

## ESTUDIO DE LA SALINIDAD DE ALGUNOS SUELOS EN EL VALLE DEL CAUCA(\*)

Por Alberto Frye Casas y Elías Ruiz Beltrán

### I.— INTRODUCCION

Uno de los problemas graves que se pueden presentar en los suelos es la acumulación de sales solubles, un exceso de sodio intercambiable, o ambas cosas, limitando o eliminando la producción vegetal.

La determinación cualitativa y cuantitativa de los cationes y aniones presentes en ellos es fundamental para conocer la clase y cantidad de sales y así obtener, dentro del margen económico más favorable, los mejores resultados en su habilitación.

La acumulación de sales en el suelo es una amenaza continua a la producción vegetal en muchas de las tierras irrigadas. En las regiones afectadas por tal problema suceden cambios económicos y sociales decadentes como consecuencia del abandono de las tierras, del fracaso moral y material de los individuos y de la baja producción de los suelos que tienen grados menores de salinidad.

Se han efectuado numerosos trabajos sobre este asunto en Rusia, Hungría, Holanda, Alemania, la India, Egipto, España, Canadá, Estados Unidos, México y otros países en donde las condiciones naturales y la mala irrigación han contribuido a la formación y desarrollo de los suelos afectados por sales. En Colombia se ha comprobado su existencia en algunas áreas de los departamentos del Tolima, Atlántico, Magdalena, Valle del Cauca y en la Intendencia de la Guajira.

Este estudio tuvo como objetivo principal determinar las características químicas de los suelos comprendidos en una zona que aparentemente presentaba los signos de estar afectada por sales, y dar una información sobre el grado y tipo de salinidad predominantes en ella. Además, se presentan las descripciones de los perfiles del suelo y el análisis químico de salinidad de los mismos. Las normas que se siguieron, tanto para los estudios en el campo como para los

---

(\*) Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de Ingeniero Agrónomo bajo la presidente del Dr. Adel González M., a quien los autores expresan su gratitud.

análisis de laboratorio, fueron en su mayoría las establecidas por el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos. (41).

Los suelos estudiados abarcan una extensión de 2.500 Has. aproximadamente, localizadas en la margen derecha del río Cauca y limitadas por el Norte con la carretera de Obando, por el Sur con el río Palmira, por el Este con la carretera de Palma Seca y por el Oeste con el zanjón Guachal.

Los análisis químicos se hicieron en los Laboratorios de la Facultad de Agronomía de Palmira; los estudios preliminares y los mapas, en la Sección de Suelos de la Corporación Autónoma Regional del Cauca, (C. V. C.), en Cali. La tecnología empleada es la aprobada recientemente por el Comité de Nomenclatura y reportada por Bower et al. (4)

## II.— REVISION DE LITERATURA

En la literatura científica universal abundan los trabajos sobre suelos afectados por sales; se puede afirmar que desde el siglo pasado se han venido efectuando numerosas investigaciones para conocer su génesis, características químicas y físicas, efectos sobre la vegetación y métodos de corrección.

### A.— Nomenclatura

La tecnología empleada en la denominación de estos suelos es bastante compleja y ambigua en muchos casos. Kelley (19), define y analiza las terminologías establecidas por Gedroiz, Hilgard, De' Sigmond y por el Laboratorio de salinidad de los Estados Unidos. El mismo autor emplea el término "suelo alcali" para designar aquél que contiene un exceso de sales solubles, un porcentaje anormal de sodio intercambiable o ambas cosas.

El Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (41), define y aplica a estos suelos los términos: Salino, Alcali, Salino-alcali, según sus valores de pH, conductividad eléctrica y porcentaje de saturación de sodio intercambiable.

Las expresiones "suelo de álcali negro" utilizada por Hilgards y "solonetz" de los científicos rusos, corresponden a la de suelo Alcali; asimismo "suelos de álcali blanco" y "solonchak" corresponden a la de suelo Salino; también el término Solod empleado por Gedroiz corresponde al de álcali degradado referido por De'Sigmond (Kelley, 12; Instituto Geográfico, 17).

De acuerdo con el Soil Survey Manual (37), el término "suelo alcalino" debe referirse a cualquier suelo con un pH mayor que 7.0; "suelo calcáreo", a aquél que reaccione al ácido clorhídrico y cuyo pH rara vez sea mayor de 8.5.

El Instituto geográfico (17), aunque adopta la clasificación del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, propone la denomi-

nación de suelos salados, como un término general para los suelos afectados por cualquier clase de salinidad y suelo alcalinizado para aquél que tiene un porcentaje de sodio intercambiable de 15 o más y cuya conductividad eléctrica es menor de 4 mmhos. por cm. a 25°C.

Bower et al. (4), reportan los términos que aprobó y recomendó emplear el Comité de Nomenclatura, los cuales se aplicarán en el presente estudio; así:

**Suelo sódico:** aquél en que el porcentaje de saturación de sodio intercambiable es de 15 o más, la conductividad eléctrica del extracto de saturación es menor de 4 mmhos. por cm. de 25°C. y el pH del suelo saturado generalmente mayor de 8.5.

**Suelo salino:** aquél cuyo porcentaje de saturación de sodio intercambiable es menor de 15, la conductividad eléctrica del extracto de saturación es de 4 o más mmhos. por cm. a 25°C. y el pH del suelo generalmente menor de 8.5.

**Suelo salino-sódico:** aquél en que el porcentaje de saturación de sodio intercambiable es de 15 o más, la conductividad eléctrica del extracto de saturación es de 4 o más mmhos. por cm. a 25°C. y el pH del suelo saturado generalmente menor de 8.5.

**Suelo afectado por sales:** término que se debe emplear en una forma general y que incluye al suelo que tiene un exceso de sales solubles o de sodio intercambiable, o ambas cosas.

## B.— Génesis.

Muchos investigadores afirman que los suelos afectados por sales se presentan en donde el clima es árido o semiárido; en ellos, la poca precipitación y lixiviación, la alta rata de evaporación y de transpiración de las plantas, provocan una concentración de sales en la superficie del suelo (Hayward y Wadleigh, 13; Kelley, 19; Lozano, 21; Storie, 39; Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41).

Las sales originadas por el material parental durante los procesos de meteorización, son llevadas en solución por las aguas superficiales y freáticas; éstas pueden ascender hasta la superficie del suelo cuando el nivel llega a 1.80 mts. de ella. Su concentración depende de los suelos y materiales geológicos con los cuales tienen contacto, (Lozano, 21). La acumulación de sales pocas veces se presenta en el mismo lugar en donde se forman; el agua subterránea las conduce a las partes bajas y planas, en donde al subir el nivel freático y haber evaporación, se concentran en las capas superficiales (Kelley, 19).

El riego con aguas de un alto contenido en sales, sin drenajes apropiados, es otro de los agentes causantes de su acumulación en el suelo, (Hayward, 12; Hayward y Wadleigh, 13; Laboratorio de Sali-

nidad de los Estados Unidos, 41). Tales aguas pueden depositar entre 0.5 a 15 tons. de sales por Ha., cuando se aplica en cantidades equivalente a 30 cms.; si los suelos presentan una capa endurecida, impiden el lavado y la infiltración profunda del agua que lleva sales, favoreciendo entonces la formación de suelos salinos (Instituto Geográfico, 17).

De'Sigmond, citado por Kelley (19), considera que los procesos evolutivos de los suelos afectados por sales son: salinización, alcalinización, desalinización, degradación y regradación.

Los suelos salino-sódicos se forman por la combinación de los procesos de salinización y alcalinización. (Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41). En un predio afectado por sales se puede encontrar una mezcla de suelos salinos, sódicos y sódico degradados; los primeros, en las partes más bajas, los últimos en las más altas y los segundos en alturas intermedias. La diferencia de nivel pueden ser tan pequeñas como 30 o 60 cms. (Russell, 35).

Ramírez (30), al hablar sobre la formación de los suelos afectados por sales en el Valle del río Cauca, opina que las sales originadas por la descomposición de las rocas básicas de la cordillera Central, son llevadas en solución por las aguas tributarias del río Cauca y depositadas en las partes bajas; aquí se acumulan, además, por las inundaciones periódicas, por el nivel freático siempre alto y por la evaporación.

### C.— Características físicas.

Las características físicas de los suelos afectados por sales difieren ampliamente según que predominen las sales solubles o el porcentaje de saturación de sodio cambiabile. No sólo la alta concentración de sodio y el alto pH de los suelos sódicos causan daño a las plantas, sino también sus malas propiedades físicas (Joffre y Zimmerman, 18). Los suelos salinos presentan generalmente una estructura favorable y son fácilmente permeable al agua y al aire (Soil Survey Manual, 37).

Los suelos saturados con calcio y magnesio, generalmente están floculados y tienen una estructura granular buena. Por otra parte, los suelos sódicos desarrollan un subsuelo pesado e impermeable con una estructura columnar o prismática característica, sobre la cual hay una acumulación de materia orgánica dispersa y disuelta; el magnesio tiene un efecto similar al del sodio en la formación del perfil (Hayward, 12; Christiansen, 8; Martínez, 23; Kelley, 19; Russell, 35; Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41).

Magistad (22), afirma que hay la tendencia a desarrollarse una capa lixiviada de colores blanquecinos, sobre un horizonte pesado y plástico de estructura característica que él denomina álcali-clay-pan.

Los suelos sódicos ricos en potasio intercambiable presentan mejores propiedades físicas y se pueden habilitar más rápidamente. Así mismo, los carbonatos alcalino-térreos mejoran la textura del suelo

si se presentan en partículas finas del tamaño del limo, pero impiden el movimiento del agua y el desarrollo radicular si están actuando como agentes cementantes en capas endurecidas, (Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41). Esto último fué comprobado por Fitts et al (10), quienes encontraron que la mezcla de arena, carbonato de calcio y arcilla dispersa formaban una masa dura e impenetrable.

Las áreas salinas, especialmente, se presentan en manchas blanquecinas de poca o de gran extensión (llamadas comunmente calvas, parches salinos o calicheros), en las cuales no existe vegetación, o si la hay, está constituida por plantas tolerantes a la salinidad (Fitts et al. 10); Instituto Geográfico, 17; Ramírez, 30; Soil Survey Manual, 37; Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41).

En el departamento del Magdalena y en la intendencia de la Guajira los parches salinos o calvas se presentan en eflorescencias blancas durante el verano y en el invierno están sin vegetación, o si existe alguna, ésta es raquítica. En el departamento del Tolima, los parches de algunos suelos salinos que habían sido cultivados con arroz, aumentaron de tamaño después de la primera cosecha (Instituto de Fomento Algodonero, 15 y 16 Fortoul, 11).

En épocas de invierno, o cuando se riega, las costras salinas se hinchan de tal manera que los cuerpos pesados que pasan por ellas se hunden (Instituto Geográfico, 17).

#### D.— Características Químicas.

Los cationes y aniones más frecuentemente en los suelos afectados por sales son: sodio, calcio, magnesio, cloruros y sulfatos; en menor cantidad potasio, carbonatos, bicarbonatos. En los suelos salinos predominan los cloruros y sulfatos, que se encuentran formando sales de calcio magnesio y sodio, pudiendo haber nitratos o pequeñas cantidades de bicarbonatos; los carbonatos solubles están ausentes. Por su parte, en los suelos sódicos los aniones que predominan son los cloruros, sulfatos bicarbonatos formando sales de sodio; los carbonatos pueden encontrarse pero en pequeñas cantidades. En los suelos sódicos el catión más dominante es el sodio pero se pueden encontrar también apreciables cantidades de potasio intercambiable y solubles (Hayward, 12; Laboratorio de salinidad de los Estados Unidos, 41; Instituto Geográfico, 17; Christiansen, 8; Storie, 39).

Christiansen (8), afirma que es difícil trazar una línea precisa para diferenciar los suelos salinos de los suelos sódicos.

El hecho de que en un suelo afectado por sales se encuentre o nó un elemento, o que éste aparezca en mayor cantidad en un suelo que en otro, es de gran importancia para fines de su habilitación. Por ejemplo, la presencia de apreciables cantidades de sulfato de calcio (yeso) en los suelos sódicos permite una corrección más rápida; cuando tales suelos contienen buenas cantidades de carbonatos alcalino-térreos, estos constituyen una fuente de calcio y magnesio solubles

que pueden reemplazar el ión sodio, (Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41). Si las cantidades de sodio intercambiable y de sulfato de calcio son más o menos iguales, se puede asumir que hay suficiente calcio activo para el intercambio de bases (Instituto Geográfico de Colombia, 17).

En lo que se refiere a la concentración de las sales se sabe que varía mucho de un suelo a otro. Ya Anderson (1), estudiando suelos salinos y sódicos, encontró que la concentración de cationes solubles e intercambiables difieren no sólo entre las series, sino dentro de una misma serie. Por tanto no debe esperarse que los resultados del análisis de muestras obtenidas en un mismo campo sean iguales, aunque se siga el mismo método (Kelley, 19).

Los investigadores del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (41), también manifiestan que la concentración de sales en los suelos de un predio puede variar ampliamente tanto horizontal como verticalmente y con el tiempo. Las manchas salinas por ejemplo, son más altas en sodio y potasio intercambiables, que los suelos adyacentes a ellas; además tienen un pH mayor y más carbonatos (Fitts et al. 10).

Los investigadores del Soil Survey Manual (37), afirman que el contenido de sales puede fluctuar con las estaciones climáticas o con el manejo del riego; pueden concentrarse en la superficie, en el subsuelo o también pueden estar distribuidas más o menos uniformemente a través del perfil.

La concentración de sales en un suelo debe relacionarse con los efectos que pueden causar a la planta. A continuación se considerarán algunos criterios al respecto: muchos investigadores han estudiado la relación entre la concentración de algunas sales y varias plantas: Magistad (22), dice que un contenido de sales de 0.2% puede afectar el crecimiento de la planta. Storie (39) anota que si prevalecen los carbonatos de sodio (álcali-negro), el límite al cual las plantas comienzan a afectarse baja a 0.1%. Los suelos que tienen un porcentaje mayor que 0.2, son considerados como salinos (Christiansen, 8).

Otros investigadores consideran que las plantas sensibles principian a afectarse cuando el contenido de sales excede de 0.1% (Kearney and Scoffield, citados por Lozano, 21). La mayoría de las plantas no pueden aprovechar el calcio cuando el porcentaje de sodio intercambiable se acerca a 50. Los sulfatos en altas concentraciones limitan definitivamente la actividad del calcio (Bower y Turk, 2; Hayward y Wadleigh, 13).

Los efectos perjudiciales de las sales dependen no sólo de la cantidad existente en el suelo sino también de la posición dentro del perfil, de su composición química, de la textura del suelo y de la humedad existente, (Storie, 39).

El pH es otro factor importante en los suelos afectados por salinidad. Existe cierta relación entre este valor y algunas propiedades

químicas, relación que no es perfectamente constante. Valores de pH entre 7,6 y 7,9 pueden presentarse en suelos con 6% o menos de carbonato de calcio y con un porcentaje de sodio y de potasio intercambiables de 15 a 35. Las manchas salinas que pueden tener al rededor de 5 a 45% de  $\text{CaCO}_3$  y más de 50% de saturación de sodio y potasio intercambiables, presentan valores de pH entre 9.3 y 9.7 (Fitts et al, 10).

Un pH de 8,5 o más indica un porcentaje de sodio intercambiable de 15 o mayor y la presencia de carbonatos alcalino-térreos; a valores menores, este porcentaje puede o no exceder a 15 (Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos; 41).

Puffeles (29), afirma que el pH baja al adicionar sales neutras, con mayor intensidad y más notoriamente en los suelos pesados en donde predominan los iones manovalentes. El pH, las sales solubles, las bases de cambio y los carbonatos de calcio aumentan a medida que disminuye la distancia al río Cauca, en los suelos del Valle del Cauca (Ramírez, 31; Posada, 28).

Posada (28), constató en los suelos del ingenio Tumaco, la presencia de un alto contenido de carbonatos y sulfatos; también cloruros pero en poca cantidad. Encontró que el calcio llegaba a 100 ppm. y que el contenido sodio era perjudicial.

Los suelos de la terraza inferior del Valle del Cauca tienden a estar afectados por sales y el magnesio parece estar en cantidades considerables (Willits y Posada, 42).

Los valores obtenidos para iones solubles están muy influenciados por la humedad a que se hace la extracción. Reitemeier (34) y Kelley (19), encontraron que la cantidad de iones sodio, potasio, calcio, magnesio, carbonatos, bicarbonatos, fosfatos y sulfatos aumentan generalmente con la relación agua-suelo empleada; los cloruros y los nitratos no aumentan con tal relación. Un suelo a capacidad de campo o en el punto de marchitamiento, tiene una concentración de sales que equivale a dos y cuatro veces más que la determinada en el extracto en el punto de saturación (Ramírez, 30).

Bower et al. (3), dice que en la determinación de iones solubles, la humedad más práctica y recomendable para obtener extractos es la del porcentaje de saturación. No debe emplearse más de una parte de agua por una de suelo.

En los suelos afectados por sales no rigen perfectamente las relaciones entre los elementos: según Joffre y Zimmerman (18), en los suelos sódicos no hay una relación balanceada entre los cationes de cambio; así, la relación Ca: Mg, en el complejo de cambio es baja. Si el sodio se presenta en alta concentración, la razón de calcio a magnesio debe ser amplia para que ocurran efectos perjudiciales.

La cantidad de sodio y potasio solubles que pasa a formas intercambiables varía considerablemente. Los iones sodio son absorbidos

en mayor proporción que los otros iones, liberando los de calcio y magnesio (Instituto Geográfico, 17).

Bower et al. (3), aconsejan emplear acetato de sodio para determinar la capacidad de cambio, en esta forma el calcio y el magnesio intercambiables son removidos en mayor cantidad y la reducción en los valores de la capacidad de cambio es menor. La presencia de calcio y de magnesio en forma de carbonatos interfiere en la determinación de la capacidad de cambio, por esta razón los mismos autores convienen en que deben eliminarse los valores obtenidos para calcio y magnesio intercambiables, si la suma de los cationes excede el valor de la capacidad de cambio.

Kelley (19), dice que la determinación cuantitativa de bases intercambiables en los suelos de climas áridos, sólo es aproximada y generalmente exceden el valor de la capacidad de cambio. Por otra parte, la conductividad eléctrica está estrechamente relacionada con el total de sólidos extractables, pudiéndose determinar éstos por la resistencia eléctrica de una pasta de suelo (Merkle, y Dunkle, 27; Soil Survey Manual, 37). Cuando la conductividad eléctrica es de 2 mmhos. por cm. a 25°C. Las plantas más sensibles empiezan a perjudicarse (Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41). Markle y Dunkle, (27), dicen que esta conductividad eléctrica es el valor más alto aceptable para la germinación de varias plantas.

#### **E.— Relación entre las plantas y la salinidad.**

Las plantas que crecen en los suelos afectados por sales presentan anomalías internas y externas. Cuando el estado de salinidad del suelo no es muy grave, la vegetación presenta poco e irregular desarrollo, toma un color azul verdoso y la superficie de las hojas se cubre con una sustancia cerosa. En estados más tóxicos, las plantas presentan necrosis en las márgenes de las hojas y a veces enrollamientos y apariencia de falta de agua (Hayward y Wadleigh, 13; Ramírez, 30; Russell, 35). Las especies vegetales difieren en la cantidad de iones que pueden acumular sin efectos tóxicos (Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41).

El crecimiento de las plantas en los suelos salinos puede afectarse por dos razones: primera, debido al aumento de la presión osmótica de la solución del suelo lo que trae como consecuencia inmediata la disminución en la aprovechabilidad del agua; segunda, por la acumulación tóxica de varios iones en la planta. En los suelos sódicos los efectos perjudiciales se deben a tres causas: reducción en la aprovechabilidad del calcio y del magnesio, actividad tóxica del ion hidroxilo y las malas condiciones físicas del suelo, ocasionadas por la acumulación de sodio intercambiable (Hayward y Wadleigh, 13).

Estos mismos investigadores concuerdan con Bower y Turk (2), en decir que la muerte de las plantas en suelos con alto contenido de sodio intercambiable, podría deberse a la destrucción del régimen del calcio. El sodio intercambiable en un porcentaje mayor de 40 o 50, remueve el calcio de los tejidos radicales de la planta y ésta puede morir (Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41).

El efecto de la salinidad varía de una planta a otra, pero en general son más sensibles durante el período de la germinación (Russell, 35). Ramírez (30), insinúa que para evitar la quemazón de las semillas del algodón y de alfalfa en los parches salinos daría buenos resultados hacer uso del transplante.

Como ejemplo de la susceptibilidad de las plantas a la salinidad, en seguida se hace referencia al comportamiento de algunas de ellas; en el departamento del Tolima, se encontraron algunas plantas resistentes a distintos grados de salinidad; en su orden son: yerba de vidrio, adormidera, cactus, pelá, mosquero, escobadura y chilinchil (Instituto Geográfico, 17).

En el Valle del Cauca, el pasto Argentina (*Cynodon dactylon*) y otras plantas no identificadas, crecen bien en suelos salinos pero en los sódicos nó.

Fortoul (11), relata que en unos suelos del Tolima, el arroz no crece en los parches salinos, o se desarrolla muy poco y los granos que produce son vanos.

Ramos (32), analizando un estudio hecho por Arrhenius, concluye que la concentración de 0.06% de cloruro de sodio, puede tomarse como límite aproximado no perjudicial para las variedades de caña medianamente sensibles a la salinidad. El algodón sin embargo ha dado rendimientos satisfactorios, en suelos que contienen al rededor del 30% de sodio intercambiable, pero mediante prácticas culturales especiales (Martínez, 23). El frijol es, en cambio, muy sensible al sodio mientras que el pasto Rhodes y la remolacha de huerta toleran hasta un 75% de sodio intercambiable (Bower y Wadleigh, citados por Hayward y Wadleigh, 13).

Magistad y Reitemeier, citados por Russell (35), comprobaron que en una solución de 4.4 atmósferas, el algodón y la remolacha azucarera daban el 70% de los rendimientos alcanzados cuando se desarrollaban en una solución de 0.4 atmósferas.

Las pérdidas en los rendimientos por cosecha, en un predio de salinidad no muy notoria pueden llegar al 20% sin que sea apreciado por los agricultores (Russell, 35).

El sodio y el cloro pueden estimular la producción de ciertos cultivos, cuando están presentes en concentraciones bajas, (Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41).

Ciertos iones inhiben la toma de nutrimentos a las plantas, otros son absorbidos por éstas produciendo intoxicaciones y algunos favorecen la toma de un determinado ión inhibiendo la absorción de otro. A continuación se presentan algunos conceptos al respecto: Hayward y Wadleigh (13), afirman que el bajo nivel del CO<sub>2</sub> en los suelos alcalino-calcáreos es uno de los principales factores que influyen en la pérdida de la aprovechabilidad de los fosfatos. Los mismos autores afirman que los cloruros son más perjudiciales que las concentracio-

nes isosmóticas de sulfatos; cuando este anión predomina en el substrato, limita la absorción de calcio por las plantas y aumenta la de sodio y potasio.

Las altas concentraciones de magnesio en el suelo, son más tóxicas a las plantas que las concentraciones isosmóticas de otras sales neutras, y altas concentraciones de potasio en la solución del suelo pueden inducir deficiencias de magnesio y de hierro. Ambos efectos se aminoran en presencia de altas concentraciones de calcio (Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41). Un exceso de bicarbonatos puede ocasionar una pronunciada clorosis y poco desarrollo en el frijol (Gauch, citado por Hayward y Wadleigh, 13).

Lagerwerff (20), concluyó en sus experimentos que las plantas durante el proceso de desarrollo y toma de nutrientes, no hacen diferencia entre los iones absorbidos o los solubles y que los cationes absorbidos, no tienen un efecto directo sobre la composición de la solución del suelo que rodea el sistema radical de las plantas.

Harris, según Hayward y Wadleigh (13), halló que la toxicidad relativa a las sales solubles estaba en el siguiente orden (de más tóxica a menos tóxica):  $\text{NaCl}$ ,  $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  y  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ; especialmente en la germinación y desarrollo del embrión. El mismo autor afirma que la humedad, el clima y probablemente otros factores modifican la tolerancia relativa de los diferentes cultivos.

#### IV.— MATERIALES Y METODOS:

Previamente a la recolección de las muestras para el análisis de laboratorio, se hizo un reconocimiento general de toda el área con el fin de escoger los perfiles más típicos y representativos. Para la toma, conservación y secado de las muestras se procedió de acuerdo a las indicaciones del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (41).

Empleando un barreno de tipo holandés, se colectaron 82 muestras correspondientes a 22 perfiles cuya ubicación aparece en el mapa. A cada perfil se le asignó un número para facilitar su identificación.

La textura fue apreciada al tacto, y los colores en el suelo húmedo, comparados con los de la Tabla de Colores de Munsell (26). Las muestras se secaron al aire y se pasaron a través de un tamiz de 2 mms. A cada una de ellas se le hicieron las siguientes determinaciones:

##### A.— En el suelo.

**pH:** en la pasta de suelo saturado empleando un potenciómetro Beckman, modelo H2 con electrodos de vidrio.

**Conductividad eléctrica (C.E.):** en la pasta de suelo saturado empleando un puente de Wheatstone marca LN, procediendo de acuerdo con las indicaciones de Soil Survey Manual (37).

**Bases de cambio:** extracción con acetato de amonio normal y neutro y determinación de cada base así:

**Calcio ( $\text{Ca}^{++}$  I.), Sodio ( $\text{Na}^{+}$  I.) y potasio ( $\text{K}^{+}$  I.):** empleando un espectrofotómetro Beckman, modelo B, siguiendo la técnica que recomiendan Fitts et al. (10).

**Magnesio ( $\text{Mg}^{++}$  I.):** determinando la suma calcio más magnesio por titulación con versenato o sal disódica del ácido etileno-diamino-tetra-acético, conforme al procedimiento establecido por Cheng y Bray (7); y luego restándole el calcio, previamente determinado por el método espectrofotométrico, como lo recomienda Mazoyer (25).

**Hidrógeno ( $\text{H}^{+}$  I.):** por diferencia, restando de los miliequivalentes de amonio absorbidos, los miliequivalentes de las bases totales.

**Capacidad de intercambio de cationes (C.I.C.):** empleando acetato de amonio normal y neutro como solución extractora de las bases de cambio, y lixiviando luego el exceso de esta sal con alcohol etílico de 90%; en seguida se hizo una destilación con hidróxido de bario para desplazar el amonio absorbido. El destilado se recibió en una solución de cido bórico al 4%, y se tituló con ácido clorhídrico 0.1066 N, según el procedimiento de Peech, empleado en el laboratorio de química de la Facultad de Agronomía del Valle.

**Yeso:** por precipitación con acetona. El precipitado se disolvió en 40 ml. de agua destilada; a esta solución se le determinó la conductividad eléctrica en un Solu-briggs Tipo RD. La concentración de yeso se determinó con referencia a un gráfico que muestra la relación entre la conductividad eléctrica y las concentraciones de las soluciones de yeso, de acuerdo a las instrucciones del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (41).

**Carbonatos alcalinotérreos (Carb. alc.):** por neutralización con ácido clorhídrico y titulación con hidróxido de sodio, según el procedimiento del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (41).

## B. — En el extracto de suelo.

El extracto se obtuvo de una pasta de suelo preparada con agua destilada, conforme lo recomiendan el Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (41) y Hoagland et al. (14). La extracción se hizo con una bomba de vacío marca Cenco. Sobre este extracto se hicieron las siguientes determinaciones:

### 1. — Aniones solubles:

**Carbonatos y bicarbonatos  $\text{CO}_3 = \text{Sol.}$   $\text{HCO}_3 = \text{Sol.}$ ):** por titulación con ácido sulfúrico, empleando como indicador fenoftaleína para carbonatos y metil naranja para bicarbonatos, según el procedimiento de Reitemeier (33).

**Cloruro: CI — Sol.:** determinación volumétrica, sobre la misma muestra empleada en la determinación de carbonatos y bicarbonatos, usando como indicador cromato de potasio y titulando con nitrato de plata 0.005 N. Se siguió el procedimiento de Reitemeier (33).

**Sulfatos (SO<sub>4</sub> = Sol.):** determinación gravimétrica, por precipitación como sulfato de bario, siguiendo el procedimiento del Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos (41).

## 2.— Cationes solubles.

**Calcio (Ca ++ Sol.), sodio (Na + Sol.) Potasio (K + Sol.):** determinación espectrofotométrica con lo recomiendan Fitts et al. (10).

**Magnerio (Mg ++ Sol.):** siguiendo el mismo procedimiento empleado para determinar el Mg ++ I.

## C.— Determinaciones indirectas con base en cálculos.

**Porcentaje de sales: (P. Sal.)**— Existe una estrecha relación entre la cantidad de sales solubles y la conductividad eléctrica, (Merkle y Dunkle, 27). Se han elaborado tablas en las cuales se puede buscar el porcentaje de sales solubles conociendo el porcentaje de saturación de agua y la resistencia eléctrica de una pasta de suelo saturado (Soil Survey Manual, 37).

Se usaron estas tablas para la determinación del porcentaje de sales solubles que aparece en los análisis químicos de cada uno de los perfiles estudiados.

**Porcentaje de Saturación (P.S.):** se preparó una pasta de suelo hasta la saturación por el método ya indicado antes, (Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos, 41); después, se determinó el contenido de humedad expresándolo en porcentaje con base en el suelo seco a la estufa.

**Porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I.):** empleando la siguiente fórmula:

$$P.S.I. = \frac{Na + I. \times 100}{C. C.}$$

En donde: Na + I. = sodio intercambiable en m.e./100 gms.  
C. C. = Capacidad de cambio de cationes en m.e. por 100 gms., de suelo.

**Razón de absorción de sodio (R.A.S.):** empleando la siguiente fórmula:

$$R.A.S. = \frac{Na + Sol.}{Ca ++ Sol. + Mg ++ Sol.}$$

En donde:           Na + Sol. = sodio soluble en m.e./litro.  
                  Ca ++ Sol. = calcio soluble en m.e./litro.  
                  Mg ++ Sol. = magnesio soluble en m.e./litro.

#### IV. RESULTADOS

##### A.— **Apreciación General de los Suelos de la Zona Estudiada.**

El relieve de toda la zona es plano, con pendientes de 0 a 2%; cerca al río Cauca el terreno presenta unas depresiones o "basines" que generalmente permanecen inundadas.

El predio está surcado por algunas quebradas que van en dirección al río y por algunos viejos cauces que han dejado diques geológicos arenosos y cascajosos que rara vez afloran a la superficie.

Los suelos son pesados o medianamente pesados, con drenaje externo e interno en general imperfectos, presentándose con distinta estratificación pero sin que haya evidencia de un desarrollo completo de perfil.

Son frecuentes las capas de suelo de colores claros y de una textura que da la sensación de limo al tacto, muy friable y a veces con abundantes concreciones calcáreas de formas irregulares típicas; también, comunmente se presentan capas endurecidas cementadas por gran cantidad de carbonatos alcalino-terreos en las capas inferiores.

La reacción con el ácido es general y varía de ligera a fuerte o violenta sobre manchas y concreciones de carbonatos. La capa superior es poco profunda ya que tiene un espesor de 20 a 30 cms. y rara vez más de 35 cms.

El nivel freático parece que está alto, ya que en los pozos artesianos se encuentra agua a 2 metros de profundidad; todas las aguas subterráneas de esta zona son salobres.

En la región se presentan parches o calvas blanquecinas de tamaños variables en las cuales no hay vegetación, o si la hay, es muy poco desarrollada; en sus alrededores crecen plantas más o menos normales. (Véase figuras 4 y 5).

Prácticamente toda la zona está dedicada a la ganadería y la vegetación dominante la constituyen los pastos Pará (*Panicum purpurascens*), Argentina (*Cynodon dactylon*), común (*Paspalum notatum*) y algunas plantas no identificadas que crecen donde no lo pueden hacer los pastos; entre estos, el Argentina se muestra más resistente a la salinidad.

Estas tierras presentan un complejo de suelos salinos, sódicos, salino-sódicos y otros que se pueden considerar como normales.

La descripción de los perfiles del suelo, los resultados del aná-

lisis químico y su interpretación, se presentan individualmente y agrupados según la clase de salinidad.

## B. — Descripción de Perfiles, Análisis Químico y su Interpretación.

### 1. — Suelos Salino-sódicos.

#### Perfil número 4.

- 0— 20 cms. Franco, friable, cementación débil, (2.5Y 3/2) pardo gris muy oscuro, reacción fuerte con HCl; raíces abundantes.
- 20— 53 cms. Arenoso fino, muy friable, cementación débil, carbonato con apariencia de limo, (5Y 5/3) oliva, reacción fuerte con HCl; sin raíces.
- 53—120 cms. Arenoso medio, muy friable, cementación muy débil, (2.5Y 5/4) pardo oliva claro, reacción muy fuerte con el HCl.

Uso actual: pasto pará.

### — T A B L A I —

#### Análisis químico del perfil número 4

Item	Unidad	Profundidad en centímetros		
		0—20	20—53	53—120
P. S.	%	47.20	34.80	33.20
pH		7.90	8.40	8.50
C. E.	mmhos/cm.	9.80	8.10	5.60
P. Sal.	%	0.40	0.26	0.16
C. I. C.	m.e./100 gm.	16.81	7.59	7.01
Na+ I.	"	5.83	4.35	4.45
K+ I.	"	1.06	0.39	0.15
Ca++ I.	"	14.94	8.82	3.67
Mg++ I.	"	0.86	2.18	3.83
H+ I.	"	....	....	....
Na+ Sol.	m.e./lt.	91.90	78.30	41.10
K+ Sol.	"	2.01	0.65	0.15
Ca++ Sol.	"	5.24	1.35	0.20
Mg++ Sol.	"	48.87	38.69	29.82
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	3.40	2.50	2.50
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	141.07	101.95	74.81
Cl- Sol.	"	2.45	4.45	2.25
Yeso	"	0.88	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	4.18	3.98	4.78
P. S. I.	%	34.86	57.31	63.48
R. A. S.		17.67	17.51	10.62

Según el análisis químico, que aparece en la Tabla I, es un suelo salino-sódico con reacción alcalina a través de todo el perfil; la mayor acumulación de sales solubles se encuentra en los primeros 20 cms., la cual va decreciendo con la profundidad; el porcentaje de sodio intercambiable aumenta a medida que se profundiza en el suelo.

El nivel de potasio es notablemente alto en la primera capa y el calcio está en cantidades relativamente altas en todo el perfil. Los iones solubles predominantes son el sodio, el magnesio y los sulfatos, cuyos valores van disminuyendo en las capas inferiores.

#### Perfil número 6.

- 0— 20 cms. Franco arcilloso, friable, cementación débil; (10YR 3/1) gris muy oscuro, respuesta al HCl fuerte; raíces comunes.
- 20— 45 cms. Arcilloso, consistencia firme, cementación fuerte; (5Y 3/1) gris muy oscuro con manchas blancas (5Y 8/1) comunes y medianas; respuesta al HCl fuerte; sin raíces.
- 45— 75 cms. Arcilloso, consistencia firme, cementación fuerte; (5Y 5/2) gris oliva con manchas blanca (5Y 8/1) muchas, medianas; reacción muy fuerte con el HCl.
- 75—120 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 5/2) gris oliva con manchas pardo oscuras (7. 5YR 3/2) abundantes, medianas y difusas; reacción muy fuerte con el HCl, especialmente sobre concreciones calcáreas.

Uso actual: pastos Pará y Argentina.

Según el análisis químico, que aparece en la Tabla II, es un suelo salino-sódico con reacción fuertemente alcalina en todo el perfil; la mayor concentración de sales se encuentra de 20 a 75 cms. de profundidad y el porcentaje de sodio intercambiable va aumentando en las capas inferiores.

El nivel de potasio es alto y la relación Ca: Mg es anormal; los iones solubles que se encuentran en mayor cantidad son el sodio, el magnesio, los sulfatos y los bicarbonatos.

#### Perfil número 7.

- 0— 20 cms. Arcilloso, firme, cementación débil; (10YR 5/2) pardo grisáceo; reacción débil con el HCl; sin raíces;
- 20— 40 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 3/2) gris oliva oscuro con manchas pardo amarillentas (10YR 5/4) pocas y pequeñas; reacción fuerte con el HCl.
- 40— 65 cms. Franco arcilloso, firme, cementación fuerte (5Y 5/3) oliva con manchas pardo amarillentas (10YR 5/4) pocas, y, manchas blancas (5Y 8/1) muchas y medianas;

## — T A B L A II —

## Análisis químico del perfil número 6

Item	Unidad	Profundidad en centímetros				
		0—20	30—45	45—75	75—120	
P. S.	%	60.70	74.70	84.30	75.60	
pH		8.40	8.60	9.00	9.10	
C. E.	mmhos/cm.	4.00	7.20	6.30	4.00	
P. Sal.	%	0.20	0.43	0.41	0.23	
C. I. C.	m.e./100 gm.	44.55	40.72	34.11	26.52	
Na+	I.	"	7.46	9.77	10.32	9.82
K+	I.	"	0.57	0.37	0.52	0.29
Ca++	I.	"	20.14	13.36	7.65	6.59
Mg++	I.	"	19.46	17.94	28.45	16.93
H+	I.	"	....	....	....	....
Na+	Sol.	m.e./lt.	25.70	43.70	48.50	39.40
K+	Sol.	"	0.05	0.06	0.06	0.12
Ca++	Sol.	"	0.63	0.70	0.04	....
Mg++	Sol.	"	7.87	11.34	6.97	4.32
Co <sub>3</sub> =	Sol.	"	....	....	....	....
HCO <sub>3</sub> -	Sol.	"	4.00	5.40	5.70	8.70
SO <sub>4</sub> =	Sol.	"	32.84	63.40	57.11	36.84
Cl-	Sol.	"	1.05	2.30	1.60	3.69
Yeso	"	"	....	....	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente		12.02	12.02	15.82	8.94
P. S. I.	%		16.74	23.99	30.25	37.03
R. A. S.			12.47	17.83	25.93	26.93

reacción fuerte con el HCl.

65—120 cms. Arcilloso arenoso, friable, cementación débil: (5Y 5/3) oliva con manchas pardo amarillentas (10YR 5/4) y manchas negras (N<sub>2</sub>) comunes y medianas; respuesta al HCl muy fuerte sobre concreciones de carbonatos.

Uso actual: no hay vegetación; está localizado sobre una "calva" o "parche salino".

El análisis químico de este perfil se presenta en la Tabla III. Todo el perfil es salino-sódico y con reacción fuertemente alcalina; el mayor porcentaje de sales y de sodio está de 20 a 40 cms. y, el P.S.I. es excesivo, especialmente de 20 a 65 cms.

Los iones solubles predominantes son el sodio, el magnesio y los sulfatos.

Perfil número 8.

0—25 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (10YR 3/1) gris oscuro con manchas blancas (10YR 8/2) en forma de

## — T A B L A III —

## Análisis químico del perfil número 7

Item	Unidad	Profundidad en centímetros				
		0—20	20—40	40—65	65—120	
P. S.	%	85.20	103.50	115.20	69.30	
pH		8.40	8.50	9.00	9.00	
C. E.	mmhos/cm.	7.60	7.60	6.40	4.50	
P. Sal.	%	0.53	0.61	0.48	0.25	
C. I. C.	m.e./100 gm.	23.25	26.42	24.02	9.99	
Na+	I.	"	7.29	16.77	14.94	5.61
K+	I.	"	0.60	0.86	0.69	0.20
Ca++	I.	"	7.90	5.42	8.68	5.74
Mg++	I.	"	8.43	9.78	9.42	9.66
H+	I.	"	.....	.....	.....	.....
Na+	Sol.	m.e./lt.	74.60	66.40	52.00	25.90
K+	Sol.	"	0.18	0.12	0.08	0.04
Ca++	Sol.	"	0.57	0.20	0.14	0.08
Mg++	Sol.	"	16.11	11.81	7.86	5.92
Co <sub>3</sub> =	Sol.	"	.....	.....	.....	.....
HCO <sub>3</sub> -	Sol.	"	5.10	2.80	2.80	2.70
SO <sub>4</sub> =	Sol.	"	77.03	81.99	65.31	26.56
Cl-	Sol.	"	0.58	0.80	0.55	0.90
Yeso	"	"	.....	.....	.....	.....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente		1.86	2.71	3.55	3.55
P. S. I.	%		31.35	63.47	62.20	56.16
R. A. S.			25.90	27.21	26.00	14.97

bandas, comunes y medianas; reacción moderadamente fuerte con el HCl; raíces abundantes.

- 25— 45 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 4/1) gris oliva con manchas oliva amarillentas (5Y 6/8), dando la apariencia de variegado. Respuesta débil al HCl; raíces comunes.
- 45— 75 cms. Características semejantes a la capa anterior pero las manchas son más abundantes y hay menos contraste con el color matiz. Sin raíces.
- 75— 95 cms. Arcilloso limoso, friable, cementación débil; (5Y 7/3) gris oliva con manchas amarillas (5Y 7/6) abundantes, medianas, y, manchas blancas (5Y 8/1) pocas y medianas; respuesta fuerte al HCl especialmente sobre concreciones calcáreas.
- 95—120 cms. Franco limoso, muy friable, cementación débil; (5Y 8/1) blanco con manchas (7.5YR 5/8) pocas y pequeñas;

## — T A B L A IV —

## Análisis químico del perfil número 8

Item	Unidad	Profundidad en centímetros				
		0—25	25—45	45—75	75—95	95—120
P. S.	%	74.40	82.10	102.00	69.60	64.40
pH		7.20	8.10	8.50	8.80	9.00
C. E.	mmhos/cm.	11.10	17.00	16.80	10.20	6.40
P. Sal.	%	0.69	1.30	1.44	0.56	0.35
C. I. C.	m.e./100 gm.	28.83	32.28	24.60	8.93	8.26
Na+ I.	"	6.52	8.92	9.50	4.83	6.64
K+ I.	"	0.46	0.56	0.58	0.18	0.12
Ca++ I.	"	7.15	8.87	14.72	0.55	5.73
Mg++ I.	"	8.85	15.43	1.28	7.35	4.67
H+ I.	"	5.85	....	....	....	....
Na+ Sol.	m.e./lt.	120.50	209.00	187.50	90.90	50.40
K+ Sol.	"	0.10	0.18	0.25	0.05	0.03
Ca++ Sol.	"	2.98	5.65	0.73	0.34	0.26
Mg++ Sol.	"	49.10	84.49	70.33	35.69	40.85
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	....	....	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	1.90	1.90	3.00	2.50	2.40
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	160.94	306.68	257.67	109.67	76.25
Cl- Sol.	"	3.00	3.65	3.50	1.70	1.25
Yeso	"	....	1.80	....	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	2.61	0.51	2.87	3.36	23.04
P. S. I.	%	22.62	27.63	38.62	54.09	80.39
R. A. S.		23.62	31.15	31.99	21.44	11.12

concreciones de carbonatos abundantes, reacción violenta con el HCl.

Uso actual: pasto Pará.

Observación: está localizado en parte baja inundable y al lado de una "calva".

Suelo salino-sódico en todo el perfil con reacción muy ligeramente alcalina en la superficie y que gradualmente se va haciendo alcalina a fuertemente alcalina en las capas inferiores. (Véase su análisis químico en la Tabla IV). La concentración de sales es alta en general, siendo excesiva de 25 a 75 cms.; la saturación de sodio va aumentando gradualmente desde la superficie hasta llegar al valor máximo de 80% a los 95 cms. de profundidad.

El contenido de potasio es alto hasta los 75 cms., y los iones solubles predominantes son el sodio, el magnesio y los sulfatos.

Perfil número 19A.

0—20 cms. Franco arcilloso; (2.5Y 5/2) pardo gris oscuro con

## — T A B L A V —

## Análisis químico del perfil número 19A

Item	Unidad	Profundidad en centímetros				
		0—20	20—40	40—65	65—120	
P. S.	%	65.20	62.40	74.80	95.20	
pH		7.40	7.90	8.00	8.00	
C. E.	manhos/cm.	14.50	18.90	18.10	18.00	
P. Sal.	%	0.81	1.05	1.16	1.44	
C. I. C.	m.e./100 gm.	27.00	22.83	27.48	38.57	
Na+	I.	5.90	6.64	6.28	5.39	
K+	I.	0.62	0.39	0.72	0.73	
Ca++	I.	10.77	17.57	19.01	12.93	
Mg++	I.	23.33	7.33	10.29	28.87	
H+	I.	....	....	....	....	
Na+	Sol.	m.e./lt.	110.90	143.70	141.80	173.30
K+	Sol.	"	0.74	0.50	0.47	0.35
Ca++	Sol.	"	7.35	7.80	5.90	5.98
Mg++	Sol.	"	88.83	87.81	96.17	109.27
CO <sub>3</sub> =	Sol.	"	....	....	....	....
HCO <sub>3</sub> -	Sol.	"	4.40	2.70	1.90	1.50
SO <sub>4</sub> =	Sol.	"	218.90	258.60	251.32	323.85
Cl-	Sol.	"	12.00	6.75	6.15	4.35
Yeso	"	"	9.50	6.50	3.25	5.30
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente		1.02	1.66	3.55	3.38
P. S. I.	%		22.19	29.08	22.85	13.97
R. A. S.			16.00	20.79	19.86	22.83

manchas (2,5Y 8/0) blancas; muchas, medianas; friable, cementación débil; respuesta débil al HCl; raíces ocasionales.

20— 40 cms. Franco arcillo limoso, friable, cementación débil; (5Y 5/3) oliva, con manchas blancas (5Y 8/1): pocas, pequeñas; reacción débil al HCl.

40— 65 cms. Arcilloso, firme, cementación moderadamente fuerte; (5Y 3/2) gris oliva oscuro variegado con rojo amarillento (5YR 4/8), y manchas blancas (5Y 8/2): abundantes y medianas. Respuesta fuerte al HCl.

65—120 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (2. 5Y 3/0) gris muy oscuro, con manchas blancas (2. 5Y 8/0): manchas, grandes y en bandas. Reacción fuerte al HCl.

Observación: Este perfil fué tomado en una "calva" pequeña.

Suelo salino-sódico hasta los 65 cms., con reacción ligeramente

alcalina en la superficie y alcalina en las capas inferiores; la capa que se encuentra a los 65 cms. es salina. La concentración de sales es muy alta y va aumentando con la profundidad. La relación Ca: Mg es anormal. El potasio se encuentra en cantidad alta. Los iones solubles predominantes son el sodio, el magnesio, los sulfatos y los cloruros. (Ver análisis químico en la Tabla V).

Perfil número 20.

— T A B L A VI —

Análisis químico del perfil número 20

Item	Unidad	Profundidad en centímetros		
		0—30	30—80	80—120
P. S.	%	71.60	97.20	102.00
pH		7.70	8.10	8.30
C. E.	mmhos/cm.	21.20	21.70	11.70
P. Sal.	%	1.39	1.73	0.94
C. I. C.	m.e./100 gm.	34.21	35.65	31.52
Na+ I.	"	9.50	14.12	13.08
K+ I.	"	1.18	0.90	0.50
Ca++ I.	"	14.66	11.45	11.68
Mg++ I.	"	9.44	9.25	6.32
H+ I.	"	....	....	....
Na+ Sol.	m.e./lt.	231.00	266.60	185.90
K+ Sol.	"	1.41	1.30	0.27
Ca++ Sol.	"	7.30	7.30	0.73
Mg++ Sol.	"	159.93	171.93	83.34
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	4.00	2.90	3.30
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	465.29	487.96	269.67
Cl- Sol.	"	4.85	5.15	2.44
Yeso	"	6.80	1.47	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	3.55	3.72	7.96
P. S. I.	%	27.77	39.60	41.50
R. A. S.		25.27	28.18	28.69

0— 30 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (10YR 4/1) gris oscuro con manchas blancas (5YR 8/1): comunes y prominentes. Respuesta débil al HCl. Raíces ausentes.

30— 80 cms. Arcilloso, muy firme, cementación fuerte; (N2) negro con manchas blancas (5YR 8/1): comunes y prominentes. Reacción fuerte al HCl, especialmente en las manchas blancas.

80—120 cms. Arcilloso cementado por carbonatos que le da sensación suave al tacto; firme, cementación fuerte; (5Y 6/3) oliva pálido con manchas gris oliva (5Y 4/2). Se presentan

concreciones de carbonatos comunes y medianas. Reacción fuerte al ácido clorhídrico.

Observación: Este perfil se tomó sobre una "calva".

El análisis químico que aparece en la tabla VI, muestra que se trata de un suelo salino-sódico con reacción alcalina y con un porcentaje de sales excesivamente alto. El contenido de calcio es normal y el de potasio es abundante. Todos los iones solubles se encuentran en cantidades apreciables, predominando el sodio, el magnesio y los sulfatos.

El pH y la saturación de sodio aumentan con la profundidad; el potasio, el calcio y el magnesio intercambiables disminuyen.

El porcentaje de sales, la capacidad de cambio y en general las sales solubles van aumentando hasta los 80 centímetros de profundidad, luego disminuyen.

— T A B L A VII —

Análisis químico del perfil número 21

Item	Unidad	Profundidad en centímetros			
		0—27	27—56	56—90	90—120
P. S.	%	62.50	61.60	64.60	56.40
pH		7.80	7.70	7.70	7.90
C. E.	mmhos/cm.	9.70	10.30	6.30	3.70
P. Sal.	%	0.51	0.53	0.35	0.16
C. I. C.	m. e. /100 gm.	23.54	21.62	26.71	24.31
Na+ I.	"	6.36	6.79	5.92	4.93
K+ I.	"	0.90	0.44	0.48	0.40
Ca++ I.	"	14.50	14.13	14.64	10.46
Mg++ I.	"	8.40	5.27	7.76	13.94
H+ I.	"	....	....	....	....
Na+ Sol.	m. e. /lt.	87.90	78.90	34.60	23.40
K+ Sol.	"	0.90	0.30	0.18	0.96
Ca++ Sol.	"	....	....	3.36	0.78
Mg++ Sol.	"	66.04	78.06	42.72	15.24
Co <sub>3</sub> == Sol.	"	....	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	3.10	2.20	2.10	2.40
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	142.22	159.98	85.29	30.84
Cl- Sol.	"	0.65	1.60	0.95	0.75
Yeso	"	3.03	1.76	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	0.88	0.98	1.77	3.05
P. S. I.	%	27.02	31.41	22.16	20.28
R. A. S.		15.28	12.62	7.20	8.27

## Perfil número 21.

- 0— 27 cms. Franco arcilloso friable, cementación débil; (10YR 4/1) gris oscuro con manchas blancas (5Y 8/1): medianas y prominentes. Sin reacción al ácido clorhídrico. Raíces comunes.
- 27— 56 cms. Franco arcilloso, friable, cementación débil; (5Y 4/2) oliva variiegado con pardo amarillento (10YR 5/4) y manchas blancas (5YR 8/1): pocas, prominentes. Respuesta débil al HCl.
- 56— 90 cms. Arcilloso, firme, cementación moderadamente fuerte; (10YR 3/2) gris pardo muy oscuro con manchas pardo rojizas (5YR 4/3): abundantes medianas y prominentes. Respuesta débil al HCl.
- 90—120 cms. Franco arcilloso limoso, muy friable, cementación débil; (5Y 5/6) gris oliva con manchas pardo rojizas (5YR 4/3): pocas y prominentes. Reacción fuerte con el HCl.

Uso actual: pasto Pará.

El análisis químico que aparece en la Tabla VII, muestra que es un perfil salino-sódico hasta los 90 cms., de allí en adelante es sódico; la reacción es moderadamente alcalina en todo el perfil. La mayor acumulación de sales y de sodio se presenta de los 27 a 56 cms. de profundidad; las cantidades de calcio y potasio son altas.

Los iones solubles predominantes son los sulfatos, el sodio y el magnesio.

## Perfil número 22.

- 0— 44 cms. Franco, friable, cementación débil: (10YR 3/1) gris muy oscuro con manchas blancas (5YR 8/1); comunes y prominentes. Reacciona débilmente con el HCl. Raíces comunes.
- 44— 87 cms. Franco arenoso muy fino, muy friable, cementación débil por carbonatos que le dan sensación limosa al tacto; (5Y 5/3) gris oliva. Respuesta moderadamente fuerte al HCl.
- 87—120 cms. Franco arenoso muy fino cementado por carbonatos que le dan sensación limosa al tacto, friable; (5Y 4/3) oliva. Respuesta fuerte al HCl; se presentan concreciones de carbonatos.

Uso actual: pasto Argentina.

## — T A B L A VIII —

## Análisis químico del perfil número 22

Item	Unidad	Profundidad en centímetros		
		0—44	44—87	87—120
P. S.	%	44.50	43.60	43.70
pH		8.00	8.70	8.50
C. E.	menhos/cm.	9.00	9.40	7.10
P. Sal.	%	0.35	0.37	0.26
C. I. C.	m. e./100 gm.	17.77	6.05	7.68
Na+ I.	"	4.65	4.50	4.09
K+ I.	"	1.38	0.60	0.23
Ca++ I.	"	7.46	7.62	6.10
Mg++ I.	"	8.54	4.80	7.70
H+ I.	"	....	....	....
Na+ Sol.	m. e./lt.	78.30	88.40	49.40
K+ Sol.	"	3.51	1.15	0.27
Ca++ Sol.	"	4.26	0.65	0.49
Mg++ Sol.	"	52.85	77.42	51.55
Co <sub>2</sub> = Sol.	"	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	3.90	2.80	2.40
Cl- Sol.	"	124.94	139.65	102.07
Yeso	"	4.90	5.45	3.65
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	....	....	....
		1.08	1.96	3.93
P. S. I.	%	26.17	74.38	53.26
R. A. S.		14.66	14.14	9.63

Perfil salino-sódico con reacción alcalina en la capa superior y fuertemente alcalina en las inferiores. La mayor acumulación de sales y la más alta saturación de sodio se presentan de los 44 a 87 cms. de profundidad.

La cantidad de potasio en la primera capa y las de calcio en las dos últimas, son notablemente altas; los iones solubles predominantes son los sulfatos, el sodio y el magnesio, y los cloruros están presentes en mayor cantidad que los bicarbonatos. (Véase el análisis químico de este perfil en la Table VIII).

## Perfil número 23.

- 0— 36 cms. Arcilloso, firme, cementación moderadamente fuerte; (10YR 3/1) gris muy oscuro con manchas gris claro (10YR 7/1): manchas, medianas prominentes. Reacción muy fuerte al HCl en las manchas. Raíces abundantes.
- 36— 55 cms. Arcilloso, muy firme, cementación fuerte; (5Y 4/1) gris oliva con manchas gris claro (10YR 7/1): comunes,

medianas y prominentes. Respuesta violenta al HCl. Raíces comunes.

55—120 cms. Franco arcillosa, capa de "hard-pan", muy firme, cementación fuerte por concreciones calcáreas. Respuesta violenta al HCl.

Uso actual: pasto Argentina.

— T A B L A IX —

Análisis químico del perfil número 23

Item	Unidad	Profundidad en centímetros		
		0—36	36—55	55—120
P. S.	%	90.40	99.80	56.00
pH		8.00	8.20	8.00
C. E.	mmhos/cm.	4.30	5.40	3.20
P. Sal.	%	0.29	0.40	0.12
C. I. C.	m.e./100 gm.	34.69	32.57	28.44
Na+ I.	"	8.47	7.93	2.41
K+ I.	"	1.41	1.03	0.51
Ca++ I.	"	8.19	9.46	11.24
Mg++ I.	"	19.06	22.64	26.56
H+ I.	"	....	....	....
Na+ Sol.	m.e./lt.	37.70	32.00	9.20
K+ Sol.	"	0.56	0.34	0.12
Ca++ Sol.	"	0.61	0.52	0.49
Mg++ Sol.	"	26.91	52.53	31.54
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	7.30	5.20	1.70
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	59.97	68.85	35.70
Cl- Sol.	"	4.37	4.10	0.95
Yeso	"	....	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	11.61	6.69	7.38
P. S. I.	%	24.42	24.35	8.47
R. A. S.		10.16	6.21	2.30

Según el análisis químico, que aparece en la Tabla IX, es un suelo salino-sódico hasta los 55 cms., de esta profundidad en adelante se hace normal; la reacción es alcalina en todo el perfil. La mayor acumulación de sales se encuentra de los 36 a los 55 cms. y la saturación de sodio alcanza los mayores valores de 0 a 55 cms. de profundidad.

Los iones solubles predominantes son los sulfatos, el sodio, el magnesio y los bicarbonatos; los cloruros se presentan también en buena cantidad.

La concentración de sales y la saturación de sodio son notablemente más bajas en la última capa.

Perfil número 26.

- 0— 22 cms. Franco arcilloso arenoso, friable, cementación débil; (2.5Y 4/2) pardo gris oscuro. Respuesta fuerte al HCl. Raíces comunes.
- 22— 49 cms. Arcilloso arenoso, firme, cementación fuerte; (10YR 3/1) gris muy oscuro. Respuesta moderadamente fuerte al HCl. Sin raíces.
- 49— 85 cms. Franco arcilloso cascajoso, firme, cementación muy fuerte con tendencia a "hard pan" (5Y 5/4) oliva. Reacciona violentamente con el HCl. Se presentan concreciones de carbonatos pequeñas.
- 85—120 cms. Arenoso grueso con presencia de cascajo, suelto; (2.5 Y 5/6) pardo oliva claro con pocas manchas. Respuesta fuerte al HCl.

Uso actual: en el sitio en donde se tomó el perfil solamente crecían malezas, en los alrededores había pasto Argentina.

— T A B L A X —

Análisis químico del perfil número 26

Item	Unidad	Profundidad en centímetros			
		0—22	22—49	49—85	85—120
P. S.	%	40.00	53.20	58.70	43.90
pH		8.20	9.20	9.40	9.20
C. E.	mmhos/cm.	9.00	13.50	8.00	< 3.00
P. Sal.	%	0.34	0.60	0.45	< 0.10
C. I. C.	m.e./100 gm.	17.69	19.60	17.05	9.16
Na+ I.	"	6.32	13.91	14.14	2.90
K+ I.	"	0.11	0.23	0.25	0.03
Ca++ I.	"	5.03	7.35	8.86	4.46
Mg++ I.	"	6.69	5.81	8.24	3.74
H+ I.	"	....	....	....	....
Na+ Sol.	m.e./lt.	74.50	89.50	55.10	13.20
K+ Sol.	"	0.11	0.10	0.05	0.02
Ca++ Sol.	"	1.76	0.57	....	0.40
Mg++ Sol.	"	21.14	18.77	9.70	7.61
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	....	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	6.70	7.20	9.10	5.20
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	113.37	117.32	61.55	20.56
Cl- Sol.	"	3.65	2.50	0.32	2.50
Yeso	"	....	....	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	5.02	3.42	17.42	5.35
P. S. I.	%	35.73	70.97	82.93	31.66
R. A. S.		22.04	28.78	25.16	6.60

Observación: perfil colectado sobre una "calva".

— T A B L A XI —

Análisis químico del perfil número 28

Item	Unidad	Profundidad en centímetros			
		0—28	28—72	72—120	
P. S.	%	64.40	64.70	50.80	
pH		8.10	9.30	9.00	
C. E.	menhos/cm.	14.00	5.20	< 3.00	
P. Sal.	%	0.79	0.27	< 0.10	
C. I. C.	m.e./100 gm.	30.27	18.76	10.44	
Na+	I.	16.14	10.99	2.43	
K+	I.	0.57	0.47	0.14	
Ca++	I.	7.37	4.13	5.23	
Mg++	I.	16.43	18.97	17.37	
H+	I.	....	....	....	
Na+	Sol.	m.e./lt.	106.10	24.30	14.60
K+	Sol.	"	0.21	0.03	0.03
Ca++	Sol.	"	4.30	0.10	....
Mg++	Sol.	"	47.79	9.92	6.00
CO <sub>3</sub> =	Sol.	"	....	....	....
HCO <sub>3</sub> -	Sol.	"	6.80	3.00	4.50
SO <sub>4</sub> =	Sol.	"	152.51	39.84	18.16
Cl-	Sol.	"	1.60	0.80	1.15
Yeso	"	"	....	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente		17.42	2.98	7.18
P. S. I.	%	53.32	58.58	23.28	
R. A. S.		20.80	10.85	8.44	

El análisis químico de este perfil se presenta en la Tabla X. Las tres primeras capas son salino-sódicas, con una saturación de sodio excesivamente alta; la última capa es sódica. La mayor acumulación de sales se encuentra de 22 a 49 cms. de profundidad y la saturación de sodio va aumentando hasta los 85 cms., luego decrece notoriamente en la última capa. La reacción es alcalina en la parte superior y fuertemente alcalina en las capas inferiores.

Los iones solubles predominantes son los sulfatos, el sodio, el magnesio y los bicarbonatos.

Perfil número 28.

- 0— 28 cms. Arcilloso firme, cementación fuerte; (5Y 3/2) gris o-liva oscuro. Respuesta fuerte al HCl. Pocas raíces.
- 28— 72 cms. Franco arcilloso, muy firme, cementación muy fuerte; (5Y 5/3) oliva, con abundantes manchas blancas (5Y 8/1) Reacción fuerte al HCl sobre las concreciones calcá-

reas.

72—120 cms. Franco arcilloso limoso, friable, cementación débil por abundantes carbonatos; (5Y 6/2) gris oliva claro con manchas amarillentas. Reacción fuerte al HCl. Se presentan muchas concreciones calcáreas.

Uso actual: pasto Pará.

— T A B L A XII —

## Análisis químico del perfil número 40

Item	Unidad	Profundidad en centímetros				
		0—35	35—55	55—85	85—115	115—120
P. S.	%	97.60	91.20	66.40	59.20	80.80
pH		7.90	8.30	8.60	8.50	8.20
C. E.	mmhos/cm.	10.70	11.50	7.90	4.30	3.00
P. Sal.	%	0.82	0.86	0.43	0.21	0.18
C. I. C.	m.e./100 gm.	26.65	24.30	10.40	8.95	24.30
Na+ I.	"	17.80	21.80	8.66	6.47	8.88
K+ I.	"	0.51	0.56	0.91	0.06	1.17
Ca++ I.	"	5.22	0.77	4.80	3.53	10.21
Mg++ I.	"	11.08	17.43	10.80	13.07	19.59
H+ I.	"	....	....	....	....	....
Na+ Sol.	m.e./lt.	62.20	66.30	59.80	40.40	15.70
K+ Sol.	"	0.16	0.11	0.07	0.03	0.10
Ca++ Sol.	"	0.85	0.26	0.04	....	....
Mg++ Sol.	"	17.17	14.75	7.96	6.00	4.00
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	....	....	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	3.60	2.60	4.60	4.40	3.90
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	96.94	75.68	73.84	53.66	15.99
Cl- Sol.	"	....	0.15	1.10	1.00	0.70
Yeso	"	....	....	....	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	13.92	14.88	48.20	21.54	13.92
P. S. I.	%	66.79	89.71	83.27	72.29	36.54
R. A. S.		20.73	24.28	29.90	23.35	11.13

Suelo salino-sódico hasta los 72 cms. a esta profundidad se torna sódico. La reacción es alcalina en la capa superior, y fuertemente alcalina en las inferiores. La mayor concentración de sales se encuentra de 0 a los 28 cms., luego va descendiendo hasta llegar a menos de 0.1% en la última capa. La saturación de sodio es bastante alta en las dos primeras capas.

La cantidad de potasio es alta y la relación calcio: magnesio es

anormal. Los iones solubles predominantes los sulfatos, el sodio, el magnesio y los bicarbonatos. (Véase análisis químico en la Tabla XI). Perfil número 40.

- 0— 35 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (10YR 3/1). gris muy oscuro. Reacción fuerte con el HCl.
- 35— 55 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 4/2) gris oliva con manchas pardo gris claro (5Y 6/2) que dan aspecto de variegado. Reacción fuerte con el HCl.
- 55— 85 cms. Arcilloso, cementado por carbonatos; (5Y 6/2) gris oliva claro. Reacciona violentamente con el HCl. Se presentan abundantes concreciones calcáreas.
- 85—115 cms. Franco arcilloso arenoso, friable, cementación débil; (5Y 5/3) oliva, variegado con manchas marrón pálido (10YR 6/3): muchas; reacciona fuertemente con el HCl.
- 115— cms. Una capa limosa de cementación débil, con reacción fuerte al HCl.

Según el análisis químico que se presenta en la Tabla XII, es un suelo salino-sódico en sus 4 primeras capas, con una saturación de sodio excesivamente alta; la última capa es sódica, con una saturación de sodio notoriamente menor que en las anteriores. La reacción es alcalina en la parte superior y después va aumentando hasta los 85 cms. en donde comienza a decrecer para terminar con pH de 8.2.

La mayor concentración de sales se presenta en los primeros 55 cms., y va decreciendo gradualmente hasta llegar a 0.18% en la última capa; la mayor saturación de sodio se encuentra entre los 35 y los 85 cms. de profundidad.

El contenido de potasio es alto y va aumentando hasta los 85 cms.; a esta profundidad decrece bruscamente y a los 115 cms. alcanza el valor notable de 1.17 m.e. por 100 gms.; la relación Ca: Mg está desequilibrada; los iones solubles predominantes son los sulfatos, el sodio el magnesio y los bicarbonatos.

## 2.— Suelos Salinos.

Perfil número 5.

- 0— 40 cms. Franco arcilloso, friable, cementación débil; (10YR 4/2) pardo gris oscuro. Reacción fuerte con el HCl. Raíces ocasionales.
- 40— 68 cms. Franco arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 5/2) gris oliva; respuesta fuerte con el HCl. Raíces ocasionales.

## — T A B L A XIII —

## Análisis químico del perfil número 5

Item	Unidad	Profundidad en centímetros		
		0—40	40—68	68—120
P. S.	%	57.20	50.00	55.60
pH		7.50	8.90	8.50
C. E.	mmhos/cm.	5.80	4.00	3.00
P. Sal.	%	0.27	0.16	0.10
C. I. C.	m.e./100 gm.	29.80	7.20	18.50
Na+ I.	"	3.59	5.41	2.86
K+ I.	"	1.47	0.05	0.05
Ca++ I.	"	12.05	4.30	11.26
Mg++ I.	"	10.05	10.70	12.41
H+ I.	"	....	....	....
Na+ Sol.	m.e./lt.	41.70	32.80	13.80
K+ Sol.	"	1.53	0.02	0.12
Ca++ Sol.	"	5.24	....	....
Mg++ Sol.	"	21.87	3.00	33.59
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	7.60	3.00	5.99
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	77.24	39.41	42.46
Cl- Sol.	"	0.30	0.30	1.50
Yeso	"	....	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	15.82	30.22	34.15
P. S. I.	%	12.05	75.14	15.46
R. A. S.		11.33	32.80	3.37

68—120 cms. Franco arcilloso, muy firme, cementación fuerte, con tendencia a "hard pan"; (5Y 5/3) oliva. Reacción violeta al HCl.

Uso actual: Pasto común.

El análisis químico de este perfil se presenta en la Tabla XIII, muestra que la primera capa es salina, la segunda salino-sódica con una cantidad de sodio muy alta; la tercera es Sódica con una saturación de sodio que apenas pasa el límite establecido para clasificarla como tal.

La reacción aumenta con la profundidad; empieza ligeramente alcalina, para terminar fuertemente alcalina. La cantidad de potasio es muy alta en la primera capa y en las siguientes es muy baja. La relación Ca:Mg está desequilibrada, es bastante anormal de los 40 a los 68 cms.

Los iones solubles predominantes son los sulfatos, el sodio, el magnesio y los bicarbonatos.

Perfil número 9.

- 0— 30 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (10YR 3/1) gris muy oscuro. Reacción débil al HCl. Raíces abundantes.
- 30— 55 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; 5Y 4/2) gris oliva con manchas negras (N2): comunes y medianas, y manchas blancas (5Y 8/1: comunes y medianas. Reacción débil con el HCl. Raíces ocasionales.
- 55—100 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 5/2) gris oliva variegado con gris claro (5Y 7/1). Reacción fuerte al HCl.
- 100—120 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 5/2) gris oliva con manchas blancas (10YR 8/1 a manera de concreciones de carbonatos; abundantes, medianas y prominentes. Reacción fuerte con HCl en las concreciones.

— T A B L A XIV —

Análisis químico del perfil número 9

Ítem	Unidad	Profundidad en centímetros			
		0—30	30—55	55—100	100—120
P. S.	%	75.60	83.20	110.80	102.00
pH		7.20	7.80	8.50	8.50
C. E.	mmhos/cm.	6.40	4.50	4.70	5.00
P. Sal.	%	0.41	0.29	0.35	0.37
C. I. C.	m.e./100 gm.	32.86	34.21	27.90	26.71
Na+ I.	"	2.47	5.41	10.50	11.31
K+ I.	"	0.80	0.58	0.63	0.61
Ca++ I.	"	19.40	17.02	18.61	12.23
Mg++ I.	"	7.50	14.11	9.69	15.54
H+ I.	"	2.69	....	....	....
Na+ Sol.	m.e./lt.	21.00	41.70	30.20	26.00
K+ Sol.	"	0.30	0.14	0.05	0.07
Ca++ Sol.	"	10.25	1.63	1.30	0.60
Mg++ Sol.	"	45.94	27.70	10.72	21.65
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	....	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	2.70	5.40	5.20	3.10
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	67.83	59.09	30.84	39.70
Cl- Sol.	"	0.65	1.57	1.60	1.23
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	3.39	2.71	10.33	2.37
P. S. I.	%	7.52	15.81	37.63	42.34
R. A. S.		3.46	10.91	12.38	7.81

Uso actual: pasto Pará.

Observaciones: este perfil fue tomado en el "basín" o parte baja inundable.

El análisis químico de este perfil se presenta en la Tabla XIV. La primera capa es salina, la segunda Salino-sódica que apenas alcanzan a pasar los valores requeridos para clasificarlas como tales. Las dos últimas capas del perfil son salino-sódicas. La reacción es ligeramente ácida en el suelo, cambia en el subsuelo a fuertemente alcalina pasando por moderadamente alcalina.

Los valores para la saturación de sodio van aumentando con la profundidad hasta llegar a un máximo de 42% a los 100 cms. La cantidad de potasio es alta en todo el perfil. Los iones solubles predominantes son los sulfatos, el sodio, el magnesio y los bicarbonatos.

Perfil número 13.

0—23 cms. Franco arcilloso arenoso, friable, cementación débil (5Y 3/1) pardo gris oscuro. Reacción fuerte con el HCl. Raíces comunes.

23—47 cms. Franco arenoso muy fino, friable, cementación débil; (5Y 5/2) gris oliva. Reacción fuerte al HCl. Sin raíces.

47—73 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (N2) negro con manchas blancas: comunes y prominentes. Reacción violenta al HCl.

73—120 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 4/2) gris oliva, variegado con gris oliva claro (5Y 5/2), presencia de manchas blancas y concreciones de carbonatos de pequeñas a medianas. Respuesta violenta al HCl. Al final de esta capa aparecen manchas pardo-rojizas.

Uso actual: pasto Pará.

El análisis químico de este perfil aparece en la Tabla XV. Es un suelo salino en la capa superior, salino sódico en la segunda y tercera, y sódico en la última. La reacción principia neutra y va aumentando con la profundidad hasta fuertemente alcalina. La mayor concentración de sales y de sodio se presenta de los 47 a los 73 cms.

La cantidad de potasio en la primera capa es alta y la relación Ca:Mg está desequilibrada. Los iones solubles predominantes son los sulfatos, el sodio, y el magnesio en los primeros 47 cms., de ahí en adelante predominan los sulfatos, el sodio y los bicarbonatos.

Perfil número 16.

0—35 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (10YR 3/1) gris muy oscuro con manchas blancas comunes y medianas (5Y 8/1). Respuesta débil al ácido en las manchas. Raíces comunes.

## — T A B L A XV —

## Análisis químico del perfil número 13

Item	Unidad	Profundidad en centímetros			
		0—23	23—47	47—73	73—120
P. S.	%	53.60	44.00	96.00	82.00
pH		7.00	8.00	8.60	8.80
C. E.	mmhos/cm.	4.00	4.30	4.80	< 3.00
P. Sal.	%	0.16	0.14	0.30	< 0.17
C. I. C.	m.e./100 gm.	20.68	10.66	24.51	21.32
Na+ I.	"	1.86	2.95	9.63	4.93
K+ I.	"	0.53	0.08	0.22	0.14
Ca++ I.	"	8.58	3.47	5.22	4.48
Mg++ I.	"	6.62	6.63	14.07	15.80
H+ I.	"	3.09	.....	.....	.....
Na+ Sol.	m.e./lt.	21.80	31.30	33.10	29.60
K+ Sol.	"	1.05	0.20	0.04	0.06
Ca++ Sol.	"	5.24	2.31	0.09	.....
Mg++ Sol.	"	10.88	9.71	2.00	2.22
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	.....	.....	.....	.....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	3.90	2.90	4.30	14.20
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	37.59	41.08	30.34	35.95
Cl- Sol.	"	1.65	3.80	2.71	2.83
Yeso	"	.....	.....	.....	.....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	10.12	10.12	9.16	12.02
P. S. I.	%	8.99	27.67	39.29	23.12
R. A. S.		7.70	12.83	32.45	28.19

35— 65 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (10YR 3/1) gris muy oscuro con manchas gris oliva (5Y 4/2): muchas, medianas y manchas blancas (5Y 8/1): respuesta fuerte al ácido sobre concreciones de carbonatos. Raíces ocasionales.

65— 85 cms. Franco arcilloso arenoso, friable, cementación débil; (2.5Y 5/4) gris oliva claro variegado con oliva (5Y 5/3) y amarillo (10YR 7/6). Respuesta fuerte al ácido; abundantes concreciones calcáreas.

85—110 cms. Franco arenoso, friable, cementación débil; (2.5Y 5/4) pardo oliva claro variegado con pardo claro (7.5YR 6/6). Respuesta débil al HCl.

110— cms. Franco limoso, muy friable, cementación débil; (5Y 5/3) oliva. Respuesta muy fuerte al ácido sobre concreciones calcáreas.

Uso actual: pasto Pará.

## — T A B L A XVI —

## Análisis químico el perfil número 15

Item	Unidad	Profundidad en centímetros				
		0—35	35—65	65—85	85—110	110—120
P. S.	%	53.20	56.80	49.60	39.60	54.40
pH		7.30	7.80	8.30	8.20	8.50
C. E.	mmhos/cm.	6.20	11.50	10.60	4.40	3.70
P. Sal.	%	0.28	0.56	0.47	0.16	0.15
C. I. C.	m.e./100 gm.	26.40	24.60	16.40	7.70	11.70
Na+ I.	"	2.00	3.40	3.89	2.36	3.67
K+ I.	"	0.78	1.38	0.63	0.14	0.10
Ca++ I.	"	7.70	10.49	14.46	2.30	5.43
Mg++ I.	"	11.80	9.61	4.76	11.00	11.91
H+ I.	"	4.12	.....	.....	.....	.....
Na+ Sol.	m.e./lt.	32.80	94.40	68.30	37.80	28.00
K+ Sol.	"	3.66	3.16	0.95	0.18	0.10
Ca++ Sol.	"	10.25	13.60	8.07	2.57	0.17
Mg++ Sol.	"	39.93	90.80	74.96	24.44	11.50
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	.....	.....	.....	.....	.....
HCO <sub>3</sub> — Sol.	"	4.00	3.70	2.20	2.10	3.20
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	80.21	199.75	115.65	63.65	33.55
Cl— Sol.	"	3.70	2.40	4.86	2.40	1.48
Yeso	"	.....	2.61	2.10	.....	.....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	2.78	1.93	4.73	2.46	8.05
P. S. I.	%	7.58	13.82	23.72	30.65	31.37
R. A. S.		6.54	13.07	10.60	10.30	11.62

El análisis químico de este perfil aparece en la Tabla XVI. Suelo salino hasta los 65 cms. de profundidad, salino-sódico de 65 a 110 cms. y sódico de esta distancia en adelante; la reacción es ligeramente alcalina en la primera capa y muy alcalina en las restantes. La mayor concentración de sales se encuentra en la segunda capa, y la saturación de sodio aumenta a medida que se profundiza.

El contenido de potasio es bastante alto hasta los 85 cms. Los iones solubles predominantes son los sulfatos, el sodio y el magnesio.

## Perfil número 25A.

0— 30 cms. Franco arcilloso, friable, cementación débil; (10YR 3/2) gris pardo muy oscuro; pseudomicelios finos y abundantes. Respuesta al HCl débil. Raíces abundantes.

30— 85 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte, (2.5Y 3/0) gris muy oscuro con manchas blancas (5Y 7/1): comunes y grandes. Respuesta al HCl moderadamente fuerte. Raíces comunes.

## — T A B L A XVII —

## Análisis químico del perfil número 18

Item	Unidad	Profundidad en centímetros			
		0—30	30—75	75—110	110—120
P. S.	%	70.80	72.80	84.40	96.40
pH		6.80	7.60	8.20	8.60
C. E.	mmhos/cm.	< 3.00	5.50	6.50	3.30
P. Sal.	%	< 0.15	0.32	0.42	0.22
C. I. C.	m.e./100 gm.	41.80	41.40	36.70	30.90
Na+ I.	"	7.18	4.47	8.18	10.92
K+ I.	"	0.29	0.71	0.40	0.27
Ca++ I.	"	8.51	15.71	8.19	8.24
Mg++ I.	"	23.19	18.80	30.46	25.81
H+ I.	"	2.63	1.71	.....	.....
Na+ Sol.	m.e./lt.	12.90	24.20	41.10	24.20
K+ Sol.	"	0.11	0.10	0.06	0.02
Ca++ Sol.	"	1.26	2.62	0.70	0.08
Mg++ Sol.	"	8.74	17.43	25.30	1.92
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	.....	.....	.....	.....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	4.62	2.40	4.89	7.85
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	18.27	48.84	69.29	23.41
Cl- Sol.	"	1.80	1.35	0.95	1.55
Yeso	"	.....	.....	.....	.....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	3.20	4.16	17.25	16.77
P. S. I.	%	17.18	10.80	22.29	35.34
R. A. S.		5.76	7.66	11.41	24.20

85—120 cms. Arcilloso, muy firme, cementación muy fuerte (5Y 4/2) gris oliva. Respuesta fuerte al HCl. Concreciones calcáreas abundantes.

Uso actual: pasto Pará.

Según su análisis químico, que aparece en la Tabla XVII, la primera capa del perfil es salina, la segunda salino-sódica y la última se considera normal; la reacción es alcalina en general.

La mayor concentración de sales y de sodio se presenta de 30 a 85 cms. de profundidad. El potasio se encuentra en buena cantidad y la relación Ca: Mg. está desequilibrada.

Los iones solubles que se encuentran en concentraciones mayores son los sulfatos, el sodio, el magnesio y los bicarbonatos.

### 3.— Suelos Sódicos

Perfil número 18.

0—30 cms. Franco arcilloso, friable, cementación moderadamente

fuerte; (5YR 4/2) gris rojizo oscuro con manchas pardo oscuras (7.5YR 4/4): comunes y medianas. Respuesta débil al HCl.

30— 75 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte, (N2) negro sin manchas. Respuesta débil al HCl.

75—110 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 3/2) gris oliva oscuro variegado con gris oliva (5Y 4/2). Reacción muy fuerte con el HCl.

110— cms. Arcilloso, muy firme, cementación fuerte; (5Y 5/3) oliva con manchas en bandas de color gris oliva oscuro (5Y 3/2). Reacción muy fuerte con el HCl.

— T A B L A XVIII —

Análisis químico del perfil número 25A

Item	Unidad	Profundidad en centímetros		
		0—30	30—85	85—120
P. S.	%	63.60	101.20	87.60
pH		7.70	7.90	7.90
C. E.	manhos/cm.	7.30	8.00	3.60
P. Sal.	%	0.39	0.61	0.27
C. I. C.	m.e./100 gm.	31.30	42.47	40.16
Na+ I.	"	4.31	7.47	3.54
K+ I.	"	0.39	0.58	0.40
Ca++ I.	"	8.05	9.19	9.17
Mg++ I.	"	15.55	25.01	34.13
H+ I.	"	3.00	....	....
Na+ Sol.	m.e./lt.	38.30	53.10	13.30
K+ Sol.	"	0.15	0.24	0.06
Ca++ Sol.	"	4.70	1.92	0.49
Mg++ Sol.	"	61.42	69.15	27.53
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	2.30	2.00	2.60
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	86.53	123.80	34.27
Cl- Sol.	"	0.60	0.80	0.60
Yeso	"	....	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	3.55	3.89	5.25
P. S. I.	%	13.77	17.59	8.81
R. A. S.		6.66	8.91	3.55

Uso actual: pasto Pará.

Según el análisis químico de este perfil, que se presenta en la Tabla XVIII, el suelo es sódico hasta los 30 cms.; salino de 30 a 75 cms. y Salino sódico de 75 a 110 cms.; la última capa analizada corresponde a un suelo Sódico. La reacción varía ligeramente ácida en

## — T A B L A XIX —

## Análisis químico del perfil número 24

Item	Unidad	Profundidad en centímetros		
		0—40	40—80	80—120
P. S.	%	55.20	51.60	98.80
pH		7.30	7.80	8.40
C. E.	mmhos/cm.	< 3.00	9.30	4.60
r. Sal.	%	< 0.15	0.43	0.32
C. I. C.	m.e./100 gm.	32.00	29.00	27.50
Na+	I.	"	"	"
		11.21	5.13	8.51
K+	I.	"	"	"
		0.30	0.05	0.15
Ca++	I.	"	"	"
		10.35	13.34	8.49
Mg++	I.	"	"	"
		16.05	10.17	20.56
H+	I.	"	"	"
		....	....	....
Na+	Sol.	m.e./lt.		
		8.30	98.80	41.10
K+	Sol.	"	"	"
		0.07	0.25	0.06
Ca++	Sol.	"	"	"
		0.34	8.00	0.63
Mg++	Sol.	"	"	"
		5.97	56.92	13.80
Co <sub>3</sub> =	Sol.	"	"	"
		....	....	....
HCO <sub>3</sub> -	Sol.	"	"	"
		3.80	5.12	3.70
SO <sub>4</sub> =	Sol.	"	"	"
		11.14	145.78	60.83
Cl-	Sol.	"	"	"
		1.20	2.44	1.00
Yeso	"	"	"	"
		....	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente			
		14.88	12.02	16.78
P. S. I.	%	35.03	17.69	30.95
R. A. S.		4.69	17.36	15.33

la primera capa a muy alcalina en las últimas.

La mayor concentración de sales se presenta en la tercera capa y la de sodio en la última; el contenido de potasio es especialmente alto en segunda; la relación Ca: Mg está desequilibrada.

Los iones solubles que se encuentran en mayores concentraciones son los sulfatos, el sodio, el magnesio y los bicarbonatos.

## Perfil número 24.

- 0—40 cms. Arcilloso, firme, cementación moderadamente fuerte; (10YR 3/1) gris muy oscuro. Respuesta fuerte al HCl.
- 40—80 cms. Arcilloso, muy firme, cementación fuerte; (10YR 3/1) gris muy oscuro con manchas en bandas de color gris claro (10YR 7/1): muchas, grandes. Respuesta fuerte al HCl.
- 80—120 cms. Arcilloso, muy firme, cementación fuerte, tendencia a

"hard pan"; (5Y 4/3) oliva, sin manchas. Respuesta violenta al HCl.

Uso actual: pasto Argentina.

Suelo sódico de 0 a 40 cms. y salino-sódico de 40 cms. en adelante; la reacción es ligeramente alcalina en la parte superior y se va haciendo muy alcalina inferiormente.

La mayor concentración de sales se encuentra en la segunda capa y la de sodio en la primera; la relación Ca: Mg se encuentra desequilibrada.

Los iones solubles predominantes son los sulfatos, el sodio, el magnesio y los bicarbonatos. (Véase el análisis químico de este perfil en la Tabla XIX).

Perfil número 30.

- 0— 20 cms. Franco arcilloso, friable, cementación débil; (10YR 4/1) gris oscuro, sin manchas. Reacción débil con HCl. Raíces comunes.
- 20— 60 cms. Franco arcilloso, moderadamente firme, cementación fuerte; (10 YR 4/1) gris oscuro con manchas pardo rojizas (5 YR 4/3): pocas, medianas y prominentes. Reacción débil con el HCl.
- 60— 80 cms. Franco arcilloso, firme, cementación fuerte; (10 YR 3/1) gris muy oscuro con manchas blancas (10 YR 8/1): comunes y medianas. Reacción fuerte con el HCl. especialmente sobre manchas y concreciones de carbonatos.
- 80—120 cms. Arcilloso limoso, moderadamente firme, cementación fuerte; (5Y 4/3) oliva variegado con gris oliva (5Y 5/6): manchas blancas (10YR 8/1); reacción violenta con el HCl. Se presentan muchas concreciones de carbonatos.

Uso actual: pasto Pará.

Según el análisis químico, que se presenta en la Tabla XX, la primera capa de este suelo es sódica, las demás son normales; la reacción es alcalina con todo el perfil. No se presentan concentraciones de sales perjudiciales para el crecimiento de las plantas y la saturación de sodio es baja, a excepción de la primera capa.

El contenido de potasio es alto y la relación Ca: Mg está en desequilibrio. Los iones solubles predominantes son los sulfatos, el magnesio, el sodio y los bicarbonatos.

#### 4.— Suelos no salinos—no sódicos.

Perfil número 3.

- 0— 38 cms. Franco arcilloso, friable, cementación débil; (10YR

## — T A B L A XX —

## Análisis químico del perfil número 30

Item	Unidad	Profundidad en centímetros			
		0—20	20—60	60—80	80—120
P. S.	%	60.40	52.40	55.20	51.60
pH		7.60	7.80	8.20	8.10
C. E.	mmhos/cm.	< 3.00	3.30	< 3.00	< 3.00
P. Sal.	%	< 0.15	0.13	< 0.10	< 0.10
C. I. C.	m.e./100 gm.	41.12	28.14	25.37	20.25
Na+ I.	"	7.16	2.04	1.12	0.63
K+ I.	"	0.43	0.36	0.47	0.30
Ca++ I.	"	14.55	11.53	7.92	8.83
Mg+++ I.	"	13.46	21.47	19.89	22.87
H+ I.	"	5.52	.....	.....	.....
Na+ Sol.	m.e./lt.	9.80	9.20	4.60	3.40
K+ Sol.	"	0.15	0.09	0.08	0.09
Ca++ Sol.	"	5.19	2.31	0.47	0.34
Mg+++ Sol.	"	14.89	9.73	11.54	7.67
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	.....	.....	.....	.....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	2.80	2.00	2.50	2.70
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	31.96	15.42	11.32	4.28
Cl- Sol.	"	0.90	2.75	0.87	1.30
Yeso	"	.....	.....	.....	.....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	3.06	2.68	6.10	12.02
P. S. I.	%	17.41	7.25	4.41	3.11
R. A. S.		3.09	3.75	1.88	1.70

3/2) gris pardo muy oscuro. No reacciona con el HCl.  
Raíces comunes.

38— 84 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 3/1) gris muy oscuro. Reacción débil con el HCl. Se encuentran muchas concreciones calcáreas grandes. Reacción débil con el HCl.

84—120 cms. Arcilloso limoso, friable, cementado débilmente por carbonatos; (5Y 6/3) oliva claro; reacción fuerte con el HCl; abundantes concreciones calcáreas.

Uso actual: pasto Pará.

El análisis químico de este perfil se presenta en la Tabla XXI. El suelo es normal hasta los 38 cms.; de esta profundidad en adelante es salino-sódico. La reacción varía de ligeramente alcalina en la parte superior a alcalina en las capas inferiores.

La concentración de sales y la saturación de sodio mayores se presentan de 38 a 84 cms.; el contenido de potasio es notablemente alto en la primera capa.

## — T A B L A XXI —

## Análisis químico del perfil número 3

Item	Unidad	Profundidad en centímetros		
		0—38	38—84	84—120
P. S.	%	50.40	67.20	77.20
pH		7.30	7.70	7.80
C. E.	mmhos/cm.	< 3.00	10.90	6.00
P. Sal.	%	< 0.11	0.62	0.37
C. I. C.	m.e./100 gm.	30.07	29.02	32.71
Na+ I.	"	1.97	6.37	5.19
K+ I.	"	0.95	0.62	0.31
Ca++ I.	"	16.90	15.93	12.13
Mg++ I.	"	7.10	12.77	18.47
H+ I.	"	3.19	....	....
Na+ Sol.	m.e./lt.	6.90	54.00	23.40
K+ Sol.	"	0.25	0.42	0.09
Ca++ Sol.	"	1.40	10.25	2.86
Mg++ Sol.	"	18.63	57.95	51.21
Co <sub>3</sub> = Sol.	"	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	5.50	3.20	1.80
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	25.23	118.43	88.37
Cl- Sol.	"	1.50	1.05	0.60
Yeso	"	....	2.62	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	....	0.49	2.46
P. S. I.	%	6.42	21.95	15.59
R. A. S.		2.18	9.26	5.47

Los iones solubles que se encuentran en concentraciones mayores son los sulfatos, el sodio, el magnesio y los bicarbonatos.

Perfil número 14.

- 0— 25 cms. Franco arcilloso arenoso, friable, cementación débil; (5Y 3/1) gris muy oscuro. Reacción fuerte con el HCl.
- 25— 58 cms. Franco limoso, friable, cementación débil; (5Y 5/2) gris oliva. Reacción fuerte con el HCl.
- 58— 79 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 3/1) gris oliva muy oscuro con manchas blancas comunes y medianas. Reacción muy fuerte con el HCl.
- 79—120 cms. Arcilloso, firme, cementación fuerte; (5Y 5/2) gris oliva con manchas blancas muchas y grandes. Reacción violenta con el HCl; se presentan concreciones de carbonatos, pocas y pequeñas.

Uso actual: pasto Argentina.

Suelo normal hasta los 25 cms., Sódico de 25 a 58 cms. y salino-

sódico de esta profundidad en adelante; la reacción varía gradualmente de neutra en la superficie a fuertemente alcalina en las capas inferiores.

La mayor concentración de sales se presenta de 58 a 79 cms. y la saturación de sodio se va haciendo mayor con la profundidad.

Los iones solubles predominantes con los sulfatos, el sodio, el magnesio y los bicarbonatos. (Véase el análisis químico de este perfil en la Tabla XXII).

— T A B L A XXII —

Análisis químico del perfil número 14

Ítem	Unidad	Profundidad en centímetros			
		0—25	25—58	58—79	79—120
P. S.	%	52.40	40.40	82.40	90.00
pH		7.00	8.10	8.40	9.00
C. E.	mmhos/cm.	< 3.00	3.00	11.30	5.80
P. Sal.	%	< 0.10	0.09	0.75	0.41
C. I. C.	m. e. /100 gm.	29.20	15.13	32.38	34.11
Na+ I.	"	1.12	2.91	8.26	10.23
K+ I.	"	0.46	0.12	0.57	0.53
Ca++ I.	"	12.31	6.61	10.14	9.18
Mg++ I.	"	11.23	6.79	17.66	15.82
H+ I.	"	4.08	....	....	....
Na+ Sol.	m. e. /lt.	3.20	17.60	61.30	31.30
K+ Sol.	"	0.15	0.08	0.15	0.09
Ca++ Sol.	"	0.82	0.96	1.15	0.09
Mg++ Sol.	"	3.86	5.06	38.18	19.97
CO <sub>3</sub> = Sol.	"	....	....	....	....
HCO <sub>3</sub> - Sol.	"	2.80	2.90	3.10	4.60
SO <sub>4</sub> = Sol.	"	10.28	24.83	76.53	37.69
Cl- Sol.	"	1.60	1.85	1.90	2.30
Yeso	"	....	....	....	....
Carb. Alc.	% CaCO <sub>3</sub> equivalente	12.50	10.12	14.02	25.15
P. S. I.	%	3.83	19.23	25.51	29.99
R. A. S.		2.10	10.17	13.84	9.90

V.— DISCUSION

Los cuatro grupos en que se han dividido los suelos estudiados se escogieron teniendo en cuenta las propiedades de la capa superior. Sin embargo se puede observar que sólo en el grupo de los salino-sódicos todo el perfil es del mismo tipo que la capa superior; en las demás agrupaciones hay un complejo de capas salinas, sódicas, normales y salino-sódicas, predominando casi siempre los subsuelos de esta última clase.

En consecuencia, se puede afirmar que los suelos de esta región son predominantemente salino-sódicos o sea que contienen suficientes sales y sodio intercambiable como para dificultar el crecimiento de la mayoría de los cultivos.

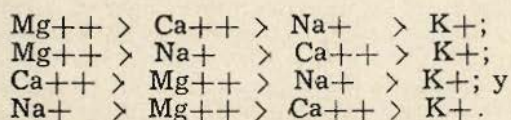
Además, según los análisis realizados, estos suelos muestran características químicas bastante similares debido a los factores comunes que han actuado en su formación; las diferencias que se encuentran se deben principalmente al microrelieve y manejo local de ellos.

Se determinó el calcio y el magnesio intercambiables en todas las muestras de suelo para apreciar aproximadamente la relación o equilibrio que guardan entre sí y la cantidad presente, no obstante que Bower et al. (3), aconsejan que debe omitirse o eliminarse sus valores cuando hay presentes carbonatos de calcio y magnesio o cuando la saturación del complejo de cambio es superior al 100%.

Este elevado porcentaje de saturación es frecuente en los suelos afectados por sales, especialmente si contienen carbonatos alcalino-térreos, como en los suelos aquí estudiados.

El desequilibrio encontrado entre el calcio y el magnesio absorbidos está influenciado en parte por las interferencias que se presentan en su determinación; los carbonatos aludidos son insolubles en agua, pero en una sal neutra monovalente como el acetato de amonio (la cual se empleó en la determinación de los cationes de cambio), se hacen parcialmente solubles aumentando así los valores reales de calcio y magnesio (Kelley, 19).

En suelos normales, la relación entre los cationes absorbidos es:  $\text{Ca}^{++} \times \text{Mg}^{++} \times \text{Na}^{++} \text{K}^{+}$ ; los suelos analizados presentan las relaciones que a continuación se exponen, en orden de mayor a menor ocurrencia en ellos:



Como se puede apreciar, el catión intercambiable predominante es el magnesio; si se tiene en cuenta que este ión se encuentra en cantidades bastante altas y mayores que las de calcio en la solución del suelo y que por ser base divalente es absorbido más fuertemente que las monovalentes como el sodio, se puede suponer que al efectuarse las reacciones de intercambio catiónico el magnesio ha ocupado un lugar preponderante en el complejo de cambio, perjudicial para las plantas.

Las cantidades apreciables de sodio intercambiables encontradas se deben a la acumulación excesiva de sales solubles de sodio y al contenido bajo de calcio soluble; generalmente, a cantidades bajas de sodio intercambiable corresponden concentraciones bajas de este ión, en forma soluble.

El porcentaje de sodio intercambiable (P.S.I.), con frecuencia alcanza su máximo valor en la segunda capa, o va aumentando con la profundidad. En los suelos clasificados como sódicos se presenta una acumulación notoria de sodio en el estrato superior; en el siguiente decrece notoriamente su concentración, y en los estratos inferiores se vuelve a encontrar en cantidades apreciables.

En estos suelos sódicos ha ocurrido el fenómeno de "degradación" lo cual se confirma por el pH menor de 8, siendo el porcentaje de sodio intercambiable mayor de 15. Además, por los valores bajos de la conductividad eléctrica y por la presencia de hidrógeno en el complejo de cambio, favorecido esto último por las cantidades bajas de calcio activo disponible para pasar a forma intercambiable.

El nivel de potasio es en general alto para todos los suelos analizados, sólo se presentan muy pocas excepciones en algunas capas inferiores.

Se observa una relación directa entre los valores para la capacidad de cambio, la textura y el porcentaje de saturación de agua, lo cual es lógico pues a mayor contenido de arcilla la capacidad de cambio y el porcentaje de saturación de agua deben ser también mayores, debido a las propiedades inherentes a las arcillas.

Para la capacidad de cambio se encontraron valores que fluctúan entre 6 y 44 m.e. por 100 gramos, predominando las cifras altas, las cuales corresponden a suelos arcillosos y franco arcillosos; los más bajos son de los arenosos y franco arenosos.

La saturación del complejo de cambio está siempre por encima del 80%, lo cual es propio de las regiones áridas, por la influencia del régimen climático; esto se corrobora por los valores de pH que son siempre mayores de 7, a excepción de un caso que es de 6.8.

En la mayoría de los perfiles analizados la reacción es alcalina en la capa superior, y en las inferiores se va haciendo más alcalina, hasta fuertemente alcalina; es decir que el pH va aumentando con la profundidad debido, principalmente, a la acción conjunta del sodio intercambiable y de los carbonatos alcalinotérreos. Se puede observar que a porcentajes de sodio intercambiable de  $\text{CaCO}_3$  equivalente mayores, corresponden pH mayores.

La mayor acumulación de sales se presenta en las dos primeras capas, pero más frecuentemente en la segunda, coincidiendo con la mayor acumulación de sodio; a veces, el contenido de sales va en aumento hasta la tercera capa; y siempre después del sitio de mayor concentración ésta decrece.

La explicación de por qué las sales se han concentrado en las capas superiores se comprenderá al estudiar la génesis de estos suelos, lo cual ya se hizo con cierta amplitud en la revisión de literatura.

Los análisis realizados permiten observar que cuando la mayor

cantidad de sales no está en la capa superior, lo está en la siguiente (con muy pocas excepciones); esto pone de manifiesto el peligro de que estas sales asciendan a la superficie por elevación del nivel freático.

Se encontró que los iones solubles predominantes en estos suelos son los sulfatos, el sodio y el magnesio, los cuales se presentan en cantidades considerables. Para el grupo de los salino-sódicos la relación más frecuente es:  $\text{SO}_4= > \text{Na}+ > \text{Mg}++ > \text{HCO}_3- > \text{Cl}- > \text{Ca}++ > \text{K}+$ ; ya se vió cómo el alto contenido de  $\text{Na}+$  y  $\text{Mg}++$ , y el bajo contenido de  $\text{Ca}+$  en la solución del suelo han influido en la elevada absorción de los dos primeros iones por el complejo de cambio. En algunas muestras, especialmente del subsuelo, la anterior relación varió en el sentido de que el  $\text{Ca}++$  fué  $> \text{Cl} > \text{HCO}_3-$

En el grupo de los Salinos la relación cuantitativa entre los iones fué muy variable; en el estrato superior la más corriente fué:  $\text{SO}_4= > \text{Mg}++ > \text{Na}+ > \text{Ca}++ > \text{HCO}_3- > \text{Cl}- > \text{K}+$ ; en el subsuelo la más frecuente fué la explicada para el grupo de los salino-sódicos. Se puede apreciar que en este grupo el contenido de  $\text{Ca}++ + \text{Mg}++$  es mayor que el sodio, lo cual ha contribuído a que el sodio no sea por ahora un problema en la capa superior; el magnesio por estar en cantidades tan altas sí puede estar ocasionando perjuicios.

En el grupo de los Sódicos y en el de los no Salinos no sódicos se presentaron, entre otras, las dos relaciones mencionadas; en los primeros es frecuente la misma relación encontrada para los Salino-sódicos.

Por el análisis de los cationes y aniones solubles se deduce que las sales solubles presentes en los suelos de la región estudiada son, en orden de prioridad: sulfatos de sodio y magnesio, bicarbonatos de sodio, cloruros de sodio, de magnesio y de potasio, sulfato y cloruro de calcio, y bicarbonato de potasio.

Aunque no hay carbonatos solubles, si se encuentran bajo formas insolubles, y muchas veces, en cantidades bastante altas: estos carbonatos tienen una marcada influencia en los valores de pH elevados y son una fuente posible de calcio en la recuperación de estos suelos.

En algunas de las muestras analizadas se comprobó la presencia de yeso pero las cantidades presentes son insuficientes para proveer calcio activo en las reacciones de intercambio y poder desplazar el sodio absorbido.

El P.S.I. perjudicial de estos suelos, su reacción alcalina, y en varios casos el bajo nivel de calcio, afectan adversamente el desarrollo de las plantas al ocasionar una baja aprovechabilidad de calcio, fósforo y de algunos elementos menores como hierro, cobre, manganeso, boro y zinc.

Las malas propiedades físicas de estos suelos se deben al exceso de sodio intercambiable y al efecto cementante de los carbonatos alcalinotérreos, que en muchos casos están formando capas endurecidas e impermeables; por otra parte, esto dificulta la lixiviación de las sales perjudiciales y demás labores de recuperación.

Para que el efecto del sodio no fuera tan perjudicial sería deseable que la relación Ca; Mg fuese amplia y no estrecha como en el caso presente; así, el magnesio está actuando desfavorablemente y comportándose como un contenido alto de sodio, (Joffre y Zimmerman, 18).

Los valores de la razón de absorción de sodio (R.A.S.), se pueden tomar como un estimativo de la tendencia que existe a acumularse sodio en el complejo de cambio. En los suelos clasificados como salino-sódicos se encontraron los valores de R.A.S. más altos, especialmente en las capas superiores; esto indica el peligro de una mayor acumulación de sodio en ellas.

En los sódicos se presentaron algunos valores altos en el subsuelo; para los otros suelos el R.A.S. fué bajo en las capas inferiores. En estas tres últimas agrupaciones de suelos no hay peligro de acumulación de sodio en el estrato superior, si se tiene en cuenta solamente el R.A.S.

### Sugerencias.

El manejo inadecuado que se practica en algunos de los predios de los suelos estudiados está contribuyendo a empeorar el problema. Una precaución importante que se debe observar es evitar que las sales presentes en la segunda capa, en donde frecuentemente se encontraron acumuladas, afloren a la superficie.

Las sales solubles presentes en estos suelos podrían lixivarse mediante riesgos adecuados y calculados, siempre y cuando se establezcan buenos drenajes y se planeen aplicaciones de enmiendas tales como yeso, azufre, y materia orgánica; teniendo en cuenta que el sodio está presente en cantidades peligrosas, no deben efectuarse riesgos intensos sin aplicar al suelo los debidos correctores.

Estas prácticas, sin embargo, están limitadas por el factor económico, las condiciones del suelo, la profundidad a que se encuentran las sales solubles, la clase de sales, la capacidad de cambio del suelo y por otros factores que deben tenerse en cuenta antes de adelantar un programa de habilitación; en el presente trabajo se han estudiado varios de ellos.

La presencia de altas cantidades de sales de calcio insolubles, hace pensar en la posibilidad de aplicar sustancias acidificantes que las solubilicen y permitan la liberación del calcio para que desplacen el sodio del complejo de cambio.

Por lo tanto, sería conveniente hacer investigaciones de campo o de invernadero con azufre, yeso, materia orgánica y lixiviación antes de emprender un trabajo de recuperación.

Castilla (5), realizó un estudio similar al propuesto en un suelo del Valle del Cauca y encontró que el azufre era realmente benéfico y económico a un nivel de 500 kgs./Ha., lo mismo que el yeso en una dosis de 1.000 kgs./Ha. complementados con tratamientos de riego. La cantidad de azufre y yeso a aplicar en cada caso específico puede calcularse aproximadamente si se tiene en cuenta que 2.5 Ton./Ha. de azufre o 13.55 Ton./Ha. de yeso, reemplazarán, teóricamente, 3 m.e./100 gm. de sodio, (Russell, 35).

La aplicación de materia orgánica sería conveniente para mejorar las condiciones físicas del suelo y el drenaje interno cuando se ha establecido un programa de avenamiento; además, ayudaría al desplazamiento del sodio por la acción de los iones  $H^+$  que se forman por su transformación.

El problema existente en estos suelos se puede agravar si en su manejo no se tienen en cuenta otros factores como la calidad de las aguas para riego, las fluctuaciones del nivel freático y el requerimiento de drenaje o requisito de lixiviación.

Además, es necesario determinar la fertilidad del suelo para prevenir su disminución cuando se practiquen lixivitaciones; si es necesaria la aplicación de fertilizantes, deben preferirse aquellos que tengan una acción residual ácida.

Los suelos menos afectados podrían dedicarse a usos diferentes del actual; así por ejemplo se podría pensar en plantar cultivos resistentes a la salinidad tales como algodón, alfalfa, arroz, sorgo, pasto Argentina y Rhodes y algunas variedades de caña de azúcar, siempre y cuando se practiquen las normas de manejo apropiadas y basándose siempre en previas investigaciones.

## VI. CONCLUSIONES

Por los resultados obtenidos en el reconocimiento y análisis químico de los suelos estudiados, con el objeto de conocer su tipo y grado de salinidad, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- 1.—Según la clase de salinidad del estrato superior los suelos de esta región se pueden separar en cuatro grupos:
  - a. salino-sódicos.
  - b. salinos.
  - c. sódicos.
  - d. no salinos - no sódicos.
- 2.—Teniendo en cuenta tanto las características del suelo como las del subsuelo, se considera que son predominantemente salino-sódicos, con propiedades bastante similares.
- 3.—Los factores que están perjudicando el desarrollo normal de las plantas son:

- a. Exceso de sales solubles y de sodio intercambiable en la zona de las raíces.
  - b. Desequilibrio entre los cationes intercambiables, especialmente entre el calcio y el magnesio que se presentan frecuentemente con una relación menor de uno. Los cationes absorbidos en mayor cantidad son el magnesio y el sodio.
  - c. Acción compleja de la reacción alcalina o fuertemente alcalina.
  - d. Malas propiedades físicas de los suelos, ocasionadas en gran parte por el exceso de sodio y magnesio intercambiables, y por la acción fuertemente cementante de abundantes carbonatos alcalinotérreos.
- 4.— El grado de salinidad más peligroso se encuentra en los suelos que son salino-sódicos.
- 5.— Los valores para la capacidad de cambio en su mayoría son altos y la saturación del complejo de cambio siempre es mayor de 80%.
- 6.— Las sales solubles que se presentan principalmente, en orden de prioridad, son:
- a. sulfatos de sodio y magnesio.
  - b. bicarbonatos de sodio.
  - c. cloruros de sodio, magnesio y potasio.
  - d. sulfatos y cloruros de calcio.
  - e. bicarbonatos de potasio.
- 7.— Deben determinarse los procedimientos más efectivos y económicos para el manejo y habilitación de estos suelos, pues existe el peligro inminente de una mayor acumulación de sales y de sodio de los estratos superiores, por falta de prácticas adecuadas en el manejo del suelo.

## VII. RESUMEN

En este trabajo se estudió el tipo y grado de salinidad de los suelos de una región del Valle del Cauca; se presentan las descripciones y el análisis químico de 22 perfiles tomados hasta 1.20 m. de profundidad.

Entre otras, se hicieron las siguientes determinaciones: cationes y aniones solubles e intercambiables, capacidad de cambio, conductividad eléctrica, carbonatos alcalino-térreos y pH.

En la revisión de literatura se trataron los aspectos de la nomenclatura, génesis, propiedades químicas y físicas y relaciones de las plantas con la salinidad.

Discutidos los resultados, las principales conclusiones fueron las siguientes:

1.— Los suelos de esta región se pueden separar en 4 grupos:

- a) salino-sódicos.
- b) salinos.
- c) sódicos.
- d) no salinos-no sódicos.

2.— El grado de salinidad más peligroso se encontró en los suelos salino-sódicos.

3.— Los cationes y aniones predominantes fueron el sodio, el magnesio, los sulfatos y los bicarbonatos.

4.— Existe el peligro inminente de una mayor acumulación de sales y de sodio en los estratos superiores, por falta de prácticas adecuadas en el manejo del suelo.

#### S U M M A R Y

The type and grade of salinity of soils in a region of the Cauca Valley was studied in this work; the description and the chemical analysis of 22 profiles taken down to 1.20 m. depth is presented.

The following determinations were made among others: soluble and exchangeable cations and anions, exchange capacity, electrical conductivity, alkaline earth carbonates and pH.

In the revisión of literature, the aspects of nomenclature, genesis, chemical and physical properties and the relation of plants with salinity were treated.

The principal conclusions on the results discussed were the following:

1.— The soils of this region can be separated in 4 groups:

- a) saline-sodic.
- b) saline.
- c) sodic.
- d) non saline - non sodic.

2.— The most dangerous grade of salinity was found in the saline-sodic soils.

3.— The predominant cations and anions were sodium, magnesium, sulfates and bicarbonates.

4.— There exists the imminent danger of a major accumulation of salts and sodium on the upper layers due to a lack of adequate practices in soil management.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

1. ANDERSON, J. V.— Characterization of some halomorphic soil and their normal associates in the Yakima Valley. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 19: 328-330. 1955.
2. BOWER, C. A. and L. M. TURK.— Calcium and magnesium deficiencies in alkali soils. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 38: 723-727. 1946.
3. —————, R. F. REITEMEIER and M. FIREMAN.— Exchangeable cation analysis of saline and alkali soils. *Soil Sci.* 73: 251-261. 1952.
4. —————, et al.— Report of the nomenclature committee appointed by the board of collaborators of the U. S. Salinity Laboratory. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 22: 270-271. 1958.
5. CASTILLA, C. A.— Corrección de la alcalinidad de un suelo del Valle con aplicaciones de azufre, yeso y lixiviación. Estudio en el invernadero. *Acta Agronómica.* 4: 1 - 14. 1954.
6. CHAPMAN, H. D.— Algunos efectos químicos de las aguas de riego en los suelos. *Agricultura de las Américas.* 7: (8): 20-22, 60-61. 1958.
7. CHENG, K. L. and R. H. BRAY.— Determination of calcium and magnesium in soil and plant material. *Soil Sci.* 72: 449-458. 1951.
8. CHRISTIANSEN, J. E.— Some permeability characteristics of saline an alkali soils. *Agr. Egin.* 28: 147-150, 153-154. 1.947.
9. FIELDS, et al.— Estimation of exchangeable cations in soils with the Beckman Flame Spectrophotometer. *Soil Sci.* 72: 219-232. 1951.
10. FITTS, J. W., H. F. RHOADES and E. S. LYONS.— Slick spots in Nebraska. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 31: 823-831. 1939.
11. FORTOUL, E.— Observaciones de suelos salinos en Colombia. Facultad de Agronomía, Medellín. 44 p. 1952. (tesis no publicada).
12. HAYWARD, H. E.— The control of salinity. U. S. Department of Agriculture. *Yearbook of Agriculture.* 1947: 547-553. 1947.
13. ————— and C. H. WADLEIGH.— Plant growth os saline and alkali soils. *Advances in Agronomy.* New York, Academic press Inc. 1: 1-35. 1949.
14. HOAGLAND, D. R., Y. C. Martin and G. R. STEWART.— Relation of the soil solution to the soil extract. *Your. Agr. Res.* 20: 311-395. 1920.
15. INSTITUTO DE FOMENTO ALGODONERO.— Estudios preliminares de suelos del departamento del Magdalena y la intendencia de la Guajira. Bogotá. 1: 1-71. 1957 a.
16. —————.— Estudios preliminares de suelos del departamento del Magdalena y la intendencia de la Guajira. Bogotá. 2: 1-95. 1957 b.

17. INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR.— Estudio de suelos del distrito de irrigación del río Coello. Departamento del Tolima. Bogotá. 198 p. 1954.
18. JOFFRE, J. S. and M. ZIMMERMAN.— Sodium, calcium and magnesium rations in the exchange complex. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 9: 51-55. 1944.
19. KELLEY, W. P.— Alkali soils. Their formation, properties and reclamation. New York. Reinhold Publishing Corporation. 176 p. 1951.
20. LAGERWERFF, J. V.— Comparable effects of adsorbed and dissolved cations on plant growth. *Soil Sci.* 86: 63-69. 1958.
21. LOZANO, M.J.— La reclamación de suelos importante necesidad agrícola. *Agricultura de las Américas.* 7: (11): 15-18. 1958.
- ✓ 22. MAGISTAD, O. C. and J. E. CHRISTIANSEN.— Saline soils, their nature and management. U. S. Department Of Agriculture. *Circ.* 707: 1-32. 1944.
23. MARTINEZ, L. A.— Problemas de salinidad del Valle de Juárez, Chich., en relación con la escasez de agua de gravedad para riego y con la explotación de mantos subterráneos. México. Secretaría de Recursos Hidráulicos. Memorandum técnico 133: 1-12. 1958.
24. MATELSKI, R.P. and C. H. YIEN.— A rapid field and laboratory procedure for determining the sodium content of soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 22: 500-502. 1958.
25. MAZOYER, R.— Possibilités d'emploi du versenate pour le desage du calcium et du magnesium échangeables dans les extraits de sols. *Annales Agronomiques* 5: 1009-1016. 1954.
25. MUNSELL.— Soil color charts. Baltimore, Munsell color Company Inc. 1954.
27. MERKLE, F. G and E. C. DUNKLE.— Soluble salt content of greenhouse soils as a diagnostic aid *Jour. Amer. Soc. Agron.* 36: 10-19. 1944.
28. POSADA, A.— Algunas propiedades químicas de nueve suelos del Valle del Cauca. *Acta Agronómica* 6: 135-141. 1956.
29. PUFFELES, M.— The influence of exchangeable ions and neutral salts on the pH of soils. *Jour. Amer. Soc. Agron.* 31: 761-766. 1939.
30. RAMIREZ, E.— Los suelos salinos y alcalinos. Facultad de Agronomía del Valle, Palmira, Colombia. 26 p. 1958. (mimeografiado).
31. RAMIREZ, G.— Variaciones en el contenido de nutrientes de suelos del Valle, cerca a Palmira, Colombia. *Acta Agronómica.* 1: 231-233. 1951.
32. RAMOS, G.— Caña de azúcar. Facultad de Agronomía del Valle, Palmira, Colombia. 77 p. 1951. (conferencias mimeografiadas).
33. REITEMEIER, R. F.— Semimicro análisis of saline soils solutions. *Indus. and Engin. Chem. Analyt. Ed.* 15: 393-402. 1943.

34. REITEMEIER, R. F.— Effect of moisture content on the dissolved and exchangeable ions of soils of arid regions. *Soil Sci.* **61**: 195-214. 1946.
  35. RUSSELL, E. J.— Las condiciones del suelo y el desarrollo de las plantas. G. González, traductor. 8ª ed. Madrid, Aguilar S. A. 770 p. 1954.
  36. SAYEGH, A. H., L. A. ALBAN and R. G. PETERSEN.— A sampling study in a saline and alkali area. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **22**: 252-256. 1958.
  37. SOIL SURVEY STAFF.— Soil survey manual. U. S. Department Agriculture. Handbook 18. 503 p. 1951.
  38. SOWEL, W. F. and R. D. ROUSE.— Effect of sodium on cation content of leaves and bell production of cotton plants grown in solution cultures in growth chamber. *Soil Sci.* **86**: 70-74. 1958.
  39. STORIE, E.— An index for rating the agriculture value of soils. California, Alkali Agr. Exp. Sta. Bul. 556. 31-33. 1937.
  40. THOMAS, F. H. and J. E. GIDDENS.— Release of nonexchangeable sodium and potassium to exchangeable forms. *Soil Sci.* **85**: 273-277. 1958.
  41. UNITED STATES SALINITY LABORATORY STAFF.— Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Department Agriculture. Agriculture Handbook 60. 160 p. 1954.
  42. WILLITS, N. y A. POSADA.— Observaciones sobre la fertilidad y otras problemas de los suelos de la región central del Valle del Cauca. *Acta Agronómica.* **4**: 239-247. 1954.
-