



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES  
FAC. DE QUIMICA

**ESTUDIO DE SUELOS PARA CULTIVO DE SORGO  
EN LA REPUBLICA MEXICANA**

**TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

**QUIMICO**

P R E S E N T A:

**MARIA DE LA LUZ CONSUELO ARROYO OLVERA**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

México, D. F.

1988



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 está 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.

## I N T R O D U C C I O N

El cultivo del sorgo es originario de las zonas semidesérticas de Africa y Asia, prospera en suelos que varían de arenosos ligeros a arcillas pesadas, y debido a su gran adaptabilidad se puede producir en suelos pobres, pero los rendimientos más altos se obtienen en migajones arenosos y bien drenados.

De igual manera que el maíz, el sorgo fué originalmente tropical, pero en la actualidad se cultiva en los cinco continentes en las regiones tropicales y templadas, donde la temperatura media excede en verano a los 21°C y la estación sin heladas es de 125 días ó más. Tiene buena adaptación a regiones áridas e semiáridas en donde la sequía impide producir maíz.

El sorgo para grano es un cultivo de introducción en México que ha tenido un crecimiento impresionante en los últimos 20 años, ya que en 1960 la superficie sembrada con sorgo fué de 116,000 hectáreas y en 1980 fué de 1,578,629 hectáreas, de manera que ocupa el tercer lugar en superficie de siembra, después de maíz y frijol.

Los estados de Tamaulipas, Guanajuato, Jalisco, Sinaloa, Michoacán, Nueve León, Morelos y Nayarit son los más importantes tanto en superficie de siembra como en producción de sorgo.

El incremento en superficie ha sido consecuencia del --

umento de la demanda interna por su uso en la preparación de alimentos balanceados, y en general en la industria agropecuaria, en donde ha desplazado al maíz de la alimentación animal, lo cual ha permitido que mayores volúmenes de maíz se destinen al consumo humano.

La demanda nacional de sorgo está estimada en 6,150,000 toneladas, de las cuales la producción nacional puede satisfacer el 70%, de manera que es necesario importar el 30% restante. El grano de sorgo se emplea para la elaboración de alimentos concentrados para el ganado y la avicultura en las siguientes proporciones:

- a) cerdos: 80% (Bajío)
- b) aves: 60% (Tampulipas, Nuevo León)
- c) ganado vacuno: 45-55%

El sorgo también se emplea en la elaboración de almidón para adhesivos, aceites comestibles, jarabes, gluten, malta para la industria cervecera y alcohol industrial.

Con este trabajo se pretende dar un panorama general acerca de el sorgo, sus características físicas, las circunstancias ambientales así como sus zonas climáticas ideales para su desarrollo, el tipo de suelo, el riego, plagas que pueden afectarlo, análisis químicos que se pueden realizar al suelo para conocer sus características, etc., que pueden servir a los agricultores o a las personas interesadas en la introducción de este cultivo en la República Mexicana.

## GENERALIDADES

## DEFINICION DE SUELO.

El suelo puede ser definido como un cuerpo natural, sintetizado en su perfil a partir de una mezcla de minerales desmenuzados y modificados atmosféricamente, junto con materia orgánica de desintegración, que cubre la tierra en una capa delgada y que proporciona, cuando contiene cantidades adecuadas de aire y agua, el soporte mecánico y el sustento de las plantas (17).

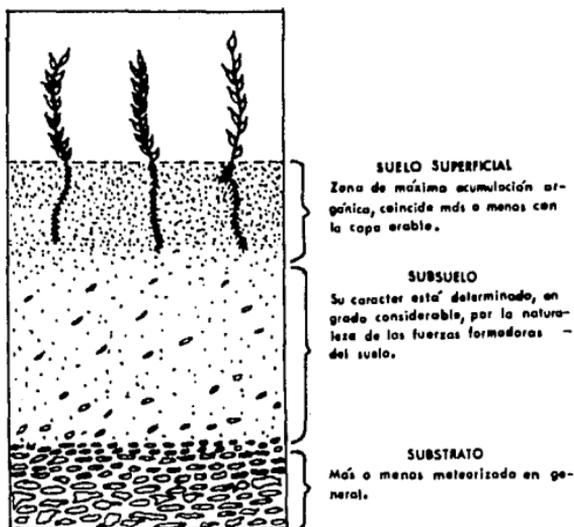
Examinemos detalladamente las características de un suelo determinado, tal y como se encuentra en el campo. Realicemos un corte en sección a través de este suelo y hallaremos capas horizontales. Un corte así se llama perfil y las capas horizontales, horizontes. Estos horizontes situados encima del material originario se designan colectivamente por la palabra latina solum (vocablo latino que significa suelo, tierra o parcela de terreno). Cada suelo bien desarrollado, completo, no metamorfo, tiene sus características particulares de perfil. Estas características se utilizan en la clasificación de los suelos y su reconocimiento es de gran importancia práctica (17).

Las capas superiores del perfil de un suelo contienen generalmente considerables porcentajes de materia orgánica y están oscurecidos de una manera apreciable, a -

causa de tal acumulación. Las capas así caracterizadas son las más convenientes para el cultivo por ser la zona de mayor contenido de materia orgánica. El suelo subyacente, también fuertemente meteorizado, contiene, en comparación, mucha menos materia orgánica. Las varias zonas del sub-suelo, especialmente en los suelos más evolucionados, como son los de las regiones húmedas, presentan casi siem--pre dos capas: (27,54,55)

- 1) una capa superior de transición, y
- 2) una capa inferior de acumulación.

En ésta última pueden hallarse gradualmente concentra dos, óxidos de hierro y de aluminio, arcillas y, a veces, carbonato cálcico.



Los estudios realizados sobre los perfiles demuestran que la materia orgánica está ampliamente repartida en el horizonte superficial. Sin embargo, aún en ésta zona, - sus cantidades son siempre comparativamente bajas, alcanzando, en general del 1 al 6%. A causa del predominio de los constituyentes inorgánicos, tales suelos se denominan suelos minerales o inorgánicos. Muchos suelos son de ésta clase y son tan comunes que, al mencionar la palabra "suelo" pensamos involuntariamente en ellos.

Pero en los cenagales, pantanos y terrenos húmedos, frecuentemente sus condiciones facilitan la acumulación - de mucha materia orgánica. Estos suelos son denominados suelos orgánicos, mantillosos o húmicos.

Por lo anteriormente expuesto nos vemos en la necesidad de investigar la composición del suelo. Los suelos - minerales constan de cuatro grandes componentes: materias minerales, materia orgánica, agua y aire (59,62).

#### CONSTITUYENTES MINERALES (INORGANICOS) DE LOS SUELOS.

Normalmente está compuesto de pequeños fragmentos de roca y de minerales de varias clases. Los fragmentos de roca son remanentes de las rocas originarias de las cuales está formada la capa filtrante y, a su vez, el suelo, por meteorización; son casi siempre gruesos. Los minerales, - por otro lado, son extremadamente variables en tamaño. - Algunos son como los fragmentos más pequeños de las rocas; otros, como las partículas coloidales de arcillas, - son tan pequeños que no pueden ser vistos con la ayuda del microscopio ordinario, necesitando usar el microscopio

electrónico.

Tabla No. 1

LAS CUATRO CLASES MAS IMPORTANTES DE PARTICULAS INORGANICAS Y SUS PROPIEDADES GENERALES

DIMENSION	NOMBRE COMÚN	VISIBLES USANDO	COMPOSICION DOMINANTE
Muy gruesas	Piedra, gran	A simple vista	Fragmentos de roca
Gruesas	Arenas	A simple vista	Minerales primarios
Finas	Sedimentos lima	Al microscopio	Minerales primarios y secundarios
Muy finas	Arcilla	Al microscopio electrónico	Casi siempre minerales secundarios

Los minerales, tales como el cuarzo y otros llamados minerales primarios han persistido más o menos invariables en composición desde su roca originaria. Otros, tales como las arcillas silíceas y los óxidos de hierro, han sido formados por la acción de los agentes externos sobre minerales menos resistentes, a medida que se ha ido formando el manto rocoso y se modificaba el suelo. Estos minerales son llamados secundarios. En general, los minerales primarios tienden a dominar en las fracciones burdas del suelo, mientras que los secundarios son más abundantes en los materiales finos, y en especial, los arcillosos. Es obvio, desde luego, que el tamaño de las partículas minerales tiene gran influencia sobre las propiedades del suelo, en los campos de labor (17,27,54).

#### LA MATERIA ORGANICA DEL SUELO.

La materia orgánica del suelo representa una acumula

ción de las plantas parcialmente destruidas y resintetizadas, y de los residuos de animales. Este material está en un activo estado de desintegración y sujeto al ataque por parte de los microorganismos del suelo (46).

El contenido de materia orgánica del suelo es pequeño: solo alrededor del 3 al 5% en peso en el caso de un suelo típico, en su capa superficial. La materia orgánica funciona como un "granulador" de las partículas minerales, siendo responsable en gran parte del desmenuzamiento de los suelos productivos. Asimismo, la materia orgánica es para el suelo la mayor fuente de dos importantes elementos minerales: el fósforo y el azufre, y esencialmente de nitrógeno (46).

La materia orgánica del suelo se puede dividir en dos grupos generales:

- 1) los tejidos originales y sus equivalentes parcialmente descompuestos,
- 2) el humus.

#### EL AGUA DEL SUELO.

Para tener una idea general de la presencia del agua en el suelo es necesario sentar dos conceptos importantes, que son: (34,47,49)

- 1) el agua es retenida dentro de los poros en diferentes grados, según la cantidad de agua presente,
- 2) junto con sus sales disueltas, el agua del suelo forma la llamada solución del suelo, tan importante como medio para abastecer de principios nutritivos a las plantas que en él se desarrollan (92).

La solución del suelo contiene cantidades pequeñas; pero significativas, de sales disueltas, muchas de las cuales son esenciales para el desarrollo de la planta.

#### EL AIRE DEL SUELO.

El aire del suelo difiere del de la atmósfera en varios aspectos. Primero, el aire del suelo no es continuo, pues está localizado en el laberinto de los poros, separado por los sólidos del suelo. En segundo lugar, el aire del suelo tiene generalmente una humedad más alta que la de la atmósfera, siendo su humedad relativa próxima al 100% cuando es óptima. En tercer lugar, el contenido del anhídrido carbónico es generalmente más alto y el de oxígeno más bajo que los hallados en la atmósfera. El anhídrido carbónico, es a menudo varios centenares de veces más concentrado que el de 0.03% comúnmente hallado en la atmósfera. El oxígeno disminuye al mismo tiempo, y en casos extremos puede ser no mayor del 10 al 12%, comparado con el del 20% aproximado para la atmósfera normal.

#### ESTADO COLOIDAL DEL SUELO.

La arcilla y el humus son dos constituyentes que existen en el llamado estado coloidal, en el cual sus partículas individuales se caracterizan por su tamaño extraordinariamente pequeñas, gran área de dispersión por unidad de masa y la presencia, en su superficie, de cargas eléctricas a las cuales se sienten atraídas tanto las moléculas de agua como los iones. Las propiedades químicas y físicas de los suelos son controladas, en gran parte, por la arcilla y el humus, actuando como centros de actividad a cuyo alrededor ocurren reacciones químicas y cambios nu-

tritivos. Además, por la atracción de los iones a sus superficies, protegen temporalmente las partículas nutritivas esenciales contra la erosión y luego las abandonan poco a poco para el uso de la planta (39).

#### ELEMENTOS ESENCIALES DEL SUELO.

**Macronutrientes.** De los trece elementos esenciales obtenidos del suelo por las plantas, seis son usados relativamente en grandes cantidades y, por consiguiente, merecen nuestra atención primordial. Son: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. El nitrógeno, fósforo y potasio se proporcionan al suelo, comúnmente en forma de estiercol y de abonos comerciales. Por esto se llaman elementos fertilizantes. El calcio y el magnesio se dan, casi siempre, en forma de caliza, por lo que se llaman elementos calcáreos. El azufre, además de existir en el agua de lluvia, va corrientemente al suelo en forma de ingrediente incidental en algunos fertilizantes, como estiercol, superfosfato y sulfato amónico (17,18,20).

**Micronutrientes.** Entre los micronutrientes se encuentran el hierro, manganeso, cobre, zinc, boro, molibdeno y cloro (17,18,20).

#### CLASES DE SUELOS. NOMBRES DE TEXTURAS DE SUELOS.

Como los suelos están compuestos de partículas que varían grandemente tanto en tamaño como en forma se consideran tres grandes grupos; arenas, suelos francos y arcillas (7,10,32,73).

**Arenas.** El grupo de las arenas incluye todos los suelos de los cuales las capas de arena dan un 70% o más

de todo el material en peso. Se reconocen dos clases específicas: arena y arena marfosa.

Arcillas. Para que un suelo sea designado como arcilla debe llevar, como mínimo, un 35% de fracción arcillosa, y en la mayor parte de los casos no menos del 40%. A medida que el porcentaje de arcilla es de 40% o más, - las características de estas capas son dominantes y la - clase se llama arcilla arenosa, arcilla limosa o, lo que es más corriente, simplemente, arcilla.

Suelos francos. El grupo suelos francos o de consistencia media que contienen muchas subdivisiones, es más - difícil de estudiar. Un suelo franco ideal puede ser definido como una mezcla de partículas de arena, limo calcáreo y arcilla que exhiben propiedades ligeras y pesadas casi en iguales proporciones.

#### COMPOSICION DIMENSIONAL. TEXTURA Y ESTRUCTURA.

Las propiedades agrícolas de los suelos se deben, en gran parte, a sus características físicas, las cuales influyen muy decisivamente en el desarrollo de las plantas. Las propiedades físicas más interesantes, en éste aspecto, son la textura y la estructura (7,10,32,73).

a) 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, los que exceden a los 2mm reciben el nombre de grava, y - no se consideran en los análisis químicos de los suelos, el conjunto de partículas de un suelo cuyo diámetro medio esté comprendido entre 2 y 0.02mm se llama arena, las de diámetro medio comprendido entre 0.02 y 0.0002mm se llama--

man limo, y aquellas cuyo diámetro medio es igual ó inferior a 0.002mm ( $2\mu$ ) forman la arcilla.

Debe señalarse que, en este caso la palabra arcilla significa solo un conjunto de partículas del suelo de un tamaño determinado, sin considerar su naturaleza química.

Según las fracciones que predominan en el suelo se dice que es arenoso, limoso o arcilloso, y así se designa su textura. Como en los suelos pueden darse todas las combinaciones posibles, respecto a las proporciones de estas tres fracciones, estos pueden tener otros muchos tipos de texturas, como por ejemplo: areno-limosa, areno-arcillosa, limo-arenosas, etc. Cuando presentan una proporción equilibrada de los tres fracciones (arena, limo y arcilla) reciben el nombre de suelos francos, margosos o margas.

Para normalizar estas denominaciones es necesario según convenio; se utiliza muy generalmente el diagrama triangular que se muestra en la figura No. 1.

La colocación normal del triángulo es de forma que la base represente la arena, el lado izquierdo la arcilla y el lado derecho el limo.

Cada punto de éste triángulo corresponde a una determinada textura, la cual viene caracterizada por cierto porcentaje de arena, limo y arcilla.

Para hallar el porcentaje de cada componente, corres

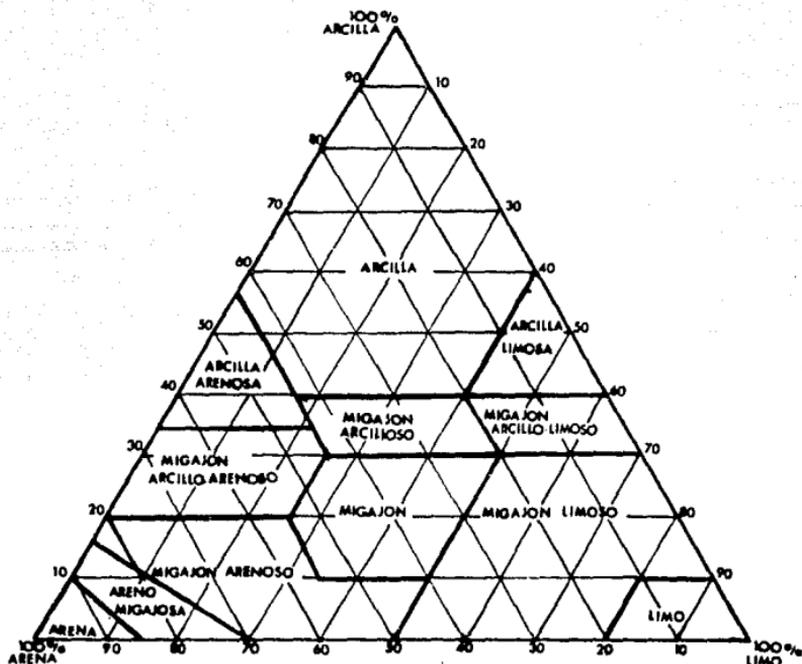


FIG. 1. Diagrama ternario de los componentes principales de un suelo, que se usa para clasificación de texturas de acuerdo con el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (17,62,66).

pendiente a un punto determinado del triángulo, debe trazarse, desde ese punto, una paralela al lado anterior del que representa al componente buscado, considerando que se gira en el sentido de las manecillas de un reloj alrededor del triángulo; ésta paralela cortará al eje del componente, cuyo porcentaje se busca, en un punto que representa el valor de dicho porcentaje.

b) La estructura es estrictamente un vocablo usado para describir sobre el terreno el grosor, agrupación aparente o disposición de los sólidos del suelo.

Los tipos de estructuras del suelo son los siguientes: laminar, columnar, prismática, en bloque, en forma de nuez, granular y en migajas.

FORMA LAMINAR		LAMINAR también se incluyen la hojosa y en capas	Puede existir en cualquier parte del perfil. A veces formada del material del suelo.
FORMA PRISMÁTICA		PRISMÁTICA (líneas planas)	Ambas, manifestaciones co- rrientes del subsuelo. Común en suelos de las regiones áridas y semiáridas
		COLUMNAR (líneas redondeadas)	
FORMA DE BLOQUE		EN BLOQUE (forma cúbica)	Estas formas son comunes en los suelos densos, sobre todo en los de las regiones húmedas.
		NUCIFORME (forma de nuez)	
ESFEROIDAL		GRANULAR (perote)	Característica de la capa arada. Sujeta a grandes y rápidos cambios.
		EN MIGAJAS muy porosas	

### INTERCAMBIO IONICO.

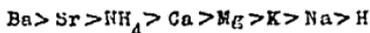
Los coloides del suelo, arcilla y humus, representan como propiedad primordial, su capacidad de intercambio iónico (1).

Los iones presentes en el suelo son de tres tipos: - directamente disponibles, disponibles indirectamente e indispensables. Los pertenecientes al segundo tipo se fijan, en el suelo, por intercambio iónico.

Los suelos poseen una capacidad de intercambio iónico que depende de su composición; fundamentalmente de las arcillas y de la materia orgánica. En las arcillas, la capacidad de intercambio de cationes reside en los grupos silicato y aluminato ionizables. La materia orgánica posee una gran capacidad de intercambio de cationes, por los grupos carboxílicos y demás grupos de carácter negativo. Los grupos positivos actúan como puntos de intercambio de aniones, pero son mucho menos abundantes (1,52).

Se llama capacidad total de cambio de los suelos, a la cantidad de iones que pueden colocarse en las posiciones de intercambio, expresada en meq/100g de suelo. La capacidad de cambio que se considera, fundamentalmente, es la de cationes.

La capacidad de fijación de los iones por el suelo disminuye en el orden:



Una gran capacidad de intercambio iónico en los suelos es una característica importante, ya que supone la posibilidad de retener un depósito de iones nutritivos, de forma que puedan ser cedidos, a la solución salina del suelo, a medida que son consumidos, de ésta, por las plantas.

Una parte de las posiciones de cambio del suelo están ocupadas por cationes metálicas; la proporción de la capacidad de cambio catiónico que ello representa recibe el nombre de "porcentaje de saturación por bases". El resto de la capacidad de intercambio está saturada por  $H^+$  y, en general, estos grupos están poco ionizados, por ser ácidos débiles. Cuando aumenta la concentración de  $H^+$  en la solución del suelo, éste desplaza a los otros cationes de cambio.

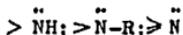
Existe una relación directa entre el porcentaje de saturación por bases y el pH del suelo; de forma que los valores por debajo de una cierta proporción de saturación corresponden a suelos ácidos.

En los iones la cantidad existente de un catión fijado en forma intercambiable varía continuamente y, si se modifican las concentraciones de sales, se sustituyen unos por otros. Cuando se acidifica un suelo, se introduce  $H^+$  en sustitución de otros cationes (1,8,9,52)

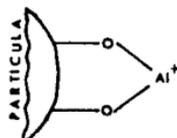
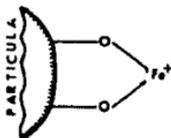
#### INTERCAMBIO DE ANIONES EN EL SUELO.

En la materia orgánica del suelo existen puntos positivos en los que se pueden intercambiar aniones. Estos puntos de intercambio aniónico son los grupos amínicos,

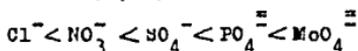
los debidos a heterociclos de nitrógeno, los de polímeros de aminoácidos, etc.



Otros coloides que originan cargas positivas son los óxidos hidratados de metales como el Fe y el Al, cuando pasan a medio ácido. Pueden representarse de la siguiente forma:



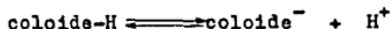
Entre los aniones que pueden intercambiarse, los más interesantes son los iones nitrato, fosfato y molibdato. Los iones molibdato y fosfato se fijan preferentemente, pues son más grandes y tienen mayor carga. El estado de fijación final dependerá de la concentración de los diversos iones en la solución de suelo y de las respectivas constantes de reparto. La serie de preferencia de fijación es la siguiente: (1,52).



#### pH DEL SUELO.

El pH del suelo es el de su fase acuosa ó solución salina. La fase acuosa y los coloides ionizables del suelo intervienen, conjuntamente, para determinar el pH del suelo. La disociación de los grupos ácidos ionizables, -

existentes en los coloides del suelo, dará lugar a una liberación de iones  $H^+$ , que pasarán a la solución salina. Los iones  $H^+$  de la solución salina, contrarrestan esta disociación según el equilibrio siguiente: (44)



Los grupos que liberan  $H^+$  son principalmente los siguientes:

- a) los grupos  $-COOH$  de la materia orgánica del suelo.
- b) los grupos  $\text{SiOH}$  libres de las arcillas.
- c) los iones de aluminio y otros cationes metálicos hidrolizables.

Por otra parte, cuando las posiciones de cambio iónico del suelo estén saturadas por bases, el suelo tendrá un carácter alcalino, debido a la hidrólisis que da lugar a iones  $(OH)^-$ , ya que los coloides del suelo son ácidos débiles:



#### COLOR DEL SUELO.

El color del suelo es un resultado de la luz reflejada desde el suelo y depende de la combinación de tres — simples variables de color a saber: el tono, el valor, y el croma (43,58,62,66).

Tono es el color espectral dominante.

Valor es la brillantez o cantidad total de luz.

Croma es la pureza ó saturación relativa del color

espectral dominante.

Los colores del suelo se determinan mediante la comparación con los cuadros descriptivos de color estándar. El cuadro de colores del suelo de Munsell son designaciones numéricas y literales sistemáticas de cada una de las tres variables mencionadas anteriormente por ejemplo, la notación numérica 2.5YR 5/6 constituye 2.5YR como tono, 5 como valor y 6 como croma. El nombre equivalente del color del suelo de ésta notación de Munsell es rojo.

## EL S O R G O

Los sorgos constituyen un gran número de plantas, incluidas en el género SORGHUM de la familia de las gramíneas, que tienen diversas aplicaciones y una característica común, su resistencia al calor y a la falta de humedad, que ha hecho que fueran conocidos y cultivados desde varios miles de años antes de la Era Cristiana, principalmente en las zonas secas del Viejo Continente: África --, Ecuatorial, India y China, desde donde se ha esparcido por todas las regiones tropicales y templadas del mundo, siendo, el grano de sorgo, el alimento básico de millones de personas de África y de Asia (2,3,5).

Los sorgos, por su aplicación, pueden reunirse en cuatro grandes grupos: sorgos de grano, sorgos dulces ó de jarabe, sorgos de escoba y sorgos herbáceos ó de pasto.

- Los sorgos de grano son los más extendidos por el mundo y pertenecen a la especie SORGHUM VULGARE, de la que existen numerosas variedades e híbridos. Se emplean por sus semillas y, hasta cierto punto, como forraje. -- También se pueden considerar como SORGHUM BICOLOR.

- Los sorgos de jarabe pertenecen a la variedad -- SACCHARATUM del SORGHUM VULGARE y se caracterizan por contener, en sus tallos, un jugo azucarado, del que una vez extraído por trituración y prensado de las plantas, se obtiene un zumo, que después de ser concentrado por el calor,

da lugar a un jarabe, que se consume como edulcorante (56).

- Los sorgos de escoba (SORGHUM VULGARE, var. TECHNICAL) se caracterizan por tener unas inflorescencias (panículas) muy anchas y provistas de largas y flexibles ramificaciones, que se emplean para la confección de escobas (50).

- Los sorgos forrajeros pertenecen a distintas especies, variedades e híbridos del género SORGHUM, la más importante, el llamado Pasto de Sudán, SORGHUM SUDANESE, el pasto de Túnez (SORGHUM VIRGATUM); el llamado sorgo de alepo, hierba de Hohnson ó grama china (SORGHUM HALEPENSE) y el sorgo negro o hierba de Colón (SORGHUM ALIMUM), (14,57).

#### CARACTERES BOTANICOS DEL GENERO SORGHUM.

El género SORGHUM pertenece a la familia de las gramináceas, subfamilia panicoideas y tribu de las andropogóneas (21).

Los caracteres generales de las gramináceas son los siguientes: plantas por lo general herbáceas, la mayoría de las veces provistas de rizoma, de tallos recios, nudosos y con los entrenudos huecos. Normalmente, las hojas son estrechas, de nervios paralelos y relativamente largas, con vainas abiertas o cerradas, que envuelven al tallo y con una lígula entre ellas y el limbo foliar. Las flores son unisexuales o hermafroditas, dispuestas en espiguillas, o sea, en inflorescencia formulada por un conjunto de flores sesiles (sin pedúnculo); a su vez éstas espiguillas se reagrupan en una inflorescencia más compleja, la espiga protegida por dos brácteos, las glumas (29).

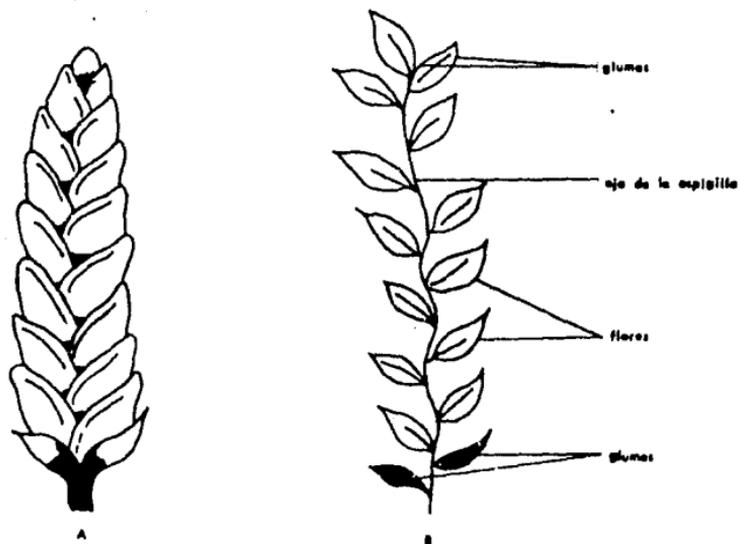


FIG. 2 Esquema de una espigilla de gramíneas. A: posición natural de la espigilla. B: esquema de la espigilla, con las flores separadas, para mayor comprensión (40).

La morfología de las plantas del género SORGHUM corresponde a las siguientes características fundamentales (35,40).

- Las raíces principales, muy abundantes, se encuentran reunidas en un fascículo, éste sistema radicular está reforzado por un conjunto de raíces adventicias, que nacen de los dos ó tres primeros nudos del tallo. Todas las raíces son fibrosas, recias y alcanzan un notable desarrollo, profundizando en el suelo, en pocas semanas, de 30-60 cm, llegando a alcanzar hasta 1-1.5 m.

- Normalmente, el sorgo tiene un solo tallo procedente de la semilla. Los tallos, según la variedad, tienen una altura comprendida entre medio y cinco metros. En su base, el diámetro es de 1-3 cm, los nudos suelen ser gruesos y la longitud de los entrenudos varía también según la variedad. El tallo erguido presenta un número de hojas - comprendido entre cinco y veinticuatro.

- Las flores, están reunidas en espigallas y éstas en espigas.

- El fruto o grano es una cariósida de forma redondeada, de diámetro comprendido entre 3-6 mm y que en su madurez alcanza diferentes tonalidades y coloraciones a partir de los colores básicos: blanco, amarillo, gris, rojo, - azul (35,40,45,71,91).

#### HIBRIDOS DE SORGO GRANERO.

La hibridación del sorgo, hasta 1932, cuando se descubrió la posibilidad de emplear variedades de sorgo androsteriles, se presentaba difícil y complicada, pues ésta de--

bía hacerse a mano, escogiendo las espigas para la producción de semillas, de las que, antes de que maduraran, debían eliminarse todos los estambres, separando las glumas y glumillas que las protegían y volviendo a dejarlas en la misma posición protectora del ovario y de los estigmas y cubriendo toda la espiga con un lienzo para evitar que fuera polinizada por el polen de otras espigas no tratadas; al estar maduro el ovario y apto para ser fecundado, con un pincelito se aplicaba el polen sobre los estigmas de la planta escogida como macho o polinizante con la consiguiente separación previa y posterior adecuación de glumas y glumillas, de forma que protegieran a las flores polinizadas hasta que la semilla híbrida estuviera formada. Este trabajo, muy delicado y lento, y, por tanto costoso, impedía la obtención de semillas híbridas en cantidad y condiciones económicas precisas a la práctica agrícola (40,79).

Sin embargo, este sistema de polinización tan complicado desapareció al descubrirse estirpes de sorgo androestériles, o sea con estambres estériles, que no producen polen, pero que conservan fértiles los carpelos, es decir, la parte femenina de la flor.

Esta androesterilidad sólo es transmitida por la semilla de la planta femenina, fecundada por el polen de otras plantas hermafroditas fértiles, por lo que, repitiendo esta operación varias veces, se obtienen estirpes de híbridos androestériles que servirán, como planta femenina, para la obtención de híbridos con condiciones más fáciles y favorables a las exigencias del desarrollo agrícola (11,40,79).

La producción de semilla híbrida con estirpes androestériles se hace en campos debidamente aislados en los que alternan hileras de plantas androestériles con otras de la misma variedad, pero con flores hermafroditas productoras de polen. Presionando las glumas y glumillas, los estigmas de las flores androestériles salen al exterior de la flor donde reciben al polen, transportado por el viento, procedente de las plantas polinizantes.

Por otra parte, la semilla producida en las plantas androestériles, que debe recogerse con sumo cuidado para no mezclarla con la de las plantas hermafroditas empleadas como polinizadoras, y que conservará su carácter de androesterilidad, se empleará en una nueva siembra y polinización con plantas polinizadoras hermafroditas de su misma variedad (11,40,79).

Repetiendo esta operación varias veces, se obtiene una estirpe de plantas que siempre serán androestériles, cuyas semillas serán las que producirán las plantas hembras y portasemillas en la obtención de híbridos.

Para la obtención de las semillas híbridas en forma comercial, se sembrarán en un campo que reúna las condiciones adecuadas de aislamiento, alternando hileras de la estirpe androestéril con otras de otra variedad normal, distinta y que actúa como polinizante. Sin embargo, se debe procurar que coincidan las épocas de madurez de la flor de ambas plantas. Las semillas obtenidas en las plantas androestériles, convenientemente recogidas y evitando que se mezclen con las semillas de las plantas hermafroditas, son las semillas híbridas que tendrán los ca-

racteres de ambos progenitores.

En la obtención de sorgos híbridos se han perseguido principalmente dos objetivos: la obtención de plantas de menor tamaño con panojas erguidas verticalmente y fáciles de cosechar mecánicamente y la obtención de plantas más productoras en grano o de forraje si se trata de sorgo forrajero y mejor si se pueden conseguir plantas lozanas que den buen forraje, a la vez que sean buenas productoras de grano. Además de estos dos objetivos principales, con los sorgos híbridos se han obtenido otras ventajas: adaptación a climas y suelos que hacen mucho más fácil y más rentable el cultivo del sorgo (11,40).

Así se han obtenido sorgos muy resistentes a la sequía con variedades que, en climas templados, han resistido más de ochenta días sin agua, otros que al ser menos exigentes a la fertilidad del suelo, se pueden cultivar en terrenos impropios para el maíz; otros son resistentes a suelos moderadamente salinos, existiendo variedades híbridas que pueden vivir en suelos con un 0.3% de cloruro sódico o su equivalente en otras sales; también toleran, mejor que el maíz, los suelos enlizaos. Otra ventaja de los híbridos del sorgo, es el que se ha obtenido toda una gama de éstos, con las más distintas duraciones de su ciclo y que van, desde variedades muy precoces, propias de climas cálidos y que permitan obtener anualmente dos cosechas de grano o de forraje, a las variedades más tardías, lo cual ha permitido ampliar el cultivo del sorgo corrientemente. Asimismo, los sorgos híbridos tienen una mayor resistencia a las enfermedades y plagas (16,92).

Una de las más destacadas propiedades de los sorgos híbridos es su gran resistencia a la sequía, pues algunas variedades resisten hasta 80 días sin recibir ningún aporte de agua, precisando sólo un 6% del que necesitaría el maíz para obtener rendimientos normales.

Normalmente, los sorgos híbridos son más precoces que los clásicos, si bien, de las numerosas variedades conocidas se puede escoger entre una amplia gama de duración del ciclo productor. Los sorgos precoces suelen ser menos productores, pero tienen la ventaja de que, en regiones cálidas, se pueden obtener con ellos hasta dos cosechas anuales de grano, o como mínimo, una cosecha de grano y otra de forraje.

Por la duración de los ciclos vegetativos reuniremos a los sorgos entre grandes grupos: de ciclo corto, cuya duración puede llegar hasta 90 días; de ciclo medio, de entre 90 y 120 días y de ciclo largo de más de 120 días (11,29,40).

#### CIRCUNSTANCIAS AMBIENTALES.

**CLIMA.** La característica fundamental de las exigencias climáticas del sorgo se pueden resumir en unas necesidades bastante notables de calor y una buena resistencia a la falta de humedad; ésta adaptación al calor y a la sequedad hace que sea una planta ideal para las sabanas y estepas africanas. Para un buen desarrollo, los sorgos forrajeros y azucarados precisan más humedad que el sorgo de grano.

**TEMPERATURA.** El sorgo, como planta originaria de países cálidos, se desarrolla bien con temperaturas altas, siendo la temperatura óptima, durante todo su ciclo, de una me--

dic de 26°C, pues las plantas a temperaturas inferiores a - 15.5°C no se desarrollan bien, llegando a cesar completamente su crecimiento a 0°C y, asimismo, a temperaturas superiores a 35°C, van disminuyendo los rendimientos.

Para una buena germinación de la semilla, la temperatura debe ser superior a 16°C, pudiendo, sin embargo, germinar en algunos casos, a temperaturas inferiores a 10°C e incluso a 7°C, siendo más corto el período geminativo cuanto más alta sea la temperatura; así, a 14°C, las semillas tardan catorce días en germinar, en cambio, si la temperatura es de - 21°C solo tardan seis días. Por otra parte, para la floración y buen desarrollo de la semilla, se requieren temperaturas superiores a los 18°C. Asimismo, puede decirse que entre 20°C y 30°C de temperatura media, puede cultivarse el sorgo (23,45).

**HUMEDAD.** Como ya se ha mencionado, el sorgo es muy resistente a la sequía; las causas de esta buena propiedad se deben a que tiene buenos órganos de absorción del agua, pues las raíces, que alcanzan una longitud de hasta dos metros y están sumamente ramificadas, logran extraer agua de zonas de terreno bastante profundas. Por otra parte, también tienen muy poca transpiración de agua -sólo 55%- , lo cual es debido a la poca abundancia de hojas y a estar éstas provistas, en su cara superior, de unas células motoras, las cuales al escasear el agua, cierran sus estomas y al mismo tiempo forman una cámara de aire húmedo que equilibra, la humedad del interior de la planta, mientras dura el período de sequedad, las plantas quedan en un estado de vida latente, volviendo a desarrollarse y a continuar su crecimiento cuando se reanudan las condiciones de humedad.

Para tener una buena cosecha, se considera óptima una precipitación de 550-600 mm en todo el ciclo (23,45).

#### ZONAS CLIMATICAS FAVORABLES AL CULTIVO DEL SORGO.

El sorgo puede cultivarse en la zona tropical, de hasta 30°C de latitud norte y sur, en la que se distinguen dos estaciones: una seca invernal en los meses más secos y otra -- lluviosa estival en los meses más cálidos; este período es -- más largo al aumentar la distancia del Ecuador, disminuyendo, en el mismo sentido, las precipitaciones anuales totales.

En ésta zona se encuentran los tipos de vegetación natural de los bosques tropicales de hoja caduca, de las grandes sabanas de gramíneas y plantas leñosas, volviéndose cada vez más desérticas por falta de humedad hasta llegar a la zona -- árida subtropical de los desiertos, a partir de 30°C de latitud, donde la falta de lluvia impide toda clase de vegetación. Sobrepasada ésta y a partir de 40°C de latitud, viene una zona de transición con lluvias invernales, que corresponde al clima de la región mediterránea, con inviernos relativamente fríos y lluviosos y veranos cálidos y secos o bien la zona de clima templado caliente, de inviernos poco fríos y con -- gran humedad, sobre todo en verano. En todas estas zonas -- se podrá cultivar el sorgo, siempre que el microclima de la zona o parcela destinada al cultivo reúna las condiciones de temperatura y humedad precisas para el correcto desarrollo del ciclo de cultivo del sorgo (23,45).

Por otra parte, existe un factor que influye en las condiciones climáticas de una determinada zona de cultivo y que es la altitud, por lo general, el rendimiento del sorgo dis-

minuye con la altitud, pero de manera irregular, ya que está influido por la proximidad del mar y por el régimen de vientos.

#### INFLUENCIA DE LA LUZ SOBRE LA FLORACION DEL SORGO.

El sorgo es una planta de día corto, o sea, que precisa de un período diario de luz inferior a catorce horas para -- asegurar su floración; un aumento de la duración del día comporta un alargamiento del período vegetativo y una mayor tardanza en la floración y, en consecuencia, en la producción del grano.

En las regiones tropicales que tienen doce horas diarias de luz no se presentan problemas graves, pero en las zonas templadas de largos días de verano, se prolonga el período -- entre la siembra y el inicio de la floración, por lo que, al alargarse la maduración de la semilla, todavía puede encontrarse verde, incluso al presentarse la lluvia y los primeros fríos otoñales (23,45).

#### CICLO VEGETATIVO.

En las diversas variedades de híbridos de sorgo existen diferencias notables en la duración de la totalidad del ciclo vegetativo, siendo los límites entre ochenta días como mínimo y ciento veinte días, y aun más, como máximo.

Por su ciclo, los sorgos de grano se pueden agrupar en tres ciclos vegetativos.

- Ciclo largo. El período vegetativo es superior a los ciento veinte días.
- Ciclo medio. El período vegetativo dura de cien a --

ciento diez días, por lo que son aptos para la siembra de mayo.

- Ciclo corto. Dura de ochenta a noventa días, se emplean en verano (23,37,40,45).

#### SUELO.

El sorgo se adapta bien a muchos tipos de suelo, desde los compacto-arcillosos a los sueltos arenosos, sin embargo, los mejores y en los que se obtienen mayores producciones, son los francos y sus afines, los franco-arenosos y los franco-arcillosos. Los primeros son mejores en terrenos donde abunda agua, bien sea por la lluvia, o por el aporte mediante el riego. Los franco-arcillosos son mejores donde no se disponga de abundante agua por su mayor retención de la misma y más si contienen materia orgánica que los haga esponjosos.

Dada la gran longitud de las raíces del sorgo, los suelos deben ser profundos, de un metro y medio como mínimo, y bien drenados, ya que los encharcamientos de agua son perjudiciales a la planta. Por otra parte, el sorgo se adapta a una amplia gama de reacción del suelo; desde los suelos ácidos de pH 5.5 a los francamente alcalinos de pH 8.5, dando mayor rendimiento las variedades azucaradas en terrenos que contengan un buen porcentaje de carbonato cálcico.

El sorgo se considera planta de alta tolerancia a la salinidad del suelo, acercándose a la tolerancia del arroz. Naturalmente, en terrenos salinos, el aporte de agua deberá ser superior, sobre todo inmediatamente después de la siembra, ya que la germinación de las plantas se ve dificultada por el exceso de presión osmótica de las soluciones salinas y por la acción tóxica de las sales en las tierras arcillo-

sus (23,37,45,72, 92).

COMPOSICION DEL GRANO DE SORGO (6,56).

	g/100g de proteínas totales
Proteínas	12.7
Extracto estéreo (grasa)	3.7
Fibra celulósica	2.8
Cenizas	2.3
Extracto no nitrogenado (hidratos de C)	78.6
Energía disponible en Kcal/Kg	3450.0

Según las variedades de sorgo, y en la misma variedad, según los cuidados, la proporción de los distintos componentes puede variar; así, para diversas muestras de sorgo desecadas uniformemente de manera que su contenido de humedad sea del 14%, se ha visto que el contenido de fibra celulósica se encuentra entre 2-3%, el extracto estereo entre 3.1 y 4.5% y las cenizas entre 1.4 y 3.9% y las proteínas entre 7.6 y 12.5%.

El contenido de hidratos de carbono en el grano de sorgo maduro, se distribuye de la siguiente manera: (6,56,86).

Almidón	del 56.0 al 69.00%
Sacarosa	del 0.77 al 0.84%
Fructosa	del 0.05 al 0.14%
Glucosa	del 0.04 al 0.14%
Rafinosa	del 0.09 al 0.13%

Vitaminas.

- Vitaminas hidrosolubles:

Grupo de la vitamina B ó Tiamina 4.5mg por Kg.

Del complejo vitamínico B, el contenido de cada una de sus vitaminas es:

Vitaminas	mg por Kg. de grano
Riboflavina	1.5
Piridoxina	5.6
Acido pantoténico	12.3
Acido fólico	0.2
Biotina	0.28
Colin.	750.00
Birotinamida	24.00

- Vitaminas liposolubles:

Vitamina A      1.3 mg por Kg

Elementos minerales:

Fósforo	3 - 6 mg
Potasio	3 - 5 mg
Magnesio	1 - 2.5 mg
Calcio	0.2- 0.3 mg
Sodio	0.1- 0.2 mg

**USOS.**

El sorgo es un alimento importante en China, India y -  
Africa, donde ha llegado a usarse para hacer pan; a menudo  
se combina con harina de trigo para otros usos. En otras  
ciudades la planta y el grano son frecuentemente usados para  
alimento, algunos cuidados son necesarios, ya que los par-  
tes verdes de la planta están expuestas a contener considera-  
bles cantidades de cianuro.

Sorgos forrajeros. Los tallos y hojas de varias espe-  
cies e híbridos del género *Sorghum* se han empleado como for-  
raje. Del *Sorghum* bicolor o sorgo granero, existen numero-  
ses híbridos de los que se emplean, además del grano, sus ti-

llos y hojas como forraje; otros híbridos de muy baja producción de grano se emplean sólo como forraje (15,70, 89).

**Sorgos de jarabe.** Se trata de plantas altas y frondosas, con tallos gruesos que contienen un jugo sumamente azucarado, el cual se extrae de la planta, por trituración y -- prensado dando lugar al llamado jarabe de sorgo, que se emplea como edulcorante; concentrando el jarabe, se obtiene, -- por cristalización, un azúcar sólido, el azúcar de sorgo.

**Sorgo de escobas.** Los largos y flexibles tallos de sus abiertas panojas, se emplean para la confección de escobas.

El grano de sorgo es usado algunas veces para la elaboración de cerveza, para éste propósito son usadas las variedades de color café a morado (13,14,45, 88,90).

El contenido de alcohol varía de 2-4% pero generalmente son elaboradas cervezas más fuertes (arriba de 10% de alcohol). El sorgo también se emplea en la elaboración de almidón para adhesivos, aceites comestibles, gluten y alcohol industrial.

#### CULTIVO DEL SORGO GRANERO.

##### Alternancia de cultivos.

Al querer situar al sorgo en una alternativa de cultivos, hay que tener en cuenta que es una planta de verano; por ello, la siembra deberá efectuarse cuando haya pasado el peligro de las heladas tardías de fines de invierno o inicios de primavera y siempre que la temperatura media atmosférica sea superior a 10°C.

Otro factor a tener en cuenta al querer situar al sorgo

como alternativa de una serie de plantas, es la acción residual del mismo sobre el suelo, acción negativa debido a que el sorgo sigue vegetando después de la recolección del grano y, por lo tanto, consumiendo humedad y nutrientes, del suelo, lo que significa una disminución de la producción en la planta cultivada después del sorgo, sobre todo si se trata de un cereal, ésta disminución de cosecha se calcula en un 18%, de una cosecha normal. Esta acción adversa del sorgo puede evitarse con la adición de una cantidad extra de abonos nitrogenados. Por el contrario, el sorgo tiene una acción benefactora, favoreciendo al cultivo posterior, ya que al ser las raíces del sorgo muy largas y ramificadas, penetran profundamente en el suelo dejándolo blando y esponjoso. Estas raíces más el rastrojo incorporado al suelo representan un buen aporte de humus.

Al ser el sorgo un cultivo de verano, lógicamente deberá situarse después de un cultivo de invierno con el objeto de poder obtener dos cosechas al año. Puede seguir a un cultivo de cereal como el trigo o, mejor todavía de cebada o de leguminosa, como pueden ser garbanzos o habas o también de algodón. Es conveniente que un cultivo de leguminosas siga al sorgo (14,23,88,90).

#### Labores previas a la siembra.

Al tratar de preparar el terreno para la siembra deberá tenerse en cuenta dos factores que serán los indicadores de las labores a efectuarse: uno es el pequeño tamaño del grano de sorgo, que al germinar dará lugar a plantitas de tamaño muy pequeño y muy tiernas, que exigirán, para poder sobresalir del suelo, que éste sea muy mullido, desterronado, fino y sin costra superior que impida la salida al exterior del

débil tallito de la nueva plantita; el otro factor es el gran desarrollo, tanto en longitud como en ramificaciones, de las raíces, cosa que exige que los labores previos de desfonde y arado sean profundos con el fin de que las raíces puedan expandirse bien, llegando a la máxima profundidad el suelo donde se conserva la humedad; éste es la razón por la que el sorgo puede cultivarse en terrenos con poca humedad, las raíces de la planta, por su gran longitud, captan la humedad del profundo suelo donde no ha llegado a evaporarse (24,40,66).

Una labor previa muy eficaz, pero costosa, por lo que sólo debe verificarse cada 4 ó 5 años, es la de subsileo, la labor que precisa una fuerte tracción de arrastre del aparato ó arado, el cual deja el terreno lleno de surcos paralelos de 50 a 70 cm de profundidad, separados entre sí de 30 a 40 cm; estos surcos, en la siguiente labor y con el arado corriente, se llenan de tierra suelta y porosa, por donde más fácilmente penetrará el agua de lluvia o de riego, con lo que se consigue tener una capa profunda de reserva de agua, a la que llegarán las largas raíces penetrando, fácilmente, por esta tierra mullida por la acción del subsileo. Esta labor profunda es muy útil también, en terrenos escarchados, ya que los surcos abiertos sirven de drenaje para que el agua, al penetrar más profundamente, quede repartida de forma más homogénea (24,40,66).

Tanto si se ha procedido a la tarea previa de subsileo como si se prescindie de ella, es imprescindible una buena labor profunda de arado de forma que quede una capa blanda de tierra removida que permita la penetración y amplio desarrollo de las raíces de la planta. Al remover la tierra en esta labor de arado se procurará llegar a la máxima profundidad

posible con el objeto de ampliar la capa del suelo laborable con la incorporación de parte del subsuelo todavía no trabajado con lo que se consigue, aparte de tener más espacio para el desarrollo de las raíces, mejorar en algunos casos, la zona de suelo laborable actuando la tierra del subsuelo como enmienda en el caso de ser arenosa por una tierra del suelo demasiado arcillosa, e al revés, hacer más compacta la tierra del suelo muy arenosa por el aporte de la arcilla procedente del subsuelo (23,42,60).

Estas labores deben hacerse con la mayor anticipación posible antes de la siembra, con el fin de que la tierra se meteorice, absorba bien la humedad aportada por las lluvias invernales, y fermenten los restos vegetales: raíces, troncos, etc., procedentes de anteriores plantaciones.

Inmediatamente antes de proceder a la siembra es conveniente verificar otra labor superficial de rastra con el fin de eliminar las pequeñas malas hierbas que empiezan a desarrollarse, a la vez que se quita la costra y muelle el espacio de tierra donde deberán germinar y desarrollarse las pequeñas semillas de sorgo.

En terrenos situados en zonas de intensa lluvia, donde se suelen producir grandes encharcamientos de agua, si el terreno no tiene la suficiente inclinación para que el agua escurra fácilmente en poco tiempo, o sea en terrenos llanos y arcillosos, deberá crearse una buena red de drenaje que permita la rápida eliminación del agua encharcada; de no hacerse así las semillas se pudrirían antes de germinar (23,42,60).

## SIEMBRA.

El conocimiento de la mejor época de siembra permite - ubicar el cultivo dentro de las condiciones ambientales que mejor le favorezcan. Una variedad sembrada fuera de su mejor época disminuye su rendimiento en forma notable, y además está expuesta a factores que la pueden perjudicar tales como el clima, incidencia de enfermedades, ataque de plagas.

El momento de la siembra viene determinado por dos extremos; por las últimas heladas de invierno-primavera, de forma que la temperatura atmosférica media sea como mínimo de  $15^{\circ}\text{C}$ , y por las primeras heladas otoñales, de manera que cuando se presenten éstas, ya haya madurado el grano y se haya verificado la recolección; éstos dos límites son lo que forzan a elegir semilla cuyo ciclo sea lo más aproximado posible a los días transcurridos entre los últimos y los primeros fríos.

En México la siembra para el ciclo agrícola otoño-invierno (temprano) comprende todo el mes de marzo.

En el ciclo primavera-verano se sugiere sembrar durante el mes de mayo, debido a que las siembras que se realizan después de esta época tienen problemas de bajos rendimientos por daño de plagas (24,36,64).

Dado el pequeño tamaño de las semillas de sorgo, deberán sembrarse a poca profundidad y cuidando que la tierra donde se planten sea ligera, fina y bien mullida. En terrenos arcillosos compactos no deben enterrarse las semillas a una profundidad, mayor de 2 cm, en terrenos sueltos y

arenosos ésta profundidad puede llegar hasta 4 ó 5 cm.

La siembra puede realizarse en forma manual o mecánica, ésta última se puede hacer utilizando la siembra en surcos, éste método es apropiado para cualquier tipo de suelo; se necesita una población de 18 plantas por metro lineal, para lograr lo anterior se siembran aproximadamente 22 semillas, lo que dará una población de alrededor de 250 mil plantas por hectárea.

En la zona centro de Jalisco predominan suelos de textura arcillosa y franco arenosa. En suelos pesados como los de la Ciénega de Chapala, la siembra se realiza generalmente en seco y en suelos livianos se efectúa en húmedo. Se emplean sembradoras de maíz con platos distribuidores de semillas especiales para sorgo, los cuales depositan la semilla a "chorrillo" a una profundidad de 3 a 5 cm en surcos de 60 cm.

La cantidad de semilla a utilizar depende del nivel de fertilidad del suelo y de la humedad, tipo de suelo, híbrido utilizado y la disponibilidad de maquinaria.

Según lo anterior, se requiere sembrar alrededor de 18 Kg de semilla por hectárea con un porcentaje de germinación de 85 ó mayor (30,36,64,65,68).

#### RIEGOS.

Logicamente, los mayores rendimientos en el cultivo del sorgo se obtienen en riego, verificando la plantación a las distancias adecuadas, y empleando el agua en abundancia o, mejor dicho, el agua precisa, pues no debemos excedernos; el sorgo, gracias a sus largas y profundas raíces, necesita apor

te de agua inferior al maíz; extraer el agua de mayores profundidades y un exceso de riego podría producir encharcamientos y, en consecuencia, la podredumbre y la asfixia de los raíces.

Los riegos deben empezarse cuando las plantitas hayan alcanzado una altura de 25-30 centímetros, debiéndose aplicar los riegos cada 10 días, proporcionando de 400 a 500 metros cúbicos por hectárea o bien, en períodos más largos, cada 15 días, pero aplicando de 700 a 900 metros cúbicos por hectárea. Estos riegos deben continuar hasta que se inicie la maduración del grano, lo cual puede comprobarse de la siguiente manera: se cogen varios granos de sorgo todavía tiernos, si al apretarlos con los dedos rezuman un zumo blanco lechoso, formado a causa del almidón que empieza a formarse, es que comienza la maduración del grano y es el momento de dejar de regar; de prolongar los riegos, se frena la formación del grano, aparte de formarse rebrotes o hijuelos, que restan a la planta la vitalidad que debería dedicar a la formación de grano (64,65,67).

El riego del sorgo suele verificarse por escurrido en amplios bancales siendo más práctico el riego por aspersión, teniendo el cuidado de cesar el riego cuando la planta está en flor, pues sería perjudicial para la floración (68,69).

#### COMBATE QUIMICO.

Por ser el sorgo una planta bastante sensible a la acción de los herbicidas, obliga a tener mucha prudencia en la forma de empleo, cantidad y momento de utilizarlos, por otra parte, son buenos auxiliares del cultivo. El momento más adecuado para proceder a la aplicación de herbicidas, según

aconseja la experiencia en el cultivo del sorgo, es después de la siembra, cuando las plantitas han empezado a desarrollarse, han emitido las primeras raicillas y los pequeños cotiledones empiezan a sobresalir, pero las hojitas todavía no se desarrollan y la plantita todavía no empieza a emerger de la superficie del suelo, puesto que las hierbas espontáneas, las llamadas malas hierbas, se desarrollan más rápidamente que el sorgo, pues tienen suficientes raíces por donde absorber al herbicida causante de la muerte de la planta (76).

Entre los numerosos herbicidas ensayados en el cultivo del sorgo, los que han dado mejores resultados por ser buenos destructores de las hierbas adventicias y, por otra parte, respetar la vida del mismo, son dos, ambos del grupo de las Triazinas: la atrazina y la simazina.

Para el empleo de los herbicidas deben seguirse unas normas generales indicadoras, de las que depende el buen éxito de la acción de estos preparados, teniendo un cuidado muy especial en aplicar las dosis adecuadas sin sobrepasarlas, puesto que el sorgo no deja de ser algo sensible a estos preparados (76).

El terreno debe estar bien labrado y rastrillado, blando y sin terrones, ya que la presencia de estos dificulta la uniforme distribución, de los herbicidas; así mismo debe estar húmedo, mejor recién regado, ya que la humedad facilita la penetración de los herbicidas, debiendo llegar hasta 5 ó 10 cm de profundidad para que pueda llegar a las raicillas recién formadas.

El momento más adecuado para aplicar el herbicida des--

pues de la siembra es cuando las plantitas del sorgo todavía no han aparecido al nivel del suelo y las hierbas adventicias que se quieren eliminar estén bastante desarrolladas, teniendo como máximo, cuatro hojitas, pues de tener más serían más difíciles de destruir.

En el suelo, las triazinas pierden paulatinamente, su poder herbicida, en parte al ser absorbidas por las malas hierbas, una pequeña parte por ser absorbidas por el sorgo y finalmente son descompuestas por los microorganismos del suelo, su eficacia suele durar hasta 60 días después de su aplicación, luego, las plantas del sorgo están lo suficientemente desarrolladas para que en competencia con las malas hierbas, impidan el crecimiento de estas. Pasados 25 días de la siembra, si se ha conseguido tener el cultivo sin malas hierbas gracias a los herbicidas, pues ya no es probable que se desarrollen, el sorgo tiene más vitalidad.

La temperatura más adecuada para la aplicación de herbicidas oscila entre 22-30 °C, a temperaturas inferiores son menos eficaces y a temperaturas superiores a los 30 °C pueden evaporarse en partes y dañar a otras especies vulnerables de las inmediaciones (76).

#### FERTILIZACION.

El sorgo es un cultivo que necesita grandes cantidades de nitrógeno, tal requerimiento depende de la fertilidad natural de cada terreno, la secuencia de los cultivos anteriores y del manejo del suelo.

La práctica de fertilización para los diferentes tipos de suelo es la siguiente: (18,28,40,66,83,84).

#### Suelo arcilloso o mig: jón-arenoso:

Se aplican 210 kilos de nitrógeno y 70 de fósforo per hectárea, lo que equivale a aplicar 200 kilos de urea -- más 150 de fosfato de amonio.

Los 120 kilos de nitrógeno también se cubren al aplicar cualquiera de los siguientes productos comerciales:

Fuente	Cantidad (kg/ha)
Amoniaco	150
Nitrato de amonio	350
Sulfato de amonio	585

#### Suelo arcilloso-arenoso:

Se aplican 90 kilos de nitrógeno y 50 de fósforo per hectárea. Para cubrir estas cantidades se requieren 150 kilos de urea más 110 de fosfato de amonio.

Otras cantidades que corresponden a la dosis de 90 kilos de nitrógeno per hectárea son:

Fuente	Cantidad (kg/ha)
Amoniaco	110
Nitrato de amonio	270
Sulfato de amonio	440

#### Suelos arcillosos:

En estos suelos se puede aplicar todo el nitrógeno antes de la siembra, mientras que en suelos arenosos, se debe aplicar la mitad del nitrógeno antes o el momento de la siembra y la otra mitad antes del primer riego de auxilio. El fósfo-

ro puede aplicarse antes o al momento de la siembra.

#### LOS OLIGOELEMENTOS EN EL CULTIVO DEL SORGO.

Entre los elementos minerales que las plantas toman -- del suelo, unos lo son en mayor cantidad, los llamados macroelementos: nitrógeno, fósforo y potasio ya citados; otros, ya en menor cantidad, pero indispensables a la vida de las plantas: calcio, magnesio y azufre, y, finalmente hay otro grupo que se encuentran en las plantas sólo en pequeñísimas cantidades, los llamados microelementos o también, oligoelementos (18,60,66,74).

En el sorgo, normalmente no se presentan deficiencias ni de azufre ni de calcio, pues corrientemente, estos elementos se encuentran en el suelo en cantidad suficiente y además con el aporte de fertilizantes, en el caso del calcio, superfosfato cálcico y en el caso del azufre en forma de sulfato amónico o potásico, hay suficiente.

Algunas veces en los cultivos de sorgo se ha detectado la falta de magnesio, elemento muy importante en la formación de la clorofila, por la "clorosis" o sea por la pérdida de color de las hojas, principalmente en las formadas -- primero; las de la base del tronco. La falta de magnesio se corrige por la adición de una de las sales de sulfato -- magnésico, ó sulfato potásico-magnésico.

La presencia de hierro es relativamente pequeña pero -- indispensable, aparece principalmente en los órganos jóvenes y tienen una importante acción en el funcionamiento de los cloroplastos, sin que entre en la composición de éstos. Se

precisan unos centenares de granos por hectárea, cantidad que, generalmente, contiene el suelo, pero muchas veces en forma no asimilable, pues la presencia en el suelo de mucha cantidad de cal, forma sales insolubles de hierro no asimilables por las plantas; la aplicación de sulfato ferrroso no resolverá nada, ya que ésta sal a su vez, será insolubilizada por la cal del suelo. La solución consiste en la aplicación de los llamados quelatos de hierro, compuestos organometálicos o sea unas sales de hierro cuyo anión es un radical ácido de naturaleza orgánica complicada, son compuestos ionizables solubles en agua, aplicándose en solución por riego o bien por pulverizaciones en las hojas (18,60,66,74,85,92).

#### ENFERMEDADES DEL SORGO.

El sorgo puede sufrir diversos daños o enfermedades, desde la falta de elementos nutrientes hasta la acción destructora de los animales superiores, principalmente de los pájaros, pero la mayor importancia la tienen las llamadas "enfermedades" producidas por hongos, bacterias o virus, y las llamadas plagas de los vegetales producidas por insectos, arácnidos, moluscos o gusanos (51).

#### CARENCIAS.

La mejor manera de saber si una plantación de sorgo sufre la carencia de alguno de los elementos nutritivos, principalmente de los fundamentales: nitrógeno, fósforo, potasio o magnesio, es proceder a un análisis cuantitativo de la tierra, y según el contenido de ésta dictaminar la cantidad de fertilizantes a añadir (18,60,66).

Las plantas que sufren carencia de un determinado elemento tienen un desarrollo irregular y presentan una serie de anomalías en su estructura que ayudan a dictaminar cuál es el elemento que falta.

Los síntomas de carencia de nitrógeno son: desarrollo más lento y menor tamaño de las plantas (85).

La carencia de fósforo viene, asimismo, indicada por el menor crecimiento de las plantas, por el color verde oscuro mate de las hojas, por una precoz defoliación que empieza por la base de la planta y, finalmente, por una notable disminución de la producción de grano, y por la mala calidad de éste.

La carencia de potasio se manifiesta, primeramente, en los órganos más viejos o sea en las hojas más cercanas al suelo, cuyo color sufre diversas alteraciones: primero oscurece, luego toma un color más azulado apareciendo en sus bordes y vértice unas manchas blancas ó amarillentas que hacen se sequen y se desprendan finalmente.

En el caso del magnesio, la carencia vendrá determinada por un color verde pálido de las hojas más acentuado en los bordes y por la sucesiva aparición de unas manchas rojas en la punta y bordes, la falta de calcio se manifiesta por un amarilleo de las hojas, desecándose a partir de los extremos hasta desprenderse y la falta de hierro viene detectada por un color amarillo de las hojas sobre el que resalta el verde de las nerviaciones, que permanece.

### PLAGAS DEL SORGO.

Los insectos que dañan al cultivo de sorgo, pueden agruparse en plagas del suelo, del follaje y de la panaja. Las plagas del suelo que afectan con mayor frecuencia al cultivo son: diatróbica, gallina ciega y gusano de alambre. Los daños al follaje son causados principalmente por gusano cogollero, pulgón y ocasionalmente por gusano soldado. La panaja puede ser dañada por la chinche café, mosca del sorgo y pájaros (51).

### PRODUCCION DE SORGO EN MEXICO.

Las primeras siembras comerciales de introducción con el cultivo de sorgo para grano en México, se tuvieron a fines del siglo pasado. Más tarde se llevaron a cabo investigaciones intensas cuyos resultados fueron notables a partir de los años 60's. A partir de ésta época, puede decirse que ha producido una verdadera revolución y en los últimos 20 años se ha aumentado de 116 mil a 1.4 millones de hectáreas con una producción que creció de 165 mil a 4 millones de toneladas (67,68).

El sorgo es un cultivo que ha venido a sustituir al maíz como alimento para ganado (53).

En el año de 1944, se introdujo una colección internacional que constaba de 350 líneas y variedades de Estados Unidos, pero es en el año de 1960 cuando se vigoriza la expansión del cultivo bajo condiciones de clima templado, en altitudes comprendidas entre los 1200 y 1800 metros sobre el nivel del mar, en el país. Más tarde se comprobó su amplia adaptación en las zonas de menor altitud, desde 0 a -

1200 metros sobre el nivel del mar, de éste modo se cultiva ahora más de un millón de hectáreas con sorgo para grano.

En los años 40's las investigaciones sobre sorgo se manejaron aprovechando algunas selecciones de variedades de polinización libre, previamente introducidas para la parte central del país, entre éstas se citan: Mile Enano, Henri Precoz, Cafir 1, Cafir 2C, Cafir 60, Redbine 2, Caprock y Shallumex 1. Más tarde se han obtenido y usado híbridos para aprovechar la heterosis, con lo que se tienen altos rendimientos (67,69,79).

Los métodos de mejoramiento para el cultivo de sorgo son los mismos que para las plantas autógenas y consisten en: (80,81).

- a) Introducción de variedades y líneas,
- b) Selección.
- c) Hibridación.

Métodos que han funcionado hasta la fecha, en que los investigadores se mantienen enterados de los últimos adelantos en otras partes del mundo y que procuran aprovechar al máximo.

Los fitomejoradores dedicados al desarrollo de nuevas variedades de sorgos, buscan plantas que se ajusten a las siguientes características: baja estatura, alto rendimiento, erectas, apetecibles al ganado, semillas con alto contenido proteico, - buena precocidad, resistencia al frío, adaptación a localidades con altitud superior a los 1800 metros sobre el nivel del mar, y otras.

Actualmente, se siembran 120 variedades, alrededor de 10 de las cuales han sido producidas en México y el resto han si-

do desarrolladas en Estados Unidos de Norteamérica, por lo que su semilla se importa.

México tiene topografía quebrada y muy variable, y en las áreas agrícolas tiene altitudes en las que puede cultivarse el sorgo, que van desde el nivel del mar hasta más de 1800 metros sobre el nivel del mar; el clima es también diferente para las diversas zonas; como consecuencia las variedades de plantas - que se adaptan a cada zona agrícola pueden ser diferentes.

Para definir las variedades de sorgo se toman en cuenta - factores de 3 tipos: (28,30,41,42,64,65,68,69,75,79,80,81).

- 1) Morfológicos; como la altura de la planta, la forma y tamaño de sus hojas, el tamaño y la forma de la panícula, el desarrollo de la raíz y otras.
- 2) Fisiológicos; entre los que se consideran la precocidad, tolerancia a las bajas temperaturas y resistencia al ataque de enfermedades.
- 3) Tecnológicos, entre los que se indican: el contenido de almidones para usos industriales o para alimento, opacidad colorífica, contenido de lisina y otros aminoácidos que forman las proteínas, tan importantes para la alimentación.

No se dispone del tiempo y del espacio para entrar en detalles, por lo que como guía sólo se anotan algunas variedades de sorgo mexicanas.

Purépechu, Zacapil, Pame, Cora, Opeta, Sayulteco, Chichimeca, Cotoname, Olmecha, Savanna, Tepoch, Nahuatl, Otomí, Taras

co, Guazapar.

La superficie cultivada con sorgo durante los años 1975-1979 y 1983-1984 tuvo pocas fluctuaciones, siempre alrededor de 1.4 millones de hectáreas. Los rendimientos por hectárea son consistentes, en todos los casos cercanos a las 3 toneladas por hectárea y se producen 4 millones de toneladas de grano. Ver cuadro 1.

Las principales zonas donde se produce sorgo son:

- 1) El noreste, particularmente el estado de Tamaulipas.
- 2) El centro de México, que llamamos el Bajío y que se complementa con el estado de Sinaloa en el noroeste.

Se tiene el cultivo en otras zonas y entidades federativas, en menor escala. Ver cuadro 2.

CUADRO 1

PRODUCCION COMERCIAL DE SORGO GRANO PARA LOS AÑOS 1975-1979,<sup>a</sup>  
1983-1984<sup>c</sup>

AÑOS	SUPERFICIE	RENDIMIENTO	PRODUCCION
	1000 Ha	Kg/Ha	1000 Ton
1975	1445	2855	4126
1976	1251	3218	4027
1977	1368	2976	4071
1978	1397	2997	4185
1979	1349	2881	3888
1983	1518	3193	4846
1984	1622	3065	4974

a Ecotecnia agrícola, Vol. 4, No. 8, Agosto 1980.

b Agenda estadística 1985, S.P.P.

c Agenda de información estadística agropecuaria y forestal 1984.

CUADRO 2

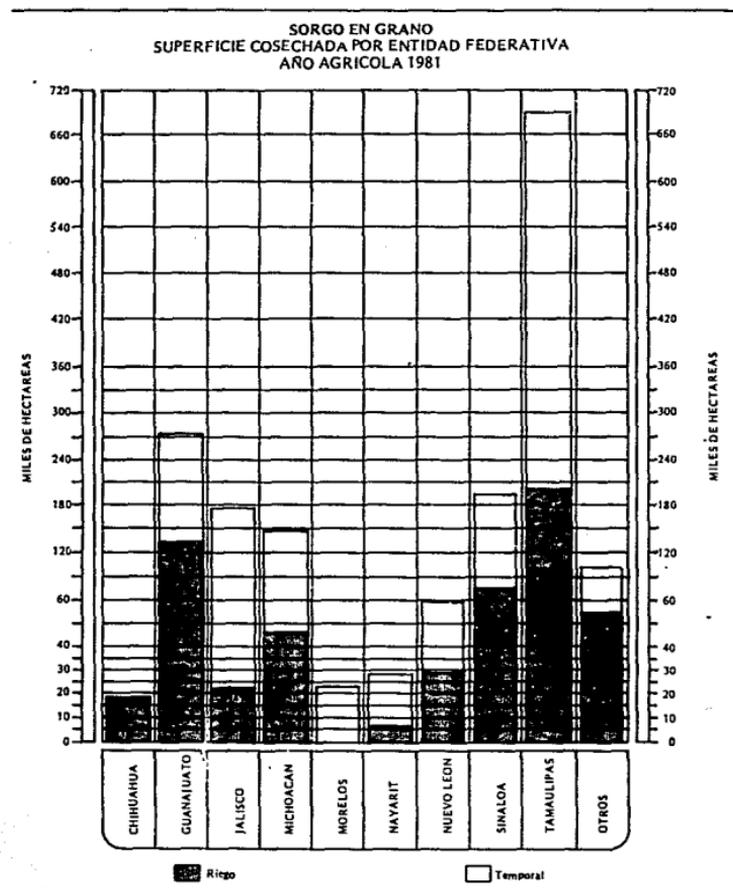
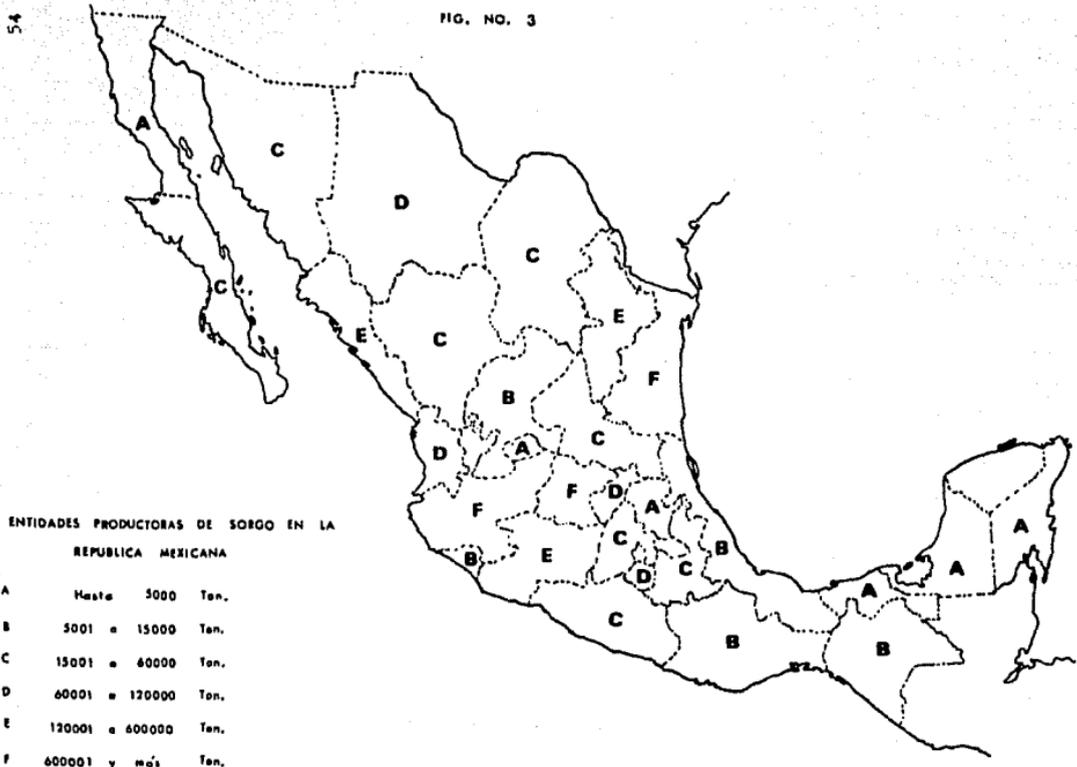


FIG. NO. 3



ENTIDADES PRODUCTORAS DE SORGO EN LA  
REPUBLICA MEXICANA

A	Hasta	5000	Ton.
B	5001 a	15000	Ton.
C	15001 a	60000	Ton.
D	60001 a	120000	Ton.
E	120001 a	600000	Ton.
F	600001 y	Más	Ton.

CUADRO 3

Superficie, producción y valor de las cosechas del cultivo: SORGO EN GRANO, año agrícola 1981.

Cultivo Código	Superficie sembrada (ha)			Superficie cosechada (ha)			Producción (ton)			Producción (ton)			Valor (M\$)				
	Superficie 1	Superficie 2	Total 3=1+2	Superficie 4	Superficie 5	Total 6=4+5	Total 7=7+8	Total 8=8+9	Total 9=9+10	Total 11=11+12	Total 12=12+13	Total 14=14+15	Total 15=15+16	Total 17=17+18			
<b>TOTAL SORGO</b>	124.126	1.278.284	1.402.410	288.263	1.029.028	1.317.291	4.628	3.120	7.748	1.016.292	1.021.292	6.286.285	1.282	1.128	74.126.287	11.286.285	85.287.285
Producción (ton)	600	-	600	600	-	600	2.000	-	2.000	2.000	-	2.000	-	-	2.000	-	2.000
Valor (M\$)	100	-	100	100	-	100	100	-	100	100	-	100	-	-	100	-	100
Superficie sembrada (ha)	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	200
Superficie cosechada (ha)	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	200
Producción (ton)	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	200
Valor (M\$)	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	100	200	100	200

1) Producción de SORGO 2) Producción de SORGO 3) Producción de SORGO





CUADRO 3 (continuación).

Superficie, producción y valor de las cosechas del cultivo: sorgo para escoba  
año agrícola 1981.

Cosecha del año 1981	Superficie cultivada (ha)			Superficie siembrada (ha)			Superficie plantada			Producción (TON)			Precio medio dólar US			Valor de la cosecha dólar US		
	Superficie total	Superficie siembrada	Total 0-11-81	Superficie total	Superficie siembrada	Total 0-11-81	Superficie total	Superficie siembrada	Total 0-11-81	Superficie total	Superficie siembrada	Total 0-11-81	Superficie total	Superficie siembrada	Total 0-11-81	Superficie total	Superficie siembrada	Total 0-11-81
Superficie total	345	4 087	4 542	232	3 228	4 727	6 726	6 699	6 664	272	2 714	3 044	16 278	14 060	14 061	4 215	42 324	42 745
Superficie siembrada	328	-	328	202	-	202	1 211	-	1 211	1 005	-	1 005	11 238	-	11 238	10 292	-	10 292
Superficie plantada	17	73	90	30	35	70	1 475	1 414	1 457	67	68	392	13 272	3 998	3 812	718	748	760

## M E T O D O S      A N A L I T I C O S

Los análisis de suelos que se proponen en este trabajo de tesis, incluyen únicamente los análisis físicos y químicos de los elementos nutrientes de mayor importancia para el desarrollo y crecimiento de las plantas, entre ellos se mencionarán:

- Toma de muestras
- Preparación de muestras para efectuar el análisis
- Color
- Porcentaje de humedad
- pH
- Conductividad eléctrica
- Textura
- Materia orgánica
- Nitrógeno
- Fósforo
- Capacidad de Intercambio Catiónico Total
- Calcio y Magnesio
- Sodio y Potasio

TOMA DE MUESTRAS.

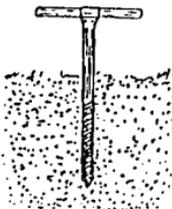
La toma de muestras de suelos (66), es de suma importancia ya que de ésta depende el valor de los análisis y debe representar el terreno que se va a analizar. Esta toma debe hacerse de acuerdo a un método normalizado, teniendo en cuenta las características que presente el suelo a estudiar.

En todos los casos antes de la toma de muestras debe realizarse una inspección previa del suelo que se va a analizar,

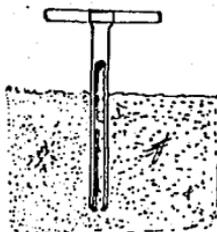
y se dibuja un diagrama en donde se señalan las siguientes características: tipo de parcelas, cultivos que se efectúan en ella, textura, color del suelo y desarrollo relativo de cultivos. Sobre el diagrama se traza un plan para: número de muestras a tomar, forma de tomar las muestras y orden de muestreo.

Las muestras para el análisis del suelo se toman generalmente a una profundidad de 0 a 20 cm, por medio de los siguientes procedimientos:

- a) Se toma una barrena de 30-35 cm de longitud y 5 cm de diámetro, se introduce en el suelo hasta unos 20 cm de profundidad, se tira de ella hacia arriba y se toma la muestra del suelo que quede adherido a la barrena.



- b) Se emplea una sonda, consistente en un tubo cilíndrico, cuya parte inferior es media caña de 20 cm de longitud, terminada en punta afilada que, después de introducirse en el suelo, por rotación sobre su eje, permite extraer una porción del mismo desde la superficie hasta 20 cm de profundidad.



- c) Por medio de pala o azadón, se cava un hoyo en forma de V de unos 20 cm de profundidad, se corta una porción de cada lado, incluyendo la parte central, despreciando los bordes, recogiéndose de este modo la muestra.



- d) Generalmente, en las granjas más pequeñas, se cultivan como unidades campos de 2 a 4 Ha, lo que hace que ésta sea la unidad lógica para la toma de muestras, análisis, recomendaciones y tratamiento subsiguiente. Cuando las granjas son mayores, las unidades de cultivo -- también lo son con lo cual crecen las unidades de toma de muestras, con las limitaciones correspondientes a -- la delimitación de áreas rurales de toma de muestras -- creados por las diferencias de relieve, profundidad o textura del suelo.

Cualquiera que sea el medio utilizado, la operación -- de sacar la tierra se repite unas 20 veces, poniendo todas las submuestras así tomadas, en un saco o bolsa de papel fuerte, hasta completar unos 20 Kg de tierra. Se efectuarán recorriendo la parcela en zig-zag.

- e) Las muestras se introducen en cajas de cartón adecuadas y se transportan al laboratorio para desecarlas. -- Para decidir el procedimiento a seguir a partir de éste momento, es necesario tener en cuenta cuales son las -- determinaciones particulares que deban ser realizadas. Algunas determinaciones requieren muestras que posean la humedad que tenían en el campo, de modo que su equilibrio no se altere por operaciones de desecación, otras requieren muestras desecadas al aire.

### PORCENTAJE DE HUMEDAD.

Es importante determinar la cantidad de agua que posee el suelo, ya que ésta se considera como elemento esencial en la formación de los suelos y contribuye de manera decisiva en los fenómenos de descomposición y migración de compuestos químicos a las plantas.

En general, los procedimientos analíticos se efectúan con muestras previamente secadas al aire, pero esta desecación es incompleta, ya que el suelo retiene cierta cantidad de humedad, variando según el tipo de suelo en que fue tomada la muestra.

Por lo tanto, los resultados analíticos deben reportarse siempre a muestras secadas al aire(43,66,73).

#### Material y equipo:

Estufa a 105°C

Balanza analítica

Pesafiltros

Desecador

Pinzas

#### Procedimiento:

Pesar de 0.4 a 1.0 g de la muestra y colocarla dentro de un pesafiltros.

Colocarla dentro de una estufa a 105-110°C hasta alcanzar un peso constante (el tiempo requerido fluctúa de 2 a 5 horas).

Cálculos:

El porcentaje de humedad se efectúa por medio de las --  
siguientes relaciones:

$$A - C = Ww$$

$$A - B = Wo$$

$$Ww - Wo = Ow$$

$$Ow \times 100/Ww = Pw$$

donde:

A= Peso del pesafiltros + suelo húmedo

B= Peso del pesafiltros + suelo seco (peso constante).

C= Peso del pesafiltros vacío (peso constante).

Ww= Peso del suelo húmedo

Wo= Peso del suelo seco

Ow= Contenido de humedad

Pw= Porcentaje de humedad

pH.

La determinación del pH de los suelos se hace con mayor precisión por métodos potenciométricos, utilizando como electrodo de referencia el de calomel y como de medida el de vidrio (19,43,66).

Material y equipo:

Potenciómetro  
Balanza  
Electrodos de vidrio y calomel  
Vasos de precipitados de 300 ml  
Agitadores de vidrio

Reactivos:

Solución reguladora pH=7.0  
Agua destilada

Procedimiento:

Pesar 20 g de suelo y agregar 40 ml de agua destilada, agitar la suspensión por espacio de una hora.

El potenciómetro deberá ser previamente calibrado con la solución reguladora pH=7.0 antes de tomar la lectura de pH de las muestras.

El valor de pH se determina en el momento que el electrodo de vidrio se sumerja en la suspensión recién agitada y la aguja indicadora de pH permanezca constante en el potenciómetro.

### CONDUCTIVIDAD ELECTRICA.

La determinación de la conductividad eléctrica de las disoluciones obtenidas a partir de los extractos de suelo, permiten establecer una estimación cuantitativa de la cantidad de sales que contienen (19,43,62,66).

El análisis que se efectúa para esta determinación es -- utilizando métodos conductimétricos.

#### Material y equipo:

Célula conductimétrica  
 Puente de medida de conductividad  
 Termómetro  
 Matraz kitasato  
 Embudo büchner  
 Vasos de precipitado de 250 ml  
 Papel filtro

#### Procedimiento:

Pesar 10 g de suelo en un vaso de precipitados de 250 ml, añadir agua destilada hasta el punto de saturación. Se deja reposar 1 hora. Se añade agua hasta saturar nuevamente. Esta suspensión se filtra sobre un embudo de büchner y el filtrado se coloca en la célula conductimétrica y se mide la conductividad, con el puente de medida.

El contenido de conductividad se realiza a través de los siguientes cálculos:

#### Cálculos:

La constante de la celda K se determina por medio de la -

conductividad eléctrica de una solución de KCl 0.1 N, cuya conductividad específica es de 0.01288 miliohmios por centímetro, a 25°C:

$k = l/c$  donde:

$l$  = conductividad eléctrica de la solución KCl

$c$  = conductividad medida de la solución de KCl.

Teniendo en cuenta estas variables, se tiene que:

Resistividad (ohms) = lectura medida  $\times k$  de la celda conductimétrica.

Conductividad (mohms) =  $1/\text{resistividad (ohms)}$ .

TEXTURA.

La textura del suelo se refiere a la cantidad de partículas de diferente tamaño que se encuentran en él. La determinación de la cantidad de los diferentes partículas presentes en el suelo se denomina Análisis Mecánico o Análisis del tamaño de las partículas. Esta determinación se logra separando las partículas del suelo eliminando las sustancias que las unen, como la materia orgánica. Para completar la separación se hace una suspensión del suelo en el agua y se determina la proporción de partículas de cierto tamaño por su velocidad de caída aplicando la Ley de Stokes, cuya fórmula es la siguiente:

$$v = \frac{e}{t} = \frac{2}{9} g^2 \frac{G_1 - G_2}{N}$$

Donde:

v= velocidad de caída de una partícula a través de un medio, que por lo general es agua y se expresa en cm/s.

e= espacio que recorre una partícula en un tiempo t, y está expresado en cm.

t= tiempo, y se encuentra expresado en segundos.

g= aceleración debida a la gravedad, expresada en  $\text{cm/s}^2$ .

r= radio de la partícula expresada en cm.

$G_1$ = peso específico real del suelo expresado en  $\text{g/cm}^3$ .

$G_2$ = peso específico del líquido en donde se suspende el suelo, expresado también en  $\text{g/cm}^3$ .

N= velocidad del líquido expresado en Poises.

El método sugerido para esta determinación, es el del hidrómetro de Bouyoccos (12,19,43,66).

Material y equipo:

Hidrómetro de Bouyocos con escala de 0 a 60

Termómetro

Cronómetro

Probeta de 1000 ml

Agitador para la dispersión del suelo

Reactivos:

- Peróxido de hidrógeno al 6% .
- Oxalato de sodio saturado (30 g de oxalato de sodio en un litro de agua destilada).
- Metasilicato de sodio saturado (50 g de metasilicato de sodio en un litro de agua destilada y ajustar la solución a una lectura de 36 con el hidrómetro).
- Alcohol amílico.

Procedimiento:

Pesar 60 g de suelo, si es de textura fina o 120 g si es un suelo de textura gruesa, en un vaso de precipitado de 500ml, añadir 40 ml de peróxido de hidrógeno y poner a evaporar hasta sequedad. Añadir otros 40 ml de peróxido de hidrógeno y observar la reacción. Evaporar nuevamente a sequedad. Repetir el tratamiento hasta que no exista efervescencia al añadir el peróxido de hidrógeno. Por lo general son suficientes dos evaporaciones para la destrucción de toda materia orgánica que contenga la muestra de suelo.

Después de la eliminación de la materia orgánica, pesar 50 g de suelo de textura fina o 100 g de textura gruesa en un vaso de precipitados de 250 ml. Se agrega agua hasta cubrir únicamente la superficie del suelo y se añaden 5 ml de la solu

ción de oxalato de sodio y 5 ml de la solución de metasilicato de sodio. Se deja reposar la suspensión durante 30 min. Triplicar las cantidades de solución dispersante en caso de suelos con alto contenido de sales.

Transferir el contenido del vaso a la copa de agitación eléctrica y dispersar la solución 15 minutos, en caso de que el suelo contenga un alto contenido de arcilla, prolongar el tiempo de dispersión hasta 30 minutos.

Vaciar el contenido de la copa de agitación a una probeta de 1000 ml lavando con el frasco lavador las partículas adheridas a la copa con agua destilada. Agregar agua destilada hasta completar un volumen de 1000 ml con el hidrómetro colocado dentro de la suspensión. Secar el hidrómetro, se tapa la probeta con la palma de la mano y se agita volteándola hacia abajo varias veces con el fin de suspender el suelo, una vez realizada esta operación se coloca la probeta recién agitada en la mesa, se pone a andar el cronómetro y se toma la primera lectura en el hidrómetro a los 40 segundos y la segunda lectura a las dos horas.

Para efectuar la lectura, colocar el hidrómetro dentro de la probeta 20 segundos antes del momento de la determinación, cuidando de alterar lo menos posible la suspensión. Después de leer cuidadosamente la lectura del hidrómetro se determina la temperatura de la suspensión.

NOTA: Si al hacer la lectura se acumula espuma alrededor del hidrómetro debido a una deficiente eliminación de materia orgánica, se le agrega a la suspensión alcohol amílico que actúa como antiespumante.

Cálculos:

Corregir las lecturas del hidrómetro sumando 0.36 - unidades por cada grado centígrado arriba de 19.5 o restando la misma cantidad por cada grado abajo de la temperatura referida.

- La lectura del hidrómetro a los 40 segundos multiplicada por 2 representa al porcentaje de arcilla + limo y restando 100 se obtiene el porcentaje de arena.

- La lectura del hidrómetro a las dos horas multiplicada por 2 equivale al porcentaje de arcilla.

- El porcentaje de limo se obtiene de la diferencia:

$$\% \text{ arena} = 100 - (\text{lectura del hidrómetro a los 40 segundos por } 2).$$

$$\% \text{ arena} = \text{lectura del hidrómetro corregida las dos horas por } 2.$$

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

- Cuando se utilizan 100 gramos de suelo para la determinación no debe multiplicarse por 2, ya que el hidrómetro está calibrado en por ciento, considerando 100 gramos de suelo.

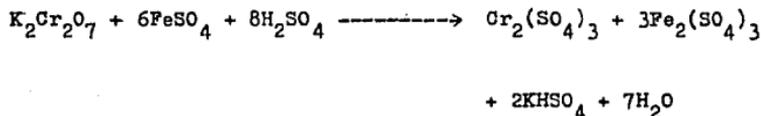
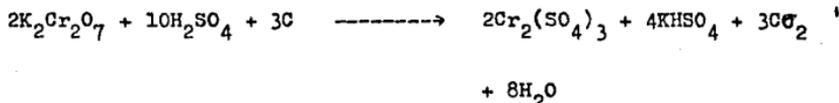
- Con los porcentajes obtenidos de arena, arcilla y limo se determina la textura del suelo utilizando el diagrama ternario de los componentes principales de un suelo, (19,43,66).

<u>Temperatura</u>	<u>Factor de corrección</u>
°C	
.....	.....
.....	.....
15.0 .....	-1.62
15.5 .....	-1.44
16.0 .....	-1.26
16.5 .....	-1.08
17.0 .....	-0.90
17.5 .....	-0.72
18.0 .....	-0.54
18.5 .....	-0.36
19.0 .....	-0.18
19.5 .....	0.00
20.0 .....	+0.18
20.5 .....	+0.36
21.0 .....	+0.54
21.5 .....	+0.72
22.0 .....	+0.90
22.5 .....	+1.08
23.0 .....	+1.26
23.5 .....	+1.44
24.0 .....	+1.62
.....	.....
.....	.....

MATERIA ORGANICA

La materia orgánica de los suelos es fundamental para los aspectos químicos y físicos y está estrechamente relacionada con la fertilidad (19,43,46,54,61,62,66).

El método de análisis propuesto para esta determinación es el de Walkley y Black, modificado, el cual se basa en una oxidación de la materia orgánica del suelo con dicromato de potasio y posterior valoración del exceso de dicromato añadido con una sal ferrosa. Con las siguientes reacciones químicas se representa el método:

Material y equipo:

Estufa

Pesafiltros

Matraces de Erlenmeyer

Bureta de 25 ó 50 ml

Pipeta volumétrica de 10 ml

Agitador magnético

Desecador

Reactivos:

- Dicromato de potasio 1N  
(Pesar 40.031 g de dicromato de potasio, previamente secado a la estufa y secado en el desecador y se aforan con agua destilada a un litro).
- Sulfato ferroso 0.5N  
(Disolver 139.01 g de  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  en 800 ml de agua destilada que contenga 20 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado y se afora a un litro con agua destilada. Este reactivo se estandariza cuando se vaya a utilizar, con 5 ml de  $\text{K}_2\text{CrO}_7$  1N + 7.5 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado + 2.5 ml de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  (95%) + 100 ml de  $\text{H}_2\text{O}$  + 4 gotas de indicador de difenilamina. Esta solución se titula con la solución de sulfato ferroso hasta el vire de violeta a verde).
- Acido Sulfúrico concentrado
- Acido fosfórico al 95%
- Difenilamina  
(Disolver 0.5 g de difenilamina en 20 ml de agua y 100 ml de ácido sulfúrico, agitando con una varilla de vidrio la solución hasta que se disuelva en su totalidad la difenilamina).

Procedimiento:

Pesar 1.0 g de suelo previamente secado a la estufa a  $105^\circ\text{C}$  y transferirlo a un matraz de Erlenmeyer de 500 ml, se agregan 10 ml de la solución de dicromato de potasio mediante la pipeta volumétrica, se agita perfectamente la mezcla median

te el agitador magnético y se le añaden 20 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se agita la mezcla por espacio de un minuto.

La solución se deja reposar a temperatura ambiente de 20 a 30 minutos con el propósito de que se efectúe una reacción completa.

Se diluye el contenido del matraz con 200 ml de agua destilada, produciéndose un aclaramiento en la suspensión, ayudando de esta manera a la observación del punto final de la titulación.

Se agregan 10 ml de  $H_3PO_4$  al 95% y se enfría el matraz al chorro del agua, después de esta operación se añaden unas gotas del indicador difenilamina y se titula cuidadosamente con la solución de sulfato ferroso 0.5N hasta que el color de la solución vire a verde tenue, agitando durante la titulación. Se hace un blanco con 10 ml de dicromato de potasio 1N, agregar los mismos reactivos pero sin muestra y titular con sulfato ferroso 0.5N.

Cálculos:

$$\% \text{ materia orgánica} = \frac{(\text{ml de } FeSO_4 \cdot 7H_2O) \times 0.003 \times 1.33 \times 1.72}{\text{peso de la muestra de suelo utilizado}}$$

donde:

ml de  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  ; son los mililitros utilizados de esta solución para llegar al punto de equivalencia de la titulación.

0.003 ; es el peso miliequivalente de carbono

- 1.33; es el factor de corrección al 100% de efectividad del método, suponiendo que el método solo es efectivo en un 75%
- 1.72; es el cálculo de materia orgánica fácilmente oxidable y total. Este cálculo es aproximado y empírico y se basa en el supuesto de que la materia orgánica del suelo contiene 58% de carbono por cada 100g de materia orgánica.

Cálculos:

56/lectura de 0.8 ml de estandar. Factor 1

28/lectura de 0.4 ml de estandar. Factor 2

kg/ha de  $\text{NO}_3^-$  = Factor<sub>2</sub> x lectura del problema

CONTENIDO DE NITROGENO EN FORMA DE AMONIO:Material y equipo:

Balanza analítica

Espectrofotómetro

Agitador magnético

Bomba de vacío

Matraz kitasato y embudo Büchner

Matraces de erlenmeyer

Papel filtro

Matraz aforado de 50 y 100 ml

Pipetas de 5 y 10 ml

Reactivos:

## - Solución de Nessler

(Disolver 45.5 g de ioduro de mercurio II y 35 g de ioduro de potasio en un mínimo de agua destilada. Se agregan — 112 g de hidróxido de potasio y se lleva esta mezcla hasta un volumen de 800 ml. Se mezcla bien la solución, utilizando el agitador magnético. Se deja enfriar y se afora a 1000 ml con agua destilada, dejando esta solución en reposo durante 4 ó 5 días).

## - Tartrato de sodio al 10%

(Disolver 10 g de tartrato de sodio en la mínima cantidad de agua y aforar a 100 ml con agua destilada).

- Cloruro de sodio al 10% a pH de 2.5  
(Pesar 10 g de cloruro de sodio en la mínima cantidad de --  
agua destilada utilizando un potenciómetro para llegar al  
pH deseado y aforar a 100 ml).
  
- Solución estandar de cloruro de amonio  
(Pesar 1.337 g de cloruro de amonio y disolver en la mínima  
cantidad con agua destilada y aforar a 1000 ml. Para pre-  
parar un patrón diluido de cloruro de amonio, se toman --  
20 ml de la solución anterior y se aforan a 50 ml).

Procedimiento:

Extracción del ión amonio del suelo. Pesar en un matrón  
de erlenmeyer 10 g de suelo, añadir 20 ml de la solución de --  
NaCl. Agitar durante 30 minutos mediante agitador magnético.  
Se filtra la solución en embudo Büchner lavando el precipita-  
do con 25 ml de solución de NaCl y agua destilada.

Determinación del ión amonio. El filtrado antes obtenido  
se afora a 100 ml con agua destilada. Tomar una alícuota de -  
5 ml y pasarla a un matraz, agregar 2 ml de la solución de tar-  
trato de sodio, 80 ml de agua destilada y 5 ml del reactivo de  
Nessler. Mezclar la solución rápidamente y aforar a 100 ml -  
con agua destilada. Esperar 25 minutos y tomar la lectura de  
la muestra en el espectrofotómetro a una longitud de onda de -  
475 nm.

Curva estandar. Tomar alícuota entre 3 y 30 ml de la so-  
lución patrón diluida, las cuales se introducen a una serie de  
matraces aforados de 100 ml y se desarrolla el color con el --  
mismo procedimiento anterior.

Cálculos:

- Hacer una gráfica en papel milimétrico poniendo en el eje de las ordenadas el % de transmisión o absorción.
- Representar en el eje de las abscisas en la gráfica, las concentraciones de ión amonio conocidas mediante la preparación de la curva estandar poniéndolos en forma creciente.
- Una vez construida la gráfica, el valor de absorbancia o % de transmitancia de la solución problema se interpola hacia el eje de las abscisas de la gráfica conociéndose de esta manera la concentración de ión amonio en la muestra de suelo analizado.
- La gráfica construida por las concentraciones conocidas de ión amonio, deberá ser una recta, ya que estas soluciones coloridas siguen la Ley de Lambert y Beer (77).

$$\text{NH}_4^+ \text{ (meq/100g de suelo) } = \frac{D \times X_p \times 100}{M}$$

donde:

- D= dilución con la que se hizo la determinación
- Xp= concentración de  $\text{NH}_4^+$  en meq/100g de suelo problema
- M= peso de muestra de suelo utilizado

### DETERMINACION DE FOSFORO

El fósforo (19,22,43,62,66), del suelo se encuentra en forma de compuestos orgánicos e inorgánicos y para que éste sea utilizado por las plantas, se debe transformar a formas solubles y asimilables, a través de procesos de mineralización y solubilización, en donde intervienen microorganismos que poseen la capacidad de transformar compuestos fosforados insolubles hacia la forma asimilable, que son conocidos como fosfobacterias.

Los cultivos intensos y repetidos agotan el fósforo asimilable, además el fósforo que existe en el suelo aportado por abonos forma en su mayor parte compuestos insolubles de difícil asimilación. Por ello, la determinación de fósforo asimilable es de suma importancia.

Para la determinación de este elemento se utilizan métodos espectrofotométricos (78).

### DETERMINACION ESPECTROFOTOMETRICA DE FOSFORO (METODO DE BRAY):

#### Material y equipo:

Espectrofotómetro  
Balanza  
Embudo  
Papel filtro  
Matraz aforado  
Matraz de erlenmeyer  
Tubos de ensayo

Reactivos:

- Solución base de fluoruro de amonio: 1N  
(Disolver 37 g de  $\text{NH}_4\text{F}$  en la mínima cantidad de agua y aforar a 1000 ml con agua destilada)
- Solución extractora:  
(Diluir en agua 30 ml de solución 1N de  $\text{NH}_4\text{F}$  en 50 ml de HCl 0.5N y aforar con agua destilada a 1000 ml. Esto da una solución 0.03N de  $\text{NH}_4\text{F}$  y 0.025N de HCl).
- Solución de molibdato de amonio:  
(Disolver 15 g de molibdato de amonio tetrahidratado en 400 ml de agua destilada. Agregar 350 ml de HCl 1CN lentamente y agitando. Se deja enfriar la mezcla y se afora a 1000 ml con agua destilada).
- Solución de HCl 0.5N:  
(Aforar a 1000 ml, 40.5 ml de HCl concentrado).
- Solución estandar de fósforo:  
(Disolver en la solución extractora 0.04389 g de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  y aforar con agua destilada a 1000 ml. Esta solución contiene 100 ppm de fósforo).
- Acido cloroestano:  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$   
(Disolver 25 g de cloruro estano  $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  en 50 ml de HCl concentrado y llevar la mezcla a 500 ml con agua destilada).

Procedimiento:

Se pesa 1 g de suelo y se coloca en un matraz de erlenmeyer, se añaden 7 ml de solución extractora y se agita durante

un minuto. Se filtra la solución sobre un papel Whatman No. - 42, recibiendo la solución sobre un tubo de ensayo. Del filtrado obtenido se toma una alícuota de 1 ml, se le agregan 6 ml de agua destilada y 2 ml de solución de molibdato y se agita (en este momento el molibdato reacciona con el fósforo formando el complejo de fosfo-molibdato).

Se agrega 1 ml de ácido cloroestánico (por medio de la - adición de este reactivo se forma un complejo de color azul, - cuya intensidad es proporcional a la cantidad de fósforo presente). Se agita perfectamente la solución dejando reposarla durante 10 minutos y se lee la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 660 nm.

La curva estándar se prepara por el mismo procedimiento - de la muestra problema, tomando diferentes alícuotas, para dar diferentes concentraciones en ppm de fósforo.

#### Cálculos:

Calcular el contenido de fósforo en los suelos en el mismo orden como se indicó en la determinación espectrofotométrica - de nitrógeno en forma de amonio.

DETERMINACION DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO TOTAL.Material y equipo:

Centrífuga

Tubos de 25 x 100 mm de base redonda

Matraces Kjeldhal de 800 ml

Agitador de vidrio

Reactivos:

- Solución extractora de acetato de amonio 1N pH=7 (19,22, 66)  
(Diluir 57 ml de ácido acético glacial en 400 ml de agua - destilada y agregar 68 ml de hidróxido de amonio a esta - solución, ajustando el pH a 7 con ácido acético glacial o hidróxido de amonio y aforar a 1000 ml con agua destilada).
- Alcohol etílico al 95%.
- Indicador mixto  
(Disolver 0.1 g de rojo de metilo y 0.5 g de verde-bromocresol en 100 ml de alcohol etílico al 95% y ajustar el pH - de la solución a 4.5 con NaOH o HCl.
- HCl 0.1N  
(A 8.02 ml de HCl al 36%, agregar agua destilada hasta aforar a un litro. Determinar su normalidad con carbonato - de sodio).
- Cloruro de sodio al 10%  
(Disolver 100 g de NaCl en 750 ml de agua destilada, ajustar el pH a 2.5 con HCl y aforar a un litro con agua des-

tilada).

- Oxido de Magnesio U.S.P.

- Acido bórico al 4%

(Pesar 40 g de ácido bórico y disolver en 500 ml de agua - destilada a ebullición, enfriar y aforar con agua destilada a 1000 ml).

#### Procedimiento:

Se pesan 4 g de suelo de textura mediana o fina a 6 g para suelos de textura gruesa.

Se coloca la muestra en un tubo de ensayo de 25 x 100 mm, se agregan 25 ml de la solución extractora de acetato de amonio 1N, se agita y se deja reposar 30 minutos, se centrifuga a 2000 rpm, hasta que el líquido esté claro, generalmente para este paso se necesitan 5 minutos. Se decanta el líquido, filtrándose para la determinación.

El suelo que queda en el tubo de centrifuga se lava 4 veces con 30 ml de alcohol etílico y luego se transfiere a un matríz Kjeldhal, agregándose 40 ml de solución de cloruro de sodio al 10% pH=2.5, 0.5 g de magnesia calcinada y 150 ml de agua destilada; se destila, recibiendo el destilado en 40 ml de ácido bórico al 4%, usándose indicador mixto para la titulación con HCl 0.1N.

#### Cálculos:

Se reportan los resultados obtenidos en meq de cationes intercambiables/ 100 g de suelo.

### DETERMINACION DE CALCIO Y MAGNESIO.

La determinación de calcio y magnesio conjuntamente en el análisis de los suelos es posible empleando un método volumétrico basado en la complejimetría usando EDTA como titulante - (19,22,43,48,62,66).

#### Material y equipo:

Balanza  
Bureta de 25 o 50 ml  
Matraz erlenmeyer  
Matraz aforado

#### Reactivos:

- Solución extractora de acetato de amonio 1N pH=7  
(Diluir 57 ml de ácido acético glacial en 400 ml de agua - destilada y agregar 68 ml de hidróxido de amonio a esta - solución, ajustando el pH a 7 con ácido acético glacial o hidróxido de amonio y aforar a 1000 ml con agua destilada).
- Solución 0.01 M de EDTA  
(Pesar 3.722 g de la sal disódica del ácido etilen-diamino-tetracético-dihidratado y aforarla a 1000 ml con agua destilada, titularla con  $\text{CaCO}_3$  como patrón primario).
- Solución reguladora pH=10  
(Se disuelven 68 g de cloruro de amonio en 200 ml de agua, se agregan 570 ml de hidróxido de amonio concentrado y se afora la solución a 1000 ml con agua destilada).
- Indicador de calceína

- Indicador de eriocromo negro T.

Procedimiento:

Se pesan 2 g de la muestra de suelo y se coloca en un matraz de erlenmeyer. Se agregan 25 ml de la solución extractora y se agita durante 30 minutos dejando reposar la mezcla 30 minutos. Se filtra esta solución sobre papel filtro Whatman No. 42 sobre un tubo de ensayo.

De la solución filtrada se toma una alícuota de 10 ml y se afora a 100 ml con agua destilada.

En un matraz de erlenmeyer se toma una alícuota de 25 ml de la solución anterior y se diluye con agua destilada. Se agregan 10 ml de solución reguladora pH= 10 y se agrega una pequeña cantidad de eriocromo negro T como indicador y se titula con EDTA 0.01M hasta el vire de color rojo vino-azul, determinándose tanto calcio como magnesio en esta titulación.

En la segunda titulación para la determinación específica del calcio se toma otra alícuota de 25 ml de la solución aforada a 100 ml, se trasvasa a un matraz de erlenmeyer y se diluye con agua destilada. Se le agregan 10 ml de hidróxido de sodio al 10% a fin de aumentar el pH de 10 a cuando menos 12 unidades y que el magnesio presente en la solución precipite en forma de hidróxido, y éste quede "enmascarado" para que el calcio sea titulado.

Se utiliza para este fin indicador de calceína y se titula con solución de EDTA 0.01 M hasta el vire de incoloro-rojo, quedando de esta manera determinado únicamente el calcio.

Así pues, la determinación de magnesio presente se efectúa por diferencia.

Cálculos:

$$\text{ppm de Ca}^{++} = \frac{(V_2 \times M_{\text{EDTA}}) (\text{mol de CaCO}_3) (\text{aforo}) (1000)}{\text{alícuota}}$$

$$\text{ppm de Mg}^{++} = \frac{(V_1 - V_2 \times M_{\text{EDTA}}) (\text{mol de MgCO}_3) (\text{aforo}) (1000)}{\text{alícuota}}$$

$V_1$  = volumen utilizado de EDTA para la determinación de la primera titulación de  $\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$

$V_2$  = volumen utilizado de EDTA para la segunda titulación para determinar solo  $\text{Ca}^{++}$

$$\text{mol de CaCO}_3 = 100.06 \text{ g/mol}$$

$$\text{mol de MgCO}_3 = 84.29 \text{ g/mol}$$

$$\text{aforo} = 100 \text{ ml}$$

$$\text{alícuota} = 25 \text{ ml}$$

### DETERMINACION DE SODIO Y POTASIO.

Generalmente el potasio se encuentra en los suelos formando minerales y solo una pequeña parte se encuentra en forma intercambiable o como sales solubles. Por esta razón estas dos formas son las que se analizan ya que son las que más utilizan las plantas para su nutrición.

Aunque la falta de sodio no se considera un problema para las plantas, en los suelos sí puede serlo si se encuentra en exceso, ya que los suelos alcalinos y sódicos poseen características físicas inadecuadas, razón por la cual es importante conocer el contenido de sodio del suelo para realizar en él los tratamientos correctivos adecuados (19,66).

Los buenos resultados obtenidos al analizar sodio y potasio por Flamometría, han conducido a la adopción de dicho método, como regla general.

Cuando se desea conocer la fracción asimilable de estos elementos, la determinación se realiza en los extractos obtenidos al agitar el suelo con solución extractora de acetato de amonio 1N a pH=7 en la proporción 1/10. En estas condiciones, no hay interferencia en el flamómetro.

#### Material y equipo:

Flamómetro

Balanza analítica

Matríz aforado de 1000 ml

Matraz de erlenmeyer

Pipetas de 1, 5, 10, 20 ml

Probetas de 1000 ml

Vasos de precipitados

Reactivos:

- Solución extractora de acetato de amonio pH=7  
(Descrita anteriormente: ver determinación de Ca y Mg).
  
- Solución estándar de potasio  
(Pesar 1.910 g de KCl en un vaso de precipitados y se disuelven con 50 ml de agua destilada y se afora a 1000 ml con agua destilada. Esta solución contiene 1 g de potasio por litro = 1000 ppm de potasio. Se toman con las pipetas de 1, 2, 5 y 10 ml alícuotas de la solución antes obtenida y se aforan con acetato de amonio pH=7 a 100 ml. Estas soluciones contienen 10, 20, 50 y 100 ppm respectivamente de potasio. Se toman con las pipetas 1, 2 y 5 ml alícuotas de la solución que contiene 100 ppm de potasio y se aforan a 100 ml con acetato de amonio pH=7. Estos volúmenes contienen 1, 2 y 5 ppm de potasio).
  
- Solución estándar de sodio.  
(Pesar 2.545 g de NaCl en un vaso de precipitados y se disuelven en 50 ml de agua destilada y se afora con agua destilada a 1000 ml. Esta solución contiene 1 g de sodio por litro= 1000 ppm de sodio. Se toman con las pipetas de 1, 2, 5 y 10 ml alícuotas de la solución antes obtenida y se aforan con acetato de amonio pH=7 a 100 ml. Estas soluciones contienen 10, 20, 50 y 100 ppm. Se toman con las pipetas de 1, 2 y 5 ml alícuotas de la solución que contiene 10 ppm de sodio y se aforan a 100 ml con acetato de amonio pH=7. Estos volúmenes contienen 1, 2 y 5 ppm de sodio).

### Procedimiento:

Extracción de los iones. Se pesan 10 g de suelo en un matr az erlenmeyer y se añade 100 ml de solución extractora de acetato de amonio 1N pH=7. Se agita la suspensión durante 30 minutos y se deja reposar. Esta solución se filtra en embudo de vidrio y papel filtro Whatman No. 42, y el filtrado se recoge en un tubo de ensayo.

Determinación de potasio. El filtrado anterior se deja reposar 20 minutos y se toma la lectura en el flamómetro a 768 nm, ajustando el aparato a 0 con agua destilada y a 100 con solución de KCl. De la misma manera se toman las lecturas para las muestras preparadas de la solución est andar que contienen 1,2,5,10,20,50 y 100 ppm de potasio.

### C culos:

Representar sobre papel milimétrico la lectura medida en el flamómetro de las soluciones est andares de concentración conocida de potasio en el eje de las ordenadas (%emisi n   absorción).

Representar en un intervalo de 0 a 100 ppm de potasio en el eje de las abscisas.

Interpolar la lectura del flamómetro de la muestra de suelo a la concentración de ppm de potasio conocida.

Determinación de sodio. A la otra parte del filtrado se sigue el mismo procedimiento que en el caso del potasio y se ajusta el flamómetro a 0 con agua destilada y a 100 con solución de NaCl y se toman las lecturas de las muestras y de las soluciones est andar a 589 nm.

**Cálculos:**

Representar sobre papel milimétrico, la lectura medida en el flamómetro de las soluciones de concentración conocida de sodio en el eje de las ordenadas (% emisión o absorción).

Representar en un intervalo de 0 a 100 ppm de sodio en el eje de las abscisas.

Interpolar la lectura del flamómetro de la muestra de suelo a la concentración de ppm de sodio conocidas.

## CONCLUSIONES Y COMENTARIOS

Para incrementar los rendimientos de sorgo que actualmente obtienen los agricultores mexicanos es necesario resolver los problemas del cultivo que ocasionan mermas, en el rendimiento de grano. De acuerdo a ello se han realizado trabajos con el objeto de identificar y jerarquizar dichos factores de la producción, dentro de los cuales se pueden mencionar los siguientes:

1. Mala distribución de la humedad.

El temperal deficiente y mal distribuido en el 65% de la superficie sembrada con sorgo a nivel nacional, causa grandes pérdidas.

2. Deficiente fertilidad del suelo.

El cultivo intensivo del sorgo está causando un agotamiento en los suelos, sobre todo en cuanto a elementos menores.

3. Baje potencial genético.

La buena adaptación de la especie en las regiones agrícolas de México, así como su rápida adopción por los agricultores, originaron que se importaran híbridos procedentes de Estados Unidos, por no contarse con híbridos locales. Tal importación ha beneficiado a los productores agrícolas, pero también ha tenido aspectos desventajosos para la agricultura regional y nacional. En efecto, en 1980 la importación de semilla de sorgo, ascendió a unos 700 millones de pesas.

Por otra parte, aunque es reconocida la capacidad de rendimiento de muchos híbridos importados, también es cierto que una proporción considerable de los sorgos existentes en el mercado no ofrecen buenos rendimientos al agricultor por falta de adaptación, con lo cual se deja de producir una cantidad importante de grano, que también debe adquirirse en el extranjero.

#### 4. Enfermedades.

La introducción de enfermedades ya está convirtiéndose en un problema muy serio en el país, sobre todo en las principales regiones sorgueras de Tamaulipas, Guanajuato, Jalisco y Michoacán; en donde causan grandes pérdidas. Las siguientes enfermedades son las de mayor importancia: tizón de la hoja, carbón de la panoja, roya y roya bacteriana.

#### 5. Malas hierbas.

La competencia de las malas hierbas es un gran problema debido a que existe una gran diversidad de arvenses que afectan el cultivo desde el desarrollo inicial hasta el momento de la cosecha, principalmente en temporal, cuando no es posible la realización de labores de cultivo a tiempo. En las siembras de riego que se hacen sobre pata de crigo o de cebada, estas plantas se comportan como malas hierbas, y su control manual aumenta considerablemente los costos.

#### 6. Plagas.

Todas las plagas se presentan en forma esporádica, pero en años recientes han empezado a causar daños considerables en las principales regiones sorgueras del país. Las plagas más importantes son las siguientes: Gusano soldado, pulgón verde, mosca de la panoja, chinche café, Gusano

cogollero, mosca del sorgo y gusano telarañero.

7. Las condiciones más adecuadas de los suelos destinadas al cultivo de sorgo son las siguientes:

pH                      5.5 - 8.5  
 Textura                Franco arenosa y franco arcillosa  
 Materia orgánica      3-5%  
 Temperatura media óptima 26°C  
 Humedad    550-600 mm en todo el ciclo

Elemento	Valores promedio %	Nivel crítico %
N	2.3	1.4
S	0.24	0.11
P	0.38	0.21
K	2.1	1.2
Mg	0.19	0.09
Ca	0.42	0.17
Na	0.02	

Elemento	Valores promedio ppm	Nivel crítico ppm
Fe	85	30
Al	80	
Mn	50	18
B	12	4
Cu	8	3
Zn	27	10
Mo	1.1	0.3

Por naturaleza el sorgo es tolerante a condiciones de humedad limitadas, característica que lo convierte en un cultivo existoso en, el temporal, y bajo condiciones de riego su producción es más estable; se ha comprobado que con un riego de auxilio durante la época de floración, se incrementa el rendimiento hasta de 1.0 ton/ha de grano, y aumenta ligeramente más si se le proporciona un segundo riego de auxilio durante la etapa de llenado de grano.

En cuanto al control de malezas, los resultados de más trascendencia se han obtenido con productos químicos; ello ha contribuido a reducir en gran parte el alto costo de deshierbe manual y a elevar los rendimientos, ya que cuando éste método se aplica adecuadamente, resulta ser más eficiente que el deshierbe manual.

Se debe buscar la selección de nuevos sorgos híbridos mexicanos con adaptación regional y buenas características agronómicas. Se debe tratar de obtener altos rendimientos, superior valor nutritivo, resistencia a plagas y enfermedades para competir ventajosamente con los híbridos de compañías privadas y desplazar las del mercado, para evitar la fuga de divisas al extranjero. Por otro lado se deben aumentar los esfuerzos para formar y seleccionar variedades precoces de polinización libre, con resistencia a sequía y a bajas temperaturas y con alto valor nutritivo, para las áreas de temporal en los Valles Altos.

## BIBLIOTRAFIA

1. ANDERSON, W. P.  
Ion Transport in plants  
First edition  
ACADEMIC PRESS, INC.  
LONDON (1973).
2. ARNON, I.  
CROP Production in dry regions  
Vol. I (Background and principles)  
First edition.  
LONDON, ENGLAND (1972).
3. ARNON, I  
CROP Production in dry regions  
Vol. II (Systematic treatment of the principal CROPS)  
First edition.  
LONDON, ENGLAND (1972)
4. AROZAMENA, I. G.  
Enciclopedia práctica del agricultor  
Vol. III. El terreno agrícola  
Ed. SINTES  
Barcelona (1963)
5. BAKER, H. G.  
Las plantas y la civilización  
Primera impresión  
Ed. HERRERO HERMANOS  
MEXICO (1968).

6. BARNES, P. J.  
Lipids in cereal technology  
First edition  
ACADEMIC PRESS INC. LTD. LONDON (1983).
7. BAVER, L. D.  
Soil Physics  
Ed. John Wiley & Sons, Inc.  
NEW YORK (1958).
8. BEAR, F. E.  
Chemistry of the soil  
2nd printing  
REINHOLD PUBLISHING CORPORATION  
NEW YORK (1958).
9. BEAR, F. E.  
Los suelos en relación con el crecimiento de los cultivos.  
Primera edición  
Ed. OMEGA, S. A.  
BARCELONA, ESPAÑA (1969).
10. BERGER, D. C.  
Introductory soils  
THE Mc MILLAN, COMPANY  
NEW YORK (1965).
11. BOERMA, A. H.  
Un plan agrícola mundial.  
Selecciones de Scientific American. Los alimentos  
HERMAN BLUME EDICIONES  
Madrid, ESPAÑA (Apostro 1975).

12. BOUYOUCOS, G. L.  
Direction for making mechanical analysis of soils by the hydrometer method.  
SOIL SCIENCE, 42, 225-230, (1936).
13. BOTES, D. P., JOUBERT, F. J., and NOVELLIE, L.  
Purification and properties of sorghum malt  $\beta$ -amilase.  
J. SCI. FOOD AGR. 18, 415-419, (1967).
14. BOYD, F. T., OAMODT, O. S., BOHSTEDT, G., and TROUG, E.  
Sudan grass management for control of cyanide poisoning.  
J. AM. SOC. AGRON. 30, 569-582, (1938).
15. BROWN, G. W., TILJMAN, A. D., and TOTUSEK, R.  
Digestibility, nitrogen retention and energy value of - sorghum grain and corn cations at three levels of intake.  
J. ANIMAL SCI. 27, 170-173, (1968).
16. BROWN, L. R.  
La producción de alimentos por el hombre como proceso en la biosfera.  
Selecciones de Scientific American. Los alimentos.  
HERMANN BLUME EDICIONES.  
MADRID, ESPAÑA (Septiembre 1970).
17. BUCKMAN, H. O., NYLE, C. B.  
Naturaleza y propiedades de los suelos  
2a. edición  
UNION TOPOGRAFICA EDITORIAL HISPANOAMERICANO, S.A DE C.V.  
MEXICO (1982).

18. CARR, D. J.  
Plant growth substances 1970  
First edition  
SPRINGER-VERLAG  
BERLIN (1972).
19. CAUDILLO, A. R.  
Metodología en el análisis de suelos con fines agrícolas  
TESIS LICENCIATURA  
I.P.N.  
MEXICO, (1972).
20. CURRY/LINDAHL, K.  
Conservar para sobrevivir (una estrategia ecológica)  
Primera edición  
Ed. DIANA  
MEXICO, (1974).
21. CRONQUIST, A.  
Botánica Básica  
C.E.C.S.A.  
MEXICO (1973)
22. CHAPMAN, H. D., PRATT, P. F.  
Métodos de Análisis para suelos, plantas y aguas.  
Primera edición, 1973.  
Ed. TRILLAS  
MEXICO (1979)
23. DEMOLCN, S  
Principios de agronomía. TOMO I  
Ed. OMEGA, S. A. BARCELONA (1965)

24. DIAZ DEL PINO, ALPONSO  
Cereales de primavera  
SALVAT EDITORES, S. A.  
BARCELONA, ESPAÑA. Primera edición 1953.
  
25. DONAHUE, R. L.  
Soils and introduction to soils and plant growth  
Segunda edición  
PRENTICE-HALL, INC.  
NEW JERSEY (1963).
  
26. DONALD, E. H.  
Agricultural chemistry  
VOL. 1 PRINCIPLES OF AGRICULTURAL CHEMISTRY  
Third printing  
D. VAN NOSTRAND COMPANY, INC. NEW YORK (1956)
  
27. DUCHAUPOUR, P.  
Manual de Edafología  
Ed. TOMY-MASSON, S. A.  
BARCELONA, ESPAÑA (1975).
  
28. EL SORGO  
Boletín de extensión agrícola Mexicana  
SAG. Enero 1956.
  
29. ESCOBAR, R.  
Enciclopedia agrícola y de conocimientos afines.  
Vol. III. Primera edición  
Cd. Juárez Chihuahua. 1945.

30. ESTUDIO DE COSTOS DE PRODUCCION DE ONCE CULTIVOS BASICOS.  
RESULTADOS DEL CULTIVO DEL SORGO, FIDEICOMISO DE ESTUDIOS  
DE DESARROLLO AGROPECUARIO.  
Banco Nacional Agropecuario, S. A.  
México, 1975.
31. FARREL, P. T.  
Enciclopedia práctica del agricultor  
Vol. 4. LABORES AGRICOLAS  
Ed. SINTES  
BARCELONA (1963).
32. FORSYTHE, W.  
Física de suelos. Manual de laboratorio.  
INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIENCIAS AGRICOLAS  
SAN JOSE, COSTA RICA (1975).
33. FULLING, E. H.  
Botanical aspects of the paper pulp and taming industries  
in the U.S.A.  
Amer. Journal of Bot. 43, 621-634, (1956).
34. GOMEZ, V. A., DE LA LOMA y O.J.I.  
Manual para análisis de suelos y aguas  
MEXICO, 1974.
35. GREULACH, V. A., y EDISON, A. J.  
Las plantas. Introducción a la botánica moderna  
Primera edición  
Ed. LIMUSA-WILEY, S. A.  
MEXICO (1970).

36. GUIA PARA CULTIVAR SORGO DE TEMPORAL EN LA ZONA CENTRO DE JALISCO.  
SARH. Folleto para productores No. 9  
Septiembre 1984.
37. HAHN, R. R.  
Cereal Science Today. 14, 234-237, (1969).
38. HOGG, P. G., and AHLGREN, H. L.  
A rapid method for determining hydrocyanic acid content of single plants of Sudan grass.  
J. Am. Soc. Agron. 34, 199-200, (1942).
39. HOPKINS, D. P.  
Chemicals, humus, and the soil  
First edition  
CHEMICAL PUBLISHING CO. INC.  
NEW YORK, (1957).
40. IBAR ALBIÑANA LEANDRO.  
El sorgo  
BIBLIOTECA AGRICOLA AEDOS, 1984).
41. INFORMACION AGROPECUARIA Y FORESTAL  
Secretaria de agricultura y recursos hidráulicos  
Subsecretaría de agricultura y operación.  
Dirección general de economía agrícola  
MEXICO (1983).

42. INFORMACION SOBRE ASPECTOS GEOGRAFICOS, SOCIALES Y ECONOMICOS.  
Vol. I. ASPECTOS GEOGRAFICOS  
Secretaría de Programación y presupuesto  
Coordinación de los servicios nacionales de estadística,  
geografía e informática.  
MEXICO (1984).
43. JACKSON, M. L.  
Análisis Químico de Suelos  
Ed. OMEGA, S. A.  
BARCELONA, ESPAÑA (1964).
44. KELLEY, W. P.  
Alkaly soils (their formation, properties and reclamation)  
First edition  
REINHOLD PUBLISHING CORPORATION  
NEW YORK (1951).
45. KIRK, R. E., OTHMER, D. F.  
Encyclopedia of Chemical Technology.  
Vol. 24. Third edition  
JOHN WILLEY & SONS. NEW YORK (1984).
46. KONONOVA, M. M.  
Soil Organic Matter  
Second edition  
PERGAMON PRESS LTD.  
OXFORD (1966).

47. KOZŁOWSKI, T. T.  
Water deficits and plant growth  
Vol. 3. Plant responses and control of water balance  
First edition  
ACADEMIC PRESS, INC.  
NEW YORK (1972)
  
48. KUANG, L. Ch., and BRAY, R. H.  
Determination of Calcium and Magnesium in soil and plants.  
SOIL SCI. 50, 239-252, (1951).
  
49. KRAMER, P. J.  
Plant & Soil water relationships a modern synthesis  
First edition  
Mc Graw-Hill, Inc.  
USA (1969).
  
50. LEAL, Jr. C.  
Ensayos sobre adaptación e introducción de variedades de sorgo para escobas.  
Tesis 1956.  
Instituto Tecnológico Estudios Superiores de Monterrey
  
51. LEUKEL, R. W., MARTIN, J. H., and LEFEVRE, C. L.  
Sorghum diseases and their control  
FARMER'S BULL  
U. S. Dept. of Agr. 1959.
  
52. LINDSAY, W. L.  
Chemical equilibria in soils  
First edition  
JOHN WILEY & SONS, INC. NEW YORK (1979)

53. Mc GINTY, D. D., RIGGS, J. K.  
Variation in digestibility of Sorghum grain varieties.  
J. Animal Science. 27. 1170, (1968).
54. MELA, M. P.  
Tratado de edafología  
Segunda edición  
EDITORIAL AGROCIENCIA  
ZARAGOZA, ESPAÑA (1963)
55. MILLAR, C. E., TURK, L. M.  
Edafología  
Segunda edición  
C.E.C.S.A.  
MEXICO (1975)
56. MORRIS, B., JACOBS, Ph. D.  
The chemistry and Technology of Food and Food products  
Vol. I, II, III.  
Second edition  
INTERSCIENCE PUBLISHERS, INC.  
NEW YORK. 1951
57. MORRISON, F. B.  
Feeds and Feeding a handbook for the student and stockman  
Twenty-first edition  
THE MORRISON PUBLISHING Co.  
ITHACA, NEW YORK. 1949.

58. MUNSELL SOIL COLOR CHART  
Munsell color Company Inc.  
BALTIMORE, USA (1971).
59. NUÑEZ, E. R.  
Edafología general  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHAPINGO  
CHAPINGO, MEXICO (1978).
60. ORTEGA, O. D.  
Química Agrícola Aplicada  
CHAPINGO, MEXICO (1978).
61. ORTEGA, T. E.  
Química de suelos  
UNIVERSIDAD AUTONOMA DE CHAPINGO  
CHAPINGO, MEXICO (1978).
62. ORTIZ, V. B.  
Edafología  
Primera edición  
Ed. ESCUELA NACIONAL DE AGRICULTURA  
CHAPINGO, MEXICO (1975).
63. PALMER, R. G., TROLET, F. R.  
Introducción a la ciencia del suelo: Manual del laboratorio.  
EDITOR, S. A.  
MEXICO (1980).

64. PLAN NACIONAL DE PRODUCCION DE SORGO  
Ciclo primavera-verano.  
DIRECCION GENERAL DE AGRICULTURA  
DEPARTAMENTO DE PLANEACION. 1973.
  
65. PRIMER SIMPOSIO DE INVESTIGACION AGRICOLA EN MEXICO  
E.N.A. y S.A.G.  
CHAPINGO, MEXICO (1958).
  
66. PRIMO, Y. E., CARRASCO, D. J.  
Química agrícola  
Vol. I. SUELOS Y FERTILIZANTES  
Primera edición  
Ed. ALHAMBRA  
MADRID (1973).
  
67. PRINCIPALES INDICADORES DE LA PRODUCCION MUNDIAL PARA  
CULTIVOS BASICOS  
S.A.R.H.  
DIRECCION GENERAL DE ECONOMIA AGRICOLA. (1980)
  
68. PUERTAS, J. L.  
El cultivo del sorgo  
REVISTA DE AGRICULTURA DE LA ESCUELA DE AGRICULTURA Y  
GANADERIA DEL ITESM. No. 30.
  
69. QUINCE AÑOS DE INVESTIGACION AGRICOLA  
INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES AGRICOLAS  
MEXICO (1976).

70. ROBLES SANCHEZ RAUL  
Producción de granos y forrajes  
Primera edición  
Ed. LIMUSA, S. A.  
MEXICO (1975).
71. RUIZ, D. M.  
Tratado elemental de botánica  
E.C.L.A.L.S.A.  
MEXICO (1983).
72. RUSSELL, J. E. y RUSSELL, W. E.  
Las condiciones del suelo y el crecimiento de las plantas  
Ed. AGUILAR  
MADRID (1968).
73. SAMPAT, A. G.  
Física de suelos. Principios y aplicaciones  
Ed. LIMUSA-WILEY, S. A.  
MEXICO (1972).
74. SEHARRER, K.  
Química agrícola  
Vol. I y II  
Ed. UNION TIPOGRAFICA HISPANO-AMERICANA  
BARCELONA (1950).
75. SERVICIO NACIONAL DE INSPECCION Y CERTIFICACION DE SEMILLAS,  
NORMAS PARA LA CERTIFICACION DE SEMILLAS  
S.A.G., DIRECCION GENERAL DE AGRICULTURA  
MEXICO (1975).

76. SINGH, S. R., VAN EMDEN, H. F.  
Pests of grain legumes: ecology and control  
First edition  
T. Ajibola Taylor, editores.  
Academic Press Inc.  
London, L.T.D. (1978).
77. SKOOG, D. A., WEST, D. M.  
Análisis instrumental  
2a. edición  
NUEVA EDITORIAL INTERAMERICANA  
MEXICO (1984).
78. SNELL, F. D., and SNELL, C.  
Colorimetric Methods of Analysis  
Vol. I. INORGANIC  
D. VAN NOSTRAND, Co., INC.  
PRINCETON, NEW YERSEY (1949)
79. SORGOS HIBRIDOS  
Boletín 302  
S.A.G. Octubre 1957.
80. SORGOS MEXICANOS DE ALTO RENDIMIENTO  
PRONASE. Hoja de divulgación No. 6.  
MEXICO, Julio (1973)
81. SORGO PARA GRANO  
Boletín 211. S.A.G.  
Octubre 1957.

82. STEWART, G. F., MAYNARD, A. A.  
Introduction to Food Science and Technology  
Second printing  
Academic Press, Inc.  
NEW YORK (1973).
83. THOMPSON, L. M.  
El suelo y su fertilidad  
3a. edición  
Ed. REVERTE, S. A.  
MEXICO (1974).
84. TISLADE, S. L. and NELSON, W. L.  
Soil fertility and fertilizers  
First edition  
THE Mc MILLAN COMPANY  
NEW YORK (1956).
85. TOLLENAAR, M., GIRARDIN, P., DELTOUR, A.  
Effect of temporary nitrogen starvations in maize on  
leaf senescense.  
Can. J. Plant Sci. 65(4), 819-829, 1985.
86. VAUGHAN, Ch. E., GREGG, B. R., DELOUCHE, J. C.  
Procesamiento mecánico y beneficio de semillas  
Primera edición  
HERRERO HVOS., SUCEORES, S. A.  
MEXICO, D. F. (1970).
87. WAGGLE, D., PARRISH, D. B. and DEYOE, C. W.  
Nutritive value of protein in high and low protein con-  
tent sorghum grain as measured by rat performance.  
J. Nutr., 88, 370-374, (1966).

88. WALL, J. S., ROSS, W. H.  
Producción y usos del sorgo  
Primera edición.  
Buenos Aires Argentina (1975).
89. WATSON, C., BATTERHAM, E. S.  
Tryptophan content of feeds, limitations in diets and  
requirement for growing pigs.  
Anim. Feed Sci. Technol. 13(3-4),171-182,1985.
90. WATSON, S. A.  
In sorghum: production and utilization  
Chapter 17.  
J. S. WALL AND W.M. ROSS, Eds.  
AVIPUB. Co. WESPORT, CONN. 1980.
91. WEIER, T. E., STOCKING, C. R., BARBOUR, M. G.  
Botany and introduction to plant biology  
Fifth edition  
JOHN WILEY & SONS, INC.  
New York (1974).
92. WEIMBERG, R., LERNER, H. R.  
Changes in growth and water-soluble solute concentra-  
tions in Sorghum bicolor stressed with sodium and po-  
tassium salts.  
Physiol. Plant. 62(3),472-480, 1984.
93. WINTER, E. J.  
Water, soil and the plant  
First edition  
THE Mc MILLAN PRESS LTD.  
LONDON (1974).