



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION Y  
PROMOCION AGROPECUARIA



NORTH CAROLINA STATE UNIVERSITY

CIPA XVI-ESTACION EXPERIMENTAL DE YURIMAGUAS

## PROGRAMA DE SUELOS TROPICALES

YURIMAGUAS, PERU

EL SISTEMA DE CLASIFICAR SUELOS  
DE ACUARDO CON SU FERTILIDAD:  
INTERPRETACION, APLICACIONES Y MODIFICACIONES

P.A. Sanchez, W. Couto y S.W. Buol  
1982

SERIE DE SEPARATAS

Nº 5

*Apoyado por el Proyecto Especial de Administración de Suelos Tropicales PL 480, el Proyecto IEE y el Soil Management Collaborative Research Support Program TROPSOILS de la Agencia para el Desarrollo Internacional.*

EL SISTEMA DE CLASIFICAR SUELOS DE ACUERDO CON SU FERTILIDAD:  
INTERPRETACION, APLICACIONES Y MODIFICACIONES 1/

Pedro A. Sanchez  
Walter Couto  
Stanley W. Buol 2/

RESUMEN

Esta publicación resume los primeros cinco años durante los cuales el Sistema de Clasificar Suelos de acuerdo con su Fertilidad (FCC) ha sido ensayado y evaluado. Se presenta una versión mejorada, ejemplos de interpretación y de su aplicabilidad. FCC es un sistema técnico para agrupar los suelos de acuerdo con los tipos de problemas que ellos presentan en el manejo agronómico de sus características químicas y físicas. Este sistema usa parámetros cuantificables de la capa superior del suelo, así como algunas características del subsuelo directamente vinculadas con el crecimiento de las plantas. Las categorías de FCC indican las principales limitaciones del suelo en cuanto a su fertilidad, que pueden ser interpretadas en relación a sistemas de cultivos específicos.

Desde su publicación en 1975, FCC ha sido evaluado y aplicado en varios países. A raíz de esto, las definiciones de varios modificadores han cambiado, habiéndose incluido nuevos modificadores.

Los mapas de suelos pueden ser interpretados y redibujados con unidades de FCC cuando se dispone de los datos necesarios. Partes del Mapa Mundial de Suelos de FAO/UNESCO han sido convertidas en unidades FCC sin mayores dificultades. Este sistema es directamente aplicable a las Guías de Evaluación de Suelos de la FAO.

---

1/ Traducido de la revista Geoderma 27: 283-309 (1982)

2/ Profesor Principal de Suelos Tropicales, NCSU, Especialista en Suelos-Pasturas, CIAT, y Profesor Principal de Clasificación de Suelos, NCSU.

## INTRODUCCION

El Sistema de Clasificar Suelos de acuerdo con su Fertilidad (FCC) ha sido desarrollado para cerrar la brecha entre las subdisciplinas de Clasificación y Fertilidad de Suelos (Buol, 1972; Buol et al. 1975). Como sistema de clasificación técnica de suelos, FCC está dirigido hacia un uso específico, derivado de sistemas de clasificación natural de suelos, como la Taxonomía de Suelos (Soil Survey Staff, 1975) y la leyenda del Mapa Mundial de Suelos (FAO-UNESCO, 1971, 1974, 1977). La interpretación directa de los sistemas naturales para usos específicos es difícil porque los criterios necesarios para un uso específico se confunden con otros criterios, puesto que los sistemas naturales tratan de organizar todos los aspectos que pueden ser medidos en un suelo (Cline, 1949). Los sistemas naturales de clasificación de suelos dan más importancia al subsuelo que a las características de la capa superior del suelo, debido a su carácter más permanente, mientras que la mayoría de las prácticas de manejo de suelos están relacionadas a la capa arable.

Existen actualmente sistemas técnicos de clasificación de suelos para varios fines específicos tales como: la capacidad de uso de los suelos, su aptitud para tanques sépticos, para bosques, para animales salvajes, pastos y para la construcción de carreteras y aeropuertos (Bartelli, 1978). Según nuestro conocimiento, FCC es el primer sistema de clasificación técnico de suelos que los agrupa de acuerdo con sus limitaciones en cuanto a su fertilidad, en una forma cuantitativa. El objetivo de esta publicación es el de describir algunas mejoras en el Sistema, como resultado de cinco años de prueba y de proponer ejemplos de interpretación que se pueden hacer con las unidades FCC y su aplicabilidad en los estudios de capacidad de uso de tierras. El término "capa superior del suelo" se refiere a la capa arable o a los 20 cm superiores del suelo, de los dos, el más superficial. El término "subsuelo" comprende el intervalo de profundidad entre la capa superior del suelo y el límite de 60 cm. debajo de la superficie.

EL SISTEMA

El Sistema FCC está compuesto de tres categorías: tipo (textura de la capa superior del suelo), tipo de substrato (textura del subsuelo), y 15 modificadores, incluyendo varios cambios de la versión original (Buol et al; 1975), originándose de esta manera, esta segunda aproximación. Las clases dentro de cada nivel de categoría, se definen líneas abajo. La combinación de los tres niveles de categoría forman una unidad del Sistema FCC.

Tipo

La textura de la capa arable o de los 20 cm del suelo cualesquiera de los dos que sea más superficial.

- S : Capa superior del suelo arenosa: arenas francas y arenas (por la definición del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos)
- L : Capa superior del suelo franca: < 35% de arcilla pero no incluye arena franca o arena;
- C : Capa superior del suelo arcilloso: > 35% de arcilla
- D : Suelos orgánicos: > 30% de materia orgánica hasta una profundidad de 50 cm o más.

Tipo de substrato (Textura del subsuelo).

Se emplea solamente cuando existe un cambio de textura marcado a partir de la superficie, o si se encuentra una capa dura que impide el crecimiento de las raíces dentro de los primeros 50 cm del suelo.

- S : Subsuelo arenoso; textura similar al del tipo;
- L : Subsuelo franco, textura similar al del tipo;
- C : Subsuelo arcilloso, textura similar al del tipo;
- R : Roca u otra capa dura que impide el desarrollo de las raíces.

Modificadores

Cuando se indica más de un criterio para cada modificador, sólo uno necesita ser conocido. El criterio que se menciona en primer lugar es el deseable y debería emplearse si los datos están disponibles. Los otros criterios siguientes se presentan para casos en que no sea posible cuantificar el primer criterio.

## 4.

- g : (gley): suelo o moteaduras con un chroma  $\leq 2$  dentro de los 60 cm de la superficie del suelo y debajo de todos los horizontes A, o suelo saturado con agua durante  $> 60$  días en la mayoría de los años;
- d : (seco): regímenes de humedad del suelo ústicos, arídicos o xéricos (sub-suelo seco  $> 90$  días acumulativos por año, entre 20 a 60 cm de profundidad), o estación seca pronunciada mayor de 3 meses.
- e : (baja capacidad de intercambio catiónico): se aplica sólo a la capa arable o a los 20 cm superficiales, el que sea más superficial: CIC  $< 4$  meq/100 g. de suelo determinado por la suma de bases + aluminio extraído por 1 NKCl (CIC efectiva), o CIC  $< 7$  mq/100 gr de suelo determinado por la suma de cationes a pH 7 o CIC  $< 10$  meq/100 g de suelo por  $\Sigma$  de cationes + Al + H a pH 8.2;
- a : (toxicidad de aluminio):  $> 60\%$  de la CIC efectiva saturada con Al en los primeros 50 cm de la superficie del suelo, ó  $> 67\%$  de la CIC saturada con acidez, determinada por la suma de cationes a pH 7 en los 50 primeros cm de la superficie del suelo, ó  $> 86\%$  de la CIC saturada con acidez, determinada por la suma de cationes a pH 8.2 en los primeros 50 cm, o un pH en  $H_2O$  (1:1)  $< 5.0$  en los primeros 50 cm, excepto en suelos orgánicos en donde el pH debe ser menos de 4.7;
- h : (ácido): 10-60% de la CIC efectiva saturada con Al en los 50 cm de la superficie del suelo, ó pH en  $H_2O$  (1:1) entre 5.0 y 6.0;
- i : (alta fijación de P por fierro): Relación  $\% Fe_2O_3$  libre/ $\%$  de arcilla  $> 0.15$  y más de 35% de arcilla, o matices de 7.5 YR o más rojos y estructura granular. Este modificador se emplea sólo en los tipos arcillosos (C); se aplica solamente a la capa arable o a los 20 cm de la superficie del suelo, cual sea más superficial;
- x : (Minerales amorfos): pH  $> 10$  en NaF 1N o prueba de NaF positiva en el campo, ú otras evidencias indirectas de dominancia del alofano en la fracción arcillosa;
- v : (vertisol) : arcilla plástica muy pegajosa:  $> 35\%$  de arcilla y  $> 50\%$  de arcillas expandibles 2:1, o fuerte contracción y expansión de la capa superior del suelo;

### Interpretación de los modificadores

Si sólo un modificador está incluido en la categoría FCC, las limitaciones siguientes o requisitos de manejo son aplicables. Las interpretaciones pueden diferir cuando dos o más modificadores estén presentes simultáneamente o cuando los tipos de textura son diferentes.

- g : desnitrificación ocurre frecuentemente en el subsuelo anaeróbico, las operaciones de labranza y ciertos cultivos pueden ser afectados por el exceso de lluvias si el drenaje no es mejorado por la labranza u otros procedimientos de drenaje; indica un buen régimen de humedad del suelo para la producción de arroz.
- d : la humedad es limitante durante la estación seca si el suelo no se irriga; la fecha de siembra tendría que tomar en cuenta la fuerte mineralización de N al comienzo de las lluvias; los problemas de germinación se presentan frecuentemente cuando las primeras lluvias son esporádicas.
- e : baja capacidad de retener elementos nutritivos contra la lixiviación, sobre todo en los casos de K, Ca y Mg; niveles altos de aplicación de estos elementos nutritivos y de fertilizantes nitrogenados tendrían que hacerse en forma fraccionada; peligro potencial de encalado excesivo.
- a : las plantas sensibles a la toxicidad del Al serán afectadas si no se hace un encalado; la extracción de agua debajo de la profundidad de la incorporación de cal será restringida por falta de desarrollo radicular; las necesidades de cal serán altas, salvo cuando se indica también el modificador e; el modificador a es deseable para una rápida disolución de las rocas fosfatadas y para el buen flujo del latex en el jébe (Chan, 1980); la toxicidad de Mn puede ocurrir en alguno de estos suelos.
- h : acidez del suelo baja a mediana; se requiere encalado en el caso de los cultivos sensibles a Al, como algodón y alfalfa.
- i : alta capacidad de fijación de P; se requiere altas cantidades de fertilizante fosforado o prácticas especiales de manejo del fósforo; las fuentes y el método empleado en la aplicación del fertilizante fosforado tienen que ser considerados con cuidado; en los suelos C (> 35% de arcilla en la capa superficial), estos suelos tienen

el fierro, bajas reservas de K). Muchos Vertisoles pertenecen a la categoría C d v b (esto significa suelo arcilloso, estación seca, Vertisol, calcáreo), mientras que un Entisol aluvial sin limitaciones de fertilidad está simplemente clasificado como L (suelo franco). La ausencia de modificadores sugiere que no existe mayor limitación de fertilidad, salvo deficiencia de nitrógeno.

#### INTERPRETACION DE LA NOMENCLATURA FCC

Hasta ahora, sólo se ha discutido el Sistema FCC y los criterios para colocar suelos dentro del Sistema. La clasificación no constituye un fin en sí. Toda clasificación tiene que transmitir información útil. Hasta el momento, no ha sido posible verificar todas las interpretaciones posibles de las categorías FCC, pero algunas de las interpretaciones pertinentes están presentadas aquí. Las presentaciones son breves y quizás no reflejan la totalidad de las interpretaciones deseables.

Están escritas en términos no-técnicos para que los usuarios de los informes de análisis de suelos puedan entenderlas fácilmente. Tratan de llamar la atención de los usuarios sobre las mayores limitaciones que se encontrarán dentro de una categoría FCC.

#### Interpretación de los tipos de textura y de los tipos de substrato

- S : Índice alto de infiltración, baja capacidad de retención del agua.
- L : Índice mediano de infiltración, buena capacidad de retención del agua.
- C : Índice bajo de infiltración, buena capacidad de retención del agua, alta escorrentía potencial si es inclinado, labranza difícil; cuando el modificador "i" está presente, estos suelos (C<sub>i</sub>) son fáciles de labrar, tienen altos índices de infiltración y baja capacidad de retención de agua.
- O : El drenaje artificial es necesario (excepto para arroz) y se producirá una pérdida del suelo por oxidación de materia orgánica; posibles deficiencias de micro-elementos, generalmente se requieren fuertes cantidades de herbicidas.
- SC,CR,LR,SR: Susceptibles a una severa degradación del suelo por erosión dejando expuesto al subsuelo lo cual no es deseable; se tendría que dar una alta prioridad al control de la erosión.

- una estructura granular
- x : alta capacidad de fijación de P; la cantidad y la fuente más conveniente de P tiene que ser determinada; bajos índices de mineralización de N orgánico.
- v : capa superior del suelo de textura arcillosa con propiedades de contracción y expansión; la labranza es difícil cuando es demasiado seco o demasiado húmedo, pero los suelos pueden ser altamente productivos; deficiencias de N y P son comunes.
- k : baja capacidad de suministro de potasio; la disponibilidad de K tendría que ser controlada y los fertilizantes potásicos serán muchas veces necesarios; pueden presentarse desequilibrios entre K, Mg y Ca.
- b : suelos calcáreos; debe evitarse roca fosfatada y otros fosfatos no solubles en agua; deficiencia potencial de ciertos micro-elementos, principalmente fierro y zinc.
- s : presencia de sales solubles; requerimiento de drenaje y manejo especial en el caso de los cultivos sensibles a las sales, es importante el uso de variedades tolerantes a las sales.
- n : altos niveles de sodio; requerimiento de prácticas especiales de manejo de suelos alcalinos, incluyendo el uso de enmiendas como el yeso y drenaje.
- c : suelo potencialmente ácido sulfatado; no se recomienda el drenaje sin prácticas especiales; se tendría que manejar con plantas tolerantes a un alto nivel de napa freática.

Empleando las normas individuales para cada tipo de textura, tipo de substrato, y modificadores, es posible preparar guías de interpretación para todas las categorías FCC. Es posible tener mejores interpretaciones, cuando se consideran dos o más condiciones del suelo. No existe la necesidad de una lista completa de todas las combinaciones posibles porque sólo se encontrará un número limitado de unidades FCC en cualquier área considerada. Al nivel local, sin embargo, la interpretación de las categorías FCC encontradas en relación a los cultivos principales y los sistemas de cultivo específicos utilizados, sería una herramienta de extensión valiosa y un experto local tendría que complementar las breves afirmaciones siguientes con los resultados de la experiencia.



Interpretaciones ilustrativas de las Categorías FCC

- L e h k : Buena capacidad de retención de agua, capacidad mediana de infiltración; baja capacidad de retención de elementos nutritivos para las plantas, sobre todo K, Ca, Mg; dosis elevadas de estos elementos nutritivos y de fertilizantes con N tendrán que hacerse fraccionadamente; requerimiento de encalado para todos los cultivos sensibles a Al; peligro potencial de sobreencalado por la CIC baja; baja capacidad de suministro de K; la disponibilidad de K debe ser controlada y los fertilizantes potásicos que necesitan altos niveles de K.
- L g h : buena capacidad de retención de agua, capacidad mediana de infiltración; limitaciones en el drenaje de tal forma que las operaciones de labranza y ciertos cultivos pueden ser afectados a menos que se mejore el drenaje; suelo medianamente ácido; encalado necesario para ciertos cultivos; suelo excelente para arroz inundado porque la acidez se elimina por la reducción química del suelo al inundarse.
- L C g e a k: la erosión u otra remoción de la superficie del suelo expondrá el subsuelo con textura arcillosa indeseable; el drenaje es limitado tanto que las operaciones de labranza y ciertos cultivos pueden ser afectados hasta que el drenaje sea mejorado; baja capacidad para retener elementos nutritivos para las plantas, principalmente K, Ca , Mg; las dosis altas de estos elementos y del fertilizante nitrogenado se tendrían que efectuar fraccionariamente; plantas sensibles a la toxicidad de Al serán afectadas si la cal no está incorporada de manera profunda; sin embargo, prácticas de encalado profundo son difíciles a causa del sustrato de textura arcillosa; debido a un CIC bajo en la superficie existe un peligro de encalado excesivo; baja capacidad de proveer K; la disponibilidad de K tendría que controlarse y los fertilizantes potásicos puede ser frecuentemente necesarios en el caso de plantas que requieren altos niveles de K.
- L : Suelo excelente sin mayores limitaciones de fertilidad; la deficiencia de N es probable en el caso de un uso intensivo.

## PROBANDO EL SISTEMA

La validez del Sistema FCC ha sido probada con datos de perfiles de suelos de varias partes del mundo y con datos de respuestas en campo a la fertilización en Brazil, Perú, Colombia y Estados Unidos. Estas evaluaciones han sido descritas en los informes anuales del Programa de Suelos Tropicales (Universidad Estatal de Carolina del Norte, 1972, 1973, 1974, 1976, 1978) y por Couto (1976 a 1977), Buol y Nicholaides (1980) y Buol y Couto (1981). A continuación se presenta un resumen de los resultados. El FCC fue ensayado primeramente con un conjunto de datos del mundo entero, con 678 perfiles de suelos de un país (Brasil), con 73 localidades de ensayos de papa en el Perú y un mapa detallado del municipio de Wake en Carolina del Norte (Buol et al, 1975).

Estos estudios iniciales mostraron que: 1) Los suelos pertenecientes a una unidad FCC pueden corresponder a diferentes ordenes, subordenes, grandes grupos, subgrupos o familias en el Sistema Taxonómico de Suelos o en otros sistemas naturales; 2) el número de unidades FCC en una zona determinada es mucho menor que el número de unidades del Sistema Taxonómico, lo que simplifica las interpretaciones; 3) Hacer recomendaciones de fertilización sobre la base de unidades FCC es más ventajoso que hacer recomendaciones generales.

Cuando las recomendaciones de fertilización se hicieron sobre la base de recomendaciones generales, como es hecho a menudo, el retorno promedio a la aplicación de fertilizantes en 73 experimentos de fertilización de papa en el Perú fue de US\$770/ha (Universidad Estatal de Carolina del Norte, 1973). Cuando las recomendaciones de fertilización se hicieron sobre la base de resultados de análisis de suelos en cada campo (P disponible, K intercambiable y pH) el retorno promedio subió hasta US\$ 860/ha, o sea en un 12%. Cuando los suelos fueron agrupados en base a las unidades FCC y las dosis determinadas por una curva de respuesta general para cada unidad, el promedio de retorno se incrementó a US\$ 920/ha o sea un 20%. Finalmente, cuando las dosis de fertilizante fueron determinadas por unidades FCC y en base a los resultados de análisis de suelos, el retorno incrementó a US\$ 965/ha, o sea a un 25%. Este estudio demostró, por lo tanto, el carácter complementario del Sistema FCC con el análisis del suelo.

Estos conceptos fueron evaluados de una manera más profunda con datos de respuesta a fertilizantes en 542 localidades, con experimentos simples de fertilización ejecutados por FAO/ANDA/ABCAR en los estados de Minas Gerais y

Goias, Brasil, desde 1969 hasta 1973. De estos, 248 eran de arroz de secano, 205 con maíz, 45 con frijoles, 31 con algodón y 13 con papa. Los resultados resumidos (Universidad Estatal de Carolina del Norte, 1974) demostraron que las diferencias de textura designadas por tipos de substratos tenían efectos mayores en los rendimientos de todos los cultivos. Los suelos C producían siempre rendimientos más altos que los suelos LC, que, en cambio, daban rendimientos mayores que los suelos SL. Aunque estos resultados sólo son aplicables a este conjunto de datos, las diferencias de rendimientos entre los suelos C vs. SL fueron de 77% en el caso de arroz de secano y de 47% para los rendimientos en suelos C vs LC en el caso de algodón. La ausencia del modificador e (CIC bajo) invariablemente coincidió con rendimientos más altos. El modificador a (toxicidad de Al) redujo los rendimientos en todos los cultivos, a excepción de papa, en donde los rendimientos aumentaron debido a la tolerancia de esta especie hacia el Al y una incidencia reducida de enfermedades en niveles de pH más ácidos.

Como se esperaba, el modificador a tuvo un efecto negativo marcado en los rendimientos de algodón, que es el cultivo más sensible al Al en este estudio. La presencia del modificador i (definido originalmente como %  $Fe_2O_3$  / % de arcilla > 0.2 por Buol et al., 1975) no indicó disminuciones de los rendimientos debido a la fijación de P. Las dosis de fósforos aplicadas en estos experimentos siguientes fueron demasiado bajas para sobrepasar la fijación de P. En varios casos, los resultados no fueron tan consistentes como lo que se esperaba, particularmente con los modificadores i y k. Una parte del problema fue el rango limitado de tratamiento con fertilizantes, la ausencia de encalado, las diferencias entre las variedades utilizadas, disminuciones de rendimientos debido a sequía, ataques por insectos y otros factores no asociados con problemas de fertilidad. A pesar de estas limitaciones, el sistema fue satisfactorio. Estudios de laboratorio posteriores redefinieron el modificador i como la relación de % de  $Fe_2O_3$  libre / % de arcilla superior a 0.15 y más de 35% de arcilla (Couto, 1976 b; Pope, 1976; Pope y Buol, 1976).

Una evaluación menos extensiva conducida con datos de 15 experimentos de maíz en Colombia demostró que los modificadores h y b fueron principalmente responsables de las diferencias de rendimientos (Couto, 1976 c).

Como el sistema había sido ensayado hasta ese momento con datos de países en vía de desarrollo, se emprendió un estudio de su aplicabilidad en sistemas

de cultivos más intensivos en los Estados Unidos. Couto (1978) evaluó el sistema con experimentos de soya conducidos a través del Sudeste de los Estados Unidos entre 1968 y 1973 por el Departamento de Agricultura. Las 184 localidades ubicadas desde Virginia hasta Texas fueron agrupadas en 26 unidades FCC, muchas de las cuales incluían diferentes ordenes de suelos. A pesar del nivel intensivo de los fertilizantes utilizados, se observó rendimientos de soya más bajos cuando los modificadores e y k estaban presentes, indicando una CIC baja y una baja capacidad de suministro de k.

Lugares con los modificadores g, d, a y h produjeron rendimientos altos porque las limitaciones de humedad y de acidez fueron corregidas por drenaje, irrigación y encalado. La presencia de los modificadores de acidez estuvo bien correlacionada con el uso de cal en estos experimentos de soya. Entre los sitios que mostraban el modificador a, el 80% fue encalado, en oposición a sólo el 20% de los sitios que no tenían los modificadores a o h.

De la misma manera, el 76% de los sitios con modificador k recibieron fertilización con k, en contraste con sólo el 49% de sitios sin este modificador. En los años con una precipitación más alta de la normal durante el mes crucial de agosto, los sitios con el modificador g (drenaje pobre) sufrieron una pérdida de rendimiento, mientras que sitios sin este modificador no fueron afectados.

Estas evaluaciones demostraron que el Sistema FCC es un instrumento útil para relacionar las limitaciones de fertilidad con las respuestas de los rendimientos de cultivos en una amplia gama de suelos y de cultivos. Como se esperaba, la clasificación FCC no es suficiente para predecir la respuesta del rendimiento porque los factores no relacionados con la fertilidad afectan obviamente los rendimientos y las respuestas a fertilizantes. El Sistema FCC fue también válido en los sistemas con insumos mínimos en la región central de Brasil y en zonas con una larga historia de fertilización intensiva en el Sudeste de los Estados Unidos.

## INTERPRETACION DE MAPAS DE SUELOS CON FCC

Las unidades de los mapas de suelos pueden ser convertidas en unidades FCC cuando se dispone de suficiente información. Es fácil realizarlo en el caso de mapas de suelos detallados y ha sido hecho para la región de Yurimaguas en la selva peruana y el Centro de Pesquisa Agropecuaria dos Cerrados cerca de Planaltina, Brasil por W. Couto. En ambos casos, los mapas demuestran como las diferencias de suelos en zonas relativamente pequeñas podrían afectar la interpretación y la extrapolación de los resultados experimentales.

Ha sido posible convertir los datos para los suelos dominantes del Mapa Mundial de Suelos de la FAO o en unidades FCC sobre la base de las definiciones de la leyenda de los mapas, incluyendo la información al nivel de fase, que es necesaria para determinar el tipo de substrato. La conversión se hace sobre la base de los datos de perfiles típicos además de las definiciones de las mismas unidades de mapa, sus fases y el clima. Las publicaciones de Dudal (1976,1977) sobre la disponibilidad los elementos nutritivos para las plantas en las diferentes unidades de suelos de la FAO y las unidades de la Taxonomía de Suelos fueron útiles para esta interpretación. Un ejemplo de tales conversiones del Mapa de los Suelos del Mundo de la FAO para Africa (FAO, 1977) se dá en el Cuadro 1. En algunas de estas unidades no fue posible determinar los tipos de textura FCC porque no se dió ninguna indicación acerca de ella, por ejemplo, para las unidades de mapa Lg 21 y So 1 -a.

Las Figuras 1, 2, 3 y 4 extraen del mapa FCC de América del Sur las localidades donde son más frecuentes ciertas limitaciones de fertilidad. La Fig. 1 muestra la distribución de los niveles tóxicos de Al, donde el modificador a es predominante. De la misma manera, la Fig. 2 presenta las regiones con el modificador i que indica una alta fijación de P, y la Fig. 3 las que tienen bajas reservas de K, lo que se indica por el modificador k. Empleando láminas transparentes, la Fig. 4 presenta las áreas afectadas por estos tres factores: toxicidad de aluminio, alta fijación de fósforo y bajas reservas de potasio.

## UTILIZACION DEL SISTEMA

Los mapas a pequeña escala pueden ser útiles para las evaluaciones a nivel mundial, pero las técnicas similares a gran escala pueden ser muy útiles para evaluar los problemas de fertilidad al nivel regional o local. FONAIAP (La Fundación Nacional de Investigación Agrícola de Venezuela), está levantando sistemáticamente, mapas del país con el Sistema FCC, a escalas desde 1:100,000 hasta 1:500,000 de acuerdo con la intensidad del desarrollo agrícola de cada estado o región de Venezuela. Los informes y mapas ya han sido publicados para los Estados de Barinas, Portuguesa, Cojedes y partes de Zulia y Anzoátegui (Luque y Avilán, 1976; Avilán et al., 1977, 1978, 1979; Brito et al., 1979). De manera similar, los mapas de suelos del Ecuador se están interpretando con el Sistema FCC por el Programa de Regionalización.

Se han levantado, también, mapas o realizado interpretaciones para el cuadrado de Campinas de São Paulo (Oliveira, 1978), en Brasil; a través de toda América Latina con el Estudio de Evaluación de Recursos de Tierras del CIAT (CIAT, 1978, 1979, 1980; Cochrane, 1979), y por Sánchez y Cochrane (1980) en una evaluación de las limitaciones de los suelos en la América tropical, y a nivel de la Amazonía por Cochrane y Sánchez (1982).

El Sistema FCC se está también aplicando en los estudios de evaluación de recursos de suelos en Liberia, Costa de Marfil, Indonesia, y por ORSTOM en territorios franceses en el Pacífico.

## MODIFICACIONES ULTERIORES DEL SISTEMA

Como el Sistema FCC fue desarrollado para dar información sobre el manejo de la fertilidad, no fueron incluidos todos los parámetros relacionados con otros problemas de manejo de los suelos. Se han hecho sugerencias para incluir ciertos aspectos, que harían al sistema más aplicable a las limitaciones de manejo de suelo, por ejemplo, en las toposecuencias del Oeste de Africa. Los aspectos deseados incluyen el contenido de grava, la pendiente y quizás más de una clase de materia orgánica. Como respuesta, los modificadores de grava y de pendiente están ahora incluidos en el Sistema FCC.

La materia orgánica ha sido excluida deliberadamente hasta que sea evidente que existe un contenido crítico de materia orgánica, debajo del cual se requiere un paquete suficientemente diferente de prácticas de manejo de fertilidad,

en un rango amplio de suelos y de sistemas de cultivo. En los lugares donde se conoce tal contenido, como por ejemplo una relación C/N crítica para jébe en Malasia (Chan, 1980), puede ser añadido un modificador adicional para este uso específico del suelo. Los límites tienen que ser cuantitativos y capaces de ser determinados con técnicas analíticas simples.

Las modificaciones introducidas por los usuarios de Venezuela y de Brasil hasta el momento se han concentrado sobre el cambio de los símbolos de los tipos y de los modificadores para que correspondan a los equivalentes españoles y portugueses de "sandy", "clayey", etc. Aunque tales traducciones pueden causar confusión al nivel internacional, ellas facilitan el entendimiento por los usuarios locales de las unidades FCC, y, por esta razón, nos parecen útiles. En el estudio de Campinas, sin embargo, Oliveira (1978) propuso una definición adicional del modificador  $i$ , con el fin de incluir el rol de la gibsita en la fijación de fósforo, de la siguiente manera:

$$i = \frac{\% \text{Fe}_2\text{O}_3 \text{ libre} + 1.5 (\% \text{ gibsita}) + 2 (\% \text{ arcilla})}{4.5} \geq 25$$

En esta publicación, sin embargo, Oliveira tomó la precaución de clasificar sus suelos en ambos sistemas, el Sistema FCC actual y el mismo con la modificación propuesta. Para facilitar las comunicaciones internacionales, sugerimos que los usuarios del sistema sigan el ejemplo de Oliveira en usar la referencia internacional.

Antes que añadir clases adicionales, los cambios más comunmente esperados en el Sistema FCC son las subdivisiones de los mismos modificadores, con el fin de establecer los límites más precisos para los fines específicos de uso del suelo. Al usuario del Sistema se le sugiere emplear un asterisco(\*) o dos asteriscos (\*\*) en tales casos. Se debe tener cuidado, sin embargo, de identificar los límites de cada modificación en una forma cuantitativa.

Hay varios casos en los cuales estas modificaciones son obviamente deseables. Por ejemplo, el límite de conductividad para la salinidad en el modificador  $s$  (4 mmho/cm) es demasiado amplio para cultivos sensibles a las sales como por ejemplo la yuca, que sufre de salinidad a 0.4 mmho/cm (León y Medina, 1977). Para los sistemas de uso del suelo que incluya la yuca, podría definirse un nuevo modificador  $s^*$  con una conductividad de 0.4 mmho/cm o más.

En el otro extremo de la gama de la fertilidad de suelos, parece ser necesario subdividir el modificador a para poder distinguir especies de pastos muy tolerantes al Al como el Andropogon gayanus y Stylosanthes capitata, de especies menos tolerantes como Panicum maximum y Pueraria phaseoloides. Un modificador a \* definido como el 80% o más de la saturación de la CIC efectiva con Al haría esta distinción mientras que se conservaría el modificador a original con su definición de 60%. Modificaciones parecidas son factibles, de acuerdo con Chan (1980) para plantaciones de jebe y palma aceitera.

Cuando se introducen cambios de este tipo, los modificadores actuales tendrían que quedarse sin asterisco (\*). Los nuevos modificadores con asteriscos tendrían que acompañarse de su definición como nota al pie de la página en el informe o mapa específico.

#### APLICABILIDAD DE LAS GUIAS DE EVALUACION DE SUELOS DE LA FAO

El Sistema FCC puede ser incorporado en el Esquema de FAO para la Evaluación de los Suelos (FAO, 1976) y en las guías que se están preparando para la agricultura en seco y bajo riego. Como se va a emplear probablemente a nivel mundial, el Esquema de Evaluación de Suelos es importante. Cada tipo FCC, tipo de substrato y cada modificador corresponde a la definición de una característica de suelo "un aspecto del campo que puede ser medido o estimado" (FAO, 1976). Este documento constata de una manera correcta que si las características del suelo se evalúan por si mismas, hay problemas porque no se consideran las interacciones entre varias características.

El uso de las unidades FCC elimina este problema, por lo menos cuando se trata de las características relacionadas con la fertilidad, empleando interpretaciones como las que se describieron anteriormente en el presente artículo. El "Esquema" define la calidad del suelo como "una característica compleja del mismo que actúa de una manera distinta en cuanto a su influencia sobre la conveniencia de una clase de uso específico para el suelo" (FAO, 1976). Los autores de este artículo interpretan este concepto como un agrupamiento cualitativo de interacciones de características del suelo. La calidad del suelo puede ser cuantificada en términos del costo de eliminación de las limitaciones o en términos de las ganancias potenciales en relación a un uso específico del suelo en una ubicación específica y a un momento determinado. El uso de las unidades FCC y los sistemas técnicos definidos de una manera similar para clasificar



otros aspectos del suelo pueden llevar a una cuantificación de la calidad del suelo en términos físicos.

El "Esquema para Evaluación de Suelos" da una lista de 17 calidades de suelos relacionadas con la productividad o con el crecimiento de las plantas. Siete de ellas están relacionadas con parámetros FCC: "disponibilidad de elementos nutritivos", "salinidad y alcalinidad", "toxicidad del suelo", "disponibilidad de oxígeno en la zona radicular", "disponibilidad de humedad", "adecuación del soporte de las raíces" (soporte físico), y "resistencia del suelo a la erosión". Veamos como estas calidades pueden cuantificarse.

#### Disponibilidad de Elementos Nutritivos

Las interpretaciones de las unidades FCC como las descritas anteriormente en esta publicación son una expresión directa de esta calidad del suelo. Los niveles críticos de análisis del suelo, no están recomendados en la evaluación de esta calidad del mismo porque se trata de parámetros transitorios, los cuales aumentan o disminuyen con el manejo. Cuando se trata de un sistema bien definido de uso del suelo usando cultivos y cultivares determinados, los niveles críticos del suelo o los niveles del análisis foliar podrían complementar las unidades FCC que reflejan las limitaciones de fertilidad más estables.

#### Salinidad y Alcalinidad

La presencia de modificadores s y n pueden definir esta calidad de campo. La presencia del modificador g que indica un pobre drenaje y el modificador y que indica problemas de labranza pueden contribuir a la interpretación. Al margen del Sistema FCC, la disponibilidad de riego para lavar las sales del suelo y de un sitio para depositar las aguas del drenaje son otras consideraciones importantes. La disponibilidad de yeso para recuperar los suelos sódicos entra en la interpretación al nivel local.

Como ya se mencionó, los límites de estos modificadores pueden ser cambiados de acuerdo a los niveles críticos de cada cultivo o variedades que se use.

#### Toxicidad del Suelo

Esta calidad del suelo será presentada, como fue indicado anteriormente por las unidades FCC siguientes:

- (1) Para sistemas de cultivos no inundados: a = Toxicidad de Al, ag = posible toxicidad de Mn si los contenidos de materia orgánica son superiores a 5%, c = niveles de acidez tóxicos cuando los suelos ácidos sulfatados son drenados.

Una vez más, las modificaciones locales, como  $a^*$ ,  $a^{**}$  podrían ser utilizadas para cultivos específicos.

(2) Para sistemas bajo inundación, principalmente con arroz:

$C_i$  = toxicidad de fierro potencial,  $O_a$  = toxicidad potencial de ácidos orgánicos,  $b$  = toxicidad potencial de  $CO_2$ ,  $c$  = toxicidades potenciales de Al, Fe y  $H_2S$ .

#### Disponibilidad de Oxígeno en la Zona Radicular

El modificador  $g$  es una indicación que el oxígeno no estará disponible en algunas capas dentro de los primeros 50 cm. durante parte o toda la estación de crecimiento. Para el arroz esto no es problema.

#### Disponibilidad de la Humedad

Los tipos y tipos de substratos juegan un papel muy importante en la definición de la capacidad de retención de agua, mientras que los modificadores  $g$  y  $d$  indican respectivamente un exceso o una deficiencia de la humedad del suelo.

Algunos ejemplos:  $S$ ,  $C_i$ : baja capacidad de retención del agua;  $L$ : mediana capacidad de retención del agua;  $C$  (excepto  $C_i$ ): alta capacidad de retención del agua;  $R$ : limitación física de la disponibilidad del agua debido a una poca profundidad;  $a$ : limitación química en la disponibilidad del agua del subsuelo a las plantas sensibles al Al.

Los factores climáticos, como por ejemplo en la distribución de la precipitación, tienen que considerarse obviamente en el caso de esta calidad de suelos. FCC no dice mucho en este sentido, aunque el modificador  $d$  indica problema de germinación de mortalidad de plantas jóvenes causados por siembras con una precipitación esporádica al principio de la estación de lluvias.

#### Adecuación del Soporte de las Raíces

$R$ ; una barrera física dentro de los 50 cm, que limita el crecimiento;  $O$  = hundimiento con el drenaje, puede dañar cultivos permanentes;  $a$  = una barrera química dentro de los 50 cm superiores, limitará el desarrollo de las raíces de todos los cultivos sensibles a Al;  $L'$ ,  $L''$ ,  $S'$ ,  $C'$ ,  $C''$  + limitaciones por la presencia de grava o de materiales conglomerados en la capa superior del suelo.

### Resistencia a la Erosión del Suelo

Ci, Cx, Lx = Estos suelos están menos afectados por la erosión debido a ser suelos altamente permeables y estables; SC, SR,LR, S'C, L'C, S''C, L''C, S'R, L'R, L''R = deterioración causada por la erosión; v, bv = alta erodabilidad de los suelos.

El factor de pendiente (%) puede contribuir a evaluar la resistencia del suelo a la erosión cuando se combina con el Sistema FCC. La erosividad de la lluvia tiene que ser considerada, igualmente.

### Referencias bibliográficas

- Avilán, L., Granados, F., Hidalgo, E., y Pérez, O., 1977  
Clasificación interpretativa de los suelos del Estado Portuguesa en base a su fertilidad. FONAIAP, Sub-Programa Suelos, Maracay, Venezuela.
- Avilán, L., Pérez, O. y Mazzi, L., 1978. Clasificación interpretativa de los suelos del Estado Barinas en base a su fertilidad. Resúmenes de trabajo. 5to. Congreso Venezolano Cienc. Suelo. Jusepín, Venezuela.
- Avilán, L., Pérez, O. y Mazzi, L., 1979. Clasificación interpretativa de los suelos de los Llanos Occidentales en base a su fertilidad. FONAIAP-CENIAP. Secc. Fert. Nutr. Miner., Bol. Tec., 15.
- Bartelli, L. J., 1978. Technical classification systems for soil interpretations. Adv. Agron., 30: 247-289.
- Brito, J. G., Brito, P. y Mazzi, L., 1979. Sistema de clasificación de suelos en base a su fertilidad. FONAIAP-CENIAP. Sub-programa Suelos. Bol. Tec., 18.
- Buol, S. W., 1972. Fertility capability classification system. In: Agronomic Economic Research on Tropical Soils, Annual Report for 1971. Soil Sci. Depa. N. C. State Univ., Raleigh, N.C., pp: 45-50.
- Buol, S. W., Sánchez, P. A., Cate, R. B., Jr. and Granger, M. A., 1975. Soil fertility capability classification: a technical soil classification system for fertility management. In: E. Bornemisza and A. Alvarado (editors), Soil Management in Tropical America. N.C. State University, Raleigh, N.C., pp. 126-145 (also in Spanish).
- Buol, S. W. and Couto, W., 1978. Fertility management interpretations and soil surveys of the tropics. In: Diversity of Soils in the Tropics. ASA Spec. Publ., 34: 65-75.
- Buol, S. W. and Couto, W., 1981. Soil fertility capability assessment for use in the humid tropics. In: D. J. Greenland (Editor), Characterization and Classification of Some Soils of the Humid Tropics. Wiley, London, pp.254-261.

- Buol, S. W. and Nicholaides, J. J., III, 1980. Constraints to soil fertility evaluation and extrapolation fo research results. In: Priorities for Alleviating Soil-Related Constraints to Food Production in the Tropics. IRRI, Los Baños, Philippines, pp. 425-438.
- Chan, H. Y., 1980. Tropical tree crop requirements and land evaluation: a case experience of Malaysia. Rubber Res. Inst. Malaysia, Kuala Lumpur.
- CIAT, 1978, 1979, 1980. Annual Reports for 1977, 1978, 1979. Cent. Int. Agric. Tropic., Cali, Colombia.
- Cline, M. G., 1949. Basic principles of soil classification. Soil Sci., 67: 81-91.
- Cochrane, T. T., 1979. An ongoing appraisal of the savanna ecosystems of tropical America for beef cattle production. In: P. A. Sánchez and L. E. Tergas (Editors), Pasture Production in Acid-Soils of the Tropics. CIAT, Cali, Colombia, pp. 1-12 (also in Spanish).
- Couto, W., 1976a. Clasificación de suelos en base a su fertilidad. 4to. Congr. Nac. Cienc. Suelo, Maturin. Univ. Oriente, Jusepin, Venezuela, pp. 85-87.
- Couto, W., 1976b. Evaluation of the i modifier (high phosphorus fixation by iron) with corn experiments from Brazil. In: Agronomic-Economic Research on Soils of the Tropics. Annual Report for 1975. N.C. State Univ., Raleigh, pp. 249-242.
- Couto, W., 1976c. System evaluation in Colombia. In: Agronomic-Economic Research on Soils of the Tropics. Annual Reports for 1975. N.C. State University, Raleigh, pp. 240-245.
- Couto, W., 1977. Fertility capability classification: a summary report. Tropical Soils Program, N.C. State Univ., 73 pp (mimeographed).

- Couto, W., 1978. System assessment in the U.S. In the U.S. In: Agronomic-Economic Research on Soils of the Tropics. Annual Report for 1976-1977. N.C. State Univ., Raleigh, pp. 235-243.
- Dudal, R., 1976. Inventory of major soils of the world with special reference to mineral stress hazards. In: M.J. Wright (Editor), Plant Adaptation to Mineral Stress in Problem Soils. Cornell Univ., Ithaca, Ny, pp. 3-14.
- Dudal, R., 1977. Plant nutrient relationships in major soil regions, pp. 78-88. In: Proc. Int. Seminar Soil Environ. Fertil. Manage., Intensive Agric. (SEFMIA), Soc. Sci. Soil Manure, Japan.
- FAO, 1971. Soil Map of the World, 4. South America. Unesco, Paris.
- FAO, 1974. FAO-UNESCO Soil Map of the World, 7. Legend. Unesco, Paris.
- FAO, 1976. A Framework on Land Evaluation. FAO Soil Resour. Bull., FAO. Rome.
- FAO-Unesco, 1977. Soil Map of the World, 6. Africa. Unesco, Paris.
- León, L.A. y Medina, C., 1977. Diagnóstico y recuperación de suelos salinos y sódicos en relación al cultivo de frijol. CIAT, Cali, Colombia, 25 pp.
- Luque, O. y Avilán, R.L., 1976. Clasificación conforme a la fertilidad de los suelos de la mesa de Guanipa, Estado Anzoátegui. In: Resúmenes de trabajo, Congr. Venezolano Cienc. Suelo. Maturín, p.4.
- North Carolina State University, 1972, 1973, 1974, 1976, 1978. Annual Reports, Tropical Soils Program. Sci. Dep., Raleigh, N.C.
- Oliveira, J.B., 1978. Classificação de solos de quadrícula de Campinas. Inst. Agron. Campinas, Bol. Tec., 59.
- Pope, R.A. 1976. Use of soil survey information to estimate phosphate sorption by highly weathered soils Ph.D Thesis, N.C. State Univ., Raleigh, 82 pp.
- Pope, R.A. and Buol, S.W., 1976. Improving the i modifier. In: Agronomic-Economic Research on Soils of the Tropics. Annual Report for 1975. NC State, Raleigh, pp. 245-250.
- Pope, R.A. 1978. Modification of the i modifier. In: Agronomic-Economic Research on Soils of the Tropics. Annual Report for 1976-1977. N.C. State Univ., Raleigh, pp 229-235.

Sanchez , P.A. and Cochrane, T.T., 1980. Soil constraints in relation to major farming systems in tropical America. In: Soil Constraints Conference, IRRI, Los Baños, Philippines, pp. 107-140.

Soil Survey Staff, 1975. Soil Taxonomy: A Basic System of Soil Classification for Making and Interpreting Soil Surveys. U.S. Dep. Agric. Handbook, 436, U.S. Dep. Agric., Washington, D.C.

Sopher, C.D. and Mc Cracken, R.J., 1973. Relationship between soil properties management practices and corn yields on South Atlantic Coastal Plain soils. Agron. J., 65: 595-600.

Cuadro 1. Ejemplos de conversiones de unidades de mapeo FAO en su mapa de Africa (FAO-UNESCO 1977) en clases de FCC basada en las propiedades del suelo dominante en cada unidad de mapeo.

Simbolo de la unidad cartográfica	Leyenda del mapa FAO	Unidad de FCC
Af 1-1/2a	Ferric Acrisol	L C d a e k
Af 18-1a	Ferric Acrisol	S C d a e k
Ao 63-3b	Orthic Acrisol	C d h
Ap 22-2b	Plinthic Acrisol	L C" d g e h k
Bc 8-2b	Chromic Cambisol	L d
Bd 33-2a	Dystric Cambisol	L h
Bk 2-26	Calcic Cambisol	L d b
E 12-26	Rendzina	L R d b
E 14-2c	Rendzina	L d b
Fh 1-3b	Humic Ferralsol	Ch i k
Fo 90-2/3b	Orthic Ferralsol	C e a i k
Gd 5-2a	Dystric Gleysol	L C g e a k
Ge 32-2/3a	Eutric Gleysol	L C g h
Hh 9-2b	Haplic Phaeozem	L d
Hl 36-2a	Luvic Phaeozem	L R d
Je 1-2a	Eutric Fluvisol	L d
Lc 37-1ab	Chromic Luvisol	S d b
Lf 18-1a	Ferric Luvisol	S C d e h k
Lg 21	Gleyic Luvisol	g d h
Nd 1-2a	Dystric Nitosol	L C e a k
Ne 7-2/3b	Eutric Nitosol	L C" d k
Od 10-1/2a	Dystric Histosol	O g h
Ph 5-1a	Humic Podzol	S e h k
Qa 5-1a	Albic Arenesol	S R d e h k
Qc 30-1a	Cambic Arenesol	Se k
Rc 1-1b	Chromic Regosol	S d e k b
Rc 25-3c	Chromic Regosol	C R d e k b
So 1-a	Orthic Solonetz	d n
So 9-2/3a	Orthic Solonetz	L C d n
Tm 8-2/3c	Mollic Andosol	L d x
To 8-1b	Orthic Andosol	S d x
Vc 26-3a	Chromic Vertisol	C d v b
Vp 10-3a	Pellic Vertisol	C d v b
We 2-1a	Eutric Planosol	S C g d n
Xh 22-1/2ab	Haplic Xerosol	L R d
Xk 10-2a	Calcic Xerosol	L d b
Y 1-1a	Yermosol	S' d
Yh 17-2c	Haplic Yermosol	L R d
Zg 3-3a	Gleyic Solonchak	C g d b s
Zo 5-2/3a	Orthic Solonchack	L C d s





Fig. 1. Areas de América del Sur donde los suelos dominantes tienen limitaciones potenciales de toxicidad de aluminio (Modificador a)



Fig. 2. Areas de America del Sur donde los suelos dominantes tienen alta capacidad de fijar fósforo (Modificador i).



Fig. 3. Areas de America del Sur donde los suelos dominantes tienen bajas reservas de potasio (Modificador k)



Fig. 4. Areas de America del Sur donde los suelos dominantes tienen limitaciones conjuntas de toxicidad de Al, alta fijación de P y bajas reservas de K (Modificadores a, i, k). Sólo las áreas con triángulos poseen los tres limitantes.