



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Facultad de Química

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

“ESTUDIO DE SUELOS PARA EL CULTIVO
DE LA CAÑA DE AZUCAR EN LA
REPUBLICA MEXICANA”

TRABAJO MONOGRAFICO DE
ACTUALIZACION

Que para obtener el Título de
QUIMICA

Presenta:

FLOR TOLEDO RODRIGUEZ

México, D.F.

2001





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).

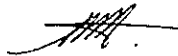
El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición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

Jurado asignado:

Presidente **ELVIA PILAR MARTÍNEZ IZAGUIRRE**
Vocal **ADRIÁN JAVIER MANRÍQUEZ GONZÁLEZ**
Secretario **EDUARDO MARAMBIO DENNETT**
1er Suplente **MARÍA DEL RAYO SALINAS VÁZQUEZ**
2do Suplente **MARIO ALBERTO MALDONADO TAPIA**

Sitio donde se desarrolló el tema Biblioteca de la Facultad de Química, UNAM
Biblioteca de la Facultad de Ciencias, UNAM
Biblioteca Central de la Universidad
Autónoma de Chapingo
Biblioteca de SAGARPA
Biblioteca del INEGI

Nombre completo y firma del asesor del tema:



Q Elvia Pilar Martínez Izaguirre

Nombre completo y firma del sustentante:



Flor Toledo Rodríguez

Agradecimientos

A mis padres, por el apoyo incondicional que siempre me han brindado, el ejemplo de superación y perseverancia y por el respeto y comprensión a las decisiones y actividades académicas y extraacadémicas que he emprendido.

A mi jurado y especialmente a mi asesora Elvia Martínez Izaguirre por la valiosa orientación, el apoyo y el tiempo que dedicó a la realización de esta tesis.

A Laura. Por los valiosos recuerdos de nuestra infancia y adolescencia y los consejos y palabras de confianza y aliento.

A Angeles por su ejemplo de lucha y constancia .

A Jorge y Mercedes por la alegría que han traído a mi familia.

A mi Universidad, maestros, amigos y compañeros de carrera . Gracias por ayudarme a alcanzar este punto.

INDICE

PAG

INTRODUCCION	.....	1
1 - GENERALIDADES		
1.1 - Concepto de Suelo	.....	2
1.2 - Desarrollo, Estructuración y Formación del Suelo	.....	3
1.3 - Propiedades Físicas del Suelo	.....	5
1.3.1 - Textura del Suelo		
1.3.2 - Estructura del Suelo	.....	7
1.3.3 - Consistencia del Suelo	.....
1.3.4 - Densidad y Porosidad	.....	8
1.3.5 - Aereación del Suelo		
1.3.6 - Color del Suelo		
1.3.7 - Temperatura del Suelo	.....	10
1.4 - Propiedades Fisicoquímicas del Suelo		
1.4.1 - Reacción del Suelo	.....	11
1.4.1.1 - Efecto Sobre el Crecimiento de las Plantas	.....	13
1.5 - Propiedades Químicas del Suelo	.....	15
1.5.1 - Intercambio de Cationes		
1.5.2 - Capacidad de Intercambio de Cationes Totales	.....	16
1.6 - Fósforo en el Suelo	.....	17
1.7 - Constituyentes Orgánicos	.....	18
1.8 - Nutrición del Suelo	.....	20
1.8.1 - Ingesta de Nutrientes en el Suelo	.....	22
1.8.2 - Mecanismo de Incorporación de Nutrientes		
1.8.3 - Factores que afectan la Ingesta Nutricional		
1.8.4 - Funciones de los Nutrientes	.....	23
1.8.4.1 - Macronutrientes		
1.8.4.2 - Micronutrientes	.....	24
1.8.5 - Fuentes de Nutrientes para las Plantas	.....	25
1.8.6 - Formas de Obtención de Nutrientes en Plantas		
1.9 - La Caña de Azúcar	.....	27
1.9.1 - Origen		
1.9.2 - Descripción Botánica		
1.9.3 - Aspectos Generales de las Regiones Cañeras en México	.....	29
1.9.4 - Agroindustria Azucarera en México		33

1.10 - Condiciones para el Cultivo de la Caña de Azúcar	35
1.10.1 - Factores Climatológicos	
1.10.2 - Factores Edafológicos	36
1.10.2.1 - Suelos para el Cultivo de la Caña de Azúcar	
1.10.2.2 - Necesidades Hídricas de la Planta	
1.10.2.3 - Salinidad o Sodicidad	37
1.10.2.4 - Nutrición Mineral de la Caña de Azúcar	38
1.10.2.5 - Fertilizantes Orgánicos e Inorgánicos	
1.10.2.5.1 - Fertilizantes Nitrogenados	
1.10.2.5.2 - Fertilizantes Fosfatados	39
1.10.2.5.3 - Fertilizantes de Potasio	
1.10.2.5.4 - Otros Fertilizantes Usados	
1.10.3 - Preparación del Suelo para el Cultivo de la Caña de Azúcar	40
1.10.3.1 - Preparación del Terreno	
1.10.3.2 - Programa de Siembra	41
1.10.3.3 - Distribución y Colocación de las Estacas	42
1.10.3.4 - Sistemas de Siembra en México	
1.10.3.4.1 - Sembrado Mecánico	
1.10.3.4.2 - Sembrado Manual	43
1.10.3.5 - Aplicación del Fertilizante	
1.10.3.6 - Manejo del Cultivo	
1.10.3.7 - Corrección del pH del Suelo para el Cultivo	44
1.10.3.8 - Principales Plagas, Enfermedades y Malezas	
1.10.3.9 - Tratamiento Posterior a la Primera Cosecha	45

2 - METODOS ANALÍTICOS

2.1 - Análisis del Suelo	47
2.1.1 - Métodos de Muestreo en Parcelas	
2.1.2 - Toma de Muestras	48
2.1.3 - Preparación de las Muestras para el Análisis de Suelo	49
2.2 - Análisis Mecánico	50
2.2.1 - Método de Bouyoucos	
2.2.1.1 - Para Suelos con Materia Orgánica < 3%, Suelos no salinos y Suelos que no sean Ricos en Yeso y/o Carbonatos	
2.2.1.2 - Para Suelos con Materia Orgánica > 3%	51
2.3 - Resistencia del Suelo	53
2.3.1 - Método de Resistencia de la Pasta de Suelo	
2.4 - Densidad Aparente	55
2.4.1 - Método de Muestreo Principal	

2.5 - pH del Suelo		
2.5.1 - pHmetro	.....	57
2.6 - Materia Orgánica	.....	59
2.6.1 -Método de Walkley-Black		
2.7 - Capacidad de Intercambio Catiónico Total	.....	62
2.7.1 - Método de Lixiviación con Acetato de Amonio		
2.8 - Determinación de Cationes Intercambiables	.....	64
2.8.1 - Determinación de Calcio Intercambiable		
2.8.1.1 - Método de Determinación de Calcio por Precipitación con Oxalato de Amonio	.....	65
2.8.2 - Determinación de Magnesio Intercambiable	.....	66
2.8.2.1 - Método de Determinación de Magnesio por Complejometría		
2.8.3 - Determinación de Sodio y Potasio	.....	68
2.8.3.1 -Método de Determinación de Sodio y Potasio por Flamometría		
2.9 - Determinación de Nitrógeno como Nitratos	.....	70
2.10 -Determinación de Fósforo	.....	72
2.10.1 - Método de Olsen		
2.10.2 - Método de Bray-Kurtz	.....	74
2.11 - Determinación de Sales Solubles (Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , K ⁺ , Na ⁺ , CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻)	77
2.11.1 - Determinación por Conductividad Eléctrica		
2.11.2 - Determinación de Carbonatos y Bicarbonatos	.....	80
2.11.3 - Determinación de Cloruros	.....	82
2.11.4 - Determinación de Sulfatos	.....	84
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	86
BIBLIOGRAFÍA	.....	88

INDICE DE FIGURAS

	PAG
FIG. No. 1 Nomenclatura de los Horizontes del Suelo ...	4
FIG. No. 2 Triángulo de Texturas ...	6
FIG. No. 3 Ejemplificación del Sistema de Munsell .	9
FIG No. 4 Intervalos acaracterísticos del pH en varios tipos de suelo ...	12
FIG No. 5 Relación entre el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes.	13
FIG. No. 6 Flujo de Masa ...	22
FIG. No. 7 ... Difusión ..	22
FIG No. 8 Morfología de las Estacas de la Caña de Azúcar ...	28
FIG. No. 9 Mapa de la Ubicación de las Regiones Cañeras en la República Mexicana .	30
FIG. No 10 ... Distribución y Densidad de las Estacas en la Plantación ...	42
FIG No 11 Métodos de Muestreo de Suelo en las Parcelas .	48
FIG No. 12 Toma de Muestra de Suelo con Barrena ..	48
FIG. No. 13 Toma de Muestra de Suelo con Sonda ...	49
FIG. No. 14 Toma de Muestra de Suelo con Pala ...	49

INDICE DE TABLAS

	PAG
TABLA No. 1 	Clasificación de los Apartados de Suelo por Tamaño de Partícula .. 5
TABLA No. 2 	Contenido de Materia Orgánica en el Suelo . .. 18
TABLA No. 3 	Clasificación de los Organismos Presentes en el Suelo ... en base a su Actividad Bioquímica .. 19
TABLA No. 4 ..	Producción Agrícola de la Caña de Azúcar en la República Mexicana durante 1999. ... 31
TABLA No. 5 	Producción Agrícola de la Caña de Azúcar por Estado durante 1999. .. 31
TABLA No. 6 	Producción Agrícola por Modalidades de Caña de Azúcar en la República Mexicana durante 1999. ... 32
TABLA No. 7 	Ingenios en la República Mexicana y su Nivel de Producción .. 34
TABLA No. 8 	Requerimientos de Macro y Microelementos para el Cultivo de la Caña de Azúcar. . 38
TABLA No. 9 	Tabla de Corrección de Temperatura para el Hidrómetro de Bouyoucos . 52
TABLA No. 10 	Escala de Salinidad 53
TABLA No. 11 	Conductividad Eléctrica de la Solución Estándar de KCl 0.01 M a la Temperatura (T) . . 78
TABLA No. 12 	Factor de Corrección Correspondiente a la Temperatura (T) 79
TABLA No. 13 ..	Clasificación de Suelos en Función de su Conductividad. . 79 Eléctrica

INTRODUCCIÓN

Con el presente trabajo monográfico no sólo se pretende dar a conocer el panorama general de la caña de azúcar y su cultivo en la República Mexicana, sino también tiene por objetivo el establecer la importancia que tiene el suelo y el conocer los diferentes métodos analíticos como herramienta para su estudio. De esta forma se pretende dar soluciones a los problemas agrícolas que atañen al cultivo y mejorar el rendimiento y calidad para satisfacer su demanda.

La importancia vital que tiene la agroindustria azucarera en México es indiscutible, ya que además de producir un alimento básico en la dieta del hombre, alrededor del 1% de la población total del país trabaja directamente en su producción, por lo cual esta industria juega un gran papel en la economía del país.

México cuenta con las condiciones climatológicas propicias para desarrollar en forma rentable y competitiva la actividad azucarera. No obstante a estas ventajas, sigue siendo necesario el empleo de nuevas estrategias y técnicas de operación que sean específicas para hacer más eficiente y redituable su producción agrícola.

Por medio del conocimiento y análisis de las propiedades de los suelos de las distintas regiones cañeras del país mediante métodos analíticos propuestos en esta tesis se pretende dar una orientación sobre las condiciones más propicias del suelo para el cultivo de la caña de azúcar, la preparación del terreno, los requerimientos nutricionales, los fertilizantes más adecuados, los métodos de siembra, el manejo técnico y actividades pertinentes realizables para mejorar el rendimiento y calidad.

Con esta investigación se pretende proporcionar un estudio que sirva como fuente de información actualizada para todo aquel interesado en el análisis de suelos y en el cultivo de la caña de azúcar en nuestro país y de esta forma contribuir con un trabajo de beneficio colectivo para nuestra sociedad.

1. GENERALIDADES

1.1- Concepto de Suelo

La palabra "suelo" tiene su origen etimológico del latín a partir de la palabra *solum*, que significa base o fondo

El concepto de suelo se puede interpretar por medio de diversas definiciones , aunque éste depende del enfoque de la persona que lo formule.

Debido a las variables involucradas y que son sujeto de análisis en esta tesis, la definición adoptada es la siguiente: [75]

"El suelo es un cuerpo natural de minerales y materia orgánica no consolidada en la superficie de la tierra, que es y ha sido influenciada y determinada por factores genéticos y ambientales: material madre, el clima (efecto de temperatura y humedad), los macro y microorganismos y la topografía. Todos estos factores actúan en un periodo de tiempo y producen un suelo resultante que difiere de su material madre en propiedades y características físicas, químicas y biológicas". [31]

Debido a estos factores involucrados, el suelo resulta determinante en el crecimiento de las plantas.

Es por ello que la formación y estado del suelo se ha descrito en una fórmula que expresa su dependencia con los principales factores ya mencionados.

$$S = f (cl, o, p, r, t)$$

Donde S es el suelo, cl es el clima , o refiere a los organismos, p es el material madre , r es el relieve y t es el tiempo. [15, 71]

1.2 - Desarrollo , Estructura y Formación del Suelo

El suelo se desarrolla a partir de su material de origen o material madre por medio de 2 principales procesos:

La meteorización o desintegración de la roca y la formación del suelo.

La meteorización de la roca depende de procesos de desintegración y movimientos físicos (fracturas, expansiones y contracciones), alternancias en la humedad, sequías y cambios de temperatura. También intervienen procesos químicos de disociación de cristales, para dar lugar a la masa no consolidada o roca desintegrada conocida como residuo.

Cuando este residuo se transporta a otro lugar, se convierte en un depósito sedimentario que al exponerse a los factores adecuados puede resultar la formación del suelo.

El proceso de formación del suelo, se refiere principalmente a procesos biológicos de meteorización causados por organismos, agentes químicos en la superficie terrestre y a procesos mecánicos, que dan como resultado la formación de horizontes. [27, 75]

El suelo se clasifica como un cuerpo tridimensional que posee largo, ancho y profundidad.

La unidad representativa mas pequeña en volumen de suelo se conoce como pedón, el cual tiene forma poligonal y se considera de 1 a 10 m² de área superficial, dependiendo de la variabilidad del suelo en cuestión.

Al grupo contiguo de pedones similares que dan lugar a un determinado cuerpo de suelo se le conoce como polipedón.

Cada pedón se compone por una sección vertical de suelo que expone la disposición de sus capas. Esta sección se conoce como perfil.

Las series específicas de capas horizontales de suelo que componen cada perfil son llamadas horizontes

Estos horizontes proporcionan mucha información sobre las propiedades del suelo, como color, textura, estructura, permeabilidad, drenaje, actividad biológica y otros atributos de gran importancia en la caracterización, formación, fertilidad, cultivo, producción e ingeniería de suelos. [27]

Es por esto que se considera a la formación del suelo como el desarrollo natural de los horizontes en un perfil [23]

El suelo está constituido por suelo superficial y subsuelo. Este se ha clasificado en 6 grupos de horizontes componentes principales, designados por los símbolos O, A, E, B, C y R

Los horizontes O, A y E integran el suelo superficial. Esta parte contiene mayor cantidad de materia orgánica y color mas oscuro que las capas inferiores.

Los horizontes B, C y R conforman el subsuelo, caracterizado por ser la parte mas rica en arcilla y con un colorido mas claro.

Cabe señalar que cada suelo en particular puede contener algunos de los horizontes señalados, pero no forzosamente todos. Ningún horizonte es universal, pero todo suelo contiene al menos uno [75]

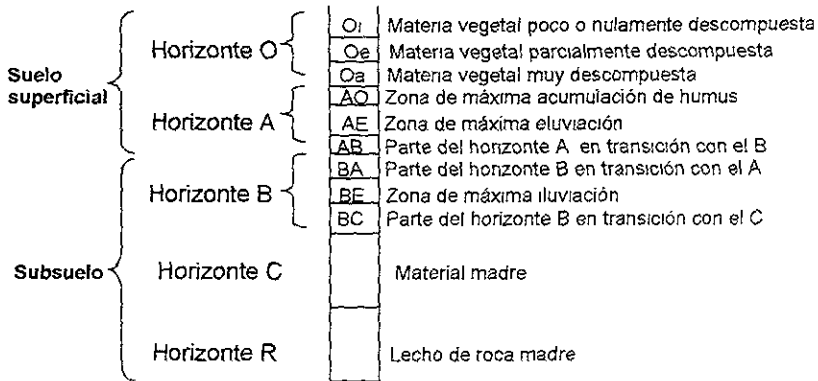


FIGURA No. 1 Nomenclatura de los horizontes del suelo [75]

1.3 - Propiedades Físicas del Suelo

El conocimiento adecuado de las propiedades físicas del suelo es indispensable para hacer mas redituable el aprovechamiento de este recurso natural

Las propiedades físicas mas importantes y permanentes del suelo son

- | | |
|-----------------|-----------------------|
| 1- Textura | 5- Porosidad |
| 2- Estructura | 6- Aereación |
| 3- Consistencia | 7- Color |
| 4- Densidad | 8- Temperatura [22] |

1.3.1 - Textura del Suelo

La textura se expresa como el tamaño relativo de las partículas de suelo, determinada por el porcentaje en peso de 3 fracciones minerales componentes: arena, limo y arcilla.

Cada fracción se define por el diámetro de partícula expresado en milímetros.

Esta propiedad es posiblemente la mas importante entre todas las físicas, ya que de ella depende la velocidad de las reacciones físicas y químicas ocurridas en el suelo debido a la superficie de contacto que proporciona

Las partículas minerales de suelo se clasifican por tamaño de partícula en grupos , conocidos como apartados de suelo.

Esta clasificación es la siguiente

TABLA No. 1 - Clasificación de los apartados de suelo por tamaño de partícula

Apartado	Diámetro (mm)	# de partículas por gramo	Área superficial en 1 gramo (cm ²)
Arena muy áspera	2.00 - 1.00	90	11
Arena áspera	1.00 - 0.50	720	23
Arena media	0.50 - 0.25	5,700	45
Arena fina	0.25 - 0.10	46,000	91
Arena muy fina	0.10 - 0.05	722,000	227
Limo	0.05 - 0.002	5,776,000	454
Arcilla	< 0.002	90,260,853.000	8,000,000

La textura del suelo se clasifica en: arena, limo , arcilla y franco o migajón. El suelo franco es una mezcla que contiene arena, limo y arcilla y presenta propiedades equilibradas de sus 3 componentes. [15, 27, 75]

Los tipos de textura de suelos se clasifican como clases en un triángulo de textura. Este triángulo es un modelo gráfico que muestra la proporción contenida de arena , limo y arcilla resultando así en 12 diferentes clases

Para entender el funcionamiento del triángulo de texturas, se ha citado el siguiente ejemplo. El punto que contiene un 15% de arcilla, un 65% de arena y un 20% de limo se clasifica en una clase textural denominada franco arenoso.

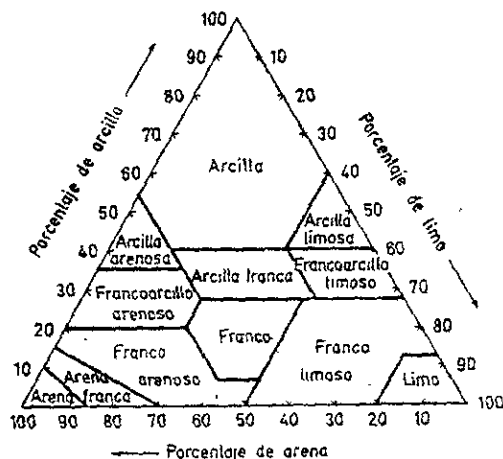


FIGURA No. 2 Triángulo de Texturas

Cabe señalar que cuando un suelo contiene cantidades considerables de grava, piedra o fragmentos de mayor tamaño que la arena se considera de la siguiente forma:

- Suelo con un 20 - 50% de grava -- suelo gravoso
- Suelo con un 50 - 90% de grava -- suelo muy gravoso
- Suelo con una superficie de roca -- rocoso

El *análisis mecánico o granulométrico* es el método por el cual se determina el porcentaje de los componentes del suelo en una muestra.

En sí, los procedimientos que comprenden este análisis son el fraccionamiento de las partículas de suelo por medio del tamizado y el análisis del tamaño de partícula por medio de procedimientos de sedimentación como lo son el método de la pipeta o de Robinson y el método del Hidrómetro de Bouyoucos [9]

Cabe señalar que actualmente existen varios métodos como procedimientos de sedimentación y nuevos avances en procesos de fraccionamiento, aunque en esta tesis sólo se hará referencia al método de Bouyoucos por ser el más frecuentemente utilizado a nivel laboratorio.

El tamizado es una acción previa al procedimiento de sedimentación del suelo. Esta separa partículas con diámetros mayores a 2 mm aunque también es posible separar la arena presente (que comprende de 2 a 0.5 mm) para facilitar la posterior separación del limo y arcilla por sedimentación, ya que debido a su tamaño no es posible separar estas fracciones por tamizado.

El principio de la sedimentación se basa en el hecho de que a mayor tamaño de partículas de suelo en suspensión, habrá mayor velocidad de asentamiento de éstas. Por ello la arena se asienta más rápido que el limo y el limo más rápido que la arcilla [27, 75]

La cuantificación de este principio se hace mediante la ley de Stokes, cuya expresión es la siguiente

$$V = \frac{e}{t} = \frac{2}{9} g r^2$$

Donde V = velocidad de caída de la partícula a través de un medio Se expresa en cm/seg
 e = espacio que recorre una partícula en un determinado tiempo (cm)
 t = tiempo de caída (seg)
 g = aceleración debida a la gravedad (cm/seg²)
 r = radio de la partícula en cm

[40]

En el método de Bouyoucos la cantidad de partículas en suspensión es determinada usando el hidrómetro para medir la densidad de la suspensión a una profundidad conocida en función del tiempo. Este es el método que mas se utiliza actualmente.

En el método de la pipeta o de Robinson, un volumen conocido de la suspensión a una determinada profundidad es sacada con una pipeta posterior a la sedimentación, para después evaporarse y así determinar la cantidad de material de suelo por pesado

En ambos métodos, el trabajar a una temperatura constante durante el análisis disminuye los errores de precisión, ya que las diferencias térmicas producen corrientes que impiden asentamientos uniformes y causan variaciones en la viscosidad [45]

A pesar de que el método de Bouyoucos es el mas utilizado, resulta menos preciso que el método de la pipeta.

1.3.2 - Estructura del Suelo

Este se define como el arreglo entre partículas individuales primarias de suelo (arena, limo y arcilla) para resultar en una agregación como compuestos de partículas o agregados

La estructura es un factor modificador de la textura, ya que dependiendo del tamaño de los agregados, éste puede contener espacios que permiten la incorporación del agua y del aire, la disponibilidad de nutrientes a las plantas, la acción de microorganismos y el crecimiento de raíces.

Las bases morfológicas presentes en estos agregados se clasifican en esferoidales, tipo plato, tipo bloque y tipo prisma

A su vez, estas 4 formas dan lugar a 7 tipos de estructuras que se encuentran en los horizontes componentes de cada perfil de suelo

1.3.3 - Consistencia del Suelo

La consistencia es la resistencia del suelo a la deformación o ruptura Esta depende de las propiedades cohesivas y adhesivas del suelo como resultado de las fuerzas y la naturaleza de estas en la masa del suelo

Según su contenido de agua, la consistencia se expresa en términos de dureza, firmeza, plasticidad o pegajosidad

Su estudio, generalmente cualitativo, se hace bajo tres condiciones, mojado, húmedo y seco

La cementación también es un tipo de consistencia causada por agentes como carbonato de calcio, sílica, óxidos de hierro y aluminio Esta no depende de la humedad.

1.3.4 - Densidad y Porosidad

La textura y estructura del suelo influyen directamente al peso al espacio de poro y por lo tanto a la densidad de éste

La relación entre la densidad y el espacio de poro es muy importante ya que de ella depende la aereación e infiltración de agua al suelo

Mientras la textura del suelo sea más fina, ésta resultará con menores densidades y con una mayor porosidad. Así podemos determinar la tendencia de que a horizontes inferiores en un perfil, la densidad del suelo aumenta y el porcentaje de espacio de poros disminuye

En el horizonte A al presentarse menor densidad hay un mayor volumen disponible de poros, siendo alrededor de un 50%. Este espacio contiene tanto macroporos como microporos. Los macroporos son poros presentes en pocas cantidades pero con mayor tamaño. Estos por lo general se llenan por aire, mientras que los microporos son poros pequeños y en mayores cantidades que son llenados por agua.

La proporción entre micro y macroporos depende de las condiciones climatológicas, aunque en sí la tendencia principal en este horizonte es que se encuentren los microporos en mayor proporción.

En el horizonte B, al aumentar la densidad disminuye el volumen y por lo tanto hay menor espacio para los poros. Estos espacios son llenados principalmente por los macroporos que contienen aire.

De estos factores mencionados resulta otra propiedad, la *permeabilidad*. Esta es la habilidad del suelo para transmitir agua o aire. Esta depende del volumen disponible para contener poros en el suelo y no del tamaño de éstos. Esta propiedad se mide en velocidad de flujo de agua a través del suelo en un determinado tiempo (pulgadas/hora)

1.3.5 - Aereación del Suelo

Se ha determinado que la aereación del suelo o difusión de gas depende de poros de mayores dimensiones y de su interconexión adecuada. Las vías de conexión de estos poros deben tener al menos 0.01 mm en sus puntos más estrechos para lograr una buena aereación y drenado

No obstante, el principal factor que afecta a la aereación se debe en mayor medida a la presencia de agua que a la cantidad y tamaño de poros.

Conforme el contenido de agua en suelo aumenta, disminuye la disponibilidad de oxígeno para la respiración de las raíces así como la absorción de nutrientes. Es por ello que comúnmente la planta muere

Un ejemplo de este problema se ve en suelos arcillosos. Estos al contener mayor presencia de agua que llena los microporos característicos, disminuye la aereación y se hace discontinua la difusión de gas. [81]

1.3.6 - Color del Suelo

El color es una de las características más perceptibles del suelo. Esta es alterada bajo la presencia de diversos factores: el contenido de materia orgánica, la mineralogía del suelo y sus cambios químicos, las condiciones de drenaje, la aereación y las condiciones de temperatura

La descripción del color del suelo se hace en término de tres variables: *tinte*, *valor* e *intensidad*, integrados en un sistema ordenado de colores conocido como notaciones de Munsell. [27,75]

El tinte es la longitud de onda dominante de la luz reflejada por un objeto. Esta se define en 5 colores cardinales y sus mezclas: azul, azul-verde, verde, verde-amarillo, amarillo, amarillo-rojo, rojo, rojo-púrpura, púrpura y púrpura-azul. Esta se describe por un número seguido de letras. (referente al color o a la mezcla)

El valor es una medida de claridad u oscuridad del color. La cantidad de blanco empleada puede considerarse como medida del valor del color en cuestión. La escala va de 0 a 10, donde 0 es negro puro y 10 es blanco puro

La intensidad es una medida del grado de saturación relativa del color espectral dominante o de su pureza.

A continuación se muestra el sistema de Munsell por medio de un esquema que muestra el sector graduado de tinta, valor e intensidad en los colores de suelo.

Valor (y)

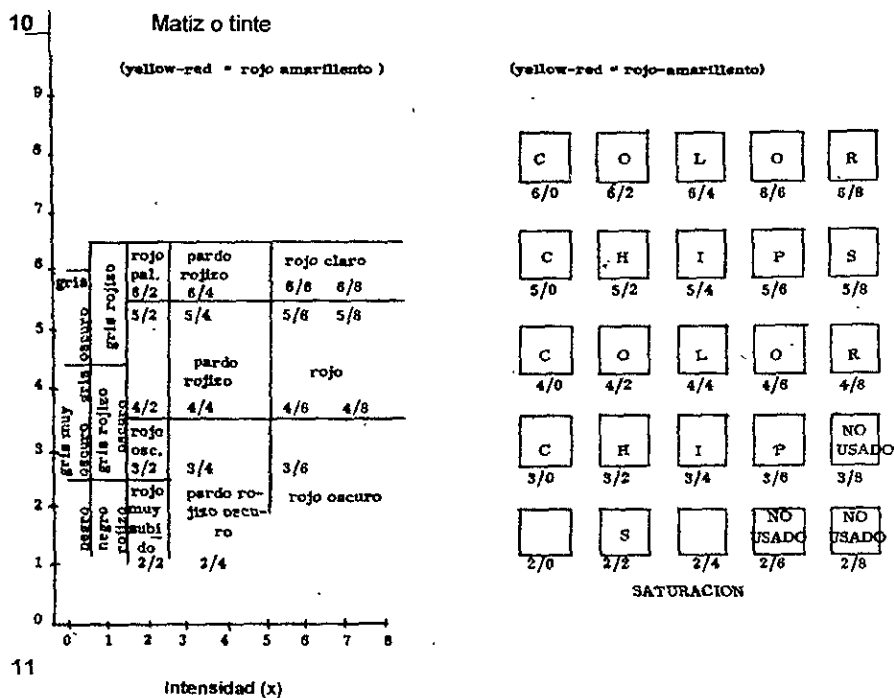


FIGURA No. 3 - Ejemplificación del Sistema de Munsell

Para entender este sistema tomaremos como ejemplo la notación 10 AR 5/3, donde 10 AR indica que es una coloración que mezcla amarillo y rojo, 5 indica el valor y el 3 la intensidad

Cada muestra de suelo que se analiza se compara con muestras normalizadas de franjas de colores ordenados en el libro de notaciones de Munsell.

En este libro cada página corresponde una tinta, donde la intensidad aumenta de izquierda a derecha y el valor aumenta de abajo hacia arriba

1.3.7 - Temperatura del Suelo

La temperatura es una propiedad importante del suelo.

Un adecuado balance de calor del suelo, es lo ideal para lograr las condiciones necesarias para un determinado cultivo. Este balance de calor se refiere a la pérdida y ganancia de energía calorífica.

De la radiación solar disponible, un 34% se refleja al espacio, un 19 % se absorbe en la atmósfera y un 47% se absorbe en la tierra

De este 47% absorbido, resulta una pérdida de calor causada por la evaporación de agua, emisión de calor a la atmósfera y el calentamiento del aire y suelo

Otros factores que influyen considerablemente en la temperatura del suelo son el ángulo de incidencia de los rayos solares, la cobertura del suelo, su color, contenido hídrico y profundidad

Estos factores afectan directamente a los procesos químicos y a la actividad biológica ocurrida en el suelo

- El ángulo de incidencia de los rayos solares afectan directa y proporcionalmente a la superficie del suelo. Cuanto más perpendiculares incidan, mayor será la temperatura alcanzada
- La cobertura del suelo comprende principalmente la vegetación y residuos de plantas. Estos proporcionan sombra y aislamiento que disminuyen el calentamiento por insolación, pero también reducen el enfriamiento nocturno por emisión al tener un efecto aislante.
- La coloración del suelo también contribuye al control de la temperatura. Los suelos oscuros, que contienen mayor cantidad de materia orgánica, son suelos más húmedos y fríos que los suelos claros. Se pueden manipular los suelos para cultivo al tratarse con el suelo requiendo para su control térmico
- La capacidad calorífica de las partículas de suelo seco es de $0.2 \text{ cal} / ^\circ \text{C}$, mientras que la capacidad calorífica del agua es de $1 \text{ cal} / ^\circ \text{C}$. De esto se atribuye a que el agua es un factor determinante de la temperatura del suelo. A mayor contenido hídrico, se tendrá menor temperatura en el suelo debido al mayor requerimiento de calor para calentar el agua presente
- La profundidad del suelo es un factor que ofrece estabilidad al cultivo si se realiza en las capas inferiores, ya que las fluctuaciones de temperatura disminuyen conforme la profundidad aumenta

Las 2 formas más prácticas de manipular la temperatura del suelo es por medio del drenado hídrico y la variación de la cobertura que se deje en su superficie

La actividad microbiana es una resultante del acoplamiento de los factores mencionados. Esta aumenta con la temperatura. Se sabe que el límite inferior de temperatura para esta actividad es de 0°C y el límite superior depende de la tolerancia del microorganismo al calor y del contenido hídrico del suelo, aunque por lo general esta temperatura oscila entre los 30 y 35°C

1.4 - Propiedades Fisicoquímicas

1.4.1 - Reacción del Suelo

La reacción del suelo es un parámetro controlado por propiedades electroquímicas en sus coloides superficiales. Esta indica la acidez, neutralidad o alcalinidad presente, determinada por la concentración de H^+ y de OH^- en disolución de suelo.

Los suelos ácidos, como los húmedos o tropicales, tienen $[H^+] > [OH^-]$, y los suelos alcalinos, como los áridos, tienen $[OH^-] > [H^+]$. Estas condiciones de concentración se expresan en términos de pH, en la escala ya conocida de 0 a 14.

La determinación del pH del suelo es una de las pruebas más importantes para determinar problemas en el crecimiento de las plantas y depende de diversos factores. No solo de los cationes presentes, sino también de los factores que intervienen en la formación del suelo, la estación del año, las prácticas de cultivo, del horizonte muestreado, el contenido hídrico, la técnica de determinación de pH, el proceso de lavado y de la vegetación.

La mayoría de los suelos tienen un pH entre 5 y 9. En regiones húmedas (ácidas), la superficie se encuentra entre pH de 5 a 7. En regiones áridas (alcalinas) resulta entre 7 y 9 [15]

La acidez con $pH < 5$ se atribuye a diversas fuentes, siendo la principal la presencia de compuestos azufrados que al oxidarse resultan en H_2SO_4 , también la generación de ácidos orgánicos e inorgánicos por descomposición de la materia orgánica, la disponibilidad de H^+ que dá el agua, la respiración de raíces, la hidrólisis de aluminio, la nitrificación, algunos fertilizantes y la lluvia ácida, el lavado del suelo y la acción de algunos microorganismos.

La alcalinidad en suelos con pH entre 7.5 y 8 se debe principalmente a la presencia de sales que floculan a los coloides del suelo.

La alcalinidad en suelos con $pH > 8$ se debe a condiciones físicas del suelo que deterioran la fertilidad, como el contener un exceso de sales, un elevado porcentaje de Na^+ en sus sitios de intercambio catiónico, la dispersión de coloides en el suelo, el no haber un lavado de sales después del proceso de intercambio de éstas, por lo cual queda una alta concentración en disolución.

La FIGURA No. 4 nos permite conocer la clasificación del suelo según el intervalo de pH en el que una determinada muestra de suelo se encuentre

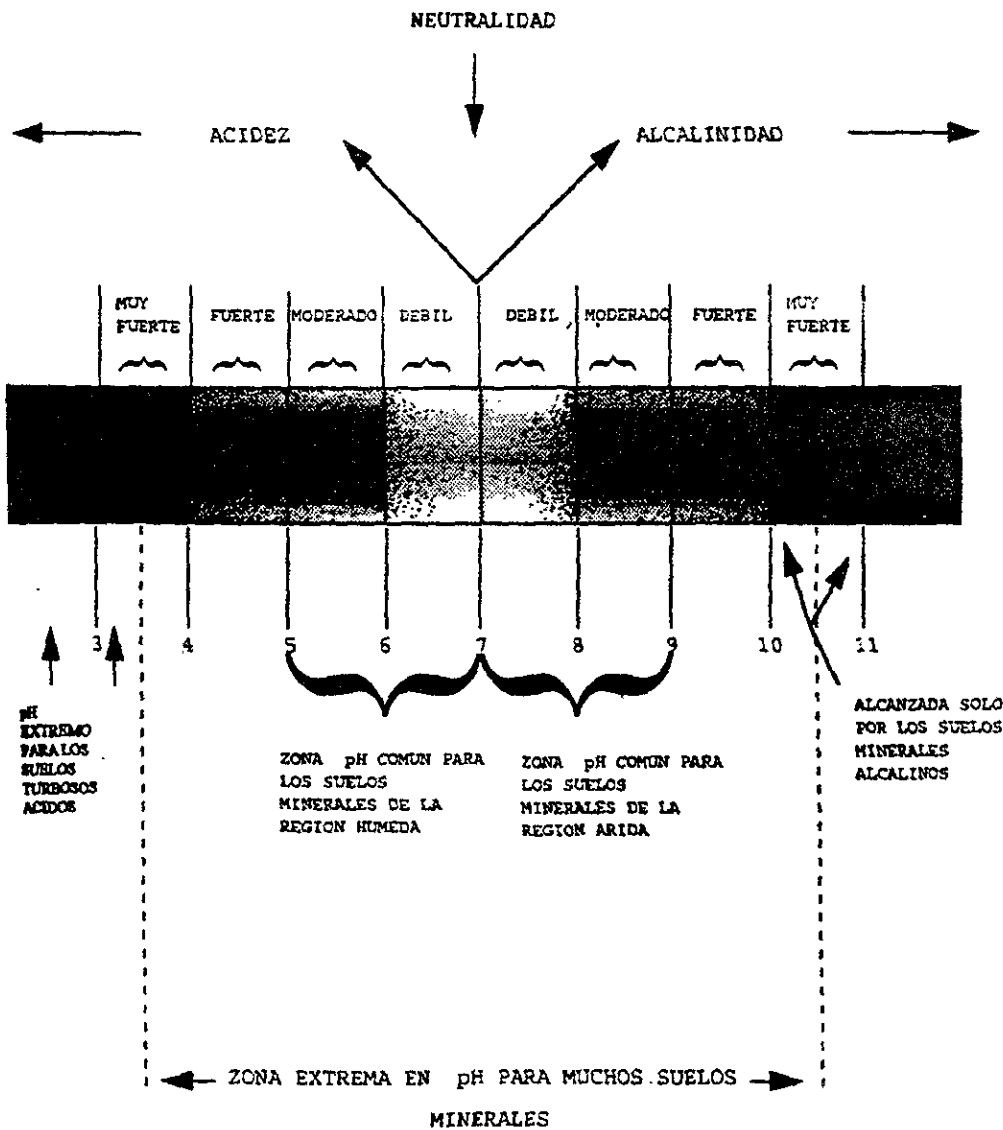


FIGURA No. 4 - Clasificación del Suelo por pH

1.4.1.1.- Efecto sobre el Crecimiento de las Plantas

La reacción del suelo tiene efectos directos e indirectos sobre el crecimiento de las plantas.

El efecto directo se manifiesta en la posible toxicidad generada por H^+ y OH^- ; mientras que el efecto indirecto que es el comunmente ocurrido afecta en el control de la disponibilidad de nutrientes para las plantas.

El pH es un medio para predecir los nutrientes que se encuentran deficientes en el suelo. Las interrelaciones entre los valores de pH dependen de las concentraciones de calcio, magnesio, potasio, aluminio, fierro y fósforo, entre otros, y de la actividad de los microorganismos en el suelo.

A continuación se muestra en la FIGURA No. 5 la relación general entre el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes en las plantas. A mayor grosor de la barra mayor será la disponibilidad de nutrientes.

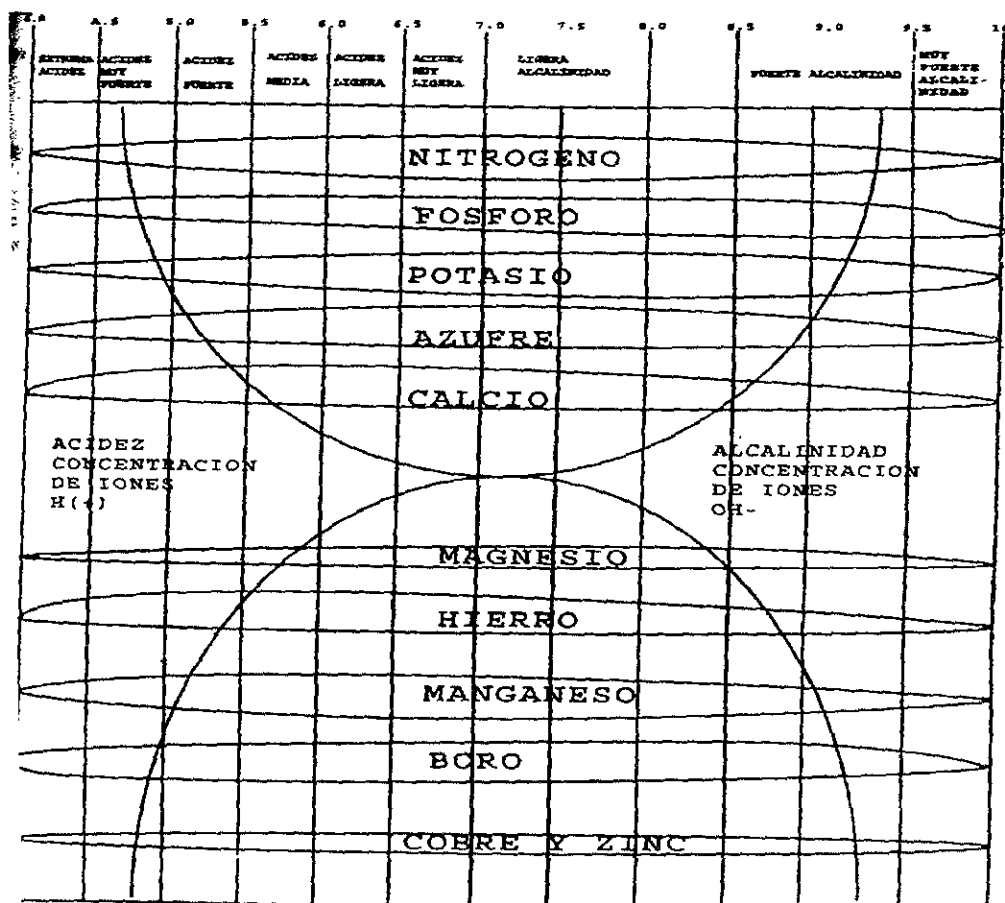


FIGURA No. 5 - Relación entre el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes en las plantas

De este análisis podemos observar que el pH óptimo para tener el mejor régimen biológico es de 6 a 7 [29]

La nutrición vegetal, la composición y actividad de los iones intercambiables, la concentración y composición de sales solubles, ausencia o presencia de yeso y carbonatos de metales alcalino-térreos dependen directa e indirectamente del valor de pH en el suelo

La determinación del pH se puede realizar de 2 formas;

- Cuantitativamente por métodos electrométricos, utilizando un pHmetro ó también un potenciómetro [33, 34, 79]
- Cualitativamente por métodos colorimétricos, utilizando colorantes o indicadores, aunque este método es muy poco utilizado en suelos. [9, 44]

En esta tesis se hará referencia a la determinación con el pHmetro ya que es el método mas directo y práctico a utilizar

Existen diversos factores que alteran el valor de pH. Entre los factores ya conocidos figuran la cantidad de sales solubles, su contenido de CO_2 la molienda de la muestra de suelo y la presencia de agua en la muestra.

Cabe señalar que el pH de la muestra de suelo aumenta hacia valores alcalinos con la dilución. Por ello es necesario especificar si el pH de la muestra de suelo se determinó con previa desecación o en condiciones de humedad natural.

1.5 - Propiedades Químicas

1.5.1 - Intercambio de Cationes

Esta es una de las reacciones químicas más comunes e importantes en todo el dominio de la agricultura

Mucha de la materia que conforma el suelo se encuentra en estado coloidal, y que debido a su estado físico expone una gran área superficial para adsorción y almacenaje de nutrientes en una forma intercambiable.

El reemplazo de un catión por otro en un proceso de adsorción-liberación de iones ocurrido en un núcleo coloidal o micela se conoce como intercambio catiónico.

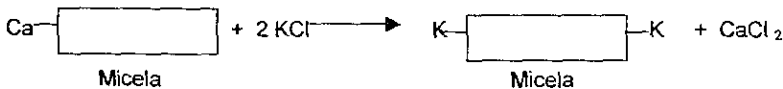
El proceso es sencillo, iones con carga positiva (como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+) reaccionan con cargas negativas en arcillas y materia orgánica.

Frecuentemente, cuando los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y Na^+ se intercambian por otros en la superficie coloidal, se refiere a un intercambio básico.

Cuando H^+ ó Al^{3+} son los que efectúan el reemplazo, se refiere a un intercambio ácido.

Por citar un ejemplo, al tratar la superficie de un suelo que contiene una alta concentración de Ca^{2+} con un fertilizante, como una disolución saturada de KCl , va a ocurrir el reemplazo de Ca^{2+} por K^+ en la superficie de la micela.

Esta reacción se muestra en el siguiente esquema:



La reacción es rápida y su intercambio de cationes es químicamente equivalente. Su interpretación por ley de acción de masas es:



$$K_{ex} = \frac{(\text{KX})^2 (\text{Ca}^{2*})}{(\text{CaX}_2)(\text{K}^*)^2}$$

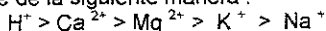
Esta eficiencia de reemplazo depende de diversos factores.

- (1) Carga de los iones
- (2) Velocidad de movimiento o actividad de diferentes iones.
- (3) Concentración relativa o número de iones

A mayor carga presentada por el ion, mayor será su eficiencia por reaccionar con el coloide. Existe una serie liotrópica que indica la preferencia de interacción entre iones, la cual va de la siguiente forma: $\text{Al}^{3+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Li}^+$.

Se ha observado que al hidratarse iones con un alto peso atómico resulta en moléculas con menor radio iónico y por lo tanto con mayor velocidad que en iones hidratados de bajo peso molecular que muestran un radio iónico mayor. De este comportamiento resulta la siguiente serie por intensidad de adsorción en la que el calcio hidratado tiene menor radio iónico y mayor velocidad que el sodio hidratado.

El hidrógeno cargado positivamente es la excepción a esta tendencia, por lo cual encabeza la serie de orden creciente a decreciente de la siguiente manera :



Cabe señalar que bajo condiciones naturales, existe una gran diversidad de cationes metálicos en el suelo, por lo cual resulta una competencia entre estos factores. El factor que resulta determinante en el intercambio es la concentración relativa.

Otros ejemplos de procesos importantes por medio de los cuales se explica el comportamiento de intercambio de cationes es la salinidad o sodicidad.

1.5.2 - Capacidad de Intercambio de Cationes Totales (CICT)

Este es el mejor índice de fertilidad del suelo y se define como la capacidad del suelo para adsorber y retener cationes así como especies intercambiables de estos iones en reacciones químicas reversibles y equivalentes. Esta es una cualidad importante ya que permite hacer estudios sobre la nutrición, fertilidad y formación de suelos.

La CICT se expresa como el número de sitios con cationes adsorbidos por unidad de peso de suelo. Estos sitios pueden ser coloides orgánicos y minerales.

También se define como la suma total de cationes intercambiables adsorbidos, expresado en miliequivalentes por 100 g de peso de suelo seco.

El valor del CICT está en función de la textura del suelo. A texturas más finas, aumenta la CICT

Ejemplos de estos valores se ven en suelos con alto contenido de arcillas y materia orgánica

Existen diversos métodos para la medición del CICT, aunque estas mediciones han resultado un poco empíricas, ya que sin importar el método empleado siempre se presentan variaciones en el valor de CICT para cada suelo.

Esta variante en el valor depende del pH del suelo, de los complejos formados en la superficie del electrolito con el que se mida y de la concentración de sales solubles.

Los métodos de determinación del CICT más usados son

- (1) El método de lixiviación con acetato de amonio
- (2) El método de la adición de cationes reemplazables

En el primer método, una cantidad conocida de suelo seco se satura con una disolución concentrada de acetato de amonio, que por ley de acción de masas ocurre el reemplazo de los cationes adsorbidos por el ion amonio en la superficie coloidal. Este método se hace a un pH=7. Posteriormente se lava con alcohol el exceso de NH_4^+ , y se usa otra solución de alguna sal para desplazar el ion amonio del suelo.

La concentración de iones amonio removida se valoran por medio de una titulación con ácido y se determina su CICT.

El valor de CICT se determina a partir de la cantidad de NH_4^+ en meq/ 100 g de suelo seco.

En el segundo método, se adiciona una disolución que contiene un solo catión para que reemplace a los cationes de una cantidad conocida de suelo seco. Al extracto que contiene los cationes desplazados de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ y H^+ se le determina su concentración en meq / 100 g de suelo.

Este método es útil ya que nos permite conocer la cantidad y composición de diversos cationes intercambiables presentes.

1.6 - Fósforo en el Suelo

El fósforo en el suelo se encuentra formando compuestos orgánicos e inorgánicos. Para que éste sea aprovechado por las plantas, es necesario que se encuentre en disolución, lo cual se logra por medio de procesos de mineralización y solubilización realizados por fosfobacterias. [63]

Los cultivos intensivos y monocultivos (como el de la caña de azúcar) agotan el fósforo asimilable del suelo y abonos, dando lugar a que la mayor parte se encuentre en una forma no aprovechable por las plantas, aunque siempre ocurra un equilibrio lento de formas no asimilables a formas asimilables de fósforo en el suelo. [83]

Es por ello que el contenido total de fósforo no nos indica la cantidad asimilable por las plantas, pero si nos orienta a saber las posibles reservas de éste en el suelo

Para determinar la fracción asimilable, que es la fracción de interés agronómico, se han propuesto diversos métodos de extracción . [35]

Existen muchos métodos de determinación de fósforo asimilable en el suelo. El principio en el que todos se basan comprende dos procesos:

- La extracción del fósforo
- La cuantificación en disolución

El método de extracción a utilizarse depende de las características del suelo.

Para suelos alcalinos, el método mas adecuado es el de Olsen, mientras que para suelos ácidos el método recomendable es el método de Bray-Kurtz.

Las mejores cuantificaciones se determinan por espectrofotometría

Los valores de referencia en contenido de fósforo para clasificar a un suelo son los siguientes

Menor a 3 ppm se considera un suelo con muy bajo contenido.

De 3 a 7 ppm es un suelo con bajo contenido .

De 7 a 20 ppm es un suelo con contenido medio .

Mayor a 20 ppm es un suelo rico.

1.7 - Constituyentes Orgánicos

La materia orgánica del suelo es derivada de la biomasa de éste, que comprende tanto materia orgánica viva como muerta

La materia muerta es el resultado de la descomposición química y biológica en diferentes grados de los residuos orgánicos. Los componentes de esta fracción muerta son los compuestos no humificados y humificados.

Los compuestos no humificados son liberados en su forma original o modificada durante la descomposición de plantas, animales y tejido microbial.

Los compuestos humificados son productos resultantes de la síntesis entre compuestos no humificados.

El humus del suelo es la porción activa y estable de materia orgánica, ya que tiene propiedades de retención de agua, de nutrientes y de cohesión, complementando así las características del suelo. Este abarca el material humificado y no humificado en el suelo.

La fracción orgánica afecta tres condiciones principales en el suelo: física, química y biológicamente.

- *Físicamente*, al aumentar el contenido de materia orgánica, aumenta el contenido de carbono orgánico que promueve la agregación de partículas de suelo desarrollando estructuras de suelo más estables.
 - * La materia orgánica contribuye al desarrollo y estructuración del suelo por medio de la formación de canales de aireación e infiltración de agua.
 - * Por otra parte, ayuda a proteger la superficie del suelo contra la erosión y fuerzas destructivas.
 - * También ayuda a disminuir la pérdida de agua por evaporación y regular la temperatura del suelo.
- *Químicamente*, ayuda a promover la capacidad de intercambio de cationes y la capacidad de retención de agua en el suelo. Como resultado, incrementa la disponibilidad de nutrientes y mejora la fertilidad del suelo y el crecimiento de las plantas.
- *Biológicamente*, es la fuente de alimento y energía de los microorganismos en el suelo, ubicándose principalmente estos nutrientes o exudados en las raíces. En su ausencia, no sería posible la gran cantidad de reacciones bioquímicas y por lo tanto la vida.

La biomasa se considera como la masa total (peso seco) de los organismos vivos. Esta se compone de flora y fauna viviente en el suelo, que a su vez se clasifica en grupos macroscópicos y microscópicos.

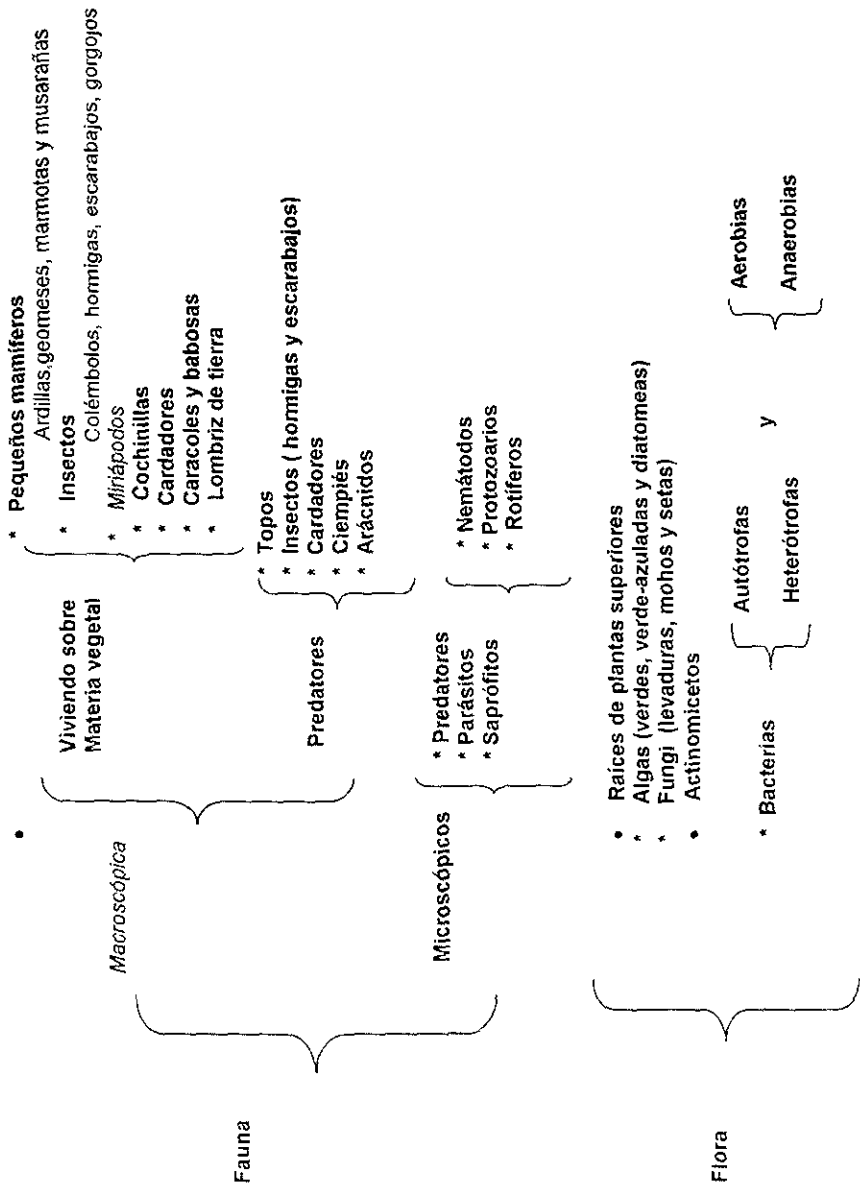
En la TABLA No. 3 se muestra la clasificación de los organismos presentes en el suelo por importancia en su actividad bioquímica.

La clasificación del suelo en base a su contenido de materia orgánica se muestra en la TABLA No. 2

TABLA No. 2. Contenido de materia orgánica en el suelo

Niveles de materia orgánica (%)	Interpretación
Menos de 1.0 %	Muy pobre
1.0 a 2.0	Pobre
2.0 a 3.0	Medio
3.0 a 5.0	Rico
Más de 5.0	Muy Rico

TABLA No. 3 -Clasificación de los organismos presentes en el suelo en base a su actividad bioquímica



El método de determinación del porcentaje de materia orgánica a sugerir en esta tesis es el Método de Walkley - Black ya que presenta muchas ventajas prácticas que posteriormente serán referidas.

1.8 - Nutrición del Suelo

Para lograr una exitosa producción de plantas y cultivos es indispensable que se encuentren los nutrientes necesarios para su desarrollo y que exista el balance adecuado entre éstos

A los elementos nutricionales requeridos por las plantas se les conoce como elementos esenciales

Para que un elemento se considere esencial debe cumplir los siguientes criterios:

- (1) Es necesario para que la planta complete su ciclo de vida
- (2) No es reemplazable.
- (3) Su efecto sobre la planta es directo y específico.
- (4) Puede corregir los efectos desfavorables del suelo o del medio de cultivo.

Bajo estas consideraciones se han determinado 16 elementos esenciales .

C , H , O , N , P , K , Ca , Mg , S , Fe , Cl , Mn , Zn , B , Cu y Mo.

Estos 16 elementos se dividen en 3 grupos en función de su importancia y de las cantidades requeridas por la planta:

- a Nutrientes Minerales : Estos se obtienen del aire y del agua. Se consideran el C, H y O.
- b. Macronutrientes: Son necesarios en cantidades alrededor de 500 ppm. Se obtienen del suelo y se clasifican en:
 - * Primarios . N, P y K.
 - * Secundarios . Ca, Mg y S.
- c Micronutrientes: Se requieren en cantidades menores a 50 ppm. Se obtienen del suelo y comprenden : B, Fe, Mn, Cu, Zn, Mo y Cl.

Existen otros elementos que no se requieren o se requieren en pocas cantidades para el crecimiento de las plantas, pero son importantes ya que a partir de éstos son adquiridos por los microorganismos y animales para que cumplan diversas funciones biológicas. Entre estos elementos se encuentran el Co, V, Na, I, F, Al y Si

1.8.1 - Ingesta de Nutrientes en el Suelo

Durante la germinación de la semilla, los nutrientes requeridos son proporcionados por ésta. Al agotarse y desarrollarse la raíz, la alimentación de la planta depende de los nutrientes disponibles en el suelo

Existen 3 etapas por medio de las cuales un nutriente es asimilado y aprovechado:

- (1) Movimiento del nutriente de la disolución de suelo hacia la superficie de la raíz
- (2) Movimiento del nutriente de la superficie de la raíz al interior de ésta
- (3) Transporte del nutriente en la raíz hasta su aprovechamiento

1.8.2 - Mecanismo de Incorporación de Nutrientes

La incorporación mas sencilla de nutrientes desde la disolución de suelo hasta la parte interna de la raíz (separada por una membrana) se realiza por medio del *transporte simple*, el cual comprende 2 movimientos que operan conjuntamente

Flujo de masa y Difusión

En el flujo de masa, el flujo de agua es el que incorpora los iones en la disolución de suelo hacia el interior de la raíz. En este movimiento, los iones tienden a acumularse en la superficie de la raíz (rizósfera) para posteriormente ser introducidos, un ejemplo de ello lo tenemos con el calcio y azufre que se incorporan de esta forma.

Una vez que la concentración de solutos disminuye en la rizósfera como resultado de la incorporación por flujo de masa, se genera un gradiente de concentración entre la disolución de suelo (que se encuentra más concentrado) y la concentración en la rizósfera (menos concentrado)

Esta diferencia de concentración genera un movimiento de incorporación de nutrientes hacia el interior de la raíz, conocido como difusión, el fósforo se incorpora por este medio

La difusión depende del gradiente del concentración (fuerza directriz) y del coeficiente de difusión del ion (facilidad del ion).

En los siguientes esquemas se ejemplifican estos 2 movimientos .

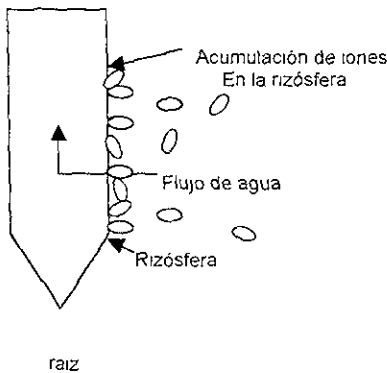


FIGURA No. 6 - Flujo de Masa

El flujo de agua incorpora los iones de la disolución a la raíz.

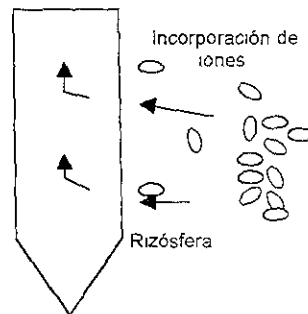


FIGURA No. 7- Difusión

El gradiente de concentración generado da lugar a la difusión

1.8.3 - Factores que afectan la Ingesta Nutricional

Los factores que afectan directamente a la ingesta nutricional son la luz, la temperatura, el soporte mecánico, la disponibilidad de O_2 y de los sustratos para la respiración, la humedad, la densidad y la distribución de las raíces en el suelo, entre otros

El crecimiento de las plantas es limitado por 3 principales causas

- Que haya escasez de los nutrientes en el suelo.
- Que sean asimilados muy lentamente
- No estén adecuadamente equilibrados con los otros elementos nutricionales.

1.8.4 - Funciones de los Nutrientes

1.8.4.1 - Macronutrientes

Nitrógeno

- Es un constituyente en todas las proteínas, clorofila, coenzimas y ácidos nucleicos. Además da lugar a otras sustancias en las plantas, como vitaminas y alcaloides, entre otros.
- Al ser un componente de los nucleótidos, participa en reacciones de transferencia de energía (ATP), de transferencia electrónica (NADP) y de información genética (RNA y DNA)
- Componente en la membrana celular
- Promueve el rápido crecimiento y desarrollo de hojas y tallos verdes
- Fomenta la producción de tejidos suaves y susceptibles a enfermedades o deficiencias mecánicas
- Promueve el prematuro desarrollo de la planta y un exceso puede prolongar el periodo de crecimiento de ésta

Fósforo

- Importante constituyente en muchas proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos, sustratos y metabolitos.
- Componente de los fosfolípidos en membranas.
- Interviene en la síntesis de ATP, que es el combustible universal para las reacciones bioquímicas como en la transferencia de energía y transferencia de electrones
- Nutriente que promueve la formación de la semilla y madurez de la planta.

Potasio

- Participa en las funciones de regulación de metabolismo como en síntesis de proteínas, síntesis y transferencia de carbohidratos, en regulaciones osmóticas y como activador enzimático.
- También es participante en procesos fotosintéticos
- Interviene en la división celular y promueve el crecimiento de la planta
- Neutraliza algunos ácidos orgánicos y regula la actividad de otros nutrientes minerales en las plantas
- Puede aumentar el contenido de aceite en frutas que lo requieren
- Su funcionamiento se asocia con el sabor y color de frutas y verduras.

Calcio

- Componente importante en la pared celular, ya que dá estabilidad, estructura y permeabilidad a la membrana.
- Previene malformaciones y desintegraciones en las partes terminales de la planta.
- Tiene funciones como activador enzimático.
- Necesario para el crecimiento y división celular.
- En una de sus formas complejadas dá lugar a la calmodulina, que es regulador en diversos procesos celulares.
- Algunas especies no pueden asimilar el nitrógeno si no hay calcio presente.

Magnesio

- Tiene funciones como activador enzimático. Al formar un complejo con el ATP interviene en la transferencia de electrones para llevar a cabo procesos bioquímicos.
- Participa en la fotosíntesis.
- Esencial para la formación de grasas, germinación de semillas y síntesis de azúcares.
- Es necesario para la síntesis de aminoácidos y vitaminas.
- Neutraliza ácidos orgánicos en plantas.
- Previene la decoloración de hojas y defoliación de la planta.

Azufre

- Tiene funciones como activador enzimático.
- Es un constituyente importante en algunos aminoácidos y vitaminas (tiamina y biotina).

1.8.4.2 - Micronutrientes

Fierro

- Cuando se compleja y forma el citocromo participa como catalizador en reacciones de transferencia de electrones durante la fotosíntesis. Interviene también en la síntesis de clorofila.
- Esencial para el crecimiento de las plantas

Manganeso

- Tiene funciones como activador enzimático.
- Funciona como catalizador (coenzima), controlando diversos sistemas rédox.
- Controla la generación de O_2 en la fotosíntesis
- Se requiere para la síntesis de clorofila.

Cobre

- Es un importante constituyente enzimático.
- Su acción catalizadora es determinante para la respiración en plantas.
- Participa en el metabolismo del nitrógeno

Zinc

- Tiene funciones como activador enzimático.
- Regula diversas actividades metabólicas, como las elongaciones internodales, la formación de cloroplastos y almidones, entre otros
- Ayuda en la formación de semillas en algunas especies

Boro

- Importante en la transferencia y metabolismo de carbohidratos.
- Evita la excesiva polimerización de azúcares donde se lleva a cabo la síntesis.
- Participa en el florecimiento, germinación de polen, división celular, metabolismo de nitrógeno, absorción de sales y movimiento hormonal.
- Previene enfermedades y la decoloración en plantas

Molibdeno

- Tiene funciones de activador enzimático.
- Componente de enzimas que participan en la fijación de nitrógeno y reducción de nitratos a amonio.
- Se requiere para sintetizar algunas vitaminas.
- En su ausencia se bloquea la síntesis de proteínas y cesa el crecimiento de las plantas en algunas especies

Cloro

- Ayuda a activar el sistema de producción de O_2 en la fotosíntesis
- Interviene en el control de potencial de agua en la célula

1.8.5 - Fuentes de Nutrientes para las Plantas

Existen diversos tipos de materiales que pueden proporcionar los nutrientes adecuados para mejorar el crecimiento de las plantas. Estos son:

1. Elementos fertilizantes orgánicos e inorgánicos
2. Compuestos que contengan calcio.
3. El agua de lluvia (provee azufre).
4. Algunos herbicidas y fungicidas
5. Microorganismos como cultivos de abono verde

1.8.6 - Formas de Obtención de Nutrientes en Plantas

1. *A partir de la disolución de suelo* ya sea de forma sencilla, si se encuentran solubles y asimilables o en forma compleja y si están formando compuestos insolubles tanto orgánicos como inorgánicos
Cabe mencionar que los complejos se transforman en formas sencillas por medio de procesos de simplificación
2. De los *iones intercambiables* presentes en la superficie coloidal orgánica (humus) e inorgánica (arcilla)

3. A través de las *hojas de las plantas*

4. De *minerales alterables*.

1.9 - La Caña de Azúcar

La caña de azúcar ó *Saccharum officinarum* L, es la planta mas eficiente para almacenar energía solar si se optimiza la integración de todos los factores que afectan la relación suelo-planta

De la caña se obtiene el azúcar, alimento energético de gran importancia.

Es importante recordar que el azúcar juega un papel muy importante en la fabricación de conservas, dulcería, piloncillo, en la producción de alcohol, en la industria agroquímica, alimenticia, farmacéutica, en combustibles y en alimentos para ganado, mientras que la caña de azúcar también se utiliza para la producción de papel, cartón y combustible, entre otros usos. [25, 37]

1.9.1 - Origen

La caña de azúcar es originaria de Nueva Guinea (isla al norte de Australia) e islas vecinas, de donde fue dispersada hacia la India por los viajeros primitivos de Oceanía

En India ocurrieron dos eventos importantes que transformaron su cultivo primitivo a un cultivo de interés industrial.

- La invención de un proceso para convertir el jugo de caña en azúcar.
- El cruzamiento entre *Saccharum officinarum* con otros tipos silvestres como *Saccharum spontaneum*; dando lugar a híbridos mas resistentes y con mayor rendimiento de producción que se pudieron extender a zonas subtropicales. [43]

La caña de azúcar fue traída a los países tropicales de América por Cristobal Colón. El cultivo se desarrolló entre los años 1500 y 1600 .

El origen de este cultivo es netamente tropical, aunque las hibridaciones producidas a través del tiempo han hecho a numerosas zonas subtropicales aptas para su cultivo. Es por ello que su crecimiento y desarrollo se ubica entre los 35 ° de latitud norte y los 35 ° de latitud sur

Este cultivo se conforma en un 99% por C, H y O, del cual un 65 a 75 % es de agua y de un 20 a 30% es de materia seca

1.9.2 - Descripción Botánica

Es una planta herbácea cuya longitud en el momento de corte puede medir entre 1.5 y 4 m o más de altura Su diámetro comprende desde 1.5 cm hasta 6 cm. En una caña media la medida es entre 2.5 y 3.5 cm. Su peso en el momento de recolección puede ser entre 300 g y hasta 6 Kg

El tallo tiene forma mas o menos cilíndrica, y su postura puede ser completamente erecta o tendida De éste brotan tallos secundarios y de éstos a su vez tallos terciarios.

El tallo es la parte utilizada en la industria azucarera, ya que es aquí donde se acumula la sacarosa durante la madurez de la planta

Su estructura es sólida y se constituyen por nudos y entrenudos

Los nudos son tabiques de separación formados por fibras externas En estos se sitúan los ojos, que están alternados entre los nudos y se protegen por la base de una cicatriz foliar A continuación se muestra un esquema que muestra la estructura descrita

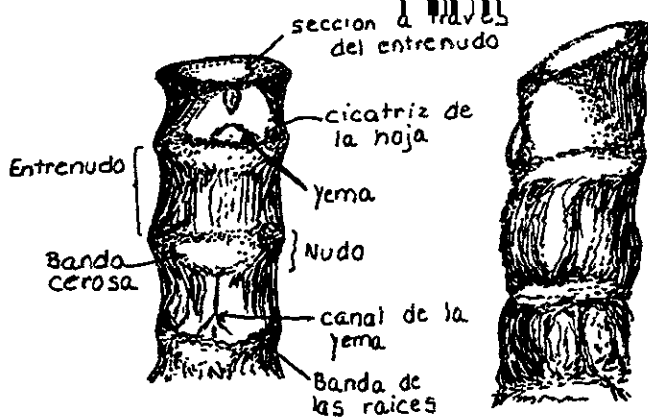


FIGURA No. 8 Morfología del tallo de la caña de azúcar

La forma de los ojos y la distribución de sus pelos en la superficie sirven como características taxonómicas para reconocer las diferentes variedades de caña de azúcar.

Los entrenudos son cilíndricos, con textura lisa o agrietada y están cubiertos por una capa de cera que sirve como protección. La longitud y número de entrenudos es variable.

La coloración superficial de la caña de azúcar también es variable. En cultivos comerciales predominan el verde-amarillento y el violeta, aunque puede presentarse en blanco, amarillo, verde, rojo o púrpura, de manera uniforme o con bandas longitudinales como consecuencia de frecuentes mutaciones.

La hoja de caña se ubica en los tallos al nivel de los nudos, y se presentan alternadas y alargadas. Su estructura es de una lámina delgada y plana, que puede medir entre 90 y 150 cm de largo por 1.5 a 10 cm de ancho.

Estas hojas se componen de vaina, cuello y lámina que poseen una nervadura que les da resistencia, también tienen numerosos estomas para la respiración y transpiración, las cuales se abren si hay suficiente luz y humedad y se cierran con la obscuridad o sequía.

La coloración en las hojas puede ser verde (en diferentes tonalidades), púrpuras o con bandas de diferentes colores

Esta planta tiene una parte conocida como inflorescencia o flecha, la cual es una parte muy ramificada, constituida por un eje principal con inserciones laterales primarias, que a su vez presentan otras inserciones secundarias y terciarias.

Estas ramificaciones se desarrollan preferentemente en la base, se rodean por pelos largos dando un aspecto sedoso o afelpado.

Cuando se llega a desarrollar la semilla de caña, conocida como fruto o cariopsis, éste es muy pequeño. Mide de 2 a 3 mm de largo, es elipsoidal y amarillento.

Las raíces tienen dos funciones: anclar y sostener a la planta en el suelo y también absorber e introducir el agua y nutrientes minerales

Se distinguen 3 especies de raíces en cañas adultas.

- Raíces superficiales que son ramificadas y absorbentes
- Raíces de apoyo o fijación, las cuales son más profundas
- Raíces cordon, que pueden alcanzar hasta 6 m de longitud

Bajo condiciones favorables, las raíces son más superficiales, largas y menos ramificadas.

Se ha determinado que el 85% de las raíces de la caña adulta se concentra a los 60 cm de profundidad. Las raíces son cubiertas por pelos absorbentes que se consideran los elementos que caracterizan el vigor vegetativo de una cepa de caña, ya que éstos promueven la respiración y absorción de nutrientes. Estos son mas numerosos entre los 90 y 120 cm y con un escaso desarrollo a los 30 cm . [4, 37]

1.9.3 - Aspectos Generales de las Regiones Cañeras en México

Los principales países productores de caña de azúcar son Brasil, India y Cuba, México ocupa el 8º lugar a nivel mundial. [25]

De todos los cultivos que conforman la agroindustria en nuestro país, la caña de azúcar ocupa el 5º lugar de las tierras cultivables, aunque la producción y obtención de azúcar es la principal actividad realizada en la agroindustria.

En base a la información disponible en el más reciente publicación sobre producción agropecuaria (31-julio-2001) publicado por el SIEAP ^{1*}, se observa que la caña de azúcar con fines de producción de azúcar se siembra en la República Mexicana en una superficie de 666,259 Ha, sin considerar la caña para la fabricación de alcohol, piloncillo , papel, cartón y combustible, entre otras aplicaciones.

De esta superficie sembrada, se cosecharon 629,550 Ha, obteniéndose un rendimiento de 71.30 Ton/Ha equivalente a una producción de 44,892,045 Ton.

De esta producción, el 45.81 % corresponde a un cultivo de riego y un 54.18 % a un cultivo de temporal. Un análisis detallado de esta producción agrícola se encuentra en las TABLAS No. 4, 5 y 6.

Las zonas cañeras están distribuidas en 15 estados de la República, de los cuales 6 estados participan con el 75.16 % de superficie cosechada:

Veracruz (39.22 %), San Luis Potosí (9.8 %), Jalisco (9.6 %), Tamaulipas (6.96 %), Oaxaca (5.2 %) y Chiapas (4.36 %).

Los estados mencionados a continuación contribuyen con el 72.75 % de la producción total. Los porcentajes son los siguientes:

Veracruz (37.79%), Jalisco (11.04 %), San Luis Potosí (7.74 %), Tamaulipas (5.91 %), Oaxaca (5.34 %) y Sinaloa (4.75 %). [43,54,55,82]

El mapa mostrado en la FIGURA No. 9 indica la clasificación de las regiones cañeras en la República Mexicana

México cuenta con condiciones climatológicas propicias para desarrollar en forma rentable y competitiva la actividad azucarera.

En general, las temperaturas en las zonas cañeras mexicanas son cálidas, semi-cálidas y templado-cálidas. Los promedios anuales de temperatura son de 23.7°C (media) , 31.8°C (máxima) y 14.5°C (mínima).

1* SIEAP Servicio de Información y Estadística Agroalimenticia y Pesquera , con información de las Delegaciones de la SAGARPA en los Estados .
SAGARPA Secretaria de Agricultura, Ganadería , Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación

La altitud de los campos cañeros varía desde cerca del nivel del mar (áreas costeras del Pacífico y del Golfo) hasta los 1,350 m (Jalisco y Michoacán), aunque también se localizan campos a los 1,500 m de altitud (zonas cañeras de Tamazula, Jalisco y Sta Clara, Michoacán).

Las precipitaciones anuales comprenden desde los 358 mm en Sinaloa (riego) a los 2,575 mm en Tabasco

El periodo de lluvias se considera a partir de fines de mayo hasta mediados de octubre, mientras que los meses mas secos son de febrero a mayo.

La distribución geográfica , características del clima y material geológico dan lugar a las diferencias de los suelos en estas zonas cañeras [37]

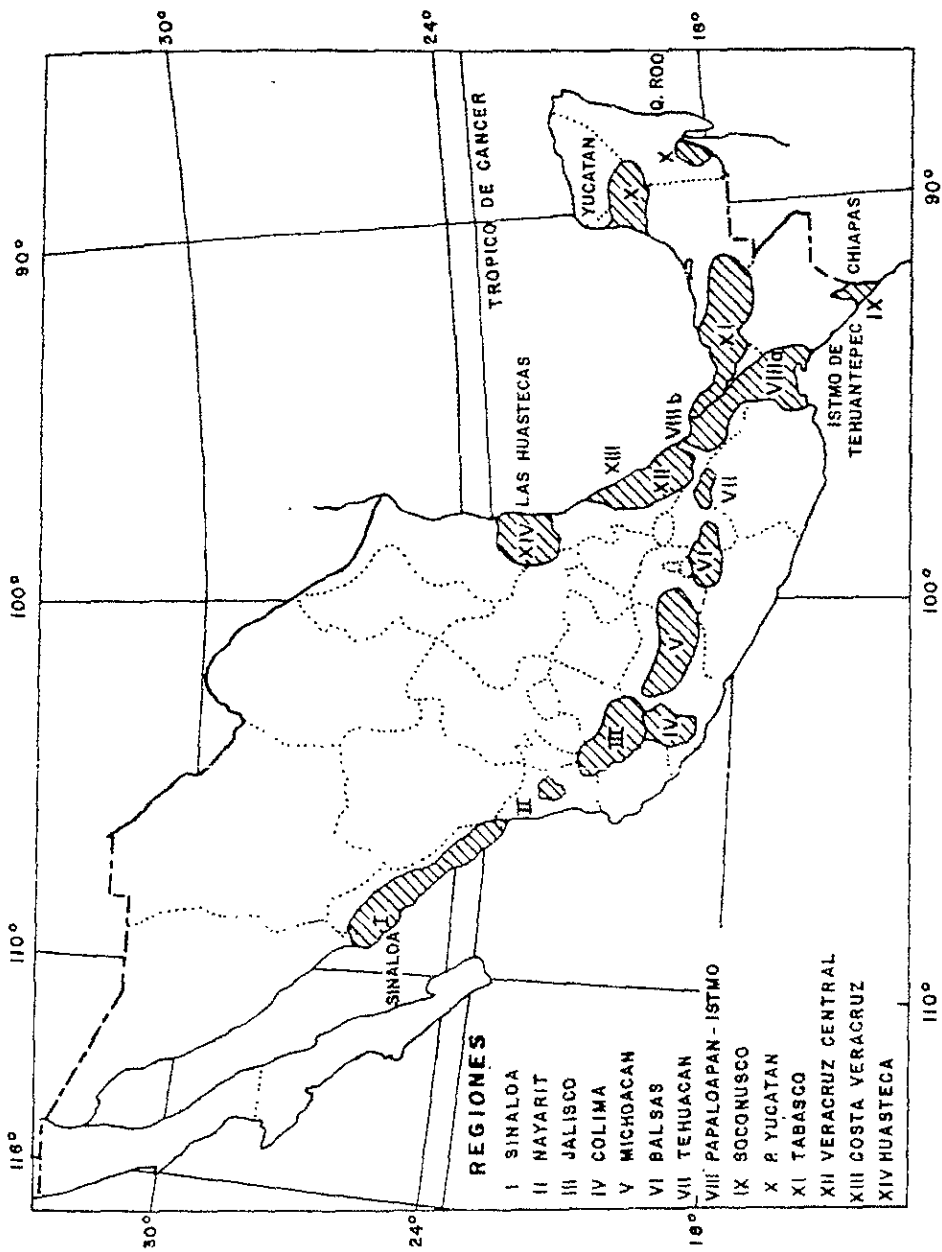


FIGURA No. 9. - PRINCIPALES REGIONES CAÑERAS EN MEXICO (SEGUN ORTIZ VILLANUEVA)

TABLA No 4 - PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA REPÚBLICA MEXICANA / Datos del 31-julio-2001 [82]

Ciclo: PERENNES

Modalidad: RIEGO, TEMPORAL.

Modalidad	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción Total (Ton) estimada	Producción Total (Ton) obtenida	Rendimiento (Ton/Ha) estimado	Rendimiento (Ton/Ha) obtenido
RIEGO	255,467	242,373	20,566,796	20,566,796	80.50	84.85
TEMPORAL	410,792	387,177	24,325,249	24,325,249	59.21	62.82
RIEGO Y TEMPORAL	666,259	629,550	44,892,045	44,892,045	67.37	71.30

TABLA No. 5 - PRODUCCIÓN AGRÍCOLA DE CAÑA DE AZÚCAR POR ESTADO Datos del 31-julio-2001[82]

Ciclo. PERENNES

Modalidad: Riego + Temporal

Estado	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción Total(Ton) estimada	Producción Total (Ton) obtenida	Rendimiento (Ton/Ha) estimado	Rendimiento (Ton/Ha) obtenido
Campeche	5,755	5,755	230,292	230,292	40.01	40.01
Chiapas	27,496	27,496	2,102,066	2,102,066	76.45	76.45
Colima	10,176	10,176	820,720	820,720	80.65	80.65
Jalisco	60,440	60,440	4,958,904	4,958,904	82.04	82.04
Michoacán	19,008	15,621	1,377,052	1,377,052	72.44	88.15
Morelos	15,470	13,049	1,401,710	1,401,710	90.60	107.42
Nayarit	28,903	25,843	1,964,479	1,964,479	67.96	76.01
Oaxaca	53,393	32,850	2,401,690	2,401,690	44.98	73.11
Puebla	13,447	13,447	1,485,988	1,485,988	110.50	110.50
Quintana Roo	20,862	20,850	1,205,148	1,205,148	57.76	57.80
San Luis Potosí	61,570	61,570	3,475,897	3,475,897	56.45	56.45
Sinaloa	28,441	24,780	2,133,926	2,133,926	75.03	85.11
Tabasco	26,836	26,836	1,712,673	1,712,673	63.82	63.82
Tamaulipas	45,379	43,865	2,653,626	2,653,626	58.47	60.49
Veracruz	249,083	246,972	16,967,874	16,967,874	68.12	68.70
TOTAL	666,259	629,550	44,892,045	44,892,045	67.37	71.30

TABLA No. 6 - PRODUCCIÓN AGRÍCOLA POR MODALIDADES DE CAÑA DE AZÚCAR EN LA REPÚBLICA MEXICANA / Datos del 31-julio-2001 [82]

Estado	Modalidad	Superficie Sembrada (Ha)	Superficie Cosechada (Ha)	Producción Total (Ton) estimada	Producción Total (Ton) obtenida	Rendimiento (Ton/Ha) estimado	Rendimiento (Ton/Ha) obtenido
Campeche	Temporal (tot)	5,755	5,755	230,292	230,292	40.01	40.01
Chiapas	Temporal	7,239	7,239	525,273	525,273	72.56	72.56
	Riego	20,257	20,257	1,576,793	1,576,793	77.83	77.83
	Total (r+t)	27,496	27,496	2,102,066	2,102,066	76.45	76.45
Colima	Temporal	7,569	7,569	556,671	556,671	73.54	73.54
	Riego	2,607	2,607	264,049	264,049	101.28	101.28
	Total (r+t)	10,176	10,176	820,720	820,720	80.65	80.65
Jalisco	Temporal	16,467	16,467	1,161,009	1,161,009	70.50	70.50
	Riego	43,973	43,973	3,797,895	3,797,895	86.36	86.36
	Total (r+t)	60,440	60,440	4,958,904	4,958,904	82.04	82.04
Michoacán	Riego (total)	19,008	15,621	1,377,052	1,377,052	72.44	88.15
Morelos	Riego (total)	15,470	13,049	1,401,710	1,401,710	90.60	107.41
Nayarit	Temporal	24,641	22,610	1,667,157	1,667,157	67.65	73.73
	Riego	4,262	3,233	297,322	297,322	69.76	91.96
	Total (r+t)	28,903	25,843	1,964,479	1,964,479	67.96	76.01
Oaxaca	Temporal	50,240	30,194	2,233,572	2,233,572	44.45	73.97
	Riego	3,153	2,656	168,118	168,118	53.32	63.29
	Total (r+t)	53,393	32,850	2,401,690	2,401,690	44.98	73.11
Puebla	Temporal	166	166	8,360	8,360	50.36	50.36
	Riego	13,281	13,281	1,477,628	1,477,628	111.25	111.25
	Total (r+t)	13,447	13,447	1,485,988	1,485,988	110.50	110.50
Quintana Roo	Temporal	19,242	19,230	1,072,697	1,072,697	55.74	55.74
	Riego	1,620	1,620	132,451	132,451	81.76	81.76
	Total (r+t)	20,862	20,850	1,205,148	1,205,148	57.76	57.80
San Luis Potosí	Temporal	49,904	49,904	2,523,559	2,523,559	50.56	50.56
	Riego	11,666	11,666	952,338	952,338	81.63	81.63
	Total (r+t)	61,570	61,570	3,475,897	3,475,897	56.45	56.45
Sinaloa	Riego (total)	28,441	24,780	2,133,926	2,133,926	75.03	86.11
Tabasco	Temporal (tot)	26,836	26,836	1,712,673	1,712,673	63.82	63.82
Tamaulipas	Temporal	12,496	12,496	564,569	564,569	45.18	45.18
	Riego	32,883	31,369	2,089,057	2,089,057	63.53	66.59
	Total (r+t)	45,379	43,865	2,653,626	2,653,626	58.47	60.49
Veracruz	Temporal	190,273	188,711	12,069,417	12,069,417	63.44	63.95
	Riego	58,846	58,261	4,898,457	4,898,457	83.24	84.07
	Total (r+t)	249,083	249,972	16,967,874	16,967,874	68.12	68.70
República Mexicana	Total (r+t)	666,259	629,550	44,892,045	44,892,045	67.37	71.30

1.9.4 - Agroindustria Azucarera en México

La agroindustria azucarera se conforma de 60 ingenios productores de azúcar distribuidos en 12 grupos empresariales, de los cuales 40 de éstos pertenecen a 6 grupos industriales

El grupo CAZE, Machado, GAM, Santos y ZUCARMEX producen mas del 80% del azúcar total nacional.

El grupo Escorpión o CAZE cuenta con 9 de estos ingenios y contribuye con el 25% de la producción de azúcar a nivel nacional.

El promedio de consumo de azúcar mensuai en lo transcurrido del año 2001 es de trescientos cincuenta mil toneladas.

La TABLA No. 7 muestra los ingenios de la República Mexicana, los grupos empresariales a los que pertenecen , el estado en el que se encuentran y el nivel de producción base por ingenio, determinado en diciembre del 2000. [55, 61]

TABLA No. 7. Ingenios en la República Mexicana y Nivel de Producción [55]

Ingenios (orden alfabético)	Grupo Empresarial	Estado	Nivel de producción Base por Ingenio (Ha)
A S Garza	SAENZ	Tamaulipas	16,138
Adolfo L Mateos	PIASA	Oaxaca	14,970
Alianza Popular	SANTOS	San Luis Potosí	17,526
Atencingo	CAZE (Escorpión)	Puebla	10,794
Azuremex-T	NO AGRUPADOS	Tabasco	3,853
Bellavista	SANTOS	Jalisco	6,774
Calpam	NO AGRUPADOS	Puebla	2,550
Casasano	CAZE	Morelos	3,150
C Progreso	MACHADO	Veracruz	10,998
Constancia	BETA SAN MIGUEL	Veracruz	11,068
Cautotolapam	SANTOS	Veracruz	12,073
Dos Patrias	NO AGRUPADOS	Tabasco	1,257
El Carmen	NO AGRUPADOS	Veracruz	6,349
El Higo	ZUCARMEX	Veracruz	11,729
El Mante	SAENZ	Tamaulipas	13,006
El Modelo	CAZE	Veracruz	11,600
El Molino	NO AGRUPADOS	Nayarit	6,179
El Potrero	CAZE	Veracruz	21,066
El Refugio	MACHADO	Oaxaca	5,837
El Dorado	GAM	Sinaloa	5,486
Emiliano Zapata	CAZE	Morelos	10,572
Huixtla	PORRES	Chiapas	8,630
Independencia	SEOANE	Veracruz	5,516
J.M.Martínez (Tala)	GAM	Jalisco	24,297
José Ma Morelos	MACHADO	Jalisco	7,831
La Concepción	NO AGRUPADOS	Veracruz	3,189
La Gloria	SEOANE	Veracruz	11,970
La Joya	NO AGRUPADOS	Campeche	7,219
La Primavera	ZUCARMEX	Sinaloa	9,834
La Providencia	CAZE	Veracruz	11,490
Lázaro Cardenas	GAM	Michoacán	3,848
Los Mochis	AGA	Sinaloa	11,365
Mahuixtlán	ZUCARMEX	Veracruz	3,752
Melchor Ocampo	ZUCARMEX	Jalisco	6,043
Motzorongo	MACHADO	Veracruz	18,334
Pablo Machado	MACHADO	Oaxaca	14,046
Pedernales	SANTOS	Michoacán	4,693
Plan de Ayala	SANTOS	San Luis Potosí	19,691
Plan de San Luis	CAZE	San Luis Potosí	14,525
Plan Benito Juárez	GAM	Tabasco	14,000
Puga	AGA	Nayarit	15,915
Pujilic	ZUCARMEX	Chiapas	14,820
Quesería	BETA SAN MIGUEL	Colima	10,730
San Cristóbal	CAZE	Veracruz	40,018
San Francisco Ameca	BETA SAN MIGUEL	Jalisco	10,686
San Francisco el Naranjal	GAM	Veracruz	7,239
San Gabriel	SANTOS	Veracruz	6,926
San J De Abajo	NO AGRUPADOS	Veracruz	7,299
San Miguel del Naranjo	BETA SAN MIGUEL	San Luis Potosí	17,820
San Miguelito	CAZE	Veracruz	6,341
San Nicolás	NO AGRUPADOS	Veracruz	5,714
San Pedro	GAM	Veracruz	1,713
San Rafael de Puete	BETA SAN MIGUEL	Quintana Roo	21,242
San Sebastián	PORRES	Michoacán	4,348
Santa Clara	PORRES	Michoacán	5,233
Santa Rosalia	NO AGRUPADOS	Tabasco	8,546
Santo Domingo	MACHADO	Oaxaca	1,781
Tamazula	SAENZ	Jalisco	12,490
Tres Valles	PIASA	Veracruz	20,786
Zapoapita-Panuco	MACHADO	Veracruz	13,246
TOTAL NACIONAL	12		654,014

1.10 - Condiciones para el Cultivo de la Caña de Azúcar

Para determinar las condiciones requeridas para el cultivo de la caña de azúcar, es necesario analizar los siguientes factores: climatológicos, edafológicos y la preparación del suelo para la siembra.

1.10.1 - Factores Climatológicos

El clima ideal para su desarrollo comprende un verano largo y caliente, con lluvia adecuada durante el periodo de crecimiento y un clima seco y frío pero libre de heladas durante la maduración. También es indispensable que los vientos sean moderados.

La *temperatura* del aire tiene un efecto directamente proporcional sobre la temperatura del suelo. El rango de adaptación para el cultivo oscila entre los 20 ° y 35°C. Debajo de los 20 ° y por encima de los 35°, el crecimiento resulta muy lento. La asimilación de clorofila aumenta entre los 23 ° y 32 °C. La absorción del agua es nula entre los 10° y 15 ° C y resulta óptima a una temperatura del aire de 28° a 30°C. La respiración máxima de la caña ocurre entre los 36° y 38°C.

El uso de abonos nitrogenados es inútil debajo de los 19°C, aunque abonos fosfatados y potásicos son mejor aprovechados a altas temperaturas.

Considerando todos los factores mencionados, se cree que la temperatura óptima de cultivo es a los 27 °C [28]

La planta requiere de alta *luminosidad* (intensidad y duración) para llevar a cabo la fotosíntesis y producir azúcares, la luminosidad afecta de forma sensible a la absorción y transpiración de agua en la planta y a la asimilación de abonos. En ausencia de ésta, los abonos nitrogenados y potásicos carecen de efecto.

En general, se puede cultivar en regiones donde la *precipitación* vaya de los 1000 a los 1250 mm anuales distribuidos favorablemente. En las zonas cañeras mexicanas el valor ideal se encuentra entre los 2000 y 2500 mm anuales, con las respectivas fluctuaciones dependiendo de la zona.

Lo más adecuado es que las lluvias se presenten regularmente durante el ciclo de crecimiento, aunque también es necesario unos meses de sequía antes de la época de corte, para promover la maduración adecuada de la caña.

En regiones donde la lluvia es abundante y no se presentan periodos secos definidos, la planta produce mayor cantidad de materia verde y bajo contenido de azúcares.

El exceso de agua en el suelo es un factor negativo para el desarrollo de la caña ya que puede resultar asfixiante y la falta de humedad puede inhibir el crecimiento y dar pie a la muerte del cultivo.

Es por ello que el contar con un buen sistema de drenaje corrige este factor climatológico, ya que se fomenta la aereación del suelo, se estimula la actividad microbiana benéfica, facilita las labores de preparación del suelo y la asimilación de nutrientes.

Otro factor que puede llegar a afectar considerablemente al cultivo es *el viento*, por lo cual es preferente que la zona del cultivo sea una región donde las velocidades del viento sean nulas o bajas. El viento afecta al cultivo de 3 formas.

- Al activar la transpiración, disminuye el crecimiento y por lo tanto baja su rendimiento.
- Tumba, quiebra y arranca cañas, reduciendo la recolección y disminuyendo la calidad de éstas.
- Promueve diversas enfermedades.

1.10.2 - Factores Edafológicos

Entre los factores edafológicos que afectan a la planta, es de importancia ahondar en el análisis de las características del suelo para el cultivo, las necesidades hídricas de la planta, la salinidad o sodicidad y los nutrición mineral de la caña de azúcar.

1.10.2.1 - Suelo para el Cultivo de la Caña de Azúcar

La caña de azúcar se cultiva en una gran variedad de suelos, comprendiendo desde arcillas hasta arenas ligeras

Las características de los suelos mas deseables son.

- Terrenos de origen volcánico a aluviones recientes
- Con texturas limosas o areno-arcillosas.
- Estructuras granuladas y porosas.
- Con gran capacidad de retención
- Que permita el desarrollo de raíces entre los 70 y 120 cm de profundidad
- Que cuenten con un drenaje natural cómodo.
- Con un pH entre 6 y 8.
- Puedan presentar vida microbiana activa
- Que haya suficiente contenido de materia orgánica, reservas de nitrógeno. elementos minerales asimilables, que no haya exceso de sales tóxicas ni carencia de oligoelementos.
- Que su topografía sea poco inclinada y regular .
- No contenga piedras, troncos o cualquier otro obstáculo físico.

El periodo vegetativo depende de las condiciones climatológicas En regiones cálidas es alrededor de los 9 meses, mientras que en regiones templadas o subtropicales puede comprender hasta 24 meses

1.10.2.2 - Necesidades Hídricas de la Planta

La cantidad de agua determinada para una recolección de caña de 100 Ton es de 85 Ton de agua , de los cuales 70 Ton son de agua pura y 15 Ton son de agua con mezclas para dar lugar a las fibras y carbohidratos de la planta.

El consumo de agua de un cultivo depende de la transpiración vegetal y de la evaporación de agua del suelo y planta. A este fenómeno se le conoce como evapotranspiración.

Este fenómeno depende de condiciones climatológicas, principalmente del sol, viento, temperatura y sequía del aire.

Es importante mencionar que la cantidad de agua perdida por evapotranspiración es mayor que la cantidad de agua retenida por absorción de la planta.

En cultivos de nego, la administración de agua se debe continuar tan pronto se hayan sembrado las estacas de caña Para cultivos de temporal, la estaca se entierra a mayores profundidades si se prevee una sequía prolongada.

La plantación por temporal se realiza por medio de un ciclo conocido como "*gran cultivo*" La siembra se efectúa a finales de la estación de lluvias, con el fin de asegurar la germinación de la planta y su desarrollo hasta un estado herbáceo

Después , la joven plantacion pasa a la estación seca, donde dá lugar a la acumulacion de diversos azúcares

Posteriormente, la vegetación vuelve a entrar en vigor con el comienzo de las lluvias. A este período, cuya duración es de 4 a 5 meses, se le conoce como período de crecimiento y en éste se dá lugar a la formación de la materia leñosa, que es el material de recolección.

Pasada esta temporada y con el comienzo del período de sequía, se dá pié a otra etapa de acumulación de azúcares y después al corte y recolección del cultivo a los 15 ó 17 meses a partir de la siembra

La administración de agua desde su plantación hasta el período de crecimiento determina la forma de la masa vegetal.

El período de sequía es necesario para las cañas adultas, ya que de esta forma se favorece la acumulación de azúcares antes de su recolección

1.10.2.3 - Salinidad o Sodicidad

La caña de azúcar se considera un cultivo medianamente tolerante de la sal.

Esta tolerancia varía según la edad y el clima en el que se desarrolla. La salinidad afecta directamente el contenido de azúcar en la caña y aumenta el contenido mineral en ésta.

Durante el período de germinación es muy sensible, mientras que en la edad adulta resulta más tolerante.

La presencia de un exceso de sales tiene diversas consecuencias.

- La degradación de la estructura de los suelos, convirtiéndolos en impermeables y asfixiantes.
- Una disminución del crecimiento debido al aumento en la presión osmótica.
- Envenenamiento de la planta debido a la toxicidad de diversas sales nocivas como cloruros o sulfatos de sodio, calcio o magnesio.

Se observa una disminución en el rendimiento del cultivo cuando la conductividad eléctrica en el suelo alcanza de 3 a 5 milimho/cm sea cual sea la naturaleza del suelo.

Por lo general, a valores mayores a 7 milimho/cm cesa el crecimiento de la planta [6]

El control de la salinidad en el suelo se realiza en función de 3 casos

- a) Suelo con sales y agua de riego sin ellas

Cuando el suelo contiene sales, para eliminar el exceso de éstas se hace una lixiviación utilizando el riego y una posterior eliminación por medio de drenaje

- b) Suelo sin sales y agua de riego con ellas

Para este caso se utiliza agua de riego que contenga sales. Es necesario conocer el contenido de estas en el agua para controlar adecuadamente la dosis de riego

- c) Suelo con sales y agua de riego también

Se limita la salinidad por medio de lixiviación del suelo. Esta lixiviación se hace con agua de riego que aunque también contiene sales se equilibra su administración con el contenido en el suelo eliminándose el exceso por medio del drenaje

1.10.2.4 - Nutrición Mineral de la Caña de Azúcar

Una planta de caña de azúcar en buenas condiciones presenta hojas grandes, de color verde oscuro, con entrenudos largos y de buen diámetro y con un sistema radicular sano y bien desarrollado

La alimentación balanceada de caña tiene como consecuencia un crecimiento vigoroso y saludable. [62]

A continuación se muestra en el siguiente esquema los requerimientos de macro y microelementos para este cultivo:

TABLA No. 8 Requerimientos de los macro y microelementos para el cultivo de la caña de azúcar [74]

N (Kg/Ha)	P (Kg/Ha)	K (Kg/Ha)	Ca (Kg/Ha)	Mg (Kg/Ha)	S (Kg/Ha)
107.45	26.85	250.65	31.33	26.85	26.85

El N, P y K favorecen el desarrollo de las características morfológicas de cada planta (aumento en tamaño de tallos y hojas) sin modificar el número de cañas por unidad de superficie, mientras que el Ca y S favorecen el aumento en población por unidad de superficie sin modificar las características morfológicas.

Cuando existen deficiencias nutrimentales en el suelo se recurre al uso de fertilizantes y abonos con el objetivo de aumentar el nivel de nutrientes en los diferentes tejidos de la planta y así lograr cosechas costeables y de buena calidad

1.10.2.5 - Fertilizantes orgánicos e inorgánicos

Actualmente se utilizan principalmente fertilizantes sólidos, líquidos y con poco uso en estado gaseoso. Debido a que el N, P y K son los macroelementos de mayor requerimiento en este cultivo, se hará especial énfasis a los fertilizantes y abonos que los contienen.

1.10.2.5.1 - Fertilizantes Nitrogenados

El N es el elemento que actúa de la forma más directa sobre la masa vegetal, ya que aumenta el peso verde total y peso seco total de la caña. Generalmente, su adición en fertilizantes aumenta el rendimiento total de azúcar.

Su aplicación debe realizarse en óptimas cantidades, ya que en bajas cantidades disminuye el rendimiento de producción de la caña, y a altas concentraciones puede disminuir la calidad del jugo [21]

El coeficiente de utilización de N en México es de 50 a 60% [28]

A continuación se citan los fertilizantes nitrogenados más empleados en nuestro país y las condiciones bajo las cuales su administración es preferencial.

- Sulfato de amonio (es el más usado por su accesibilidad económica y se administra en suelos arenosos con $pH < 5.2$)
- Urea (es un poco más caro y se administra para evitar pérdidas de nitrógeno, principalmente se utiliza en zonas cañeras tecnificadas)
- Nitrato de amonio (es más caro y se debe evitar en suelos neutros o básicos)

Otros fertilizantes de menor uso son las disoluciones nitrogenadas, la cianamida de calcio, el amoníaco anhidro y el nitrato de sodio.

1.10.2.5.2 - Fertilizantes Fosfatados (P_2O_5 ó P)

Las principales funciones del fósforo en este cultivo son fomentar la formación de las raíces, llevar a cabo la fotosíntesis y el crecimiento, lo que se refleja en la mejora del rendimiento de caña y azúcar.

El fósforo tiene muy buena fijación en el suelo, por lo cual es raro que un suelo para este cultivo agote el fósforo contenido. Por otra parte, un déficit de fósforo es difícil de reestablecer.

El coeficiente de utilización es de un 30 %.

La naturaleza y modo de administración de los fertilizantes y abonos fosfatados en los suelos depende del pH del suelo. La óptima aplicación de estos fertilizantes es debajo de la semilla y para los fertilizantes en solución cerca de la semilla.

Entre los principales fertilizantes fosfatados utilizados en México figuran:

- El super o fosfato de amonio (para suelos neutros o alcalinos)
- Super o fosfatos bicálcicos (para suelos ligeramente ácidos)
- Fosfato natural o guano (para suelos con pH < 5.5)
- Roca fosfórica

1 10 2.5 3 - Fertilizantes de Potasio

El crecimiento de la planta es directamente proporcional a la cantidad de potasio administrada. Su déficit se manifiesta por medio de la depresión en el crecimiento de la planta, decoloración de hojas y desteñido de sus puntas. Durante esta deficiencia se promueve la absorción de otros nutrientes como fósforo, fierro, calcio, magnesio y silicio principalmente.

El abastecimiento de potasio como fertilizante se hace a través de cloruros y sulfatos de potasio. [36]

El coeficiente de utilización del potasio es de un 60%

1.10.2 5 4 - Otros Fertilizantes empleados

La deficiencia de cal se abastece por medio de cal agrícola. Esta corrige la textura de suelos arcillosos para este cultivo.

Entre los fertilizantes orgánicos mas utilizados para el cultivo de la caña de azúcar se encuentran los estiércoles, abonos verdes, cachazas fermentadas y harinas de huesos.

Una vez conocidos los factores climatológicos y edafológicos que afectan al suelo, es posible seleccionar el fertilizante óptimo en base a los siguientes parámetros:

Por medio del conocimiento de la profundidad del suelo, del sistema de producción de la planta (manejo, suelo, clima), su estado nutricional, la capacidad de abastecimiento que tiene el suelo, las cantidades, frecuencia y forma de aplicación de fertilizantes así como su rentabilidad. [20]

1.10.3 - Preparación del Suelo para el Cultivo de la Caña de Azúcar

La caña de azúcar es un cultivo rico, ya que presenta las ventajas de conservar el suelo y de ser cosechable en terrenos con fuertes pendientes. Este se realiza principalmente de forma intensiva

Las mínimas condiciones para establecer un área para su siembra son.

- La existencia de superficies agrupables.
- Localización de las fábricas a poca distancia.
- Buena red y acceso a caminos
- Topografía accesible y drenaje natural.
- Buenas fuentes de riego.
- Mano de obra

Previo a su plantación, es necesario preparar el suelo y hacer el trazo adecuado del campo para dejar una óptima disponibilidad de nutrientes, humedad almacenada, aireación óptima y la menor susceptibilidad al ataque de insectos y organismos dañinos, así como al crecimiento de malezas.

Con estos preparativos, la producción de caña de azúcar debe resultar muy redituable por lo menos durante 5 años consecutivos.

Debido a la naturaleza perenne de este cultivo, una falla inicial afectaría económicamente durante toda la vida de la plantación

En nuestro país, el principal problema por enfrentar en el cultivo de caña de azúcar es la insuficiente mecanización en la preparación del suelo, siembra de la semilla y cosecha de la caña de azúcar.

1.10.3.1 - Preparación del Terreno

El objetivo principal de la preparación del terreno es limpiar y enriquecer la tierra para eliminar las limitantes al desarrollo del cultivo. Esta preparación inicia con:

- Trabajo de desmonte: En este trabajo, se eliminan arbustos, árboles pequeños y piedras con tractores principalmente, aunque en muchas regiones de nuestro país se siguen empleando hachas. Este desmonte debe realizarse cuidadosamente para evitar la destrucción de la capa de suelo agrícola.
- Diseño de la plantación: Este es un trazo inicial de diseño y establecimiento de las medidas de longitud y espaciamento reales que tendrán los canales, caminos y surcos de drenaje (drenes), ya que su medida debe permitir la movilidad del equipo, facilitar muestreos, el combate de plagas, la conservación de humedad en épocas de sequía y manejo de exceso de humedad en época de lluvias, entre otros
Este trazo para el cultivo en riego y de temporal son muy semejantes.
La falta de este diseño resulta en pérdidas económicas, causadas por una costosa resiembra y heterogeneidad en la edad de la planta
- Escarificación En esta labor, se cortan raíces para promover la aireación y drenado interno. Esta acción es previa al barbecho.
- Barbecho El objetivo de esta operación es voltear la superficie actual de suelo para promover la aireación e intemperización de sus elementos constituyentes. Este se realiza por medio del arado con discos.

- **Cruza:** Es un segundo barbecho en el que se continúa el movimiento y desintegración del suelo, pero en sentido opuesto a la dirección del primer barbechado. Este proceso proporciona una buena cama a las semillas para lograr un buen desarrollo de las raíces del cultivo.
- **Rastreo:** Esta operación continúa pulverizando cuantas veces se requiera a los terrones de tierra que quedan. Con ésto, se nivela la superficie del suelo.
- **Melgueo y drenes:** Aquí se fracciona la superficie para situar los surcos de drenaje de riego y movilización de exceso de agua para la cosecha.
- **Subsuelo:** Aquí se realiza el arado del subsuelo hasta una profundidad de 40 a 60 cm para promover la aereación y mejora de drenaje interno, así como la conservación de la humedad en capas profundas.
- **Nivelado:** Empareja o alisa la superficie de suelo y evita hondonadas que promuevan encharcamientos o dificulten el drenaje superficial.
- **Surcado:** Esta labor traza la separación entre surcos. Estos deben permitir el tránsito de tractores sin lastimar a las semillas o al cultivo, permitir la aereación e insolación. En México, la separación entre surcos generalmente empleada para una cosecha oscila entre 1.2 y 1.6 m, y la profundidad de surco puede ir de 20 a 30 cm [28]
- **Semilleros:** Estos son parcelas aisladas con buena calidad de terreno, drenaje y con un previo tratamiento por calor para promover la destrucción de cepas enfermas. Su objetivo es preparar y proveer una gran variedad de semillas o estacas originales de caña de azúcar que darán lugar a las plantaciones comerciales. Estos se estructuran en 3 secciones: semilleros primarios, secundarios y terciarios

Las estacas utilizadas para la multiplicación comercial son tomadas de un semillero terciario, donde se preparó una temporada antes (6 meses). A su vez, esta estaca de semilla terciaria proviene de un semillero secundario con previa preparación durante una temporada, y a su vez esta estaca de semilla secundaria proviene de un semillero primario, también con previa preparación durante una temporada antes. Los semilleros primarios deben ser cuidados esmeradamente ya que el futuro de la plantación depende de ellos. Aunque no es forzoso el uso de semilleros antes de la realización de la cosecha, éstos son de gran ayuda para superar enfermedades en semillas y dar lugar a una óptima calidad en éstas.

1.10.3.2 - Programa de Siembra

El periodo de siembra en las regiones cañeras mexicanas se hace en base a 2 tipos de cultivo: de temporal y de riego.

El cultivo de temporal se puede realizar en 2 épocas del año: en invierno (agosto a enero) y en primavera (febrero a junio).

El cultivo de riego se puede efectuar prácticamente durante todo el año.

En la selección de semillas para propagación comercial es indispensable valorar las características de éstas y proveer la ideal para cada región.

El material a propagar debe estar sano. En caso de no estarlo es recomendable la desinfección de la semilla con Agallol, Agrosán o BSM-11, entre otros, para evitar producciones poco reproductivas [3].

1.10.3.3 - Distribución y Colocación de las Estacas

La medida óptima de espaciamiento entre líneas de caña es de 1.5 m. Esta medida proporciona un balance entre la facilidad para las operaciones mecánicas con el rendimiento óptimo [64]

Los dos tipos de colocación mas empleados son:

- (a) Plantación a lo antillés: en donde las estacas de 3 yemas son hundidas en el suelo y la distancia entre ellas oscila entre 0.3 m y 0.5 m en una línea. La distancia entre líneas de cañas es alrededor de 1.2 m
- (b) Plantación en llano: que ofrece diversas alternativas de colocación y una plantación rápida, sencilla y eficaz. A continuación se muestran sus 4 alternativas
 - a línea, espacios de 10 cm , 2.5 estacas por metro, 16,700 estacas / Ha (buenas condiciones de crecimiento)
 - b línea sencilla, espacios de 3 cm, 3 estacas por metro, 20,000 estacas / Ha (parcelas para ensayos)
 - c línea doble , espacios de 20 cm, 4 estacas por metro, 26,700 estacas/ Ha (condiciones mediocres de crecimiento)
 - d línea doble, espacios de 10 cm , 5 estacas por metro, 33,300 estacas/ Ha (dificiles condiciones de crecimiento)

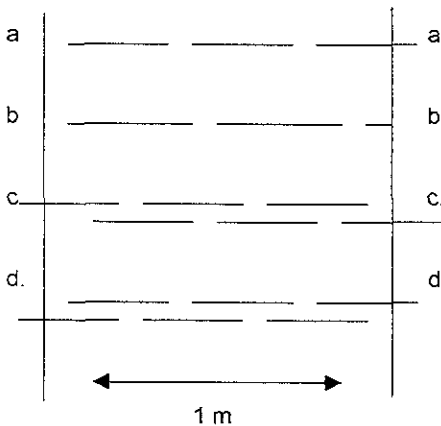


FIGURA No. 10- Distribución y densidad de las estacas [4]

1.10.3.4 - Sistemas de Siembra en México

Para cultivar las estacas de la caña, se recurre a dos tipos de sistemas de siembra, para ambos se requiere preparar previamente al suelo de la forma ya descrita

1.10.3.4.1 - Sembrado Mecánico

Con una sembradora mecánica se realiza el surco, troceado, la desinfección, la fertilización, sembrado y tapado en una sola operación. La siembra se efectúa a cordón sencillo (siembra en línea) o traslapado

Su espaciamiento es entre 40 y 50 cm (para promover la deshidratación y la germinación), que dá lugar a una densidad de 30 a 40 mil yemas / Ha, que es la densidad óptima de población en el campo para este cultivo.

1.10.3.4.2 -Sembrado Manual

En esta se utiliza cordón sencillo, doble cordón (doble línea de siembra y colocada paralelamente) y traslapado.

Cuando la siembra se realiza por hoyadura, se coloca la estaca en el agujero .

Luego se cubre el terreno en la plantación aunque ésta resulta en malas cosechas y por lo tanto es demasiado cara. Las líneas se colocan cada 1.2 m y la profundidad de los hoyos es de 18 cm.

Sólo después de 3 o 4 años de ocurrida la plantación se puede cambiar a una siembra mecánica. Este tiempo de espera es evitable si se desenraiza y quema el material, aunque ésto puede disminuir el rendimiento.

Para corregir estas anomalías, se utiliza mayor tonelaje de semilla al sembrar , pero ésto aumenta el costo de operación, por lo cual es una práctica no aconsejable.

Cabe mencionar que el uso excesivo de maquinaria ocasiona el incremento en el costo de producción y la erosión de suelo debido al constante movimiento que lo predispone a ser fácilmente arrastrado por el agua y el aire. Haciendo labranzas moderadas con maquinaria y a veces una adecuada labranza conservacionista, permite retener los residuos de cultivos que disminuyen pérdidas de suelo, conservan agua, aumentan la infiltración y mejora las propiedades físicas y por lo tanto aumenta el rendimiento [46]

1.10.3.5 - **Aplicación del Fertilizante**

Una gran cantidad de fertilizantes se aplican manualmente en las regiones cañeras mexicanas. Esta aplicación resulta inconveniente, ya que su administración es irregular, la mano de obra es insuficiente y poco capacitada, no hay control en la dosificación, por lo que disminuyen los beneficios sobre el cultivo

La aplicación mecanizada es mas redituable y menos costosa (si ya se cuenta con el tractor), ya que la aplicación resulta homogénea y controlada, aumentando el rendimiento de producción y disminución de costos de operación.

Algunas aplicaciones se hacen por avión, lo que resulta ventajoso si los campos están exentos de árboles y el dueño del ingenio o el agricultor cuenta con el avión propio.

La aplicación del fertilizante a la caña de azúcar debe ser oportuna y dosificada. Se aconseja añadir la mitad de la dosis total en el fondo del surco y mezclando con tierra antes de colocar la estaca ya tratada. También se puede añadir insecticidas en dosis sugeridas, y posteriormente se cubre con una capa de tierra fina. Este tapado puede ser manual, aunque se puede mecanizar por medio del uso de discos y vertederas tiradas por animales o por un tractor

La otra mitad de la dosis se puede aplicar durante el despacho (deshierbe de malezas en el entresurco). [62]

1.10.3.6 - **Manejo del Cultivo**

Después de efectuada la siembra, el manejo adecuado de la planta es indispensable, ya que ésta se debe de tratar convenientemente durante todo su periodo de crecimiento

Este tratamiento consiste en el riego y drenaje adecuado así como en el combate de plagas y malezas. Estas acciones no sólo abaten costos, sino mejoran el rendimiento y da estabilidad a la plantación

Algunas recomendaciones básicas comprenden la irrigación de suelos delgados, la cual se debe hacer con mayor frecuencia que en suelos profundos. También se debe evitar el riego tendido en plantaciones con terrenos en pendiente, ya que ésta puede promover el arrastre y empobrecimiento del suelo [10]

El drenaje, que es el complemento necesario del riego, debe asegurar un buen escurrido, rápida evacuación en aguas superficiales (logrado por la nivelación de la superficie), en canales abiertos (disminuye el costos) y la capa freática se debe mantener debajo de la superficie del suelo de la siguiente forma. a 0.6 m cuando menos durante el período vegetativo, a 1.5 m en la maduración y a 2.0 m para capas saladas

El drenaje puede ser superficial e interno. El drenaje superficial se hace por medio de drenes espaciados y con un laboreo superficial de campo. El drenaje interno mejora al llevar a cabo el laboreo del subsuelo y con la adición de mejoradores orgánicos.

En áreas de riego, se recomienda incluir sistemas de drenaje primarios y secundarios

1.10.3.7 - Corrección del pH del Suelo para el Cultivo

Las formas de corregir un suelo para un determinado cultivo son:

- (1) Por medio de la adición de fertilizantes para aumentar la disponibilidad de nutrientes requeridos
- (2) Por medio de la alteración del pH del suelo, modificándolo a valores básicos en suelos ácidos y a valores ácidos en suelos básicos

Para adicionar un fertilizante, es indispensable conocer cuales son los nutrientes deficientes para el cultivo en un determinado suelo, ya que éstos pueden contener otros constituyentes que pueden modificar la acidez o alcalinidad en el suelo.

Para alterar el pH en suelos alcalinos se utiliza principalmente compuestos de azufre, ya que la oxidación de éstos genera H_2SO_4 , que cambia el pH de forma gradual

Posterior a esta adición, es necesario el lavado del suelo, por lo cual es necesario contar con un sistema de drenaje, ya que, en caso de no realizarse, podrían quedar en disolución el exceso de bases solubles que podrían intercambiarse nuevamente en la superficie coloidal, reestableciendo el equilibrio a pH básicos.

En el caso contrario, para aumentar el pH del suelo hacia niveles básicos, por lo general se utilizan calizas o compuestos con calcio. La cantidad utilizada depende de la acidez total del suelo, del pH requerido para el cultivo y del volumen de suelo a tratar

1.10.3.8 - Principales Plagas, Enfermedades y Malezas que Afectan al Cultivo en México

Las plagas, enfermedades y malezas en el cultivo de la caña de azúcar juegan un papel muy importante en México como limitantes de la producción debido al daño que ocasionan y a los gastos adicionales como resultado de la aplicación de métodos de combate [26, 52]

La actividad fitosanitaria que recibe este cultivo en nuestro país se enfoca principalmente al combate de las siguientes plagas, enfermedades y malezas

Plagas:

A pesar de que en México existen mas de 100 especies de insectos y roedores que atacan la caña de azúcar, las que ameritan un estricto combate son:

- Los roedores, principalmente las ratas cañeras y las tuzas
- Los insectos, como la mosca pinta o salivazo y los barrenadores de tallo.

Los roedores se encuentran principalmente en cultivos de Veracruz, Tabasco, Sinaloa, Tamaulipas y San Luis Potosí durante todo el año, aunque sus daños son mas acentuados de noviembre a mayo.

Los principales métodos de combate utilizados para las ratas son los raticidas, como el fosforo de zinc al 1% y la warfarina en forma de cebo al 0.05%. El combate de tuzas se hace por medio de caza directa con trampas utilizando carnadas de fosforo de aluminio o trozos de cañas envenenadas.

La mosca pinta predomina en la vertiente del Golfo y su combate se hace por medio de insecticidas como Malation al 4%, Lorsban al 1.5%, Furadan 5G , entre otros.

Los barrenadores predominan en Sinaloa, San Luis Potosí y Tamaulipas. Debido a la gran resistencia de esta plaga, su combate se hace por medio de la aplicación de insecticidas como Nuvacron 1.5 L/Ha, Baytroed 0.75 L/Ha y Diptorex 1Kg/Ha, también con el uso de variedades tolerantes de caña de azúcar y por medio del control biológico.

Enfermedades:

En México se reportan 20 enfermedades de origen parasitario que atacan al cultivo, de las cuales las mas importantes y sobre las que se realizan acciones de combate son:

El carbón, la roya, la mancha de ojo, el mosaico y la raya roja.

La única recomendación para el combate de las enfermedades en los cultivos comerciales es la selección y el uso de variedades resistentes. [26, 52]

Malezas:

Por medio de un censo ecológico se determinaron las malezas que mas afectan a la producción de caña de azúcar, siendo la de la familia Graminae las que requieren de mayor combate. Ejemplos de estas malezas son el Zacate Agrarista, el Zacate Johnson, Zacate de los Campos, Zacate Liendre de Cochino, Zacate Cola de Zorra, Zacate Canchín y Zacate Pará

El combate de malezas se realiza en forma manual, mecánica y química. El 40% se combate con herbicidas y el 60% restante de forma manual y mecánica. [76]

1.10.3.9 - Tratamiento Posterior a la Primera Cosecha

Debido a la naturaleza perenne de este cultivo, una vez concluida la primera cosecha se requiere llevar a cabo diversas actividades para promover el aprovechamiento para el siguiente cultivo. Es necesario el destronque de tallos mal cortados y hacer el corte al nivel del suelo. De lo contrario, se limitaría o no se llegaría a desarrollar el sistema radicular en una segunda cosecha.

Otra práctica recomendable es el desaparque, en el cual se poda la cepa anterior y su sistema radicular para alinear el surco

Esta labor facilita la absorción del fertilizante al aplicarse en la práctica del cultivo

No obstante a las recomendaciones mencionadas, después de la recolección de cada cosecha, el número de cepas para la siguiente tiende a disminuir, resultando en una reducción en el rendimiento consecuente. Para mantener la población de cepas, es necesario tomar diversas consideraciones:

- Entre las labores de restitución del suelo es necesario una nueva aplicación de fertilizante, insecticidas como heptaclor o chlordano al 2.5%. [50]

Se puede realizar la resiembra con rizomas cortados en el desaporque, ya que al contener un mayor número de yemas, éstas se desarrollan más rápido que si se usan los trozos de caña como semillas.

2 - MÉTODOS ANALÍTICOS

2.1 - Análisis del Suelo

El fin inmediato del análisis del suelo consiste en conocer las características físicas, la composición química y los requerimientos nutricionales contenidos en éste para un determinado cultivo con el objetivo de suplir deficiencias o eliminar excesos para mejorar la fertilidad, el manejo del suelo y la calidad de la planta [35, 62]

Los métodos empleados en un laboratorio para este análisis se dividen en 3 partes:

- el análisis físico
- el análisis químico
- el análisis físico-químico

Dentro del análisis físico se determinan

El análisis mecánico, el color en seco y húmedo del suelo y densidad aparente.

Dentro del análisis fisicoquímico figuran la determinación del pH, conductividad eléctrica y resistencia

Por otra parte, las características químicas analizadas comprenden :

La capacidad de intercambio catiónico total (C.I.C.T.), los cationes intercambiables, el porcentaje de materia orgánica y de sales solubles (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , Cl^-) y P , NO_3^- y NH_4^+

Para evaluar estos parámetros de la mejor manera posible es indispensable hacer la toma de la muestra de suelo mediante una inspección previa del campo a muestrear para dibujar un diagrama, sobre el cual se traza un plan del número de muestras a tomar, forma de tomarlas y orden de muestreo, teniendo en cuenta que debe recogerse una muestra distinta por cada porción de terreno con características peculiares y debe tomarse una muestra, como mínimo por cada 2 Ha

A continuación se enumeran las bolsas de tela ó papel en las que deben guardarse las muestras

También es necesario inspeccionar algunas características del suelo a analizar como los cultivos cosechados en el terreno, el tipo y el área de las parcelas, la textura y color del suelo, el desarrollo relativo de los cultivos, el tratamiento dado por fertilizantes y las zonas en condiciones anormales existentes. [83]

2.1.1 - Métodos de Muestreo en las Parcelas

Método A.

Este procedimiento es el más adecuado. Primero se delimita la parcela con estacas. Las estrellas ✱ representan las muestras tomadas en zig-zag. Al cruzar de esta forma la parcela, se puede incluir en las muestras el fertilizante generalmente empleado, ya que éste se aplica paralelamente a los surcos de siembra

Método B.

Esta técnica es inadecuada ya que las muestras son regulares y pueden dar valores en el análisis químico muy semejantes sin permitirnos ver la variabilidad del terreno. La disminución de toma de muestras también representa una desventaja.

Método C

Esta técnica es la más inadecuada, no solo por su posición regular con tendencia a ser distinta en los extremos, sino que también el número de muestras es muy reducido.

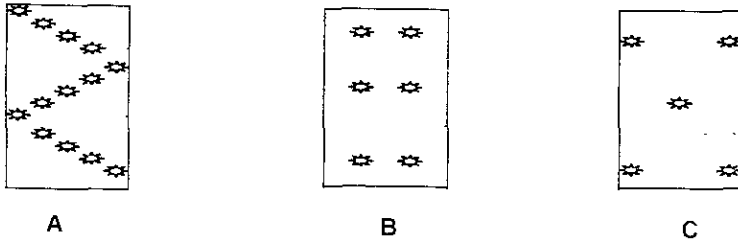


FIGURA No. 11- Métodos de Muestreo en las Parcelas

2.1.2 - Toma de muestras

Las muestras para el análisis del suelo se toman por lo general a una profundidad de 0 a 20 cm por alguno de los siguientes procedimientos: [83]

- (1) Se toma una barrena de 30 a 35 cm de longitud y de 3 a 5 cm de diámetro y se introduce en el suelo hasta 20 cm de profundidad. Se tira de ella hacia arriba, se toma la muestra de suelo que quede adhiriendo a la barrena y se adiciona en una bolsa etiquetada y rotulada.

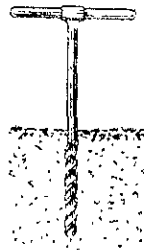


FIGURA No 12 - Toma de muestra de suelo con barrena

- (2) Se emplea una sonda, que consiste en un tubo cilíndrico que internamente contiene media caña de 20 cm de longitud. Esta termina en una punta afilada que después de introducirse al suelo por rotación sobre su eje, permite extraer una porción de suelo desde la superficie hasta 20 cm de profundidad. Posteriormente la muestra se vierte en una bolsa etiquetada y rotulada.

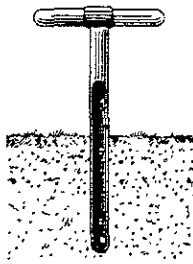


FIGURA No. 13 - Toma de muestra de suelo con sonda

- (3) Por medio de una pala se cava un hoyo en forma de V a una profundidad de 20 cm , cortando una porción de cada lado y tomando la parte central de suelo despreciando los bordes y vaciándolo en una bolsa etiquetada con una clave para facilitar su posterior identificación y manejo.

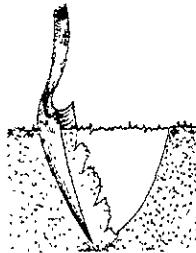


FIGURA No. 14 - Toma de muestra de suelo con pala

2.1.3 - Preparación de las Muestras para el Análisis de Suelo

- (1) Secado al aire. La muestra de suelo debe secarse al aire a una temperatura ambiente durante un mínimo de 24 horas para unificar el grado de humedad de las muestras. El secado de la muestra se realiza extendiendo ésta sobre una superficie no contaminante.
- (2) Tamizado: Agronómicamente, solo tienen interés las partículas con diámetro inferior a 2 mm ya que en éstas se lleva a cabo casi la totalidad de las reacciones en el suelo. Por ello, después del secado al aire, se separan las piedras y se deshacen los agregados de tierra en un mortero de procelana o molino de bolas para posteriormente pasar la muestra a través de un tamiz de malla No.100 u 80. Una vez efectuado este tratamiento se procede a analizar la muestra.
- (3) Pesado del suelo
- (4) Almacenamiento: El suelo seco se puede almacenar en bolsas de papel, frascos con tapones roscados o cajas de cartón previamente etiquetados. [35,83]

2.2 - Análisis Mecánico

2.2.1 - Método de Bouyoucos

Para poder llevar a cabo un exitoso análisis mecánico es indispensable que las partículas se encuentren dispersas, defloculadas de la arcilla y exentas de agentes cementantes.

La dispersión se logra por medio de un tratamiento con agentes dispersantes como NaOH, Na₂CO₃, Na₂C₂O₄, Na₄P₂O₇, NaSiO₃ y NaPO₃ entre otros, adicionados a una suspensión de suelo durante una noche. [5, 39]

Entre los principales agentes cementantes figuran los óxidos de hierro y aluminio, así como la materia orgánica, los cuales pueden llegar a ser difíciles de dispersar.

La materia orgánica se destruye por medio de la oxidación con peróxidos, seguido de una filtración y diversos lavados.

La dispersión de suelos calcáreos se logra por medio de tratamientos con ácidos.

La dispersión de suelos salinos se logra lavando la muestra de 5 a 6 veces ó mas con agua. Para lograr una buena dispersión y mezclado de las partículas se puede recurrir a agitadores mecánicos, eléctricos o a vibraciones ultrasónicas. La velocidad de agitación debe ser menor a 16,000 revoluciones por minuto. [8]

Fundamento

Este método determina el contenido de los componentes de suelo, fundamentándose en la Ley de Stokes previamente mencionada

2.2.1.1 - Para Suelos con Contenido de Materia Orgánica Inferior a un 3% , Suelos no Salinos y Suelos que no sean Ricos en Yeso y/o Carbonatos.

Material y Equipo

- Balanza analítica
- Agitador eléctrico
- Hidrómetro de Bouyoucos con escala de 0 - 60
- Termómetro
- Cronómetro
- Probeta de 100 ml
- Pipetas volumétricas de 5 ml
- Vaso de precipitados de 500 ml.
- * Probetas Bouyoucos

Reactivos:

- Disolución de Oxalato de Sodio

Se disuelven 30 g de oxalato de sodio en un litro de agua destilada.

- Disolución de Metasilicato de Sodio

Se adicionan 50 g de la sal en un litro de agua destilada y se ajusta la disolución a una lectura de 36 en el hidrómetro con agua o metasilicato de sodio según sea el requerimiento

Procedimiento:

1. Pesar 50 g de suelo de textura fina (ó 100 g de suelo de textura gruesa) en el vaso del agitador eléctrico.
2. Adicionar 5 ml de disolución de silicato de sodio (favorece la dispersión de las partículas) y 5 ml de una disolución saturada de oxalato de sodio.
3. Adicionar 100 ml de agua.
4. Se mezcla el contenido agitando durante 20 min a una velocidad menor a 16,000 rev/min.
5. Verter la mezcla a la probeta de Bouyoucos previamente calibrada a la temperatura ambiente.
6. Aforar a 1130 ml con agua destilada para 50 g de suelo (o aforar a 1205 ml para 100 g de suelo).
7. Agitar durante 1 minuto.
8. Sumergir el hidrómetro en la probeta que contiene la suspensión y esperar 40 segundos registrando el tiempo con el cronómetro y tomar la primera lectura (**L₁**) Durante esta primera lectura se sedimenta la arena a los 40 seg, quedando en suspensión el limo y la arcilla. A partir de ésta se determinan los gramos de estas 2 fracciones. Es necesario registrar la temperatura de la disolución durante esta medición para corregir la dilatación debida a la temperatura ambiente. Esta corrección de temperatura comprende 0.36 unidades por grado centigrado que se separe de los 19.5°C, sumando o restando según sea el caso.
9. Después de 2 horas de tomada la lectura, se toma una segunda lectura (**L₂**). De esta densidad se obtienen los gramos de arcilla , que es lo que se encuentra en disolución, ya que el limo se ha sedimentado por completo en este lapso de tiempo

2.2.1.2 - Para Suelos con un Contenido de Materia Orgánica Mayor al 3%

Reactivos:

- Peróxido de Hidrógeno al 6% p/v

Procedimiento:

1. Pesar 50 g de suelo si es de textura fina (ó 100 g si es suelo de textura gruesa) en un vaso de precipitados de 500 ml.
2. Añadir 40 ml de peróxido de hidrógeno al 6% p/v y evaporar hasta sequedad.
3. Adicionar otros 40 ml de peróxido de hidrógeno empleado y evaporar hasta sequedad. Repetir este procedimiento hasta que ya no haya efervescencia al añadir el peróxido de hidrógeno.
4. Se sigue el mismo procedimiento como en el método anterior (a partir del inciso 2)

Cálculos:

- Hacer las correcciones de las lecturas del hidrómetro con respecto a la temperatura registrada. La TABLA No. 9 muestra esta corrección de temperatura

% Arena = 100 - (lectura del hidrómetro corregida a los 40 seg ó L₁ X 2)

% Arcilla = Lectura del hidrómetro corregido a las 2 horas ó L₂ X 2

- Una vez determinados los porcentajes de arena, arcilla y limo se determina la textura del suelo utilizando el triángulo de texturas de suelos

TABLA No. 9 - TABLA DE CORRECCION DE TEMPERATURA

Temperatura ° C	Factor de Corrección
15	-1.62
15.5	-1.44
16	-1.26
16.5	-1.08
17	-0.90
17.5	-0.72
18	-0.54
18.5	-0.36
19	-0.18
19.5	0.00
20	+0.18
20.5	+0.36
21	+0.54
21.5	+0.72
22	+0.90
22.5	+1.08
23	+1.26
23.5	+1.44
24	+1.62

2.3 - Resistencia del Suelo

La resistencia del suelo, es una propiedad fisicoquímica que nos permite conocer el contenido de sales disueltas por medio de la conductividad eléctrica. Esta relaciona el número de cationes y aniones totales en disolución, ya sean como nutrientes o no nutrientes.

Un valor bajo de conductividad eléctrica (CE) indica la falta de nutrientes en el suelo, mientras que un valor alto indica problemas salinos debidos a un exceso [30]

A continuación se muestra una escala de conductividad y su efecto en el cultivo.

Conductividad específica del extracto de saturación del suelo mmho por centímetro				
0	2	4	8	16 mmho
No salinos	Ligeramente salinos	Moderadamente salinos	fuertemente salinos	Muy fuertemente salinos
0	0.1	0.3	0.5	1.0 %
tanto por ciento de sales en el extracto de saturación del suelo				

TABLA No. 10 Escala de salinidad

El análisis cuantitativo de sales se lleva a cabo de diversas maneras. En esta sección se recurre al método conductimétrico debido a que el único interés es la cuantificación general de sales en disolución, aunque también se puede conocer el contenido de cationes y aniones que conforman estas sales. Métodos para esta cuantificación individual son referidos posteriormente en esta tesis.

La técnica conductimétrica empleada es el método de resistencia de pasta de suelo. Este método se fundamenta en determinar el porcentaje de sales solubles y la conductividad eléctrica en el suelo. Este método es efectivo, simple y rápido cuando los valores determinados se encuentran entre 0 y 2 mmho / cm a 25°C. [11]

Cuando se exceden valores de conductividad eléctrica a los 2 mmho / cm en la muestra determinada, se recurre a la determinación de CE del extracto de saturación de suelo [51]

2.3.1 - Método de Resistencia de Pasta de Suelo

Material y Equipo

- Espátula
- Vasos de precipitados de 250 ml
- Copa electrolítica
- Balanza analítica
- Corriente alterna
- Puente Wheatstone
- Termómetro

Procedimiento:

- 1) Se pesan 50 g de suelo en un vaso de precipitados de 250 ml y se vierte agua destilada agitando hasta alcanzar el punto de saturación en el cual la pasta brilla por reflexión de la luz, fluye ligeramente si se inclina el recipiente y se desliza fácilmente la espátula
- 2) Se deja en reposo una hora
- 3) Se determina la resistencia a temperatura ambiente
- 4) A partir de este valor se determina el porcentaje aproximado de sales y la conductividad eléctrica (ver TABLA No 10)

Cálculos

CE suelo= $0.25/R_{\text{suelo}}$; donde 0.25 es la constante de la copa.

2.4 - Densidad Aparente

Es la relación existente entre la masa de suelo seco por unidad de volumen total de suelo. Este volumen considera a partículas sólidas y su espacio poroso ocupado, así como el contenido de agua y aire en el suelo en su estado natural. [17]

Las unidades en que se determina es en g/cm^3

La textura del suelo, el material parental, la porosidad de las partículas y la materia orgánica contenida son los 4 factores que determinan la densidad aparente. [37]

Los valores adecuados de densidad aparente van de $1.0 g / cm^3$ para arcillas y hasta $1.8 g / cm^3$ para suelos arenosos. [40]

El valor de esta propiedad física nos ayuda a determinar el estado de compactación, aereación y humedad del suelo, dando un valor indicativo de su productividad para el cultivo. Por ejemplo, a densidades aparentes mayores a $1.8 g / cm^3$, la conductividad hidráulica disminuye, ocasionando una escasez de drenaje.

También, a estos valores de densidad se ve impedida la penetración de las raíces en suelos. [51]

De esta forma es posible prever y planear las precauciones pertinentes

Existen diversos métodos de medición de densidad aparente. Estos se clasifican en dos grupos.

- Los métodos directos
- Los métodos indirectos.

En la primera clasificación, tanto la masa como el volumen se determinan de forma directa. Entre estos figuran el método de la muestra principal, el método de globo de plástico y el método por reemplazamiento de arena . [51]

Dentro de los métodos indirectos, como lo indica el nombre, la evaluación de las variables son indirectas. Las técnicas se basan en métodos de radiación, utilizándose principalmente el de transmisión por rayos gama.

Por medio de estas aplicaciones se obtienen valores más precisos que en cualquier técnica de métodos directos, pero es necesario trabajar con mucho cuidado en las preparaciones de muestras, calibraciones y contar con exigentes operaciones de seguridad.

La aplicación de un determinado método depende de la textura del suelo. No obstante, el método que resulta mas usado es el de muestreo principal. Este se considera el método estándar para suelos con casi cualquier textura, a excepción de suelos gravosos, arenosos o muy sueltos. También es una técnica barata, rápida , de fácil uso y segura de emplearse, por lo cual para fines prácticos, es preferible a cualquier otro método de determinación.

Debido a estas razones, ésta será la técnica que se explicará en esta tesis

2.4.1 - Método de Muestreo Principal

Equipo:

- Balanza analítica
- Vasos de precipitados de 250 ml
- Cilindro para muestreo.

Procedimiento:

- Se toma el cilindro para muestreo de volumen conocido y se introduce cuidadosamente y ejerciendo una presión constante a una muestra de suelo en su estado natural hasta llenarse
- A la muestra de suelo contenida en el cilindro ya secada previamente al aire durante 24 horas, se le determina su masa seca por diferencia de peso.

NOTA Es conveniente compactar de la forma indicada, ya que de hacerlo bruscamente o con golpes, al aumentar la compactación, aumenta la densidad aparente, resultando un valor erróneo [45]

Cálculos

$$\text{Densidad aparente} = \frac{\text{Masa de suelo seco}}{\text{Volumen de muestra total}}$$

Este método funciona mejor en suelos suaves, libres de grava y piedras. Para el caso de suelos con texturas arenosas y gravosas, el método directo mas adecuado a emplearse es el de reemplazamiento de arena. [69]

2.5 - pH del Suelo

La determinación de pH , es la propiedad fisicoquímica mas importante presentada por el suelo.

2.5.1 - pHmetro

Este es un dispositivo que mide voltajes desconocidos que utilizan electrodos de vidrio de alta resistencia y puede usarse en circuitos de baja y alta resistencia.

Aparatos:

- pHmetro
- Electrodo de referencia
- Electrodo indicador de vidrio

Reactivos:

- Disolución buffer de pH=4

Procedimiento:

1 Preparación de muestras

Se pesan 10 g suelo y posteriormente se agregan 25 ml de agua destilada, de tal forma que quede una relación suelo-agua 1:2.5 Se agita durante 30 minutos y se determina el pH.

2 Calibración del pHmetro

- Se ajusta el dispositivo a la temperatura de trabajo
- Se sumergen los electrodos en agua destilada y se ajusta la aguja del pHmetro en cero. Posteriormente se calibra la aguja en la escala del aparato a pH = 4 con la disolución buffer
Después se lavan con agua destilada los electrodos. Si se utilizan otras disoluciones buffer, se repite el mismo procedimiento, ajustando la aguja en el pH determinado de la escala y se vuelve a lavar con agua destilada cuidadosamente

3. Lectura

- Se introducen los electrodos en un vaso que contenga la suspensión de suelo problema hasta que se equilibre la aguja en el pH correspondiente de la escala. De esta manera se determina directamente el pH de las muestras de suelo

Es indispensable que al usar los electrodos de vidrio se tomen diversas precauciones, como no dejar el electrodo introducido en la disolución problema mas tiempo del requerido, después de cada lectura lavar con agua destilada, después de su uso, guardar los electrodos introducidos en agua destilada, entre otros [44]

Posibles fuentes de error

Existen diversas fuentes de error que afectan la exactitud de la medición. Entre estas figuran:

- El valor del potencial líquido-líquido
- La estabilidad presentada por la pareja redox
- El tener disoluciones de suelo muy diluídas
- No calibrar el equipo
- La contaminación de las disoluciones buffers
- El deterioro de los electrodos de trabajo. [32, 77]

2.6 - Materia Orgánica del Suelo

La materia orgánica del suelo es el factor decisivo para la evaluación de la fertilidad, ya que ésta influye determinantemente en las propiedades físicas y químicas del suelo.

Existen diversos métodos de análisis de la materia orgánica en el suelo. Para esta tesis nos referiremos al Método de Walkley y Black, el cual está basado en la oxidación de la materia orgánica. Este método es el sugerido ya que presenta muchas ventajas prácticas, como la facilidad de aplicación, su comodidad, exactitud y rapidez, lo que lo hace el método más utilizado a nivel laboratorio.

2.6.1 - Método de Walkley y Black

El fundamento en el que se basa este método consiste en la oxidación de la materia orgánica de suelo con un volumen fijo de concentración conocida de disolución de $K_2Cr_2O_7$ (reacción a) y con una posterior valoración del exceso no empleado de este agente oxidante con una sal ferrosa por medio de una retrotitulación (reacción b).

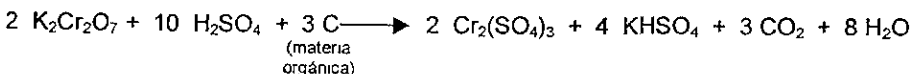
De esta forma se determina la cantidad de materia orgánica presente en la muestra de suelo. [83]

En este procedimiento ocurre un calentamiento espontáneo debida a la dilución de ácido sulfúrico. Esto representa una ventaja, ya que, al no ocurrir la completa oxidación de la materia orgánica total promovida por un mayor calentamiento, no se mide la fracción de materia orgánica menos activa y por lo tanto se determinan resultados reales.

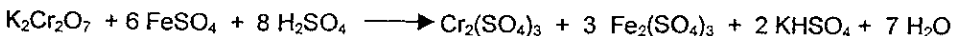
En este procedimiento se utiliza $K_2Cr_2O_7$ en disolución 1 N, H_2SO_4 conc como medio de reacción de la oxidación y para promover el calentamiento espontáneo, la difenilamina que es el indicador rédox y la sal ferrosa; que por lo general es sulfato ferroso. La reacción ocurrida entre esta sal y el dicromato de potasio nos permite determinar la normalidad de sulfato ferroso que se requiere en los cálculos.

Las reacciones que representan este método son las siguientes:

Reacción a



Reacción b



Material y Equipo:

- Matraces de Erlenmeyer de 250 ml
- Pipetas volumétricas de 10 y 20 ml
- Bureta de 25 o 50 ml
- Balanza analítica
- Desecador
- Agitador magnético
- Estufa
- Magneto

Reactivos: Disolución de $K_2Cr_2O_7$, 1 N
 Disolución de $FeSO_4$, 0.5 N
 Disolución de difenilamina al 1%
 H_3PO_4 al 95%
 H_2SO_4 al 98%

Procedimiento

- Preparación de reactivos:

- a) Disolución de $K_2Cr_2O_7$ 1N

- * Se pesan 49.04 g de $K_2Cr_2O_7$,previamente secados durante 2 horas a 105°C y enfriados en un desecador. Se afora a 1 litro con agua destilada.

- b) Disolución de $FeSO_4$ 0.5 N

- * Se disuelven 140 g de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ en 800 ml de agua destilada y se añaden 40 ml de H_2SO_4 concentrado. Se enfría y se afora a 1 litro con agua destilada.

- c) Disolución de difenilamina.

- * Se pesan 1.09 g de difenilamina y se disuelve con 100 ml de H_2SO_4 .

- d) Preparación de la disolución blanco

- * Se añaden 5 ml de la disolución de $K_2Cr_2O_7$ 1N a 7.5 ml de H_2SO_4 .

- * Se agita la mezcla durante un minuto y se deja en reposo por 30 minutos.

- * Se agregan 100 ml de agua destilada.

- * Se agita la mezcla.

- * Se añaden 2.5 ml de ácido fosfórico al 95% , ya que éste ayuda al vire

- * Se enfría la mezcla y después se añade 0.5 ml de la disolución indicadora de difenilamina .

- * Se titula gota a gota con la disolución de sulfato ferroso hasta que vire la coloración de la disolución de violeta obscuro a un verde manzana, agitando durante la valoración con un agitador magnético.

Por medio de la determinación experimental del volumen gastado de sulfato ferroso se determina su normalidad empleada en los cálculos (fórmula No. 2 en cálculos)

Este volumen indica la cantidad consumida de sulfato ferroso para reducir al dicromato de potasio

- Titulación de la muestra problema

- * Se pesan 0.5 g de una muestra de suelo .[51]

- * Se transfiere a un matraz de 250 ml.

- * Añadir 5 ml de la disolución de $K_2Cr_2O_7$ y 7.5 ml de H_2SO_4 conc con agitación vigorosa durante 1minuto.

- * Dejar en reposo por 30 minutos

- * Se añaden 100 ml de agua destilada y 2.5 ml de ácido fosfórico. Se enfría la mezcla y después se agregan 0.5 ml de disolución de difenilamina.[63]

- * Se titula gota a gota la disolución problema con la disolución de sulfato ferroso hasta que vire de violeta obscuro a un color verde manzana

Si mas de 4 ml de $K_2Cr_2O_7$ son reducidos , se repite la determinación usando menor cantidad de suelo

En general, se considera que son adecuados para el cultivo los suelos que contienen de un 2 a 3 % de materia orgánica total, y pobres en materia orgánica si tienen un porcentaje menor a un 2%.

Cálculos:

$$\% \text{ Materia orgánica} = \frac{(\text{Vol FeSO}_4 \text{ blanco} - \text{Vol FeSO}_4 \text{ muestra}) \times \text{N FeSO}_4 \times 0.003 \times 1.33 \times 1.72 \times 100}{\text{peso muestra}}$$

$$\text{Normalidad FeSO}_4 = \frac{(\text{N K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) \times (\text{Volumen K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)}{(\text{Volumen FeSO}_4 \text{ blanco})}$$

donde :

0.003 = peso en miliequivalentes de carbón.

1.33 = factor de corrección a 100% de efectividad del método, suponiendo que este es sólo efectivo a un 75 % .

1.72 = factor de transferencia de carbón orgánico a materia orgánica, suponiendo que por cada 100 g de materia orgánica, un 58% corresponde al carbón orgánico.

2.7 - Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico Total (C.I.C.T)

El valor de la C.I.C.T es un indicativo del tipo de mineral que se encuentra en el suelo y de su proceso de formación. Se considera la segunda propiedad química mas importante a determinar en pruebas para análisis de suelo. [37]

2.7.1 - Método de Lixiviación con Acetato de Amonio

Material y Equipo

- Matraces de 1 litro
- Agitador de vidrio
- pHmetro con electrodos (referencia e indicador)
- Balanza
- Tubos para centrifuga
- Centrífuga
- Matraces Kjeldahl de 800 ml
- Sistema de destilación
- Bureta de 25 ml
- Agitador magnético

Reactivos

- Disolución extractora de acetato de amonio 1 N a pH=7

Se diluyen 57 ml de ácido acético glacial en 400 ml de agua destilada. Posteriormente se añaden 68 ml de hidróxido de amonio a esta disolución. Se ajusta el pH a 7, ya sea con ácido acético glacial o hidróxido de amonio según lo requiera el pH de la disolución. Al final se afora a 1000 ml con agua destilada.

- Alcohol etílico al 95%
- Indicador mixto

Se disuelven 0.1 g de rojo de metilo y 0.5 g de verde-bromocresol en 100 ml de alcohol etílico al 95%. Se ajusta el pH de la disolución a 4.5 con NaOH o HCl .

- HCl 0 1 N

A 8.02 ml de HCl al 36%, se le agrega agua destilada hasta aforar a un litro. Se determina su normalidad con carbonato de sodio.

- Cloruro de sodio al 10%

Se disuelven 100 g de NaCl en 750 ml de agua destilada. Posteriormente se ajusta el pH a 2 5 con HCl y se afora a un litro con agua destilada

- Oxido de magnesio U.S P
- Acido bórico al 4%

Se pesan 40 g de ácido bórico y se disuelven en 500 ml de agua destilada a ebullición Se enfría y se afora la disolución a un litro con agua destilada

Procedimiento

- Se pesan 4 gramos de suelo de textura mediana o fina o 6 g para suelos de textura gruesa.
- Se coloca la muestra de suelo en un tubo de ensayo para centrifuga y se añade 25 ml de la disolución extractora de acetato de amonio 1N.
- Se agita la suspensión y se deja reposar 30 minutos.
- Se centrifuga a 2,000 rpm durante 5 minutos o hasta que el líquido sobrenadante tenga una coloración clara.
- Se decanta el líquido sobrenadante evitando que contenga muestras de suelo. Para ello se puede recurrir a una filtración.
Cabe señalar que este sobrenadante contiene diversos cationes en disolución: Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ y H^+ . De este filtrado se pueden determinar la cantidad de Na^+ y K^+ por espectrofotometría de emisión de flama, mientras que el Ca^{2+} y Mg^{2+} son determinables por métodos volumétricos o por espectrofotometría de absorción atómica. [44]
- El suelo que queda en el tubo de centrifuga se lava 4 veces con 30 ml de alcohol etílico (que no contenga ácidos orgánicos ni electrolitos) y posteriormente se transfiere esta muestra de suelo a un matraz Kjeldahl.
- Se añaden 40 ml de una disolución de NaCl al 10% a pH=2.5.
- A esta suspensión se le agregan 0.5 g de magnesia calcinada y 150 ml de agua destilada. Agitar.
- Se destila la suspensión. El destilado se recibe en 40 ml de ácido bórico al 4 %.
- Se agrega al destilado el indicador mixto y se procede a titular la disolución con HCl 0.1 N. [2,63,78]

Cálculos

Los resultados obtenidos se reportan en meq de cationes intercambiables / 100 g de suelo .

$$(1) \text{ CICT meq} = \frac{\text{V olumen HCl} \times \text{Normalidad HCl} \times 100}{100 \text{ g de suelo} \times \text{peso muestra}}$$

2.8 - Determinación de Cationes Intercambiables

2.8.1 - Determinación de Calcio Intercambiable

Para llevar a cabo la determinación de calcio en este análisis de suelo, se empleó el método basado en la precipitación con oxalato de amonio y posterior valoración con KMnO_4 , en el que se trabaja con una alícuota del extracto obtenido en la capacidad de intercambio catiónico total (CICT), la cual contiene Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ .

Recordemos que en este extracto se considera que no hay materia orgánica ni granos gruesos de formas minerales de calcio, como yeso o carbonatos, ya que, en la centrifugación se dio lugar a su floculación y separación de éstos del extracto CICT, por lo cual el calcio a determinar corresponde solamente a la fracción asimilable para un cultivo, que es la fracción de interés agronómico, y no la fracción de calcio total contenida en el suelo conocida como calcio activo, que resulta de menor interés.

También existen muchos métodos analíticos para hacer esta determinación, por ejemplo, a partir de otros métodos volumétricos, por fotometría de emisión de llama y por espectrofotometría de absorción atómica. [44, 83]

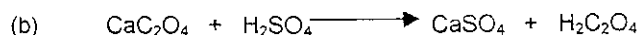
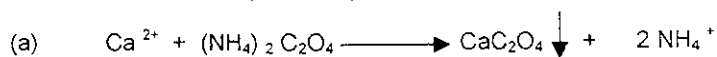
2.8.1.1 - Método de Determinación de Calcio por Precipitación con Oxalato

Fundamento

El fundamento que sigue el método de precipitación con oxalato es el siguiente

- Llevar a cabo la precipitación de Ca^{2+} del extracto de CICT de suelo con oxalato de amonio
- Valoración del ion oxalato con permanganato de potasio y determinación de la cantidad de calcio extraída. [83]

Este fundamento se representa por medio de las siguientes tres ecuaciones



Material y Equipo:

- Matraces de Erlenmeyer de 1 L
- Frasco ámbar
- Agitador de vidrio
- Balanza
- Estufa
- Vasos de precipitados de 250 ml
- Parrilla de calentamiento
- Papel filtro de poro medio de 9 cm de diámetro
- Bureta
- Pipetas graduadas
- Agitador magnético

Reactivos

- Disolución precipitante

Se disuelven 35 ml de hidróxido de amonio con 20 g de ácido cítrico, 20 g de oxalato de amonio, 20 g de cloruro de amonio, 100 g de urea y 900 ml de agua destilada. Mezclar la disolución.

- Hidróxido de amonio
- Acido Sulfúrico al 10%
- Permanganato de potasio 0.1N

Se disuelven 15.8 g de permanganato de potasio en 150 ml de agua destilada caliente (aproximadamente a 60°C) bajo agitación durante media hora. Posteriormente se afora a un litro con agua destilada hervida y enfriada. Se guarda en un frasco ámbar o se deja reposar de 24 horas a 3 días para asegurar la oxidación total de la posible materia orgánica presente y también para promover la sedimentación del óxido de manganeso formado. Se procede a filtrar la disolución y se guarda en otro frasco ámbar limpio y seco.

- Oxalato de sodio R.A.

Se seca el oxalato de sodio en una estufa a 110°C durante 1 ó 2 horas y posteriormente se guarda en un desecador.

Procedimiento

Precipitación de oxalato de calcio

- Se toman 5 ml de alícuota de extracto obtenida en la CICT y se vierten en un vaso de precipitados de 250 ml.
- Se añaden 10 ml de la disolución precipitante.
- Se mezcla la disolución y se calienta a ebullición ligera durante una hora
- Concluido este tiempo, se enfría y se añaden 5 gotas de amoniaco en agua. Mezclar.
- Filtrar la disolución y el precipitado de oxalato de calcio a través de un papel filtro de poro medio.
- Lavar 3 veces con agua destilada caliente el vaso donde se efectuó la precipitación y 7 veces el precipitado en el filtro.
- El filtrado se guarda para la posterior determinación de magnesio.

Valoración con permanganato de potasio

- El filtro y el precipitado se agregan al vaso de precipitados. Se añaden 10 ml de ácido sulfúrico en disolución acuosa al 10%.
- Se titula esta suspensión con permanganato de potasio 0.1N hasta que la disolución tome un color rosa durante 30 segundos

Cálculos

$$\text{meq Ca} / 100 \text{ g de suelo} = V \text{ KMnO}_4 \times N \text{ KMnO}_4 \times 125$$

Donde $V =$ Volumen probable KMnO_4 (en mililitros)

$N =$ Normalidad KMnO_4

$125 = 100 \text{ g suelo} \times 25 \text{ ml del extracto} / 4 \text{ g suelo} \times 5 \text{ ml alícuota}$

2.8.2 - Determinación de Magnesio Intercambiable

2.8.2.1 - Método para la Determinación de Magnesio por Complejometría

Este método es el empleado debido a la sencillez y rapidez que ofrece como método analítico, por lo cual es de los más utilizados para determinar magnesio en el laboratorio.

En este método se toma una alícuota de 5 ml de la disolución extractora de CICT, de la cual se determina el calcio y magnesio. Posteriormente se determina la cantidad de magnesio restando el valor de calcio antes determinado.

Fundamento :

La determinación del magnesio del extracto filtrado por valoración con EDTA utilizando como indicador el negro de ericromo T



Material y Equipo

- Matraces aforados de 1 litro
- Estufa
- Desecador
- Balanza
- pHmetro
- Agitador magnético
- Bureta
- Parrilla de agitación.

Reactivos.

Disolución de EDTA 0.02 N

- Se desecan 5 g de sal disódica de EDTA en estufa a 60°C y se enfrían en el desecador
- Se disuelven 3.722 g de la sal en agua destilada y se afora a 1 litro. La disolución se valora contra una disolución de MgCl_2 1N usando como indicador el negro de ericromo T

Disolución Reguladora a pH=10

- Disolver 67.5 g de cloruro de amonio en 200 ml de agua destilada, agregar 570 ml de amoniaco en agua, 60 ml de ácido sulfúrico concentrado, diluir a un litro con agua destilada y ajustar a pH=10

Disolución indicadora de negro de ericromo T

- Pesar 0.2 g de indicador y 2 g de clorhidrato de hidroxilamina.
- Disolver en 50 ml de alcohol metílico.

Hidróxido de amonio

Acido clorhídrico concentrado

Procedimiento

- Mezclar 5 ml del extracto CICT con 5 gotas de la disolución indicadora y 2 ml de la disolución reguladora .
- Agitar durante 2 minutos y valorar con EDTA 0.02 N .

Cálculos

$$\text{meq de (Ca + Mg) / 100 g de suelo} = \text{Volumen}_{\text{EDTA}} \times \text{N}_{\text{EDTA}} \times 125$$

$$\text{meq de Mg/ 100 g suelo} = \text{meq de (Ca + Mg) / 100 g suelo} - \text{meq de Ca/100 g suelo}$$

$$\text{Volumen}_{\text{EDTA}} = \text{Volumen}_{\text{muestra EDTA}}$$

$$\text{N}_{\text{EDTA}} = \text{Normalidad}_{\text{EDTA}} = 0.02 \text{ N}$$

2.8.3 - Determinación de Sodio y Potasio

2.8.3.1 - Determinación de Sodio y Potasio por Flamometría

Fundamento:

El fundamento por medio del cual se determina el contenido de sodio y potasio en el suelo se basa en los siguientes procesos

- Extracción de estos cationes con acetato de amonio 1 N a pH=7
- Determinación del contenido de estos cationes en el extracto a su longitud de onda correspondiente por medio de fotometría de llama. [9,83]

Material y Equipo

- Matraces aforados de 1 litro
- Agitador de vidrio
- Balanza analítica
- Matraces aforados de 100 ml
- Probetas de 100 y 1000 ml
- Vasos de precipitados
- Embudo de vidrio
- Papel filtro Whatman No. 42
- Pipetas volumétricas
- Tubos de ensayo
- Celdas de vidrio para el fotómetro
- Flamómetro

Reactivos:

- Disolución extractora de suelo CICT en acetato de amonio pH=7
- Disolución estándar de potasio de 10 meq/L

Pesar 0.745 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.

De la disolución de 10 meq/L de potasio se toman diferentes alícuotas para tener un intervalo de 0 a 10 meq. Se pasan a diferentes matraces volumétricos de 100 ml y se aforan con acetato de amonio 1 N a pH=7. Se agitan y se toman las lecturas en el flamómetro.

- Disolución estándar de Sodio de 10 meq/L

Se pesan 0.585 g de NaCl en un vaso de precipitados y se disuelven en 50 ml de agua destilada. Posteriormente se afora a 1000 ml con agua destilada.

De la disolución de 10 meq/L de sodio se toman diferentes alícuotas que tengan entre 0 a 10 meq/L y se pasan a matraces volumétricos de 100 ml y se aforan con acetato de amonio 1N a pH=7, se agitan y se toman las lecturas en el flamómetro

Procedimiento

Determinación de potasio

* Se vierte el extracto de CICT en una celda para flamómetro

Es necesario que antes de la determinación de potasio de la muestra problema, se ajuste el aparato en 0 con agua destilada y a 100 con una disolución de 10 meq/L de KCl. La longitud de onda para el potasio en el flamómetro es a 768 nm

De la misma manera se toman las lecturas para las muestras preparadas de la disolución estándar que contienen de 0 a 10 meq/L de KCl

Después de tomar estas lecturas, se toma la lectura en el flamómetro de la muestra problema.

Cálculos

- Se traza una curva patrón con las lecturas a diferentes concentraciones medidas en el flamómetro de la disolución estándar de potasio. En el eje de las ordenadas se representa el % de emisión. En el eje de las abscisas se pone de 0 a 10 meq/L de potasio.
- Se interpola la lectura de la muestra de suelo para conocer los meq/L de potasio presentes.
- Es necesario ajustar los meq totales para los 100 gramos de suelo.

$$\frac{\text{meq K}}{100 \text{ g suelo}} = \text{meq/L de KCl} \times 0.625$$

Determinación de Sodio

La celda del flamómetro con el extracto CICT se usa para la determinación de sodio. 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 una disolución de 10 meq/L de NaCl. Se hacen lecturas de la muestra y las disoluciones estándar a una longitud de onda de 589 nm.

Cálculos

- Se hace una curva patrón para sodio utilizando los valores determinados a concentraciones conocidas de las alícuotas de disolución estándar. En el eje de las ordenadas se grafica el % de emisión, y en las abscisas de 0 a 10 meq de sodio.
- Posteriormente se interpola la lectura del flamómetro de la muestra de suelo a la concentración de meq/L de sodio correspondiente.
- Es necesario ajustar los meq totales para los 100 gramos de suelo [51,64,83]

$$\frac{\text{meq Na}}{100 \text{ g suelo}} = \text{meq / L de NaCl} \times 0.625$$

2.9 - Determinación del Contenido de Nitrógeno como Nitratos

Fundamento:

- I) Extracción de los nitratos con una disolución de acetato de sodio.
- II) Cuantificación espectrofotométrica por determinación colorimétrica de un compuesto formado entre los nitratos extraídos y brucina a una longitud de onda de 530 nm. [83]

Material y Equipo

- Matraces Kitasato
- Matraces aforados de un litro
- Agitador de vidrio
- Balanza analítica
- Espátula
- Matraces Erlenmeyer
- Agitador magnético con parrilla de agitación
- Embudo Büchner
- Papel filtro
- Bomba de vacío
- Tubo de ensayo
- Gotero
- Recipiente para hielo
- Celdas para espectrofotómetro
- Espectrofotómetro

Reactivos

- Disolución extractora de nitratos

Se disuelven 100 g de acetato de sodio en 400 ml de agua destilada y se agregan 30 ml de ácido acético glacial. Aforar a 1000 ml con agua destilada.

- Disolución estándar de nitratos de 5 ppm

Se disuelven 0.0082 g de nitrato de potasio en 1 L de la disolución extractora. Esta disolución contiene 5 ppm de NO_3^- . Se toman alícuotas para hacer la curva patrón que contengan de 0.5 a 2 ppm de NO_3^- .

- Disolución de brucina al 4 % en cloroformo
- Acido sulfúrico concentrado
- Carbón activado

Nota: El uso de brucina y cloroformo deben de efectuarse en una campana y con todas las precauciones pertinentes debido a la toxicidad de ambos reactivos.

Procedimiento

Extracción

- Se pesan 10 g de suelo previamente secado al aire y tamizados
- En un matraz Erlenmeyer se añaden 50 ml de la disolución extractora y carbon activado

- Se agita la disolución por 30 minutos.
- Se filtra a través del embudo Büchner y se afora con agua destilada a 100 ml

Determinación de N en forma de nitratos

- En un tubo de ensayo se adicionan 2 ml de esta disolución, se agregan unas gotas de brucina y 4 ml de H_2SO_4 concentrado, adicionándolos por las paredes del tubo sumergidos en hielo
- Agitar
- Se vierte esta disolución a una celda para tomar la lectura en el espectrofotómetro a una longitud de onda de 530 nm.
Esta lectura se realiza después de haberse calibrado el aparato y determinado las lecturas de las alícuotas de la curva patrón.

Curva Patrón

- Se toman alícuotas de 0.5 a 2 ppm de NO_3^- . Cada una está contenida en un tubo de ensayo, a los cuales se les añaden unas gotas de brucina y 4 ml de H_2SO_4 llevando a 6 ml con agua destilada.
- Se calibra el aparato en cero con una alícuota blanco (2 ml de disolución extractora + gotas de brucina + 4 ml H_2SO_4) y se ajusta en 100 con otra disolución que contiene lo mismo que la anterior y la alícuota que contiene 2 ppm de nitrato de potasio llevando a 6 ml con agua destilada
- Después de determinadas estas lecturas, se procede a determinar el valor de la muestra problema. [51, 63]

Cálculos

- 1) Se traza la curva. En el eje de ordenadas se grafica el % de transmitancia y en el eje de las abscisas se grafican las ppm de NO_3^- correspondientes
- 2) Se interpola las ppm de la muestra problema a partir de la determinación de su % de transmitancia.
- 3) Se determina las ppm del NO_3^-

$$\text{ppm de } NO_3^- = \text{ppm de } NO_3^- \text{ por interpolación} \times 2.5$$

2.10 - Determinación de Fósforo

2.10.1 - Método de Olsen

Fundamento

Este método se emplea para la determinación de fósforo en suelos neutros, alcalinos o calcáreos que contengan fosfato de calcio.

El fundamento que sigue este método es el siguiente:

- I) Extracción del fósforo asimilable del suelo con bicarbonato de sodio para dar lugar a la disociación de iones ortofosfato en el filtrado.
- II) Formación de un complejo intermediario (ácido fosfomolibdico) como resultado de la reacción entre el ácido cloromolibdico, y el ácido fosfórico de la disolución extraída.
- III) Formación de un segundo complejo colorido azul (ácido fosfomolibdico de estaño) como resultado de la reacción entre el ácido fosfomolibdico y el cloruro estanoso (catalizador y estabilizante de color). La intensidad de color de este complejo es proporcional a la cantidad de fósforo y de esta forma es cuantificable espectrofotométricamente a una determinada longitud de onda.

Esta es una reacción redox en la cual el Mo^{6+} se reduce a Mo^{3+} (color azul) y el Sn^{2+} se oxida a Sn^{4+} . [9, 51]

Material y Equipo

- Matracas aforados de 1 L
- Espátula
- Balanza analítica
- Parrilla de calentamiento
- Agitador de vidrio
- Papel filtro Whatman No. 40
- Espectrofotómetro
- Embudo de 8 cm de diámetro
- Pipetas graduadas de 5 ml
- Probeta de 100 ml
- Matracas aforados de 100 ml
- Vasos de precipitados de 500 ml
- Celdas para espectrofotómetro
- Espectrofotómetro

Reactivos

- Bicarbonato de sodio 0.5 M

Se pesan 42 g y se afora a un litro con agua destilada ajustando a un pH de 8.5 con NaOH 1M

- Carbón activado
- Acido cloromolibdico

Se disuelven 15 g de molibdato de amonio tetrahidratado y se disuelven en 300 ml de agua destilada caliente

Posteriormente se filtra para eliminar impurezas y sedimentos. Se enfría la disolución y se adiciona 350 ml de HCl concentrado. Se agita la disolución y se afora a 1000 ml con agua destilada

- **Acido cloroestanosos**

Se disuelven 22.49 g de $\text{SnCl}_2 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$ en 25 ml de HCl concentrado y se afora a 500 ml de agua destilada. La concentración de la disolución es 0.2 M.

- **Disolución estándar de fósforo de 10 ppm**

Se pesan 0.04389 g de KH_2PO_4 y se solubilizan en 500 ml de agua destilada. Se agita la disolución y se afora a 1 L. La disolución contiene 10 ppm de fósforo. Se preparan alícuotas que contengan de 1 a 10 ppm.

Procedimiento

1) Extracción

- A 2g de suelo se le agregan 20 ml de disolución de bicarbonato de sodio. Se agrega la punta de una espátula chica con carbón activado y se agita la suspensión. Se deja en reposo por 30 minutos.
- Se filtra la disolución a través de un papel filtro Whatman No. 40. Si el filtrado no es claro, se agrega otra punta de espátula con carbón activado y se vuelve a filtrar.
- Se toman 5 ml del filtrado, se colocan en un tubo de ensayo y se agrega HCl hasta que ya no haya desprendimiento de CO_2
- Se agrega 1 ml de ácido cloromolibdico, se agita y se adiciona 0.1 ml de ácido cloroestanosos
- Se deja reposar la solución durante 10 minutos y mientras se procede a calibrar el espectrofotómetro y determinar el % de Transmitancia de las alícuotas para la curva patrón

Curva patrón

- Se calibra el espectrofotómetro en cero con un blanco (5 ml de bicarbonato de sodio + 1 ml de ácido cloromolibdico + 0.1 ml de ácido cloroestanosos y HCl para eliminar el CO_2 desprendido y posteriormente aforando a 10 ml) y en 100 con otra disolución (lo mismo que la anterior y la alícuota de 10 ppm de fósforo fosfato aforando a 10 ml)
- A cada alícuota de 1 a 10 ppm se le adicionan 1 ml de ácido cloromolibdico, 0.1ml de ácido cloroestanosos y HCl aforando a 10 ml. Se determina la transmitancia a una longitud de onda de 660 nm.

Muestra problema

- Después de 10 minutos de reposada la disolución problema, se determina el % de transmitancia de una alícuota de volumen conocido en un espectrofotómetro. Es necesario que el valor de transmitancia de ésta entre dentro de la escala de la curva patrón. De no ser así, habrá que diluir la muestra o concentrar la muestra, según lo requiera [9,17,51]

Cálculos

- Se traza una curva patrón , en donde el valor de porciento de transmitancia va en el eje de las ordenadas y sus respectivas concentraciones de 1 a 10 ppm de fósforo de fosfatos en el eje de las abscisas.
- Se interpola el % de transmitancia de la disolución problema en la curva patrón para determinar su concentración en ppm.

$$\text{ppm de P} = \text{ppm P por interpolación} \times 2$$

2.10.2 - Método de Bray- Kurtz

Fundamento:

- I) Extracción del ion ortofosfato presente con NH_4F .
(se complejan los cationes de fierro y aluminio , liberándose el fosfato que en presencia de HF dá lugar al ácido fosfórico)
- II) Formación del complejo intermediano de fosfomolibdato
(como resultado de la reacción entre el ácido fosfórico generado con el molibdato de amonio tetrahidratado)
- III) Cuantificación espectrofotométrica del fósforo por medio de la determinación colorimétrica de un segundo complejo formado (fosfomolibdato de estaño) , cuya intensidad de color es proporcional al contenido de fósforo.
La formación de este complejo así como su coloración emitida es resultado de una reacción rédox entre el fosfomolibdato y el cloruro estano, donde el Mo^{6+} se reduce a Mo^{3+} y el Sn^{2+} se oxida a Sn^{4+} [9, 51, 63, 83]

Material y Equipo

- Matracas aforados de 1 L
- Matracas Erlenmeyer
- Agitador de vidrio
- Balanza analítica
- Embudo de filtración
- Papel filtro Whatman No. 40
- Tubo de ensayo
- Vasos de precipitados de 500 ml
- Probetas de 100 ml
- Pipetas graduadas de 5 ml
- Celdas para el espectrofotómetro
- Espectrofotómetro.

Reactivos

- Disolución base de fluoruro de amonio 1N

Se disuelven 37 g de NH_4F en la mínima cantidad de agua y se afora a 1000 ml con agua destilada.

- Disolución extractora

Se diluye en agua 30 ml de disolución 1N de NH_4F en 50 ml de HCl 0.5 N y se afora con agua destilada a 1000 ml La disolución tiene una concentración 0.03 N de NH_4F y 0.025 N de HCl

- Disolución de molibdato de amonio

Se disuelven 15 g de molibdato de amonio tetrahidratado en 400 ml de agua destilada . Agregar 350 ml de HCl 10 N lentamente y con agitación. Se deja enfriar la mezcla para posteriormente aforar a 1000 ml con agua destilada

- Disolución de HCl 0.5 N

Tomar 125 ml de HCl 4 N y aforar a 1000 ml.

- Disolución estándar de fósforo de 10 ppm.

Se disuelven 0.04389 g de KH_2PO_4 en la disolución extractora y se afora con agua destilada a 1000 ml. La disolución contiene 10 ppm de fósforo.

- Acido cloroestano

Disolver 25 g de $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en 50 ml de HCl concentrado y aforar a 500 ml con agua destilada.

Procedimiento

- Se pesa 2 g de suelo y se coloca en un matraz de Erlenmeyer, se añade carbón activado y se adicionan 20 ml de la disolución extractora. Se agita la suspensión para posteriormente filtrarse sobre un papel Whatman No. 40. Se repite el procedimiento si el filtrado no es claro.
- El filtrado se recibe en un tubo de ensayo. De éste se toma una alícuota de 1 ml, se agregan 6 ml de agua destilada y 2 ml de disolución de molibdato y se agita (en este momento el molibdato reacciona con el fósforo dando lugar al complejo fosfomolibdato).
- Se agrega 1 ml de ácido cloroestano. Al adicionar el reactivo se forma un complejo azul, cuya intensidad es proporcional a la cantidad de fósforo presente. Se agita la disolución y se deja reposar durante 10 minutos.
- Mientras la disolución problema se encuentra en reposo, se determina el % de transmitancia para las alícuotas que conforman a la curva patrón a una longitud de onda de 660 nm.

Curva patrón

Se preparan alícuotas de 0 a 10 ppm a partir de la disolución estándar de fosfato. A cada una se le agregan 2 ml de disolución de molibdato ácido, 1 ml de ácido cloroestano aforando a 10 ml con agua destilada.

Cálculos

- 1) Se traza la curva. En el eje de las ordenadas se grafica el % de transmitancia y en el eje de las abscisas se grafican las ppm de P correspondientes a las alicuotas de 1 a 10 ppm de P.
- 2) Se interpolan las ppm de la muestra problema a partir de la determinación de su % de transmitancia.
- 3) Para determinar el contenido de fósforo en el suelo , se realiza la siguiente ecuación:

$$\text{ppm de P} = \text{ppm P por interpolación} \times 10$$

2.11 - Determinación de Sales Solubles

Las sales solubles en suelos refiere a los constituyentes inorgánicos del suelo solubles en agua que pueden utilizarse como nutrientes. Dentro de esta clasificación figuran cationes, como Na^+ , K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} y aniones como Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} entre otros.

2.11.1 - Determinación por Conductividad Eléctrica

Se determina la conductividad eléctrica (CE) del extracto, la cual se reporta en mmho/cm.

Fundamento

El método se basa en la determinación de la CE de un extracto acuoso de suelo. La estrecha relación que existe entre la CE y la concentración salina nos permite determinar el contenido total de sales solubles presentes.

Material

- Puente Wheatstone de corriente alterna
- Termómetro
- Espátula
- Matraz Kitasato
- Embudo Büchner
- Papel filtro Whatman # 2
- Tubos de ensayo
- Soporte para sistemas de filtración
- Bomba de vacío
- Pipeta conductimétrica

Reactivos

- Disolución 0.01 N de KCl

Procedimiento

Preparación de la pasta saturada

- Pesar 250 g de suelo y agregar agua destilada hasta saturación. Agitar con una espátula
- Al saturarse la pasta brilla por reflexión de la luz y fluye ligeramente si se inclina el recipiente y se desliza fácilmente la espátula.
- Se deja en reposo la pasta durante 2 horas, verificando frecuentemente la saturación. Este criterio indica que no debe haber acumulación de agua en la superficie y no debe perder su brillo o endurecerse durante el reposo, agregando más agua o en caso contrario, agregando más suelo
- Se filtra la pasta saturada en un embudo Büchner con papel filtro N° 2
- Se colecta el extracto en un tubo de ensayo. Si el filtrado es turbio se vuelve a filtrar
- Se determina la CE de la disolución estándar de cloruro de potasio a la temperatura (T) TABLA No. 11
- Se determina la CE del extracto en una pipeta conductimétrica limpia y seca
- Se registra la temperatura durante la medición y se hace la corrección de la temperatura a 25°C como se indica en la TABLA No. 12

Cálculos

(1) DETERMINACIÓN DE LA K DE LA CELDA

$$K = L / C$$

donde L = Conductividad eléctrica específica de la disolución estándar de cloruro de potasio (KCl) 0.01M , a la temperatura (T) leída.

Ver TABLA No. 11

C = Conductividad eléctrica de las disoluciones estándar de cloruro de potasio (KCl) 0.010 M medida en la celda.

Temperatura °C	Conductividad eléctrica (mmho/cm)	Temperatura °C	Conductividad eléctrica (mmho/cm)
15.0	1.141	23.0	1.353
16.0	1.167	24.0	1.380
17.0	1.193	25.0	1.408
18.0	1.219	26.0	1.435
19.0	1.246	27.0	1.463
20.0	1.273	28.0	1.490
21.0	1.299	29.0	1.518
22.0	1.326	30.0	1.546

TABLA No. 11 - Conductividad eléctrica de la disolución estándar de cloruro de potasio (KCl) 0.010 M a la Temperatura (T)

(2) Posterior al cálculo de la K de la celda, se determina la conductividad eléctrica del extracto acuoso de la siguiente forma:

$$CE_{25} = CE_t \times F_t$$

CE_{25} = Conductividad eléctrica a 25 °C

CE_t = Conductividad eléctrica a la Temperatura (T)

F_t = Factor de corrección correspondiente a la Temperatura(T).

Consultar TABLA No. 12

(3) La determinación final de la CE de determina por medio de la siguiente ecuación:

$$CE = CE_{25} \times K_{\text{celda}}$$

Obtenido el valor de K se procede al cálculo de CE , descrito anteriormente

° C	F _t	° C	F _t	° C	F _t
3.0	1.709	18.0	1.163	33.0	0.858
4.0	1.660	19.0	1.136	34.0	0.843
5.0	1.613	20.0	1.112	35.0	0.829
6.0	1.569	21.0	1.087	36.0	0.815
7.0	1.528	22.0	1.064	37.0	0.801
8.0	1.488	23.0	1.043	38.0	0.788
9.0	1.448	24.0	1.020	39.0	0.775
10.0	1.411	25.0	1.000	40.0	0.763
11.0	1.375	26.0	0.979	41.0	0.750
12.0	1.341	27.0	0.960	42.0	0.739
13.0	1.309	28.0	0.943	43.0	0.727
14.0	1.277	29.0	0.925	44.0	0.716
15.0	1.247	30.0	0.907	45.0	0.705
16.0	1.218	31.0	0.890	46.0	0.694
17.0	1.189	32.0	0.837	47.0	0.683

TABLA No. 12 - Factor de corrección correspondiente a la Temperatura (T)

Una clasificación de suelos generalizada en función de su conductividad eléctrica se indica en la siguiente TABLA.No. 13

Conductividad eléctrica del extracto de saturación mmho/cm	Efectos de salinidad sobre los cultivos
0 - 2	Efectos despreciables de la salinidad
2 - 4	Los rendimientos de los cultivos muy sensibles pueden ser restringidos
4 - 8	Los rendimientos de muchos cultivos son restringidos
8 - 16	Sólo cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente
> 16	Muy pocos cultivos tolerantes rinden satisfactoriamente

TABLA No. 13 - Clasificación de suelos en función de su conductividad eléctrica

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA Y PESQUERÍA
 INSTITUTO NACIONAL DE ESTADÍSTICA Y CENSOS

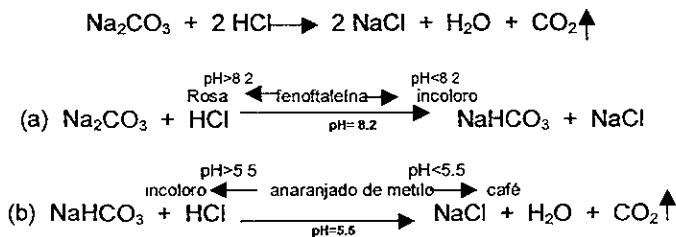
2.11.2 - Determinación de Carbonatos y Bicarbonatos

El método de cuantificación utilizado es la determinación por *titulación volumétrica*.

Fundamento

- I. Extracción de los carbonatos y bicarbonatos de una muestra de suelo por medio de la preparación de una pasta saturada de suelo. Esta técnica se explicó detalladamente en la determinación de la CE de suelo.
- II. Determinación volumétrica de los carbonatos presentes por medio de la valoración con ácido clorhídrico diluido en presencia de fenoftaleína.
- III. Determinación volumétrica del bicarbonato presente por medio de la valoración con ácido clorhídrico diluido en presencia de anaranjado de metilo.

Las reacciones químicas por medio de las cuales se ejemplifica este fundamento son las siguientes:



[1,3, 17 y 18]

Material y Equipo

- Matraces aforados de 1 L
- Bureta de 50 ml
- Agitador magnético
- Parrilla de agitación
- Pipetas volumétricas de 5 ml
- Vaso de precipitados de 125 ml
- Soporte universal
- Pinzas de tres dedos
- Gotero
- Matracas Erlenmeyer

Reactivos

- Fenoftaleína al 1% en etanol al 60%
- Anaranjado de metilo al 0.01 %
- HCl 0.01 N

Se toma 1 ml de una disolución al 38% de HCl aforándose a 1 L con agua destilada. Esta disolución se valora contra Na_2CO_3 . [9, 17, 51]

Procedimiento

Determinación del contenido de carbonatos

- Después de extraer el filtrado de la pasta saturada de suelo se toma una alícuota de 5 ml y se adiciona a un matraz Erlenmeyer.
- Se agregan unas gotas de fenoftaleína y se agita. Si la disolución se torna rosa, adicionar HCl 0.01 N con la bureta hasta que la disolución se tome incolora. A este volumen se le conocerá como V_1 .
- A la disolución ya incolora se le añaden 2 gotas del indicador de anaranjado de metilo y se titula hasta que sea constante la coloración canela durante 30 segundos. Este volumen será V_2 .

Nota: En caso de que la disolución no se torne rosa al adicionar la fenoftaleína, se agrega el indicador de anaranjado de metilo. Esto indicará que no hay presencia de carbonatos y por lo tanto sólo se determinará el bicarbonato presente.

Cálculos:

$$\frac{\text{meq CO}_3^{2-}}{\text{L}} = \frac{2V_1 \times N \times 1000}{5 \text{ ml}}$$

$$\frac{\text{meq HCO}_3^-}{\text{L}} = \frac{(V_2 - 2V_1) \times N \times 1000}{5 \text{ ml}}$$

Donde N= Normalidad de HCl

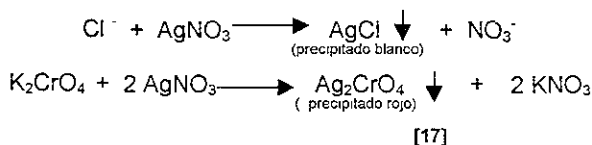
2.11.3 - Determinación de Cloruros

El método de determinación a emplear es la *titulación volumétrica* con nitrato de plata. La cuantificación de cloruros en un extracto de suelo requiere de la previa eliminación de carbonatos presentes. Por ello se puede utilizar la disolución del experimento pasado en el que solo hay presencia de bicarbonatos.

Fundamento:

- I. Titulación volumétrica de cloruros en disolución con nitrato de plata para resultar en un precipitado de cloruro de plata
- II. Titulación volumétrica de cromato de potasio y nitrato de plata para resultar en un precipitado rojizo (cromato de plata) como indicativo de la ausencia de cloruros en disolución y por lo tanto el final de la determinación. [44]

Las reacciones químicas por medio de las cuales se ejemplifica este fundamento son:



Material y Equipo

- Matraces aforados de 1 L
- Balanza analítica
- Frasco ámbar
- Embudo de filtración
- Papel filtro
- Vaso de precipitados de 250 ml
- Bureta
- Agitador magnético
- Parrilla de agitación
- Gotero
- Pipetas volumétricas
- Matraces Erlenmeyer

Reactivos

- Disolución de cromato de potasio al 5%

Se disuelven 5 g de cromato de potasio en 50 ml de agua destilada. Se agrega gota a gota el nitrato de plata 1N hasta que se produzca un precipitado ligeramente rojizo y estable. Filtrar y diluir a 100 ml.

- Disolución de nitrato de plata 0.05 N

Se disuelven 8.495 g de nitrato de plata en 1 L de agua destilada y se guarda en un frasco ámbar. Esta disolución se valora contra NaCl.

Procedimiento

- Se toma una alícuota de 1 ml de extracto de suelo sin carbonatos y se adiciona en un matraz Erlenmeyer de 125 ml.
- Se agregan 4 gotas de la disolución de cromato de potasio y se agita.
- Titular gota a gota con nitrato de plata hasta que el color rojizo sea estable. A este volumen se le denomina como V_2 .

Determinación del blanco

A un mililitro de agua exenta de cloruros y carbonatos se le adiciona 4 gotas de la disolución de cromato de potasio y se titula gota a gota con el nitrato de plata. Este es el volumen V_1

Cálculos:

$$\frac{\text{meq Cl}^-}{\text{L}} = \frac{(V_2 - V_1) \times N \times 1000}{1 \text{ ml}}$$

Donde V_1 , V_2 y la alícuota se expresan en mililitros
N es la normalidad de AgNO_3

[9, 17]

2.11.4 - Determinación de Sulfatos

El método empleado para esta cuantificación es por *determinación turbidimétrica*.

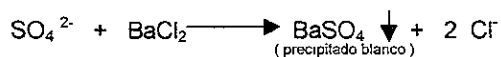
Este es un método cuantitativo satisfactorio y sensible si se trabaja con extractos de suelo claros y libres de sustancias que interfieran la medición. [9, 44]

Es por ello que éste es el método a referir en esta tesis

Fundamento

Cuantificación de sulfatos por determinación turbidimétrica del precipitado de sulfato de bario formado a partir del cloruro de bario y los sulfatos presentes en el extracto de suelo a una longitud de onda de 445 nm.

La reacción por medio de la cual se ejemplifica este fundamento es:



[17]

Material y Equipo

- Balanza analítica
- Matraces aforados de 1 L
- Pipetas volumétricas de 1 ml
- Celdas para espectrofotómetro
- Espectrofotómetro

Reactivos

- Acido clorhídrico 1N
- Cloruro de Bario al 20%

Disolver 20 g de esta sal en 100 ml de agua destilada.

- Sulfato de Sodio 10 meq/L

Se pesan 0.480 g de sulfato de sodio y se colocan en un matraz de un litro y se afora con agua destilada.

Procedimiento

- A una alícuota de 2 ml del extracto de pasta saturada se le añade 1 ml de la disolución de BaCl₂ al 20% y posteriormente se añade 1 ml de HCl 1N. Llevar a 5 ml con agua destilada y agitar.
- Leer en el espectrofotómetro a 445 nm antes de 5 minutos (para evitar la floculación del precipitado, después de haber calibrado el aparato y determinado las lecturas de las alícuotas de la curva patrón.

Curva patrón

- Se calibra el aparato en cero con una disolución blanco (1ml de BaCl₂ al 20% + 3 ml de agua destilada + 1 ml de HCl) y a 100 se ajusta con otra disolución (1 ml de BaCl₂ + 1 ml de HCl + disolución con 2 meq de sulfato y llevar a 5 ml)
- Se determina una curva patrón que contenga alícuotas de 0.1, 0.2, 0.5, 1, 1.5 y 2 meq de sulfatos. A cada alícuota añadir 1 ml de BaCl₂, 1 ml de HCl y llevar a 5 ml con H₂O destilada. [9, 17, 44]

Cálculos

- Se hace la curva patrón, en donde en el eje de las ordenadas se graficará el % de transmitancia y en el eje de las abscisas se graficarán los meq de sulfatos / L
- Se determina la cantidad de sulfatos de sodio en la alícuota del extracto de suelo por interpolación.
- Se determina la cantidad de sulfatos de sodio en el extracto total de suelo por litro de la siguiente forma:

$$\frac{\text{meq SO}_4^{2-}}{\text{L}} = \frac{\text{meq de sulfatos} / \text{L por interpolación} \times 1000}{2 \text{ ml}}$$

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones obtenidas de este trabajo son las siguientes:

1. Es necesario hacer un diagnóstico específico mediante las técnicas analíticas planteadas para conocer las condiciones en las que se encuentra el suelo y las correcciones a emplear para mejorar el rendimiento y la calidad de la producción de la caña de azúcar.
2. Para obtener datos precisos de este análisis es necesaria la calibración de aparatos y equipo empleados así como el utilizar estándares bien preparados y exentos de contaminantes.
3. Las semillas o estacas de la caña de azúcar deben provenir preferentemente de semilleros primarios o presentar la mejor calidad posible.
4. Dar el tratamiento adecuado al combate de plagas, malezas y enfermedades antes, durante y después de la plantación de la caña.
5. Por lo general las deficiencias nutricionales de los suelos mexicanos para el cultivo de la caña de azúcar se deben abastecer oportuna y homogéneamente por medio de fertilizantes nitrogenados. No existe el fertilizante idóneo general, éste debe seleccionarse en función del tipo de suelo, requerimientos nutricionales, clima y rentabilidad.
6. La acidez del suelo se puede remediar mediante el uso de materiales calizos y la alcalinidad del suelo se puede remediar mediante materiales azufrados.
7. Posterior a la cosecha, es recomendable volver a hacer un análisis del suelo para determinar las deficiencias que tenga.
8. La naturaleza perenne de este cultivo exige la renovación del suelo cada cinco años por medio del enriquecimiento con fertilizantes y la limpieza del terreno
9. Es necesario impulsar la mejora en la infraestructura hidráulica, de redes, en la mecanización de equipo e instrumentos, la atención y el manejo en la preparación del suelo, la adecuada siembra de semilla y cosecha en el campo e ingenio, así como la capacitación teórico-práctica del personal que en ellos labora para mejorar la producción del cultivo.
10. Es indispensable la planeación del diseño de la plantación ya que de ella también depende la reutilización de la cosecha
11. Se debe conservar en cada muestreo de suelo la misma forma y mismo lugar que se empleo inicialmente
12. Es evidente la necesidad de que los ingenios trabajen con los centros de investigación para proponer nuevas estrategias de evaluación de la nutrición y estrategias eficientes para el manejo del cultivo.

Las recomendaciones a seguir son las siguientes:

- Entre las condiciones climatológicas ideales comprende un verano largo y caliente con lluvia adecuada durante el periodo de crecimiento y un clima seco y frío, pero libre de heladas durante la maduración.
- El periodo de siembra para el cultivo de temporal se realiza en dos épocas del año: en invierno (agosto a enero) y en primavera (febrero a junio), mientras que el periodo de siembra para el cultivo deiego se efectúa durante todo el año.
- Una temperatura media óptima de 27°C.
- Alta luminosidad.
- Con un valor ideal de precipitación entre 2000 y 2500 mm de lluvia anuales .
- Un buen sistema de drenaje
- Entre las condiciones edafológicas óptimas se encuentran el llevar a cabo la plantación de caña de azúcar en terrenos que comprenden desde un origen volcánico hasta aluviones, que presenten texturas limosas o areno-arcillosas y con estructuras granuladas, porosas, con capacidad de retención y drenaje natural cómodo
- El desarrollo de las raíces debe desarrollarse entre los 70 cm y los 120 cm.
- Con un pH entre 6 y 8
- Que presenten vida microbiana activa, con suficiente contenido de materia orgánica , reservas de nitrógeno , elementos minerales asimilables, sin exceso de sales tóxicas ni carencia de oligoelementos
- En topografías poco inclinadas y regulares
- Sin piedras, troncos o cualquier obstáculo físico.

LAS NECESIDADES NUTRICIONALES ÓPTIMAS PARA EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR SON LAS SIGUIENTES

Caña de Azúcar	N (%)	P (%)	K (%)	Ca (%)	Mg (%)	Na (%)	S (%)	Fe ppm	Al ppm	Mn ppm	B ppm	Cu ppm	Zn ppm	Mo ppm	CE mmho/cm	Materia orgánica %
Valor ideal	2.4	0.26	2.1	0.30	0.15	0.01	0.18	85	25	45	7	8	20	0.9	< 2	2-3
Valor crítico				0.12	0.7			25		17	3		7		3-5	

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Andrade ,C.M. , " Diagnóstico Nutricional en Caña de Azúcar para la Recomendación de Fertilizantes utilizando Índices Kenworthy", Tesis de Ingeniería Agrícola especializada en Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1991.
- [2] Arroyo ,O.M , " Estudio de Suelos para el Cultivo de Sorgo en la República Mexicana", Tesis de Licenciatura en Química, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México,México,1990
- [3] Bakker, H., " Sugar Cane Cultivation & Management", Kluwer Academic Press, EUA, 1999.
- [4] Bassereau,D. and Fauconnier,R., "La Caña de Azúcar", 1a edición, Editorial Blume, Francia, 1984.
- [5] Baver, L.D., "Física de Suelos", Editorial Limusa, México, 1991
- [6] Bernstein,E.A. , "The Salt Tolerance of Sugar Cane", Agronomy Journal, 58, 399- 493-1966.
- [7] Bigham, J.M. and Ciolkosa, E.J., "Soil Color", Soil Science Society of America Inc. EUA, 1993.
- [8] Black and Evans, "Methods of Soil Analysis", vol 1, American Society of Agronomy Inc. Publisher, EUA, 1965
- [9] Black and Evans, "Methods of Soil Analysis"; vol 2, American Society of Agronomy Inc. Publisher, EUA, 1965
- [10] Blackburn,F., "Sugar Cane", Longman Publishing Co , Inglaterra,1984.
- [11] Bohn ,H. , Mc. Neal, B. and O' Connor, G., "Soil Chemistry", 2nd Edition, John Wiley & Sons, EUA, 1985.
- [12] Brady,N., "The Nature and Properties of Soils", 8th Edition, Mac Millan Publishing Co., EUA, 1974
- [13] Bressler ,E ., Mc. Neal,B L. and Carter, D.L., "Saline and Sodic Soils", Sprngler Verlag, Alemania, 1982
- [14] Buckman and Brady, "Naturaleza y Propiedades de los Suelos", UTEHA, Grupo Noriega Editores, EUA, 1991.
- [15] Buol, S.W., Hole, F.D. and Mc Cracken, R.J., "Soil Genesis and Classification", 3rd Edition, Iowa State University Press, EUA, 1989.
- [16] Cabrera ,C.M.A., " Evaluación de la Fertilidad de Suelos y Estado Nutricional de la Caña de Azúcar utilizando la Tendencia DRIS", Tesis de Ingeniería Agrícola especializada en Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1988
- [17] Cervantes ,E L , " Estudio de Suelos para el Cultivo de Frijol en la República Mexicana", Tesis de Licenciatura en Química, Facultad de Química,UNAM , México, 1982.
- [18] Chang, R , "Química",4a Edición, Editonal Mac Graw Hill, EUA, 1995.
- [19] Coleman, D , Ohades, M and Uehara, G , "Dynamics of Soil Organic Matter in Tropical Ecosystems", University of Hawaii Press, EUA, 1989.
- [20] Cruz ,D. J. , " Uso de Parametros Q y de los Potenciales Químicos (K, Ca y Mg) como Medida de la Disponibilidad Nutricional en algunos Suelos Cañeros" Tesis de Maestría en Ciencias especializada en Edafología , Colegio de Postgraduados de Chapingo Mexico 1984

- [21] Das, U.K., "Nitrogen Nutrition of Sugar Cane", Plant Physiology II: 251- 317, 1936.
- [22] De Vries., " In Situ Detemination of Physical Properties of the Surface Layer of Field Soils", Soil Sci. Soc. Am. Proc. 33: 349-353, 1969
- [23] Donahue, R. L. and Miller, R., "Introduction to Soil Physics and Plant Growth", Prentice Hall Inc, EUA, 1990.
- [24] Earle, F.S., "Sugar Cane and its Culture", John Wiley & Sons, EUA, 1928.
- [25] FIRA, Boletín Informativo num. 299 vol. XXX 8a época año XXVIII, 31-octubre-1997
- [26] Flores C.S., "Plagas de la Caña de Azúcar en México", 1a Edición, Servicios Gráficos OREL, México, 1994.
- [27] Foth, H , " Fundamentals of Soil Science", 6th Edition, John Wiley & Sons inc, EUA, 1978.
- [28] García, E.A., "Manual del Campo Cañero Mexicano", IMPA, Azúcar, S.A. de C.V., México, 1984
- [29] Garnson, S., "The Chemistry of Soils", Oxford University Press, EUA, 1989.
- [30] Gliessman, S., "Field & Laboratory Investigation in Agroecology", Lewis Publishers, EUA, 2000.
- [31] Glossary of Soil Science Therms. 1975, citado por Foth
- [32] Greenland, D.J., and Hayes, M H.B., "The Chemistry of Soil Constituentes", John Wiley & Sons, Inglaterra, 1978.
- [33] Griffin and Tatlock, "The Chemical and Laboratory Apparatus", Catalogue 56S, The Griffin & George Group, EUA, 1967
- [34] Gary, C., "Química Analítica", 2a Edición, Editorial Limusa, EUA, 1993
- [35] Hall, A D., "Estudio Científico de Suelos", 5a Edición, Editonal Aguilar, España, 1961
- [36] Hart , "Some Effects of K upon the Growth of Sugar Cane & upon the Absorptio & Migration", Plant Physiology, 9, 399-451 1934
- [37] Hernández, S. G., "Métodos Paramétricos para Evaluar la Aptitud de Tierras Un caso: La Caña de Azúcar", Tesis de Doctorado en Biología, Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México,México, 1983.
- [38] Hernández ,T. J.C , "Efecto de Diferentes Niveles de Nitrógeno , Fósforo y Humedad en el Suelo sobre el Rendimiento de la Caña de Azúcar", Tesis de Maestría en Ciencias Especializada en Hidrociencias, Colegio de Postgraduados de Chapingo, México, 1989.
- [39] Hillel, D ., " Enviromental Soil Physics", Academic Press Inc, EUA, 1998
- [40] Hillel , D , "Introduction to Soil Physics". Academic Press Inc . EUA, 1982
- [41] Huheey,J. , "Química Inorgánica", 4a Edicion, Oxford University Press, EUA, 1997
- [42] Humbert, R. , "El Cultivo de la Caña de Azúcar, Compañía Editorial Continental,EUA, 1974
- [43] INEGI, "Anuario para la Producción Agropecuaria" Mexico, 1999
- [44] Jackson,M L " Análisis Químico de Suelos . 4a Edición,Editonal Omega, España 1982

- [45] Marshall, T.J. and Holmes J.W. , "Soil Physics", 3rd Edition, Cambridge University Press EUA, 1996.
- [46] Martínez, B.N y Urrieta ,C. M , "Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación en Caña de Azúcar · Su relación con las Propiedades Físicas y Químicas del Suelo", Tesis de Ingeniería Agrícola especializada en Suelos, Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1991.
- [47] MEMORIA., "4º Día del Cañero ", Resultado de la Investigación en el Cultivo de la Caña de Azúcar, 1º de diciembre 1995, Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Tabasco, México, 1995
- [48] Mortuedt, J.J., Giordano, P.M. and Lindsay, W.L., "Micronutrientes en la Agricultura", AGT Editores, EUA, 1983.
- [49] Ortiz ,V., "Análisis de Suelos y Recomendaciones para la Fertilización de la Caña de Azúcar", Folleto 4870, México, D F., 1984.
- [50] Ponce .O. M. A , "Estudio de Fertilización en Caña de Azúcar en Acatlán, Oaxaca". Tesis en Ingeniería Agrícola especializada en Suelos,Universidad Autónoma de Chapingo, México, 1997
- [51] Richards, L A., "Diagnóstico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos", Editorial Limusa, EUA, 1974.
- [52] Riess ,H. C. y Flores ,C. S , "Catálogo de Plagas y Enfermedades de la Caña de Azúcar en México". Comisión Nacional de la Industria Azucarera, IMPA, México, 1976.
- [53] Russell ,E.W , "Russell's Soil Condition and Plant Growth", 11th Edition, Longman Scientific & Technical, Inglaterra, 1988
- [54] SAGARPA, *Anuano de la Producción Agropecuaria de 1999.*
- [55] SAGARPA, "Azúcar y Fructosa", Boletín Informativo año 2 # 34 diciembre 2000
- [56] SAGARPA, "Azúcar y Fructosa", Boletín Informativo año 3 # 35 enero/febrero 2001.
- [57] SAGARPA, "Azúcar y Fructosa ",Boletín Informativo año 3 # 36 marzo 2001
- [58] SAGARPA, "Azúcar y Fructosa ",Boletín Informativo año 3 # 37 abril 2001
- [59] SAGARPA, "Azúcar y Fructosa ", Boletín Informativo año 3 # 38 mayo 2001.
- [60] SAGARPA, "Azúcar y Fructosa ", Boletín Informativo año 3 # 39 junio 2001.
- [61] SAGARPA, "Azúcar y Fructosa ", Boletín Informativo año 3 # 40 julio 2001.
- [62] Salgado ,G S., "La Fertilización NPK en el Rendimiento y Calidad de la Caña de Azúcar", Tesis de Doctorado en Ciencias especializado en Edafología, Colegio de Postgraduados de Chapingo, México, 1999.
- [63] Sánchez ,M S., "Estudio de Suelos para el Cultivo de Chile en la República Mexicana", Tesis de Licenciatura en Química, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1985
- [64] Sanchez N F , "Matena Prima La Caña de Azúcar", 1a Edición, Editorial Porrúa, México, 1972

- [65] Serie de DIVERSIFICACION, " La Diversificación de la Agroindustria de la Caña de Azúcar en América Latina y el Caribe", GEPLACEA, Publicación del Grupo de Países Latinoamericanos y del Caribe Exportadores de Azúcar, 1991.
- [66] Schery, R , Janick, J. and Woods. F., " Plant Science", 2nd Edition, W.H. Freeman & Company, 1974
- [67] Schnitzer, M and Khan,S.U., "Soil Organic Matter", Elsevier Scientific Publishing Company, Países Bajos, 1975.
- [68] Singer, M. and Munns, D , "Soil An Introduction", 2nd Edition, Maxwell MacMillan International Editions,EUA, 1987
- [69] Smith, K. and Mullins, C., "Soil Analysis: Physical Methods", Marcel Dekker Inc, EUA, 1991
- [70] Tahmane, R.V., Motiramani, D.P. y Bali, Y.P., " Suelos. su Química y su Fertilidad en Zonas Tropicales", 4a Edición, Editorial Diana, India, 1986.
- [71] Tan, H.K., " Environmental Soil Science", Marcel Dekker Inc, EUA, 1994.
- [73] Tanji, K., "Agricultural Salinity Assessment & Management", ASCE Manual & Reports on Engineering Practice No. 7 , American Society of Civil Engineers Publishing, EUA, 1996
- [74] The Fertilizer Industry, "Plant Food Review 1962 ", citado por Foth.
- [75] Thompson,L.M. and Throeh, F.R., " Soils and Soil Fertility", 5th Edition, Oxford University Press, EUA, 1993.
- [76] Toledo ,M , J A., "Plagas, Enfermedades y Maleza de la Caña de Azúcar", Serie de Protección Vegetal No. 1, México, 1993.
- [77] Uirich,B and Sumner, M E , " Soil Acidity ", Edtonal Springer Verlag, Alemania, 1991.
- [78] Van Dyck ,L L , " Estudio de Suelos para el Cultivo de Papa en la República Mexicana", Tesis de Licenciatura en Química, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, México,1990.
- [79] Walton, H., " Principles and Methods of Chemical Analysis", 2nd Edition, Prentice Hall Inc,EUA, 1965
- [80] White, R E., " Pnnciples and Practice of Soil Science", 3rd Edition, Blackwell Science, Australia, 1997.
- [81] Williamson, "The Effect of Root Aereation on Plant Growth", Soil. Sci Soc Am. Proc, 28. 86-90, 1964
- [82] www.sagar.gob.mx/cea.htm
- [83] Yufera, P , "Químca Agrícola ", vol 1, Editorial Alhambra, España, 1973.