



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLAN

DETERMINACION DE LAS PROPIEDADES FISICAS Y
QUIMICAS, PARA EL CULTIVO DE MAIZ, EN SUELOS
DEL EX-RANCHO ALMARAZ.

F. E. S. CUAUTITLAN (CAMPO 4).

T E S I S

Que para obtener el título de:

Q U I M I C O

p r e s e n t a n

JAVIER GODINEZ COVARRUBIAS

CELIA ELENA VALENCIA ISLAS

DIRECTOR DE TESIS: Q. RAFAEL GARCIA BARRERA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

INDICE

I. INTRODUCCION	1
II. GENERALIDADES	3
II.1. El Maíz y su Importancia como alimento en México	3
II.2. El Suelo como Medio para el Desarrollo de las plantas ..	4
II.3. Propiedades Físicas	6
II.3.1. Textura	6
II.3.2. Espacio Poroso	7
II.3.3. Contenido de Sales Solubles	8
II.4. Propiedades Químicas	8
II.4.1. Reacción del Suelo (pH).....	10
II.4.2. Materia Orgánica	11
II.4.3. Nitrógeno Asimilable	12
II.4.4. Fósforo Asimilable	13
II.4.5. Potasio Asimilable	14
II.4.6. Calcio Asimilable	16
II.4.7. Magnesio Asimilable	17
II.4.8. Azufre Asimilable	18
II.4.9. Cloro Asimilable	19
II.4.10. Hierro Asimilable	20
II.4.11. Manganeso Asimilable	21
II.4.12. Sodio Intercambiable	23
II.4.13. Potasio Intercambiable	24
II.4.14. Calcio Intercambiable	25

III. PARTE EXPERIMENTAL	27
A. Introducción a la Parte Experimental	27
B. Toma y Preparación de Muestras	29
III.1. Determinación de las Propiedades Físicas	32
III.1.1. Determinación de Textura	32
III.1.2. Determinación de Porcentaje de Espacio Poroso	35
III.1.3. Determinación de Sales Solubles	38
III.2. Determinación de Propiedades Químicas	46
III.2.1. Determinación de pH	46
III.2.2. Determinación de Materia Orgánica	48
III.2.3. Determinación de Nitrógeno Total	51
III.2.4. Determinación del Porcentaje de	
Carbonato de Calcio	55
III.2.5. Determinación de Elementos Fácilmente	
Asimilables	56
III.2.5.1. Generalidades de los Métodos Co-	
lorimétricos y Turbidimétricos...	56
III.2.5.2. Preparación de las Soluciones pa-	
ra el trazado de las curvas Tipo. 61	
III.2.5.3. Extracción de Elementos Fácil-	
mente Asimilables	65
III.2.5.4. Determinación de Nitrógeno	
Nútrico Asimilable	67
III.2.5.5. Determinación de Nitrógeno	
Amoniacal Asimilable	72
III.2.5.6. Determinación de Fósforo	
Asimilable	76
III.2.5.7. Determinación de Potasio Asi-	
milable	80

III.2.5.8. Determinación de Calcio Asi- sible	84
III.2.5.9. Determinación de Magnesio Asible	88
III.2.5.10. Determinación de Azufre Asible	92
III.2.5.11. Determinación de CloroAsible	95
III.2.5.12. Determinación de Hierro Asible	99
III.2.5.13. Determinación de Manganeso Asible	104
III.2.6. Determinación de Elementos Intercambiables..	109
III.2.6.1. Generalidades del Método Flexométrico	110
III.2.6.2. Preparación de soluciones para el trazado de las curvas tipo ...	113
III.2.6.3. Extracción de Elementos Intercam- biables	113
III.2.6.4. Trazado de las curvas tipo y de- terminación de sodio, potasio y calcio intercambiables	115
IV. DISCUSION DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES	120
IV.1. Discusión de los Resultados	120
IV.2. Conclusiones.....	127
- Apéndice I Preparación de Soluciones	129
- Apéndice II Línea de Regresión, Método de Mínimos Cuadrados ...	136
- BIBLIOGRAFIA	142

I. INTRODUCCION

México, como la mayor parte de los países en desarrollo, carece de una tecnología adecuada para la explotación racional de sus suelos agrícolas. Se conocen dos formas de cultivar la tierra, la extensiva y la intensiva; en nuestro país predomina la primera que trata de aprovechar las condiciones ecológicas favorables tales como la temporada de lluvias, carece de planeación en la rotación de cultivos y de evaluaciones previas de las condiciones físicas y químicas del suelo a cultivar. En cambio, la agricultura intensiva, que muy lentamente viene implantándose en el país, se basa en el conocimiento científico del medio geográfico, en el empleo adecuado de maquinaria, semillas mejoradas, riego y sistemas de drenaje, y además se apoya en los análisis de suelos para la dosificación adecuada de abonos, fertilizantes, insecticidas, etc.

El éxito o el fracaso de los rendimientos deseables en una cosecha, dependen en gran medida del manejo adecuado de los suelos; en éste sentido, la Química, por medio de los análisis de suelos, puede contribuir de manera importante al desarrollo de la agricultura intensiva, proporcionando al agrónomo o al extensionista agrícola, a través de una serie confiable de determinaciones, un mejor conocimiento del suelo que será objeto de explotación ya que éste le permite recomendar el tratamiento adecuado a las características del cultivo que desea obtener.

No todos los cultivos tienen los mismos requerimientos de nutrientes para su desarrollo, así como no todos los suelos por sus

características físicas y químicas son los convenientes para cualquier tipo de planta, por ésto, es necesario conocer aquellas condiciones que un cultivo requiere en particular para su buen desarrollo. Por otro lado, la evaluación de los nutrientes de un suelo no pueden determinarse de una vez para siempre, sino que se necesitan estudios continuos para tener el suelo en condiciones satisfactorias de productividad, haciendo las correcciones apropiadas al final de cada ciclo agrícola o en el momento que sea detectada una carencia en el cultivo.

El objetivo de este trabajo, fué evaluar las propiedades físicas y químicas de algunas parcelas del ex-Rancho Almeraz, F.E.S. Cuautitlán (Campo 4); los resultados de este estudio se proporcionaron al Departamento de producción Agrícola, con el propósito de dar un marco de referencia para la aplicación de abonos y fertilizantes en los suelos destinados al cultivo de maíz durante el ciclo agrícola de 1980 en dicha escuela.

En este trabajo, se consideraron los principales parámetros que deben conocerse previamente en cualquier suelo, para contribuir a la obtención de una cosecha provechosa de maíz.

II. GENERALIDADES

II.1. El maíz y su importancia como alimento en México.

El maíz es originario del Continente Americano y su cultivo como cereal se remonta a tiempos prehistóricos, esta gramínea ha sido un elemento predominante en la dieta de los pueblos de América, jugando un papel importante en el desarrollo de los mismos (63).

El maíz es una planta anual, pertenece a la familia de las gramíneas, al género *Zea Mays* L., el que cuenta con una especie, pero se le conocen diferentes variedades. Fue el único cereal cultivado por la mayoría de los pueblos indígenas del continente desde tiempos inmemoriales; varias culturas locales lo utilizaron como alimento principal: los mayas, los aztecas, los incas y en gran proporción la civilización norteamericana (1) (3).

En México se destina al cultivo de este grano, más de la mitad de la superficie agrícola del país, el 90 % de este cultivo se realiza en tierras de temporal ya que tiene una gran adaptación a las diferentes condiciones climatológicas regionales y reviste una gran importancia económica y social. Actualmente el maíz representa más de las tres cuartas partes del consumo de cereales, siendo la tortilla el producto más valioso como sustento, sobre todo en las zonas rurales del país (30).

El maíz aunque de buen valor nutritivo, no es suficiente como alimento único, ya que su proteína posee varios aminoácidos li-

sitantes, sin embargo desde el punto de vista de su rendimiento — por área de cultivo y su disponibilidad y precio, tradicionalmente ha constituido el principal aporte nutricional de los grupos sociales económicamente débiles de México.

La calidad y cantidad de la producción de maíz, dependen de varios factores, tales como la fertilidad del suelo, el clima la variedad cultivada etc.; sin embargo, tanto el aumento en la extensión superficial que puede ponerse en cultivo como los rendimientos por unidad de superficie, se mejoran aplicando una tecnología acorde con la importancia socioeconómica y las necesidades crecientes que el país tiene por este cereal.

II.2. El suelo como medio para el desarrollo de las plantas.

El suelo es una sustancia notable. Es la capa superior de la tierra que se ha ido formando lentamente por la descomposición del material rocoso subyacente bajo la acción de las condiciones atmosféricas (clima) y de la vegetación (formación in situ), o mediante el depósito de materiales acarreados por los ríos o mareas (suelos aluviales), o por el viento (loess o suelos de cenizas volcánicas) (14).

Los suelos difieren principalmente en sus aptitudes para suministrar los diversos nutrientes a las plantas, debido a diferencias en composición del material rocoso del cual están formados y de las diferencias de clima. Los suelos están constituidos por una mezcla de varios componentes de diferentes clases de partículas mi

nerales que proceden de la roca madre, y materia orgánica que deriva principalmente de residuos vegetales y hasta cierto punto, también de residuos animales, así como de agua y aire en cantidades variables (28).

Los suelos pueden ser pobres en nutrientes por naturaleza, o pueden empobrecerse debido a su extracción a través de los cultivos, siendo un problema de gran importancia en agricultura, mantener un nivel conveniente de nutrientes en forma asimilable, con la finalidad de satisfacer las necesidades de las plantas por cultivar (14).

En términos generales, se considera al suelo dividido en dos capas: una de ellas es la superior o superficial, y la otra es el subsuelo. La capa superficial es la parte del suelo donde se desarrolla el conjunto de raíces que absorben alimento para las plantas. Puede variar en espesor desde 5 a 7 cm. hasta 25 o más. El subsuelo queda inmediatamente debajo de la capa superficial y generalmente se ve separado de ésta por una línea bien definida de distinto color.

Cuando las raíces de un cultivo penetran profundamente en el suelo, como en el caso de los frutales, parte del subsuelo contribuye a la nutrición de la planta. En los cultivos cuyas raíces son cortas, éstos se alimentan de los nutrientes que se encuentran principalmente en la capa superficial. Estas consideraciones son importantes en el momento de realizar un muestreo con el propósito de conocer las propiedades físicas y químicas de un suelo.

II.3. Propiedades Físicas.

Las propiedades agrícolas de los suelos, se deben en gran parte a sus características físicas, las cuales influyen decisivamente en el desarrollo de las plantas. Desde el punto de vista práctico, las de mayor interés para el agrónomo son la textura, conductividad eléctrica y por ciento de espacio poroso.

Las propiedades físicas están íntimamente relacionadas con la rigidez, poder de soporte, libre drenaje, capacidad para almacenar humedad, plasticidad, penetrabilidad, aereación y retención de los nutrientes vegetales; condiciones que determinan los posibles usos que el hombre puede dar a un suelo (28) (37).

II.3.1. Textura.

La textura de un suelo se refiere a la distribución de tamaños de las partículas aisladas que lo forman; en los suelos existen gránulos de muy diferentes tamaños cualquiera que sea su composición. Los gránulos cuyo tamaño excede los 2 mm. de diámetro, reciben el nombre de grava y no se consideran en el análisis físico de suelos; los otros se dividen en tres clases según su diámetro medio. El conjunto de partículas de un suelo, cuyo diámetro medio está comprendido entre 2 y 0.02 mm se llama arena; las de diámetro medio comprendido entre 0.02 y 0.002 mm se llama limo y aquellas cuyo diámetro medio es igual o inferior a 0.002 mm forman la arcilla (18) (37).

Debe señalarse que la velocidad y magnitud de muchos procesos tanto químicos como físicos que ocurren en el suelo, están gobernados por la textura, porque ésta determina la superficie en que tienen lugar dichos cambios. Es por esto, que el estudio de las propiedades físicas del suelo, debe principiar por determinar la proporción de las diferentes fracciones de partículas presentes en el mismo. Esta determinación se llama análisis mecánico (28) - (45).

II.3.2. Espacio Poroso.

El espacio poroso de un suelo se refiere al espacio vacío que existe en una unidad de volumen de suelo y generalmente se expresa en por ciento. La porosidad de un suelo es una función de la textura y estructura del mismo. Así, a un suelo de textura gruesa le corresponde un mayor por ciento de espacio poroso que a uno de textura fina.

La importancia del espacio poroso, radica en que facilita el crecimiento y desarrollo de las raíces de las plantas, ya que permite la libre circulación de agua y con ella la mayoría de los nutrientes en disolución; además, permite una adecuada aeración de las raíces; por lo tanto, la provisión de agua, oxígeno y nutrientes para el crecimiento de las plantas, así como la tasa del movimiento del agua en el suelo, están relacionadas con esta propiedad (22) (29).

II.3.3. Contenido de Sales Solubles.

A la salinidad de un suelo, contribuyen el conjunto de todas las sales solubles en agua contenidas en el mismo. Los cationes - que constituyen principalmente a dichas sales son: sodio (Na^+), - calcio (Ca^{+2}) y magnesio (Mg^{+2}); las especies anionicas son a su vez sulfatos (SO_4^{-2}), cloruros (Cl^-) y bicarbonatos (HCO_3^-) (34).

El análisis de las sales solubles existentes en los suelos, trata de establecer si existe en ellos cantidad suficiente para - producir interferencia en la germinación de las semillas, en el - crecimiento de las plantas o con la toma de agua por parte de las mismas (24).

Una salinidad excesiva en el suelo, es un factor limitante - para los cultivos, ya que puede originar una presión osmótica excesiva en la solución del suelo; además, algunas de dichas sales pueden resultar tóxicas para las plantas, y si son alcalinas, confiereren propiedades físicas inadecuadas a los suelos (37).

II.4. Propiedades Químicas.

Las plantas están compuestas y se alimentan de nutrientes tomados del aire y del agua contenidos en el suelo; los nutrientes se encuentran en los suelos, predominantemente como constituyentes de minerales y de la materia orgánica, y en menor cantidad, en forma de iones intercambiables y solubles en agua (22).

Los elementos que las plantas toman del suelo, se dividen - en primarios (mayores o macroelementos), secundarios o microelementos (elementos menores u oligoelementos). Esta clasificación - se basa en la cantidad que la planta necesita de cada nutriente y en la probabilidad de que sea necesario suministrar cantidades adicionales a las ya existentes en el suelo (14).

Los elementos que las plantas absorben del suelo, se sabe - que afectan al crecimiento vegetal en una o más de las siguientes formas: son constituyentes del tejido vegetal, actúan como catalizadores y estimulantes en procesos biológicos, efectúan procesos de óxido reducción en la planta, pueden ayudar a regular el pH en la planta, afectan la presión osmótica y la entrada de otros nutrientes a la planta; o bien ayudan al crecimiento vegetal proporcionando un medio más favorable para el desarrollo de las raíces de las siemas (17) (39).

Cada nutriente efectúa tareas definidas dentro de la planta, y ninguno puede ser sustituido completamente por otro, debiendo - trabajar en conjunto para producir los mejores resultados (17).

La carencia o un nivel no adecuado de cualquiera de los nutrientes en los suelos, se manifiesta en la planta por medio de - síntomas más o menos apreciables que repercuten en el rendimiento y calidad de los cultivos. La disponibilidad de los nutrientes sencillos para las plantas, así como la liberación de la mayoría de los elementos nutritivos combinados con la materia orgánica se ven afectados por la reacción del suelo o pH (6).

Para el caso del maíz, se ha encontrado que además de la materia orgánica, y un pH entre 6.5 a 7.5, el suelo debe contener - niveles adecuados de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magne- sio, azufre, hierro, manganeso y cloruros en sus formas asimila- bles; así también una cantidad apropiada de sodio, potasio y cal- cio intercambiables (1).

II.4.1. Reacción del suelo (pH).

El pH de un suelo, depende de diversos factores como son: la temperatura, el contenido en materia orgánica, la época del año y la presencia de compuestos solubles tales como ácidos y ba- ses libres, entre otros. Es quizás la propiedad química más impor- tante de un suelo como medio destinado al cultivo de las plantas; la razón principal de ésto es que muchos procesos biológicos en - el suelo, incluyendo el crecimiento vegetal, dependen en gran me- dida de dicha propiedad.

El pH de un suelo expresa la concentración de iones hidróge- no en la solución del mismo, y la solubilidad que presentan en el suelo los principales elementos que intervienen en la nutrición - vegetal, se ve afectada por la concentración del ión hidrógeno - (22) (24).

Es importante señalar que en la mayor parte de los suelos, la concentración de los iones hidrógeno (H^+), es una función de - la clase y proporción de los iones intercambiables en la superfi- cie de las partículas que constituyen al suelo (22).

II.4.2. Materia Orgánica.

El término materia orgánica de un suelo, incluye a todos aquellos materiales de origen vegetal o animal que se encuentran en diferentes estados de descomposición (34).

La fracción más fina de la materia orgánica del suelo, recibe el nombre de humus e incluye materiales tales como residuos de cosechas, raíces de las plantas, estiércoles, abonos verdes, animales muertos y microorganismos; todos son mezcla de muchas sustancias químicas que han perdido todo vestigio de organización biológica y que vista al microscopio aparece como materia amorfa (34) (37).

La naturaleza química de la materia orgánica de los suelos, es bastante complejo; en realidad se trata de una mezcla orgánica en donde predominan sustancias polimerizadas muy similares a los carbohidratos, ligninas y proteínas. La materia orgánica presenta una función muy importante como fuente de reserva de nutrientes vegetales, los cuales se transforman en formas aprovechables mediante la acción microbiológica y química (34).

El nitrógeno es uno de los elementos básicos de la materia orgánica del suelo; conviene mencionar que el fósforo, azufre, además de carbono y oxígeno, son elementos muy comunes en ella. También, la materia orgánica entra en reacciones de complejación con muchos iones metálicos del suelo, incluyendo potasio, calcio, magnesio, aluminio, cobre, zinc, fierro y otros elementos traza; la magnitud de este fenómeno depende de la naturaleza y concentración

antes de que esta pueda utilizarlo para efectuar la síntesis de proteínas, que es el fin primordial que tiene el nitrógeno en la nutrición vegetal; de este modo, cualquier nitrato que sea absorbido por las raíces de la planta, tiene que ser reducido a la forma amoniacal a través de un proceso biológico en el que están involucradas muchas especies de microorganismos (6) (45).

Las deficiencias de nitrógeno en un cultivo de maíz, se manifiestan por un desarrollo pobre de la planta y muy especialmente del follaje; las plantas toman un color verde amarillento, observándose que las hojas se secan de las puntas hacia el tallo siguiendo la nervadura central y tomando un aspecto de hoja "chasucada". Cuando es muy deficiente el contenido de nitrógeno en el suelo, se observa (principalmente en las plantas cercanas a la madurez), que la parte superior del follaje se mantiene verde, en tanto que las hojas inferiores a partir de la mitad de la caha se encuentran secas totalmente (9) (13).

II.4.4. Fósforo Asimilable.

El fósforo es otro de los elementos indispensables para obtener buenos rendimientos en el cultivo de maíz; se ha reconocido como constituyente del ácido nucleico fitina y de los fosfolípidos. Un adecuado suministro en las primeras etapas de vida de la planta, es importante para el buen crecimiento de las partes reproductivas.

El fósforo también se ha asociado con la pronta madurez de los cultivos, particularmente en los cereales; se considera esencial en la formación de las semillas, encontrándose en grandes can-

tidades en éstas y en los frutos.

El fósforo es absorbido por las plantas, preferentemente en forma de ión monovalente fosfato diácido ($H_2PO_4^-$) y en pequeñas cantidades como fosfato monodécido (HPO_4^{2-}). Estos iones, se encuentran más o menos firmemente unidos al complejo suelo-arcilla y son puestos en libertad por desplazamiento con otros iones como son los nitratos y sulfatos, existiendo entonces una dependencia íntima entre tales iones para hacerse disponibles a la nutrición vegetal. - Se ha comprobado que el pH óptimo para la disponibilidad del fósforo, se encuentre entre 6.5 y 7.5 (45).

La deficiencia de fósforo en el suelo, se manifiesta en las plantas de maíz con un crecimiento lento, raquítico y maduración tardía en las plantas; el rendimiento del grano es bajo con relación al desarrollo del follaje, en las hojas se observa una coloración roja, morada o púrpura de la punta hacia el tallo y de los bordes hacia la nervadura central; en algunos casos la coloración roja puede ser característica genética de la variedad o bien el efecto de alguna enfermedad; además, las mazorcas se fecundan irregularmente deformándose hacia el lugar de la mala fecundación (9) (13).

II.4.5. Potasio Asimilable.

El potasio es un elemento de los más abundantes en el suelo, es absorbido por las plantas en forma de ión potasio (K^+); a excepción del nitrógeno y tal vez calcio, el potasio es absorbido por -

las plantas en cantidades considerables en cooperación con cualquier otro elemento mineral.

A pesar de la abundancia del potasio en los suelos, la cantidad asimilable para las plantas, es generalmente pequeña. El potasio, a diferencia del nitrógeno, fósforo y azufre no forma parte de la materia orgánica. Este elemento permanece activo en la planta quedando muy fácilmente en libertad cuando los restos vegetales vuelven al suelo.

En general, se acepta que las raíces de las plantas intercambian los iones hidrógeno por otros cationes, en el caso del potasio, las raíces de las plantas intercambian los iones hidrógeno por iones potasio de la solución, o de los que están retenidos en la superficie de las arcillas (44) (45).

El potasio difiere de los otros dos elementos mayores, (nitrógeno y fósforo) en que no se sabe que sea un componente de ninguno de los compuestos orgánicos del protoplasma vegetal, no se utiliza en la construcción de los componentes celulares, pero es probable que desempeñe un papel de regulador catalítico en el transporte y síntesis de los carbohidratos, almidones y fibras, en la síntesis de proteínas y en la división celular de tejidos en crecimiento; también interviene en el equilibrio osmótico celular. El potasio aumenta la resistencia a las enfermedades y es de suma importancia para algunas plantas productoras de almidón y fibras.

Cuando existe deficiencia del potasio en un suelo sembrado con maíz, se manifiesta por las siguientes características: las -

plantas se desarrollan con lentitud a partir de la germinación, - las hojas toman un color verde amarillento o francamente amarillo, se secan de los puntas hacia su base y de los bordes hacia la nervadura central como si éstos se "quemáscaran"; cuando es muy fuerte la deficiencia, se observan solamente partes verdes en las hojas, y en tales condiciones no pueden elaborarse los compuestos - que requiere la formación del grano; las plantas mueren prematuramente, las cañas son largas y débiles, las raíces se pudren por ser susceptibles en estas condiciones a las enfermedades fungosas, o son muy débiles para sostener a la caña y la planta se doble; además, las mazorcas no se desarrollan adecuadamente (9) (13).

II.4.6. Calcio Asimilable.

Las funciones fisiológicas específicas del calcio en las plantas, no están claramente definidas; sin embargo, se ha considerado al calcio como necesario para la formación de la lámina media de las células, a consecuencia de su importante papel en la síntesis del pectato de calcio. También se ha encontrado que el calcio favorece la formación y el incremento de la proteína contenida en mitocondria; de ser ésto así, el papel jugado por la mitocondria en el proceso de respiración aeróbica y de suaf, en la asimilación de sales, indica que debe de haber una relación directa entre el calcio y la asimilación de iones en general. Está relacionado con la síntesis de proteínas por su incremento sobre la asimilación de nitratos, además de asociarse con la actividad de ciertos sistemas enzimáticos.

Es un hecho común que las raíces de las plantas, así como - los brotes, no se desarrollan en longitud cuando hay deficiencia - de calcio, el cual es absorbido en la forma de ión calcio (Ca^{+2}); además, este elemento es muy importante para compensar el desequilibrio en el abastecimiento de otros cationes a la planta (44) (45).

Aunque la deficiencia de calcio en las plantas de raíz, no - siempre produce síntomas muy aparentes, hay características que a - veces revelan su ausencia, las más notables son las siguientes: en - las primeras fases del desarrollo de las plantas, se observa que - las hojas se aglutinan pegándose por las puntas, permaneciendo pe - gadas en esta forma a pesar del desarrollo; también suelen presen - tarse manchas de color café en las hojas, las cuales se manifiestan en forma más o menos inmediata a la muerte de dichos órganos (9) (13).

II.4.7. Magnesio Asimilable.

Este elemento, también considerado como nutriente importante para las plantas cultivadas, es absorbido en forma de ión magnesio (Mg^{+2}). Es el único constituyente mineral de la molécula de clorofila, encontrándose localizado en su centro; la importancia del -- magnesio es evidente, ya que la ausencia de clorofila impediría a las plantas autótrofas llevar a cabo la fotosíntesis; el magnesio también se encuentra en cantidades apreciables en las semillas y - parece estar relacionado con el metabolismo del fósforo, considerándose un activador específico de numerosos sistemas enzimáticos

de las plantas. El magnesio se requiere para la activación de muchos enzimas relacionados con el metabolismo de los carbohidratos, siendo muy importante en el ciclo del ácido cítrico, de notable trascendencia en la respiración celular (45).

El magnesio, junto con el azufre están involucrados en la síntesis de lípidos en las plantas oleaginosas, ambos elementos se encuentran en cantidades notables en el contenido de aceite de varios cultivos, incluyéndose al maíz (1).

Cuando el magnesio es muy escaso o no se encuentra en los suelos, se manifiesta en la planta de maíz en la siguiente forma: en las hojas se observan rayas alternadas de color verde claro y amarillo, paralelas a lo largo de la nervadura central; si la falta de este elemento es muy acentuada, las rayas pueden ser de color amarillo muy claro y aún blanco; las hojas se ponen ásperas al tacto y en algunos casos muestran ondulaciones y se hacen quebradizas (9) (13).

II.4.8. Azufre Asimilable.

El azufre es un elemento vital para el desarrollo de las plantas, ya que forma parte de muchas proteínas vegetales. Los aminoácidos cistina y metionina, contienen 26.69 % y 21.49 % de azufre respectivamente; este elemento es también un componente del glutatión, un tripeptido que según muchos investigadores desempeña un papel importante en el proceso de la respiración. El desarrollo de la clorofila se retarda en las plantas que carecen de azufre,

causándoles grandes trastornos.

La mayor parte de este elemento se encuentra contenido en los restos orgánicos del suelo, la descomposición de esta forma de azufre es realizada por los microorganismos que habitan en ésta. Se cree que en primer lugar se forma ácido sulfhídrico (H_2S), el cual se oxida fácilmente pasando a la forma de sulfatos (SO_4^{-2}).

La pérdida de azufre en el suelo se debe a que los sulfatos generalmente son bastante solubles en agua y pueden perderse por lixiviación (lavado), a menos que sean absorbidos por las plantas. Este elemento se absorbe por las raíces de las plantas, exclusivamente en forma de ión sulfato, también se absorbe en pequeñas cantidades bajo la forma de dióxido de azufre (SO_2) a través de las hojas (44) (45).

En general la deficiencia de azufre tiene como consecuencia retardar el crecimiento vegetal, esta carencia se caracteriza por mostrar plantas uniformemente cloróticas de troncos largos y delgados (9).

II.4.9. Cloro Asimilable.

El cloro es absorbido por las plantas en forma de ión cloruro (Cl^-) y solo recientemente ha sido clasificado como elemento esencial. El bromo a concentraciones más altas que el cloro, puede sustituirle en parte, por lo menos de una manera similar a la que el sodio sustituye al potasio.

hoy en día, la mayoría de las deficiencias del cloro han sido observadas en invernaderos experimentales; sin embargo, algunos síntomas de deficiencia se han observado en el campo. El cloro en cantidades excesivas tiene un efecto perjudicial sobre algunas -- plantas, las cuales manifiestan adelgazamiento en las hojas que -- tienden a enrollarse (9) (45).

Los síntomas de deficiencia no son fácilmente identificables; sin embargo, las plantas afectadas se marchitan y vuelven cloróticas (amarillamiento en ciertas zonas de las hojas, que en ocasiones adquieren un color bronceado). En invernaderos experimentales se ha observado que la deficiencia de cloro se asocia con una reducción en el crecimiento de las raíces. Nada se sabe sobre el papel del cloro en la nutrición, aparte de que es requerido para el crecimiento y desarrollo de algunas plantas, incluyéndose el m fz (1) (9).

II.4.10. Hierro Asimilable.

Las plantas y los animales requieren cantidades relativamente pequeñas de hierro, pero éste elemento es indispensable para el desarrollo y actividad de la clorofila en las plantas y de la hemoglobina en los animales (3).

El hierro como constituyente notable de varias enzimas, desempeña un importante papel como catalizador en la planta, siendo por ello un elemento clave en diversas reacciones de óxido reducción, como son la respiración, la fotosíntesis, la reducción de ni

tratos y sulfatos (26).

El fierro es absorbido por las raíces de las plantas en forma iónica o como sales orgánicas complejas. Aunque el ión férrico (Fe^{+3}) puede ser absorbido por las plantas, la forma activa metabólicamente parece ser el ión ferroso (Fe^{+2}). Se ha observado que los tejidos de las plantas que contienen grandes cantidades de fierro férrico, pueden presentar síntomas de deficiencia de fierro ferroso (45).

El fierro existe en los suelos en cantidades muy variables y generalmente altas, pero en la mayoría de los casos, solo una pequeña fracción corresponde a formas asimilables. La fracción más útil para las plantas es la extraíble con ácidos diluidos, que es fácilmente reducible (37).

La falta de fierro en las plantas se manifiesta principalmente en las hojas jóvenes, éstas permanecen pequeñas denotando una coloración amarillo pálido que pueden cambiar a blanca, esta deficiencia puede ser más común en árboles y arbustos que en las plantas anuales, las cuales parecen ser resistentes. A esta deficiencia se le conoce como clorosis férrica (9) (45).

II.4.11. Manganeso Asimilable.

La cantidad requerida de este elemento por muchas especies de plantas es pequeña, y cuando aparecen cantidades apreciables en forma fácilmente disponible puede ocurrir una toxicidad. La disponibilidad del manganeso para las plantas, está influida por un cier

to número de factores, estando el nivel entre deficiencia y toxicidad relativamente próximo (45).

De la misma manera que el hierro y otros metales pesados, el manganeso tiene funciones de activación en algunas enzimas relacionadas con el metabolismo de carbohidratos, reacciones de fosforilación y ciclo del ácido cítrico; por otro lado, conjuntamente con otros metales, interviene en la activación de algunas otras enzimas. También se ha atribuido al manganeso funciones en ciertos procesos fitoquímicos.

El manganeso del suelo se considera que existe en tres estados de oxidación: manganeso (II), que se haya presente como catión en la solución del suelo; el manganeso (III), que se supone existe en forma de trióxido de manganeso (Mn_2O_3) que es un óxido muy inestable; y el manganeso (IV) en su forma de dióxido de manganeso (MnO_2) que es muy estable. Hay un equilibrio dinámico entre estas tres formas, el cual está en función del valor de pH del suelo — (45).

El manganeso es absorbido por las plantas en forma de ión Mn^{+2} y en forma de ciertos complejos orgánicos, tales como los formados con EDTA (ácido etilendiaminotetracético).

Los síntomas de deficiencia de manganeso, generalmente se presentan en hojas jóvenes, en forma de una clorosis internervial de apariencia similar a la de magnesio, en ella adquieren las áreas foliares intercostales una tenue coloración verde, conservando los nervios su color obscuro. El manganeso es también imprescindible

dible en la formación de la clorofila, en la reducción de los nitratos y en la respiración (26).

Se ha demostrado que para un desarrollo vegetal normal, es necesario que exista un equilibrio adecuado entre fierro y manganeso; es decir, para cualquier planta en particular, es conveniente que exista una relación determinada entre fierro y manganeso, si un suelo tiene un contenido elevado de manganeso, es posible que pueda absorberse demasiado de éste en relación al fierro; por otro lado, los síntomas de toxicidad de fierro se corresponden con los de deficiencia de manganeso y viceversa (26).

II.4.12. Sodio Intercambiable.

Aunque la falta de sodio en el suelo no se considera un problema, si puede serlo su exceso porque produce en los suelos condiciones físicas y químicas nocivas para las plantas, debido a que baja la permeabilidad del suelo al aire y al agua; forma costras densas e impenetrables en la superficie del suelo que en gran parte impiden la salida de las plantas jóvenes (22)(37).

Otro efecto nocivo del sodio intercambiable en el suelo, es su influencia en el pH, el cual aumenta a medida que el porcentaje del sodio intercambiable aumenta también. Existen dudas acerca de si los efectos tóxicos de sodicidad son debidos al alto porcentaje de sodio intercambiable, o bien al alto valor de pH que acompaña. Existen pruebas más o menos aceptables para decir con certeza que el contenido alto de sodio intercambiable es capaz, inde-

pendientemente del valor de pH, de afectar el crecimiento vegetal; la forma como lo afecta no esta perfectamente clara, la mejor respuesta es que el sodio induce deficiencias de otros nutrimentos, - siendo las de calcio y magnesio las más notables, ya que el exceso de sodio intercambiable tiende a provocar precipitaciones de calcio y magnesio solubles en forma de carbonatos. El pH alto que involucra una alta concentración de sodio intercambiable, disminuye la solubilidad de fierro y manganeso; así como causa la disolución de la materia orgánica; lo cual, al ser depositada por capilaridad en la superficie del suelo forma una capa oscura característica - en los suelos ácidos, aunque no fundamental para identificarlos (6) (22) (34).

II.4.13. Potasio Intercambiable.

Desde el punto de vista químico, el potasio se divide en -- tres clases: no intercambiable, intercambiable, y soluble en agua. El primero de ellos se encuentra en la mayoría de los suelos, comprende la mayor parte de este nutrimento siguiéndole el intercambiable y por último el soluble en agua (34).

El potasio intercambiable se haya en equilibrio con el soluble y el potasio no intercambiable por medio de la siguiente ecuación:



De acuerdo con este concepto, un cambio en la concentración de alguna de estas formas de potasio, tiene un subsecuente efecto en la concentración de las otras dos formas; así, la pérdida de -

potasio soluble o intercambiable por medio de absorción de las -- plantas o por lixiviación, causa la liberación espontánea del potasio no intercambiable; por otro lado, el incremento en la concentración de las formas solubles e intercambiables, causa migración de potasio hacia la capa mineral del suelo donde se halla en su forma no intercambiable (22).

En la mayoría de los suelos, las cantidades de potasio soluble e intercambiable no son iguales, y el proceso por el cual son absorbidos por las plantas, también es diferente; se ha observado que las plantas absorben aunque en pequeñas cantidades, potasio -- que no se encuentra presente en su forma intercambiable o hidrosoluble (34).

II.4.14. Calcio Intercambiable.

El calcio, es el catión intercambiable más abundante en la mayoría de los suelos y raras veces constituye un factor limitante para la producción de las cosechas (6).

El calcio sufre menos el proceso de lixiviación que los otros cationes intercambiables del suelo tales como sodio, potasio y magnesio; debido a que está más fuertemente retenido en los sitios de intercambio. El calcio tiende a acumularse en forma de -- carbonato e hidróxido de calcio, en las regiones en que las lluvias son insuficientes.

El calcio intercambiable es considerado como de inmediata -- disponibilidad para la planta y se encuentra asociado con la --

fracción arcillosa de los suelos. Un nivel no adecuado de este elemento en los suelos, ocasiona cambios en el pH, lo que se traduce en deficiencias severas de nutrientes; o bien, se produce un exceso de iones que pueden resultar tóxicos a las plantas (6) (34).

El calcio también contribuye a las propiedades físicas adecuadas de los suelos, ya que ayuda a mantener los agregados de éstos (22).

III. PARTE EXPERIMENTAL

A. Introducción a la Parte Experimental

El análisis cuantitativo de suelos se basa en una serie de procedimientos analíticos que han sido desarrollados para aplicarse a un tipo específico de éstos.

Dado que los suelos varían ampliamente en cuanto a sus características físicas y químicas, existen sustancias en algunos suelos que interfieren con el procedimiento a utilizar, pero no lo hacen en otros; por lo que no es conveniente seguir una serie de métodos de manera indiscriminada, sino que deben conocerse los principios de éstos y sus posibles interferencias.

En la figura 1 se muestra la secuencia de los diferentes pasos seguidos en este trabajo para el análisis físico y químico de las muestras en estudio.

figura 1

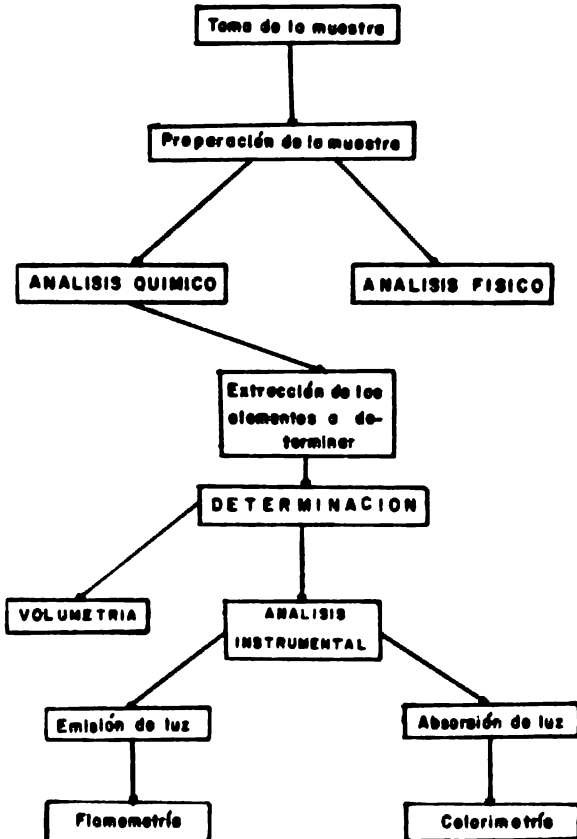


Diagrama de flujo para el Análisis Físico y Químico de suelos

8. Toma y Preparación de Muestras.

Los resultados de un análisis de suelos, por muy refinados que sean los métodos empleados en su realización, no son de utilidad si han sido efectuados sobre una muestra que no es representativa del suelo que se desea evaluar. Por ello, el muestreo debe de hacerse de acuerdo a las características del terreno en la época adecuada a los fines que persiga el análisis.

El estudio que aquí se presenta corresponde a suelos planos, prácticamente sin pendientes, dedicados a cultivos básicos tales como avena, cebada, alfalfa y maíz.

Para este trabajo se recolectaron 131 submuestras de seis parcelas pertenecientes al ex-Rancho Almeraz, siguiendo una línea de zig-zug a lo largo de cada parcela (figura 2).

Para tomar cada submuestra se procedió de la siguiente manera:

- Se limpia con una pala la capa superficial no incorporada al suelo.
- Se hacen cortes verticales hasta formar un pozo en forma de "V" de 30 o 40 cm. de profundidad.
- Se corta una rebanada de uno de los lados y la parte central de ésta se pasa a una bolsa de polietileno, habiéndose despreciados los bordes, y tratando que la cantidad colectada sea aproximadamente igual para todas las submuestras.

Con el fin de obtener una muestra representativa de cada parcela, se colecta un número adecuado de submuestras, tomando en cuenta la extensión del terreno, la coloración del suelo, el tipo de vegetación etc. Las submuestras se mezclan con una pala sobre un pedazo de polietileno y empleando el método de cuarteo se selecciona un kilogramo de suelo.

Todas las muestras compuestas (en este caso 9), se secaron al aire y a la sombra en un lugar limpio y libre de contaminación, se pasaron a través de una malla de 2 mm. de abertura, separando las piedras y moliendo los terrones en un mortero de porcelana. Las muestras así preparadas se guardaron en frascos hermeticamente cerrados y etiquetados con los datos necesarios para su identificación.

Número de muestra (n)	Parcela (N)	Cantidad de submuestras colectadas
1	2	11
2	3	12
3	9	14
4	9	11
5	11	17
6	11	17
7	25	13
8	28	16
9	28	20

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
UNAM CAMPO No. 4

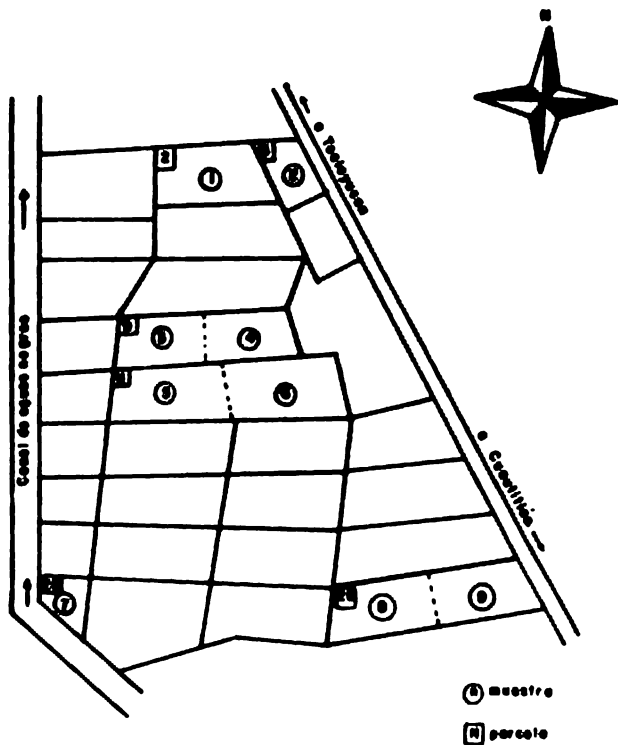


figura 2

III.1. Determinación de Propiedades Físicas.

III.1.1. Determinación de Textura.

La densidad de una suspensión depende del número de partículas suspendidas, por lo que siguiendo el cambio de dicha densidad con respecto al tiempo de sedimentación, se puede determinar la distribución del tamaño de partículas en un suelo; el método de Bouyoucos se basa en este principio (24) (26).

Este método, ofrece la posibilidad de conocer con bastante aproximación los porcentajes de las diferentes partículas que forman un suelo; para trabajos rutinarios de laboratorio es un método confiable y rápido.

Una de las principales interferencias, en la determinación de la textura de un suelo, lo constituye la materia orgánica, debido a que es un agente que propicia la unión de unas partículas con otras; para destruirlo, el procedimiento que comunmente se usa consiste en una oxidación con peróxido de hidrógeno (H_2O_2).

Otros agentes que interfieren en la determinación de textura por este método son: carbonato de calcio ($CaCO_3$), y los óxidos de hierro y aluminio, debido a que impiden la dispersión de las partículas del suelo. El carbonato puede disolverse tratándolo con ácido clorhídrico diluido, los óxidos de hierro y aluminio — también pueden disolverse con reactivos químicos apropiados, pero es poco recomendable hacerlo, ya que los óxidos son parte de la arcilla muy fina o coloidal y deben determinarse como tal.

El propósito de eliminar las interferencias antes mencionadas, es lograr que cada partícula pequeña quede rodeada de una película acuosa que sirva para mantener las partículas separadas. - Generalmente se añaden a la suspensión agentes desfloculantes tales como el oxalato de sodio ($C_2O_4Na_2$) y el hexametáfosfato de sodio o calgón $[(NaPO_3)_6]$ entre otros (28).

Materiales.- Un hidrómetro de Bouyoucos; un equipo para dispersar (batidora y vaso dispersador); una probeta de un litro; un termómetro de 0 a 50 °C; un cronómetro; solución de calgón al 5 %.

Desarrollo.- Se pesan 50 g. de suelo, se vacían en el vaso dispersador, se le agrega agua destilada hasta unos 5 cm. abajo del borde del vaso, se añaden 10 ml. de la solución de agente dispersante calgón y con la batidora se dispersa durante 20 minutos. La muestra dispersada se vacía íntegramente en la probeta y utilizando una pipeta se baja todo el contenido del vaso dispersador y se afora con el hidrómetro dentro.

Se quita el hidrómetro y se tapa la probeta con una mano para balancearla, a fin de que el sedimento formado se incorpore perfectamente a la suspensión. Cuando esto se ha logrado, se coloca la probeta sobre la mesa, y desde el momento que ésta se pone vertical, se acciona el cronómetro y se hace la primera lectura en el hidrómetro a los 40 segundos exactos. Se mide la temperatura con el fin de corregir la lectura en el hidrómetro; así, por cada grado arriba o abajo de 19.4 °C, que es la temperatura básica de la prueba, se suma o se resta 0.36.

Se retire el hidrómetro y se deje en reposo la probeta con la suspensión de suelo durante 2 horas. Después se lee nuevamente en el hidrómetro, sin agitar y teniendo cuidado de que este instrumento no quede pegado a la pared de la probeta (33).

Cálculos y Resultados.- La primera lectura corregida, se divide entre el peso de la muestra (base seca) y se multiplica por 100, esto equivale a la densidad de la suspensión que contiene limo y arcilla, ya que la arena se ha depositado hasta los 40 segundos. Si este valor lo restamos de 100 %, se obtiene el porcentaje de arena.

$$\frac{\text{Lectura 1 corregida}}{\text{peso de la muestra}} \times 100 = \% \text{ limo} + \% \text{ arcilla}$$

$$100 \% - (\% \text{ limo} + \% \text{ arcilla}) = \% \text{ arena}$$

La segunda lectura, representa la densidad debida a la arcilla en suspensión y se trata de igual forma que la primera para obtener directamente el porcentaje de arcilla.

$$\frac{\text{Lectura 2 corregida}}{\text{peso de la muestra}} \times 100 = \% \text{ arcilla}$$

El limo se calcula restando a 100 % la suma de los valores de arena y arcilla.

$$100 \% - (\% \text{ arena} + \% \text{ arcilla}) = \% \text{ limo}$$

Los resultados obtenidos para la texture de las 9 muestras analizadas son los siguientes:

Número de muestra	% Arena	% Limo	% Arcilla	Interpretación
1	63.34	14.0	22.60	franco arcilloso arenoso
2	61.84	18.0	20.16	franco arcilloso arenoso
3	62.42	20.0	17.58	franco arenoso
4	60.78	22.0	17.22	franco arenoso
5	65.78	22.0	13.22	franco arenoso
6	64.78	18.0	17.22	franco arenoso
7	60.06	25.0	14.94	franco arenoso
8	68.78	18.0	13.22	franco arenoso
9	68.78	18.0	13.22	franco arenoso

La interpretación de la textura del suelo se obtiene a partir de los porcentajes de arena, limo y arcilla anteriormente calculados empleando el diagrama o triángulo de clasificación textural, que agrupa a los suelos de acuerdo con la proporción que tengan de los diferentes tipos de partículas existentes en ellos (26) (29).

Nota.- Los valores presentados son el promedio de tres determinaciones para cada muestra.

III.1.2. Determinación del Porcentaje de Espacio Poroso.

El porcentaje de espacio poroso de un suelo, se puede calcular a partir de la densidad aparente (densidad global), y la densidad real (densidad de partícula), si ambas están expresadas en las mismas unidades. Al determinar la densidad aparente de un sue

lo, se toma en cuenta tanto el espacio poroso como el de las partículas sólidas; la densidad aparente de un suelo dado es variable, ya que el volumen de espacio de poro también varía.

Existen varios métodos para determinar la densidad aparente y la densidad real de un suelo, algunos de estos métodos son: el método de la probeta (62), los métodos de la parafina y el picnómetro (26), y el método de la barrena que emplea un tubo de volumen conocido (28); en su mayoría éstos exigen hacer la determinación en el campo o con muestras tomadas sin alteración física.

Para trabajos rutinarios en el laboratorio, el método de la probeta ofrece ventajas en cuanto a versatilidad en la determinación, debido a que con la muestra de suelo preparada inicialmente para las determinaciones físicas y químicas, se pueden obtener así las densidades.

Materiales.- Probetas graduadas de 50 y 100 ml.; balanza — granataria, agua destilada.

Desarrollo.- A una probeta de 50 ml. previamente pesada, se le agrega suelo aforando cuidadosamente a 50 ml., se pesa la probeta con el suelo y se apiza con pequeños golpes sobre la palma de la mano, cuando el volumen del suelo no disminuye más dentro de la probeta, se toma la lectura obteniéndose así el volumen real de la muestra del suelo. El contenido de la probeta, se vacía a otra de 100 ml. la cual contiene 50 ml de agua destilada, se agita tapando con la mano la parte superior de la probeta hasta que no se observe suelo seco, después de 2 minutos en reposo se lee el volumen.

Calculos y Resultados.- Para calcular la densidad aparente, se divide el peso de la muestra seca entre el volumen real que ocupa.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\text{Volumen real}}$$

La densidad real, es la densidad media de las partículas de un suelo, sin incluir el volumen ocupado por los poros. Para fines prácticos pueden emplearse indistintamente los términos densidad real de partícula o de peso específico del suelo, para calcularla se divide el peso de la muestra entre el volumen de agua — que desplaza ésta.

$$\text{Densidad real} = \frac{\text{Peso de la muestra}}{\left[\begin{array}{l} \text{volumen del} \\ \text{suelo + agua} \end{array} \right] - (\text{Volumen del agua})}$$

El porcentaje de suelo que corresponde a partículas sólidas se calcula con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de partículas sólidas} = \frac{\text{Densidad aparente}}{\text{Densidad real}} \times 100$$

Este porcentaje, restado al volumen total (100 %), dará el porcentaje de espacio poroso, de donde tenemos la fórmula:

$$\% \text{ de espacio poroso} = 100 \% - \frac{\text{Densidad aparente}}{\text{densidad real}} \times 100$$

o bien: $\% \text{ de espacio poroso} = (1 - \% \text{ de partículas sólidas}) \times 100$

Los resultados de porcentaje de espacio poroso para las 9 muestras son los siguientes:

Número de muestra	% de espacio poroso
1	45.85
2	45.85
3	46.53
4	46.58
5	47.98
6	47.69
7	48.08
8	48.54
9	50.00

Nota.- Los valores que se presentan son el promedio de cinco determinaciones para cada muestra.

III.1.3. Determinación de Sales Solubles.

La determinación de las sales solubles existentes en un suelo consiste de dos etapas: 1) Preparación de un extracto acuoso y 2) Medición de la concentración de las sales solubles del extracto.

1) La selección del método para preparar un extracto acuoso de suelo, para medir su concentración de sales, depende del propósito de la determinación y de la exactitud requerida. El contenido de agua es aceptable, para evaluar la cantidad de sales solu-

bles en relación con el crecimiento de las plantas, es aquel en el que el suelo se mezcla con agua para formar una pasta saturada, por ser ésta semejante al del medio de crecimiento de los cultivos. El contenido de humedad correspondiente a la saturación del suelo, es la cantidad máxima de agua que puede retener ésta, sin que al practicar una depresión en la pasta formada, se acumule agua libre, además ésta brilla al reflejar la luz, fluye ligeramente cuando se inclina el recipiente que la contiene y se desliza fácil y netamente sobre una espátula (10) (24).

2) La medida de la concentración de las sales contenidas en un extracto de suelo, se realiza basándose en la propiedad que -- tienen éstas de conducir la electricidad al ionizarse en solución. Tomando como base este principio, la medida de la conductividad eléctrica de un extracto de suelo, es directamente proporcional a la concentración total de sales en solución.

La determinación de la conductividad eléctrica, se lleva a cabo mediante la medida de la resistencia eléctrica entre dos electrodos paralelos, sumergidos en una solución o en un extracto. En este sistema, la solución entre los dos electrodos se comporta como un conductor eléctrico en el cual se pueden aplicar las leyes físicas relacionadas con la resistencia (18) (40).

La resistencia eléctrica se define mediante la siguiente ecuación:

$$E = IR$$

donde E es el potencial eléctrico en volts, I la intensidad de la

corriente en amperes y R la resistencia en ohms. La conductividad eléctrica C. E., o conductividad de una solución en mhos, es la inversa de la resistencia en ohms:

$$C. E. = 1/R$$

Por conveniencia es frecuente expresar la conductividad en milimhos (mil veces mhos). La conductividad específica L de una solución, es la conductividad medida a 25 °C entre dos electrodos de 1 cm.² de sección situados a una distancia de 1 cm., pudiendo definirse como la conductividad a través de 1 cm.³ o mhos/cm. y se representa por:

$$L = k C. E.$$

La conductividad específica puede calcularse mediante una celda de varias dimensiones a la que se le asigna una constante de la celda (k) y por el valor de la C. E. medido en la disolución ensayada. Los números obtenidos como expresión de la conductividad eléctrica específica de las disoluciones de suelos son pequeñas, por lo que se ha considerado conveniente expresarlos en milimhos/cm., unidad que ha sido aceptada para la mayoría de los trabajos de salinidad de suelos (8) (24).

La conductividad eléctrica de las disoluciones acuosas de sales, aumenta con la temperatura, el aumento por grado centígrado es aproximadamente del 2 %. La temperatura común para el informe de la conductividad eléctrica es de 25 °C.

Materiales.- Puente de conductividad eléctrica Conductronic Cl 4; celda de inmersión para medida de conductividades con electrodos de platino platinizado; bomba de succión; artraces para vacío; embudo Büchner con capacidad suficiente para toda la pasta de suelo saturada; papel Whatman No. 41; termómetro; espátulas metálicas; vasos de precipitados de 100 ml; piceta balanza granataria; vidrios de reloj; agua bidestilada.

Desarrollo.- La cantidad de muestra de suelo, depende del volumen de la celda de conductividad a emplear y varía entre 200 y 1000 g. de suelo seco al aire y pasado a través de una malla de 2 mm. de abertura.

La muestra de suelo pesada se coloca en un vaso de precipitados y se le agrega agua bidestilada resbalando por las paredes del vaso de manera que pase a través de los grandes capilares. Se añaden nuevas porciones de agua hasta que toda la masa de suelo queda humedecida por capilaridad. Es conveniente añadir cantidades pequeñas de agua a las distintas muestras que se han de analizar sucesivamente, dejando que para cada una de ellas, transcurre todo el tiempo que sea necesario para llegar a la adsorción total de cada porción añadida, antes de añadir una nueva porción de agua a la misma muestra, la cual se agita frecuentemente mediante una espátula.

El contenido de agua es el correcto cuando el suelo no fluye apenas para llenar un hoyo practicado con la espátula, resbalando la mezcla de la espátula y estando la superficie suficientemente húmeda para brillar. Si se acumula agua en las depresiones de

la superficie, ello indica que se ha añadido una cantidad excesiva de agua, debiéndose agregar un poco más de suelo (24).

Después de que se ha llegado a la saturación, se cubre el vaso con un vidrio de reloj y se deja reposar la muestra durante una hora, luego se verifica el punto de saturación. Si la pasta se ha endurecido notablemente o ha perdido su brillo, se le añade más agua y se mezcla nuevamente. En caso de que esto ocurra dejase en reposo cuatro horas o más (10) (40).

La pasta se transfiere a un embudo Büchner al que se le ha colocado un papel filtro, se aplica vacío hasta obtener el suficiente extracto para cubrir la celda de inmersión.

Se pone el extracto en un vaso adecuado y se introduce la celda teniendo cuidado de que esta no toque la pared ni el fondo del recipiente. Se ejecuta la lectura de la conductividad eléctrica con el puente de conductividad, siguiendo las instrucciones de manejo del aparato, teniendo cuidado de comprobarla con el multiplicador 0.01, 0.1, 1, 10, 100; o bien donde chequen dos lecturas en diferentes multiplicador.

Con el termómetro se mide la temperatura del extracto en cuestión, para corregir la lectura de conductividad por medio del factor de corrección (f) hallado en la tabla 1, obteniéndose así la conductividad eléctrica específica a 25 °C.

Cálculos y Resultados.— Para obtener el resultado en mmho/cm a 25 °C se emplea la fórmula siguiente:

$$L = k \times F \times C. E. \times 1000$$

Donde:

C. E. = conductividad eléctrica en mhos

k = constante de la celda

f = factor de corrección para la temperatura

L = conductividad específica (mmhos/cm a 25 °C)

Se ha demostrado que existe un alto grado de correlación positiva, entre la conductividad eléctrica específica de un extracto de suelo y la concentración de sales determinada mediante análisis directo, por lo que se tiene un factor para obtener las partes por millón de las sales presentes en el extracto de saturación a partir de L:

$$\text{ppm de sales} = 640 \times L \text{ (mmhos/cm a 25 °C)}$$

este factor de conversión implica la hipótesis de tener un peso equivalente en gramos igual a 51, correspondiente a las distintas sales existentes en el suelo (24) (40).

Los resultados obtenidos para la conductividad eléctrica específica en las 9 muestras estudiadas, empleando 200 g. de suelo por cada una, son los siguientes:

Número de muestra	L	ppm de sales
1	0.32	204.6
2	0.27	172.6
3	0.63	403.2
4	0.85	352.0
5	0.37	236.6
6	0.53	339.2
7	0.65	544.0
8	0.69	569.6
9	1.014	648.9

Nota.- Los resultados que se presentan son el promedio de tres determinaciones para cada muestra.

T A B L A 1

Factores por temperatura (f) para la corrección de
datos de resistencia y conductividad en extractos
de suelo a la temperatura de 25°C

°C	f	°C	f	°C	f	°C	f
3.0	1.709	20.0	1.112	25.0	1.000	30.0	0.907
4.0	1.660	20.2	1.107	25.2	0.996	30.2	0.904
5.0	1.613	20.4	1.102	25.4	0.992	30.4	0.901
6.0	1.569	20.6	1.097	25.6	0.988	30.6	0.897
7.0	1.528	20.8	1.092	25.8	0.983	30.8	0.894
8.0	1.488	21.0	1.087	26.0	0.979	31.0	0.890
9.0	1.448	21.2	1.082	26.2	0.975	31.2	0.887
10.0	1.411	21.4	1.078	26.4	0.971	31.4	0.884
11.0	1.375	21.6	1.073	26.6	0.967	31.6	0.880
12.0	1.341	21.8	1.068	26.8	0.964	31.8	0.877
13.0	1.309	22.0	1.064	27.0	0.960	32.0	0.873
14.0	1.227	22.2	1.060	27.2	0.956	32.2	0.870
15.0	1.247	22.4	1.055	27.4	0.953	32.4	0.867
16.0	1.218	22.6	1.051	27.6	0.950	32.6	0.864
17.0	1.189	22.8	1.047	27.8	0.947	32.8	0.861
18.0	1.163	23.0	1.043	28.0	0.943	33.0	0.858
18.2	1.157	23.2	1.038	28.2	0.940	34.0	0.843
18.4	1.152	23.4	1.034	28.4	0.936	35.0	0.829
18.6	1.147	23.6	1.029	28.6	0.932	36.0	0.815
18.8	1.142	23.8	1.025	28.8	0.929	37.0	0.801
19.0	1.136	24.0	1.020	29.0	0.925	38.0	0.788
19.2	1.131	24.2	1.016	29.2	0.921	39.0	0.775
19.4	1.127	24.4	1.012	29.4	0.918	40.0	0.763
19.6	1.122	24.6	1.008	29.6	0.914	41.0	0.750
19.8	1.117	24.8	1.004	29.8	0.911	42.0	0.739

III.2. Determinación de Propiedades Químicas

III.2.1. Determinación de pH.

La determinación de la actividad del ión hidrógeno (H^+) o pH de los suelos es uno de los análisis que más comúnmente se llevan a cabo en el suelo. Se usa muy ampliamente en los laboratorios y por los agrónomos para estimar las necesidades de cal en los suelos.

La concentración efectiva de iones hidrógeno, incluye todas las fuentes posibles de éste, tales como la disociación de los ácidos solubles y los iones disociados de las partículas del suelo, los cuales son medidos en el potenciómetro como diferencia de potencial, y son expresados en unidades de pH (40) (52).

La determinación de pH en un extracto de suelo, puede hacerse por varios métodos como son: utilizando indicadores colorimétricos, o potenciométricamente, siendo éste último el más práctico y el que más ventajas ofrece ya que permite hacer determinaciones en forma rápida y con gran precisión. Actualmente existe una gran variedad de potenciómetros, los cuales tienen la ventaja de poseer una fuente de poder portátil, por lo que pueden emplearse en el campo.

Los factores que afectan principalmente las determinaciones de pH son: la desecación de la muestra de suelo durante su preparación, la relación suelo-agua que se usa, el contenido de sales solubles, el contenido de dióxido de carbono (CO_2) que puede variar

dependiendo de la estación del año, la intensidad de la molienda del suelo y la variación de unas muestras individuales a otras, lo cual puede evitarse empleando muestras compuestas y secadas al aire en un lugar libre de contaminaciones (24).

Materiales.- Potenciómetro Beckman modelo M2 equipado con electrodos de Calomel y de vidrio; solución reguladora de pH 7; vasos de precipitados de 125 ml y agitadores de vidrio.

Desarrollo.- Se pesan 50 g. de muestra de suelo y se vacían en un vaso de precipitados, se agregan 50 ml. de agua destilada y se agitan perfectamente; se deja reposar la muestra durante 30 minutos y se procede a la determinación con el potenciómetro previamente calibrado a un pH 7 con la solución reguladora (33).

Resultados.- Los valores obtenidos para las 9 muestras son:

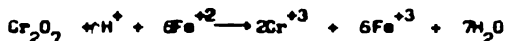
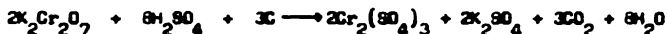
Muestra No.	pH
1	6.65
2	6.50
3	6.70
4	7.00
5	6.70
6	7.05
7	6.80
8	6.66
9	6.66

Nota.- Los valores que se presentan son promedio de cinco determinaciones para cada muestra.

III.2.2. Determinación de Materia Orgánica.

Uno de los métodos más usados para determinar materia orgánica en los suelos es el de Walkley y Black, el cual se basa en la oxidación de la materia orgánica con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en exceso, y posterior valoración con sulfato ferroso ($FeSO_4$) - en el dicromato añadido que no reaccionó al llevar a cabo la oxidación. El calor que se libera al mezclar dos volúmenes de ácido sulfúrico (H_2SO_4) con un volumen de la solución de dicromato de potasio es suficiente para que se lleve a cabo la reacción (24) (40).

Las reacciones que ocurren son las siguientes:



Como indicador de óxido reducción se usa difenilamina — $(C_6H_5)_2NH$ que es incolora, pero al agregársele el dicromato se forma la difenil bencidina $(C_6H_5)_2N \cdot C_6H_4 \cdot C_6H_4 \cdot NH \cdot C_6H_5$ de color violeta (2) (33).

El método de Walkley y Black, se efectúa por la presencia de otras substancias fácilmente oxidables. También pueden interferir los cloruros, los óxidos de mayor número de oxidación del manganeso y el hierro reducido (44).

En esta determinación se agrega ácido fosfórico para elimi-

nar el ión férrico (Fe^{+3}) y formar diversos complejos de color amarillo pálido solubles en el medio ácido de la reacción (33).

Existen otros métodos para determinar materia orgánica en suelos, algunos de ellos consisten en lo siguiente:

a) Determinación de la pérdida de peso de una muestra se suelo por ignición, a temperaturas moderadas; b) determinación indirecta de la materia orgánica midiendo el nitrógeno total, ya que el contenido de ésta se relaciona con ella; c) también se puede determinar el carbono orgánico en forma de dióxido de carbono (CO_2), por métodos gasométricos. Sin embargo, la sofisticación del equipo requerido en unos y el exceso de tiempo empleado en realizar los otros, hacen a éstos métodos poco recomendables para fines prácticos (24) (34).

El método de Walkley y Black, además de ser un método rápido y preciso, presentan la ventaja de que el calentamiento producido espontáneamente por la disolución del ácido sulfúrico, al ser menos intenso que la ignición permite diferenciar en gran parte, la materia orgánica que integra el humus del suelo de las fuentes extrañas de carbono orgánico, tales como el grafito y el carbón vegetal. Mientras que otros métodos incluyen todo el carbono elemental, el método de Walkley y Black lo excluye en un 90 a 95 % (24).

Materiales.- Matraces Erlenmeyer de 500 ml.; pipetas volumétricas de 1 y 10 ml.; una bureta de 50 ml.; un cronómetro; ácido sulfúrico concentrado, solución de dicromato de potasio 1N; ácido fosfórico concentrado; solución de difenil amina^o y solución de -

sulfato ferroso 1N^{*}. (* preparada según Apendice I).

Desarrollo.- en un matraz Erlenmeyer, se coloca un gramo de suelo pasado por una malla con abertura de 0.5 mm., se le agregan 10 ml. de solución de dicromato de potasio 1N y 20 ml. de ácido sulfúrico concentrado; se agita ligeramente y se forma circular durante 1 minuto, medido con el cronómetro y se deja en reposo a digestión durante 30 minutos. Después de transcurrido este tiempo, se agregan 200 ml. de agua destilada, 10 ml. de ácido fosfórico concentrado y 1 ml. de indicador de difenil amina, se agita y se procede a titular con sulfato ferroso 1N hasta que el color cambie de violeta o azul púrpura a verde manzana.

Como en todas las sales ferrosas, el fierro (II) se oxida a fierro (III) por simple acción del aire, por lo que es necesario revisar su concentración valorando un blanco de dicromato de potasio y difenil amina como indicador, con el sulfato ferroso 1N.

Cálculos y Resultados.- La siguiente expresión nos da el porcentaje de carbono presente en la materia orgánica del suelo:

$$\% C = \frac{(\text{ml } K_2Cr_2O_7 - \text{ml } FeSO_4) \times N_{FeSO_4} \times 0.003 \times 100}{\text{Peso de la muestra de suelo}}$$

Si se multiplica el porcentaje de carbono hallado en la muestra por el factor 1.724 se obtiene el porcentaje de materia orgánica.

$$\% M. O. = (\% C) \times 1.724$$

El factor 1.724 resulta de saber que la materia orgánica del suelo, contiene en promedio 5% de carbono orgánico y concuerda con la determinación directa de materia orgánica por el método del peróxido de hidrógeno (24).

Los resultados para materia orgánica en las 9 muestras son los siguientes:

Número de muestra	% C	% M. O.
1	1.44	2.48
2	1.40	2.41
3	1.29	2.23
4	1.38	2.38
5	1.31	2.26
6	1.16	2.00
7	1.68	2.89
8	1.22	2.10
9	1.18	2.00

Nota.- Los resultados que se presentan son el promedio de cuatro determinaciones para cada muestra.

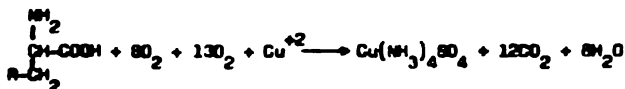
III.2.3. Determinación de Nitrógeno Total.

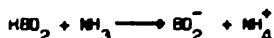
La mayor parte de nitrógeno en los suelos, se encuentra formando parte de la materia orgánica y muy poco se halla en estado amoniacal y/o nítrico, que son las formas asimilables para las plan-

tas. El método más común para determinar nitrógeno total en los suelos (excepto nitratos), es el de Kjeldhal modificado. Este método se basa en el hecho de que al hervir con ácido sulfúrico concentrado las sustancias orgánicas (digestión), éstas se descomponen en forma tal, que el nitrógeno se reduce a amoníaco, el cual se combina con el ácido sulfúrico presente para formar sulfato de amonio $((NH_4)_2SO_4)$, de donde el amoníaco se libera con un álcali fuerte, recogién dose en solución de ácido bórico al 4 % (H_3BO_3) y se titula con ácido valorado utilizándose como indicador el de Searles (24) (52).

En la digestión de la muestra con ácido sulfúrico, se utilizan como catalizadores selenio metálico y sulfato cúprico $(CuSO_4)$, añadiendo sulfato de sodio (Na_2SO_4) o sulfato de potasio (K_2SO_4) para elevar la temperatura de ebullición del ácido sulfúrico (2).

Las reacciones que se llevan a cabo en esta determinación son las siguientes:





Son dos los tipos de procedimientos analíticos que se utilizan para la determinación de nitrógeno total en suelos; el de Dumas, que se basa en la conversión del nitrógeno total en gas, y el método de Kjeldhal que se basa en la conversión del nitrógeno en sulfato de amonio, con este último método se valoran conjuntamente el nitrógeno amoniacal y el nitrógeno orgánico, excluyéndose los nitratos; sin embargo, dado que el contenido de nitratos de los suelos suele ser bajo, el resultado obtenido se da frecuentemente como nitrógeno total (24) (37).

La sencillez de esta determinación es solo aparente, porque varios factores como el tiempo, temperatura, el catalizador empleado etc. influyen en la reacción; si la temperatura de digestión es menor a 360 °C, será incompleta la liberación del nitrógeno, y si es mayor de 410 °C se perderá algo de amoníaco. Por otro lado, si el suelo no está finamente tamizado, la oxidación de la materia orgánica será incompleta.

Materiales.- Matraces Kjeldhal de 800 ml.; un aparato digestor-destilador de macro Kjeldhal, matraces Erlenmeyer de 500 ml.; una bureta de 25 ml.; probetas de 50 y 250 ml.; perlas de vidrio para ebullición, mezcla digestora; indicador de Wesselow; solución de ácido bórico al 4%; solución de hidróxido de sodio al 45%; solución 0.1 N de ácido clorhídrico valorado; granillas de zinc.

(Se preparados según el Apéndice I).

Desarrollo.- Se pesan 5 g. de suelo molido y tamizado, se envuelven en papel filtro (libre de nitrógeno) y se introduce en un matraz Kjeldhal; se agregan 10 g. de mezcla digestora y 50 ml. de ácido sulfúrico concentrado. Se coloca el matraz en el digestor y se empieza calentando ligeramente y después en forma intensa hasta que la solución tenga transparencia y un ligero color verdoso. Se enfría cuidadosamente y se añaden 200 ml. de agua destilada, de 4 a 6 granallas de zinc, perlas de vidrio y 150 ml. de hidróxido de sodio al 4 % resbalando por la pared del matraz de manera que se forme una capa en el fondo del mismo. Se destila y recoge el destilado hasta un volumen aproximado de 200 ml. en un matraz Erlenmeyer, en el cual se han colocado previamente 50 ml. de ácido bórico al 4 % y un mililitro de indicador de Weaselow, se valora con solución de ácido clorhídrico 0.1 N, hasta que el color de la solución cambie de verde a violeta. Se hace una determinación en blanco de la misma manera, usando los mismos reactivos y una pieza de papel filtro sin muestra de suelo (33).

Cálculos y Resultados.- Para determinar el porcentaje de nitrógeno total se utiliza la siguiente expresión:

$$\% N = \frac{\text{ml HCl} \times N_{(\text{HCl})} \times \text{meq (Nitrógeno)} \times 100}{\text{Peso de la muestra en gramos}}$$

Número de muestra	% de Nitrógeno total
1	0.1816
2	0.1858
3	0.1569
4	0.1763
5	0.1804
6	0.1891
7	0.2242
8	0.1675
9	0.1679

Nota.- Los resultados que se dan son el promedio de tres determinaciones para cada muestra.

III.2.4. Determinación del Porcentaje de Carbonato de Calcio.

Una alta concentración de carbonato de calcio (CaCO_3) en los suelos, confiere propiedades diferentes de textura en éstos, debido a su acción aglutinante. Cuando la concentración no es tan alta como para variar el valor del pH, puede resultar benéfico en los suelos de textura arenosa de baja productividad (33).

Uno de los métodos más sencillos para determinar el porcentaje de carbonato de calcio en un suelo, consiste en descomponer éste con ácidos minerales de concentración y volúmenes conocidos. Durante la reacción se desprende dióxido de carbono (CO_2) y se fug

es la sal de calcio correspondiente como se indica en la siguiente reacción:



Como es natural, la cantidad de ácido clorhídrico (HCl) debe estar en exceso, para poder valorar la fracción que no ha reaccionado, con solución valorada de hidróxido de sodio (NaOH) empleando como indicador azul de bromotimol.

Existen varios métodos para la determinación de carbonato de calcio, entre ellos podemos mencionar el del calcímetro de Bernard consistente en una bureta medidora de gases que recoge los que se desprenden en la reacción de los carbonatos existentes en un suelo con ácido mineral (37); y la determinación volumétrica indirecta de carbonato de calcio, siendo este último método el más sencillo de realizarse en cualquier laboratorio, y además ofrece una buena confiabilidad.

La determinación por este método es simple, y la única precaución que se debe tener, es evitar que el bioxido de carbono atmosférico, ligeramente soluble en agua (0.1 % a 22.6 °C) forme de esta manera ácido carbonico (H_2CO_3) que posteriormente daría un resultado erróneo.

Materiales.- vasos de precipitados de 150 ml.; vidrios de reloj; pipetas volumétricas de 20 ml.; bureta de 25 ml.; solución 1N de hidróxido de sodio descarbonatada; solución 1N de ácido clorhi-

drico valorado; indicador azul de bromotimol⁴. (⁴preparado según - Apendice I).

Desarrollo.- En un vaso de precipitados, se ponen exactamente 5 g. de suelo pasado a través de una malla de 0.5 mm. y se añaden 100 ml. de ácido clorhídrico 1N, se cubre inmediatamente con un vidrio de reloj agitando de vez en cuando durante un lapso de - 45 minutos; después se deja reposar durante 15 minutos para sedimentar la tierra y poder tomar 20 ml. del líquido sobrenadante lo más límpido posible. Este volumen se vacía en un matraz Erlenmeyer de 125 ml. y se le agregan 8 gotas de azul de bromotimol; esta solución se titula con hidróxido de sodio 1N hasta cambio a color - verde.

Cálculos y resultados.- La siguiente expresión nos da el porcentaje de carbonato de calcio:

$$\% \text{CaCO}_3 = \frac{\text{ml. gastados NaOH} \times N (\text{NaOH}) \times \text{meq} (\text{CaCO}_3) \times \text{dil} \times 100}{\text{peso de la muestra en gramos}}$$

Los resultados obtenidos para las 9 muestras son:

Muestra No.	% CaCO ₃
1	1.90
2	2.37
3	1.90
4	1.90
5	2.37
6	2.37
7	2.37
8	1.90
9	1.90

Nota.- Los resultados que se presentan son el promedio de 3 determinaciones para cada muestra.

III.2.5. Determinación de Elementos Fácilmente Asimilables.

III.2.5.1. Generalidades de los Métodos Colorimétricos y Turbidimétricos.

El empleo de métodos instrumentales en el análisis de suelos, ha alcanzado una gran aplicación en los últimos años, debido a que suelen ser más rápidos y con frecuencia más específicos que los métodos convencionales gravimétricos y volumétricos que a menudo son menos exactos (4) (6).

Los métodos instrumentales más empleados, se basan en la medida de radiaciones electromagnéticas, y reciben el nombre de métodos absorcimétricos o espectrofotométricos; se basan en el hecho de que cuando un haz de energía radiante monocromática del espectro electromagnético (en el rango del visible, ultravioleta e infrarrojo) incide sobre una capa homogénea de una sustancia absorbente, parte de la energía es absorbida y el resto es transmitida, siendo la intensidad de la luz emergente menor a la intensidad de la luz incidente (2) (27).

Cuando la energía radiante de longitudes de onda de la región visible del espectro electromagnético, pasa a través de una sustancia que absorbe selectivamente ciertas longitudes de onda, se observa una coloración que corresponde a las longitudes de onda transmitidas por la sustancia; ésta es la base de los colores que detecta el ojo humano (2) (24).

La espectrofotometría de absorción en la región visible recibe el nombre de colorimetría, y es la medida de la fracción de luz de la región visible del espectro electromagnético, que pasa a través de una sustancia coloreada en disolución (2) (4) (24).

La absorción de radiaciones electromagnéticas se describe mediante las leyes de Lambert y Beer: "La proporción de una radiación monocromática absorbida por un medio homogéneo, es independiente de la intensidad de la radiación incidente, dependiendo únicamente de la longitud (l) del camino atravesado, y la concentración (c) del soluto que atraviesa", lo que matemáticamente se expresa como:

$$A \text{ (absorbancia)} = \log \frac{I_0}{I} = kcl$$

Donde:

I_0 = intensidad de luz incidente

I = intensidad de luz transmitida

k = constante de proporcionalidad

y sirve como base para la determinación de una concentración desconocida (41).

La ley de Beer es una ley límite que exige condiciones ideales, tanto para el haz de luz, que debe de ser monocromático, como para la solución, en la cual se supone la ausencia de toda acción ejene el haz de luz sobre la sustancia absorbente.

Por otro lado, no existe un límite preciso entre la absorción y la turbidimetría, debido a que cuando el tamaño de las partículas en solución aumenta hasta formar una suspensión estable, el fenómeno de absorción pura desaparece dando lugar a fenómenos de diferente naturaleza tales como reflexión y difracción (4) — (41).

La turbidimetría, es un caso particular de la nefelometría, y se basa en el grado en que un haz de luz al incidir sobre una suspensión suficientemente estable, de partículas muy pequeñas, es difundido, determinándose la intensidad del haz emergente en el mismo sentido que el haz incidente.

Tanto la turbidimetría como la colorimetría pueden llevarse a cabo utilizando un fotocolorímetro de filtro, tomando en cuenta que los fenómenos que ocurren en uno u otro caso, son de diferente naturaleza. Los principales elementos que constituyen un fotocolorímetro de filtro son:

- a) Una fuente de radiación, que puede ser una lámpara incandescente.
- b) Un sistema óptico, formado por filtros que tienen una transmisión apreciable en algún dominio del espectro visible.
- c) Celdas especiales para la muestra.
- d) Un sistema receptor, normalmente graduado para leer directamente en términos de absorbancia o porcentaje de transmisión.

Cuando no se cumple la ley de Beer, como sucede cuando se trabaja con un fotómetro de filtro, debido a la falta de monocromaticidad en el haz de luz incidente, el método más cómodo consiste en utilizar la curva $A = f(c)$ como curva patrón o tipo, ya que nos da la correspondencia entre una absorbancia medida y la concentración correspondiente.

Existe cierto inconveniente en este caso, como lo es el hecho de que para establecer la curva con precisión suficiente, es necesario determinar experimentalmente un gran número de puntos, y cuando las condiciones de trabajo cambian (cambio de filtro, temperatura, operador, reactivos, etc.), es necesario establecer nuevamente otra curva de calibración.

La técnica ordinaria para un análisis turbidimétrico, implica la elaboración de una curva de calibración con una serie de soluciones de concentraciones conocidas, teniéndose para estas curvas las mismas limitaciones que para las trazadas en fotolorimetría de filtro.

III.2.5.2. Preparación de las Soluciones para el Trazado de las Curvas Tipo.

El necesitar una serie de puntos para el trazado de las curvas tipo o patrón en colorimetría y turbidimetría, nos lleva a la preparación de series de soluciones de concentraciones conocidas; lo cual implica (en el caso de ser muchos los elementos a determinar por estos métodos), preparar una cantidad considerable de solu

ciones que resultan de difícil manejo en trabajos rutinarios de análisis de suelos.

Existe un método en el cual a partir de una solución concentrada, que contiene todos los elementos objeto de análisis, se prepara una serie de soluciones diluidas de concentraciones conocidas para el trazado de cada una de las curvas tipo (33).

La ventaja de tener contenidos en una sola solución todos — los elementos a cuantificar, es que el extracto de suelo contiene — también una mezcla de dichos elementos, además de otras especies químicas, lo que disminuye así las variaciones debidas a interferencias en los extractos de suelos.

Materiales.— Una balanza analítica; espátula; extracto aforado de 1 lt.; vidrios de reloj pequeños; probetas de 50 y 100 al.; vaso de precipitados de 150 al.; pipetas graduadas de 5, 10, 20 y 50 al.; 8 frascos de vidrio con tapón de 150 al.; agitador de vidrio; solución extractora de Morgan (pH 4.8)[®], cloruro de amonio (NH_4Cl), fosfato dibásico de sodio heptahidratado ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), nitrato de potasio (KNO_3), acetato de calcio monohidratado ($\text{Ca}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$), sulfato de magnesio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$). ([®] preparada según Apéndice I).

Nota. La marca de las sales empleadas fueron J. T. Baker "Baker Analyzed" grado reactivo.

Desarrollo.— Se pesan en vidrios de reloj por separado, las cantidades indicadas en la table 2, de cada una de las sales. Se colocan en un vaso de precipitados de 150 al. y se disuelven con —

solución extractora de Morgan (pH 4.8). Se pasa la solución a un matraz aforado de 1 lt., lavando el vaso con porciones sucesivas de solución extractora, hasta considerarse que las sales han sido totalmente transferidas al matraz aforado, se afora hasta la marca con solución extractora de Morgan. La solución concentrada resultante, contiene los elementos asimilables en las concentraciones mostradas en la tabla 2.

Para preparar las series tipo diluidas, que servirán para el trazado de las curvas tipo, se miden las cantidades indicadas en la tabla 3 a partir de la solución tipo concentrada, y se añade la cantidad de solución extractora de Morgan que sea necesaria para completar 100 ml, obteniéndose en total una serie de 8 soluciones diluidas de concentración conocida, para cada uno de los elementos a cuantificar colorimétricamente o turbidimétricamente.

T A B L A 2
Solución Tipo Concentrada

Sales	pesar	para obtener
NH_4Cl	0.0382 g	10 ppm de N amoniacal (NH_4^+) 25 ppm de Cl^- asimilable
$\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.0666 g	10 ppm de P asimilable
KNO_3	0.1444 g	20 ppm de N nítrico (NO_3^-) 55 ppm de K asimilable
$\text{Ca}(\text{CH}_2\text{COO})_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	0.8806 g	200 ppm de Ca asimilable
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.3042 g	30 y 40 ppm de Mg y S respectivamente

TABLA 3
Soluciones Tipo Diluidas

al conc. tipo extac.	al de soluc. ción extac. tara de Mg ₂ gen	partes por millón en solución							
		Nitrógeno		P	K	Ca	Mg	S	Cl
		NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺						
0	100	0	0	0	0	0	0	0	0
5	95	1	0.5	0.5	2.7	10	1.5	2.0	1.3
10	90	2	1.0	1.0	5.5	20	3.0	4.0	2.5
20	80	4	2.0	2.0	11.0	40	6.0	8.0	5.0
40	60	8	4.0	4.0	22.0	80	12.0	16.0	10.0
60	40	12	6.0	6.0	33.5	120	18.0	24.0	15.0
75	25	15	7.5	7.5	41.2	150	22.5	30.0	18.0
100	0	20	10.0	10.0	55.0	200	30.0	40.0	25.0

Nota.- Estas soluciones se guardan en frascos de polietileno hermeticamente cerrados y etiquetados.

III.2.5.3. Extracción de Elementos Fácilmente Asimilables.

Desde el punto de vista agrícola, es importante la determinación de los elementos que las plantas puedan utilizar de inmediato para su nutrición y por ello se han ideado métodos que extraen del suelo únicamente esta fracción.

Los primeros intentos de evaluar la fertilidad del suelo, se hicieron mediante el análisis total de un extracto de suelo con ácidos fuertes. Pronto se observó que este método daba valores demasiado altos para predecir los nutrientes disponibles a la planta.

Más tarde se emplearon ácidos débiles como extractores, a fin de simular la capacidad de los raíces de las plantas para extraer nutrientes del suelo. Estos ácidos débiles dieron mejores resultados al valorar la fertilidad del suelo (42).

Se imponen muchas restricciones para escoger la solución extractora más conveniente para la determinación de todos los elementos en cuestión; por lo general, ésta debe efectuar satisfactoriamente la separación completa de los mismos, producir extractos claros libres de materia orgánica y no debe contener iones que puedan interferir el efectuar cualquiera de las determinaciones individuales de los elementos en estudio.

La solución extractora de Morgan (mezcla de un ácido débil, ionizado y amortiguado con su sal sódica a pH 4.8), se utiliza para la extracción de elementos fácilmente asimilables, tomando en cuenta que presenta las siguientes ventajas:

- a) Actúa por el fenómeno de sustitución de bases, para — extraer las substancias nutritivas del suelo.
- b) Su pH es muy semejante al de la solución del suelo bien — aerado.
- c) Tiene acción de reacción fija, suficiente para evitar — un cambio mayor de 0,02 unidades de pH en contacto prolongado con suelos que contienen más de 2,05 % de carbonato de calcio.
- d) Posee la capacidad extractiva para producir un extracto — de los suelos agrícolas, de concentración suficiente para apreciar con claridad las reacciones de determinación.
- e) Las substancias que entran en su composición no entorpe— can el efecto de los reactivos usuales de determinación.
- f) No sufre descomposición biológica.

El método de extracción de elementos fácilmente asimilables empleando la solución de Morgan, ha sido aplicado en suelos ácidos, neutros y alcalinos con resultados satisfactorios, ya que con la adición de carbon activado y sulfato de bario (BaSO_4) se obtie— nen extractos claros y libres de interferencias, principalmente — debidas a materia orgánica (32) (35).

Materiales.— Una balanza analítica; una probeta de 50 ml.; — embudos de vidrio de tallo largo; matraces Erlenmeyer de 125 ml.; papel filtro Whatman No. 32; carbón activado Darco G-60; vasos de precipitados de 100 ml.; sulfato de bario en polvo, solución ex—

tractora de Morgan (pH 4.8)? (* preparada según Apéndice I).

Desarrollo.- Se pesan 10 g. de suelo, pasados por un tamiz - de 2 mm. de abertura, se colocan en un matraz Erlenmeyer de 125 ml. se añaden 300 mg. aproximadamente de carbón activado y 100 mg. aproximadamente de sulfato de bario. Se añaden 50 ml. de la solución extractora de Morgan, se agita durante 30 minutos en un agitador mecánico y después se filtra, de manera que el filtrado sea incoloro y libre de material en suspensión (si el filtrado no reúne las anteriores características, se vuelve a filtrar). El extracto se utiliza para las determinaciones de nitratos, nitrógeno amoniacal, fósforo, calcio, magnesio, azufre y cloruros en sus formas asimilables, empleando los métodos colorimétricos y turbidimétricos de acuerdo al elemento.

Nota. Aunque el sistema Morgan es el más adecuado para la extracción en conjunto de los elementos fácilmente asimilables, no ocurre lo mismo con las formas asimilables de hierro y manganeso por lo que las soluciones empleadas para su extracción, y el procedimiento para hacerlos se describen en la sección correspondiente a la determinación de dichos elementos.

II.2.5.4. Determinación de Nitrógeno Nítrico.

Entre las técnicas que existen para la determinación de nitrógeno nítrico, está la prueba con difenil amina, el método del ácido fenol disulfónico y el método de la brucina; todos son métodos colo-

rimétricos que facilitan la determinación de nitratos en las concentraciones que usualmente se encuentran en los suelos.

La reacción entre los nitratos y la brucina en medio ácido, produce un compuesto estable de color amarillo que puede utilizarse para su determinación colorimétrica.

Debe tenerse precaución en el manejo del reactivo brucina, puesto que se trata de un alcaloide sumamente tóxico (33).

La reacción que ocurre es la siguiente:



La determinación de nitratos empleando la brucina como reactivo simple, es rápida y prácticamente libre de interferencias, ya que ninguno de los iones que comúnmente se encuentran en los extractos de suelos, están presentes en cantidades suficientes como para interferir en la prueba.

La velocidad de la reacción se ve afectada significativamente por la cantidad de calor que se genere durante la prueba. Este calor se controla por la secuencia cuidadosa en la adición de los reactivos.

Materiales.- Fotocolorímetro Klett Summerson, modelo 800-3; un filtro azul No. 42 con rango de transmisión de 400-450 m μ y línea espectral principal de 420 m μ ; pipetas graduadas de 1 y 2 ml. con divisiones de 0.1 ml.; celdas para fotocolorímetro; gradilla; tubos de ensayo; un cronómetro; solución extractora de Morgan; soluciones tipo de nitratos; solución de brucina al 2.7 % en ácido acético glacial[§]; ácido sulfúrico concentrado con densidad 1.84 g/cm³. (§ preparada según Apéndice I).

Desarrollo.- Se coloca en un tubo de ensayo, 1 ml. de extracto de suelo, se le agrega 0.5 ml. de reactivo de brucina e inmediatamente 2 ml. de ácido sulfúrico concentrado; se agita durante 30 segundos medidos con el cronómetro y se deja reposar el tubo durante 5 minutos. Después se agrega lentamente y con toda precaución, 2 ml. de agua destilada y se deja reposar durante 15 minutos, pasando los cuales se lee en el fotocolorímetro empleando el filtro azul No. 42.

Trazado de la curva tipo.- Con las soluciones tipo diluidas (Tabla 3) que contienen 0, 1, 2, 4, 8, 12, 15 y 20 ppm de nitratos, se sigue el mismo desarrollo que con el extracto de suelo, empleando 1 ml. de solución diluida y tratándolo exactamente igual y simultáneamente con las muestras problema.

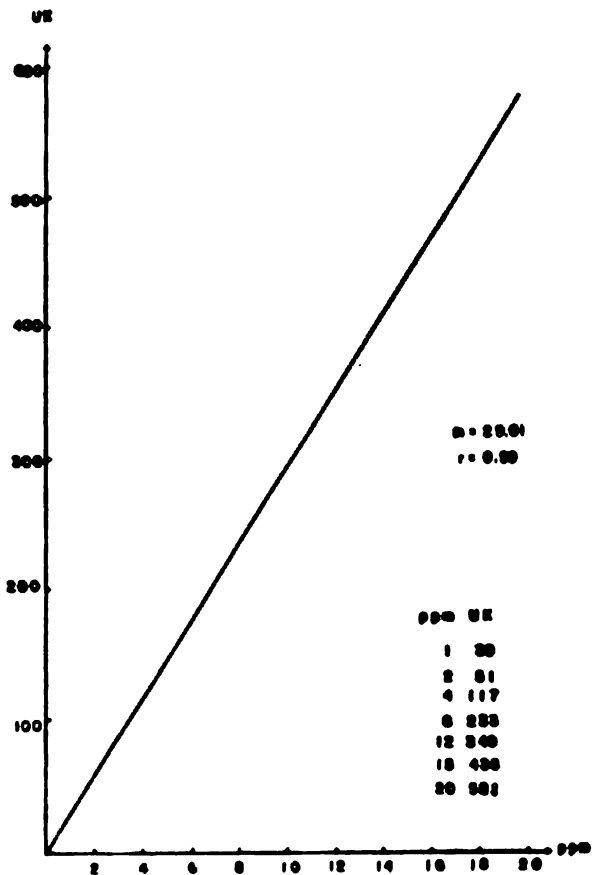
La curva tipo que se reporta es la regresión lineal de cinco series tipo de puntos (Apéndice II).

Resultados.- Los resultados para las 9 muestras son los siguientes:

Número de muestra	ppm de nitratos
1	traza
2	6.2
3	traza
4	traza
5	traza
6	traza
7	60.55
8	89.25
9	47.25

Nota.- Los resultados que se reportan son el promedio de tres determinaciones para cada muestra compuesta.

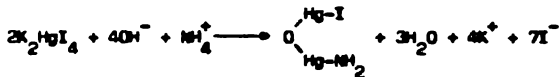
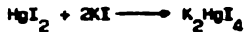
**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE NITROGENO NITRICO EN SUELOS**



III.2.5.5. Determinación de Nitrógeno Amoniacal Asimilable.

El método de Nessler para la determinación del nitrógeno amoniacal en extractos de suelos, se basa en la medida de la intensidad de color producida mediante la reacción de éste con el reactivo de yoduro mercuríco de potasio (reactivo de Nessler) en medio alcalino formando la base de Millón de color amarillo naranja de intensidad variable de acuerdo a la concentración de iones amonio presentes (33) (37).

Las reacciones que ocurren son las siguientes:



Este método es suficientemente sensible para la determinación de cantidades pequeñas, por lo común menores de una parte por millón de iones amonio (NH_4^+); por otro lado, el método es muy seguro aunque los patrones de la serie tipo difieren muy poco en concentración (2) (10).

Originalmente, los ensayos preliminares para determinar el ión amonio directamente empleando el reactivo de Nessler, en los extractos de suelo, no tuvieron éxito debido a la precipitación del reactivo bajo la presencia de concentraciones altas de acetato de sodio ($\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2\text{Na}$), que es componente de la solución extractora de Morgan y otros iones, principalmente el magnesio. Estas interfe-

rencias se evitaron completamente usando el tarttrato de sodio — ($C_4H_5O_6Na$) y goma acacia; el tarttrato evita la precipitación del — magnesio y la goma acacia actúa como coloides protector (33).

Materiales.— Fotocolorímetro Klett Summerson, modelo 800-3; filtro azul No. 42 con rango de transmisión de 400 - 480 m μ y líneas espectral principal de 420 m μ ; celdas para fotocolorímetro, — gradilla; tubos de ensaye; pipetas graduadas de 1, 2 y 5 al.; solución extractora de Morgan; solución tipo de nitrógeno amoniacal, — solución de tarttrato alcalino ; solución de goma acacia[®] ; reactivo de Neesler[®] . ([®]preparados según Apéndice I).

Desarrollo.— A un mililitro de extracto de suelo, se le añaden 2 al. de agua destilada y se mezclan perfectamente, en seguida se agrega un mililitro de la solución de tarttrato de sodio alcalino, recargando la pipeta sobre la pared del tubo. Se mezcla bien e inmediatamente se añaden 5 gotas de la solución de goma acacia y 2 gotas de reactivo de Neesler diluido 1:5 con agua destilada. Se deja reposar durante 15 minutos y se mide la intensidad de color en el fotocolorímetro empleando el filtro No. 42.

Trazado de la curva tipo.— Con las soluciones tipo diluidas (Tabla 3) que contienen 0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 7.5 y 10.0 ppm de nitrógeno amoniacal, se sigue el mismo desarrollo que con el extracto de suelo, empleando 1 al. de solución diluida y tratándol exactamente igual y simultáneamente con las muestras problema.

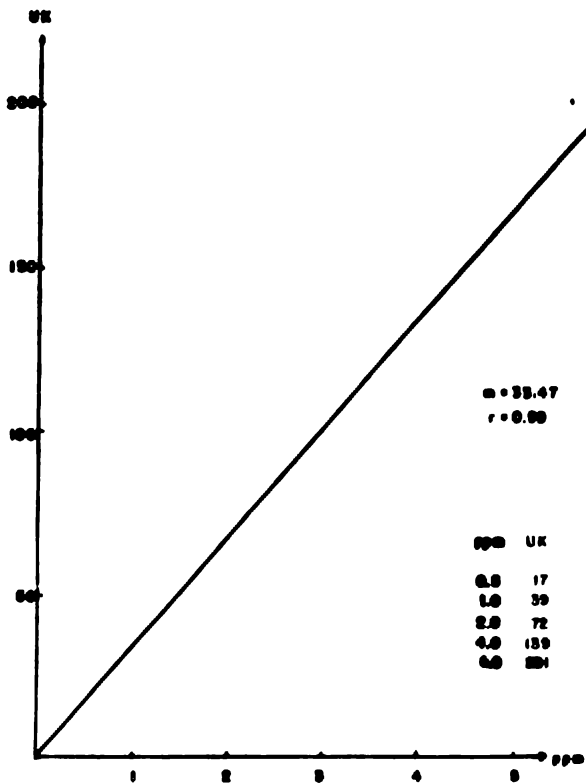
La curva tipo que se reporta es la regresión lineal de 5 series tipo de puntos (Apéndice II).

Resultados.- Los resultados para las 9 muestras son los siguientes:

Número de muestra	ppm de nitrógeno amoniacal
1	17.5
2	21.5
3	24.0
4	21.5
5	18.5
6	15.5
7	25.0
8	20.0
9	20.0

Nota.- Los resultados que se dan son el promedio de tres determinaciones para cada muestra.

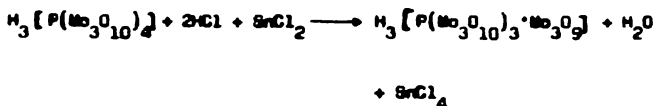
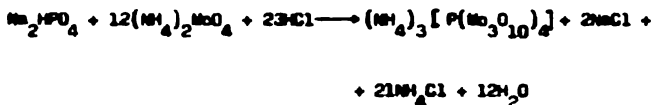
**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE NITROGENO AMONICAL EN SUELOS**



III.2.5.6. Determinación de Fósforo Asimilable.

La determinación de fósforo asimilable por el método del azul de molibdeno se basa en la formación en medio ácido, del complejo fosfomolibdato, el cual se puede reducir con cloruro u oxalato estannoso (SnCl_2 o $\text{C}_2\text{O}_4\text{Sn}$) entre otros reductores, dando el compuesto azul de molibdeno. La intensidad del color depende de la concentración del ortofosfato presente, lo que permite hacer la determinación por métodos ópticos (33).

Las reacciones que ocurren son las siguientes:



Los métodos para determinar el fósforo de los suelos han sido discutidos en la literatura por más de cien años y en general - han tenido como propósitos fundamentales, caracterizar el fósforo del sistema del suelo (40).

Para la selección de un método adecuado, para la determina-

ción de fósforo asimilable en suelos, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones: propiedades de los suelos en estudio, exactitud y reproductividad del método, así como la sencillez del mismo y los recursos disponibles para efectuarlos (40).

Los métodos del azul de molibdeno son los más sensibles por lo que se utilizan más ampliamente en los análisis de extractos de suelos que contienen muy pequeñas cantidades de fósforo asimilable, o bien para determinar el fósforo total. Este método se ve afectado por los siguientes factores: acidez, presencia de arsenatos, silicatos y otras sustancias que puedan influir en las condiciones de óxido reducción del sistema (24) (33).

Materiales.- Fotocolorímetro Flett Summerson modelo 800-3; filtro rojo No. 66 con rango de transmisión 640-700 m μ y línea espectral principal de 660 m μ ; celdas para fotocolorímetro; tubos de ensayo; gradilla; pipetas graduadas de 5 ml.; solución de molibdato de amonio*; solución concentrada de cloruro estannoso; solución diluida de cloruro estannoso; soluciones patrón de fósforo. (* preparadas según Apéndice I).

Desarrollo.- A 4 ml. de extracto de suelo, se le adicionan recargando la pipeta en la pared del tubo, un ml. de molibdato de amonio y un ml. de la solución diluida de cloruro estannoso; se agita después de cada adición. Se dejan reposar las muestras por 10 minutos y se lee el desarrollo del color en el fotocolorímetro, usando el filtro rojo No. 66.

Inverso de la curva tipo.- Con las soluciones tipo diluidas

(Tabla 3) que contienen 0, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 7.5 y 10 ppm de fósforo, se sigue el mismo desarrollo que con el extracto de suelo, empleando 4 ml. de solución diluida y tratándola exactamente igual y de manera simultánea con las muestras problema.

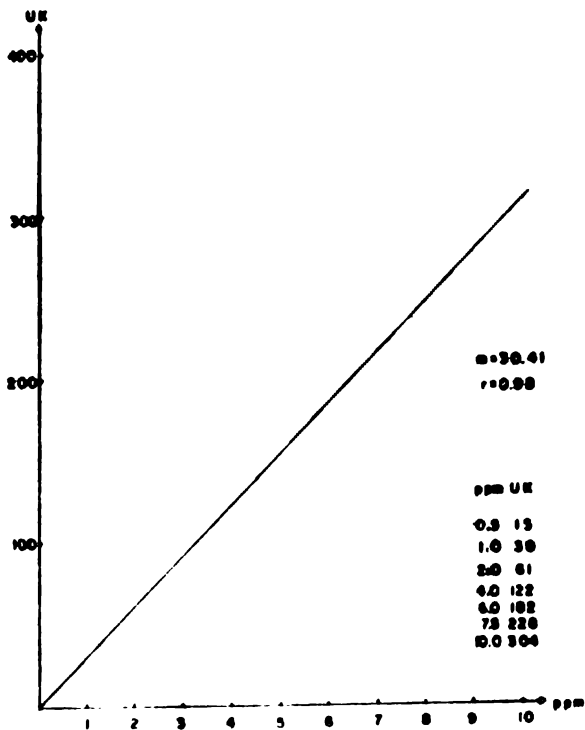
La curva que se reporta es la regresión lineal de 5 series - tipo de puntos (Apéndice II).

Resultados.- Los resultados obtenidos para las 9 muestras — son los siguientes:

Número de muestra	ppm de fósforo asimilable
1	36.5
2	58.6
3	56.3
4	59.6
5	56.6
6	61.9
7	64.5
8	57.9
9	53.7

Nota.- Los resultados que se presentan para fósforo son el promedio de tres determinaciones para cada muestra.

**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE FOSFORO ASIMILABLE EN SUELOS**

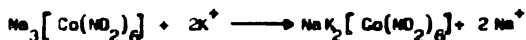


III.2.5.7. Determinación de Potasio Asimilable.

La determinación de potasio en suelos ha sido objeto de tan gran número de investigaciones, que en la actualidad es posible utilizar fácilmente en escala semisicra, los procedimientos gravimétricos, volumétricos y espectrofotométricos de absorción y emisión.

Entre los métodos existentes para determinar potasio en suelos está el turbidimétrico que emplea cobaltinitrito de sodio — $(Na_3[Co(NO_2)_6])$ para precipitar el potasio en forma de cobaltinitrito de sodio y potasio $(NaK_2[Co(NO_2)_6])$; para mantener en suspensión el precipitado que se obtiene se usa alcohol isopropílico $(CH_3CH_2OHCH_3)$. Este método tiene la enorme ventaja de su sensibilidad para pequeñas cantidades de potasio, además de ser rápido y — sencillo; el único método que le supera en rapidez y flexibilidad es el método espectrofotométrico de emisión con el flamaestro.

La reacción que ocurre en esta determinación es la siguiente:

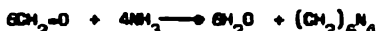


La temperatura es un factor que interfiere en esta determinación, ya que se ha encontrado que la sensibilidad de la prueba para pequeñas cantidades de potasio, aumenta con la disminución de la temperatura; y se considera que la de 10 °C es la adecuada para las condiciones normales de trabajo; arriba de 30 °C la sensibilidad de la prueba disminuye considerablemente y los resultados son erróneos (13).

La adición de alcohol isopropílico al medio de reacción, además de mantener el precipitado en suspensión, puede eliminar la necesidad de trabajar a bajas temperaturas.

El pH del líquido que queda sobrenadando, no tiene ninguna influencia sobre la composición del precipitado, siempre que se encuentre comprendido entre 3.2 y 5.6; por encima de este valor se inicia la precipitación del cobalto en forma de hidróxido; por debajo del valor indicado aumenta rápidamente la solubilidad del precipitado.

El amoníaco es una de las principales interferencias y es eliminado con la adición de formaldehído (CH_2O) para formar la urotropina ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$) por medio de la siguiente reacción:



Materiales.- Fotocolorímetro Klett Summerson modelo 800-3; filtro rojo No. 66 con rango de transmisión 540-700 $\text{m}\mu$ y línea espectral principal de 660 $\text{m}\mu$; celdas para fotocolorímetro; tubos de ensayo; pipetas graduadas de 1 y 5 ml.; solución extractora de Morgan[®]; soluciones patrón de potasio; formaldehído; solución de cobaltinitrito de sodio[®] y alcohol isopropílico. ([®] preparada según Apéndice I).

Desarrollo.- A 2 ml. del extracto de suelo puestos en un tubo de ensayo, se les agregan 6 gotas de formaldehído, se mezcla perfectamente dejando reposar durante 15 minutos, después de los -

cual se añade 1 ml. de la solución de cobaltinitrito de sodio y se vuelve a mezclar; en seguida se adicionan 2 ml. de alcohol isopropílico, resbalando por la pared del tubo para estratificar y — después se agita rápida y uniformemente durante 30 segundos. Se deja reposar durante 30 minutos y se lee la turbidez en el fotocolorímetro usando filtro rojo No. 66.

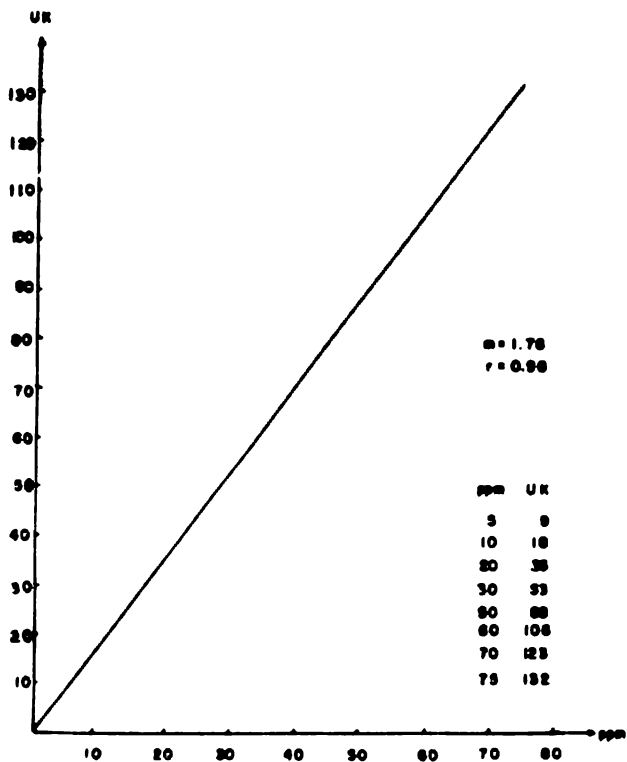
Trazado de la curva tipo.- Con las soluciones tipo diluidas (Tabla 3) que contienen 0, 2.7, 5.5, 11.0, 22.0, 33.5, 41.2, y 56.0 ppm de potasio, se sigue el mismo desarrollo que con el extracto de suelo, empleando 2 ml. de solución diluida y tratándola exactamente igual y de manera simultánea con las muestras problema. La curva que se reporta es la regresión lineal de 5 series tipo de puntos (Apéndice II).

Resultados.- Los resultados obtenidos para las 9 muestras son:

Número de muestra	ppm de potasio asimilable
1	334.6
2	361.6
3	329.9
4	294.8
5	334.6
6	283.4
7	314.7
8	212.4
9	235.1

Nota.- Los resultados que se presentan son el promedio de 3 determinaciones para cada muestra compuesta.

**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE POTASIO ASIMILABLE EN SUELOS**



III.2.5.8. Determinación de Calcio Asimilable.

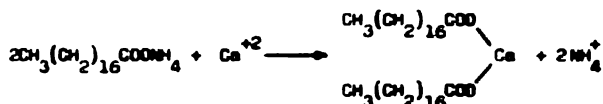
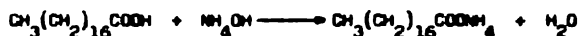
Existe una gran cantidad de métodos para determinar el calcio en suelos, pero la mayoría se encuentran sujetos a errores muy grandes ocasionados principalmente por los iones interferentes o por la poca especificidad de los reactivos empleados.

Se han propuesto varios reactivos "jabonosos" para determinar turbidimétricamente el calcio; algunos están constituidos por oleato y sulforricinolato, o bien por estearato de sodio, pero ninguno ha dado resultados satisfactorios, debido a que el calcio debe separarse de los iones interferentes (magnesio, manganeso, fierro y aluminio), antes de ser cuantificado. Además este tipo de reactivos "jabonosos" han resultado inestables en presencia de cantidades elevadas de acetato de sodio, que es componente de la solución extractora de Morgan (33) (40).

El reactivo "jabonoso" estearato de amonio, preparado a partir de ácido esteárico e hidróxido de amonio (NH_4OH), da resultados completamente satisfactorios cuando se utiliza ácido oléico como estabilizador, y alcohol etílico para aumentar la sensibilidad dentro de los límites de concentración de calcio existentes en suelos. Este reactivo se hace verdaderamente muy específico para calcio en presencia de pequeñas cantidades de citrato, y no da turbiedad con los iones interferentes, aún cuando éstos se encuentran presentes en concentraciones mayores que las que normalmente se encuentran en los extractos de suelos (33) (52).

cuando se trabaja a temperaturas superiores a los 28 °C, debe man tenerse ésta entre los 20 y 26 °C. Tomando en cuenta todas las — consideraciones necesarias, esta prueba turbidimétrica para el — calcio ha dado resultados muy reproducibles y exactos.

Las reacciones que se lleven a cabo son las siguientes:



La suspensión coloidal de estearato de calcio es estable por espacio de 2 a 3 horas sin formación de precipitado, por lo que la determinación debe hacerse antes de transcurrido ese tiempo.

Materiales.— Fotocolorímetro Klett Summerson modelo 800-3; filtro azul No. 42 con rango de transmisión 400-450 mμ y línea espectral principal de 420 mμ; celdas para fotocolorímetro; gradilla; tubos de ensayo; pipetas graduadas de 5 ml; solución extractora de Morgan ; solución "jabonosa" de estearato de amonio ; solución de citrato de amonio*. (* preparada según el Apéndice I).

Desarrollo.— Se colocan en un tubo de ensayo 0.5 ml. de extracto de suelo, se añaden 2 ml. de citrato de amonio y se agita perfectamente; inmediatamente se agregan 1.5 ml. de solución "jabonosa" de estearato de amonio, resbalándola por la pared del tubo y

forzando dos capas, se mezcla rápida y uniformemente. La turbidez se lee en el fotocolorímetro después de reposar los tubos 30 minutos empleando filtro azul No. 42.

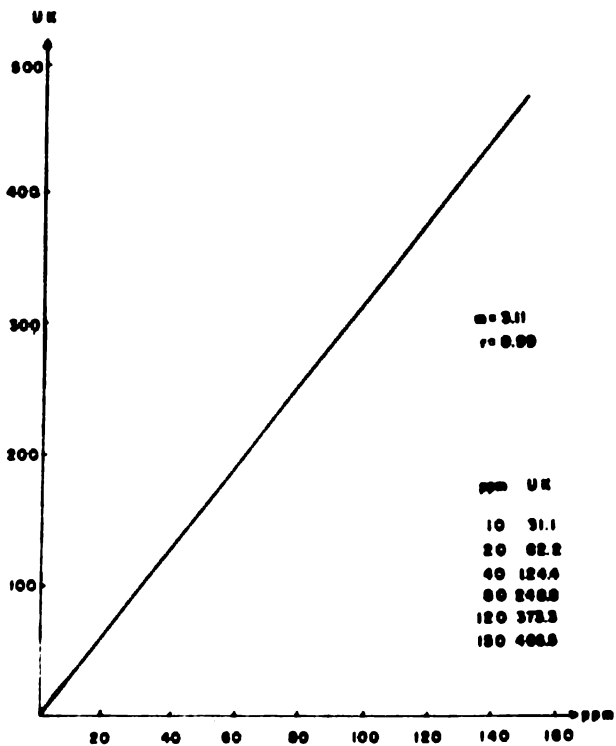
Trazado de la curva tipo.- Con las soluciones tipo diluidas (Tabla 3) que contienen 0, 10, 20, 40, 80, 120 y 160 ppm de calcio, se sigue el mismo desarrollo que con el extracto de suelo, empleando 0.5 ml. de solución diluida y tratándose exactamente igual y de manera simultánea con las muestras problema.

La curva que se reporta, es la regresión lineal de cinco series tipo de puntos (Apéndice II).

Resultados.- Los resultados para las 9 muestras son los siguientes:

Número de muestra	ppm de calcio asimilable
1	2000.0
2	2404.5
3	2583.5
4	2728.0
5	2081.0
6	2841.5
7	3945.5
8	2874.0
9	2226.5

**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE CALCIO ASIMILABLE EN SUELOS**



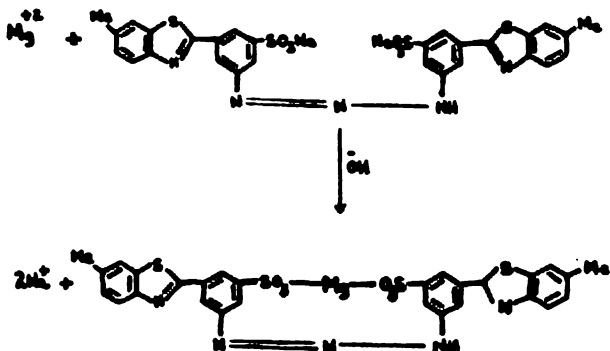
III.2.5.9. Determinación de Magnesio Asimilable.

Entre los métodos colorimétricos que existen para determinar magnesio en suelos, está el que utiliza p-nitrobenzensulfonoresorcinol, y el que emplea el amarillo de titan; los dos reactivos forman laca colorida con el magnesio, el segundo de éstos, ha sido ampliamente estudiado y logra eliminar la mayor parte de las interferencias, dando los mejores resultados y por esto se le ha adoptado como el mejor (33) (40).

El amarillo titan es uno de los mejores reactivos orgánicos para determinar el magnesio por colorimetría directa, se ha usado ampliamente en los análisis microquímicos rápidos de suelos; este reactivo forma laca de color rosa con el magnesio, cuya intensidad varía dependiendo de la concentración de éste. Dichas laca se forman como resultado de adsorción del colorante por el hidróxido de este elemento en solución alcalina; las laca de magnesio precipitan inmediatamente, a menos que se encuentran muy diluidas o que se añaden algunos coloides protectores adecuados, los cuales no afectan la intensidad de color de la laca y por el contrario estabilizan su color. Entre los coloides protectores más eficientes se encuentra el almidón (40).

Interfieren en esta determinación el aluminio, el fierro, el manganeso y el calcio; para eliminar estas interferencias se agrega clorhidrato de hidroxilamina el 5 % (0.0041Cl) (33).

La reacción que ocurre en esta determinación es la siguiente:



Materiales.- Fotocolorímetro Klett Sumerson modelo 800-3; filtro verde No. 54 con rango de transmisión 500-560 $m\mu$ y línea espectral principal de 540 $m\mu$; celdas para fotocolorímetro; pipetas graduadas de 5 al.; solución extractora de Morgan⁸; solución de clorhidrato de hidroxilamina al 5 % en agua; solución compuesta de amarillo titán⁸; solución de almidón al 1 % en agua; solución de hidróxido de sodio al 2.5 N; solución de amarillo titán diluida al 0.5 % en agua. (⁸preparada de acuerdo al Apéndice I).

Desarrollo.- Se mide una alícuota de 1 al. de extracto de suelo y se deposita en un tubo de ensayo, se agregan 2 al. de solución compuesta y se mezcla perfectamente, en seguida se añade 1 al. de hidróxido de sodio 2.5 N; se agita nuevamente y se deja reposar 5 minutos. La lectura de la turbidez se hace en el fotocolorímetro usando filtro verde No. 54.

Trazado de la curva tipo.- Con las soluciones tipo diluidas, (tabla 3) que contienen 0, 1.5, 3.0, 12.0, 18.0, 22.5 y 30.0 ppm de

magnesio asimilable, se sigue el mismo desarrollo que con el extracto de suelo, empleando l al de solución diluida y tratándose exactamente igual y de manera simultánea con las muestras problema.

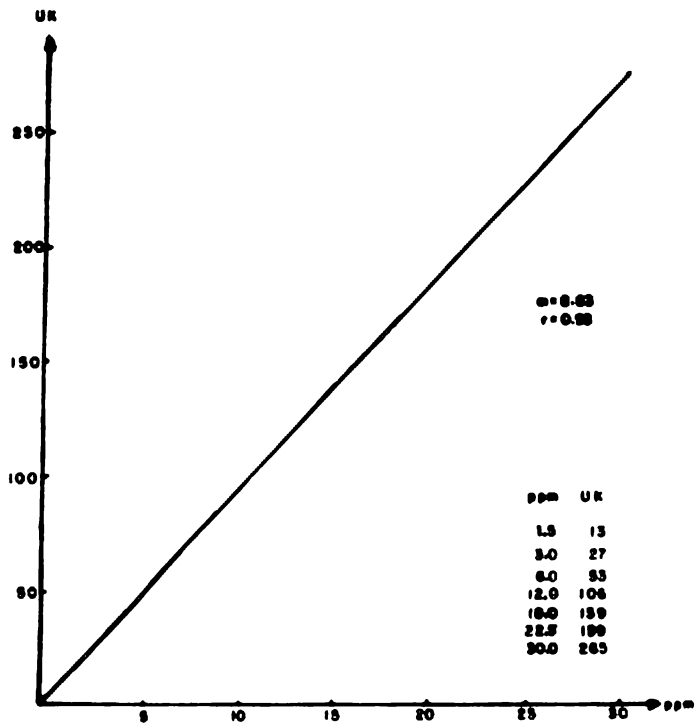
La curva tipo que se reporta es la regresión lineal de 5 series de puntos (Apéndice II).

Resultados.- Los resultados para las 9 muestras son los siguientes:

Número de muestra	ppm de magnesio asimilable
1	582.6
2	574.4
3	578.9
4	572.2
5	576.8
6	581.2
7	589.4
8	556.4
9	554.2

Nota.- Los resultados que se presentan son el promedio de tres determinaciones para cada muestra.

**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE MAGNESIO ASIMILABLE EN SUELOS**



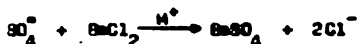
III.2.5.10. Determinación de Azufre Asimilable.

La gran mayoría de las pruebas para la cuantificación del azufre asimilable en suelos, se basan en la determinación del sulfato extraíble con la solución extractora de Morgan (6).

La determinación de sulfato mediante la medida de la turbidez producida por la precipitación de éste como sulfato de bario (BaSO_4) ha sido desde hace mucho tiempo una técnica muy utilizada, y a pasado de ser un procedimiento relativamente semicuantitativo a ser un método cuantitativo satisfactorio (24).

Para la precipitación del sulfato se emplea cloruro de bario (BaCl_2) en solución; el medio debe ser ligeramente ácido, debido a que el sulfato de bario es la única sal simple de bario que además de ser insoluble en agua, es insoluble en ácidos.

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



La determinación turbidimétrica de azufre empleando este método, es sensible, exacta, rápida y bastante adecuada para extractos claros de suelos. Este método se puede utilizar para determinar cualquier forma de azufre que se ha oxidado hasta sulfato.

El medio ácido en el que se desarrolla la precipitación del sulfato de bario, impide la precipitación de otras sales insolubles de bario (carbonatos, fosfatos, etc) en medio acuoso, pero solubles en ácidos fuertes.

Materiales.- Fotocolorímetro Klett Summerson modelo 800-3; filtro azul No. 42 con rango de transmisión de 400-450 m μ y línea espectral principal de 420 m μ ; celdas para fotocolorímetro; tubos de ensayo; gradilla; pipetas graduadas de 1 y 5 ml.; solución de cloruro de Bario al 10 % en agua, ácido clorhídrico concentrado.

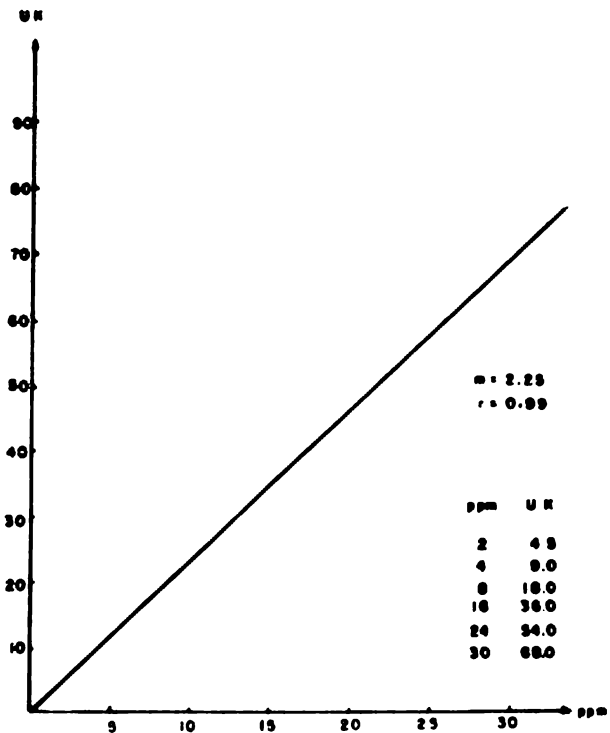
Desarrollo.- A 4 ml de extracto de suelo se le agregan 0.5 ml. de cloruro de bario al 10 % y una gota de ácido clorhídrico concentrado, agitando después de cada adición. Se lee la turbidez dentro de los primeros 2 a 8 minutos empleando el filtro azul No. 42.

Trazado de la curva tipo.- Con las soluciones tipo diluidas que contienen 0, 2, 4, 8, 16, 24, 30 y 40 ppm de azufre (Tabla 3) se sigue el mismo desarrollo que con el extracto de suelo, empleando 4 ml. de la solución diluida y tratándola exactamente igual y de manera simultánea con las muestras problema.

La curva tipo que se reporta para azufre asimilable, es la regresión lineal de cinco series tipo de puntos.

Resultados.- La turbidez desarrollada por las 9 muestras fue mínima, lo que significa que el azufre se encuentra solo en trazas por lo que su cuantificación exacta no tiene ningún significado para fines agrícolas.

**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE AZUFRE ASIMILABLE EN SUELOS**



III.2.5.11. Determinación de Cloro Asimilable.

El procedimiento clásico para la determinación de cloro asimilable en suelos (cloruros), se basa en la formación del cloruro de plata (AgCl), que es relativamente insoluble en medio acuoso y se mantiene en suspensión coloidal en presencia de ácido nítrico - para ser determinado turbidimétricamente.

Cuando se forma cloruro de plata en presencia de un exceso - de iones plata (Ag^+), las partículas coloidales de este compuesto, se estabilizan por adsorción primaria de los iones plata, que al rodearlas forman una capa de cargas positivas que atraen a los iones nitrato (NO_3^-) presentes en el medio de la reacción, produciéndose así un sistema coloidal (2).

Todas las partículas de un sistema coloidal tienen cargas de un mismo signo, la acción repulsiva entre tales cargas tiende a impedir que las partículas se unan y floculen, siendo esto un factor fundamental en la determinación turbidimétrica de cloruros.

La reacción que ocurre es la siguiente:



Este método es sensible, preciso, rápido y no se ve afectado por la presencia de los iones normalmente presentes en los extractos de suelos. Los iones sulfato y fosfato que forman precipitados insolubles con la plata, se ven eliminados por ser solubles en el medio ácido en el que se hace la determinación (24) (47).

Materiales.- Fotocolorímetro Klett Summerson modelo 800-3; filtro azul No. 42 con rango de transmisión de 400-450 m μ y línea espectral principal de 420 m μ ; celdas para fotocolorímetro; grilla; tubos de ensayo; pipetas graduadas de 1 y 5 ml.; solución alcohólica de nitrato de plata al 2 %; ácido nítrico concentrado.

Desarrollo.- A 4 ml. de extracto de suelo se le añaden 0.5 ml. de ácido nítrico concentrado y se agita perfectamente, posteriormente se agrega 1 ml. de nitrato de plata al 2 %, se mezcla bien y se lee la turbidez con el filtro azul No 42. en los primeros diez minutos.

Trazado de la curva tipo.- Con las soluciones tipo diluidas (Tabla 3) que contienen 0, 1.3, 2.5, 5.0, 10.0, 15.0, 18.5 y 25.0 ppm de cloruro se sigue el mismo procedimiento que con el extracto de suelo, empleando 4 ml. de la solución diluida y tratándola exactamente igual y de manera simultánea con las muestras problema.

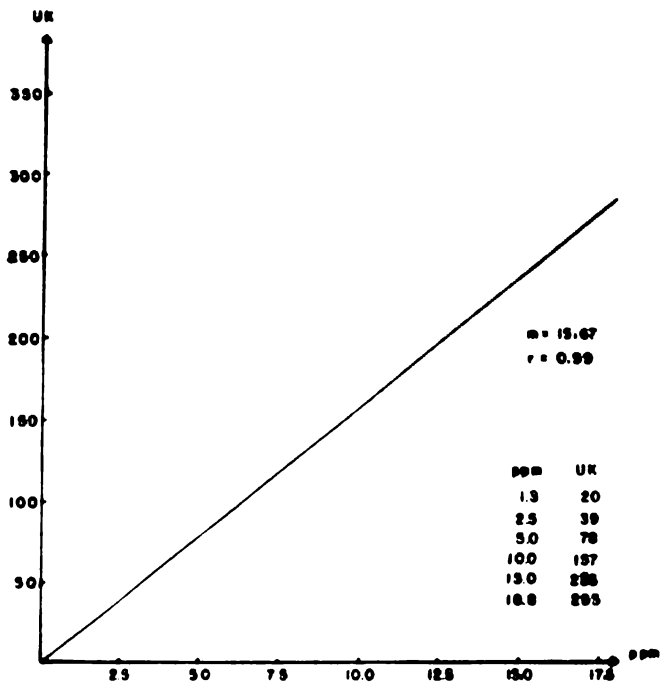
La curva tipo que se reporta para cloruro es la regresión lineal (Apéndice II) de cinco series de puntos.

Resultados.- Los resultados obtenidos para las 9 muestras analizadas se presentan en la siguiente hoja:

Número de muestra	ppm de cloro asilable
1	42.78
2	33.30
3	26.95
4	34.85
5	24.78
6	23.90
7	23.80
8	19.08
9	21.58

Nota.- Los resultados que se dan para el cloro asilable son el promedio de tres determinaciones para cada muestra.

**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE CLORO ASIMILABLE EN SUELOS**

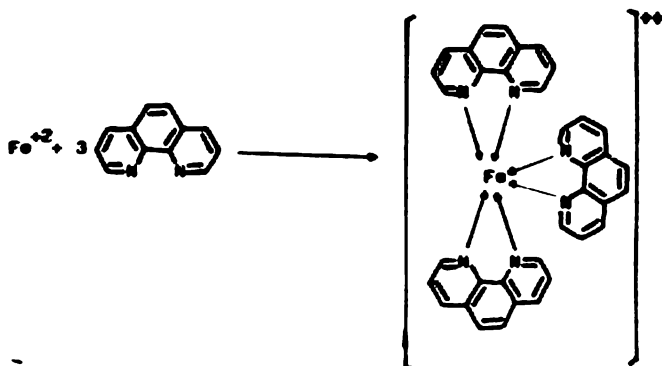
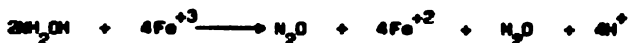


III.2.5.12. Determinación de Hierro Asimilable.

Entre los métodos analíticos cuantitativos desarrollados para cuantificar las pequeñas cantidades de hierro asimilable presentes en suelos destaca la colorimetría del complejo formado por dicho elemento con la ortofenantrolina.

El hierro se determina previa reducción al estado ferroso mediante el clorhidrato de hidroxilamina y formación subsiguiente de un complejo ferroso con la ortofenantrolina ($C_{12}H_8N_2$) en solución alcohólica, que es un compuesto con anillos quelados de color rojo intenso, denominado ordinariamente "ferroína" (24).

Las reacciones que se llevan a cabo son las siguientes:



El color del complejo ferrofina es estable durante varios meses y son suficientes unas cuantas partes por millón de fierro para desarrollarlo. Además la reducción del ión férrico (Fe^{+3}) con el clorhidrato de hidroxilamina se completa en un lapso no mayor de un minuto.

Las posibles interferencias pueden eliminarse mediante la presencia de citratos o de soluciones ácidas, ya que en medio alcalino algunos cationes pueden interferir a consecuencia de la formación del precipitado de sus hidróxidos. Los aniones presentes en el suelo no interfieren, excepto el ortofosfato (H_2PO_4^-), en concentraciones que regularmente no se encuentran presentes en suelos - (24).

Materiales.- Fotocolorímetro Klett Summerson modelo 800-3; filtro verde No. 54 con rango de transmisión de 500-560 $\text{m}\mu$ y línea espectral principal de 540 $\text{m}\mu$; celdas para fotocolorímetro; matraces Erlenmeyer de 125 ml.; probeta de 50 ml.; agitador mecánico; embudos de tallo largo; tubos de ensayo; pipetas graduadas de 1 y 5 ml.; papel Whatman No. 32; solución de ácido oxálico ($\text{C}_2\text{O}_4\text{H}_2$) al 0.5 % en agua destilada; solución de clorhidrato de hidroxilamina ($\text{KONH}_3^+\text{Cl}^-$) al 2 % en agua destilada; solución alcohólica de orto-fenantrolina al 2 %*. (* preparada de acuerdo al Apéndice I).

Método de Extracción.- La extracción del fierro asimilable empleando ácido oxálico, ha dado buenos resultados en muchos laboratorios especializados en suelos, ya que guarda una buena correlación con las cantidades de fierro extraídas empleando otras soluciones extractoras. (19) (33).

Se pesan 20 g. de suelo que han sido pasados a través de un tamiz de 2 mm. de abertura y se colocan en un matraz Erlenmeyer de 125 ml., se agregan 50 ml. de ácido oxálico al 0.5 % y se agitan - en un agitador mecánico por espacio de 30 minutos; en seguida se filtra a través de un papel filtro Whatman No. 32.

Desarrollo.- Se transfiere una alícuota de 4 ml. del extracto de suelo a un tubo de ensayo y se agregan 0.5 ml de solución de - clorhidrato de hidroxilamina al 2 % y se agita perfectamente; después se añade 1 ml. de la solución de ortofenantrolina y se mezcla uniformemente durante 30 segundos. Se dejan reposar las muestras - durante 15 minutos antes de proceder a leer en el fotocolorímetro empleando filtro verde No. 54.

Trazado de la curva tipo.- A partir de la solución patrón concentrada de 50 ppm (preparada de acuerdo al Apéndice I) se preparan series de tubos que contengan 0, 10, 15, 20, 25 y 30 ppm de fierro y se tratan de igual manera y de forma simultánea con las demás muestras.

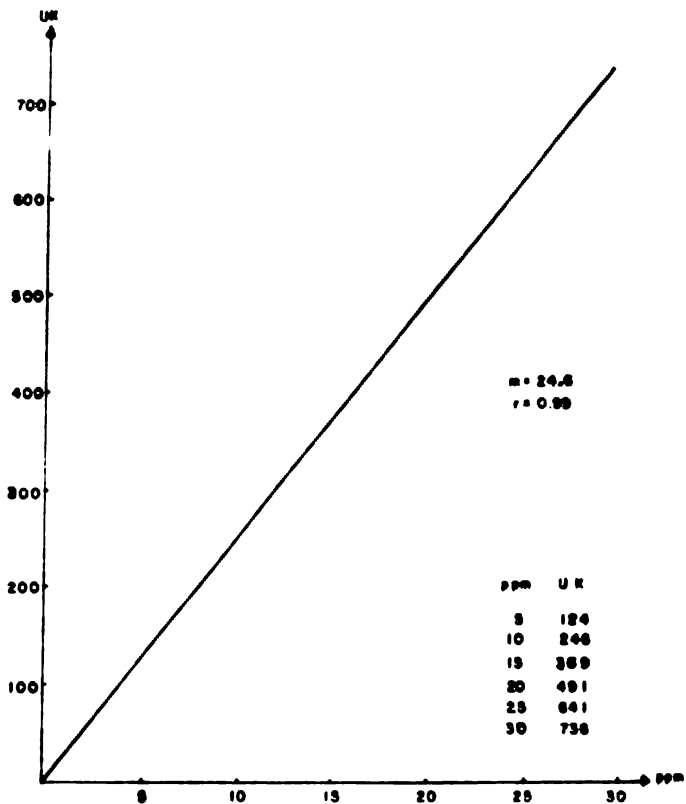
La curva que se reporta para el fierro es la regresión lineal de cuatro series de puntos.

Resultados .- Los resultados obtenidos para las 9 muestras se presentan en la hoja siguiente:

Número de muestra	ppm de hierro asimilable
1	49.18
2	47.45
3	53.03
4	63.90
5	50.70
6	61.38
7	45.83
8	66.95
9	72.58

Nota.- Los resultados que se dan para el hierro asimilable son el promedio de tres determinaciones para cada muestra compuesta.

**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE FIERRO ASIMILABLE EN SUELOS**

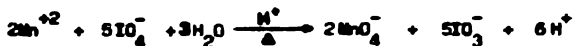


III.2.5.13. Determinación de Manganeso Asimilable.

La determinación del manganeso asimilable se basa en su oxidación con meta-peryodato de potasio (KIO_4) en medio ácido y empleando una sal de plata como catalizador.

El manganeso (II) se oxida a manganeso (VII) de color violeta intenso, en presencia de un oxidante fuerte, en medio ácido. La determinación del color desarrollado se lleva a cabo fotocolorimétricamente.

La reacción que se lleva a cabo es la siguiente:



Por este método pueden determinarse en forma de permanganato, pequeñas cantidades de manganeso presentes en los extractos de suelos; entre los diversos reactivos capaces de oxidar los estados inferiores de oxidación del manganeso a permanganato, el meta-peryodato es el más satisfactorio. La concentración de ácido puede variar entre límites amplios debido a que el color violeta del permanganato es estable a cualquier valor de pH. Por otro lado no perjudica una ebullición prolongada después de desarrollar el color; otra ventaja es la estabilidad indefinida del color del permanganato en presencia de un exceso de meta-peryodato (24) (33).

La determinación de manganeso por este método, se ve afectado por la presencia de reductores fuertes tales como la materia org

génica, la cual se elimina por el tratamiento a ebullición con ácido sulfúrico concentrado; el color generado por el ión férrico que también interfiere se elimina con ácido fosfórico que forma con éste un complejo fosfórico incoloro; el ión cloruro en muy altas concentraciones interfiere al formar precipitado de cloruro de plata con la sal de plata utilizada como catalizador.

Materiales.- Fotocolorímetro Klett Summerson modelo 800-3; filtro verde No. 54 con rango de transmisión de 500-560 $m\mu$ y línea espectral principal de 540 $m\mu$; celdas para fotocolorímetro; tubos de ensayo; pipetas graduadas de 1, 2, y 5 ml.; parrilla eléctrica con agitador mecánico Corning; matraces aforados de 100 ml.; matraces Erlenmeyer de 250 ml.; probeta de 100 ml.; papel Whatman No 41; solución extractora de fosfato de amonio monobásico 3N; solución de nitrato de plata al 2%; ácido fosfórico al 85%; ácido sulfúrico concentrado; ácido nítrico concentrado; metaperiodato en polvo; solución patrón de manganeso de 100 ppm. (preparada de acuerdo al Apéndice I).

Método de extracción.- El manganeso se extrae del suelo con solución de fosfato de amonio monobásico ($NH_4H_2PO_4$) 3N, debido a que la cantidad de manganeso extraído con este reactivo guarda una alta correlación con el contenido de manganeso extraído por las plantas cultivadas en invernaderos, proporcionando así una estimación adecuada del manganeso disponible en suelos (10).

Se toman 10 g. de suelo y se colocan en un matraz Erlenmeyer de 250 ml., se agregan 100 ml. de solución de sulfato de amonio monobásico 3N, se agita durante 1 hora en un agitador mecánico y se fil

tra en papel Whatman No. 41.

Desarrollo.- Se toma una alícuota de 25 ml. del extracto de suelo y se coloca en un vaso de precipitados de 250 ml, se agregan 5 ml. de ácido sulfúrico concentrado y se calienta en una parrilla eléctrica, hasta desprendimiento de humos blancos; se enfría y se añaden 5 ml. de ácido nítrico concentrado y 5 ml. de ácido fosfórico. Se diluye aproximadamente a 80 ml. con agua destilada y se agrega 1 ml. de solución de nitrato de plata (AgNO_3) al 2 % y 0.3 g de metaperiodato de potasio en polvo; se calienta a ebullición por espacio de 30 a 60 minutos, hasta desarrollo de color; se enfría y se diluye en un matraz aforado de 100 ml hasta dicho volumen, se lee en el fotocolorímetro empleando filtro verde No. 52.

Trazado de la curva tipo.- A partir de la solución de 100 ppm de manganeso se preparan series de soluciones que contengan 0, 5, 10, 15, 20, 25 ppm de manganeso y se tratan de igual manera y en forma simultánea que las muestras.

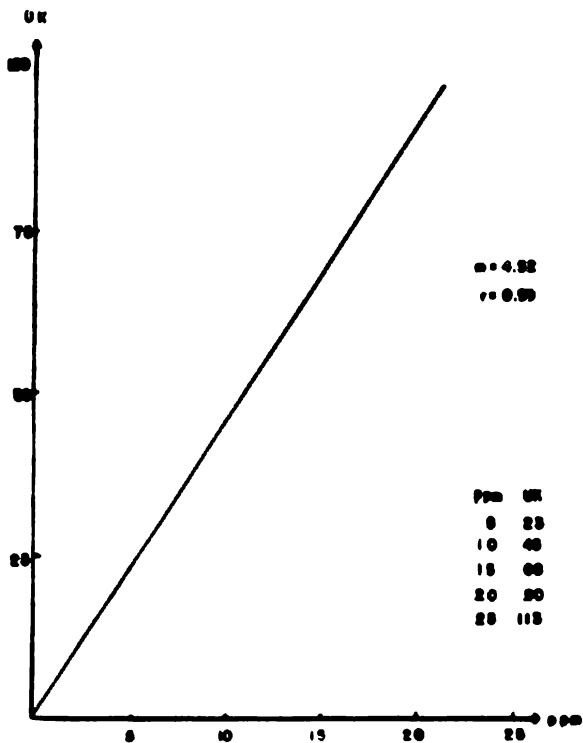
La curva tipo que se reporta para el manganeso es la regresión lineal de cinco series de puntos (Apéndice II).

Resultados.- Los resultados para las 9 muestras se presentan en la hoja siguiente:

Número de muestra	ppm de manganeso asimilable
1	4,30
2	2,75
3	4,74
4	4,08
5	4,08
6	3,20
7	4,70
8	3,20
9	4,52

Nota.- Los resultados que se presentan para el manganeso son el promedio de tres determinaciones para cada muestra compuesta.

**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE MANGANESO ASIMILABLE EN SUELOS**



III.2.6. Determinación de Elementos Intercambiables.

Los iones presentes en el suelo son de tres tipos: directamente disponibles, disponibles indirectamente y no disponibles. Los — pertenecientes al segundo tipo se fijan en el suelo por intercambio iónico (37).

Una cantidad considerable de iones intercambiables, es una — cualidad importante en un suelo, ya que supone la posibilidad de tener un depósito de iones nutritivos en forma de ser cedidos a la explotación del suelo, a medida que son consumidos de ésta por las plantas. La importancia de que los iones queden fijados al suelo radica en que de esa forma no se lavan con facilidad (37)

La existencia de iones intercambiables en un suelo se demuestra claramente por el hecho de que son varios los cationes que pueden ser llevados de éste con soluciones salinas, pero no con agua pura (6).

En los suelos no salinos, el orden de abundancia para los cationes sodio, potasio y calcio; en los sitios de intercambio es el siguiente:



Las diferencias del material madre (del que se originó el suelo), el grado de intemperización (desintegración o descomposición física y química de rocas y minerales bajo condiciones naturales), o por la influencia de sales solubles por escurrimientos, por fertilización, o por filtración, pueden cambiar el orden de abundancia, pe-

ro esta situación prevalece en la gran mayoría de los suelos (6).

Las reacciones de intercambio son extremadamente importantes para el desarrollo de las plantas, especialmente en regiones húmedas, debido a que la carga del mineral (o de la materia orgánica) retiene cationes solubles en agua, así pueden resistir el fenómeno de lixiviación (eliminación por lavado), pero como carecen de cohesión suficiente, pueden ser sustituidos por otros cationes (por intercambio) tornándose entonces aprovechables por las plantas (6).

El potasio y el sodio en pequeñas cantidades, son difíciles de determinar por métodos analíticos químicos. Sin embargo, la fotometría de flama permite medir con exactitud contenidos inferiores a una parte por millón de éstos elementos en extractos de suelos. El análisis de calcio puede realizarse por varios procedimientos químicos con gran exactitud y confiabilidad; sin embargo, la fotometría de flama es de más fácil realización, da resultados comparables a los de otros métodos y además permite analizar simultáneamente, los elementos sodio y potasio (37).

III.2.6.1. Generalidades del Método Flamométrico.

Cuando se someten los átomos a una energía térmica o eléctrica suficientemente intensa, proporcionada por llamas, arcos o chispas, los electrones saltan desde su estado fundamental a niveles de energía más elevados, llegando incluso a separarse de los átomos (ionización). Los electrones excitados manifiestan tendencia a regresar a su estado normal; al hacerlo, emiten el sobrante de energía -

en forma de fotones de energía radiante. Como los electrones pueden ocupar solamente estados o niveles definidos de energía, la emisión da lugar a frecuencias o longitudes de onda definidas y por ello a líneas características de los átomos excitados. La medida de estas longitudes de onda y de su intensidad permite el análisis — cualitativo de la muestra. Cuanto mayor sea la energía de excitación y, por tanto, la energía emitida, más numerosas serán las líneas en el espectro resultante. Con energías de excitación relativamente bajas, como sucede con las llamas, la emisión se produce — principalmente en la región visible del espectro (2).

El análisis cuantitativo por fotometría de flama se basa en el hecho de que existe un incremento en la emisión total, a las — longitudes de onda características del elemento que está siendo de terminado, con el incremento de la concentración del mismo. Así, — cuando se rocía una solución de un compuesto sobre una flama y se compara la radiación emitida por ésta, con la correspondiente a la emitida por una solución de concentración conocida del mismo ele — mento, se puede determinar la concentración desconocida (4) (27).

Los metales de los grupos alcalinos y alcalinotérreos tienen energías de excitación lo suficientemente bajas para ser suscepti — bles de determinar por fotometría de flama. Las técnicas que se u — tilizan para su cuantificación dependen particularmente del tipo de instrumento empleado (4) (12).

Los fotómetros de flama, son los aparatos más sencillos que se emplean en este tipo de fotometría, ya que la selección de las

longitudes de onda emitidas se hace con filtros específicos a los compuestos a determinar. Los principales elementos que constituyen un fotómetro de flama, son:

- a) Un atomizador
- b) Un mechero
- c) Un dispositivo óptico (filtros)
- d) Un receptor y aparato de medida

Además, para funcionar, el aparato necesita una fuente de gas combustible y otra de gas comburente (12).

La fotometría de flama ha venido siendo en los últimos años, uno de los métodos analíticos instrumentales más empleados en los laboratorios de análisis de suelos, debido a su sencillez, rapidez y confiabilidad en los resultados.

El tamaño de la muestra en fotometría de flama, puede ser pequeño y es posible la determinación simultánea de varios elementos en el mismo extracto de suelo. Las interferencias en la determinación de un elemento en especial, pueden surgir como consecuencia de la exaltación de intensidad de fondo por la presencia de cationes extraños, o por la disminución de la intensidad de emisión de ciertos cationes como resultado de la presencia de determinados aniones a través de la formación de compuestos de elevado punto de fusión, o punto de ebullición muy alto en el seno de la flama.

III.2.6.2. Preparación de las Soluciones para el Trazado de las Curvas Tipo.

Por lo general, la obtención de resultados cuantitativos -- por fotometría de flama, requiere de la preparación de una curva de calibración, con soluciones de concentraciones conocidas del elemento en estudio (Intensidad de Emisión = f (concentración)) - (27).

Es por esto que se preparan series tipo de soluciones con las siguientes concentraciones conocidas:

- a) 0, 10, 20, 30, 40 y 50 ppm de sodio.*
- b) 0, 10, 20, 30, 50, 70, 80, 90 y 100 ppm de potasio.*
- c) 0, 40, 60, 100, 140, 160, 180, 200 y 220 ppm de calcio.*

(*preparadas de acuerdo al Apéndice I)

III.2.6.3. Extracción de Elementos Intercambiables.

Han sido muchas las soluciones que se han empleado para obtener los iones intercambiables presentes en un suelo, principalmente se han tratado de soluciones de sales que ocasionan el desplazamiento de los iones intercambiables adsorbidos, algunas de las más importantes son las siguientes: acetato de amonio (NH_4OAc), cloruro de amonio (NH_4Cl), cloruro de sodio (NaCl), acetato de sodio -- (NaOAc), o cloruro de bario (BaCl_2) (4).

los siguientes factores:

- a) El catión desplazante no debe ser idéntico a ninguno de los cationes intercambiables a cuantificar.
- b) El anión de la sal no debe interferir en la determinación de los iones intercambiables.
- c) La sal empleada debe ser soluble a pH 7 ya que las cargas de intercambio iónico dependen parcialmente del pH, y es éste el más adecuado para la extracción.
- d) El catión desplazante no debe presentar efectos de fijación.

La solución de acetato de amonio a pH 7, además de cumplir con las características anteriores, presenta las siguientes ventajas:

- a) Es muy eficaz para reemplazar los cationes intercambiables.
- b) La fijación del ión amonio interfiere relativamente poco con la extracción de los iones metálicos canjeables.
- c) La eficacia con la que puede eliminarse por volatilización durante el análisis espectrofotométrico de flama.
- d) El extracto que se obtiene, contiene solo bajas concentraciones de iones interferentes, tales como fosfatos, aluminio y hierro, por lo que no son necesarias las separaciones químicas previas.

Materiales.- Matraces Erlenmeyer de 250 ml.; agitadores mecánicos; probeta de 100 ml.; embudos de tallo largo; balanza analítica; vasos de precipitados de 100 ml.; papel Whatman No. 1 o equivalente; solución de acetato de amonio 1N pH 7.0. (Se prepara de acuerdo al Apéndice I)

Desarrollo.- Se pesan 10 g. de suelo secado al aire y pasados a través de un tamiz de 2 mm. de abertura. Se colocan en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. y se añaden 100 ml. de solución de acetato de amonio 1N pH 7, se agita durante 10 minutos en un agitador mecánico, se filtra a través de papel filtro Whatman No. 1, a un vaso de precipitados de 100 ml. El extracto se usa para las determinaciones de los cationes intercambiables sodio, potasio y calcio, por fotometría de flama.

III.2.6.4. Trazado de las Curvas Tipo y Determinación de Sodio, Potasio y Calcio Intercambiables.

El trazado de las curvas tipo y la determinación de sodio, potasio y calcio intercambiables, pueden hacerse para mayor confiabilidad en una sola sesión de trabajo, o procurando mantener siempre las mismas condiciones en el fotómetro de flama.

Materiales.- Fotómetro de Flama Corning EEL; filtros para la determinación de sodio, potasio y calcio; celdas para el fotómetro de flama; compresor de aire Corning EEL 950.

asamente las instrucciones del aparato y acoplado a éste el filtro correspondiente al elemento a determinar.

- 2) Se introduce el capilar del fotómetro de flama en una celda que contiene agua destilada, con el propósito de lavar, se retira ésta y se espera un minuto hasta estabilidad de la flama.
- 3) Se introduce el capilar del fotómetro de flama en la celda que contiene 0 ppm del elemento y se ajusta la escala del aparato a 0, y se retira la celda.
- 4) Se introduce el capilar en la celda que contiene la mayor concentración del elemento a determinar y se ajusta el aparato a 100 en la escala de lectura, con el botón a descuido.
- 5) Se retira la celda anterior y se introduce el capilar en la celda que contiene 0 ppm, asegurándose que la lectura continúa en 0 en la escala del aparato. Si no es así, se ajusta nuevamente repitiendo sucesivamente los pasos 3) y 4) hasta que no haya variación.
- 6) Se introduce el capilar del fotómetro en la solución de 0 ppm, con el propósito de eliminar los residuos del elemento que hubieran quedado al calibrar el aparato a 100 ppm.
- 7) Se procede a leer cada serie tipo (5 series para cada elemento), verificando cada cinco lecturas que el aparato sigue calibrado, si no es así es necesario calibrarlo nuevamente.

- 8) Con el aparato calibrado se lee cada uno de los problemas utilizando el mismo procedimiento descrito.
- 9) Se cambia el filtro y se sigue el mismo desarrollo para la obtención de cada curva.
- 10) Las lecturas así obtenidas, se grafican por separado para cada elemento.

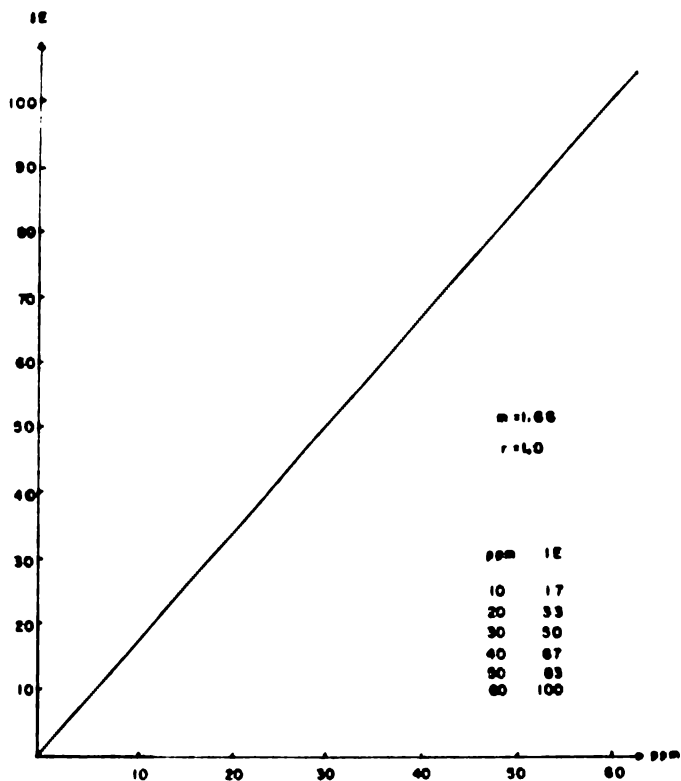
Las curvas tipo que se presentan son la regresión lineal de cinco series tipo de puntos para cada elemento.

Resultados.- Los resultados para las 9 muestras son los siguientes:

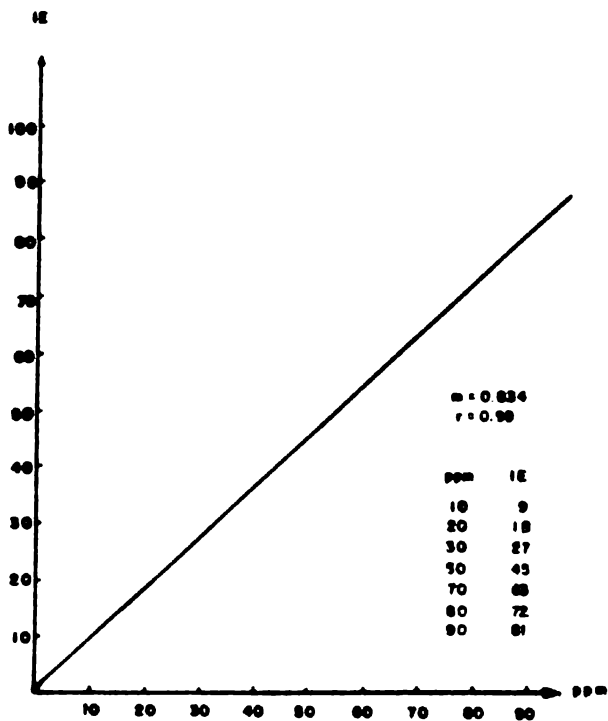
Muestra No.	ppm sodio	ppm potasio	ppm calcio
1	152.3	688.7	1856.1
2	48.9	613.7	1538.8
3	83.3	436.9	1474.5
4	60.3	639.6	1315.3
5	60.3	487.8	1372.4
6	77.6	417.3	1392.9
7	152.3	591.4	1794.9
8	—	322.0	1223.5
9	—	330.3	1256.1

Nota.- Los resultados que se presentan son el promedio de tres determinaciones para cada muestra compuesta.

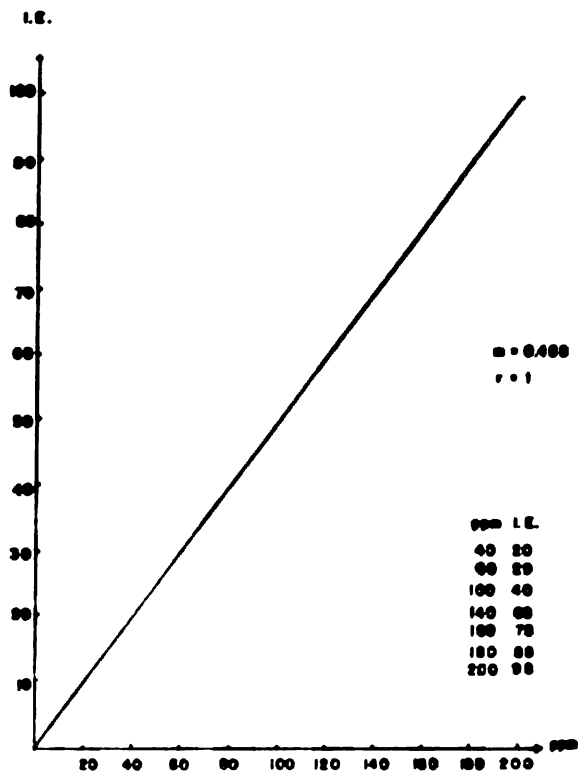
GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE SODIO INTERCAMBIABLE EN SUELOS



**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE POTASIO INTERCAMBIABLE EN SUELOS**



**GRAFICA PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE CALCIO INTERCAMBIABLE EN SUELOS**



IV. DISCUSION DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES.

IV.1. Discusión de los Resultados

El análisis se hizo para la capa arable de 0 a 40 cm. de profundidad. Los resultados obtenidos, se comparan con diversas ta blas que clasifican a los suelos por su contenido en nutrientes, - al mismo tiempo que se dan los niveles adecuados de éstos para el cultivo de maíz. Los criterios de clasificación varían de un autor a otro. y en este trabajo se emplean principalmente las ta blas elaboradas por Rodolfo Moreno Dávalos, por ser éstas las más actualizadas, aunque no lo suficientemente completas para basarse exclusiva mente en ellas.

Análisis Mecánico.- Este análisis dió como resultado que las parcelas 2 y 3 situadas al norte del ex-hancho Almazán (figura 2), poseen una textura franco-arenosa-arcillosa, y las situadas al - canto (parcelas 9 y 11) y al sur (parcelas 25 y 26) poseen una - textura franco-arenosa. Estos tipos de suelos tienen un abasteci- miento de agua y nutrientes limitado, por lo que presentan bajas condiciones de fertilidad (28) (29) sin embargo, el efecto aglutinante del carbonato de calcio, el cual se halla en cantidades ade cuadas en los suelos estudiados, les imparte propiedades sísmi- res a las de los suelos francos que son de textura apropiada para el cultivo de maíz.

Espacio Poroso.- Los valores encontrados fluctúan entre - 46.85 a 50 %, con un promedio de 47.55 % para las nueve muestras

analizadas; se clasifica como un suelo medio en cuanto a esta propiedad. El nivel de porosidad es el adecuado para que las raíces de las plantas de raíz obtengan una buena aereación y un buen abastecimiento de nutrientes solubles en agua; es importante hacer notar que los suelos aumentan su porosidad cuando son barbechados.

Sales Solubles.- El contenido de sales solubles encontrado en las muestras analizadas está comprendido entre 172.8 a 648.9 ppm con un valor promedio de 385.7 ppm equivalentes a una conductividad eléctrica de 0.60 mmhos/cm, por lo que estos suelos están prácticamente exentos de salinidad y el crecimiento del cultivo de maíz no se verá afectado por este factor.

Reacción del suelo.- Los valores de pH van de 6.5 a 7.05, con un valor promedio de 6.74, clasificándose como suelos que van de ligeramente ácidos a neutros (31), por lo que resultan adecuados, ya que el rango de pH óptimo para el cultivo de maíz va de 6.5 a 7.5 (39).

Materia Orgánica.- La materia orgánica varía de 2 a 2.69 % con un valor promedio para todas las muestras estudiadas de 2.3 % y con un porcentaje de carbono que va de 1.16 a 1.44 % con un promedio de 1.34 %; clasificándose estos suelos como medianos a medianamente ricos (31). El nivel de materia orgánica de los suelos estudiados es adecuado para el cultivo de maíz ya que éste requiere de 2% de materia orgánica; sin embargo, puede decirse en general que cuanto mayor es la cantidad de materia orgánica descompuesta presente en un suelo determinado, tanto más elevado será su nivel de

productividad.

Nitrógeno Total (excepto nitratos).- El contenido en nitrógeno total varía de 0.1569 a 0.2242 % con un valor promedio de 0.1775 % para todas las muestras estudiadas; se clasifican como medianas a medianamente ricas (31); el nivel óptimo para el cultivo de maíz es de 0.1 % (82). De todos los cereales, el maíz requiere las cantidades más grandes de nutrientes particularmente de nitrógeno, por lo que resulta ser un factor limitante del crecimiento de dicho cereal y se le considera como un indicador del grado de fertilidad de los suelos.

Porcentaje de Carbonato de Calcio.- El contenido de éste compuesto varía de 1.9 a 2.37 % con un promedio de 2.1 % para las nueve muestras analizadas. El valor adecuado para el cultivo de maíz es de 2 % (52). Como ya se dijo antes, al hablar de textura, éste compuesto juega un papel importante mejorando la textura en los suelos estudiados, haciéndolos más propicios para el cultivo de maíz.

Nitrógeno Nítrico.- En las muestras 2, 7, 8 y 9 se hallaron las cantidades 6.2, 60.55, 59.25 y 47.25 ppm respectivamente; en las demás muestras no se detectó la presencia de este nutriente. Cabe mencionar que la determinación de nitratos en los suelos siempre da una buena estimación del nitrógeno aprovechable al tiempo de muestreo pero no coincide necesariamente con la cantidad que será liberado más tarde. También la profundidad del muestreo para nitratos es crítica por ~~que~~, por ejemplo, una lluvia pesada puede —

dar como resultado considerables desplazamientos de nitratos hacia capas más profundas del suelo (6). Por lo que los resultados encontrados deben tomarse con la debida reserva.

Nitrógeno Amoniacal.- Las concentraciones de éste van de 15.5 a 26 ppm con un valor promedio para las nueve muestras de 20.38 ppm.

El nivel adecuado de nitrógeno nítrico más nitrógeno amoniacal ($\text{NO}_3^- + \text{NH}_4^+$) para el cultivo de maíz es de 60 ppm (32). Así, por las primeras seis muestras estudiadas es bajo, posiblemente se deba a que cuando se realizó el muestreo, las parcelas correspondientes a dichas muestras estaban sembradas con avena y cebada, cultivos que se hallaban cercanos al final de su ciclo vegetativo y posiblemente la extracción de este nutriente por las plantas lo habían agotado. Para las parcelas correspondientes a las muestras 7, 8 y 9 el nivel es adecuado, cabe hacer notar que las parcelas correspondientes a estas muestras no fueron sembradas con ningún cultivo durante el ciclo agrícola anterior al muestreo.

Fósforo Aisilable.- Las concentraciones de este nutriente en las muestras estudiadas van de 33.5 a 64.5 ppm con un promedio de 56.95 ppm; se clasifican como medianas a medianamente ricas en dicho nutriente (31). La concentración adecuada para el cultivo de maíz es de 40 ppm (32), por lo que el nivel de este nutriente es aceptable, tomando en cuenta el valor de pH en los suelos estudiados; ya que en suelos ácidos la disponibilidad del fósforo queda limitada por la presencia del aluminio y hierro solubles y, en los suelos alcalinos, su disponibilidad se ve afectada por la for-

nación de fosfatos cálcicos insolubles, por lo que para obtener buenos resultados en la nutrición fosfórica, es necesario que el pH de los suelos se encuentre entre los límites de 5.5 a 7.

Potasio.- Las concentraciones halladas van de 212.4 a 351.6 ppm con un promedio para las nueve muestras en estudio de 299.2 ppm por lo que se clasifican como medianos a sedianamente ricos (31). La cantidad que se considera adecuada para el cultivo de caña de azúcar es de 150 ppm (52) así, los suelos estudiados son propicios para dicho cultivo en cuanto a este nutrimento.

Calcio Asimilable.- Las concentraciones de este elemento van de 2000 a 3945.5 ppm con un promedio de 2633.3 ppm para las nueve muestras estudiadas, estos suelos se clasifican como medianamente-ricos a muy ricos, a excepción de la muestra 7 que se clasifica como extremadamente rico (31). El nivel adecuado para el cultivo de caña de azúcar es de 1000 ppm (52).

El exceso de calcio asimilable no solamente tiende a inhibir la disponibilidad de potasio, fósforo y magnesio; sino también la de elementos menores como fierro, manganeso y boro; la presencia de materia orgánica en niveles adecuados, ayuda a disminuir el exceso de este elemento, como consecuencia de su alta capacidad de adsorción de iones, lo que inmoviliza parte del calcio y mantiene la concentración adecuada en la solución del suelo.

Magnesio Asimilable.- Las concentraciones para este nutrimento en las muestras de suelo estudiadas van de 554.2 a 599.4 ppm, con un promedio de 576 ppm, considerándose estos suelos como nor-

males (37), el nivel adecuado para el cultivo de cañiz se considera de 76 ppm (52); por lo que no hay problemas con este nutrimento.

Azufre.- Este nutrimento no fué detectado en ninguna de las muestras estudiadas. Los requerimientos de este nutrimento para el cultivo de cañiz es de 30 ppm (52).

Cloro Asimilable.- Las concentraciones determinadas para este nutrimento van de 19.05 a 34.85 ppm con un valor promedio de 27.83 ppm en las nueve muestras analizadas, no se encontró información sobre los requerimientos de este nutriente para el cultivo de cañiz; sin embargo, según se mencionan en otros estudios de suelos - del Valle de México, estos valores están entre los más comunes hallados.

Fierro Asimilable.- Las concentraciones de este elemento en las muestras analizadas van de 91.85 a 145.1 ppm con un promedio de 113.54 ppm, se clasifican como suelos bajos en dicho elemento (37); el nivel que requiere el cultivo de cañiz es de 20 ppm (52).

Manganeso Asimilable.- Las concentraciones de este elemento van de 118 a 189.6 ppm con un valor promedio de 163 ppm, clasificándose como suelos muy ricos en este elemento (20), los niveles que requiere el cultivo de cañiz es de 10 ppm (52).

Tanto el fierro como el manganeso asimilables se encuentran muy por encima de los niveles requeridos para el cultivo de cañiz, ambos son esenciales pero cuando existen en exceso producen efectos tóxicos en las plantas. Así, el exceso de manganeso actúa co-

no agente oxidante del hierro ferroso (Fe^{+2}) que pasa a hierro férrico (Fe^{+3}), lo que puede llevar consigo la aparición de síntomas de carencia de hierro asimilable (clorosis). La relación adecuada para estos dos elementos debe ser 2:1 ($\text{Fe}^{+2} / \text{Mn}^{+2}$). En la bibliografía se reporta que el exceso de manganeso asimilable puede ser controlado por la adición de la cantidad de hierro necesaria para tener la relación favorable de 2:1. El material que suele ser empleado con este fin es el sulfato ferroso (FeSO_4).

Relación C/N.- Esta relación es un criterio que sirve para determinar el grado de descomposición de la materia orgánica en humus, los resultados obtenidos para las nueve muestras analizadas van de 6.95 a 8.22, con un valor promedio de 7.5; la relación que se requiere para el cultivo de maíz es de alrededor de 10:1, por lo que los niveles de las muestras estudiadas son bajos (37). Este bajo nivel implica una baja disponibilidad de nitrógeno proveniente de materia orgánica.

Cationes Intercambiables.- Para el sodio intercambiable los resultados van de 102 a 186 ppm con un promedio de 142.6 ppm; para potasio intercambiable se hallaron valores que van de 301.9 a 723.3 ppm con un promedio de 506.4 ppm; para el calcio intercambiable se hallaron valores que fluctúan de 1250 a 1840 ppm con un promedio de 1433 ppm para las nueve muestras analizadas.

El contenido en sodio y potasio intercambiable, es alto (32) para todas las muestras analizadas; en cuanto a calcio intercambiable, de acuerdo a los resultados obtenidos de las muestras estudiadas son pobres en dicho elemento (37).

IV.2. Conclusiones.

En general los resultados presentados en este trabajo, nos indican que los suelos estudiados tienen un nivel adecuado de nutrientes para el cultivo de maíz, pero a pesar de esto se hace necesario mantener un nivel apropiado de nutrientes para siembras posteriores, lo cual se logrará adicionando materia orgánica y fertilizantes en las cantidades que los encargados de la explotación agrícola de estos suelos, consideren que son las convenientes con base a los resultados hallados.

Es importante hacer notar que los niveles de nutrientes varían a lo largo de cada ciclo agrícola por diversos factores como son: la extracción de nutrientes por los cultivos, la aplicación de fertilizantes, así como también dependen de la época del año en que se haga el muestreo para el análisis. Por otro lado, influye de manera importante la calidad del agua de riego, ya que ésta puede aportar además de sales minerales aprovechables, algunos contaminantes dependiendo del origen de ésta, por lo que resulta de interés conocer la composición cualitativa y cuantitativa de dicha agua.

Con base en lo anterior, es conveniente hacer evaluaciones de conductividad eléctrica, pH, materia orgánica y macronutrientes antes de cada ciclo agrícola o en el momento en que sea necesario conocer la concentración de algún nutriente en particular porque un cultivo manifiesta alguna deficiencia específica.

Si bien, el análisis físico y químico de suelos, es uno de

los factores más importantes que puede contribuir al aumento de la productividad de los suelos, éstos junto con los fertilizantes, — por sí solos, no resuelven todos los problemas de la producción de maíz o cualquier otro cultivo; ya que es necesario, entre otros es dicos, un análisis foliar, así como ensayos de productividad para — distintas variedades de maíz mediante la aplicación de distintas — formulaciones de fertilizantes y la observación de la respuesta de los cultivos midiendo los rendimientos finales en el campo.

Aumentar la productividad de un suelo y mantener o mejorar — la fertilidad del mismo, no es tarea únicamente del Ingeniero Agrí — cole o del Agrónomo, sino de una serie de profesionistas trabaja — do multidisciplinariamente con un mismo propósito. Así, los resulta — dos del trabajo que aquí se presenta, no son de ninguna manera los — únicos que se requieren para aumentar la producción del maíz o cual — quier otro cultivo; pero sí son una colaboración importante del pro — fesional de la Química para alcanzar dicho objetivo.

APENDICE I

Preparación de Soluciones

La mayor parte de los reactivos utilizados para la elaboración de este trabajo fueron de la marca J. T. Baker "Baker Analyzed" reactivo; cuando la marca utilizada haya sido distinta se especificará.

1) Indicador de Wesselow.

Se disuelven 1.250 g. de rojo de metilo y 0.850 g. de azul de metileno en 1 lt. de alcohol etílico al 90 %.

2) Mezcla Digestora (método de Kjendhal).

Mezclar 6.0 g. de selenio metálico con 503.0 g de sulfato de sodio decahidratado ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) y 17.4 g. de sulfato de cobre pentahidratado ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$).

3) Reactivo de Nessler.

Se disuelven 45.5 g. de yoduro mercuríco (HgI_2) y 35.0 g. de yoduro de potasio (KI), se mezcla perfectamente, se enfría la solución y se sifona a 500 ml.

4) Solución de Acetato de Amonio 1N pH 7.

1° En una probeta de 200 ml. se miden 115 ml. de ácido acético glacial, se vierten en una probeta de 1 lt. que contenga 500

al. de agua destilada y se lleve a 1 lt. con más agua destilada.

- 2° En otra probeta de 200 al. se toman 150 al. de amoniaco — concentrado, se vierten en una probeta de 1 lt. que contenga 500 al. de agua destilada y se llevan a un litro con — más agua destilada.
- 3° Se pone la solución diluida de ácido acético antes obtenida en un vaso de 2.5 lt. y se añade lentamente la solución diluida de amoniaco preparada en el párrafo 2°.
- 4° Una vez que se haya enfriado hasta 20 - 25 °C (medidos con termómetro), la solución de acetato de amonio obtenida en — el párrafo anterior, se ajusta a pH 7 utilizando un pHmetro añadiendo ácido glucial o amoniaco concentrado, según sea — el caso.

5) Solución de Azul de Bromotimol (marca Merck).

0.1 g. de indicador se disuelven en agua destilada, se agregan 1.6 ml. de hidróxido de sodio 1N y se afora a 250 al.

6) Solución de Brucina al 2.5 %.

Se disuelven 2.5 g. de brucina o sulfato de brucina en 100 al. de ácido acético glucial; se guarda en un frasco esbar con tapón esmerilado.

7) Solución de Citrato de Amonio.

Se disuelven 1.5 g. de citrato de sodio undecahidratado — $(\text{HOOC}(\text{COONa})\text{CH}_2\text{COONa})_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y se añaden 14 ml. de hidróxido de amonio (NH_4OH) concentrado y se diluye 1:1

con agua destilada.

8) Solución de Cobaltinitrito de Sodio.

Se disuelven 6,25 g. de nitrato cobaltoso hexahidratado $\text{Co}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en aproximadamente 80 ml. de agua destilada. Por otro lado se disuelven 75 g. de nitrito de sodio (NaNO_2) en otro volumen igual de agua destilada más 5 ml. de ácido acético glacial; se mezcla lentamente y se deja reposar toda la noche y al día siguiente se afara a 250 ml. Se guarda en frasco amber - en refrigeración.

9) Solución Compuesta de Amarillo Titán.

A 200 ml. de una solución de almidón al 1 % en agua destilada, se le agregan 20 ml. de solución de amarillo titán al 0,05 % en agua y 20 ml. de solución de clorhidrato de hidroxicelulosa al 5 % en agua. (esta mezcla debe prepararse diariamente).

10) Solución Concentrada de Cloruro Estanoso.

Se disuelven 22 g. de cloruro estanoso dihidratado ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en 50 ml. de ácido clorhídrico concentrado densidad 1,18 y se guarda en una botella amber.

11) Solución Diluida de Cloruro Estanoso.

Se diluye 1 ml. de la solución concentrada de cloruro estanoso con 500 ml. de ácido clorhídrico diluido 1 a 9 con agua destilada. (Este reactivo se prepara diariamente).

12) Solución de Difencil Amina.

0.5 g. de difenil amina se disuelven en una mezcla de 80 ml. de ácido sulfúrico concentrado y 20 ml. de agua.

13) Solución Extractora de Morgan (pH 4.8)

Se disuelven 100 g. de acetato de sodio trihidratado marca Merck "pro analysi" ($\text{CH}_3\text{COONa}\cdot 3\text{H}_2\text{O}$) y se agregan 30 ml. de ácido acético glacial y se afora a 1 lt. El pH de la solución se ajusta a pH 4.8, empleando un pHmetro, agregando ácido acético glacial o solución concentrada de hidróxido de sodio, según sea el caso.

14) Solución de Goma Acacia.

Se disuelven 10 g. de goma acacia en polvo, en 195 ml. de agua destilada y se agregan 5 ml. de reactivo de Nesaler.

15) Solución "Jabonosa" o de Estearato de Amonio.

Se disuelven 0.60 g. de ácido esteárico recristalizado con 7.5 ml. de ácido oleico en 320 ml. de alcohol etílico al 95 %; se agregan 80 ml. de una solución que contiene en ese volumen 16 g. de carbonato de amonio ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) se enfría, se agregan 350 ml. de alcohol etílico al 95 %, 40 ml. de agua destilada y 14 ml. de hidróxido de amonio concentrado y se diluye 1:1 con agua destilada.

16) Solución de Molibdato de Amonio.

Se disuelven 17.5 g. de molibdato de amonio tetrahidratado $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ en 300 ml. de agua destilada y se agregan 575 ml. de ácido clorhídrico concentrado de densidad 1.18; se enfría a temperatura ambiente y se almacena en una botella oscura.

17) Solución de Sulfato Ferroso 1N.

Se disuelven 278.02 g. de sulfato ferroso heptahidratado ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) en agua destilada y se le agregan cuidadosamente 15 ml. de ácido sulfúrico concentrado y se afora a 1 lit.

18) Solución de Tartrato de Sodio Alcalino.

Se disuelven 40 g. de tartrato de sodio dihidratado ($\text{NaCOO}(\text{CHOH})_2\text{COONa} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) en 300 ml. de agua destilada y se agregan 13 g. de hidróxido de sodio en lentejas y se lleva a un volumen de 500 ml.

19) Solución Tipo de Calcio.

Se pesan exactamente 2.4972 g. de carbonato de calcio (CaCO_3), previamente secado a 110 °C en una estufa, durante tres horas. Se disuelve en un vaso de precipitados con 10 ml. de ácido clorhídrico concentrado, aplicando calor hasta ebullición para expulsar el dióxido de carbono (CO_2) hasta obtener una solución transparente; se enfría a temperatura ambiente y se transfiere a un matraz aforado de 1 lit., se enjuaga el vaso varias veces con agua destilada para evitar la pérdida de compuesto y se afora hasta la marca el matraz con agua destilada. Esta solución contiene 1000 ppm de calcio.

En matraces aforados de 100 se colocan 0, 4, 6, 10, 14, 16, 18, 20 y 22 ml. de la solución que contiene 1000 ppm de calcio y se aforan hasta la marca con solución de acetato de amonio 1N pH 7. Cada uno de estos matraces contiene 0, 40, 60, 100, 140, 160, 180, 200, 220 ppm de calcio respectivamente.

20) Solución Tipo de Hierro.

Se disuelven 1.756 g. de sulfato ferroso amoniacal heptahidratado $\text{FeSO}_4(\text{NH}_4)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ en 300 ml. de ácido oxálico al 0.5 % y se agregan 5 ml. de clorhidrato de hidroxilamina aforando a 500 ml. con la misma solución extractora.

21) Solución Tipo de Manganeso.

Se pesan 0.1440 g. de permanganato de potasio (KMnO_4), se agregan 15 ml. de agua destilada y 1.5 ml. de ácido sulfúrico concentrado, se calienta a ebullición y se añade bisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$) en pequeñas cantidades hasta que la solución sea decolorada, se calienta hasta presencia de humos blancos de trióxido de azufre (SO_3), se enfría y se diluye a 500 ml. con solución extractora de fosfato de amonio mono básico 3M.

22) Solución Tipo de Potasio.

Se pesan exactamente 1.9067 g. de cloruro de potasio (KCl), — previamente secados en una estufa a 110 °C, durante tres horas. Se disuelve con agua destilada en un matraz aforando de 1000 — ml. y se completa hasta la marca. Esta solución contiene 1000 ppe de potasio.

En matraces aforados de 100 ml. se colocan respectivamente 0, 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10 ml. de la solución que contiene 1000 ppe de potasio y se aforan hasta la marca con solución extractora de acetato de amonio 1N pH 7. Cada uno de estos matraces contienen 0, 10, 20, 30, 50, 70, 80, 90, 100 ppe de potasio — respectivamente.

23) Solución Tipo de Sodio.

Se pesan exactamente 2.5418 g. de cloruro de sodio (NaCl) previamente secados en una estufa a $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 3 horas. Se disuelve con agua destilada en un matraz aforado de 1000 ml. y se completa a ese volumen. Esta solución contiene 1000 ppm de sodio.

En matraces aforados de 100 ml. se colocan respectivamente 0, - 1, 2, 3, 4, 5 ml de la solución que contiene 1000 ppm de sodio y se aforan hasta la marca con solución de acetato de amonio 1M pH 7. Cada uno de estos matraces contiene 0, 10, 20, 30, 40, y 50 ppm de sodio respectivamente.

APENDICE II

Línea de Regresión. Método de Mínimos Cuadrados

Cuando en un experimento se trata de manera simultánea con - dos cantidades, una variable ordinaria \underline{x} y una variable aleatoria \underline{y} , cuya medida depende de \underline{x} , y se realiza el experimento de tal ma - nera que seleccionando primero n valores x_1, \dots, x_n de \underline{x} , y luego pa - ra cada x_j seleccionada se obtiene un valor observado y_j de \underline{y} ; se tendrá entonces, una muestra de n parejas de valores $(x_1, y_1), (x_2, y_2) \dots (x_n, y_n)$ que se pueden graficar en el plano xy , para obtener la - gráfica de dispersión de dichos valores. Si los n puntos se encuen - tran muy cercanos a una línea recta, es posible ajustar a ojo esa recta, pero cuando se hallan muy dispersos el ajustarla de este mo - do resulta difícil e irreal, por lo que diferentes personas pueden ajustar a ojo rectas completamente diferentes entre estos puntos.

Cuando se desea hallar cuál es la línea recta que se ajusta mejor a un grupo de datos obtenidos experimentalmente, se emplea - el método de mínimos cuadrados. Este método fue desarrollado por Gauss y es un método matemático para ajustar rectas, que da como re - sultado valores únicos para las constantes de la ecuación lineal - de la recta más probable o de mejor ajuste conocida como recta de regresión.

La recta de regresión es aquella en que la suma de los cua - drados de las distancias verticales de los puntos experimentales -

es mínima, y se representa por la fórmula:

$$y = ax + (\bar{y} - a\bar{x})$$

en donde:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \quad \bar{y} = \frac{\sum y}{n}$$

la pendiente de la recta es a , y está dada por la fórmula:

$$a = \frac{\sum xy - (\sum x)(\sum y)/n}{\sum x^2 - (\sum x)^2/n}$$

Si a es positiva, la regresión se llama "regresión positiva" y si a es negativa, la regresión lineal es negativa.

La ordenada al origen está dada por el término $(\bar{y} - a\bar{x})$ en la ecuación de la recta de regresión.

Cuando se requiere de una cantidad que nos de un número que mida la magnitud de la relación existente entre x y y , se emplea el coeficiente de correlación de la muestra que se simboliza por la letra r y está dado por la fórmula:

$$r = \frac{\sum xy - (\sum x)(\sum y)/n}{\left\{ \left[\sum x^2 - (\sum x)^2/n \right] \left[\sum y^2 - (\sum y)^2/n \right] \right\}^{1/2}}$$

El valor del coeficiente de correlación de una muestra fluctúa siempre entre -1 y $+1$. Un valor de $r = -1$ nos indica una corre-

lación lineal perfecta entre los valores de x y y de la muestra, siendo el valor de y decreciente. Un valor de $r = +1$, también nos indica una perfecta correlación lineal pero siendo los valores de y crecientes.

EJEMPLO:

En la determinación de fierro asimilable en suelos, en este trabajo empleando el método colorimétrico de la ortofenantrolina, se obtuvieron los resultados experimentales de la Tabla II-1, a partir de los cuales se desea determinar la recta de regresión correspondiente, así como el coeficiente de correlación.

De los valores de la Tabla II-1 se obtiene:

$$\begin{array}{ll} \sum x_j = 300 & \sum x^2 = 5500 \\ \sum y_j = 7402 & \sum y^2 = 3361536 \\ \sum \bar{y} = 370.10 & \sum xy = 136625 \\ \sum \bar{x} = 15 & \end{array}$$

Sustituyendo estos valores en la ecuación de la pendiente tenemos:

$$b = \frac{(136625) - (300)(7402)/20}{(5500) - (300)^2/20} = 24.995$$

Tabla II-1

Valores de la muestra		Valores auxiliares para el cálculo de la ecuación de la recta de regresión y del coeficiente de correlación		
x concentración (ppm)	y Absorbancia (U.K.)	x^2	y^2	xy
5	96	25	9216	480
5	100	25	10000	500
5	131	25	17161	655
5	132	25	17424	660
10	202	100	40804	2020
10	225	100	50625	2250
10	248	100	61504	2480
10	248	100	61504	2480
15	365	225	148225	5775
15	365	225	148225	5775
15	410	225	168100	6150
15	410	225	168100	6150
20	505	400	255025	10100
20	520	400	270400	10400
20	530	400	280900	10600
20	545	400	297025	10900
25	580	625	336400	14500
25	580	625	336400	14500
25	580	625	336400	14500
25	590	625	348100	14750

Por lo tanto, la ecuación de la recta de regresión es:

$$y = (24.595)x + [370.10 - (24.595)(15)]$$

$$y = 24.595x + 1.175$$

El coeficiente de correlación es:

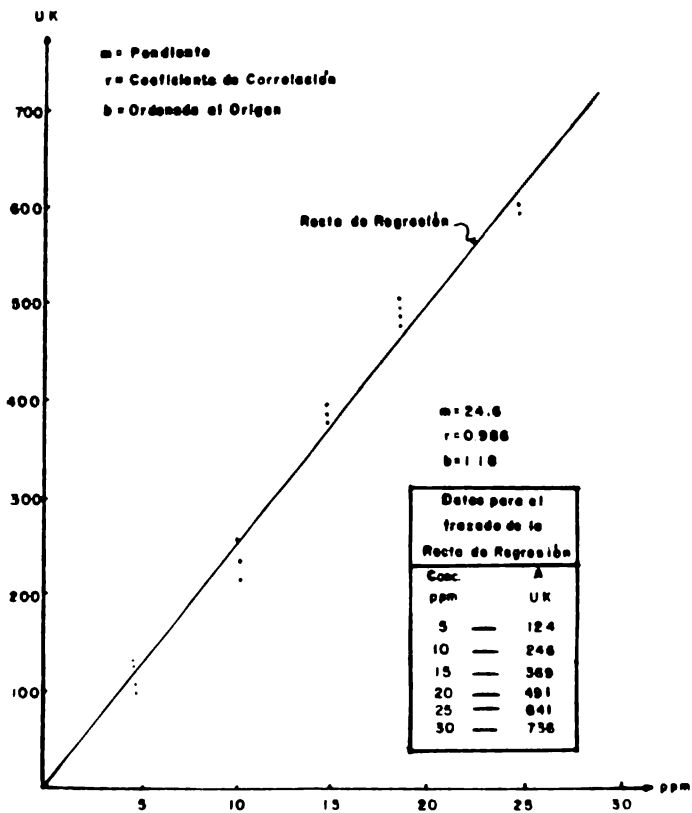
$$r = \frac{(136625) - (300)(7402)/20}{\left\{ [5900 - (300)^2/n] [3361538 - (7402)^2/n] \right\}^{1/2}}$$

$$r = \frac{1294.4737}{\left\{ (7.2547) (180.9416) \right\}^{1/2}} = 0.906$$

Trazando la recta de regresión entre los puntos de la gráfica de dispersión obtenemos la figura II-1 para el fierro asimilable en suelos, la cual se emplea como curva de calibración por ser la línea recta estadísticamente más probable y de mayor exactitud.

**GRAFICA DE DISPERSION PARA CALCULAR LA CONCENTRACION
DE FIERRO ASIMILABLE EN SUELOS**

(figura II-1)



Bibliografía

- 1) Aldrich, R. S. y Lang, E. R.
Producción Moderna del Maíz
Hemisferio Sur
Argentina (1974)
- 2) Ayres, G. M.
Análisis Químico Cuantitativo
Harper & Row Publishers Inc.
España (1970)
- 3) Bear, F. E.
Chemistry of the Soils
Rinhold Publishing Corporation
USA (1968)
- 4) Black, C. A.
Methods of Soils Analysis
(Tomo I y II)
American Society of Agronomy Inc. Publisher
USA (1961)
- 5) Black, C. A.
Relaciones Suelo-Planta
Hemisferio Sur, S. R. L.
Argentina (1975)
- 6) Cajuste, J. L.
Química de Suelos con Enfoque Agrícola
Colegio de posgraduados de Chapingo
México (1977)

- 7) Cochran, W. G.
Métodos Estadísticos
C.E.C.S.A.
México (1974)
- 8) Collins, G. N.; Davey, B. G. y Seiles, D. E.
Suelos Atmósfera y Fertilizantes (Fundamentos de Agricultura Moderna)
Aedos
España (1971)
- 9) Chapman, H. D. (editor)
Diagnostic Criteria for Plants and Soils
University of California Division of Agricultural Sciences
USA (1966)
- 10) Chapman, H. D. y Pratt, P. F.
Métodos de Análisis para Suelos, Plantas y Aguas
Trillas
México (1973)
- 11) Chirilo, P; Clifford, P. A. and Reynolds, H.
Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists
USA (1965)
- 12) Dean, J. A.
Flame Photometry
Mc. Graw Hill
USA (1960)

- 13) Díez del Pino, A.
El Suelo
Ediciones Agrícolas Trucco
México (1964)
- 14) F. A. O. (Organización de las Naciones Unidas para la
Agricultura y la Alimentación)
Los Fertilizantes y su Empleo
Roma, Italia (1970)
- 15) Fitts, J. W. & Waugh, D. L.
Estudios de Interpretación de Análisis de Suelos:
Laboratorio y Macetas
Boletín Técnico No. 3 (Programa Relativo al Proyecto
Interno de Análisis de Suelos)
Universidad de Carolina del Norte
USA (1966)
- 16) Fitzpatrick, E. A.
An Introduction to Soil Science
Oliver & Boyd
Gran Bretaña (1974)
- 17) Foth, H. D. y Turk, L. W.
Fundamentos de la ciencia del Suelo
C. E. C. S. A.
México (1975)
- 18) Fuentes Aguilar, Luis; Interpretación y Análisis de Suelos;
Bol. del Inst. de Geografía; IV, 107-145 (1971)

- 19) Gedroits, K. Koetanovich
Chemical Analysis of Soils
Israel Program for Scientific Translations
Jerusalem (1963)
- 20) González Gallardo, Alfonso
Introducción al Estudio de los Suelos
Banco Nacional de Crédito Agrícola S. A.
México (1941)
- 21) Hardg, G. W.
Soil Testing and Plant Analysis
Parte I
Soil Science Society of American INC. Publishers
USA (1971)
- 22) Hausenbiller, R. L.
Soil Science Principles and Practices
W. M. C. Brown Company Publishers
USA (1975)
- 23) Hayslett, H. T.
Estadística Simplificada
Compañía General de Ediciones S. A.
México (1973)
- 24) Jackson, M. L.
Análisis Químico de Suelos
Omega S. A.
España (1971)

- 19) Gedroits, K. Koetanovich
Chemical Analysis of Soils
Israel Program for Scientific Translations
Jerusalem (1963)
- 20) González Gallardo, Alfonso
Introducción al Estudio de los Suelos
Banco Nacional de Crédito Agrícola S. A.
México (1941)
- 21) Hardy, G. W.
Soil Testing and Plant Analysis
Parte I
Soil Science Society of American INC. Publishers
USA (1971)
- 22) Hausenbiller, R. L.
Soil Science Principles and Practices
W. M. C. Brown Company Publishers
USA (1975)
- 23) Hayslett, M. T.
Estadística Simplificada
Compañía General de Ediciones S. A.
México (1973)
- 24) Jackson, M. L.
Análisis Químico de Suelos
Univ. S. A.
España (1970)

- 25) Kreyzig, E.
Introducción a la Estadística Matemática
Principios y Métodos
Lissam Wiley
México (1974)
- 26) López Rivas, Julio
El Diagnóstico de Suelos y Plantas (Métodos de Campo y
Laboratorio)
Mundi Prensas
España (1972)
- 27) Malcolm Clifton, E. y Kiser, R. W.
Problemas y Experimentos en Análisis Instrumental
Reverte Mexicana, S. A.
México (1973)
- 28) Miller, C. E.; Turk, L. W. y Foth, H. D.
Edafología
C.E.C.S.A.
México (1962)
- 29) Miller, C. E.
Fundamentos de la Ciencia del Suelo
C.E.C.S.A.
- 30) Montañez Carlos y Aburto Horacio
Méx. Política Institucional y Crisis Agrícola
Nueva Imagen
México (1978)
- 31) Moreno Dahms, Rodolfo

Cuadro de Interpretación de Resultados Analíticos de
Determinaciones de Constituyentes diversos en Suelos
Agrícolas (en miligramos)

Departamento de Suelos, INIA y SAG
Chapingo, México (1970)

- 32) Morgan, M. F.; Chemical Soil diagnosis by the Universal
Soil testing system; Conn. Agr. Expt. Sta. Bul. 450 (1941)
- 33) Nava Díaz, Juan
Prácticas de Laboratorio del Curso de Análisis Especiales
II (Química Agrícola)
Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del I.P.N.
México (1971)
- 34) Ortega Torres, E.
Química de Suelos
Universidad Autónoma de Chapingo (Depto. de Suelos)
México (1978)
- 35) Ojeda Ortega, Donaciano
Química Agrícola Aplicada (El sistema Morgan para Análisis
de Suelos)
Escuela Nacional de Agricultura de Chapingo
México (1971)
- 36) Peterson, J. R. E. y Eds R.
Suelos y Abonado en Horticultura
Manuales de Técnicas Agropecuarias
España (1970)

- 43) Teuscher, H y Alder, R.
El Suelo y su Fertilidad
 C. E. C. S. A.
 México (1976)
- 44) Thompson, L. M.
El Suelo y su Fertilidad
 Revertee
 España (1974)
- 45) Tisdale, L. S.
Fertilidad de los Suelos y Fertilizantes
 Montaner & Simon S. A.
 España (1970)
- 46) U. S. Department of Agriculture (editor)
Investigación de Suelos (Métodos de Laboratorio y Procedi-
 mientos para recoger muestras)
 Trillas
 México, (1973)
- 47) Vogel, A. J.
Química Analítica Cuantitativa
 Vol II
 Kapeluz, S. A.
 Buenos Aires, Argentina (1960)
- 48) Wallace, I.
The Diagnosis of Mineral Deficiencies in Plants by Visual
 Symptoms

TESIS

- 49) Acevedo de Anda, María Teresita; Estudio Físico Químico de un suelo de Loreto Zacatecas para su evaluación al cultivo de maíz; Esc. Nal. de Cienc. Biol. IPN (1975)
- 50) Amaya Sánchez, Esther; Propiedades Físico-Químicas de algunos suelos del sureste de México; Esc. Nal. de Cienc. Biol. IPN (1971)
- 51) Aranda Ibañez, E. M.; Evaluación de algunos suelos del municipio de Ixtotec Oaxaca, sembrados con maíz; Esc. Nal. de Cienc. Biol. IPN (1973)
- 52) Arteaga Quevedo, Luis; Estudio de las condiciones Físicas y Químicas del suelo para el cultivo del maíz híbrido en algunas zonas del municipio de Dolores Hidalgo Guanaajuato; Esc. Nal. de Cienc. Biol. IPN (1977)
- 53) Flores Valverde, Erasmo; Evaluación de elementos mayores en algunos suelos del Edo. de Méx. sembrados con cultivos de maíz; Esc. Nal. de Cienc. Biol. IPN (1973)
- 54) Galeana de la Cruz, Mario; Estudio de un suelo para el cultivo del maíz opaco 2; Esc. Nal. de Cienc. Biol. IPN (1975)
- 55) Juárez Orea, Juan M.; Estudio Comparativo de Mejoradores de Suelos en una zona cultivada con maíz en San Juan del Río Querétaro; Esc. Nal. de Cienc. Biol. IPN (1973)

- 56) Leal Fuentes, Ma. Guadalupe; Influencia de la concentración de elementos menores en algunos suelos sembrados con maíz en Loreto Zacatecas; Esc. Nat. de Cienc. Biol. IPN (1978)
- 57) Martínez Alvarez, Enrique; Evaluación de la fertilidad de los suelos de los estados de Nuevo León y Coahuila; Chapingo México (1977)
- 58) Margarejo Montoya, Rosa Linda; Evaluación de Elementos Nutricionales de una región del Estado de México con el fin de aumentar su productividad en el cultivo de Maíz; Esc. Nat. de Cienc. Biol. IPN (1973)
- 59) Méndez Páramo, Francisco; Concepto de la fertilidad del suelo y medio para determinarla; Esc. Nat. de Agricultura. Chapingo México (1944)
- 60) Ochoa Romo, Miguel Angel; Evaluación de la fertilidad del municipio de Macorito Edo. de Sinaloa; Esc. Nat. de Cienc. Biol. IPN (1973)
- 61) Sánchez Provedor, Silvio José ; Estudio de los requerimientos del suelo para la producción del café en Nicaragua; UNAM facultad de Química (1978)
- 62) Solís González, Rogelio; Estudio de los suelos de San Antonio las Islas Edo. de Méx.; UNAM facultad de Química (1978)
- 63) Sosa Esquivel, Noemí E.; Compilación Bibliográfica sobre la composición química, valor nutritivo y aprovechamiento industrial del maíz; UNAM facultad de Química (1970)

- 64) Trujillo, C. M.; Evolución de micronutrientes en los suelos del municipio de Jamay Jalisco, cultivados con maíz; Esc. Nal. de Cienc. Biol. IPN (1971)
- 65) Veldéz de la Garza, Enrique; Estudio Físico Químico de suelos del Estado de Tlaxcala; Esc. Nal. de Cienc. Biol. IPN (1971)
- 66) Zapata M., José T.; Evolución de la fertilidad en los suelos de San Miguel Chapultepec Edo. de Méx; Esc. Nal. de Cienc. Biol. IPN (1971)
- 67) Zaragoza Bueno, Jaime; Estudio Físicoquímico de un suelo de Jamay Jalisco; Esc. Nal. de Cienc. Biol. IPN (1971)