%	%		m.c./100g.	m.c./100g.	m.c./100g.	m.c./100g.	m.c./100g.	m.c./100g.	m.c./100g.	%
164	Meta - Bodega	0-30	28	34	38			1.53		2.60							
165	Franco arcilloso	30-50	30	28	42			1.02		1.73							
166	Sabana	50-	28	23	49			0.72		1.22							
167	Meta - Llanos	0-15	40	38	22	0.167	1.47	8.80	4.83	2.50	0.17	0.06	0.12	0.68	10.53	11.21	6.06
168	Suelo Sabana - Te	15-40	34	28	38	0.158	1.07	6.77	4.92	1.82	0.03	0.06	0.13	0.42	16.81	17.23	2.43
169	Terraza media	40-70	34	22	44	0.167	0.58	3.47	5.30	0.99	0.11	0.05	0.14	0.45	8.57	9.02	4.98
170	Pamitos Franco	70-	30	26	44	0.158	0.44	2.82	5.32	0.75	0.08	0.04	0.12	0.39	8.72	9.11	4.28
171	Meta - Macarena	0-10	48	36	16			1.52		2.58							
172	Franco - Terraza	10-30	41	35	24			0.45		0.77							
173	Baja	30-70	38	34	28			0.27		0.46							
174		70-150	32	42	26			0.22		0.37							
175	Meta - Llanos	0-15	44	22	34	0.253	1.70	7.61	5.05	2.89	0.27	0.09	0.11	0.94	12.74	13.68	6.84
176	Suelo Sabana - Te	15-40	38	24	38	0.192	1.25	6.51	5.15	2.13	0.16	0.03	0.13	0.72	12.10	12.82	5.61
177	Terraza alta - Gibraltar - Fr. arc. Aren.	40-70	38	18	44	0.190	0.80	4.21	5.40	1.36	0.11	0.05	0.15	0.82	9.25	10.07	8.14
178		70-100	42	20	38	0.147	0.64	4.35	5.40	1.09	0.23	0.04	0.12	0.77	7.98	8.75	8.80
179	Meta - Llanos	0-35	45	30	25			1.85		3.15				1.68	13.52	15.20	11.05
180	Suelo Sabana	35-60	43	24	33			1.29		2.19				0.56	14.30	14.86	3.76
181	Caño Hondo Franco	60-100	42	22	36			0.65		1.11				0.45	10.11	10.56	42.61
182	Florida - Nariño	0-30															
183	Suelo derivado de ceniza volcánicas	30-60															
184		60-85															
185		85-100															
186		100-200															
187	Villa Miraña	0-5	51	27	22	0.238	2.55	10.71	4.39	4.40	2.18	1.02	0.28	3.55	10.70	14.25	24.91
188	Aravacuara	5-30	40	27	33	0.119	1.06	8.90	1.83	4.98	0.52	0.14	0.12	0.85	9.57	10.42	8.16
189	Amazonas	30-	23	24	46	0.079	0.42	5.95	0.81	6.15	0.36	1.05	0.12	1.58	10.88	12.46	12.68
190	Chagra - Viogilio	0-5	42	30	28	0.660	6.92	10.48	11.93	4.65	0.38	0.67	0.14	8.81	13.18	21.99	40.06
191	Aravacuara	5-30	20	30	50	0.139	0.83	5.97	1.43	4.39	1.05	0.42	0.17	1.63	13.76	15.39	10.59
192	Amazonas	30-	18	20	62	0.093	0.22	2.37	0.38	4.45	0.33	0.21	0.10	0.84	21.29	22.13	3.79
193	Yarí	0-30	62	30	8	0.168	1.76	7.50	2.17	4.34	0.93	0.66	0.30	1.99	6.73	8.72	22.82
194	Aravacuara	30-50															
195	Amazonas	50-															
196	Isla Gorgona	0-30															
197	Palmira - Valle	0-30															
198	Perfil Nº 1	30-50															
199		50-80															
200	Palmira Valle	0-25															
201	Perfil Nº 7	25-50															
202		50-70															
203		70-90															
204		90-X															
205	Río Guaviare	0-20															
206	Perfil de llano	20-50															
207		50-X															
208	Sabana de Bogotá	0-40				0.189	2.20	11.6	3.74	5.05	1.61	1.76	0.41	3.99	7.08	11.07	36.04
209	Serie - Guachancipa - Planasol	40-75															
210		75-95															
211		95-															
212	Espinal Tolima	0-10															
213	Perfil Nº 3	10-25															
214	Diatomita. Cart.																

L L A N O S

NARIÑO

AMAZONAS

VALLE

TOLIMACUNDINA-LLANOS
MARCA

una noche, se remueve el exceso de glicol por evaporación al vacío tal como se describe en I y se pesa en igual forma. Para mayor exactitud, en la determinación de la superficie interna, se remueve conjuntamente el exceso de etileno glicol tanto de la muestra no calentada como de la calentada..

III - CALCULOS

Dyal y Hendricks asumieron que se necesitaban 3.1×10^{-4} gr-
20 — AGRONOMIA

mos de etileno glicol para la formación de una capa molecular de un metro cuadrado de superficie. Este factor se obtuvo por consideración de la superficie total teórica de la unidad cristalina de montmorillonita y las dimensiones de una molécula de etileno glicol. Aunque dicha constante no es cuantitativamente perfecta sino un factor aproximado, experimentalmente derivado, tiene un fuerte respaldo en la literatura y es la mejor aproximación que alguien haya hecho hasta la fecha a este respecto (65).

Los cálculos para áreas superficiales en m^2/g . son como sigue:
Superficie específica total $St =$

$$\frac{\text{gm. de glicol retenido por la muestra no calculada}}{\text{gm. de muestra no calentada secada al vacío} \times 0.00031} \quad m^2/g.$$

Superficie específica externa $Se =$

$$\frac{\text{gm. de glicol retenido por la muestra calentada}}{\text{gm. de muestra no calentada secada al vacío} \times 0.00031} \quad m^2/g.$$

Superficie específica interna $Si = St - Se \quad m^2/g.$

IV - CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES

Con el fin de comparar superficie específica total con otra propiedad coligativa, se determinó la capacidad de intercambio de los suelos siguiendo el procedimiento propuesto por Mortland y Mellor (47): Se toman 4 a 10 gramos de suelo, dependiendo de la textura, y se lavan durante 4 horas con 150 ml. de $BaCl_2$ 0.2N amortiguado a pH 8.1 con trietanolamina. Luego se lavan con 100 ml. de $BaCl_2$ 1 N y posteriormente con agua destilada hasta cuando estén libres de cloruros (prueba del $AgNO_3$). Se dispersan las muestras en 100 ml. de H_2O y 50 ml. de alcohol etílico y se titulan conductiométricamente con $MgSO_4$ 0.2 N. La capacidad de intercambio de cationes se obtiene gráficamente a partir de

las coordenadas conductividad específica y miliequivalentes de $MgSO_4$ añadidos. Se hizo innecesario hacer correcciones para volumen y temperatura.

RESULTADOS Y DISCUSION

I - ETILENO GLICOL RETENIDO Y SUS RELACIONES CON OTRAS CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS

En la figura N° 1 se muestra la evaporación de etileno glicol de dos muestras de suelo, en función del tiempo. Se llevó a cabo esta observación con el fin de determinar el tiempo aproximado a que se debería hacer las primeras pesadas para obtener el peso constante de la muestra. Según las condiciones de destilación molecular al vacío en que se hizo la determinación, se observa que el etileno glicol se evapora primero como líquido libre. La evaporación disminuye pronto y finalmente se hace muy lenta y constante. El etileno glicol presente al comienzo, cuando la pendiente de la curva se hace muy pequeña y constante, representa la cantidad requerida para la "solvación" superficial e interplanar. Dyal y Hendricks (10) observaron que en presencia de montmorillonita la evaporación de glicol es muy lenta ya que ésta depende de la superficie expuesta a desecación. Igualmente, la difusión del etileno glicol de la porción inferior de la muestra a la parte superior de la misma es un factor limitante en la rata de evaporación. En el transcurso de las determinaciones efectuadas, el período de evacuación al vacío se prolongó de 24 a 36 horas aproximadamente, debido a que, entre otras razones, no se pudo alcanzar la presión de 0.1 mm. de Hg. con la bomba disponible, presión que es la recomendable y a la cual se logra equilibrio más rápidamente.

Se presenta en la tabla N° 2 la superficie específica total de algunas arcillas de referencia, obtenida por el método de Dyal y Hendricks, según varios investigadores. Se observa el contraste de los valores para los tres tipos principales de arcilla: montmorillonita 700-800 $m^2/g.$, ilita 120-160 $m^2/g.$ y caolinita 25-30 $m^2/g.$ Las diferencias observadas en los valores obtenidos para un mismo tipo de arcilla puede atribuirse a variaciones en la pureza del material y a la naturaleza del mismo, así como a la clase de catión intercambiable dominante en la arcilla. El valor de 43.9 $m^2/g.$ para la bentonita—H (montmorillonita) se refiere a la superficie externa, obtenida después de calentar la muestra a 600°C. Comparándolo con el valor para superficie total (810 $m^2/g.$), se nota que en la montmorillonita la superficie específica total, lo cual da una base firme para diferenciarla de arcillas que no poseen, o acaso muy poca, superficie interna de adsorción (caolinita e ilita).

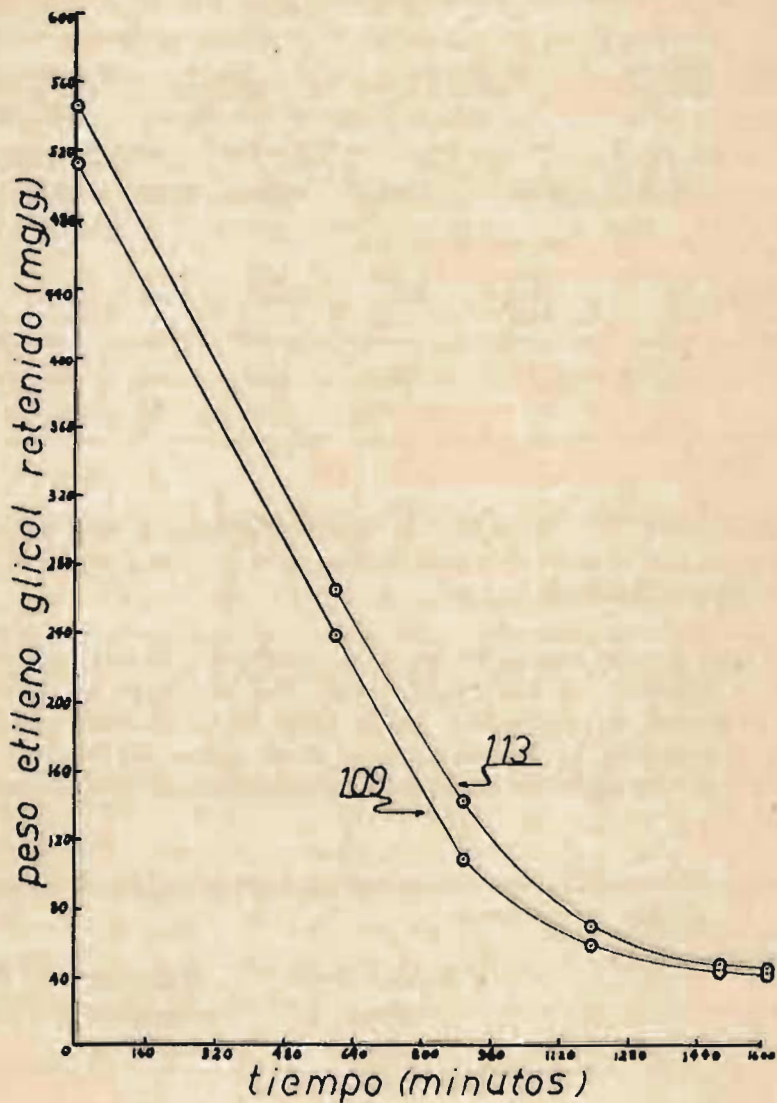


Fig. 1 - Evaporación de etileno glicol de los suelos nos. 109 y 113.

TABLA 2 - Superficie específica total de algunas arcillas por el método de retención de etileno glicol.

Autor	Bower y Goertzen (5)	Mortland y Erickson (49)	Dyal y Hendricks (9, 10)	González García (14)	Martin (36)		
Tipo de arcilla	m ² /g.	m ² /g.	mg/g.	m ² /g.	mg/g.	mg/g.	mg/g.
Caolinita	25	29.6	6.0	28.2	—	10	—
Montmorillonita	815	726.0	225.0	810.0	290.0	188	250
Pirofilita	—	10.5	2.4	—	—	—	—
Bentonita—H	—	—	—	43.9*	—	—	—
Halloysita	—	—	—	44.4	—	—	56
Illita	—	127	39.4	—	—	50	—
Caolinita—H	—	—	—	31.0	6.7	—	—

* Superficie externa

En la tabla N° 3 se incluye la superficie específica total determinada por el autor en varias arcillas de referencia y según el método de Dyal y Hendricks.

Se nota que las arcillas de tipo 1 : 1 (caolinita y dickita) poseen la más baja superficie específica total, como consecuencia de no disfrutar de la propiedad de expansión y por lo tanto no manifiestan superficie interna de adsorción. La halloysita, a pesar de ser una arcilla de tipo 1 : 1, muestra una una superficie específica total relativamente alta, lo cual se

TABLA 3 - Etileno glicol retenido y superficie específica total de varias arcillas de referencia.

Tipo de arcilla	Etileno glicol retenido mg/g.	Superficie específica total m ² /g.
Caolinita	8.8	28.7
Dickita	5.3	17.5
Halloysita	58.1	187.3
Montmorillonita	200.8	647.2
Hectorita	98.0	307.8
Pirofilita	7.7	26.1

explica por su alto grado de hidratación interlaminar. Las arcillas montmorillonita y hectorita, de tipo 2 : 1, exhiben una alta superficie específica total ya que presentan superficie interna de adsorción. La pirofilita (tipo 2 : 1) manifiesta valores muy bajos por cuanto su estructura es eléctricamente neutra. Al comparar estos resultados con los obtenidos por otros investigadores, se puede decir que existe una buena concordancia entre ellos y que se pueden utilizar para hacer estudios comparativos sobre muestras de suelo, como se verá más adelante.

De lo dicho hasta aquí se puede concluir que de acuerdo con los materiales estudiados y según previas investigaciones sobre retención de etileno glicol por las arcillas, dicha retención es una función de la naturaleza íntima de tales materiales.

A - ETILENO GLICOL RETENIDO Y CONTENIDO DE ARCILLA DE LOS SUELOS.

Con el fin de establecer si la cantidad de glicol retenido por los suelos (y por consiguiente la superficie específica total) es una consecuencia del mayor o menor contenido de arcilla, se correlacionó a estas dos variables (Tabla N° 4).

Las muestras se agruparon de acuerdo con el contenido de materia orgánica. (Nota: como las determinaciones se hicieron sobre muestras que incluían a los tres separados —arena muy fina, limo y arcilla— se parte del supuesto de que la presencia de limo y arena muy fina no contribuye en nada a la superficie específica total. Esto, naturalmente, necesita comprobarse primero en los suelos de Colombia, pero para un estudio preliminar como es éste, puede aceptarse sin mayor reticencia).

TABLA 4 - Etileno glicol retenido y % de arcilla.

Suelo Nº	Etileno glicol retenido mg/g	Arcilla %
Suelos con 0.00-0.99% de materia orgánica		
113	43.5	41
114	82.5	31
115	53.4	26
116	69.4	40
117	81.8	32
118	85.5	37
119	79.8	35
121	16.3	38
122	15.7	27
123	29.4	30
124	30.2	32
125	28.9	29
128	100.0	46
129	141.0	58
130	157.5	65
139	44.0	43
140	54.3	41
145	93.1	52
149	44.8	50
154	55.8	54
169	22.0	44
170	20.0	44
172	16.5	24
173	14.4	28
174	20.0	26
189	24.0	46
192	23.2	62

TABLA 4 - (Cont.)

Suelo Nº	Etileno glicol retenido mg/g	Arcilla %
Suelos con 1.00-1.99 de materia orgánica		
120	23.3	29
127	98.2	46
135	183.0	71
136	189.0	70
138	122.6	42
142	136.6	60
143	120.2	34
148	88.0	45
153	53.4	53
156	61.7	46
165	26.8	42
166	22.0	49
168	23.0	38
177	59.0	44
178	48.0	38
181	29.2	36
188	25.0	33
191	42.5	50
Suelos con 2.00-2.99% de materia orgánica		
109	43.2	15
110	44.4	19
111	34.5	19
112	62.4	16
132	78.9	58
134	187.3	70
144	89.3	51
157	73.5	42
164	59.1	38
167	28.4	22
171	20.0	16
175	53.5	34
176	54.3	38
180	45.0	33
193	23.2	8

TABLA 4 - (Cont.)

Suelo Nº	Etileno glicol retenido mg/g	Arcilla %
Suelos con más de 3% de materia orgánica		
108	40.7	14
131	112.7	43
137	137.5	39
141	141.2	51
147	97.3	39
152	64.3	45
155	77.1	17
158	81.0	45
159	154.0	36
161	169.2	40
179	72.0	25
187	25.0	22
190	72.0	28

Estadísticamente la correlación entre las dos variables es altamente significativa (Tabla Nº 5). Si se analizan los resultados individualmente, podrá observarse que en un buen número de casos, suelos con igual o aproximadamente igual contenido de arcilla, dan valores diferentes de retención de glicol. Aún más notorio es el caso de suelos con bajo contenido de arcilla, los cuales manifiestan mayor retención de glicol que sue-

TABLA Nº 5 - Correlación entre etileno glicol retenido y porcentaje de arcilla de los suelos.

Contenido de materia orgánica %	Número de suelos	Coefficiente de correlación (r)
De 0.00 - 0.99	27	0.859 *
De 1.00 - 1.99	18	0.895 *
De 2.00 - 2.99	15	0.955 *
Más de 3.00	13	0.941 *

* Altamente significativo.

los con mayor contenido de arcilla; por ejemplo, el suelo 108 con 14% de arcilla, retiene 40.7 mg/g de glicol y en cambio el suelo 187 con 22% de arcilla retiene 25 mg/g de glicol. Lo anterior sugiere que la retención de etileno glicol por los suelos depende de la cantidad de arcilla presente y de la naturaleza mineralógica de la misma.

B - ETILENO GLICOL RETENIDO Y CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA DE LOS SUELOS.

La materia orgánica es el otro constituyente que más influye sobre las propiedades de actividad superficial de los suelos. En la Tabla N° 6 se establece la correspondencia que existe entre el contenido de glicol retenido y el porcentaje de materia orgánica presente en las muestras. Los valores se agruparon de acuerdo con el contenido de arcilla.

TABLA 6 - Etileno glicol retenido y porcentaje de materia orgánica.

Suelo N°	Etileno glicol retenido mg/g	Materia orgánica %
Suelos con 10-20% de arcilla		
108	40.7	3.13
109	43.2	2.26
110	44.4	2.41
111	34.5	2.52
112	62.4	2.58
155	77.1	7.31
171	20.0	2.58
193	23.2	2.17

TABLA 6 - (Cont.)

Suelo N°	Etileno glicol retenido mg/g	Materia orgánica %
Suelos con 21-30% de arcilla		
115	53.4	0.20
120	23.3	1.16
122	15.7	0.37
123	29.4	0.12
125	28.9	0.09
167	28.4	2.50
172	16.5	0.77
173	14.4	0.46
174	20.0	0.37
179	72.0	3.15
187	25.0	4.39
190	72.0	11.93
Suelos con 31-40% de arcilla		
114	82.8	0.31
116	69.4	0.14
117	81.8	0.09
118	85.5	0.09
119	79.8	0.29
121	16.3	0.48
124	30.2	0.09
137	137.5	3.59
143	120.2	1.22
147	97.3	3.30
159	154.0	3.32
161	169.2	5.36
164	59.1	2.60
168	23.0	1.82
175	53.5	2.89
176	54.3	2.13
178	48.0	1.09
180	45.0	2.19
181	29.2	1.11

TABLA 6 - (Cont.)

Suelo Nº	Etileno glicol retenido mg/g	Materia orgánica %
Suelos con 41-50% de arcilla		
113	43.5	0.68
127	98.2	1.56
128	100.0	0.46
138	122.6	1.53
139	44.0	0.51
140	54.3	0.31
148	88.0	1.04
149	44.8	0.68
152	64.3	4.37
156	61.7	1.36
157	73.5	2.36
158	81.0	3.72
165	26.8	1.73
166	22.0	1.22
167	22.0	0.99
170	20.0	0.75
177	59.0	1.36
189	24.0	0.81
191	42.5	1.43
Suelos con más de 51% de arcilla		
129	141.0	0.60
130	157.5	0.49
131	112.7	3.80
132	78.9	2.18
134	187.3	2.19
135	183.0	1.84
136	189.0	1.06
141	141.2	3.11
142	136.6	1.43
144	89.3	2.75
145	93.1	0.51
153	53.4	1.09
154	55.8	0.65
192	23.2	0.38

El análisis estadístico (véase Tabla N° 7) muestra una estrecha correlación entre el etileno glicol retenido y el porcentaje de materia orgánica. Puede decirse por lo tanto que la retención del etileno glicol es una función del contenido de materia orgánica de los suelos. Al respecto, Bower y Gschwend (4) encontraron que el 1% de materia orgánica aumenta la superficie total en 7 m²/g.; sin embargo, la variación en superficie total aparente de la materia orgánica es muy grande para poder usar con cierto límite de confianza el factor de 7 m²/g. Esto se explica por la variable composición y diferente grado de descomposición en que se encuentra tal constituyente en los suelos. Aunque estadísticamente la correlación etileno glicol retenido y materia orgánica fue altamente significativa, al estudiar los datos individualmente se observa que los valores fluctúan notoriamente en suelos con igual contenido de arcilla, lo cual parece indicar que más importante que el contenido total de materia orgánica es la composición química de la misma como factor responsable de la retención de etileno glicol por los suelos.

TABLA 7 - Correlación entre etileno glicol retenido y porcentaje de materia orgánica de los suelos.

Arcilla %	Número de suelos	Coefficiente de correlación (r)
De 10 - 20	8	0.949 *
21 - 30	12	0.745 *
31 - 40	19	0.841 *
41 - 50	19	0.786 *
Más de 51	14	0.805 *

* Altamente significativo.

II - CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES Y SUS RELACIONES CON OTRAS CARACTERISTICAS DE LOS SUELOS.

La equivalencia de las reacciones de intercambio de cationes ha conducido a numerosos investigadores a suponer que cada material arcilloso puede caracterizarse por su capacidad total de intercambio. Esto ha venido demostrándose progresivamente y así puede verse en la Tabla N° 8 los resultados obtenidos por algunos autores en distintos tipos de arcilla.

TABLA 8 - Capacidad de intercambio de cationes de algunas arcillas según varios investigadores *.
 m.e./100 g.

Tipo de arcilla	González					
	García (14)	Grim (15)	Hemin (17a)	Martin (36)	Kelley (24)	Mortland (49)
Montmorillonita	80	80-150	80-120	106	54-115	77.1
Ilita	30	10- 40	20- 40	—	—	18.7
Caolinita	6.35	3- 15	7- 15	—	—	6.0
Halloysita 2H ₂ O	—	5- 10	15- 40	—	—	—
Halloysita 4H ₂ O	—	40- 50	15- 40	—	—	—
Nantronita	—	—	—	120	—	—
Pirofilita	—	—	—	—	—	2.4

* Valores obtenidos por diferentes métodos.

Las variaciones en los resultados encontrados para un mismo tipo arcilloso son atribuibles al método seguido en la determinación y a la pureza y composición química de la muestra. Sin embargo, se puede notar que las arcillas de tipo 2 : 1 expandible presentan un rango característico de capacidad de intercambio, que podría situarse entre 60-150 m.e./100 g. Los valores más bajos corresponden a arcillas que tienen muy pocas sustituciones octahédricas y tetrahédricas en la red cristalina; los más altos, corresponden a arcillas con una amplia gama de tales sustituciones. Las arcillas del tipo 2 : 1 no expandible tienen un valor comprendido entre 10-40 m.e./100 g. y las del tipo 1 : 1, presentan valores entre 5-15 m.e./100 gr. La halloysita —4H₂O (1 : 1) tiene una capacidad de intercambio relativamente alta debido posiblemente a que presenta cierto grado de superficie interna que da lugar a adsorber cationes. La pirofilita (2 : 1) es una arcilla eléctricamente neutra, de ahí su baja CIC. Estos valores de referencia pueden compararse con los obtenidos por el autor por el método de titulación conductiométrica, según se muestra en la Tabla N° 9.

TABLA 9 - Capacidad de intercambio de cationes de varias arcillas por el método de titulación conductiométrica.

Tipo de arcilla	CIC	
	m.e./100 g.	
Caolinita	8.8	
Haloisita	12.4	1 : 1
Dickita	3.6	
Montmorillonita	60.0	
Hectorita	27.8	2 : 1
Pirofilita	4.1	

A continuación se incluyen los valores de capacidad de intercambio de cationes de algunos óxidos de hierro y aluminio, según análisis de Mehlich (42).

Óxido	CIC	
	m.e./100 gr.	
Hematita	2.7	
Goetita	4.1	
Bauxita	2.2	
Gibsita	5.5	

En las Figuras Nos. 2, 3, 4 y 5 se muestra la titulación conductiométrica de 2 arcillas y 2 suelos.

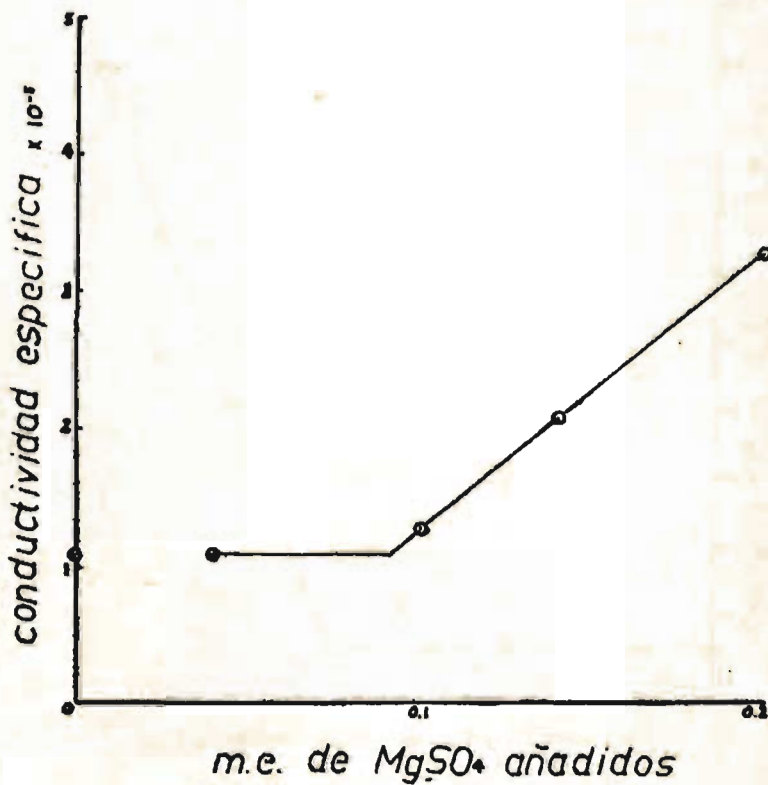


Fig.2-Titulación conductométrica de caolinita saturada con Ba.

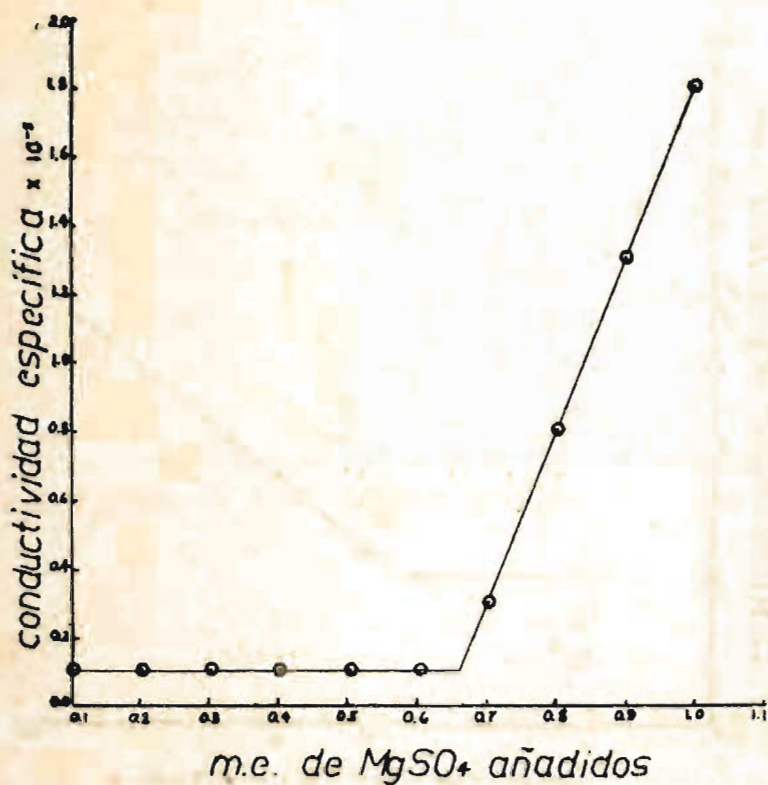


Fig.3- Titulación conductométrica de montmorillonita saturada con Ba.

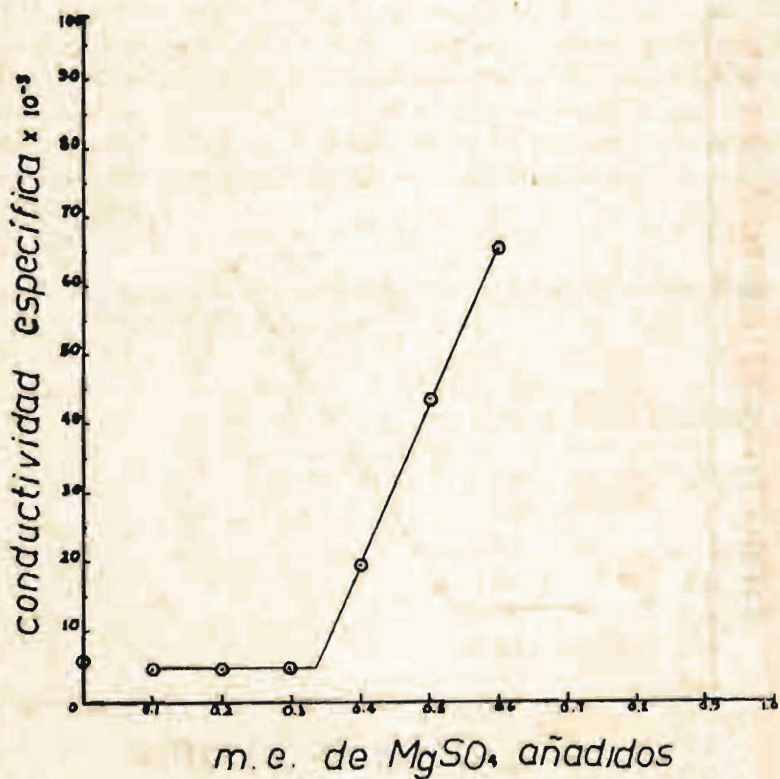


Fig. 4 Titulación conductométrica del suelo no.172 saturado con Ba.

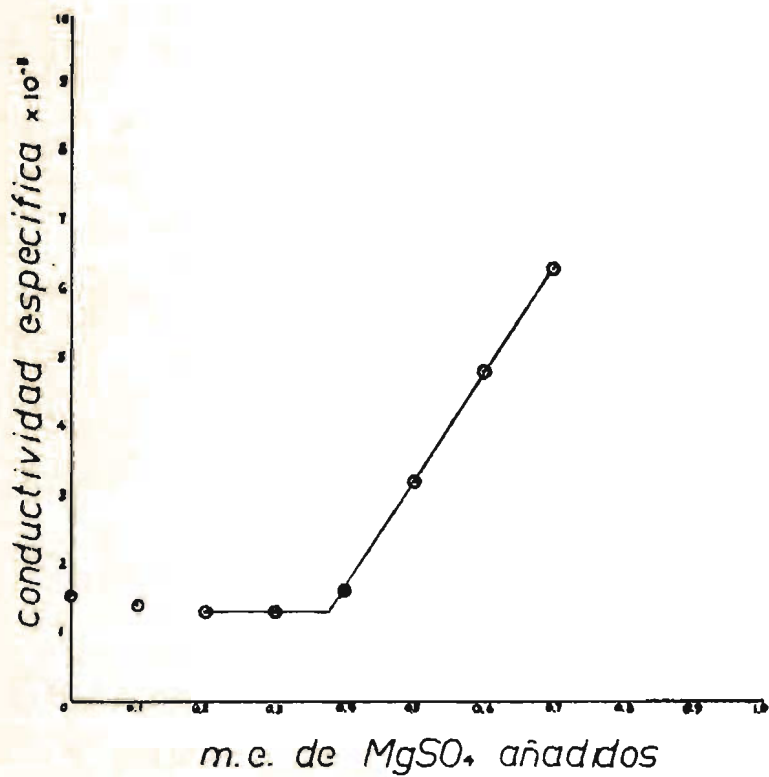


Fig. 5 - Titulación conductométrica del suelo no. 142 saturado con Ba.

A - COMPARACION DE CIC DE LOS SUELOS POR EL METODO DEL NH_4
 ADSORBIDO Y TITULACION CONDUCTIOMETRICA.

La capacidad de intercambio de cationes de los suelos se lleva a cabo generalmente en Colombia mediante la determinación del NH_4 adsorbido. Este método es bastante utilizado universalmente y ha mostrado dar resultados satisfactorios en la mayoría de los casos, aunque no deja de presentar ciertas limitaciones. La cuestión es demostrar si es el método que da los resultados más fidedignos en comparación con otros. En la tabla 10 se muestran los resultados de CIC obtenidos por el método de titulación y el de la retención de NH_4 . Esta confrontación se hace con el fin de ver si los resultados de CIC obtenidos por el método de titulación pueden usarse con cierta confianza para el estudio de los suelos. Los resultados por el método del NH_4 fueron tomados de los análisis suministrados por el Instituto Geográfico.

TABLA 10 - Capacidad de intercambio de cationes de varios suelos por dos métodos diferentes.

	Suelo Nº	NH_4 ads. m.e./100 g.	Tit. cond. m.e./100 g.
Chocó	208	11.07	8.75 +
	108	2.94	16.0 —
	112	8.56	21.0 —
	120	1.96	6.8 —
	127	44.03	28.3
	129	42.51	27.5
	129	49.75	39.0
	130	64.63	43.5
	131	52.25	32.3
	132	36.58	22.8
	134	66.47	55.0
	135	63.06	48.5
	136	61.38	48.5
	137	44.64	40.3
	138	40.96	33.8
	139	35.53	19.3
	140	36.48	23.0
	141	49.60	56.0
	142	55.58	49.5
	143	68.25	60.0

TABLA 10 - (Cont.)

	Suelo Nº	NH ₄ ads. m.e./100 g.	Tit. cond. m.e./100 g.	
	144	35.92	23.0	
	145	31.02	28.5	+
	147	21.80	15.0	
	148	17.47	11.0	
Antioquia	149	21.40	13.0	
	152	27.98	22.8	
	128	42.51	27.5	
	154	53.92	16.3	
	155	29.94	27.5	+
	156	28.67	18.8	
	157	21.91	20.8	+
	158	40.42	23.2	
Atlántico	159	26.22	34.0	—
	161	39.90	39.0	+
	167	11.21	6.8	
	168	17.23	6.5	
	169	9.02	3.8	
	153	24.02	18.5	
Llanos	175	13.68	11.3	+
	176	12.82	13.0	—
	177	10.07	10.5	—
	178	8.75	9.0	—
	179	15.20	12.5	+
	180	14.86	13.3	+
	181	10.56	10.5	+
	187	14.25	6.0	
	188	10.42	5.0	
Amazonas	189	12.46	4.2	
	190	21.99	17.5	
	191	15.39	12.3	+
	192	22.13	13.3	
	193	8.72	7.8	

Al analizar los datos individualmente se nota que los valores por el método del NH₄ adsorbido son mayores en un 60% aproximadamente de los casos, sin embargo casi todos muestran cierta correspondencia entre los dos métodos. No obstante, algunos valores por el método de titulación son bastante bajos. Las diferencias individuales son debidas a

que en ambos métodos se emplean cationes de distinto poder de reemplazamiento (NH_4 y Ba), lo cual ya introduce diferencias en los resultados; tampoco se debe descartar el factor personal en la determinación y que no se corrieron muestras por duplicado en el método de titulación, lo que dio lugar a probar el error experimental introducido.

Es conveniente anotar que las conclusiones que se establezcan en relación con la capacidad de intercambio, se basan en el supuesto de que tal propiedad de los suelos reside única y exclusivamente en la arcilla y materia orgánica. Esto se hace con el fin de simplificar un poco el estudio, pero se tiene el proyecto en una próxima investigación de estudiar la magnitud en que las fracciones limo y arena contribuyan a la capacidad total de intercambio de los suelos.

B - CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES Y CONTENIDO DE ARCILLA.

En la Tabla N° 11 se presenta la relación existente entre la capaci-

TABLA 11 - Capacidad de intercambio y contenido de arcilla.

Suelo N°	Arcilla %	C.I.C.	
Suelos con 0.00—0.99% de materia orgánica			
113	41	10.8	
114	31	12.3	
115	26	15.0	
116	40	15.0	
	170	9.11	6.8 +
118	37	23.5	
119	35	24.0	
121	38	4.8	
122	27	4.3	
123	30	3.0	
124	32	5.5	
125	28	4.7	
128	46	27.5	
129	58	39.0	
130	65	43.0	
139	65	43.0	
140	41	23.0	
145	52	28.5	
149	50	13.0	
154	54	16.3	
169	44	3.8	

Suelo N°	Arcilla %	C.I.C.
----------	-----------	--------

Suelos con 0.00—0.99% de materia orgánica

170	44	6.8
172	24	8.5
173	28	7.8
174	26	9.3
189	46	4.2
192	62	13.3

Suelos con 1.00—1.99% de materia orgánica

120	29	6.8
127	46	28.3
135	71	48.5
136	70	48.5
138	42	33.8
142	60	49.5
143	34	60.0
148	45	11.0
153	53	18.5
156	46	18.8
165	42	10.0
166	49	10.5
168	38	6.5
177	44	10.5
178	38	9.0
181	36	10.5
188	33	5.0
191	50	12.3

TABLA 11 - (Cont.)

Suelo N°	Arcilla %	C.I.C.
Suelos con 2.00—2.99 de materia orgánica		
109	15	15.0
110	19	16.0
111	19	15.0
112	16	21.0
132	58	22.8
134	70	55.0
144	51	23.0
157	42	20.8
164	38	12.5
157	22	6.8
171	16	10.2
175	34	11.3
176	38	13.0
180	33	13.3
193	8	7.8
Suelos con más de 3.000 de materia orgánica		
108	14	16.0
131	53	32.3
137	39	40.3
141	51	56.0
147	39	15.0
152	45	22.8
Suelo N°	Arcilla %	C.I.C.
155	17	27.5
158	45	23.2
159	36	34.0
161	40	39.0
179	25	12.5
187	22	6.0
190	28	17.5

dad de intercambio y el porcentaje de arcilla de los suelos, agrupados de acuerdo con el contenido de materia orgánica.

A pesar de que el análisis estadístico es altamente significativo para la correlación CIC — % arcilla (Tabla N° 12), la comparación de los datos individuales deja ver notables variaciones entre suelos con igual contenido de arcilla (dentro de un mismo grupo de contenido de materia orgánica), como sucede en los suelos 117 y 124 (con menos de 1% de materia orgánica) en los cuales el primero tiene una CIC de 18.5 m.e./100 g. y el segundo, 5.5 m.e./100 g. Esto sugiere que la CIC de cationes depende no sólo del contenido total de arcilla sino de la naturaleza cristalina de dicha fracción.

TABLA 12 - Correlación entre capacidad de intercambio de cationes y porcentaje de arcilla de los suelos.

Contenido de materia orgánica (%)	N° de suelos	Coefficiente de correlación (Cr)
De 0.00—0.99	27	0.879 *
De 1.00—1.99	18	0.844 *
De 2.00—2.99	15	0.929 *
Más de 3.00	13	0.932 *

* Altamente significativo.

C-- CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES Y CONTENIDO DE
MATERIA ORGANICA

La contribución que hace la materia orgánica a la capacidad total de intercambio de los suelos, es un aspecto que aún no sale del terreno de las generalizaciones por cuanto la complejidad de su composición y su grado de descomposición, impiden establecer límites definidos. Numerosos investigadores han reconocido que la capacidad de intercambio de la materia orgánica es bastante superior a la de la fracción inorgánica y así, para estudios comparativos preliminares, se puede decir que 1% de materia orgánica contribuye con 2 m.e./100 g. a la capacidad total de intercambio de los suelos. Igualmente, se ha aceptado universalmente que del 30 al 60% de la capacidad total de intercambio de los suelos es debido a la materia orgánica.

A continuación se estudia la relación existente entre la capacidad de intercambio de cationes y el contenido de materia orgánica en suelos de Colombia (Tabla N° 13).

TABLA 13 - Capacidad de intercambio de cationes y contenido de materia orgánica.

Suelo N°	M.O %	C.I.C.
Suelos con 10—20% de arcilla		
108	3.13	16.0
109	2.26	15.0
110	2.41	16.0
111	2.52	15.0
112	2.58	21.0
155	7.31	27.5
171	2.58	10.2
193	2.17	7.8

TABLA 13 - (Cont.)

Suelo N°	M.O %	C.I.C.
Suelos con 21—30% de arcilla		
115	0.20	15.0
120	1.16	6.8
122	0.37	4.3
123	0.12	3.0
125	0.09	4.7
167	2.50	6.8
172	0.77	8.5
173	0.46	7.8
174	0.37	9.3
179	3.15	12.5
187	4.39	6.0
190	11.93	17.5
Suelos con 31—40% de arcilla		
114	0.31	12.3
116	0.14	15.0
117	0.09	18.5
118	0.09	23.5
119	0.29	24.0
121	0.48	4.8
124	0.09	5.5
137	3.59	40.3
143	1.22	60.0
147	3.30	15.0
159	3.32	34.0
161	5.36	39.0
164	2.60	12.5
168	1.82	6.5
175	2.89	11.3
176	2.13	13.0
178	1.09	9.0
180	2.19	13.3
181	1.11	10.5

TABLA 13 - (Cont.)

Suelo N°	M.O %	C.I.C.
Suelos con 41—50% de arcilla		
113	0.68	10.8
127	1.56	28.3
128	0.46	27.5
138	1.53	33.8
139	0.51	19.3
140	0.31	23.0
148	1.04	11.0
149	0.68	13.0
152	4.37	22.8
156	1.36	18.8
157	2.36	20.8
158	3.72	23.2
165	1.73	10.0
166	1.22	10.5
169	0.99	3.8
170	0.75	6.8
177	1.36	10.5
189	0.81	4.2
191	1.43	12.3
Suelos con más del 51% de arcilla		
129	0.60	39.0
130	0.49	43.5
131	3.80	32.3
132	2.18	22.8
134	2.19	55.0
135	1.84	48.5
136	1.06	48.5
141	3.11	56.0
142	1.43	49.5
144	2.75	23.0
145	0.51	28.5
153	1.09	18.5
154	0.65	16.3
192	0.38	13.3

Aquí también se presenta una alta correlación entre dichas variables y variaciones similares a las estudiadas en los casos anteriores. Se puede por lo tanto pensar que al estudiar el efecto de la materia orgánica en la C.I.C. de los suelos, no solamente se debe considerar la cantidad total presente, sino también su naturaleza, en lo que se refiere a composición y grado de descomposición.

TABLA 14 - Correlación entre capacidad de intercambio de cationes y porcentaje de materia orgánica de los suelos.

Contenido de arcilla (%)	Número de suelos	Coefficiente de correlación (r)
De 10-20	8	0.958 **
De 21-30	12	0.719 **
De 31-40	19	0.749 **
De 41-50	19	0.798 **
Más de 51	14	0.825 **

** Altamente significativo.

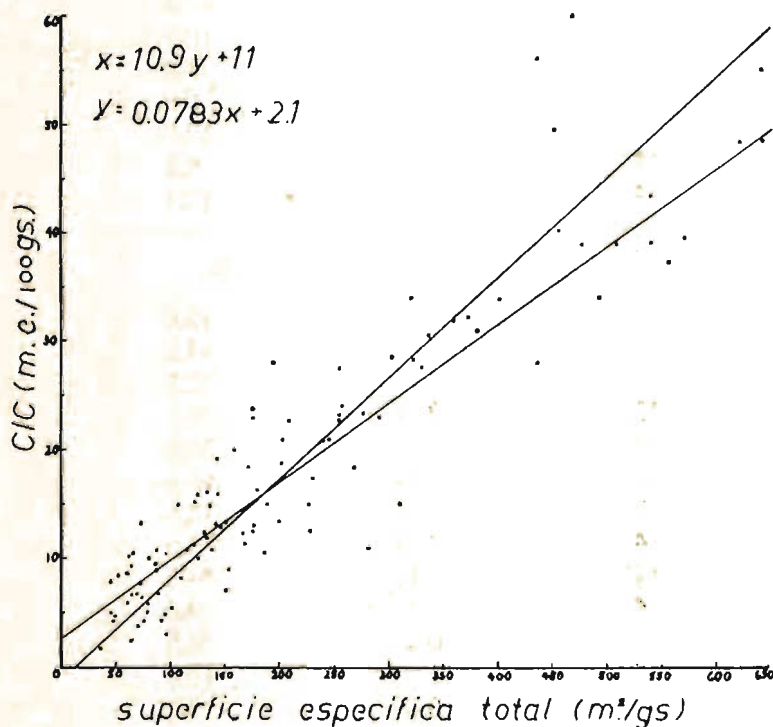


Fig. 6 - Correlación entre CIC y superficie específica total en suelos Colombianos.

III - SUPERFICIE ESPECIFICA TOTAL DE LOS SUELOS
Y CAPACIDAD DE INTERCAMBIO DE CATIONES.

En la Tabla N° 15 se resumen los resultados obtenidos para estas dos propiedades en todos los suelos estudiados junto con los porcentajes de arcilla y materia orgánica. En la Figura N° 6 se muestra la relación entre la capacidad de intercambio de cationes y superficie específica total de los suelos. El análisis estadístico mostró una alta correlación positiva y altamente significativa entre estas dos variables lo cual sugiere la posibilidad de que la retención del glicol es una función de la capacidad de intercambio. Así mismo, debido a la alta correlación, se puede deducir que la densidad de carga por unidad de área es bastante uniforme. Cabe anotar que Mortland (46) también encontró una alta correlación entre etileno glicol retenido y capacidad de intercambio de cationes.

TABLA 15 - Etileno glicol retenido, superficie específica total y capacidad de intercambios cationes de suelos colombianos.

Suelo N°	Localidad	Profundidad cm.	Etileno Glicol Retenido mg/g	Superficie Específica		Capacidad de Int. de cat. c.c./100g.	Arcilla %	Materia Orgánica %
				Total	m ² /g.			
108	Chocó - Tadó	0-90	40.7	127		16.0	14	3.13
109	" "	90-135	43.2	137		15.0	15	2.26
110	" "	135-175	44.4	145		16.0	19	2.41
111	" "	175-255	34.5	109		15.0	19	2.52
112	Chocó - (Río Guía)	0-20	62.4	203		21.0	16	2.58
113		20-60	43.5	140		10.8	91	0.68
114		60-120	82.5	268		12.3	31	0.31
115		120-200	53.4	190		15.0	26	0.20
116		200-400	69.4	229		15.0	40	0.14
117		400-500	81.8	269		18.5	32	0.09
118		500-X	85.5	279		23.5	37	0.09
119		650	79.8	258		24.0	35	0.29
120	Chocó - Quibdó	0-40	23.5	70		6.8	29	1.16
121		40-90	16.3	50		4.8	38	0.48
122		90-200	15.7	48		4.3	27	0.37
123		200-300	29.4	87		3.0	30	0.12
124		300-500	30.2	192		5.5	32	0.09
125		500-800	28.9	96		4.7	28	0.09
126		800-X						
127	Bolívar (Serie	0-30	98.2	325		28.3	46	1.56
128	Navas - Tolú	30-55	100.0	333		27.5	46	0.46
129		55-75	141.0	479		39.0	58	0.60
130		75-100	157.5	542		43.5	65	0.49
131	Bolívar - (Serie	0-30	112.7	374		32.3	53	3.80
132	Turbaco	30-50-70	78.9	257		22.8	58	2.18
133		40-70-X						

TABLA 15 - (Cont.)

Suelo Nº	Localidad	Profundidad cm.	Etileno Glicol Retenido mg/g	Superficie Específica		Capacidad de Int. de cat. c.c./100g.	Arcilla %	Materia Orgánica %
				Total m ² /g.				
134	Bolívar - (Serie Yurbaco)	0-20	187.3	644	55.0	70	2.19	
135		20-50	183.0	624	48.5	71	1.84	
136		50-100	189.0	645	48.5	70	1.06	
137	Bolívar - Serie Sincerian - Perfil	0-10	137.5	458	40.3	39	3.59	
138		10-20	122.6	483	33.8	42	1.53	
139		55-100	54.0	145	19.3	43	0.51	
140		55-100	54.0	177	23.0	41	0.31	
141	Bolívar - Serie Tolúviejo	0-40	141.2	438	56.0	51	3.11	
142		40-70	136.6	454	49.5	60	1.43	
143		70-100	120.2	471	60.0	34	1.22	
144	Fredonia (Ant.)	0-25	89.3	293	23.0	51	2.75	
145	Remolino - arcilloso	25-75	93.1	305	28.5	52	0.51	
146		75-X	96.7	321	34.0	—	—	
147	Fredonia (Ant.)	0-30	97.3	312	15.0	39	3.30	
148	Corcovado franco ar- cilloso	30-55	88.0	282	11.0	45	1.04	
149		55-200	44.0	147	13.0	50	0.68	
150		200-400	28.0	88	10.7	—	—	
151		400-X	47.6	152	7.0	—	—	
152	Fredonia (Ant.)	0-30	64.3	210	22.8	45	4.37	
153	Garrucha arcilloso	30-70	53.4	173	18.5	53	1.09	
154		70-X	55.8	181	16.3	54	0.65	
155	Fredonia (Ant.)	0-30	77.1	256	27.5	17	7.31	
156	Sandalia franco	30-70	61.7	203	18.8	46	1.36	
157		70-X	73.5	242	20.8	42	2.36	
158	Atlántico - San Fer- nando arcilloso	0-20	81.0	256	23.2	45	3.72	
159		20-60	154.0	495	34.0	36	3.32	
160		60-X	160.0	511	39.0	—	—	
161	Atlántico - Pto. Gi. raldo arcilloso	0-60	169.2	542	39.0	40	5.36	
162		60-90	178.5	574	39.5	—	—	
163		90-X	173.8	511	39.0	—	—	
164	Meta - Bodega	0-30	59.1	178	12.5	38	2.60	
165	Franco - arcilloso	30-50	26.8	82	10.0	42	1.73	
166		50-X	22.0	66	10.5	49	1.22	
167	Meta - Pamitos	0-15	28.4	90	6.8	22	2.50	
168	Franco	15-40	23.0	75	6.5	38	1.82	
169		40-70	22.0	72	3.8	44	0.99	
170		70-X	20.0	65	6.8	44	0.75	
171		Meta - Macarena	0-10	20.0	64	10.2	16	2.58
172	Franco	10-30	16.5	53	8.5	24	0.77	
173		30-70	14.0	46	7.8	28	0.46	
174		70-X	20.0	65	9.3	26	0.37	
175		Meta - Gibraltar	0-15	53.5	170	11.3	34	2.89
176	Franco - arcillo- so arenoso	15-40	54.3	177	13.0	38	2.13	
177		40-70	59.0	188	10.5	44	1.36	
178		70-100	48.0	155	9.0	38	1.09	

TABLA 15 - (Cont.)

Suelo N°	Localidad	Profundidad cm.	Etileno Glicol Retenido mg/g	Superficie Específica Total m ² /g.	Capacidad de Int. de cat. c.c./100g.	Arcilla %	Materia Orgánica %
179	Meta - Caño Hondo - Franco	0-35	72.0	230	12.5	25	3.15
180		35-60	45.0	143	13.3	33	2.19
181		60-110	29.2	97	10.5	36	1.11
182	Floridá - (Nariño)	0-30	119.0	383	31.0	—	—
183		30-60	116.4	362	31.8	—	—
184		60-85	104.7	338	30.5	—	—
185		85-100	141.0	437	28.0	—	—
186		100-200	—	—	—	—	—
187	Amazonas	0-5	25.0	80	6.0	22	4.39
188	Villa - Miraña	5-30	25.0	80	5.0	33	1.83
189		30-X	24.0	76	4.2	46	0.81
190	Amazonas - Serie Chagra de Virgilio	0-50	72.0	230	17.5	28	11.93
191		5-30	42.5	133	12.3	50	1.43
192		30-X	23.2	73	13.3	62	0.38
193	Amazonas	0-30	23.2	73	7.8	8	2.17
194	Serie - Yari	30-50	34.3	110	8.3	—	—
195		50-X	36.5	117	10.8	—	—
197	Palmira (Valle) Perfil N° 1	0-30	50.0	159	20.0	—	—
198		30-50	39.0	124	15.3	—	—
199		50-80	27.0	88	9.0	—	—
200	Palmira (Valle) Perfil	0-25	54.0	176	23.8	—	—
201		25-50	61.0	196	28.0	—	—
202		50-70	42.0	135	16.3	—	—
203		70-90	28.0	93	4.3	—	—
204		70-X	20.3	65	2.5	—	—
205	Río Guaviare	0-20	27.0	88	9.5	—	—
206		20-50	40.2	126	10.0	—	—
207		50-X	38.0	123	11.3	—	—
208	Sabana de Bogotá Serie - Guachancipá	0-40	18.4	61	8.8	—	—
209		40-75	47.0	152	13.5	—	—
210		75-95	20.0	62	6.0	—	—
211		95-X	42.5	134	12.0	—	—
212	Espinal (Tolima) Perfil	0-10	14.8	46	5.0	—	—
213		10-25	77.5	247	21.0	—	—
214	Diatamita de Cart.	—	250	771	8.0	—	—
196	Isla Gorgona	0-30	64.0	201	13.5	—	—

Con el fin de observar la influencia del clima sobre las dos variables estudiadas, se agruparon todas las muestras en dos divisiones principales según el factor climático de Lang (precipitación/temperatura):

1 — Muestra con factor de Lang menor de 60 (suelos semiáridos a áridos), a las cuales corresponden las localidades de Bolívar, Atlántico, Valle, Tolima y Gorgona.

- 2— Muestras con factor de Lang mayor de 60 (suelos semi húmedos a super húmedos), a las cuales corresponden las localidades de Antioquia, Chocó, Sabana de Bogotá, Llanos Orientales y Amazonas. (Véanse Figuras Nos. 7 y 8).

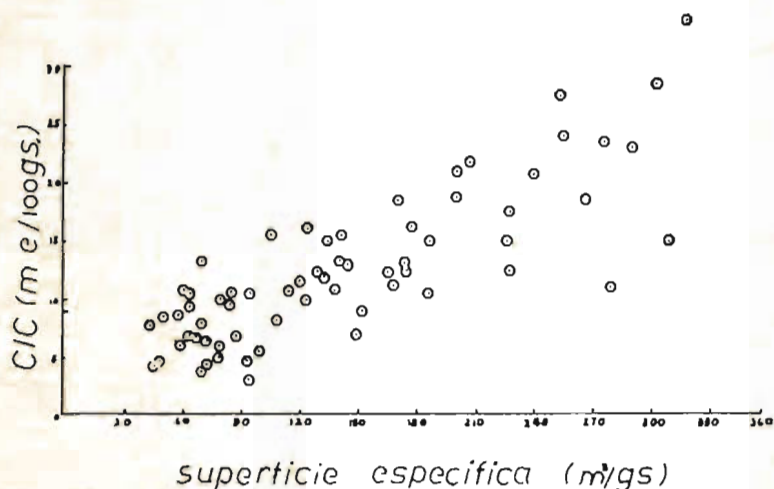


Fig. 7.— Correlación CIC vs superficie específica en suelos con factor de Lang menor de 60.

Al comparar las medias para etileno glicol retenido y CIC entre los dos grupos anteriores, se observa que los suelos con factor de Lang menos de 60 tienen mayor capacidad de intercambio ($X_1 = 29.5$ m.e./100 g.) y mayor retención de etileno glicol ($Y_1 = 336.5$ m³/g.) que los suelos con factor de Lang mayor de 60, $X_2 = 12.5$ y $Y_2 = 145.7$. Lo anterior se explica como debido a la mayor meteorización a que han estado sometidos los materiales de los suelos bajo un régimen climático de altas temperaturas y elevadas precipitaciones, lo cual da lugar a la formación de un tipo de coloide caracterizado por una baja actividad superficial. En cambio, las altas temperaturas y baja pluviosidad de los suelos con factor de Lang menor de 60, han dado lugar a un medio propicio para la formación de un tipo de coloide caracterizado por una alta actividad superficial. Al respecto, cabe mencionar que la mayoría de los científicos de Estados Unidos reconocen que los suelos de las regiones áridas y semiáridas se caracterizan por la presencia de montmorillonita, un mineral de alta actividad superficial (22), lo cual confirma, en parte, los resultados obtenidos.

IV - TIPO GENERAL DE ARCILLA DE ALGUNOS SUELOS DE COLOMBIA.

La siguiente caracterización tentativa del tipo general de arcilla se basa en las propiedades de retención de etileno glicol y capacidad de intercambio de cationes. En la primera parte se utiliza la retención total de etileno glicol, la cual se compara con los valores calculados para los tres tipos principales de arcilla; en la segunda parte, se hace uso de la propiedad de expansión de algunas muestras quemadas y no quemadas.

Primera parte

Por ser este un estudio preliminar que sirva de base a investigaciones más detalladas, es conveniente establecer primero los supuestos en que se fundamenta:

- 1 — Ya que las determinaciones, tanto de etileno glicol retenido como CIC, se hicieron sobre muestras de suelo a las cuales no se les destruyó la materia orgánica ni se les alteró el contenido ori-

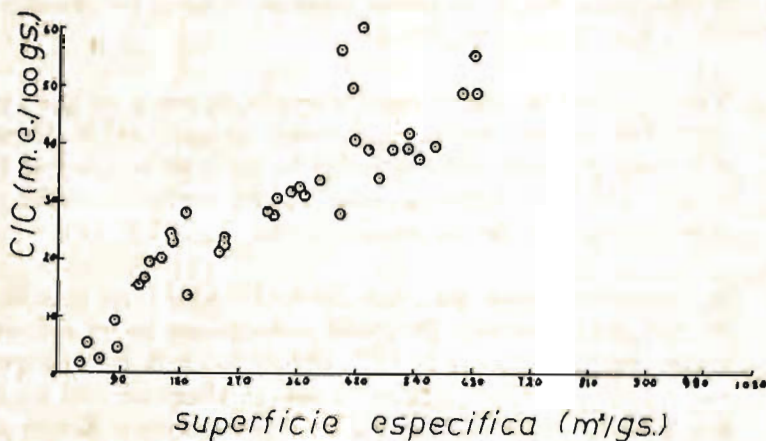


Fig. 8—Correlación CIC vs superficie específica en suelos con factor de Lang mayor de 60.

ginal de cationes intercambiables, se considera que tales propiedades residen únicamente en la fracción arcilla y en la materia orgánica de los suelos. (Aunque lo anterior es bastante aproximado, no hay que descartar la posibilidad —para futuras investigaciones— de la contribución que hacen a la retención de glicol y CIC de los suelos la presencia de las fracciones limo y arena).

2 — La capacidad de intercambio de cationes de la materia orgánica es de 2 m.e. por cada 1% de tal constituyente. (Este valor es bastante arbitrario si se repasa lo que se mencionó en otra parte del estudio en relación con este constituyente del suelo).

3 — La fracción arcilla de los suelos está compuesta por una mezcla de 2 o los 3 tipos principales de arcilla: montmorillonita, illita y caolinita. (Como consecuencia del casi total desconocimiento que se tiene sobre la composición y propiedades de los óxidos hidratados de Fe y Al —tan abundantes en algunos de dichos suelos— se descarta inicialmente, para cualquier consideración, la influencia que puedan tener en la retención de etileno glicol y en la CIC).

4 — Uno por ciento de materia orgánica contribuye con 7 m²/g a la superficie específica total de los suelos, lo cual equivale a 2.1 mg/g de glicol total retenido por el suelo, aproximadamente.

A continuación se detalla la forma como se hicieron los cálculos para establecer el tipo general de arcilla.

A — Con los datos de etileno glicol retenido en mg/g de suelo y de capacidad de intercambio de cationes, en m.e./100 g. de suelo, se calculó el etileno glicol retenido en mg/g de arcilla y la CIC en m.e./100 g de arcilla, a partir del contenido de arcilla y de materia orgánica de los suelos. (Véase Tabla N° 16).

B — Se prepararon tablas patrones (Nos. 17 y 18) de mezclas de los tres tipos generales de arcilla a los cuales se les calculó el etileno glicol retenido y la CIC, partiendo de la base de que la montmorillonita tiene una retención de glicol de 250 mg/g y una CIC de 80 m.e./100 g.; la illita, de 50 mg/g y 30 m.e./100 g, y la caolinita de 10 mg/g y 10 m.e./100 g.

C — Se compararon los valores de A con los de B y se determinó el tipo general de arcilla.

Con un ejemplo se clarifica mejor lo expuesto hasta aquí:

Suelo	Etileno glicol retenido mg/g de suelo	CIC m.e./100 g de suelo	% arcilla	% materia orgánica
127	98.2	28.3	46	1.56

TABLA 16 - Valores calculados de etileno glicol retenido y CIC como índice del tipo general de arcilla en suelos Colombianos.

Suelo	Etileno glicol retenido mg/g de arcilla	CIC m.e./100 g de arcilla	Tipo general de arcilla dominante (a)
108	243	69	2:1 expandible
109	256	69	2:1 expandible
110	206	58	2:1 expandible
111	153	52	2:1 expandible
112	355	99	2:1 expandible
113	102	23	2:1 no expandible
114	266	38	2:1 expandible
115	205	56	2:1 expandible
116	173	37	2:1 expandible
117	255	57	2:1 expandible
118	231	63	2:1 expandible
120	72	15	1:1 no expandible
121	40	10	1:1 no expandible
122	58	14	1:1 no expandible
123	98	10	1:1 no expandible
124	94	17	1:1 no expandible
125	103	16	1:1 no expandible
127	206	54	2:1 expandible
128	215	57	2:1 expandible
129	224	65	2:1 expandible
130	240	65	2:1 expandible
131	197	46	2:1 expandible
132	128	32	2:1 expandible
134	261	72	2:1 expandible
135	252	63	2:1 expandible
136	266	66	2:1 expandible

TABLA 16 - (Cont.)

Suelo	Etileno glicol retenido mg/g de arcilla	CIC m.e./100 g de arcilla	Tipo general de arcilla dominante (a)
137	333	84	2:1 expandible
138	284	73	2:1 expandible
139	100	42	2:1 expandible
140	130	54	2:1 expandible
141	264	97	2:1 expandible
142	228	77	2:1 expandible
143	317	169	2:1 expandible
144	163	59 *	2:1 expandible
145	177	57 *	2:1 expandible
147	231	38 *	2:1 expandible
148	189	34 *	2:1 expandible
149	85	40 *	2:1 expandible
152	122	42 *	2:1 expandible
153	96	41 *	2:1 expandible
154	100	26	2:1 expandible
155	362	75	2:1 expandible
156	126	35	2:1 expandible
157	163	38	2:1 expandible
158	162	35	2:1 expandible
159	408	39	2:1 expandible
161	394	70	2:1 expandible
164	141	19	1:1 no expandible
165	55	15	1:1 no expandible
166	39	16	1:1 no expandible
167	105	8	1:1 no expandible
168	50	8	1:1 no expandible
169	45	4	1:1 no expandible
170	41	12	1:1 no expandible
171	91	31	1:1 no expandible
172	62	29	1:1 no expandible
173	46	24	1:1 no expandible
174	73	33	1:1 no expandible
175	138	16	1:1 no expandible
176	131	22	1:1 no expandible

TABLA 16 - (Cont.)

Suelo	Etileno glicol retenido mg/g de arcilla	CIC m.e./100 g de arcilla	Tipo general de arcilla dominante (a)
177	127	17	1:1 no expandible
178	120	17	1:1 no expandible
179	261	24	1:1 no expandible
180	122	27	1:1 no expandible
181	74	23	1:1 no expandible
187	71	7 (+)	1:1 no expandible
188	64	8 (+)	1:1 no expandible
189	49	7 (+)	1:1 no expandible
190	167	20 (+)	1:1 no expandible
191	79	21 (+)	1:1 no expandible
192	36	20 (+)	1:1 no expandible

* Estos valores se calcularon con base a la CIC determinada por el método del NH_4 adsorbido.

(+) Valores calculados con base a 1 m.e./100 g por cada 1% de materia orgánica.

a)—Cálculo del etileno glicol retenido mg/g de arcilla:

- 1 — La materia orgánica de dicho suelo contribuye con 3.2 mg/g del etileno glicol retenido ($1.56 \times 2.1 = 3.2$ aprox.).
- 2 — Restado de la retención total (98.2 mg/g) da el etileno glicol retenido por la arcilla, o sea 95 mg/g.
- 3 — En base a un porcentaje de arcilla de 46, el etileno glicol retenido en mg por gramo de arcilla es de 206.

b)—Cálculo de CIC en m.e./100 g de arcilla:

- 1 — La materia orgánica contribuye con 3.12 m.e./100 g de suelo ($1.56 \times 2 = 3.12$).
- 2 — Restado de 28.3, la CIC total, quedan 25.2 que son debidos a la arcilla.
- 3 — En base a un contenido de arcilla de 46%, la CIC en m.e./100 g de arcilla es de 54.

c)—Con estos valores se entra a las tablas patrones y se ve que aproximadamente corresponden a los de una mezcla de arcilla en la cual predomina la montmorillonita o mejor, una arcilla de tipo 2:1 expandible. No se debe esperar que los valores de-

terminados correspondan estrictamente con los calculados para las diferentes mezclas, por cuanto al principio se estableció una serie de suposiciones que limitan la exactitud de los resultados. La comparación de tales valores solamente da un índice del tipo general de arcilla presente.

TABLA 17 - Retención de etileno glicol por montmorillonita, illita, caolinita y sus mezclas.

(M = montmorillonita; I = illita; C = caolinita).

Minerales aislados y sus mezclas			Retención de etileno glicol mg/g de arcilla
Montmorillonita			250 (tipo 2:1 expandible)
Illita			50 (tipo 2:1 no expandible)
Caolinita			10 (tipo 1:1 no expandible)
% M	% I	% C	Valores calculados
90	5	5	228
80	10	10	206
70	15	15	184
60	20	20	162
50	25	25	140
40	30	30	118
30	35	35	96
20	40	40	74
10	45	45	52
0	50	50	30
0	90	10	46
0	10	90	14
% I	% M	% C	
90	5	5	58
70	15	15	74
80	10	10	66
60	20	20	82
50	25	25	90
40	30	30	98
30	35	35	106
20	40	40	114
10	45	45	122
0	50	50	130
0	90	10	126
0	10	90	34

Minerales aislados y sus mezclas			Retención de etileno glicol mg/g de arcilla
% C	% M	% I	
90	5	5	24
80	10	10	38
70	15	15	52
60	20	20	66
50	25	25	80
40	30	30	94
30	35	35	108
20	40	40	122
10	45	45	136
0	50	50	150
0	90	10	230
0	10	90	70

TABLA 18 - Capacidad de intercambio de cationes de montmorillonita, ilita, caolinita y sus mezclas.

(M = montmorillonita; I = ilita; C = caolinita).

Minerales y sus mezclas			Capacidad de intercambio de cationes m.e./100 g de arcilla
Montmorillonita			80
Iilita			30
Caolinita			10
% M	% I	% C	Valores calculados
90	5	5	74.0
80	10	10	68.0
70	15	15	62.0
60	20	20	56.0
50	25	25	50.0
40	30	30	44.0
30	35	35	38.0
20	40	40	32.0
10	45	45	26.0
0	50	50	20.0
0	90	10	28.0
0	10	90	12.0

% I	% M	% C	
90	5	5	31.0
80	10	10	33.0
70	15	15	34.5
60	20	20	36.0
50	25	25	37.5
40	30	30	39.0
30	35	35	40.5
20	40	40	42.0
10	45	45	43.5
0	50	50	45.0
0	90	10	73.0
0	10	90	17.0
% C	M	% I	Valores calculados
90	5	5	14.5
80	10	10	19.0
70	15	15	23.5
60	20	20	28.0
50	25	25	32.5
40	30	30	37.0
30	35	35	41.5
20	40	40	46.0
10	45	45	50.5
0	50	50	55.0
0	90	10	75.0
0	10	90	35.0

Los resultados anteriores deben tomarse con cierta cautela y considerarlos como aproximados por cuanto a ellos se llegó por un procedimiento algo empírico basado en ciertas suposiciones. Sin embargo, esta forma de proceder pone de presente la necesidad de resolver, de acuerdo con nuestro medio, una serie de factores fundamentales que obstaculizan una interpretación más juiciosa de los suelos del país. Se manifiesta sí, la enorme utilidad que se derivaría de la aplicación racional de la retención de

etileno glicol y capacidad de intercambio de cationes, en la caracterización general del tipo de coloide dominante en los suelos.

Con base en la tabla N° 16, se nota cierta tendencia predominante del coloide 2:1 expandible en suelos formados bajo un régimen climático de altas temperaturas y poca precipitación, y del coloide 1:1 no expandible en un clima caracterizado por altas temperaturas y alta precipitación. Como cualquier tipo de arcilla puede ocurrir en uno u otro medios climáticos, no es de sorprender la presencia del tipo 2:1 expandible aún bajo condiciones climáticas extremas, ya que si bien es cierto que el lavado y pH predominante durante la descomposición de las rocas tienen una gran influencia en la formación de un mineral arcilloso específico, el material geológico determina en cierto grado la naturaleza del mismo.

No se entra a discutir la posibilidad de formación de cada tipo de arcilla en las distintas localidades que abarca este estudio, por cuanto no se dispone de registros climáticos, geológicos, ecológicos, etc. que permitan confirmar o negar los resultados obtenidos en cuanto al tipo general de coloide hallado.

Segunda parte:

Se tomaron muestras del subsuelo prácticamente desprovistas de materia orgánica y se determinó el etileno glicol retenido antes y después de quemar a 600°C., tal como se explica en el capítulo "Procedimiento experimental". De acuerdo con esta determinación, la presencia de arcillas 1:1 no expandibles retendrán aproximadamente la misma cantidad de etileno glicol antes y después de quemar, por cuanto la estructura de este tipo de coloide es fija. En cambio, el etileno glicol retenido por arcillas del tipo 2:1 expandible será considerablemente mayor antes de quemar, ya que las moléculas polares del reactivo pueden penetrar entre las láminas de la red cristalina, lo que no sucede cuando la arcilla se somete a un calentamiento relativamente elevado. En la tabla N° 19 se anotan los resultados obtenidos.

TABLA 19 - Etileno glicol retenido por muestras del subsuelo sin quemar y quemadas a 600°C. y tipo general de arcilla.

Suelo Nº	Muestras sin quemar mg/g de suelo	Muestras quemadas a 600°C. mg/g de suelo	Tipo general de arcilla
111	34.7	17.5	2:1 expandible
118	85.5	18.7	2:1 expandible
125	28.9	24.0	1:1 no expand.
149	44.0	13.2	2:1 expandible
154	55.8	13.1	2:1 expandible
160	160.0	52.4	2:1 expandible
163	173.8	42.2	2:1 expandible
166	22.0	19.4	1:1 no expand.
170	20.0	18.7	1:1 no expand.
174	20.0	18.2	1:1 no expand.
178	48.0	44.3	1:1 no expand.
189	24.0	22.2	1:1 no expand.
192	23.2	19.3	1:1 no expand.

Los resultados anteriores confirman algunos de los ya obtenidos por comparación con mezclas patrones de arcillas.

SUMARIO Y CONCLUSIONES

El presente trabajo es una iniciación al estudio de la actividad superficial de algunos suelos de Colombia en relación con ciertas propiedades físicas y químicas de los mismos, mediante la utilización de dos técnicas recientes y de fácil aplicación. Asimismo, se sugiere el empleo de dichas técnicas como medio para empezar un estudio de caracterización de las arcillas.

Se estudiaron 114 muestras de suelos correspondientes a 28 perfiles de distintas localidades de Atlántico, Bolívar, Antioquia, Chocó, Valle, Tolima, Nariño, Cundinamarca, Llanos Orientales y Amazonas.

Las determinaciones realizadas fueron: retención de etileno glicol por el método de Dyal y Hendricks, como medida de la superficie específica total, y capacidad de intercambio de cationes por medio de titulaciones conductiométricas. Se establecieron correlaciones entre los valores encontrados por cada uno de estos métodos y el contenido total de

arcilla y materia orgánica de los suelos. Las principales conclusiones fueron: existe una correlación positiva y altamente significativa entre el contenido de arcilla y materia orgánica de los suelos y el etileno glicol retenido, lo cual sugiere que la superficie específica es una función del contenido de arcilla y materia orgánica. Al analizar los datos individuales de estas correlaciones, se sugiere la posibilidad de que la naturaleza del coloide orgánico e inorgánico determina en alto grado la retención de etileno glicol. Existe una correlación positiva y altamente significativa entre el contenido de arcilla y materia orgánica de los suelos y la capacidad de intercambio de cationes, lo cual sugiere que la capacidad de intercambio de cationes es una función del contenido de arcilla y materia orgánica; se sugiere también la posibilidad de que la naturaleza del tipo de coloide determina en alto grado la capacidad de intercambio de cationes de los suelos de Colombia.

Existe una correlación positiva y altamente significativa entre la superficie específica total y la capacidad de intercambio de cationes lo cual sugiere que esta última propiedad es una función del tamaño de las partículas del suelo y de su naturaleza mineralógica.

El clima determina en gran parte la superficie específica y la capacidad de intercambio de cationes de los suelos de Colombia y así se encontró que los suelos formados bajo un régimen climático, representado por un factor de Lang menor de 60 exhiben valores muy superiores —para aquellas dos propiedades— que los de suelos formados bajo un régimen climático mayor de 60.

Se compararon los valores de etileno glicol retenido y CIC obtenidos en este estudio, con valores calculados para mezclas de los 3 tipos principales de arcilla y se encontró que ambas propiedades son un buen índice para establecer el tipo general de arcilla de los suelos.

Se determinó superficie específica total y superficial específica externa de varios subsuelos y se observó que se confirmaba parte de los resultados anteriores; se sugiere también el empleo de este procedimiento para caracterizar las arcillas.

BIBLIOGRAFIA

1. Bayer, L. D. 1930. The relation of the amount and nature of exchangeable cations to the structure of a colloidal clay. *Soil Sci.* 29 : 291-309.
2. ————. 1948. *Soil Physics*. John Wiley and Sons. New York. 370 pp.
3. Bolt, G. H. 1953. Ion adsorption in clays. *Soil Sci.* 79 : 267-276.
4. Bower, C. A. and F. B. Gschwend. 1952. Ethylene glycol retention by soils as a measure of surface area and interlayer swelling. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 16 : 342-345.
5. ———— and J. O. Goertzen. 1959. Surface area of soils and clays by an equilibrium ethylene glycol method. *Soil Sci.* 87 : 289-292.

6. Bradfield, R. 1927. The saturation capacity of colloidal clay soils. First Int. Cong. Soil Sci. Proc. 4 : 858-868.
7. Brooks, C. S. 1955. Nitrogen adsorption experiments on several clay minerals. Soil Sci. 79 : 331-347.
8. Dean, L. A. and E. J. Rubins. 1947. Anion exchange in soils, I Exchangeable phosphorus and the anion exchange capacity. Soil Sci. 63 : 377-387.
9. Dyal, R. S. and S. B. Hendricks. 1950. Total surface area of clays in polar liquids as a characteristic index. Soil Sci. 69 : 421-432.
10. ————. 1952. Formation of mixed layer minerals by potassium fixation in montmorillonite. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 16 : 45-48.
11. Emmett, P. H., S. Brunauer and K. S. Love. 1938. The measurement of surface areas of soils and soil colloids by the use of low temperature van der Waals adsorption isotherms. Soil Sci. 45 : 57-65.
12. Goates, J. R. et al. 1956. Titration of clay minerals. Soil Sci. 81 : 371-378.
13. Goldberg, S. S. and P. L. Gainey. 1955. Role of surface phenomena in nitrification. Soil Sci. 80 : 43-53.
14. González García, S. 1959. Estudio comparativo de algunos métodos de investigación de arcillas en suelos. Anales Ecol. Fisiol. Veg. 18 : 723-744.
15. Grim, R. E. 1953. Clay mineralogy. McGraw Hill Book Company, New York. 384 pp.
16. Hanna, W. J. and J. F. Reed. 1948. A comparison of ammonium acetate and buffered barium chloride methods for determining cation exchange properties of limed soils. Soil Sci. 66 : 447-458.
17. Harward, M. E. and N. T. Coleman. 1954. Some properties of H and Al-clays and exchange resins. Soil Sci. 18 : 181-188.
- 17a. Henin, S. 1947. Le formation des argiles et la pédologie. Comptes rendus de la Conférence de Pédologie Méditerranéenne. Alger Montpellier.
18. Iler, R. K. 1955. The colloid chemistry of silica and silicates. Cornell University Press. Ithaca, New York.
19. Jurinac, J. J. 1957. The effect of clay minerals and exchangeable cations on the adsorption of ethylene dibromide vapor. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 21 : 599-602.
20. ———— and D. H. Volman. 1957. Application of the Brunauer, Emmett, and Teller equation to ethylene dibromide adsorption by soils. Soil Sci. 83 : 487-496.
21. ————. 1958. Thermodynamics of ethylene dibromide vapor adsorption by Ca-montmorillonite and Ca-Kaolinite. Soil Sci. 86 : 6-12.
22. Kelley, W. P. and W. H. Dore. 1938. The clay minerals of California soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 2 : 115-120.
23. ———— et al. 1939. Comparative study of the colloids of a Cecil and Susquehanna soil profile. Soil Sci. 47 : 175-193.
24. ————. 1948. Cation exchange in soils. Reinhold Publishing Corp. New York. 144 pp.
25. Kolthoff, I. M. and H. A. Laintinen. 1948. pH and electro titrations. John Wiley and Sons, Inc. New York.
26. Kolthoff, I. M. and E. B. Sandell. 1956. Textbook of quantitative inorganic analysis. The Macmillan Company, New York.
27. Lai, T. M., M. M. Mortland and A. Timmick. 1957. High frequency titrations of clay minerals. Soil Sci. 83 : 359-368.
28. Low, P. F. 1955. The role of aluminum in the titration of bentonite. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 19 : 135.
29. MaKower, B., T. M. Shaw, and L. T. Alexander. 1938. The specific surface and density of Some Soils and their colloids. Soil. Sci. Soc. Amer. Proc. 2 : 101-108.
30. Marshall, C. E. and C. A. Krinbill. 1942. The clays as colloidal electrolytes. Jour. Phys. Chem. 46 : 1077-1900.
31. ————. 1948. Ionization of calcium from soil colloids and its bearing on soil and plant relationships. Soil Sci. 65 : 57-68.
32. ————. 1949. The colloid chemistry of the silicate minerals. Agronomy Series Vol. I. Academic Press. Inc New York.
33. ————. 1958. Physico-chemical properties of solid-liquid interfaces in soil systems. Soil Sci Soc. Amer. Proc. 22 : 486-490.

34. Martin, R. T. and M. B. Russell. 1952. Clay minerals of four southern New York soils. *Soil Sci.* 74 : 267-279.
35. ———. 1954. Clay minerals of five New York soil profiles. *Soil Sci.* 77 : 389-399.
36. ———. 1955. Ethylene glycol retention by clays. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 19 : 160-164.
37. Matson, S. 1926. The relation between the electro kinetic behaviour and the base exchange capacity of soil colloids. *J. Amer. Soc. Agr.* 18 : 458-470.
38. ———. 1927. The influence of the exchangeable bases on the colloidal behaviour of soil materials. *First Int. Cong. Soil Sci.* 2 : 185-211.
39. Mc Auliffe, C. D. et al. 1947. Exchange reactions between phosphates and soil hydroxylic surfaces of soils minerals. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 12 : 119-123.
40. Mehlich, A. 1945. Effect of type of soil colloid on cation-adsorption capacity and on exchangeable hydrogen and calcium as measured by different methods. *Soil Sci.* 60 : 289-304.
41. ———. 1948. Determination of cation and anion exchange properties of soils. *Soil Sci.* 66 : 429-446.
42. ———. 1952. Effect of iron and aluminum oxides on the release of calcium and the cation-anion exchange properties of soils. *Soil Sci.* 73 : 361-374. 1954.
43. Mehra, O. P. and M. L. Jackson. 1959. Constancy of the sum of mica unit cell potassium surface and interlayer sorption surface in vermiculite-illite clays. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23 : 101-105.
44. ———. 1959. Specific surface determination by duo-interlayer and mono-interlayer sorption for ervmiculite and montmorillonite analysis. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23 : 351-354.
45. Mitra, R. P. and K. S. Rajagopalan. 1952. Origin of the base exchange capacity of clays and significance of its upper limiting value. *Soil Sci.* 73 : 349-360.
46. Mortland, M. M. 1954. Specific surface and its relationships to some physical and chemical properties of soil. *Soil Sci.* 78 : 343-347.
47. ——— and J. L. Mellor. 1954. Conductimetric titrations of soil for cation exchange capacity. *Soil Science Soc. Amer. Proc.* 18 : 363-364.
48. Mortland, M. M. 1955. Adsorption of ammonia by clays and muck. *Soil Sci.* 80 : 11-18.
49. ——— and A. E. Erickson. 1956. Surface reactions of clay minerals. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 20 : 476-479.
50. Nelson, R. A. and S. B. Hendricks. 1943. Specific surface of some clay minerals, soils, and soil colloids. *Soil Sci.* 56 : 285-296.
51. Olsen, S. R. and F. S. Watanabe. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the langmin isotherm. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 21 : 144-149.
52. Orchiston, H. D. 1953. Adsorption of water vapor. I. Soils at 25°C. *Soil Sci.* 76 : 453-465.
53. ———. 1954. Adsorption of water vapor. II. Clays at 25°C. *Soil Sci.* 78 : 463-480.
54. Pommer, A. M. and D. Carrol. 1960. Interpretation of potentiometric titration of H-montmorillonite. *Nature* 185(4713) : 595-596.
55. Pratt, P. F. and N. Holowaychuk. 1954. A comparison of ammonium acetate, barium acetate, and buffered barium chloride methods for determining cation exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 18 : 365-368.
56. Puri, A. N. and A. G. Asghar. 1938. Titration curves and dissociation constants of soil colloids. *Soil Sci.* 45 : 359-367.
57. ———. 1949. *Soils. Their physics and chemistry.* Reinhold Publishing Corp. New York. 550 pp.
58. Puri, B. R., J. Singh, and L. J. Sharma. 1955. Aciboid value and surface area of soil separates. *Soil Sci.* 79 : 199-205.
59. Quirk, J. P. 1955. Significance of surface areas calculated from water vapor sorption isotherms by use of B. E. T. equation. *Soil Sci.* 80 : 423-430.
60. Rojas Cruz, L. A. 1951. Determinación de la capacidad total de bases de cambio en suelos de alto contenido de materia orgánica. *Rev. Colombiana de Química* 4(1) : 18-25.
61. ———. 1954. Nivel de fertilidad de los suelos de la Sabana de Bogotá. *Laboratorio Químico Nal. Bol.* 1.

62. Roy, B. B. and S. C. Das. 1952. Electrochemical Properties of Hydrogen Clays from Indian Black Cotton Soils. *Soil Sci.* 74 : 351-358.
53. Schaufelberger, P. 1951. La arcilla de los suelos tropicales. Colombia. Federación Nacional de Cafeteros Bol. Tec. 1(5) : 29-46.
54. Schuffelen, A. C. and C. H. Edelman. 1947. On the origin of some clay minerals in soils. *Comptes rendus de la Conférence de Pédologie Méditerranéenne.* Alger, Montpellier.
65. Sor, K. and W. D. Kemper. 1959. Estimation of hydratable surface area of soils and clays from the amount of absorption and retention of ethylene glycol. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 23 : 105-110.

APENDICE

Dada la apremiante necesidad de iniciar un estudio, aunque sea preliminar, de las arcillas de los suelos de Colombia, se sugiere el siguiente método para una caracterización general de dichos materiales. El procedimiento se adapta a cualquier tipo de laboratorio de suelos que cuente con los elementos más indispensables y se presta también a un buen número de investigaciones relacionadas con la actividad superficial de las partículas del suelo.

Esbozo de un método para caracterización general de las arcillas.

I - Preparación de la muestra: Las muestras secas al aire se tamizan por malla de 2 milímetros y se elimina en ellas la materia orgánica con H_2O_2 al 10%. Se tratan con HCl 0.1 N para eliminar el $CaCO_3$ presente; se dispersan con NH_3 y se separa la fracción menor de 2 micras por sedimentación. Si se desea se pueden separar los óxidos de Fe por el método de Jeffries (*Soil Sci.* 68 : 57) Las arcillas así preparadas se saturan con Ba.

II - Retención de Etileno glicol: Se determinan las superficies específica total y externa por el método de Dyal y Hendricks descrito en el texto del trabajo.

III - Capacidad de intercambio de cationes: por el método de Mortland y Mellor, igualmente descrito.

IV - K_2O total: tratamiento con HF , extracción del residuo con HCl y determinación en el fotómetro de llama.

Los valores de etileno glicol retenido revelan la presencia de arcillas expandibles y del tipo general 1:1; el contenido de K_2O ayuda, con ciertas limitaciones, a descubrir la presencia de ilita.

Es muy aconsejable disponer de minerales arcillosos puros de referencia los cuales sirvan como patrones y con los cuales se pueda preparar una serie de mezclas de los tres tipos principales de arcilla para ser usadas, también como patrones, cuando las determinaciones se hagan no ya en la fracción arcilla, sino en toda la muestra de suelo desprovista de materia orgánica.