

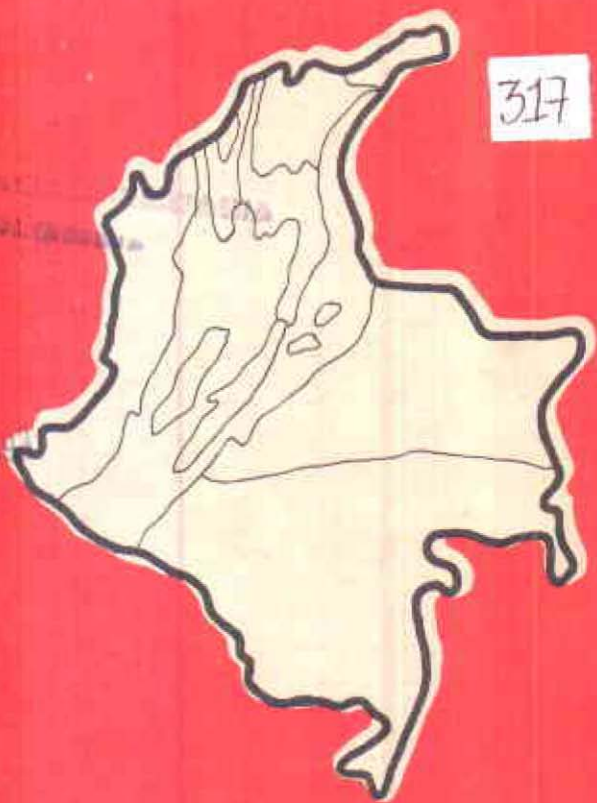
152

3 cop.

No.
11

317

REGISTRO NACIONAL DE SUELOS DE COLOMBIA



MINISTERIO DE AGRICULTURA

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPÉCUARIO

22 JUL 1971

subgerencia técnica
comisión de investigadores
programa nacional de suelos
BOLETIN TECNICO

ABRIL DE 1971

Generalidades sobre la fertilidad de los suelos colombianos

712

3 cop.

212

30p.



Generalidades
sobre la fertilidad de los
suelos colombianos



**PROGRAMA NACIONAL DE SUELOS
PERSONAL TECNICO**

A. HUGO MANZANO	I.A. Ph.D. Director Nal. Programa	TIBAITATA
JAIME NAVAS A.	I.A. M.S. Jefe Sección	TIBAITATA
RODRIGO LORA S.	I.O. M.S. Jefe Laboratorio	TIBAITATA
JESUS MARIA MORALES	I.A.	TIBAITATA
ALFREDO LEON S.	I.O. Ph.D. Jefe Sección	PALMIRA
GILDARDO MARIN	I.A. M.S. Hasta enero de 1971	PALMIRA
ARTURO MENDOZA	I.A. M.S.	PALMIRA
FERNANDO MUNEVAR	I.A.	PALMIRA
ERIC OWEN	I.A. M.S.	VILLAVICENCIO
LUIS F. SANCHEZ	I.A.	VILLAVICENCIO
EDUARDO SARMIENTO	I.A. Jefe Sección	TURIPANA
CLAUDIO ACOSTA	Agrólogo	TURIPANA
AGATHON WIECZOREK P.	I.A.	SURBATA
MANUEL RODRIGUEZ	I.A. Jefe Sección	MEDELLIN
RAFAEL QUINTERO D.	I.A.	BUCARAMANGA
CARLOS PANTOJA	I.A.	TINAGA
RAMON FERNANDO BERNAL	I.A.	SARAVENA
JOSE A. BRUGES	I.A.	MARCONIA
BLADIMIRO HINOJOSA	I.A.	VALLEDUPAR
ALBERTO CARDENAS	I.A.	CODAZZI
DANIEL GUTIERREZ	I.A. Jefe Sección	NATAIMA
ALBERTO LOPEZ	I.A.	URABA. T.OSPINA

EN COMISION DE ESTUDIOS

RAMIRO HERNANDEZ	I.A.	MEJICO
RAMIRO GUERRERO	I.A. M.S.	ESTADOS UNIDOS

CONTENIDO

INTRODUCCION	3
LA INVESTIGACION SOBRE FERTILIDAD DE SUELOS EN EL PAIS	4
RESULTADOS GENERALES SOBRE FERTILIDAD	4
Nitrógeno	4
Fósforo	4
Potasio	5
Boro, Molibdeno y Zinc	5
EVALUACION DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS POR SU ANALISIS . . .	5
PROCEDIMIENTO	5
Métodos de análisis	6
Niveles críticos para P y K	6
La acidez del suelo	6
La materia orgánica	7
División del país en regiones naturales	7
RESULTADOS GENERALES DE LA INFORMACION OBTENIDA	8
Resultados generales	8
Grados de acidez en las diferentes regiones naturales del país	10
Distribución de las muestras de acuerdo a valores de pH	10
Relaciones entre pH y aluminio intercambiable	12
Necesidades de cal	12
Contenido de materia orgánica	13
Porcentajes promedios del contenido de materia orgánica	13
Por regiones naturales	13
Contenido de fósforo y potasio	15
Distribución de las combinaciones de los niveles críticos de P y K	15
Combinaciones P-K más frecuentes	17
Grados de fertilizantes sugeridos	18
Necesidades de fertilizantes fosfatados	20
CONCLUSIONES	21
RESUMEN	22
BIBLIOGRAFIA	23

INTRODUCCION

Los resúmenes de análisis de suelos suministran una valiosa información sobre la acidez, alcalinidad y estado de fertilidad de los mismos dentro de una determinada área o municipio.

Los datos recopilados se pueden utilizar para identificar aquellos nutrimentos que puedan ser deficientes en los suelos y también para enfocar la atención en los fertilizantes necesarios para suplirlos. Una información bien documentada sobre el porcentaje de los varios grados sugeridos puede ser de gran utilidad para las industrias de fertilizantes en cuanto a planeación de sus programas de producción y distribución.

Es muy importante recalcar que los resúmenes de análisis de suelos no muestran los requerimientos de cal y los grados de fertilidad de los mismos. En una hacienda o lote determinado pueden prestarse a equivocaciones, si se usan como base para efectuar encalamientos y fertilización.

Para obtener una información específica, es necesario analizar muestras de suelos provenientes de lotes relativamente pequeños. Las muestras deben tomarse cuidadosamente si se quieren obtener resultados confiables.

LA INVESTIGACION SOBRE FERTILIDAD DE SUELOS EN EL PAIS

Gildardo Marín M. y Alfredo León S.

El Programa Nacional de Suelos del ICA, inició labores en 1953 y desde ese año viene efectuando investigaciones sobre fertilizantes en varias regiones del país. Utiliza numerosos ensayos de campo e invernadero, los cuales han sido complementados con trabajos de laboratorio y resultados analíticos.

Con base en los resultados de estos estudios, se puede ofrecer una idea general sobre la fertilidad de los suelos del país, la cual se incluye a continuación.

RESULTADOS GENERALES SOBRE FERTILIDAD

Los suelos de Colombia varían desde los típicamente tropicales hasta los subtropicales. En general, sus condiciones físicas son adecuadas para la mayoría de los cultivos. Los problemas químicos limitan seriamente la productividad de muchas áreas, particularmente en el caso del fósforo, el cual es uno de los principales problemas.

Nitrógeno.

Los datos obtenidos por el Programa Nacional de Suelos del ICA, indican que la respuesta al nitrógeno está principalmente concentrada en las regiones más bajas y cálidas del país. En las partes más frías, el nitrógeno del suelo generalmente es alto y las respuestas a este elemento son menos comunes. Se encuentran excepciones a esta generalización. En regiones donde la erosión ha removido la capa superficial, en la cual está presente el mayor porcentaje de la materia orgánica y del nitrógeno, o en sitios donde existen deposiciones de subsuelo transportado que han enterrado esta capa deba-

jo de la zona principal de raíces.

En las regiones tropicales del país, también hay variaciones importante en el estado del nitrógeno del suelo. Las deficiencias son mucho más comunes en áreas de origen reciente, particularmente donde se han depositado aluviones minerales gruesos.

Del Espinal a Girardot, en el Valle del Tolima, los suelos responden notablemente al nitrógeno. Aquí predominan suelos de textura gruesa, pobres en nitrógeno. En los suelos aluviales del Valle de Medellín, se han observado respuestas similares. Por otra parte, los suelos del Valle del Cauca, suministran una mayor cantidad de nitrógeno a los cultivos y allí las respuestas son menos comunes.

Aunque las deficiencias de nitrógeno son muy comunes en las áreas más cálidas, esta afirmación no cubre todos los cultivos. Las evidencias frecuentes obtenidas por los programas de Suelos y Pastos y Forrajes, trabajando conjunto o independientemente, han establecido que casi todos los pastos presentan deficiencias de nitrógeno. Así se han obtenido incrementos en línea recta en los rendimientos de pastos cuando se han aplicado hasta 1.000 kilogramos de N por hectárea por año.

Fósforo.

Las respuestas al fósforo en Colombia han estado principalmente localizadas en las regiones altas e intermedias. Esta afirmación pudiera no ser cierta en todos los casos, pues los Llanos Orientales son un área extremadamente grande, hasta ahora poco estudiada y las observaciones preliminares sugieren que, en efecto, la mayoría de estos suelos son extremadamente deficientes en fósforo.

En las partes más frías del país, el fósforo es el primer elemento claramente limitante. En la mayoría de los casos, la producción de cereales y

papa, sin aplicaciones alta de fósforo es extremadamente baja. No es posible lograr beneficio apreciable con el uso de nuevas variedades sin fertilización adecuada. Al revisar las respuestas a fertilizantes de los cultivos en Colombia, parece que el suministro de fósforo a los cultivos de clima frío produce las respuestas más sobresalientes en los fertilizantes. Por esta razón, en las regiones frías se ha dado prioridad a los estudios con fósforo. Otros factores, tales como la clase de material parental (frecuentemente cenizas volcánicas ácidas), acidez del suelo, naturaleza de los productos de meteorización y la temperatura, pueden estar envueltos en la frecuencia de deficiencia de fósforo en aquellas áreas. Quizá es poco práctico comparar el estado del fósforo con la altitud, porque las relaciones pueden ser principalmente coincidentes. En el caso del fósforo, hay relaciones mucho menos precisas que aquellas anotadas para el nitrógeno. Esto debiera ser considerado como una agrupación para estudios de campo y para aconsejar a los agricultores.

Potasio.

Las respuestas al potasio en los cultivos en los cuales el ICA tiene la responsabilidad para investigación, han sido relativamente raras. En estudios de campo, las únicas respuestas significativas han sido en las terrazas aluviales, en las altillanuras de los Llanos Orientales, en la subestación "La Selva" en Antioquia, y sobre un suelo latosólico en C.N.I.A. "Tulio Ospina", el cual había tenido pastos de corte fuertemente fertilizados con nitrógeno. En el caso de "La Selva", se sospecha que el material parental, bajo en potasio, fue el factor principal para la respuesta. Sobre el suelo rojo, los factores claves parecen ser su nivel natural más bien bajo de potasio acompañado con remoción extremadamente alta por el cultivo.

En general, los resultados con potasio son similares a aquellos encontrados en otras áreas agrícolas desarrolladas. Es bastante común encontrar poca respuesta inicial al potasio. Cuando se continúa el cultivo, el potasio del suelo disminuye y si la producción se aumenta a través del uso de otros fertilizantes, la necesidad del potasio usualmente llega a ser más pronunciada, como es el caso de los suelos de los Llanos Orientales, mencionados atrás.

Boro, Molibdeno y Zinc.

En Colombia, se han medido respuestas notables de la alfalfa a la aplicación del boro. En el Valle del Cauca generalmente es un fracaso la siembra de alfalfa si no se añade boro. En otras regiones se han encontrado deficiencias menos agudas.

En el invernadero se han observado respuestas al molibdeno en los suelos rojos de Antioquia. La evidencia sugiere que el nivel de disponibilidad de molibdeno se mejora en un grado considerable cuando se aplica cal a estos suelos.

En el Valle del Cauca y en la altiplanicie de Popayán, se han observado síntomas de deficiencias de zinc en maíz. En los Llanos Orientales se han encontrado respuestas del maíz a la aplicación de elementos menores en las terrazas aluviales y al molibdeno, cobre, boro y zinc en las altillanuras. Actualmente se están haciendo experimentos para medir el posible aumento de rendimiento con tales aplicaciones.

EVALUACION DE LA FERTILIDAD DE LOS SUELOS POR SU ANALISIS

PROCEDIMIENTO

La información incluida aquí se obtuvo a partir de los resultados de los análisis de suelos efectua-

dos para agricultores de todo el país, en el Laboratorio de Suelos del C.N.I.A. Palmira, del ICA, desde marzo de 1965 hasta junio 30 de 1969. El número de muestras cuyos datos fueron analizados estadísticamente no reflejan realmente el número de muestras analizadas en el laboratorio durante este lapso, pues únicamente se incluyeron aquellas en las cuales la información solicitada era completa: localidad, topografía y altitud.

Métodos de análisis.

En el laboratorio se efectúan los análisis de suelos siguiendo los métodos descritos a continuación:

pH: Potenciométricamente, utilizando electrodo de vidrio en una mezcla de suelo-agua, en relación volumétrica, de 1:1.

Materia Orgánica: Se utiliza el método de combustión húmeda de Walkley y Black.

Aluminio intercambiable: (acidez intercambiable). Se determina mediante una extracción con KCl normal y titulación del extracto con NaOH, en presencia de fenolftaleína.

Fósforo: Se utiliza el método de Bray, efectuando la extracción con una solución 0,03 N de NH_4F y 0,1 N de HCl.

Potasio: Esta determinación se hace tomando cinco gramos de suelo y agitando por cinco minutos con 20 cc. de acetato de amonio normal y neutro, leyendo directamente una alícuota diluída en el fotómetro de llama.

Niveles críticos para P y K.

Aunque los niveles críticos para fósforo y potasio ya fueron presentados en otro trabajo (12), es de interés transcribirlos aquí y recalcar que éstos han sido obtenidos por el Programa Nacional de Suelos del ICA, mediante pruebas regionales llevadas a cabo en fincas de agricultores, ensayos de campo en los centros experimentales e investigaciones de laboratorio e invernadero.

La acidez del suelo.

El criterio para separar los suelos en grupos de acuerdo con el pH en menos de 5,5; entre 5,5 y 7,3 y mayor de 7,3 se basó en las siguientes consideraciones: en suelos con pH menor de 5,5 generalmente se encuentra aluminio intercambiable

NIVELES CRITICOS DE P y K

	Bajo (B)	Mediano (M)	Alto (A)
Fósforo (P)	Menos de 15 ppm	De 15 a 30 ppm	Más de 30 ppm
Potasio (K)*	Menos de 0,15	De 0,15 a 0,30	Más de 0,30

* Los valores de K se refieren a miliequivalentes por 100 gramos de suelo.

en cantidades que pueden ser tóxicas para ciertas plantas. Por encima de 5,5 el contenido de aluminio en suelos es prácticamente despreciable y aparentemente no presenta problemas de toxicidad.

En suelos con pH entre 5,5 y 7,3 generalmente no se presentan problemas relativos a suelos ácidos, salinos o sódicos. Se considera que la mayoría de las plantas pueden crecer normalmente si se encuentran controlados todos los otros factores que afecten el crecimiento de éstas. En suelos con pH mayor de 7,3 se considera que pueden presentarse problemas de salinidad, alcalinidad y deficiencias de fósforo y de algunos elementos menores.

La materia orgánica.

Finalmente se estudia el contenido de materia orgánica de los suelos, de acuerdo a divisiones arbitrarias de regiones naturales y altitud. Téngase en cuenta que estas dos últimas están íntimamente relacionadas entre sí, como también que Jenny y sus colaboradores, al trabajar con Suelos de Colombia, encontraron una estrecha correlación entre el contenido de materia orgánica y la altura sobre el nivel del mar de los sitios donde fueron tomadas las muestras.

División del país en regiones naturales.

Con el fin de agrupar las muestras analizadas en una forma racional, se ha utilizado la división del país en las 10 regiones naturales presentadas por Guerrero (8) en su estudio sobre *Suelos de Colombia y su relación con la séptima aproximación*, cuyas características principales aparecen en la *Tabla 1* y su ubicación geográfica en el mapa de la *Figura 1*.

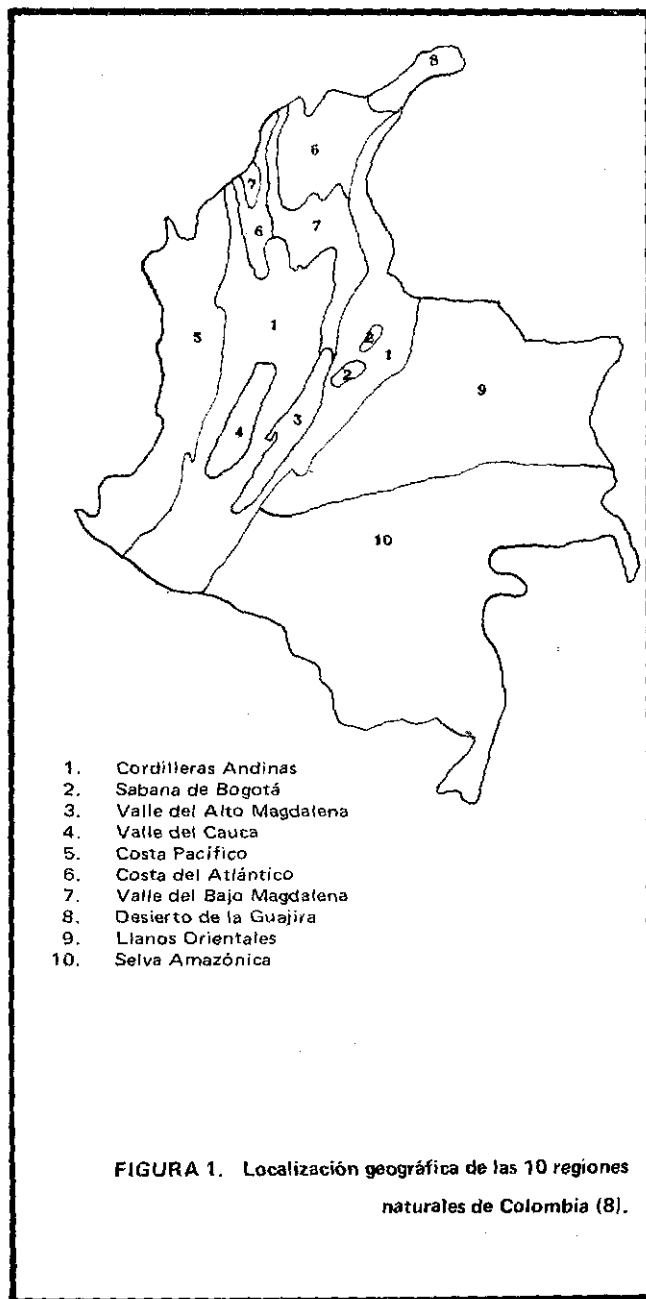


TABLA 1. Características de las regiones naturales de Colombia.

No.	Región natural	Precipitación mm/año	Temperatura Grados Centí- grados	Altitud metros	Area total %
01	Cordilleras Andinas	500-3.000	0-24	500-5.700	25,0
02	Sabana de Bogotá	850-1.050	12-15	2.500-2.750	0,1
03	Valle del Alto Magdalena	800-1.400	27-30	300-900	2,0
04	Valle del Cauca	800-1.100	24-26	900-1.500	0,3
05	Costa del Pacífico	4.000-10.000	27-30	0-200	6,0
06	Costa del Atlántico	700-1.200	27-29	0-500	2,6
07	Valle del Bajo Magdalena	1.200-3.000	27-30	0-900	4,0
08	Desierto de la Guajira	200-300	28-32	0-100	1,0
09	Llanos Orientales	3.000-4.000	26-30	200-500	27,0
10	Selva Amazónica	3.000-5.000	26-29	100-500	32,0

Tomado de Guerrero, R. Suelos de Colombia y su relación

con la séptima aproximación. Bol. 9. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá 1967.

La división del país en 10 regiones naturales, se basa tal como lo expresa el autor, en que éstas difieren en su combinación de condiciones de fisiografía, clima y vegetación. La fisiografía está relacionada con la edad geológica y la litología de las rocas, las cuales afectan la naturaleza de los materiales parentales de los suelos.

De acuerdo con Guerrero (8) estas regiones concuerdan esencialmente con las divisiones climáticas propuestas por Schultes, sin que en la división del primero se tengan separadas las regiones correspondientes a la Serranía del Chocó, la Sierra Nevada de la Macarena y la Sierra Nevada de Santa Marta.

RESULTADOS GENERALES DE LA INFORMACION OBTENIDA.

Resultados generales.

En la *Tabla 2* se presentan los promedios de los resultados de pH, materia orgánica, fósforo y potasio para suelos provenientes de ocho de las 10 regiones naturales. Como puede observarse fácilmente, de un total de 11.042 muestras de suelos, 3.423 corresponden a las Cordilleras Andinas. Si tenemos en cuenta que en esta región se cultivan plantas de diversas especies y que es asiento de la mayor parte de la población colombiana, hay que convenir en que el análisis de suelos ha tenido su máxima influencia en esta zona. El Valle del Cauca posiblemente por ser la base del laboratorio de Análisis de Suelos, ocupa el segundo lugar con un total de 2.639 muestras analizadas, a pesar de tener en general suelos fértiles.

TABLA 2. Promedios de pH, materia orgánica, fósforo y potasio para las regiones naturales.

Región natural	pH	Desviación	M.O. %	Desviación	Fósforo ppm P.	Desviación	Potasio meq/100 g de K	Desviación	No. de muestras analizadas
Cordilleras Andinas	5,81	0,40	7,29	2,10	27,37	9,89	0,44	0,13	3.423
Sabana de Bogotá	5,66	0,37	11,67	2,81	63,41	30,36	0,84	,32	571
Valle del Alto Magdalena	6,38	0,61	3,11	1,43	55,14	25,58	0,40	,35	1.005
Valle del Cauca	6,54	0,72	4,21	1,11	43,81	18,69	0,65	,67	2.639
Costa del Pacífico	6,09	0,66	3,31	1,44	10,03	27,76	0,35	,09	400
Costa Atlántica	6,99	0,91	2,55	,66	98,17	41,17	0,59	,17	1.976
Valle del Bajo Magdalena	6,45	0,78	2,61	,94	34,15	18,80	0,41	,09	635
Llanos Orientales	5,11	0,41	3,37	,62	22,71	15,90	0,21	,06	393
Total muestras									11.042

Una región muy importante en la explotación agropecuaria es la Sabana de Bogotá y, sin embargo, en el transcurso de cinco años apenas aparece un total de 571 muestras analizadas, para los agricultores. Es probable que la existencia de otro laboratorio, con el mismo objetivo que el de Palmira, ha limitado la demanda de servicio del Laboratorio de Palmira por parte de los agricultores de la Sabana.

Las muestras de suelos provenientes de la Costa Atlántica, fueron enviadas, en su mayoría, por la Corporación Algodonera del Litoral y por algodoneiros costeos. Reflejan en cierto modo las características de fertilidad de suelos dedicados al cultivo del algodón en esa región. Las muestras correspondientes a la Costa del Pacífico, en un alto porcentaje, fueron tomadas en la zona de Urabá, área cacaofera y bananera y por tanto, son un índice de la fertilidad de los suelos de esta zona.

En la *Tabla 2* no aparecen datos del desierto Guajiro ni de la Selva Amazónica. Es bien sabido que estas dos regiones no son actualmente explotables agrícolaemente.

A medida que aumente la información obtenida a través del Servicio de Análisis de Suelos para agricultores, será posible establecer subregiones naturales del país de acuerdo a la fertilidad de los suelos. Un caso muy conocido es el del Valle geográfico del Río Cauca, en donde se ha establecido plenamente que la región sur, difiere marcadamente de la parte norte. En general, los suelos de la parte sur son fuertemente ácidos y con bajo contenido de fósforo aprovechable, mientras que los de la parte norte son ligeramente ácidos, neutros o ligeramente alcalinos con cantidades relativamente altas de fósforo aprovechable.

En muchos casos, los datos de la *Tabla 2* pueden llevar a conclusiones erradas, puesto que estos promedios fueron obtenidos en cada región a partir de un número diferente de muestras.

Además, dentro de cada región, el resultado puede estar fuertemente afectado por un pequeño porcentaje de suelos que presentan valores muy diferentes a aquellos obtenidos en la mayoría de los casos. Por tal razón, es aconsejable estudiar los promedios con mucha discreción y esperar a la discusión que se presenta más adelante basada en porcentaje de muestras que caen dentro de cierto rango de valores, con el fin de llegar a algunas conclusiones valederas.

El promedio de pH en las ocho regiones estudiadas varía desde fuertemente ácido en los Llanos Orientales hasta neutro en la Costa Atlántica y predominan los ligeramente ácidos. Aparentemente en la región de los Llanos Orientales es donde se encuentran los suelos más ácidos del país, lo cual indica la posibilidad de que en esos suelos se presenten problemas inherentes a tal condición como poca disponibilidad de fósforo y toxicidad de aluminio y manganeso. En general estos promedios no muestran una variación apreciable de pH entre las regiones en estudio, con excepción de los Llanos Orientales.

Los promedios de porcentaje de materia orgánica, por otra parte, muestran una variación apreciable dentro de algunas de las regiones naturales. Hay un máximo en los suelos analizados en la Sabana de Bogotá y un mínimo en los de la Costa Atlántica. Más adelante se hará una discusión completa en la cual se incluyen, por altitud y regiones naturales, los promedios del contenido en materia orgánica, con el fin de tener una visión más amplia y acorde con la realidad.

Los resultados de los promedios de fósforo, aparentemente no están mostrando en realidad el estado de este elemento en los suelos del país.

Indican una tendencia a presentarse relativamente bajos en regiones como la Costa del Pacífico, los Llanos Orientales y las Cordilleras Andinas. Como en el caso de la materia orgánica, más adelante se discutirán en detalle los datos en relación con la distribución de resultados, en relación con el número de muestras y en combinación con el contenido de potasio.

El caso del potasio es semejante a las ya discutidas. Los promedios parecen indicar que este elemento posiblemente no es un factor limitante en cuanto a la fertilidad de los suelos colombianos. Posiblemente en la región de los Llanos Orientales, el promedio relativamente bajo, nos indique que se puede presentar una deficiencia de potasio cuando los suelos se sometan a prácticas intensivas de cultivo. Un estudio pormenorizado de éstos y otros resultados se efectuarán dentro de esta misma publicación.

Grados de acidez en las diferentes regiones naturales del País.

Distribución de las muestras de acuerdo a valores de pH.

En la *Tabla 3* se presenta la distribución en porcentaje de los valores de pH para cada región natural. El más alto porcentaje de muestras analizadas con pH menor a 5,5 correspondió a los Llanos Orientales con 76,6 por ciento. Le siguieron la Sabana de Bogotá, las Cordilleras Andinas y la Costa del Pacífico, con 31,7; 27,4 y 16,3 por ciento, respectivamente. En los Valles del Alto y Bajo Magdalena, Valle del Cauca y la Costa Atlántica, el porcentaje de muestras con un pH menor de 5,5 no sobrepasó al 7,4 por ciento. En la Cos-

TABLA 3. Distribución de los valores de pH según el número de muestras analizadas.

Región natural	Porcentaje de muestras analizadas			Total de muestras
	Menor de 5,5	Valores de pH 5,5 a 7,5	Mayor de 7,3	
Cordilleras Andinas	27,2	69,3	3,5	3.423
Sabana de Bogotá	31,7	67,6	0,7	571
Valle del Alto Magdalena	7,9	83,7	8,9	1.005
Valle del Cauca	7,2	78,4	14,4	2.639
Costa del Pacífico	16,3	80,0	3,7	400
Costa Atlántica	2,1	61,8	36,1	1.976
Valle Bajo Magdalena	5,8	84,4	9,8	635
Llanos Orientales	76,6	23,4	0,0	393
Muestras analizadas				11.042

ta Atlántica, el porcentaje de muestras analizadas con pH inferior a 5,5 apenas alcanzó el 2,1 por ciento, mientras que el porcentaje de muestras analizadas con un pH mayor a 7,3 fue de 36,1 por ciento. En el Valle del Cauca, el porcentaje de muestras analizadas con un pH superior a 7,3 fue de 14,4 por ciento. En el Bajo y Alto Magdalena, este porcentaje fue de 9,8 y 8,9 respectivamente.

En todas las regiones naturales del país, a excepción de los Llanos Orientales, el mayor porcentaje de las muestras analizadas correspondió a un valor de pH entre 5,5 y 7,3.

Bajo condiciones naturales, los suelos de la Sabana de Bogotá son fuertemente ácidos. Sin embargo, debido a su intensiva explotación agropecuaria, mediante el uso de cantidades altas de fertilizantes y cal, se explica en parte que el 67,6 por ciento de las muestras analizadas dieron un pH entre 5,5 y 7,3. Esto indica que los resúmenes de los análisis de suelos para agricultores, proporcionan una base excelente para medir los cambios

que ocurren en la fertilidad de los suelos mediante la práctica de fertilizantes y enmiendas.

Suelos con altos índices de salinidad y alcalinidad se han encontrado en la Costa Atlántica, región aldononera, Valle del Cauca, Valle del Alto Magdalena y Valle del Bajo Magdalena y Valle del Sinú.

La C.V.C. ha calculado que aproximadamente unas 70.000 hectáreas están afectadas por problemas de salinidad en el Valle del Cauca. Este problema resalta la importancia de intensificar los estudios de campo, invernadero y laboratorio, para comprobar si la calidad y contenido de sales indicado por los índices de salinidad obtenido en los Estados Unidos, afectan de igual modo el crecimiento de las plantas bajo las condiciones de Colombia.

En el Valle del Cauca, se han presentado en muchas áreas, sospechadas salinas, relaciones Ca/Mg iguales o inferiores a la unidad. Esta situación trae como consecuencia directa o indirecta, el desarrollo anormal de plantas como el arroz y la

soya y bajos rendimientos de sacarosa en la caña de azúcar. Sin embargo, Gómez (7) en su estudio sobre el influjo de la relación Ca/Mg en la producción de maíz en el Valle del Río Cauca, concluyó en que la producción de maíz no fue afectada en suelos cuya relación Ca/Mg varió de 0,6 a 3,2. Sería muy importante estudiar el mismo efecto en otros cultivos de importancia económica.

Relaciones entre pH y aluminio intercambiable.

En la *Tabla 4* se presentan promedios de pH y de aluminio intercambiable determinado en muestras con un pH igual o menor a 5,5.

Los promedios de pH varían de 4,98 en los Llanos Orientales a 5,47 en la Costa Atlántica y el aluminio intercambiable de 2,65 me/100 gramos a 0,49 me/100 gramos en las mismas regiones, respectivamente. En general, se puede decir que a medida que aumenta el pH, disminuye el conte-

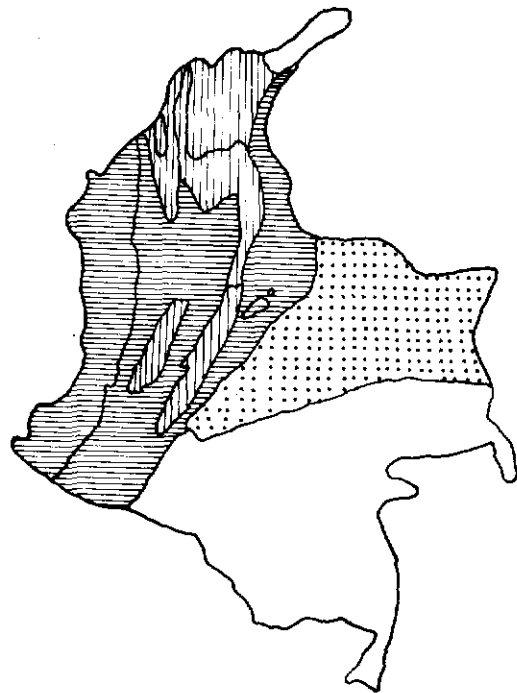
nido de aluminio intercambiable. Cervantes y otros (4) encontraron que en los suelos de los Llanos Orientales a un pH superior a 5,2, el aluminio intercambiable generalmente es menor de 0,5 me/100 gramos de suelo. En la Sabana de Bogotá y las Cordilleras Andinas, el aluminio intercambiable es menor a 0,5 me/100 gramos, cuando el pH es superior a 5,4.

Necesidades de cal.

En la *Figura 2* aparecen definidas las regiones de Colombia diferenciadas de acuerdo a las necesidades de cal de sus suelos. De acuerdo a la frecuencia con que aparecieron las muestras con valores de pH iguales o inferiores a 5,5, se clasificaron los suelos con requerimientos bajos, medios y altos de cal. Las regiones del país con menos del 10 por ciento de las muestras analizadas, con valores de pH inferiores a 5,5 se clasificaron en el término bajo. Cuando las muestras analizadas incluyeron de un 10 a 35 por ciento, dieron pH inferior a 5,5 y se clasificaron en un término mediano.

TABLA 4. Promedio de los valores de pH en muestras de suelos cuyo pH es inferior a 5,5 y aluminio intercambiable, en varias regiones naturales del país.

Región natural	pH	Aluminio meq/100 g de suelo	Número de muestras
Cordilleras Andinas	5,15	2,54	493
Sabana de Bogotá	5,24	1,62	81
Valle del Cauca	5,24	1,26	23
Valle del Alto Magdalena	5,25	1,43	36
Costa del Pacífico	5,32	2,23	7
Costa Atlántica	4,47	0,49	15
Valle Bajo Magdalena	5,40	1,57	11
Llanos Orientales	4,98	2,65	162



REQUERIMIENTO DE CAL



BAJO: menos del 10% de las muestras analizadas dieron pH inferior a 5,5



MEDIANO: 10 - 35% de las muestras analizadas dieron pH inferior a 5,5



ALTO: mas del 70% de las muestras analizadas dieron pH inferior a 5,5

FIGURA 2. Localización geográfica de las regiones con bajo, medio y alto requerimiento de cal.

Finalmente, cuando más del 70 por ciento de las muestras analizadas dieron un pH inferior a 5,5, los suelos se clasificaron en la categoría alto para requerimientos de cal. No hubo otros porcentajes que permitieran establecer más categorías o variar las enumeradas antes.

Contenido de materia orgánica.

Porcentajes promedios del contenido de materia orgánica.

En la *Tabla 5* se presentan los porcentajes promedios del contenido de materia orgánica en muestras de suelos, agrupadas de acuerdo a la altitud. El promedio más bajo (3,01) correspondió a muestras de suelos representativas de áreas localizadas entre 0 y 600 metros de altura sobre el nivel del mar. El promedio más alto (9,92) correspondió a aquellas muestras tomadas en sitios localizados a más de 2.200 metros de altura sobre el nivel del mar. El más alto porcentaje de materia orgánica en esta área está directamente relacionado con la altitud y probablemente con las temperaturas más bajas. Bajo estas condiciones, los residuos de las plantas tienden a descomponerse más lentamente y a acumularse en el suelo. Esta información concuerda con otros datos publicados por Marín (12); o sea que en términos generales, el contenido de materia orgánica de los suelos en Colombia aumentan con la altitud. Se exceptúan aquellos casos cuando la erosión ha removido la materia orgánica de los suelos de clima frío o por mal drenaje ha habido acumulación de materia orgánica en los suelos de clima cálido.

Por regiones naturales.

En la *Tabla 6* se presentan los porcentajes promedios de materia orgánica en muestras de suelos agrupados por regiones naturales del país. El mayor porcentaje (11,67), correspondió a la Saba-

TABLA 5. Promedios de materia orgánica de muestras de suelos agrupadas de acuerdo a la altitud.

Altitud-metros	o/o materia orgánica	No. muestras analizadas
0-600	3,01	4.477
600-1.200	4,05	3.775
1.200-1.700	6,69	970
1.700-2.200	9,55	740
> 2.200	9,92	1.670

TABLA 6. Porcentajes promedios de materia orgánica en varias regiones naturales del país.

Región natural	o/o de materia orgánica	Desviación	No. de muestras analizadas
Cordilleras Andinas	7,29	2,10	3.423
Sabana de Bogotá	11,67	2,81	571
Valle del Alto Magdalena	3,11	1,43	1.005
Valle del Cauca	4,21	1,11	2.639
Costa del Pacífico	3,31	1,44	400
Costa Atlántica	2,55	0,66	1.976
Valle Bajo Magdalena	2,61	0,94	635
Llanos Orientales	3,37	0,62	393

na de Bogotá y el menor porcentaje (2,55), a los suelos de la Costa Atlántica. Estos datos se explican fácilmente ya que la Sabana de Bogotá es una altiplanicie situada a 2.640 metros de altura sobre el nivel del mar, cuya temperatura media anual es de 14oC, mientras los suelos de la Costa Atlántica están localizados a pocos metros de altura sobre el nivel del mar, con una temperatura media anual de 28oC. Bajo estas últimas condiciones ecológicas, la acumulación de materia orgánica no ocurre, a no ser que se trate de suelos con mal drenaje.

En las Cordilleras Andinas, el porcentaje promedio de materia orgánica fue de 7,29. Es preciso indicar que la variación en el contenido de materia orgánica en las Cordilleras Andinas es bastante amplio. Hay varias razones que explican estas observaciones. Es posible encontrar suelos con bajo contenido de materia orgánica en tal región, en áreas erosionadas o en suelos aluviales de formación reciente. Por otra parte, se encuentran acumulaciones de materia orgánica en aquellas áreas localizadas a grandes alturas sobre el nivel del mar, donde la temperatura media anual es baja.

La mayoría del nitrógeno aprovechable del suelo durante la cosecha, proviene de la descomposición de la materia orgánica. Es muy difícil obtener por medio del análisis de suelos, una estimación precisa de la cantidad de nitrógeno aprovechable, ya que la liberación del nitrógeno incluye procesos biológicos. En la mayoría de las condiciones, el nitrógeno liberado de la descomposición de la materia orgánica, toma la forma de amonio, el cual se convierte rápidamente en nitrato. Esta última forma puede ser transportada por el agua del suelo fuera de la zona radicular, durante los períodos de lluvias fuertes, especialmente en los suelos arenosos.

En las regiones de la Costa Atlántica, Valles del Alto y Bajo Magdalena, la Costa del Pacífico, el Valle del Cauca y los Llanos Orientales, cuyos suelos tienen, en general, menos de 4,5 por ciento de materia orgánica, es obvio suponer que la fertilización nitrogenada debe merecer mucha atención por parte de los agricultores de esas zonas, especialmente cuando se trate de cultivos de alto rendimiento. Esta sugerencia está de acuerdo con lo dicho previamente sobre el nitrógeno. Las mayores respuestas al elemento nitrógeno se han encontrado en las áreas más bajas y cálidas del país. Sin embargo, debe recordarse también que los pastos han respondido positivamente a las aplicaciones de nitrógeno en cualquier área del país, aunque como es obvio en mayor proporción en aquellas áreas de clima cálido, donde la precipitación pluvial es normal.

Contenido de fósforo y potasio

Distribución de las combinaciones de los niveles críticos de P y K

En la *Tabla 7* aparece la información obtenida para fósforo y potasio de acuerdo a los niveles críticos previamente establecidos. Los resultados de los análisis para fósforo y potasio se han agrupado como porcentaje de las diferentes combinaciones de los niveles bajo, medio y alto, para fósforo y potasio en cada región natural. Esos niveles se pueden considerar como probabilidades para obtener una respuesta económica a la aplicación de esos nutrimentos en forma de fertilizantes. Si el suelo es BAJO, por ejemplo, hay una alta probabilidad de obtener una respuesta. La probabilidad de obtener una respuesta en el nivel ALTO es muy pequeña. Sin embargo, en este caso el fertilizante es necesario para muchos culti-

TABLA 7. Distribución en porcentaje de las muestras de diferentes regiones naturales del país, analizadas y agrupadas de acuerdo a los niveles bajo, medio y alto para fósforo y potasio.

Potasio Fósforo	B A J O (B)			M E D I O (M)			A L T O (A)			No. de muestras analizadas
	Bajo (B)	Medio (M)	Alto (A)	Bajo (B)	Medio (M)	Alto (A)	Bajo (B)	Medio (M)	Alto (A)	
Cordilleras Andinas	13,51	1,46	1,08	23,86	4,38	3,59	27,87	8,64	15,53	3.423
Sabana de Bogotá	3,50	0,53	0,70	8,05	4,38	3,85	14,70	17,50	46,73	571
Valle Alto Magdalena	9,25	1,69	2,19	19,70	7,66	12,04	11,34	7,66	28,46	1.005
Valle del Cauca	7,75	0,91	0,98	14,29	4,49	3,59	18,71	18,48	30,54	2.639
Costa del Pacífico	18,50	1,00	0,70	28,20	3,00	2,20	27,20	10,50	8,50	400
Costa Atlántica	2,43	0,66	1,31	7,19	4,04	8,65	8,40	6,98	60,32	1.976
Valle Bajo Magdalena	5,51	2,68	3,46	18,89	6,93	6,61	25,66	10,70	19,52	635
Llanos Orientales	31,55	3,05	4,32	34,85	3,56	3,87	9,41	2,04	4,32	393

vos debido al efecto en la iniciación del crecimiento y también para reemplazar los nutrientes removidos por la cosecha, especialmente en cultivos de alto rendimiento.

En las Cordilleras Andinas el porcentaje más alto (27,87), de las muestras analizadas, correspondió a la combinación BAJA (B) en fósforo (P) y ALTA (A) en potasio (K), seguido con un 23,86 por ciento para la combinación BAJA (B) en fósforo y MEDIA (M) en potasio. En el mismo sentido la combinación AA resultó con un 15,53 por ciento de las muestras analizadas y con menos del 10 por ciento las combinaciones BM, BA, MM, MA y AM.

En la Sabana de Bogotá, en el Valle del Alto Magdalena, en el Valle del Cauca y en la Costa Atlántica, la combinación AA, fue la que dió el más alto porcentaje de muestras analizadas con 46,73; 28,46; 30,54 y 60,32, respectivamente. Un caso especial lo constituye la Sabana de Bogotá, ya que en condiciones normales, estos suelos no contienen altas cantidades de fósforo aprovechable. Es muy probable que esta alta proporción de muestras altas en fósforo y potasio, 46,73 por ciento, fueron tomadas en aquellos sitios donde se aplicaron fuertes dosis de fertilizantes. La papa es un cultivo muy común en la Sabana de Bogotá y los agricultores acostumbran aplicar enormes cantidades de fertilizantes a este cultivo.

En las mismas regiones antes enunciadas, se encuentran porcentajes muy bajos de muestras con cantidades bajas en potasio, simultáneamente con bajo, medio o alto contenido de fósforo. En la región de la Costa del Pacífico, los más altos porcentajes de las muestras analizadas, 27,20 y 28,20 correspondieron a las combinaciones BA y BM, respectivamente. La combinación BB siguió en tercer lugar con 18,50 por ciento. Con menos del cuatro por ciento aparecieron las combinaciones MB, AB, MM y MA.

En la región del Valle del Bajo Magdalena, los mayores porcentajes de muestras analizadas 25,66; 19,52 y 18,89 correspondieron a las combinaciones BA, AA y BM, respectivamente. La combinación MA tuvo el 10,70 por ciento y las demás combinaciones BB, MB, AB, MM y AM resultaron con menos del siete por ciento.

En los Llanos Orientales, de un total de 383 muestras de suelos incluidas en el presente estudio, el 34,85 por ciento resultaron bajas en fósfo-

ro y de contenido mediano en potasio. La combinación BB resultó con 31,55 por ciento. La combinación BA con 9,41 por ciento y las demás combinaciones MB, AB, MM, AM, MA y AA no sobrepasó aisladamente ninguna del ocho por ciento.

De acuerdo con los resultados anteriores, en las regiones de la Sabana de Bogotá, Valle del Cauca, Costa Atlántica y Valle del Alto Magdalena, la combinación AA fue la más frecuente. En las Cordilleras Andinas y la Costa del Pacífico las combinaciones más frecuentes fueron la BA y la BM. En la región del Bajo Magdalena resultó la BA y finalmente en los Llanos Orientales las combinaciones más frecuentes de fósforo y potasio fueron la BB y la BM. Es decir, predominan los suelos bajos en fósforo con cantidades bajas a medianas de potasio.

Combinaciones PK más frecuentes.

De acuerdo a los datos presentados en la Tabla 8, se pueden deducir las combinaciones de los nive-

TABLA 8. Frecuencia de las diferentes combinaciones P K con más de 10 por ciento de las muestras analizadas.

	COMBINACIONES P K						
	AA	BM	BA	MA	BB	AM	MM
Cordilleras Andinas	15,53	23,86	27,87				
Sabana de Bogotá	46,73		14,70				17,57
Valle del Alto Magdalena	28,46	19,70	11,34			12,04	
Valle del Cauca	30,54	14,29	18,71	18,48			
Costa del Pacífico		28,70	27,20	10,50	18,50		
Costa Atlántica	60,32						
Valle Bajo Magdalena	19,52	18,89	25,66	10,70			
Llanos Orientales		84,85			31,55		

les de fósforo y potasio más frecuentes en las muestras analizadas. Partiendo de la base de que una combinación dada aparece en más de 10 por ciento de las muestras analizadas en una región natural determinada, se elaboró la tabla 8, en donde aparecen las combinaciones con su respectivo porcentaje de frecuencia.

Según las combinaciones de P-K que aparecen en la tabla anterior, las Cordilleras Andinas, la Sabana de Bogotá y los Llanos Orientales necesitarían tres grados diferentes de fertilizantes. El Valle

del Alto Magdalena necesitaría cuatro grados diferentes de fertilizantes. La Costa Atlántica solamente necesitaría uno o ninguno si los niveles de P-K fueran demasiado altos en los suelos.

Grados de fertilizantes sugeridos

En la *Tabla 9* aparecen las relaciones $N-P_2O_5-K_2O$ y los posibles grados de fertilizantes comerciales sugeridos para satisfacer la demanda de las combinaciones P-K que aparecen en la *Tabla 8*.

TABLA 9. Combinaciones de PK y grados de fertilizantes sugeridos.

Combinación PK	Grado de fertilizante	Relación N - P_2O_5 - K_2O
BB	10-20-20	1:2:2
BM	9-36-4	1:4:0.5
BM	15-30-5	1:2:0.83
BM	10-30-10	1:3:1
BA	10-30-0	1:3:0
BA	8-40-0	1:5:0
MB	4-24-12	1:6:3
MA	10-20-5	1:2:0.5
MM	10-20-20	1:2:2
AB	12-6-24	1:0.5:2
AA	25-15-0	1:0.6:0

Los grados a recomendar serían los siguientes: 10-20-20; 9-36-4; 15-30-5; 10-30-10; 10-30-0; 8-40-0; 4-24-12; 12-6-24; 10-20-5 y 25-15-0.

TABLA 10. Distribución en porcentaje de los niveles críticos de fósforo y potasio en varias regiones naturales del país.

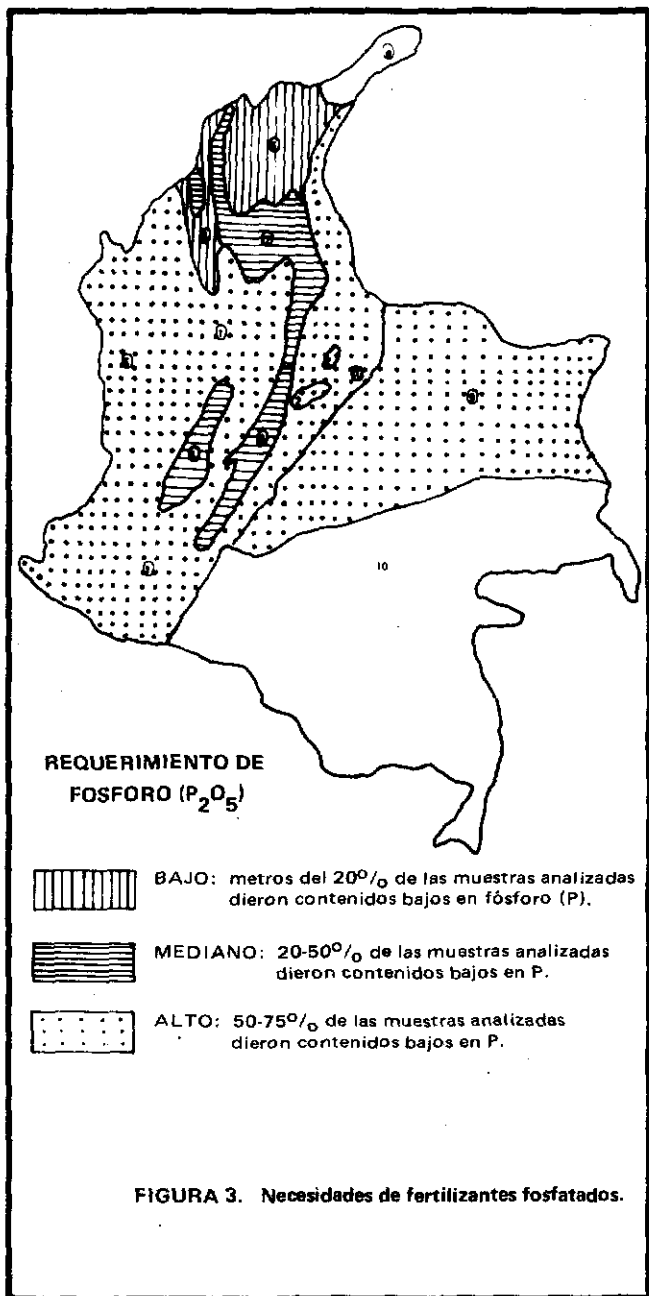
Región natural	PORCENTAJE DE LAS MUESTRAS						No. de muestras analizadas
	FOSFORO (P)			POTASIO (K)			
	B	M	A	M	M	A	
Cordilleras Andinas	65,26	14,48	20,26	16,09	31,85	52,06	3.423
Sabana de Bogotá	26,25	22,47	51,28	4,90	16,17	78,93	571
Valle Alto Magdalena	40,31	17,01	42,68	13,13	39,41	47,46	1.005
Valle del Cauca	40,79	23,89	35,32	9,88	22,38	67,74	2.639
Costa del Pacífico	74,40	14,50	11,10	20,40	33,40	46,20	400
Costa Atlántica	18,03	11,69	70,28	4,42	19,88	75,70	1.976
Valle Bajo Magdalena	49,87	20,54	29,59	11,69	32,43	55,88	635
Llanos Orientales	75,84	8,65	15,51	38,95	45,28	15,77	393

En la *Tabla 10* se presenta separadamente la distribución de los niveles críticos para fósforo y potasio en las diferentes regiones naturales del país.

Se ve claramente que con excepción de los Llanos Orientales, el porcentaje de las muestras analizadas correspondientes a niveles altos de potasio en el suelo, está por encima del 47 por ciento en todas las regiones naturales del país, mientras que el porcentaje de muestras con niveles bajos de potasio es inferior al 20 por ciento en las mismas regiones. Los contenidos relativamente bajos de potasio en los Llanos Orientales, quizás estén asociados al material parental de los suelos de esa zona y a intensivos procesos de meteorización asociado con altas temperaturas y precipita-

ción pluvial que favorece además el fenómeno de lixiviación.

En general, con excepción de los Llanos Orientales, parece que el nivel de potasio aprovechable en el suelo es adecuado para la mayoría de los cultivos en todos los suelos del país, por lo menos durante varias cosechas. Las reservas de potasio en el suelo con cultivos intensivos, puede agotarse y limitar el rendimiento de los cultivos. Marín y otros (11) encontraron que la capacidad de varios suelos colombianos para suministrar potasio varía y que la razón principal de esta variación se debe a la cantidad y tipo de arcilla de los suelos estudiados.



Necesidades de fertilizantes fosfatados.

La *Figura 3* representa las necesidades de fertilizantes fosfatados en los suelos colombianos, de acuerdo al porcentaje de las muestras de las varias regiones naturales que dieron niveles bajos de fósforo.

Se consideró que los requerimientos de fertilizantes fosfatados era baja en los suelos de la Costa Atlántica, ya que menos del 20 por ciento de las muestras analizadas de esa región dieron contenidos bajos de fósforo. Se consideraron con requerimientos medianos de fertilizantes fosfatados, los suelos de las regiones de la Sabana de Bogotá y de los Valles del Cauca, Alto y Bajo Magdalena.

Entre un 20 a 50 por ciento de las muestras analizadas de esas zonas, dieron resultados bajos de fósforo. Finalmente se consideró que los suelos de las Cordilleras Andinas, de la Costa del Pacífico y de los Llanos Orientales, tenían requerimientos altos de fertilizantes fosfatados.

Entre el 50 y el 75 por ciento de las muestras analizadas provenientes de esas zonas, dieron resultados bajos en fósforo. Debe tenerse en cuenta además, que los suelos de las Cordilleras Andinas tienen una alta capacidad para fijar fósforo, tal como lo han demostrado León (9) y Castro y Osorio (16).

CONCLUSIONES

1. El análisis de suelos para agricultores colombianos ha sido una base muy valiosa para conocer la fertilidad general de los suelos del país. A medida que aumente esta información, las conclusiones serán más precisas y las sugerencias que se hagan a la industria de fertilizantes serán más seguras.
2. Teniendo como base el grado de acidez de los suelos y el contenido de aluminio intercambiable, los Llanos Orientales son la región natural del país que presentó el porcentaje mayor de muestras con requerimientos de cal, siguieron con requerimientos medianos, las Cordilleras Andinas, la Sabana de Bogotá y la Costa Pacífica. Con requerimientos mínimos, los suelos del Valle del Cauca y los Valles del Alto y Bajo Magdalena y la Costa Atlántica.
3. En los suelos localizados en las regiones más cálidas del país, el nitrógeno es el elemento más limitante para el crecimiento de los cultivos. Sin embargo, los pastos han respondido positivamente a las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados en cualquier piso térmico del país, siempre que haya humedad adecuada. El contenido de materia orgánica en los suelos de Colombia, en términos generales, aumenta en relación directa con la altura sobre el nivel del mar. Para los suelos de la Costa Atlántica el promedio de materia orgánica fue de 2,55 por ciento, mientras que para los suelos de la Sabana de Bogotá fue de 11,67 por ciento.
4. Los suelos de los Llanos Orientales, de la Costa del Pacífico y de las Cordilleras Andinas, presentaron requerimientos altos de fertilizantes fosfatados, de acuerdo al nivel de fósforo aprovechable encontrado en los análisis de las muestras tomadas en esas regiones. Además debe tenerse en cuenta que en las Cordilleras Andinas, mucha parte del fósforo agregado en los fertilizantes es fijado por esos suelos. Esto indica que se requieren cantidades altas de fertilizantes fosfatados para subir el nivel de fósforo en el suelo, del valor BAJO a MEDIO o ALTO.
5. Con la excepción de los Llanos Orientales, los suelos de las demás regiones naturales del país, contienen cantidades adecuadas de potasio de acuerdo al porcentaje de muestras analizadas. Sin embargo, se afirma que las reservas del potasio se pueden agotar con el cultivo intensivo de los suelos. Depende del requerimiento de las plantas y de la cantidad y tipo de arcilla de los suelos.
6. De acuerdo a los resultados discutidos, se considera que solamente son necesarios diez grados diferentes de fertilizantes aplicados en cantidades variables, de acuerdo al análisis de suelos, y al tipo de cultivo, para aumentar la fertilidad de los suelos y, por consiguiente, el rendimiento económico de los cultivos.

RESUMEN

Se hizo un estudio para evaluar la fertilidad general de los suelos de Colombia, mediante el análisis de suelos, prestado como un servicio a los agricultores del país. Los resultados de los análisis de las 11.042 muestras de suelos, se agruparon por regiones naturales. Las determinaciones de laboratorio efectuadas para cada análisis fueron: pH, materia orgánica (M.O), fósforo (P) y potasio (K). En muchos suelos son pH igual o menor a 5,5 se determinó aluminio intercambiable.

De acuerdo a la distribución o frecuencia de algunas determinaciones (pH y P), se precisaron las áreas del país con requerimientos bajos, medianos y altos en que aparecieron las combinaciones de los niveles críticos para P y K, se sugirieron diez grados diferentes de fertilizantes: 10-20-20, 9-36-4, 15-30-5, 10-30-10, 10-30-0, 8-40-0, 4-24-12, 12-6-24, 10-20-5 y 25-15-0, para cubrir las necesidades de los diferentes cultivos, según la fertilidad de los suelos colombianos.

para mayor información dirijase a : PROGRAMA NACIONAL DE SUELOS
Apartado Aéreo 7984 Bogotá, Colombia

BIBLIOGRAFIA

1. *ALLISON, L.E.* 1965. Organic Carbon. En: *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Agronomy Monograph No. 9. American Society of Agronomy, Madison Wisconsin. pp. 1367-1378.
2. *BRAY, R.H.* 1948. Correlation of soil tests with crops response to added fertilizer and with fertilizer requirement. Diagnostic technique for soil and crops. The Amer. Potash Institute Washington, D.C. pp. 53-86.
3. *CARRERA, E.J.; E.B. PICHOTLY y ALEXANDER.* 1968. Estudio general de clasificación de los suelos de la cuenca alta del río Bogotá para fines agrícolas. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Bogotá, Colombia. 4 (1): 200.
4. *CERVANTES, O.* 1969. Relaciones entre pH, aluminio y materia orgánica en algunos suelos de Colombia. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía de Palmira. Palmira, Valle. p. 60.
5. *CROWDER, L.V.; C.J. LOTERO; A. MICHELIN; A. RAMIREZ; A. WIECZORECK y A. BASTIDAS.* 1963. Fertilización de gramíneas tropicales en Colombia. Ministerio de Agricultura. División de Investigaciones Agropecuarias D.I.A. Boletín de Divulgación No. 12.
6. *DAY, P.R.* 1956. Report of the committee on physical analysis. *Soil Sci. Amer. Proc.* 20: 167-169.
7. *GOMEZ, J.A.; D.F. ZORRILLA; C.A. FLOR y V.J. PORRAS.* 1969. Influjo de la relación Ca/Mg en la producción de maíz en el Valle del río Cauca, Colombia. *Agricultura Tropical.* 25 (2).
8. *GUERRERO, R.* 1965. Suelos de Colombia y su relación con la séptima aproximación. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Bogotá. p. 196.

9. *LEON, A.* 1964. Estudios químicos y mineralógicos de diez suelos colombianos. *Agricultura Tropical*. Bogotá. 20: 442-451.
10. — — — 1967. Chemistry of some tropical acid soils of Colombia, S.A. Ph.D. Dissertation, University of California, Riverside.
11. *MARIN, G.; A.C. McCLUNG y A. LUENGAS.* 1967. La capacidad de varios suelos colombianos para suministrar potasio. *Agricultura Tropical* 23: 89-102.
12. — — — y *J. GOMEZ.* 1966. Algunos aspectos de análisis de Suelos. La interpretación del análisis. *Agricultura Tropical*. 22: 368-379.
13. — — — 1968. Recomendaciones tentativas de fertilizantes y cal, de acuerdo a los resultados del análisis de Suelos. I. Aprox. *Revista I.C.A.* 3 (2): 91-102.
14. *McCLUNG, A.C.* 1964. Comentarios sobre el trabajo del programa de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. Trabajo mimeografiado sin publicar. p. 30.
15. *NAVAS, J.; H. MANZANO y A.C. McCLUNG.* 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. Calibración del análisis. *Agricultura Tropical* 22: 285-294.
16. *OSORIO, M. y E. CASTRO.* 1968. Fijación de fósforo en dos suelos ácidos de Colombia con y sin aplicaciones de cal. Tesis de Grado. Facultad de Agronomía de Palmira, Palmira, Valle Colombia.