

PROPIEDADES QUIMICAS DE LOS SUELOS DE COLOMBIA EN RELACION CON LAS

RESPUESTAS A LA FERTILIZACION DE LOS CULTIVOS 1/ 589(09)

LUIS ALFREDO LEON S. 2/

SINTESIS

En este estudio se correlacionaron resultados de ensayos de campo con fertilizantes con las características químicas y mineralógicas de suelos pertenecientes a 8 Regiones Naturales de Colombia. Las Regiones estudiadas fueron los Valles del Cauca y del Alto y Bajo Magdalena, la Sabana de Bogotá, las Cordilleras Andinas, los Llanos Orientales y las Costas del Atlántico y Pacífico. La altura de estas regiones va desde 0 hasta 3.000 metros sobre el nivel del mar, correspondiendo también a una amplia variación en temperatura, suelos y cultivos. Se diferenciaron áreas del país con requerimientos de cal y fertilizantes bajos, medios y altos. Se sugirieron 10 grados de fertilizantes con el fin de cubrir las necesidades de los diferentes cultivos de acuerdo con la fertilidad y las características químicas y mineralógicas de los suelos Colombianos.

- 
- 1/ Contribución del Departamento de Agronomía. Programa Nacional de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario ( ICA ).
  - 2/ Director Nacional del Programa de Suelos del Instituto Colombiano Agropecuario ( ICA ).

## INTRODUCCION

Al aumentar los rendimientos de los cultivos es un reto para países como Colombia debido a que su economía está basada principalmente en la agricultura. La mayoría de los suelos son demasiado ácidos para poder obtener una buena producción y algunos son salinos o sódicos (3).

Las deficiencias de nutrientes en los suelos de Colombia se encuentran muy generalizadas (13 y 21), pero el potencial de producción puede ser alto si se utilizan correctivos y fertilizantes en cantidades y grados adecuados. Las propiedades de los suelos son muy variables (17) y se requiere una información apropiada con el fin de efectuar inversiones seguras en fertilizantes y enmiendas.

La información sobre análisis de suelos y los resultados en el campo de las pruebas con fertilizantes son una fuente excelente de información sobre la acidez del suelo, la alcalinidad y las condiciones en que se encuentran los nutrientes (2). En muchos países de Latinoamérica los resultados de análisis de suelos han sido relacionados con los límites de los estados, con los suelos o con las regiones fisiográficas, como también con los cultivos para los cuales se hizo la recomendación (1, 2). Una primera aproximación de la evaluación de la fertilidad de los suelos de Colombia, utilizando resúmenes de análisis de suelos ha sido efectuada por Marin y

León (17). Esta incluye mapas de requerimientos de fósforo y cal por áreas fisiográficas.

El objetivo del presente estudio fue el de correlacionar las características químicas y mineralógicas de los suelos con los resultados de la fertilización en el campo, con el fin de diferenciar áreas del país con requerimientos de cal y fertilizantes bajos, medios y altos y sugerir algunos grados de fertilizantes que puedan cubrir las necesidades de los diferentes cultivos.

#### MATERIALES Y METODOS

Los resúmenes de análisis de suelos que se presentan en este trabajo se obtuvieron a partir de los resultados obtenidos en más de 50.000 muestras enviadas por los agricultores y por los miembros del Programa de Suelos del ICA desde Marzo de 1965 hasta Diciembre de 1971.

Las muestras se analizaron utilizando los métodos adoptados por el Laboratorio de Análisis de Suelos del ICA en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias "Palmira" (15).

La fijación de fósforo se determinó utilizando 50, 100, 200, 400 y 800 ppm. de P añadidas en solución a 20 gr. de suelo seco los cuales se incubaron por 48 horas a 35°C. El fósforo fue extraído con 80 ml. de una solución de KCl 0.05N y

H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.025N .

El análisis de las arcillas se efectuó utilizando difracción con rayos X en material libre de óxidos de hierro, saturado con magnesio o potasio tratado con glicerol y secado al aire o a 100<sup>o</sup>C. Las muestras se prepararon para análisis como agregados orientados evaporando alicuotas de suspensiones que contenían cerca de 25 mg. de la arcilla en portaobjetos de 1½ y ½ pulgadas.

Los niveles críticos de fósforo y potasio utilizados en este trabajo fueron obtenidos mediante pruebas regionales, ensayos de campo en Centros Experimentales y estudios de invernadero y laboratorio efectuados por el Programa de Suelos del ICA (22). Estos niveles se presentan en la Tabla 1.

El criterio usado para agrupar suelos de acuerdo con el pH se basó en experiencias previas y resultados (6), que indican que el aluminio intercambiable es muy bajo en suelos con pH mayor de 5.5, donde los rendimientos de los cultivos no son afectados por la toxicidad del Al. Los suelos con pH entre 5.5 y 7.5 generalmente no presentan problemas relacionados con suelos ácidos salinos o sódicos y los suelos con pH superior de 7.5 son considerados como suelos con problemas potenciales de sales, alcalinidad o deficiencias de fósforo y elementos menores.

El contenido de materia orgánica de los suelos se estudió de

acuerdo a distribuciones arbitrarias de regiones naturales y altitud.

Con el fin de agrupar muestras de suelos analizadas en forma racional, el país fue dividido en 10 regiones naturales de acuerdo al criterio usado por Guerrero (9). Las características generales y la distribución geográfica de las regiones naturales se presentan en la Tabla 2 y en la Figura 1, respectivamente. Guerrero (9), propuso esta división del país en 10 regiones naturales basado en diferencias en cuanto a condiciones fisiográficas, clima y vegetación. Esta división coincide con la propuesta por Schultes (24).

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Mineralogía de los suelos

La Tabla 3 muestra el contenido de minerales menores de 2 micras de muestras de suelos provenientes de 8 regiones naturales de Colombia. La caolinita y el cuarzo están presentes en todos los suelos estudiados. Solo en el caso del Valle del Alto Magdalena la cantidad de caolinita presente es relativamente poca.

En algunos suelos de las Cordilleras Andinas, la Sabana de Bogotá, y la Costa Atlántica se encuentra monrillonita en cantidades relativamente pequeñas, pero esta arcilla parece ser dominante en los Valles del Cauca y el Bajo Magdalena.

Es común encontrar en la Costa Atlántica intergrados de monmorillonita-clorita y montmorillonita-vermiculita.

La mica también se encuentra presente en todos los suelos de las 3 regiones naturales excepto en el caso de las cordilleras andinas y el Valle del Cauca. Algunos suelos de las cordilleras andinas, el Valle del Cauca y la Costa Atlántica presentan vermiculita en cantidades apreciables. La clorita se encuentra solamente en los suelos del Valle del Cauca y es posible encontrar integrados vermiculita-clorita en las Cordilleras Andinas, la Sabana de Bogotá, el Valle del Cauca y los Llanos Orientales. Los materiales amorfos, probablemente derivados de deposiciones de cenizas volcánicas predominan en los suelos de las Cordilleras Andinas y de la Costa del Pacífico, pero también están presentes en la mayoría de los suelos de las regiones naturales de Colombia posiblemente con excepción de los suelos del Valle del Bajo Magdalena y de la Costa Atlántica. Minerales tales como la goetita y la hema-ta se encuentran presentes en suelos de las Cordilleras Andinas, los Llanos Orientales, el Valle del Cauca y las Costas del Atlántico y Pacífico.

En algunos casos, tal como se indicará más adelante, la mineralogía de las arcillas parece estar estrechamente relacionada con las propiedades químicas de los suelos y con las respuestas de los cultivos a la fertilización.

Contenido de materia orgánica y requerimientos de nitrógeno.

Tal como se muestra en la Tabla 4, la materia orgánica presenta una buena correlación con la altitud de los lugares donde se tomaron las muestras de suelos. El promedio más bajo (3.01%), corresponde a muestras de suelos de áreas localizadas entre 0 y 600 m.s.n.m., El promedio más alto (9.92%), corresponde a suelos representativos de áreas con una altitud mayor de 2.200 m.s.n.m. El porcentaje más alto de materia orgánica en esta área se encuentra directamente relacionada con la altitud y probablemente con las bajas temperaturas.

En estas condiciones los residuos vegetales tienden a descomponerse muy lentamente y se acumulan en el suelo. Esta información está de acuerdo con los datos publicados por Marín (16) y Jenny y sus colaboradores (10). Se encuentran algunas excepciones cuando áreas de gran altitud y clima frío presentan una remoción de la capa vegetal del suelo o en climas cálidos donde se pueden acumular materiales orgánicos sin descomponer debido a deficiencias en el drenaje.

En la Tabla 5, se presentan los promedios del contenido de materia orgánica de suelos provenientes de 8 regiones naturales. El porcentaje más alto (11.7%) corresponde a los suelos de la Sabana de Bogotá y el más bajo (2.6) a los suelos de la Costa Atlántica. Esta situación se explica por si sola debido a que la Sabana de Bogotá, está localizada a 2.640 m.s.n.m. con una temperatura media anual de 14°C. y la Costa Atlántica se encuentra a muy baja altitud y con una temperatura media anual de 28°C. Bajo estas condiciones ecológicas, en el caso de la Costa Atlántica, es muy difícil encontrar

acumulación de materia orgánica.

El porcentaje promedio de materia orgánica en las Cordilleras Andinas fue de 7.3% pero la amplitud es muy grande, debido a que es posible encontrar suelos bajos en materia orgánica en áreas erodadas o en caso de suelos de formación aluvial reciente. Por otra parte en suelos localizados en áreas de gran altitud donde la temperatura media anual es muy baja el contenido de materia orgánica generalmente es muy alto.

La mayoría del nitrógeno aprovechable del suelo durante el crecimiento de un cultivo proviene de la descomposición de la materia orgánica. El nitrógeno orgánico representa en general más del 85% del nitrógeno total en los suelos de Colombia (20,25). A pesar de que algunos investigadores han determinado diferentes fracciones de nitrógeno en los suelos (20, 25), es muy difícil obtener un estimativo de la cantidad de nitrógeno aprovechable por medio de análisis de suelos debido a que la liberación del nitrógeno incluye procesos biológicos.

La Figura 2, muestra una distribución general de los requerimientos de nitrógeno en los suelos de Colombia. En las regiones naturales de la Costa Atlántica de los Valles del Alto y Bajo Magdalena, La Costa del Pacífico, Los Llanos Orientales y el Valle del Cauca, cuyos suelos contienen menos de 4.5% de materia orgánica es posible esperar una respuesta relativamen

te alta a la fertilización nitrogenada en el caso de cultivos de alto rendimiento. Ciertamente, de acuerdo a las investigaciones realizadas por el Programa de Suelos del ICA, con algodónero, arroz inundado, ajonjolí, maíz y sorgo (13, 21), las respuestas a las aplicaciones del nitrógeno son muy altas en las áreas más bajas y calurosas del país. Sin embargo, los pastos han respondido a altas fertilizaciones de nitrógeno en casi todas las áreas del país y cultivos como cebada, el trigo, las hortalizas, el maíz, y la papa aumentan apreciablemente sus rendimientos con adiciones de nitrógeno en las Cordilleras Andinas y en La Sabana de Bogotá (13, 21).

Este comportamiento concuerda con los resultados obtenidos por Blasco (5), Tafur y Blasco (25), y Molina (20), los cuales muestran que el amonio nativo fijado con una fracción del nitrógeno total varía desde el 2 hasta el 15% y el amonio intercambiable desde 0.65 hasta 5.9% correspondiendo los más bajos porcentajes a suelos derivados de cenizas volcánicas. En suelos de las Cordilleras Andinas derivados de cenizas volcánicas, de acuerdo con Molina (20), el promedio de nitrógeno total, es relativamente alto (0.4%) pero el nitrógeno orgánico representa más del 95% del total y las fracciones inorgánicas son muy bajas (2.5% amonio-N fijado y nativo, y 1.6% amonio-N intercambiable). Bajo estas circunstancias es probable esperar una buena respuesta a la fertilización nitrogenada.

#### Acidez, salinidad y alcalinidad de los suelos.

La Tabla 6, muestra el porcentaje de distribución de los valo-

res de pH para cada una de las regiones naturales. El porcentaje más alto de las muestras analizadas con un pH inferior a 5.5 corresponde a los suelos de los Llanos Orientales (76.6%) seguido de la Sabana de Bogotá, las Cordilleras Andinas y la Costa del Pacífico. En las demás regiones naturales el porcentaje de suelos pH menor de 5.5 no fue mayor de 7.9%. En la Costa Atlántica el porcentaje de muestras de suelos con pH menor de 5.5 fue solamente del 2.1% y suelos con pH mayor de 7.5 representan el 36.1% del número total de muestras.

En todas las regiones naturales excepto en el caso de los Llanos Orientales el más alto porcentaje de muestras analizadas correspondió a valores de pH entre 5.5 y 7.5

Bajo condiciones naturales los suelos de la Sabana de Bogotá son muy ácidos. Sin embargo, el uso intensivo de la cal y los fertilizantes explica parcialmente el que 67.6% de las muestras tengan un pH entre 5.5 y 7.5

Suelos salinos y sódicos han sido reportados por investigadores del Instituto Geográfico "Agustín Codazzi", la C.V.C. y el I.C.A. (17), en la Costa Atlántica y los Valles del Cauca, Sinú y Bajo y Alto Magdalena, tal como se muestran en la Figura 3. La C.V.C. ha reportado que cerca de 70.000 Ha. se encuentran afectadas por problemas de salinidad en el Valle del Cauca (17). En la misma región Gómez y colaboradores (8), encontraron suelos cuya relación Calcio/Magnesio era menor o igual a 1, lo cual producía efectos directos o indirectos en el de-

sarrollo normal de cultivos tales como arroz, soya y caña de azúcar. De acuerdo con Gómez (8), en el caso del maíz, este no parece ser afectado por suelos cuya relación Calcio/Magnesio esté entre 0.6 y 3.2.

#### Relaciones entre pH y Aluminio Intercambiable.

Los valores promedio de pH y Aluminio intercambiable de suelos cuyo pH es igual o menor a 5.5 se presentan en la Tabla 7.

Estos valores de pH varían desde 4.98 en los Llanos Orientales hasta 5.47 en la Costa Atlántica con contenidos de Al intercambiable de 2.65 y 0.49 n.e./100g., respectivamente. De acuerdo con Cervantes, León y Marín (6) el Al intercambiable en los suelos de Colombia disminuye con el aumento de pH. Para suelos de los Llanos Orientales el Al intercambiable es generalmente menor de 0.5 n.e./100 g. cuando el pH es superior a 5.2 pero en las Cordilleras Andinas y en la Sabana de Bogotá un valor similar de Al intercambiable se consigue cuando el pH es superior a 5.4.

#### Requerimientos de Cal.

La Figura 4, muestra algunas de las regiones naturales de Colombia diferenciadas de acuerdo a los requerimientos de cal.

Los suelos se clasificaron como bajos, medios y altos de acuerdo a la frecuencia de distribución de los valores de pH igual o menor a 5.5. Los requerimientos se consideraron como bajos

en las regiones donde más del 90% de las muestras de suelos presentaron pH por encima de 5.5, medio donde el 90 al 65% de las muestras tenían pH superiores a 5.5 y alto donde más del 65% de las muestras presentaban valores de pH inferiores a 5.5.

Las regiones naturales de la Selva Amazónica y el Desierto de la Guajira no se incluyeron en esta clasificación debido al poco número de muestras de suelos analizadas, para se pueden considerar como alta y baja en requerimientos de cal, respectivamente. Esta consideración está basada en un limitado número de análisis de suelos y en los resultados de fertilización en el campo reportados por otros investigadores. (4, 14).

La clasificación de los suelos de los Llanos Orientales como alta en requerimientos de cal coincide con la investigación efectuada en esta área (13, 21). Se ha demostrado que no es posible obtener un crecimiento normal de cultivos tales como maíz, sorgo, soya, ajonjolí, arroz de secano y otros sin la adición de por lo menos 2 Ton. de Cal/Ha (13). En algunos casos ha sido posible reducir o eliminar la cantidad de cal aplicada mediante el uso de variedades de cultivos tales como Cauquí, sorgo y arroz tolerantes a los suelos ácidos (3).

En el caso de los suelos de las Cordilleras Andinas y de la Sabana de Bogotá, clasificados como medio en requerimientos de cal es posible encontrar áreas donde se requieren altas cantidades de este correctivo para obtener buenos rendimientos

de algunos cultivos y áreas donde la cal no se necesita. Es importante anotar que esta separación de requerimientos de cal en alto y medio presenta una buena correlación con la frecuencia con que la cal se necesita en cierta área y no con la cantidad adecuada para obtener una respuesta óptima. De acuerdo con Mera y León (19), los requerimientos de cal de los suelos colombianos están influenciados por el aluminio intercambiable y el contenido de materia orgánica y tal como se mostró anteriormente la amplitud del contenido de materia orgánica en los suelos de las Cordilleras Andinas es muy grande. Por tanto será normal esperar una variación amplia en los requerimientos de cal en esta región natural.

En contraste, los mismos autores han encontrado que 3 Ton./Ha. de Cal son suficientes para aumentar el pH de un suelo de los Llanos Orientales de 4.8 a 5.6 y disminuir el Al intercambiable de 3.6 a 0.4 m.e./100 g. pero en cambio para aumentar el pH de un suelo de la Sabana de Bogotá de 4.6 a 5.0 y disminuir el Al intercambiable de 2.5 a 0.5 m.e./100 g. es necesario adicionar 6 Ton./Ha. de Cal.

En general los suelos ácidos de Colombia son bajos en calcio y magnesio intercambiable (12). Por lo tanto los objetivos de un programa de encalamiento para estos suelos deben estar dirigidos a modificar el posible efecto tóxico del Al intercambiable a pH bajo y el suministro de calcio y magnesio en lugar de tratar de aumentar el porcentaje de saturación de bases y el pH.

Estado del fósforo en suelos de Colombia.

Las respuestas al fósforo en los suelos de Colombia están restringidas generalmente a regiones altas e intermedias. Esta afirmación no es cierta en todos los casos debido a que los suelos de los Llanos Orientales, los cuales representan el 27% del área total del país, se consideran como extremadamente deficientes en fósforo aprovechable (3, 13).

En las regiones más frías del país el fósforo se considera como el nutrimento más limitante. En la mayoría de los casos la producción de papa y cereales es extremadamente baja si no se hacen aplicaciones de fósforo en cantidades del orden de 350 y 100 Kg. de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ha., respectivamente. Se ha demostrado que el suministro de fósforo a cultivos de climas fríos produce la respuesta más significativa a los fertilizantes en Colombia (13, 21). Factores tales como material parental (en la mayoría de los casos deposiciones de cenizas volcánicas), acidez del suelo, naturaleza de los productos de meteorización y temperatura, posiblemente se encuentran comprometidos en las deficiencias generales de fósforo que se observan en los suelos de estas regiones.

La Tabla 8, muestra el porcentaje de distribución de suelos de acuerdo con los niveles críticos de fósforo establecidos por el Programa de Suelos del ICA y en la Figura 5, se presenta al país dividido en regiones con requerimientos de fós-

foro altos medios y bajos. Los suelos de la Costa Atlántica y del Valle del Alto Magdalena se consideran como bajos en requerimientos de fósforo debido a que más del 75% de las muestras analizadas dieron un resultado medio o alto en fósforo aprovechable. Esta apreciación concuerda con los resultados de ensayos de campo del ICA (13, 14, 21) efectuados con algodónero, arroz, ajonjolí, maíz, sorgo, leguminosas y yuca, donde los rendimientos óptimos se obtuvieron sin adiciones de fósforo o con 30 ó 60 Kg. de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ha.

Los suelos de las regiones naturales de la Sabana de Bogotá y de los Valles del Cauca y del Bajo Magdalena se consideraron como medios en requerimientos de fósforo. En este caso del 50 al 75% de las muestras dieron resultados medios o altos en fósforo aprovechable. En el área de la Sabana de Bogotá, los estudios de campo han mostrado que la respuesta de las hortalizas, el maíz y la papa a la fertilización fosfatada no son tan apreciables como en el caso de los suelos de las Cordilleras Andinas (departamentos de Antioquia y Nariño) (13). En el Valle del Cauca cultivos tales como maíz, sorgo y soya no responden a la fertilización con fósforo y las respuestas del algodónero y la caña de azúcar no son muy consistentes (21). Por otra parte el algodónero, arroz, maíz, sorgo y yuca han respondido a cantidades entre 30 y 80 Kg. de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ha en algunos suelos del Valle del Bajo Magdalena. (13).

Las regiones naturales de los Llanos Orientales, la Costa del

Pacífico y las Cordilleras Andinas, presentan los más altos porcentajes de suelos bajos en fósforo aprovechable. Estas tres regiones y la Selva Amazónica están clasificadas en la Figura 5 como altas en requerimientos de fósforo indicando que del 50 al 75% o más de las muestras analizadas dieron contenidos bajos en fósforo aprovechable. Informes del Programa de Suelos del ICA (13, 21), indican que en la región de las Cordilleras Andinas (departamentos de Nariño, Caldas, Antioquia y Boyacá), las necesidades de fósforo son muy altas estando comprendidas entre 100 y 600 Kg. de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ha. para cultivos tales como trigo, cebada, hortalizas, maíz, papa y pastos.

El contenido de fósforo de los suelos de los Llanos Orientales es muy bajo y de acuerdo con la investigación efectuada por el ICA y el CIAT es casi imposible obtener un crecimiento aceptable en maíz y sorgo sin la adición de fertilizantes fosfatados (150 a 200 Kg. de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/Ha.) (3, 13 ).

#### Capacidad de fijación de fósforo.

La investigación y la experiencia con los suelos de Colombia ha mostrado que la química de los fosfatos es una de sus características de mayor significancia en cuanto al uso agrícola (12, 13). Los componentes de los suelos ácidos colombianos que se espera sean reactantes de importancia con los fosfatos son el aluminio intercambiable absorbido por las arcillas (Lig

nos Orientales, Cordilleras Andinas y Costa del Pacífico), OH-Aluminio o aluminio ligado a la materia orgánica (Cordilleras Andinas) OH-Aluminio y OH-Hierro, en las interláminas o en la superficie de las arcillas (Sabana de Bogotá y Llanos Orientales), alófana (Cordilleras Andinas y Costa del Pacífico) y sesquióxidos libres tales como goetita y hematita (Cordilleras Andinas, Valle del Cauca, Costas del Pacífico y Atlántico y Llanos Orientales) (12).

La fijación de fósforo por 5 suelos provenientes de algunas de las regiones naturales con relación a las cantidades de fósforo añadido se presenta en la Figura 6. Estos resultados presentados por León (11), muestran una buena correlación con las respuestas indicadas anteriormente de algunos cultivos a la fertilización con fósforo. El suelos de las Cordilleras Andinas fijó la mayoría del fósforo añadido hasta un nivel de 800 ppm., seguido del suelo de la Sabana de Bogotá. Los suelos del Valle del Bajo Magdalena y de la Costa Atlántico fijan cantidades apreciables de fósforo pero el extraído por la solución utilizada fue relativamente alto. El suelo del Valle del Alto Magdalena presenta la más baja capacidad de fijación de todos los suelos estudiados. Este suelo fija solamente el 60% del fósforo añadido y ciertamente las investigaciones han demostrado que no se requiere fósforo para los cultivos que crecen en estos suelos o que los requerimientos son muy bajos (13).

En los suelos de Colombia las respuestas de los cultivos a la fertilización con potasio han sido relativamente limitadas. Estudios de campo llevados a cabo por el Programa de Suelos del ICA, indican que es posible encontrar respuesta significativas en las planicies aluviales y en las altillanuras de los Llanos Orientales, como también en los suelos negros de "La Selva" (Antioquia). Es probable en el caso de los suelos de "La Selva" ricos en alófana que el material parental bajo en potasio es uno de los principales factores responsables del aumento significativo de la producción cuando este nutrimento se adiciona al suelo. En general los resultados reportados de experimentos con potasio son semejantes a aquellos encontrados en otras áreas agrícolas desarrolladas. Es común encontrar muy pocas respuestas a potasio, pero con cultivos continuos y con el aumento en producción debido al uso de otros nutrimentos el potasio aprovechable del suelo disminuye y la necesidad por este elemento se torna crítica. Este parece ser el caso de los suelos de los Llanos Orientales y de algunos suelos derivados de cenizas volcánicas de las Cordilleras Andinas (Departamento de Antioquia) (13). Este comportamiento no es común para todos los suelos derivados de cenizas volcánicas de las Cordilleras Andinas. Ordoñez (23), y García (7), han reportado que los suelos de climas fríos y medios del Departamento de Nariño, presentan cantidades relativamente altas de potasio no intercambiable, intercambiable y soluble en agua. Además investigaciones del Programa de Suelos del ICA (13) con papa, cebada y trigo, han demostrado que estos cultivos no res

penden a las adiciones de este nutriente o responden solamente a cantidades muy pequeñas (30 Kilos de K<sub>2</sub>O/Ha.).

En la Figura 7, se muestra áreas de las regiones de Colombia, donde de acuerdo a los resultados de campo, los cultivos responden a la fertilización con potasio. Es importante anotar que algunos cultivos como palma africana, banano, plátano y caña de azúcar generalmente responden a la fertilización con potasio sin que se encuentre correlación alguna con la cantidad de potasio intercambiable presente en el suelo (13, 21).

La Tabla 9, presenta la distribución de los valores de potasio intercambiable de acuerdo con el número de muestras de suelos de 8 regiones naturales de Colombia. Con la excepción de los Llanos Orientales el porcentaje de muestras de suelos altas en potasio intercambiable es mayor del 46% y con bajo potasio intercambiable es menor de 20%. El contenido relativamente bajo de potasio en los suelos de los Llanos Orientales está probablemente relacionado con el material parental y con los procesos intensos de meteorización asociados a altas temperaturas y precipitaciones. (17).

A pesar de las cantidades relativamente altas de potasio intercambiable presentes en los suelos de Colombia esta reserva puede ser agotada mediante el cultivo continuo y convertirse en un factor limitante para la producción. Marin et al (18), encontraron que la capacidad de varios suelos de Colombia pa-

ra suministrar potasio varía y que esta variación se debe en parte a la cantidad y al tipo de arcilla de los suelos estudiados.

#### Combinaciones de Fósforo- Potasio.

De acuerdo a la información presentada por Marín y León (17) y al contenido de fósforo y potasio de los suelos de Colombia aquí estudiados es posible obtener los niveles críticos más frecuentes de las combinaciones PK encontradas en estos suelos. La Tabla 10, muestra la frecuencia de las diferentes combinaciones PK cuando el porcentaje de muestras de suelos fue superior al 10%.

En los suelos de las Cordilleras Andinas la combinación más frecuente en la BA seguida de BM. Para los suelos de la Sabana de Bogotá AA es la combinación más frecuente seguida de MM y BA. En el caso de la Costa Atlántica más del 60% de los suelos presentan una combinación AA y en contraste 85% de los suelos de los Llanos Orientales son BM y 32% son BB con respecto al contenido de PK.

Basados en la investigación llevada a cabo con varios cultivos por el programa de suelos del ICA durante más de 20 años y también en los análisis de suelos y las combinaciones de PK presentadas aquí, es posible sugerir 10 grados de fertilizantes y relaciones N-P205-K20 con el fin de cubrir las necesidades de la mayoría de los cultivos más comunes de Colombia. Esta información se presenta en la Tabla 11. Es importante anotar que la mayoría de los grados sugeridos son muy altos en fósforo y bajos en potasio. En algunos casos es posible que el nitrógeno añadido con una de estas fórmulas no sea suficien-

te para suplir las necesidades de ciertos cultivos. En esos casos se recomienda suplementar la fórmula con nitrógeno en forma de urea o nitrato de amonio durante diferentes estados del desarrollo de las plantas.

### RESUMEN Y CONCLUSIONES

Se llevaron a cabo ensayos de campo y estudios de laboratorio en suelos provenientes de 8 regiones naturales de Colombia, Sur América. Su elevación varía desde 0 hasta 3.000 m.s.n.m. con una gran amplitud en temperatura, suelos y cultivos. Los suelos colombianos varían desde los típicamente tropicales hasta los subtropicales. Sus condiciones físicas son adecuadas para la mayoría de los cultivos pero los problemas químicos reducen seriamente la productividad de muchas áreas siendo el fósforo uno de los elementos más limitantes.

Información obtenida por el Programa de Suelos del ICA indica que las respuestas a nitrógeno están concentradas principalmente en las partes bajas y cálidas del país. En las partes frías el nitrógeno generalmente es alto y las respuestas a este elemento no son tan comunes.

Basados en el pH, el aluminio intercambiable de los suelos y la investigación en el campo se ha encontrado que los Llanos Orientales es la región del país que puede ser considerada como alta en requerimientos de cal. Las Cordilleras Andinas, la Sabana de Bogotá y la Costa del Pacífico se clasificaron como medias en requeri-

mientos de cal.

Las respuestas al fósforo en Colombia están localizadas principalmente en regiones altas e intermedias. Esta afirmación no es verdadera en todos los casos, pues los Llanos Orientales que presentan un área muy extensa y que han sido poco estudiados, presentan suelos extremadamente deficientes en fósforo. En las regiones más frías del país el fósforo es claramente el elemento más limitante. Los suelos de estas regiones presentan una alta capacidad de fijación de fosfatos.

Respuestas al Potasio, en cultivos en los cuales el ICA tiene la responsabilidad de hacer investigaciones, han sido relativamente escasas. En estudios de campo las únicas respuestas significativas se han obtenido en las terrazas aluviales y en las altillanuras de los Llanos Orientales y en las Cordilleras Andinas de Antioquia.

Se sugirieron 10 grados 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 con el fin de cubrir las necesidades de los diferentes cultivos de acuerdo a la fertilidad y a las características químicas y mineralógicas de los suelos de Colombia.

Es importante anotar que en muchos casos y como un resultado de estas investigaciones las aplicaciones adecuadas de fertilizantes y el buen manejo de los suelos ha aumentado considerablemente el ingreso del agricultor colombiano.

## BIBLIOGRAFIA

- 1) ANONIMO. 1967. ANNUAL REPORT. 1966. The fertilizer requirements of countries in Latin America. International Soil Testing. N.C. State University. Raleigh.
- 2) \_\_\_\_\_. 1968. ANNUAL REPORT. 1967. The fertilizer requirements of countries in Latin America. International Soil Testing. N.C. State University. Raleigh.
- 3) \_\_\_\_\_. 1972. ANNUAL REPORT. 1971. CIAT. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali. Colombia.
- 4) BLASCO, M. 1962. Estudios sobre la Comisaría Especial del Amazonas. Tesis. Fac. Agr. Palmira. 458 p.
- 5) \_\_\_\_\_. 1966. Studies of some aspects of nitrogen in the soils of Colombia. Ph.D. Thesis. University of London.
- 6) CERVANTES, O., L.A. LEON Y G. MARIN. 1974. Relaciones entre pH, Aluminio y Materia orgánica en algunos suelos de Colombia. Revista ICA. Vol. V No.1.
- 7) GARCIA, R.B. 1969. Estudio sobre el potasio en algunos suelos de clima medio del departamento de Nariño. Tesis. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto.

- 8) GOMEZ, J. A., D. F. ZORRILLA, C. FLOR Y V.J. PORRAS. 1969

Influencia de la relación Ca/Mg en la producción del  
maíz en el valle del río Cauca. Colombia. Agricultura  
Tropical. Vol. XXV (2).

- 9) GUERRERO, R. 1965. Suelos de Colombia y su relación con

la séptima aproximación. Bol. 9. Instituto Geográfico  
"Agustín Codazzi" Bogotá. p. 196.

- 10) JENNY, H., F.T. BINGHAM and B. PADILLA-SARAVIA.. 1948.

Nitrogen and organic matter contents of equatorial  
soils of Colombia. Soil Sci. 66:173-186.

- 11) LEON, L.A. 1964. Estudios químicos y mineralógicos de diez

suelos colombianos. Agricultura Tropical. Colombia. 20:  
442-451.

- 12) LEON, L.A. 1967. Chemistry of some tropical acid soils

of Colombia, S.A. Dissertation. Ph.D. in Soil Science.  
University of California. Riverside p. 191.

- 13) LEON L.A! 1972. Informe Anual de Labores. 1971. Programa

de Suelos. Departamento de Agronomía. Instituto Colombiano  
Agropecuario ( ICA ).

- 14) LEON, L.A., A.H. MANZANO., A. CARDENAS, B. HINOJOSA, J.A. BRU

GES y E. SARMIENTO. 1971. Resultados preliminares sobre  
la fertilización del algodón en algunas regiones de la

Costa Atlántica. Programa Nacional de Suelos. Departamento de Agronomía. Instituto Colombiano Agropecuario ( ICA ).

- 15) MARIN, G. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. II-Tipo de análisis y procedimientos. Agricultura Tropical. Colombia. 22:225-262.
- 16)                     , J.GOMEZ. 1966. Algunos aspectos del análisis de suelos. La interpretación del análisis. Agricultura Tropical. Colombia. 22:368-379.
- 17)                     , L.A. LEON. 1971. Generalidades sobre fertilidad de los suelos colombianos. Boletín Técnico No.11. Programa Nacional de Suelos. Departamento de Agronomía. Instituto Colombiano Agropecuario ( ICA ).
- 18) MARIN, G., A.C. McCLUNG y A. LUENCAS. 1967. La capacidad de varios suelos colombianos para suministrar potasio. Agricultura Tropical. Colombia. 23:89-102.
- 19) MERA, N. y L.A. LEON. 1971. Métodos rápidos para determinar requerimientos de cal en algunos suelos de Colombia. Revista ICA. Vol. VI No. 3:279-304.
- 20) MOLINA, A.C. 1969. Estudio sobre algunos aspectos del nitrógeno en los suelos del altiplano de Pasto. Tesis. Uni

- Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas.  
Pasto.
- 21) NAVAS, J., L.A. LEON y A.H. MANZANO. 1971. Informe Anual de labores 1970. Programa de Suelos. Departamento de Agronomía. Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).
- 22) \_\_\_\_\_, A. H. MANZANO y A.C. McCLUNG. 1966. Algunos aspectos del análisis de los suelos. III-Calibración del análisis. Agricultura tropical, Colombia. 22:285-294.
- 23) ORDÓÑEZ, G.H. 1969. Estudio sobre el potasio en algunos suelos del altiplano de Pasto. Tesis. Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto.
- 24) SCHULTES, R.E. 1951. La riqueza de la flora colombiana. Bogotá. Colombia. Rev. de la Acad. Col. de Ciencia. Exact. Fis. y Mat. Vol. VIII: 230-242.
- 25) TAFUR, N. y M. BLASCO. 1968. El nitrógeno en los suelos del Valle del Cesar. Acta Agronómica. Colombia. 18, 7-16.

\*\*\*\*\*

TABLA 1. - NIVELES CRITICOS DE P y K PARA  
SUELOS DE COLOMBIA

	Bajo (B)	Medio (M)	Alto (A)
Fósforo (P) ppm.	15	< 15-30	> 30
Potasio (K) me/100g.	0.15	< 0.15-0.30	> 0.30

*Colombia*

TABLA 2.- CARACTERISTICAS GENERALES DE LAS REGIONES NATURALES DE COLOMBIA

No.	Región Natural	Precipitación anual mm.		Temperatura °C		Altitud m.s.n.m.		Area Total %
		Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	
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

Tomada de Guerrero R (9).

TABLA 3.

CONTENIDO DE MINERALES EN LA FRACCIÓN <2 M DE SUELOS DE 8 REGIONES  
NATURALES DE COLOMBIA. LAS CANTIDADES RELATIVAS ESTAN INDICADAS  
POR EL NUMERO DE CRUCES

No.	Región Natural	Cantidades relativas de minerales												
		Mt.	Mi.	Vr.	C.	I.	Mt/C.	Mt/Vr.	Vr/C.	K	G	H	A	Q
01	Cordilleras Andinas	*	tr	+					+	+	++	+	++++	+
02	Sabana de Bogotá	++	+						++	+++			+	+
03	Valle del Alto Magdalena		+++							tr			++	+
04	Valle del Cauca	+++		++	+	+++			+	+++	+		+	+
05	Costa del Pacífico		+							++	+		+++	+
06	Costa del Atlántico	+	+++	++		+	+	+		+	+			+
07	Valle del Bajo Magdalena	+++	+							tr	++			+
09	Llanos Orientales		+						+++	++++	+		+	+

Mt. = Montmorillonita  
Mi. = Micas  
Vr. = Vermiculita  
C. = Clorita  
I. = Illita

K = Caolinita  
G = Goetita  
H = Hematita  
A = Materiales Amorfos  
Q = Cuarzo

TABLA 4.- PROMEDIOS DE MATERIA ORGANICA DE MUESTRAS DE  
SUELOS AGRUPADAS DE ACUERDO A LA ALTITUD

Altitud m.s.n.m.	% Materia Orgánica
0 - 600	3,01
600 - 1.200	4,05
1.200 - 1.700	6,69
1.700 - 2.200	9,55
> 2.200	9,92

TABLA 5.- PORCENTAJES PROMEDIOS DE MATERIA ORGANICA EN VARIAS REGIONES  
NATURALES DE COLOMBIA

No.	Región Natural	% Materia orgánica
01	Cordilleras Andinas	7,3
02	Sabana de Bogotá	11,7
03	Valle del Alto Magdalena	3,1
04	Valle del Cauca	4,2
05	Costa del Pacífico	3,3
06	Costa del Atlántico	2,6
07	Valle del Bajo Magdalena	2,6
09	Llanos Orientales	3,4

TABLA 6.- DISTRIBUCION DE LOS VALORES DE pH SEGUN EL NUMERO DE MUESTRAS ANALIZADAS  
EN 8 REGIONES NATURALES DE COLOMBIA

No.	Región Natural	Porcentaje de las muestras analizadas valores de pH		
		< 5.5	5.5 to 7.5	> 7.5
01	Cordilleras Andinas	27,2	69,3	3,5
02	Sabana de Bogotá	31,7	67,6	0,7
03	Valle del Alto Magdalena	7,9	83,2	8,9
04	Valle del Cauca	7,2	78,4	14,4
05	Costa del Pacífico	16,3	80,0	3,7
06	Costa del Atlántico	2,1	61,8	36,1
07	Valle del Bajo Magdalena	5,8	84,4	9,8
09	Llanos Orientales	76,6	23,4	0,0

TABLA 7.- PROMEDIO DE LOS VALORES DE pH EN MUESTRAS DE SUELOS CUYO pH ES INFERIOR A 5.5 Y  $\Delta 1$  INTERCAMBIABLE, EN 8 REGIONES NATURALES DE COLOMBIA

No.	Región Natural	pH	$\Delta 1$ me./100 g.
01	Cordilleras Andinas	5,15	2,54
02	Sabana de Bogotá	5,24	1,62
03	Valle del Alto Magdalena	5,24	1,26
04	Valle del Cauca	5,25	1,43
05	Costa del Pacífico	5,32	2,23
06	Costa del Atlántico	5,47	0,49
07	Valle del Bajo Magdalena	5,40	1,57
09	Llanos Orientales	4,98	2,65

TABLA 8.- DISTRIBUCION EN PORCENTAJE DE SUELOS CON CONTENIDOS BAJO, MEDIO Y ALTO DE FOSFORO APROVECHABLE EN 8 REGIONES NATURALES DE COLOMBIA

No.	Región Natural	Porcentaje de las muestras analizadas Fósforo (ppm. P-Bray II)		
		Bajo (<15)	Medio (15-30)	Alto (>30)
01	Cordilleras Andinas	65,3	14,5	20,2
02	Sabana de Bogotá	26,3	22,5	51,2
03	Valle del Alto Magdalena	40,3	17,0	42,7
04	Valle del Cauca	40,8	23,9	35,3
05	Costa del Pacífico	74,4	14,5	11,1
06	Costa del Atlántico	18,0	11,7	70,3
07	Valle del Bajo Magdalena	49,9	20,5	29,6
09	Llanos Orientales	75,8	8,7	15,5

TABLE 3. DISTRIBUCION EN PORCENTAJE DE SUELOS CON CONTENIDOS BAJO, MEDIO Y ALTO DE POTASIO INTERCAMBIABLE EN 8 REGIONES NATURALES DE COLOMBIA

No.	Región Natural	Porcentaje de las muestras analizadas		
		Potasio (m.e. K/100 g.)		
		Bajo (< 0.15)	Medio (0.15-0.30)	Alto (> 0.30)
01	Cordilleras Andinas	16,1	31,9	52,0
02	Sabana de Bogotá	4,9	16,2	78,9
03	Valle del Alto Magdalena	13,1	39,4	47,5
04	Valle del Cauca	9,9	22,4	67,7
05	Costa del Pacífico	20,4	33,4	46,2
06	Costa del Atlántico	4,4	19,9	75,7
07	Valle del Bajo Magdalena	11,7	32,4	55,9
09	Llanos Orientales	39,0	45,3	15,7

TABLA 10.- FRECUENCIA DE LAS DIFERENTES COMBINACIONES P-K CON MAS DE 10% DE LAS  
MUESTRAS ANALIZADAS

No.	Región Natural	Combinaciones				P - K		
		AA	EM	BA	MA	BB	AM	MM
01	Cordilleras Andinas	15,5	23,9	27,9	-	-	-	-
02	Sabana de Bogotá	46,7	-	14,7	-	-	-	17,6
03	Valle del Alto Magdalena	28,5	19,7	11,3	-	-	12,0	-
04	Valle del Cauca	30,5	14,3	18,7	18,5	-	-	-
05	Costa del Pacífico	-	28,7	27,2	10,5	18,5	-	-
06	Costa del Atlántico	60,3	-	-	-	-	-	-
07	Valle del Bajo Magdalena	19,5	18,9	25,7	10,7	-	-	-
09	Llanos Orientales	-	84,9	-	-	31,6	-	-

TABLE 11.- COMBINACIONES DE PK Y GRADOS DE FERTILIZANTES SUGERIDOS PARA SUELOS DE

COLOMBIA

Combinaciones de PK	Grados de fertilizantes			Relación N:P2O5, K2O		
BB	10	-	20	-	20	1: 2: 2
BM	9	-	36	-	4	1: 4: 0.5
BM	15	-	30	-	5	1: 2: 0.8
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

Tomada de Marín G. y L. León (17).

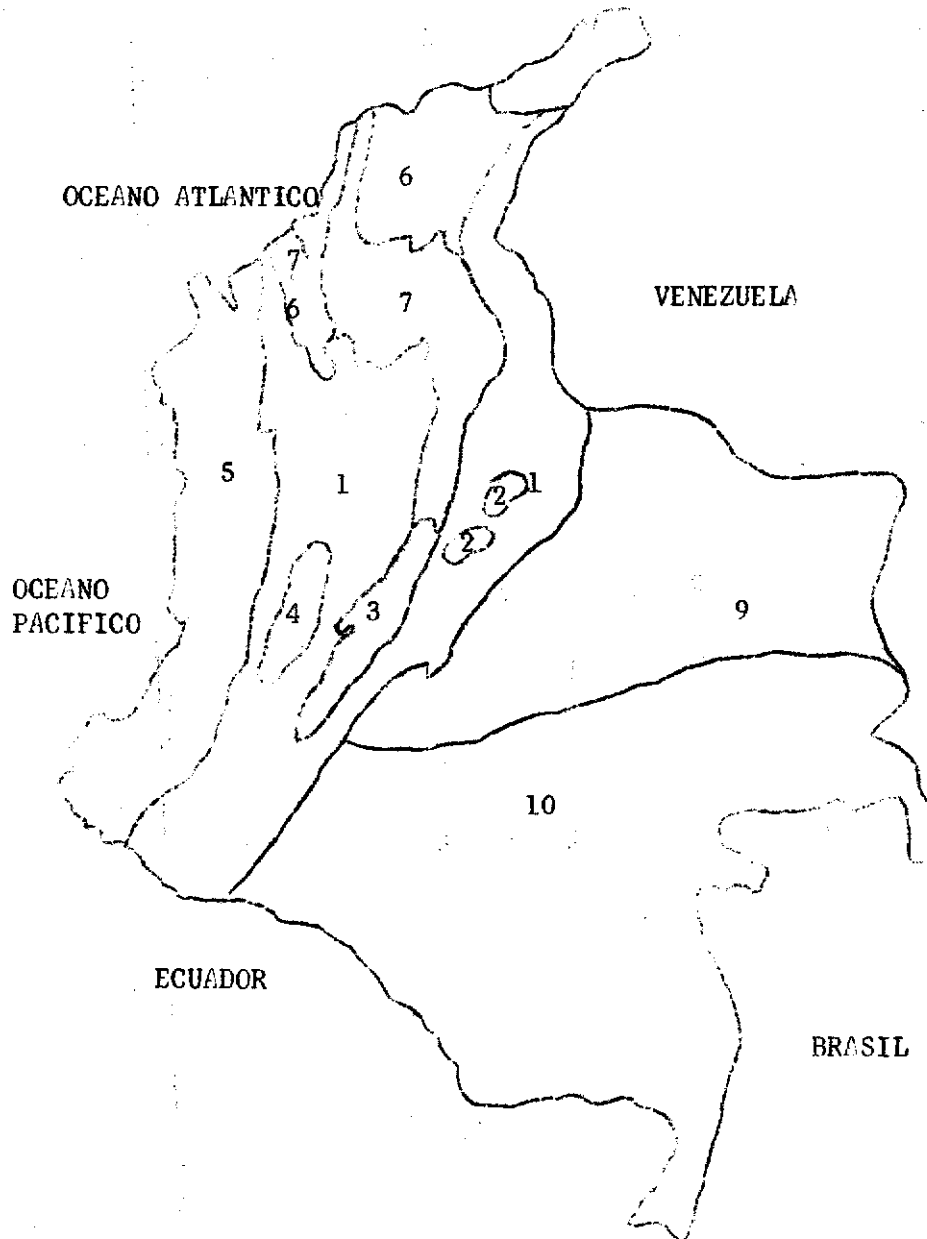


Figura 1.- Localización geográfica de las diez regiones naturales de Colombia. 1 Cordilleras Andinas, 2 Sabana de Bogotá, 3 Valle del alto Magdalena, 4 Valle del Cauca, 5 Costa del Pacífico, 6 Costa del Atlántico, 7 Valle del Bajo Magdalena, 8 Desierto de la Guajira, 9 Llanos Orientales, 10 Selva Amazónica.

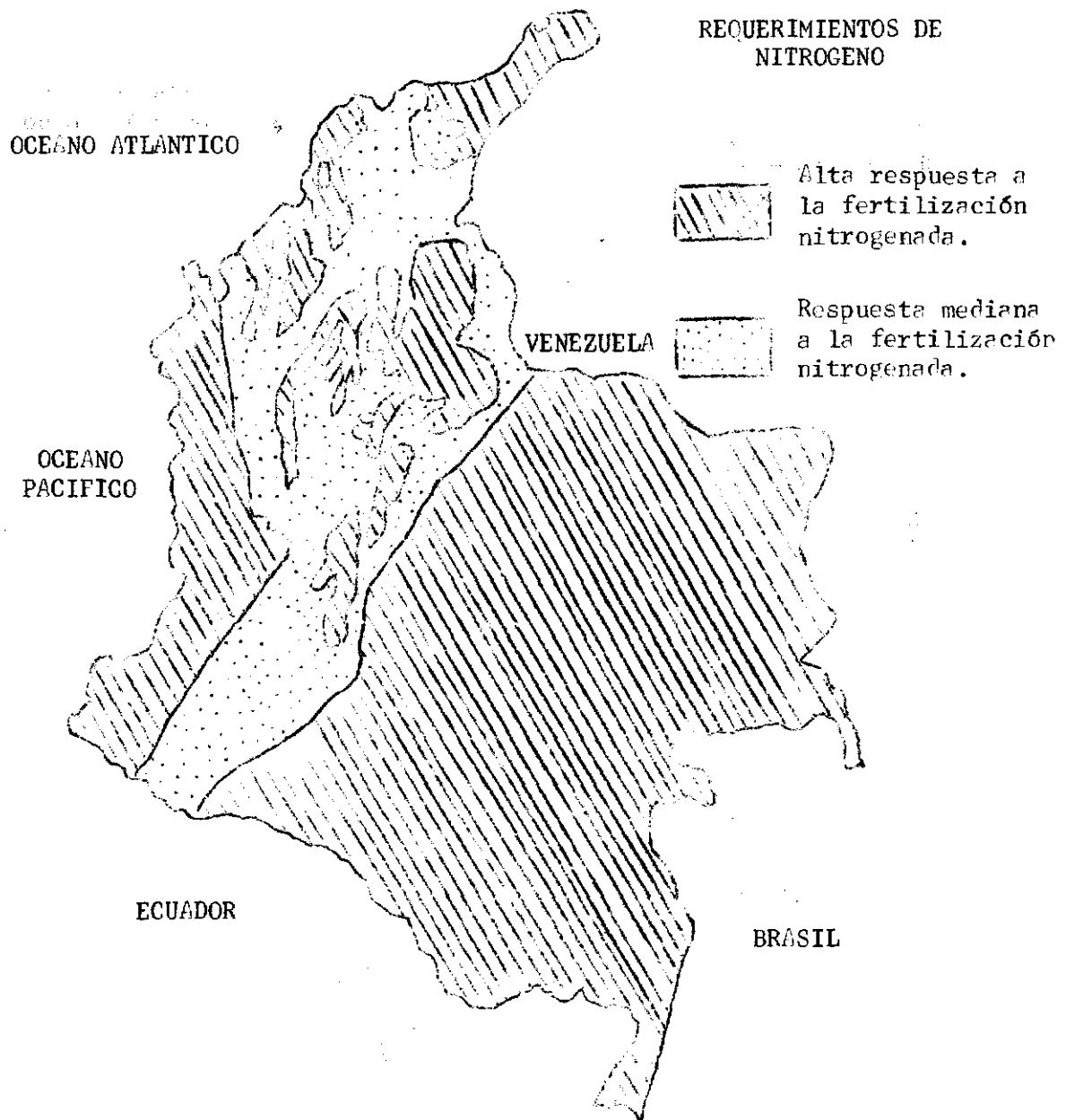


Figura 2.- Distribución general de los requerimientos de nitrógeno en Colombia.

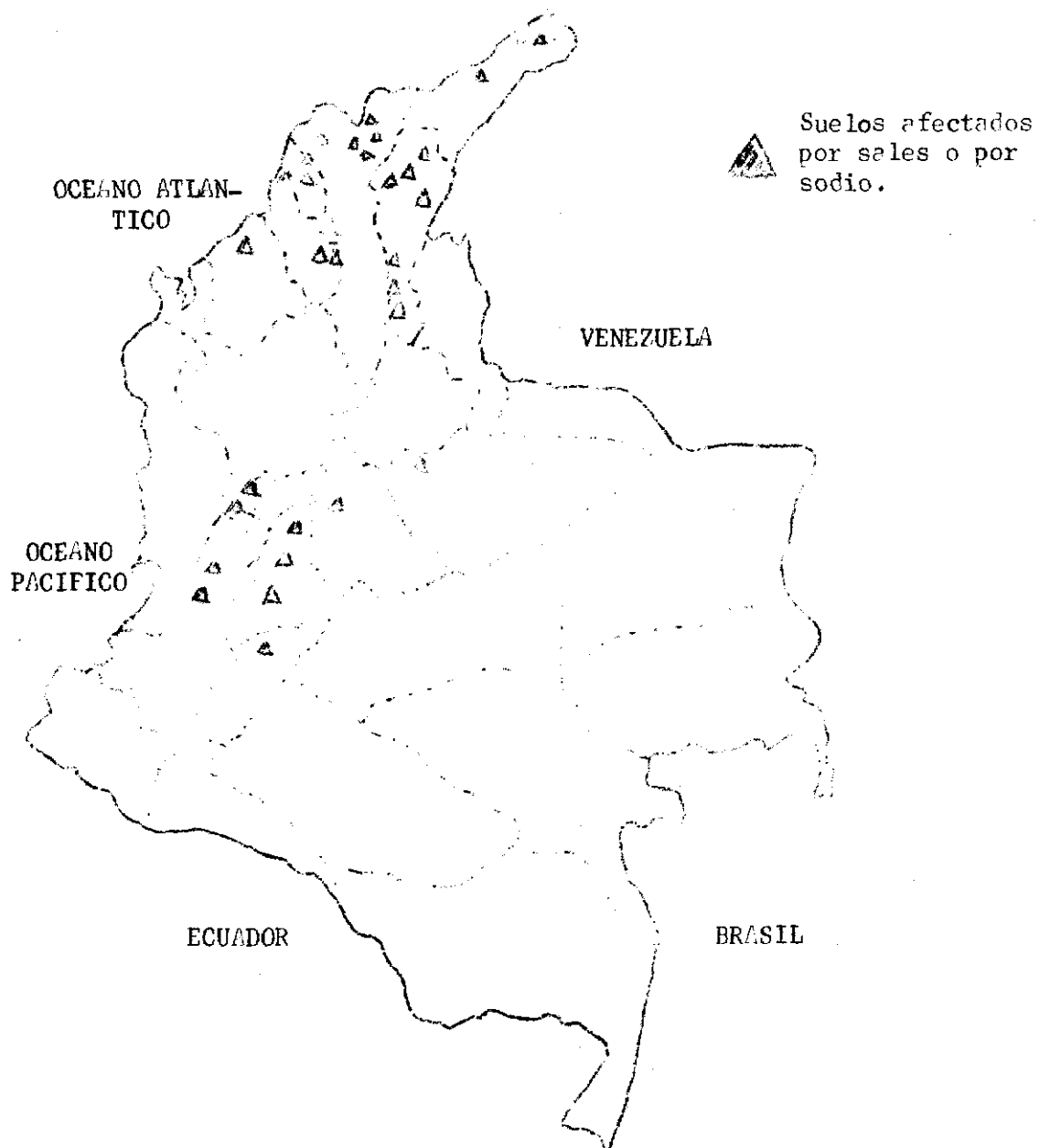


Figura 3.- Regiones de Colombia cuyos suelos pueden estar afectados por sales o por sodio.  
Fuente: Instituto Geográfico "Agustín Codazzi".

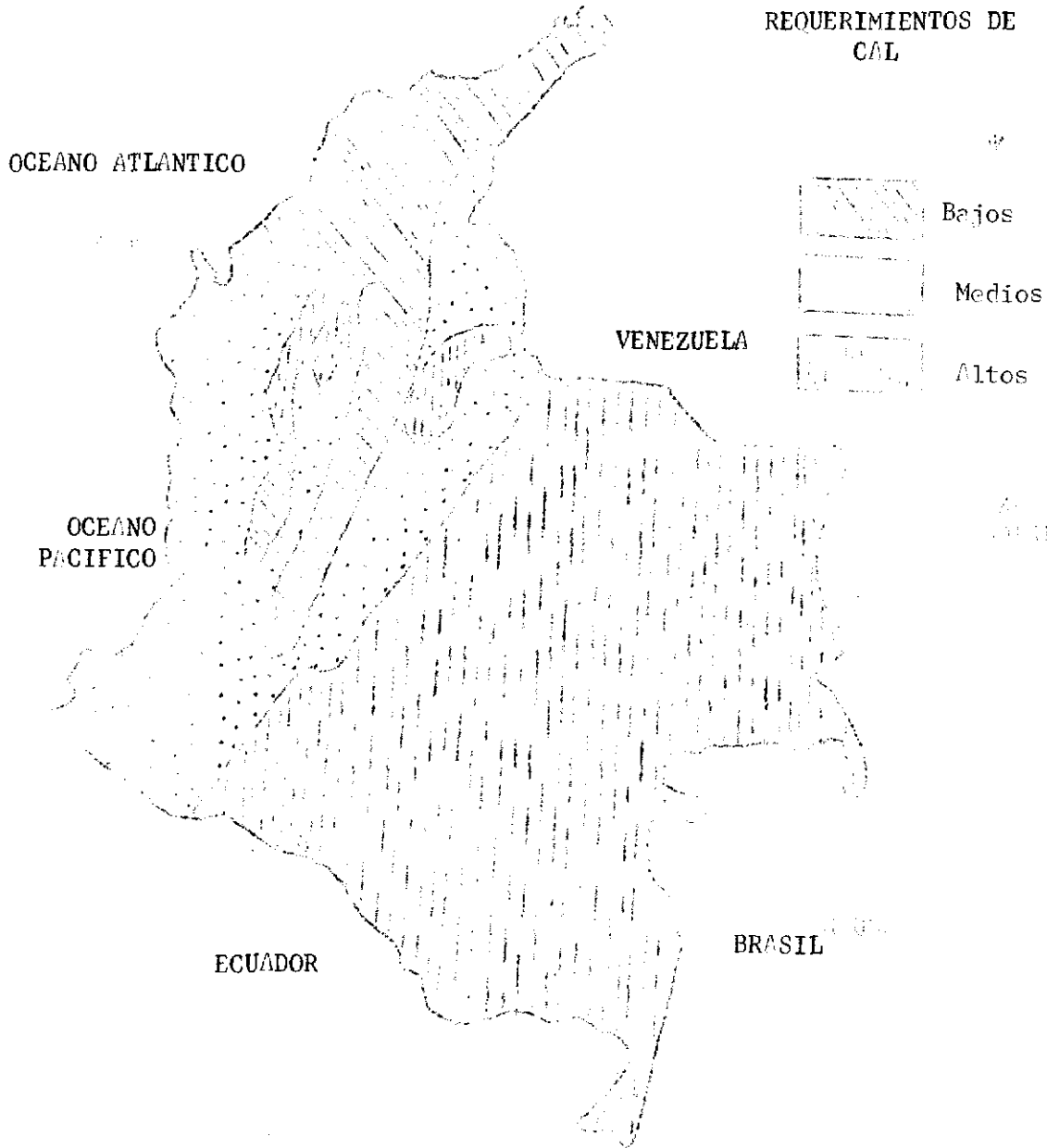


Figura 4.- Localización geográfica de las regiones naturales con requerimientos de cal Bajos, Medios y Altos.

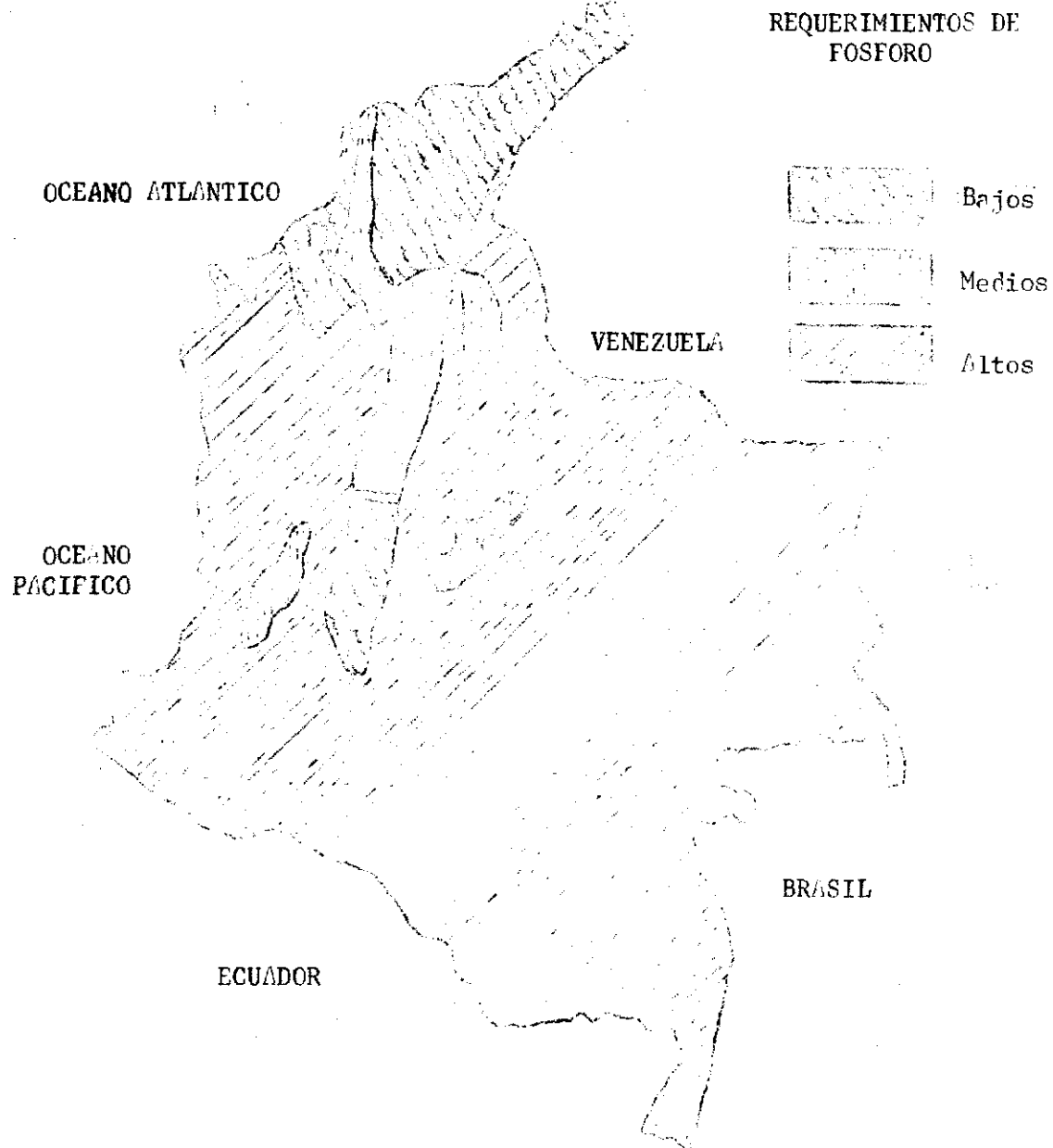


Figura 5.- Localización geográfica de las regiones naturales con Requerimientos de Fósforo, Bajos, Medios y Altos.

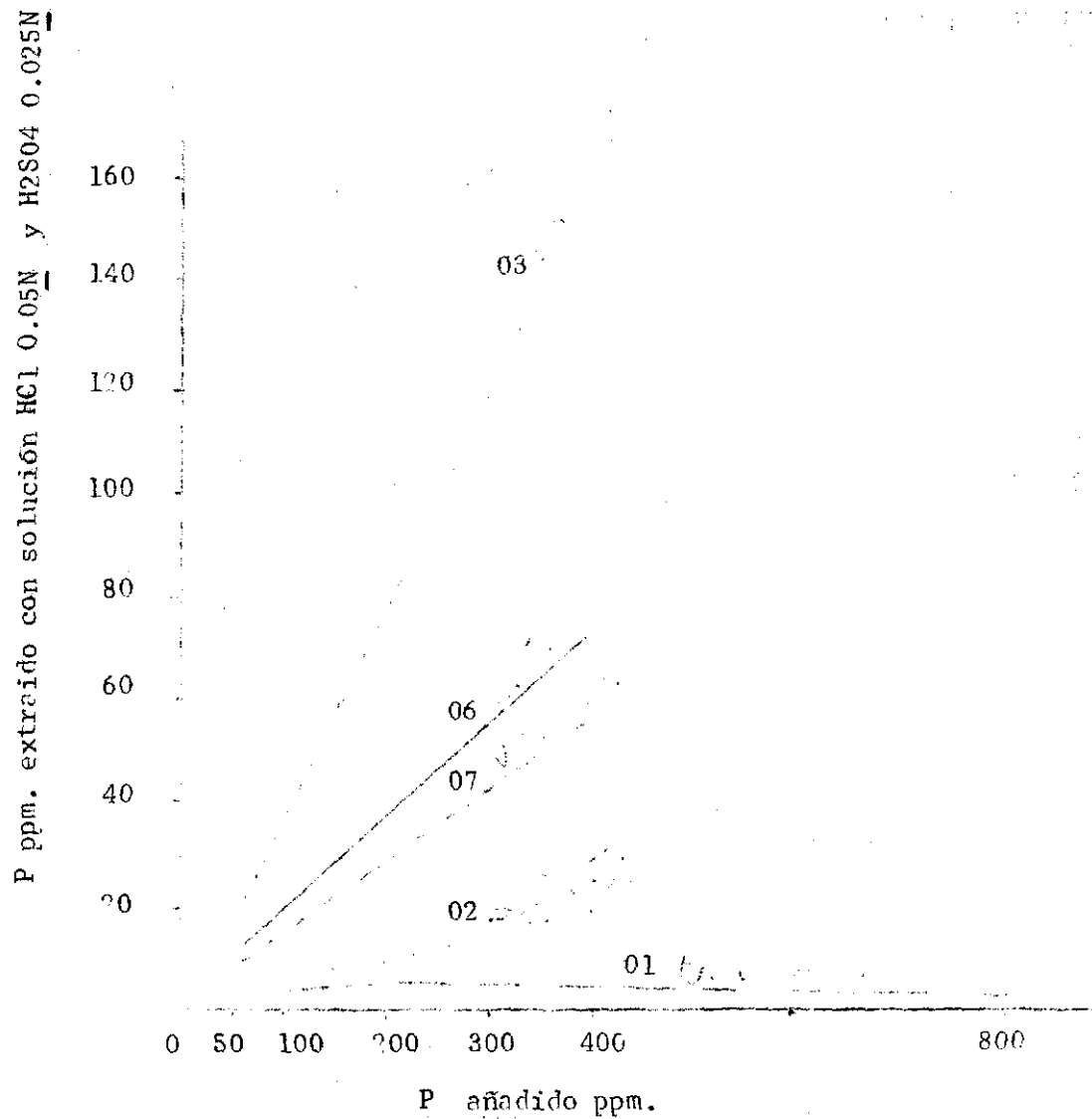


Figura 6.- Fijación de fósforo por suelos pertenecientes a cinco Regiones Naturales de Colombia.

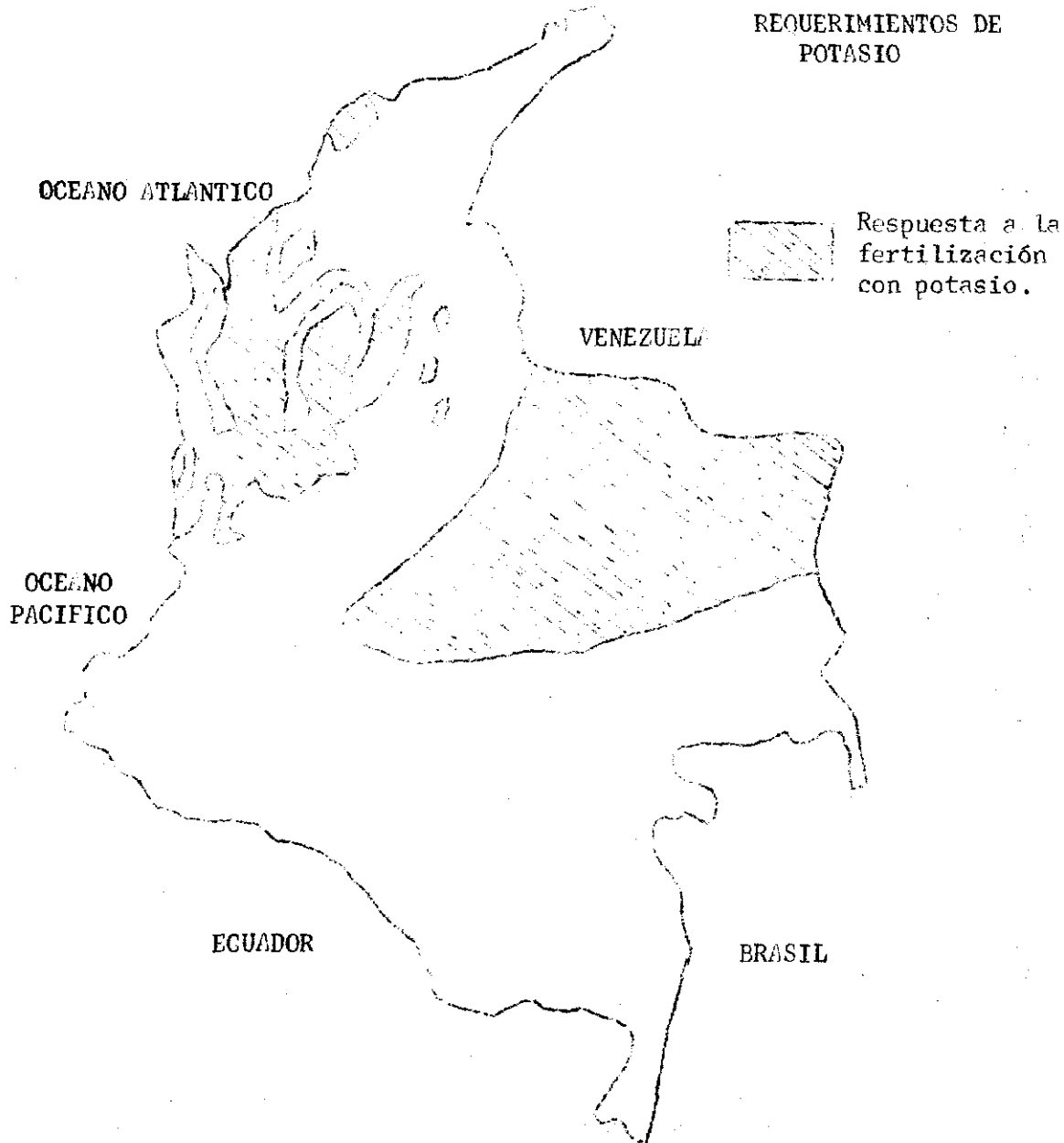


Figura 7.- Areas de las Regiones Naturales de Colombia donde se han obtenido respuestas de los cultivos a la fertilización con potasio.