

14



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA

**Relación de la concentración de nitrógeno y fósforo sobre las lecturas del medidor de clorofilas en maíz en el Distrito de Temporal N° 7 de Valle de Bravo, Estado de México.**

**T E S I S**

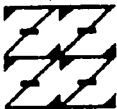
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**B I O L O G O**

P R E S E N T A

**MARÍA ELENA PÉREZ PANTOJA**

U N A M  
F E S  
Z A R A G O Z A



LO HUMANO ES DE  
NUESTRA REFLEXIÓN

DIRECTOR DE TESIS: M. en C. GERARDO CRUZ FLORES

MÉXICO, D.F.

SEPTIEMBRE 2002

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

*DEDICATORIA.*

*Dedico este trabajo de manera muy especial a mi madre y hermanos, quienes me han brindado todo su apoyo cada día de mi vida.*

*A mi esposo Arturo y mi hijo David con los que he aprendido cosas muy bellas con su amistad, y cariño.*

*Agradezco a todos los profesores que contribuyeron a mi formación académica y en especial a los que realizaron la revisión de este escrito.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

*Como hijo de pobre.*

*¡Ay! De aquellos padres,  
que por error,  
se proponen darle al hijo felicidad,  
como quien da un regalo.*

*Lo más que puede hacerse,  
es encaminarlas hacia ella,  
para que él la conquiste.*

*Críala como hijo de pobre  
y lo enriquecerás.*

*Críala como hijo de rico  
y lo empobrecerás  
para toda la vida.*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## ÍNDICE.

	Página
1. Resumen.....	1
2. Introducción.....	3
3. Antecedentes.....	5
4. Marco teórico.....	7
4.1. Medidor de clorofilas SPAD-502.....	7
4.2. Clorofila.....	9
4.2.1. Exigencias y factores del crecimiento.....	10
4.2.2. Función clorofilica.....	10
4.2.3. Tipos de fotosíntesis.....	12
4.2.4. Composición química de los cloroplastos.....	14
4.2.5. Las clorofilas y otros pigmentos.....	14
4.3. Nutrientes.....	16
4.3.1. Nitrógeno.....	17
4.3.2. Fósforo.....	18
4.3.3. Calcio.....	19
4.3.4. Magnesio.....	20
4.4. Balance nutricional.....	21
4.5. Maíz.....	21
4.5.1. Clasificación taxonómica.....	22
4.5.2. Morfología.....	22
4.5.3. Variedades de maíz.....	25
4.5.4. Fertilización del maíz.....	25
4.5.5. Cantidad y época de aplicación del fertilizante.....	26
4.5.6. Usos del maíz.....	26
4.6 Características generales del suelo.....	27
4.6.1. Unidades taxonómicas de suelo presentes en la zona de estudio.....	28
5. Justificación.....	32
6. Zona de estudio.....	33
7. Objetivos.....	34
8. Hipótesis.....	34
9. Material y métodos.....	35

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

	<b>Página</b>
<b>10. Resultados y discusión</b> .....	38
10.1. Nitrógeno.....	38
10.2. Fósforo.....	40
10.3. Calcio y magnesio.....	42
10.4. Balance nutricional.....	44
10.4.1. Relación nitrógeno-fósforo.....	44
10.4.2. Relación nitrógeno-calcio.....	46
10.4.3. Relación nitrógeno-magnesio.....	47
10.4.4. Relación calcio-fósforo.....	48
10.4.5. Relación magnesio-fósforo.....	49
10.4.6. Relación calcio-magnesio.....	49
10.5. Clorofilas.....	50
10.5.1. Relación clorofila-nitrógeno.....	50
10.5.2. Relación clorofila-fósforo.....	53
10.5.3. Relación clorofila-calcio.....	54
10.5.4. Relación clorofila-magnesio.....	55
10.6. Correlación.....	56
10.7. Regresión.....	59
10.8. Relación del rendimiento con clorofila.....	62
<b>11. Conclusiones</b> .....	65
<b>12. Sugerencias</b> .....	66
<b>13. Citas bibliográficas</b> .....	67
<b>14. Anexos</b> .....	73
14.1. Anexo I. Parcela muestra.....	73
14.2. Anexo II Análisis químicos N, P, Ca y Mg.....	75
14.3. Anexo III. Mediciones de clorofilas con SPAD-502.....	76
14.4. Anexo IV. Análisis estadístico.....	77

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

INDICE DE CUADROS Y FIGURAS.

	Página
Figura 1. Medidor de clorofila SPAD-502.....	8
Figura 2. Fotosíntesis C <sub>4</sub> en maíz.....	13
Figura 3. Estructura de la clorofila.....	15
Figura 4. Morfología del maíz.....	23
Figura 5. Diferencias entre flores femeninas y masculinas del maíz.....	24
Figura 6. Localización de la zona de estudio.....	33
Figura 7. Medición de clorofilas con el SPAD-502.....	36
Figura 8. Porcentaje de parcelas con los distintos niveles de nitrógeno.....	39
Figura 9. Porcentajes de parcelas con los distintos niveles de fósforo.....	41
Figura 10. Porcentaje de parcelas con los distintos niveles de Ca y Mg.....	43
Figura 11. Plantas de maíz en floración.....	45
Figura 12. Relación clorofila / unidades SPAD.....	53
Figura 13. Diagrama de dispersión porcentaje de nitrógeno / clorofila.....	56
Figura 14. Diagrama de dispersión porcentaje de fósforo / clorofila.....	57
Figura 15. Diagrama de dispersión porcentaje de calcio / clorofila.....	57
Figura 16. Diagrama de dispersión porcentaje de magnesio / clorofila.....	58
Figura 17. Nitrógeno estimado.....	60
Figura 18. Fósforo estimado.....	60
Figura 19. Calcio estimado.....	61
Figura 20. Magnesio estimado.....	61
Cuadro 1. Clasificación taxonómica del maíz.....	22
Cuadro 2. Tasas de fertilización.....	25
Cuadro 3. Tipos de suelo.....	28
Cuadro 4. Clases nutrimentales.....	37
Cuadro 5. Porcentaje de nutrimentos en el ciclo primavera-verano 2000.....	39
Cuadro 6. Relación nutrimentales.....	47
Cuadro 7. Valores promedio de clorofila.....	51
Cuadro 8. Modelo estadístico para cada uno de los nutrimentos.....	59
Cuadro 9. Rendimiento del maíz.....	62
Cuadro 10. Correlación clorofila / rendimiento del maíz.....	62

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 1. RESUMEN.

La acidez que presentan los suelos a lo largo del eje Neovolcánico, es la principal limitante edáfica para obtener buenos rendimientos en el cultivo de maíz; principalmente por deficiencias de N, P, Ca, y Mg. Esto hace necesario realizar estudios para predecir la necesidad de adicionar fertilizante y con ello evitar reducciones en dicho rendimiento.

Un instrumento recientemente utilizado es el SPAD-502, este da mediciones de clorofila en unidades SPAD, que correlacionadas con la concentración de N ayudan a predecir posibles deficiencias de este nutrimento, sin destruir muestras y de forma casi inmediata. Como el contenido de clorofila en la hoja cercana a la floración es el mejor indicador de la actividad fotosintética en maíz; el objetivo de este trabajo fue relacionar la concentración de N y P con las lecturas del medidor de clorofilas SPAD-502 en maíz y utilizar esta herramienta como una alternativa eficaz para medir indirectamente el contenido de nitrógeno *in situ*.

La investigación se dividió en dos etapas. En la primera, se realizaron mediciones de clorofila en campo en tres partes de la hoja (ápice, parte media, y base) durante la etapa de floración. En la segunda parte, en el laboratorio, se analizó en muestras foliares N, P, Ca y Mg por técnicas de análisis químico tradicionales conocidas (Bremmer 1965, Chapman 1965, Linsay y Morvet 1978). Además se obtuvo el rendimiento promedio de la zona (datos de SEDAGRO, 2001) y los resultados se analizaron estadísticamente.

La correlación estadística entre Clorofila y Nitrógeno fue positiva con  $r = 0.59$ , para clorofila y fósforo una correlación positiva con  $r = 0.27$ ; y de valor negativo para Calcio con clorofila ( $r = -0.38$ ) y Magnesio con clorofila ( $r = -0.24$ ); esto con niveles óptimos de N, Ca, y Mg, pero deficientes en fósforo; lo que finalmente afectó estas relaciones. No se encontró correlación entre las clorofilas y el rendimiento.

Las ecuaciones de regresión tuvieron  $r^2$  bajas pero significativas, para la relación clorofila y nitrógeno la  $r^2$  fue de 0.35 para la ecuación  $\% N = 0.88464 + 0.04312$  (clorofila media), para fósforo y clorofila  $r^2 = 0.07$  con la ecuación  $\% P = 0.09171 + 0.00093$  (clorofila de la base), para calcio y



magnesio con clorofila fue negativa con  $r = -0.14$  y  $-0.07$ , respectivamente y sus ecuaciones fueron  $\% Ca = 1.12946 - 0.00806$  (clorofila del ápice) y  $\% Mg = 00.59553 - 0.00428$  (clorofila del ápice).

Los resultados obtenidos en el presente estudio nos permiten sugerir que las condiciones climáticas, variedades de maíz y tasa fertilización, afectan las lecturas SPAD; lo cual dificulta su utilización como una herramienta, más bien es útil como un diagnóstico de ayuda complementario.

## 2. INTRODUCCIÓN.

Los cereales constituyen la fuente primordial de alimentos para el hombre, ya que proporcionan el 75% de su dieta alimenticia. A nivel mundial la producción de cereales para el año de 1999 fue de 222 millones de toneladas, 4% más que en épocas anteriores (The State of Food and Agriculture, 2000). Entre los cereales, el cultivo de maíz ocupa el tercer lugar en volumen de producción mundial, después del trigo y el arroz. El maíz se cultiva en aproximadamente 106 millones de hectáreas; su rendimiento es en promedio 2 toneladas por hectárea.

El cultivo de maíz tiene importancia especial dado que este cereal constituye la base de la alimentación de los mexicanos, y es cultivado desde la época Precortesiana (Parson D., 1985). Casi el 90% de este cultivo en México, se realiza utilizando técnicas tradicionales y se ocupan terrenos de temporal. Actualmente las tierras bajo riego y las técnicas modernas de agricultura no se utilizan para esta especie. Las principales razones que determinan lo anterior son: que otros cultivos son más rentables por ej. las hortalizas, frutales, sorgo, entre otros; los fertilizantes, maquinaria e insecticidas tienen costo elevado y no es redituable su aplicación en el cultivo de este cereal por que casi todo el maíz es para autoconsumo. El resultado de todo esto es que cada vez hay menos maíz producido en nuestro país para alimentar a los mexicanos, con lo que continúan así las importaciones; lo que genera dependencia con los Estados Unidos al tenerles que comprar granos básicos.

En la Subprovincia de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México, la actividad agrícola asume gran importancia económica. El cultivo de maíz es relevante en ella porque es una fuente destacada de ingresos para la mayoría de los campesinos de la región. El 94% de la superficie sembrada en el ámbito de la Coordinación Regional de Valle de Bravo se cultivaron 65,422 Ha<sup>-1</sup> con maíz en el ciclo primavera-verano 1995, principalmente bajo condiciones de temporal y destinado a producción de grano. El 60% de la superficie total cultivada en la zona se encuentra en los municipios de Villa Victoria y Villa de Allende (SEDAGRO, 1995). De los rendimientos obtenidos que comprenden los municipios en estudio, la producción media regional es aproximadamente de 3500 kg ha<sup>-1</sup>. El destino de la producción es para autoconsumo y el comercio regional. La utilización de la semilla criolla debe su éxito a la adaptación a condiciones climáticas y edáficas de la zona. Estas características dificultan la adaptación de los híbridos que aun así se utilizan con fines de producción de grano (SEDAGRO, 1995).

El rendimiento de cualquier cultivo es dependiente de su estado nutricional y para llevar a cabo el diagnóstico de dicho estado nutrimental se han usado diversas técnicas, entre las que se tiene el análisis químico y los síntomas visuales de deficiencia, principalmente. El reconocimiento de síntomas visuales solo pueden realizarlo personas con amplia experiencia y conocimiento del comportamiento de las plantas en campo; por otro lado los análisis químicos requieren de equipo y reactivos, que encarecen esta técnica. Sin embargo análisis químicos funcionan en forma preventiva, mientras que el análisis visual generalmente ofrece resultados que solo se pueden aplicar en cosechas posteriores.

El SPAD puede ser usado para predecir la necesidad de adicionar fertilizante nitrogenado en Maíz (Piekielek y Fox, 1992; Wood *et. al.*, 1992; Piekielek *et. al.*, 1995) en arroz (Turner y Jund, 1991; García *et al.*, 1996) y trigo (Fox *et al.*, 1994).

El uso potencial del SPAD-502 como herramienta para el manejo óptimo del nitrógeno en diferentes cultivos es poco conocido y no se cuenta con la información suficiente para su utilización. En años recientes se ha investigado la relación existente entre las lecturas del medidor de clorofila SPAD-502 Minolta con el contenido de nitrógeno en el tejido de las hojas analizadas (Bullock y Anderson, 1998).

La concentración de fósforo también esta relacionada con los valores SPAD. Peng *et. al.*, (1999) encontraron que cuando hay deficiencia de fósforo en plantas de arroz la concentración de nitrógeno en hojas aumenta en la etapa de floración.

El medidor de clorofila SPAD, provee un método simple, rápido y no destructivo para estimar el contenido de clorofila en la hoja (Watanabe *et. al.*, 1980) ya que mucho del nitrógeno de las hojas esta asociado con la estructura de la clorofila, el SPAD puede ser un popular medidor para estimar el nitrógeno en las hojas (Chapman y Barreto, 1997). Estos autores encontraron una alta correlación entre nitrógeno y contenido de clorofila con una  $r^2 = 0.81$  en hojas jóvenes de maíz (aproximadamente 2 meses). Por otro lado Peng *et. al.*, en 1999 encontraron correlación entre la clorofila y el nitrógeno ( $r = 0.93$  a  $0.96$ ) cuando la concentración de nitrógeno era alta.

### 3. ANTECEDENTES.

El medidor de clorofila SPAD-502 ha sido utilizado en un gran número de investigaciones con objetivos similares. La meta final ha sido descubrir técnicas que ayuden a determinar cuando una cosecha responderá a la adición de nitrógeno, además de determinar cuando ya existe el nitrógeno suficiente.

Cerrato y Blackmer (1991) mostraron que la concentración de nitrógeno en hojas de maíz durante la floración predice suficiencia de nitrógeno en planta, pero no es confiable en nitrógeno excesivo.

Monje y Bugbee (1992) compararon dos medidores, el Minolta SPAD-502 y un medidor que construyeron con una técnica colorimétrica; ellos trabajaron con frijol, arroz y trigo.. Encontraron que el SPAD-502 fue ligeramente más preciso que la unidad de longitud medida dentro del intervalo de 100-600 mg m<sup>-2</sup>, pero en altas concentraciones de clorofila, ambos la sobrestimaron. Los errores con los medidores fueron atribuidos a la dispersión de la luz por las células de la hoja y a la distribución heterogénea de la clorofila en las hojas. Esto puede ser debido a la pequeña área (6-7.6 mm<sup>2</sup>) muestreada por los dos medidores. El SPAD-502 usa un sistema dual de longitud de onda, las longitudes de onda utilizadas son el pico de la absorbancia de la clorofila medido a 650 nm y cuando la absorbancia de la clorofila es extremadamente baja superior a 750 nm (Minolta, 1989).

Un gran número de investigadores ha realizado trabajos manejando estratégicamente el medidor de clorofila en maíz. Schepers *et al* (1992) encontraron relación entre la concentración de nitrógeno en las hojas y las lecturas del medidor de clorofila. Sin embargo ellos reportaron en un sitio con amplio intervalo de tipos de suministro de nitrógeno, las lecturas de clorofila, alcanzaron una meseta cuando la cosecha alcanzó una meseta; en contraste para el creciente contenido de nitrógeno en hoja.

Piekielek y Fox (1992) usaron el medidor de clorofila para determinar si se necesita adicionar N en etapas tempranas de desarrollo (en la sexta hoja emergida). Ellos usaron el medidor de clorofila en 67 parcelas fertilizadas con N en tres años y encontraron que el medidor predice

verazmente la respuesta de las plantas al N, con lo cual establecieron un valor crítico de 43 unidades SPAD para distinguir entre sitios que responden y sitios que no.

En un trabajo posterior, Piekielek *et al* (1995) interpretaron las lecturas del medidor de clorofilas en una etapa temprana de dentición en 357 parcelas con suministro de N. El medidor de clorofila separó plantas con nivel de suficiencia de N y plantas con deficiencia N con 93% de veracidad. Ellos determinaron con el medidor de clorofila un nivel crítico de 52 unidades SPAD, y concluyeron con el siguiente planteamiento, que si las lecturas del medidor de clorofila son más altas a 56.0, ahí existe un 70% de riesgo de una aplicación excesiva de más de 50 kg. N ha<sup>-1</sup>.

Smeal y Zhang (1994) también sugieren un nivel crítico de 52 unidades SPAD en una etapa anterior a la floración, para prevenir reducción en el rendimiento de maíz. Ambos, lecturas del medidor de clorofila y nitrógeno total estuvieron altamente correlacionadas con el rendimiento final de la cosecha.

No obstante en el distrito de temporal N° 7 de Valle de Bravo no se han realizado trabajos a este respecto. Hernández. (2000) realizó un levantamiento nutricional en la zona de estudio con 143 sitios en parcelas de cultivo de maíz, durante la época de floración femenina, tomó las hojas opuestas al jilote y determinó los siguientes nutrimentos: N, P, K, Ca, Mg. Estos se agruparon en cuatro clases que van de deficiente a alta. Estos nutrimentos fueron analizados por técnicas de análisis químico tradicionales.

De los resultados reportados por Hernández (2000) se tiene que los suelos del Distrito de Temporal N° 7 son de origen volcánico y fluctúan de moderadamente a fuertemente ácidos (pH de 4.2-5.7), con alta retención de fosfatos; particularmente en Andisoles la fijación de fósforo es alta (60.88%). Al relacionar la concentración de calcio y magnesio, que se ubican en nivel de deficiencia y relacionando con la acidez hidrolítica (0.944 meq. H<sup>+</sup>/100 g de suelo) y aluminio (149.2 ppm) se sugieren encalados de 0.5 a 2.0 toneladas por hectárea. La disponibilidad del N para la planta en estos suelos es baja por la limitada mineralización. El potasio se encontró en un nivel adecuado en toda la zona.

## 4. MARCO TEÓRICO.

### 4.1. MEDIDOR DE CLOROFILAS SPAD-502

La técnica más ampliamente usada para la determinación cuantitativa de nitrógeno total es la de Kjeldahl (Bremmer y Mulvaney, 1982), la cual fue desarrollada en el siglo pasado y, debido al firme principio químico en el que se fundamenta, prácticamente no ha sido modificada. No obstante, tiene el inconveniente de requerir equipo especializado y, cuando se tiene un gran número de muestras para analizar, el gasto de reactivos es excesivo, lo que ocasiona que el costo de la determinación sea alto (Wood *et al.*, 1994). Otro de los inconvenientes es el tiempo invertido desde la toma de la muestra hasta su preparación y análisis.

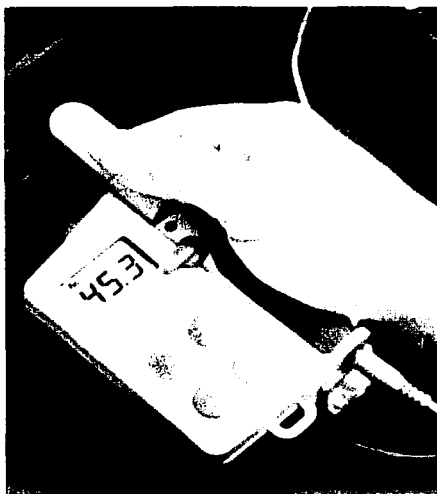
La determinación de clorofila en tejidos vegetales (por extracción con acetona a 80% o con N, N-dimetilformamida (Moran, 1982), es un método utilizado para estimar el estado nutrimental del cultivo en lo que se refiere al nitrógeno, magnesio y fierro principalmente (Sachdchina y Dimitrieva, 1995) y conlleva los mismos inconvenientes de tiempo y costo de la técnica de Kjeldahl.

Recientemente se ha reportado que la cantidad de clorofila y de nitrógeno total determinados por los métodos tradicionales en leguminosa, gramíneas, frutales, hortalizas y cereales presenta una alta correlación con las unidades SPAD medidas con el detector de clorofila Minolta SPAD-502 (Reeves *et al.*, 1993).

Las máximas lecturas SPAD corresponden a las etapas reproductivas en tres cultivos de gramíneas, en etapas tempranas de formación de grano. El incremento en la concentración de Nitrógeno en la hoja cercana a la floración es requerido porque soporta el incremento de la actividad fotosintética en esta etapa del crecimiento (Madakadze, 1999). Esta técnica se basa en el hecho de que los cloroplastos de la hoja contienen el 70% del N en hoja y como resultado, el contenido de clorofila esta muy correlacionado con el contenido de nitrógeno (Wood *et al.*; 1992). El hecho de que mucho del nitrógeno en hoja es asociado con las enzimas de la clorofila ha causado que este medidor sea un medio para estimar el nitrógeno en hoja.

Operacionalmente la medición del color de la hoja es dada por la inserción de una parte de la hoja dentro de la celda del medidor de clorofila SPAD-502. El principio del medidor se basa en la diferencia de la atenuación de la luz en una longitud de onda de 430 y 750 nm. La longitud de 430 nm es el espectro pico de transmitancia para ambas clorofilas a y b, mientras que la longitud de 750 nm es la cercana región infrarroja donde no ocurre transmitancia. De la diferencia de la atenuación de la luz y las unidades SPAD, el rango de 0-80 de estas unidades es calculado por el microprocesador del medidor de clorofila SPAD-502 (Wood *et al.*, 1992).

Los valores SPAD se basan en el principio de que parte de la luz que llega a la hoja es absorbida por la clorofila y el resto que se refleja entra en contacto con la celda detectora del SPAD-502 y es convertida en una señal eléctrica (Figura 1). La cantidad de luz captada por la celda es inversamente proporcional a la cantidad de luz utilizada por la clorofila, la señal es procesada, y la absorbancia es cuantificada en valores dimensionales que van de 0 a 199, por lo que las unidades SPAD serán siempre las mismas de acuerdo con el tono verde de las hojas (Krugh *et al.*, 1994).



**Fig. 1. Medidor de clorofila Minolta SPAD-502.**

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.2 CLOROFILA.

El desarrollo de la planta está condicionado por una serie de procesos fisiológicos y metabólicos, entre los que destacan los siguientes: absorción de nutrimentos, transpiración, respiración y fotosíntesis (Dominguez, 1989).

➤ La absorción de nutrimentos que generalmente se realiza por las raíces es una función primaria y básica para el resto del metabolismo de la planta. Ésta consiste en la penetración y difusión al interior de la planta, de las sustancias nutritivas que están disueltas en el agua del suelo. Para esta función ya es necesaria la energía obtenida de la fotosíntesis.

➤ La transpiración es un proceso por el que la planta se asegura el suministro de agua y la turgencia de las células, así como un equilibrio de temperatura con el exterior. Como la savia bruta o ascendente lleva un exceso de agua sobre la que necesita la planta e incluso podría perjudicarla, el sobrante se emite al exterior continuamente por los estomas mediante la transpiración, que es el "sudor" de la planta.

➤ La fotosíntesis asegura a la planta la energía necesaria para la formación de todo tipo de compuestos orgánicos, los cuales a su vez son vitales para la constitución de los tejidos y la realización de las demás funciones.

➤ La respiración es la reacción inversa a la fotosíntesis. El resultado de esa respiración celular es el gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ) que se expulsa por los estomas. Mediante este proceso se libera la energía necesaria para realizar otros procesos, tales como la absorción de elementos nutritivos o la síntesis de todos los productos del metabolismo vegetal: hidratos de carbono, lípidos y grasas, aminoácidos, proteínas, polisacáridos, almidón, nucleoproteínas, fosfolípidos, celulosa, lignina, enzimas, etc.



#### **4.2.1 Exigencia y factores del crecimiento.**

Para su desarrollo, la planta necesita una serie de elementos y factores ambientales que deben combinarse del modo más favorable posible en función de las exigencias específicas de cada cultivo y son los siguientes:

- Agua (H<sub>2</sub>O).
- Elementos minerales esenciales o elementos nutritivos (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, hierro, cobre, zinc, manganeso, molibdeno, boro y cloro).
- Anhídrido carbónico (CO<sub>2</sub>).
- Oxígeno.
- Luz (energía).
- Temperatura.

Entre los factores ambientales principales se cuentan la luz, que proporciona la energía necesaria; la concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>, que es la fuente de carbono; la temperatura, debido a su influencia en todos los procesos enzimáticos y metabólicos; también juegan un papel importante la disponibilidad de agua, que puede afectar el grado de apertura estomática y por tanto la difusión del CO<sub>2</sub> y la disponibilidad de nutrimentos (Pérez, 1994).

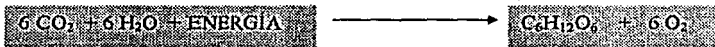
#### **4.2.2 Función clorofílica.**

Esta es una función muy compleja, todavía no muy bien conocida por el hombre, que no tiene paralelo con ninguna otra de los animales, porque es la que permite a la planta formar materia orgánica a partir de alimento mineral. Los más importantes elementos minerales a este respecto son los macro y micronutrientes.

En este proceso la energía luminosa se convierte en energía química provocado por un flujo de electrones a través de un sistema de moléculas pigmentadas inmersas en las membranas de los tilacoides de los cloroplastos. Para que se verifique la reacción total es preciso que exista clorofila, sustancia verde que se encuentra en los plastos del citoplasma celular, luz que suele proceder del sol,

gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ), que lo toma la hoja del aire por los estomas y agua, que forma parte de la savia bruta.

La fotosíntesis es un proceso complejo. Sin embargo, la reacción general se puede resumir así:



Las dos primeras sustancias, agua y gas carbónico, carecen de energía, así como el oxígeno final. Resulta pues que toda la energía aportada por el sol quedará almacenada en la glucosa.

El proceso fotosintético se lleva a cabo en varios pasos sucesivos que son los siguientes:

1. Activación de la clorofila por la energía de la luz solar, fenómeno que sólo se produce cuando la clorofila forma parte del cloroplasto de la célula. Si se extrae para utilizar la clorofila aislada del plasto, no hay activación y el proceso se detiene en esta primera fase.
2. La clorofila activada rompe las moléculas o unidades de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) en dos partes, dejando escapar al oxígeno (O) por los estomas de las hojas y reteniendo al hidrógeno (H) para utilizarlo después.
3. Absorción del gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ) también por los estomas.
4. Reunión del hidrógeno (H) del agua con el gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ) del aire, para formar compuestos orgánicos sencillos. Esto es lo que se llama una síntesis química.
5. Estos compuestos orgánicos sencillos se unen para formar unidades o moléculas del azúcar llamado Glucosa
6. A partir de esta unidad orgánica se forman sustancias complicadas bien reuniéndose muchas moléculas de glucosa para formar almidones, féculas, celulosa, etc., o bien utilizando otros elementos minerales que con la savia bruta han llegado a la hoja, como Nitrógeno (N), Fósforo (P), etc., para formar compuestos nitrogenados llamados proteínas, que distribuirá la savia elaborada por todo el cuerpo de la planta, para almacenarlo en hojas, tallos, raíces, frutos y semillas.

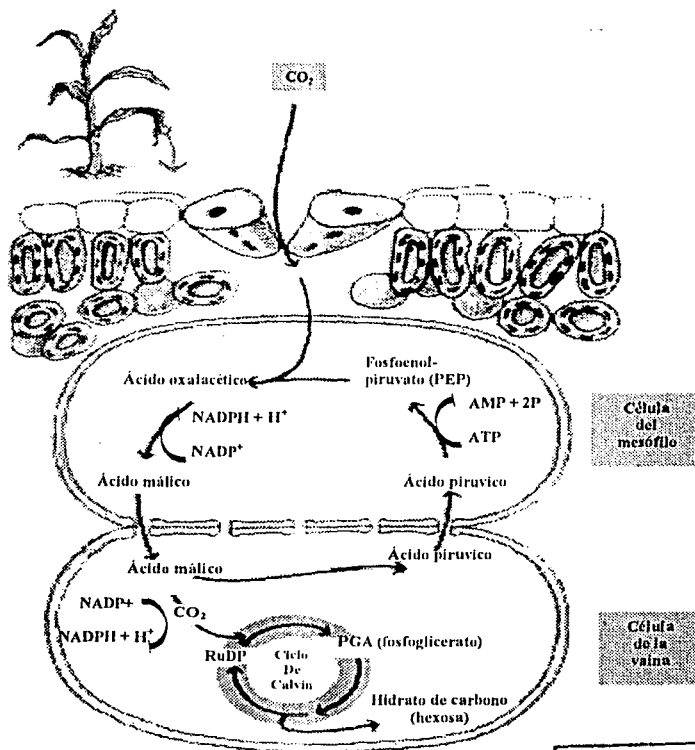
TESIS CON  
FALTA DE ORIGEN

Estas seis fases son casi simultáneas y se producen silenciosa y rápidamente en todas las hojas verdes. Pero no son comparables, sino que existe bastante diferencia entre las dos primeras y las cuatro últimas. Las dos primeras exigen la presencia de luz y constituyen la etapa luminosa o Fotosíntesis propiamente dicha. Las cuatro últimas pueden realizarse aún cuando no haya luz y constituyen la etapa oscura o Quimiosíntesis (Artero, 1992).

#### **4.2.3 Tipos de fotosíntesis.**

Existen dos tipos fundamentales de cloroplastos asociados cada uno a uno de los dos tipos de fotosíntesis: fotosíntesis  $C_3$  y fotosíntesis  $C_4$ . La fotosíntesis  $C_3$  convierte el bióxido de carbono en ácidos de tres carbonos, mientras que la fotosíntesis  $C_4$  convierte el  $CO_2$  en ácidos de 4 carbonos. Las plantas que llevan a cabo la fotosíntesis  $C_4$  por lo general son gramíneas o plantas endémicas a ambientes con poco agua (Schopter, 1995).

Las plantas que utilizan la fotosíntesis  $C_4$  se encuentran característicamente en ambientes áridos y poseen una anatomía foliar poco común. En las hojas de las plantas que utilizan las reacciones  $C_3$  ocurren tanto en las capas del mesófilo en empalizada como en el mesófilo esponjoso. Sin embargo, en las plantas que llevan a cabo las reacciones  $C_4$ , el ciclo de Calvin ocurre únicamente en la capa de las células de la vaina de haz que rodea a las venas de la hoja (Figura 2). Las reacciones  $C_4$  se llevan a cabo en las capas del mesófilo que están justo por debajo de la epidermis inferior y superior. Además de su anatomía foliar poco común, las plantas que utilizan la vía  $C_4$  se caracterizan por sus elevadas tasas fotosintéticas y de crecimiento, bajas tasas de fotorrespiración y bajas tasas de pérdidas de agua a través de los estomas de las hojas (Sheeler, 1993)



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 2. Vía para la fijación del carbono en las plantas C4. El  $\text{CO}_2$  se fija primero a las células del mesófilo como ácido oxalacético. Luego es transportado a las células de la vaina, donde se libera como dióxido de carbono. El  $\text{CO}_2$  así formado entra en el ciclo de Calvin. El ácido pirúvico regresa a la célula del mesófilo, donde es fosforilado a PEP (Tomado de Curtis, 2000).

Además la fijación y almacenamiento rápido y eficiente del CO<sub>2</sub> como ácidos de 4 carbonos disminuye la necesidad de la hoja de tener un gran número de estomas (aberturas de la epidermis de las hojas que permiten que el CO<sub>2</sub> y otros gases se difundan hacia la hoja). Los estomas abiertos permiten difusión del CO<sub>2</sub> en la planta, permiten también que el agua salga de ella, lo cual es una desventaja para las plantas en climas áridos (Schopter, 1995).

Las plantas C<sub>4</sub> bajo irradiación elevada y temperaturas calurosas, son capaces de fotosintetizar con mayor rapidez y producir mucho más biomasa que las plantas C<sub>3</sub> (Frank, 1994). En muchas plantas de ambientes áridos existe una vía metabólica llamada metabolismo ácido de las crasuláceas o fotosíntesis CAM. En este tipo de planta, la asimilación del CO<sub>2</sub> tiene lugar de noche, cuando, a pesar de estar abiertos los estomas, la pérdida de agua debida a la transpiración es mínima (Curtis, 2000).

#### **4.2.4 Composición química de los cloroplastos.**

El componente orgánico presente en mayor cantidad en los cloroplastos son las proteínas, que puede representar hasta el 50% en peso seco. En las células de la hoja, el 75% del contenido total de nitrógeno se encuentra dentro de los cloroplastos. Los lípidos y pigmentos liposolubles comprenden aproximadamente el 34% del peso seco del cloroplasto de la espinaca. Se han identificado un número extremadamente grande de componentes lipídicos diferentes. Los lípidos más comunes son los galactosil diglicéridos, fofolípidos, quinonas, etc., (Sheeler, 1993).

#### **4.2.5 La clorofila y otros pigmentos.**

Los pigmentos verdes del cloroplasto y las principales fuentes del color de las plantas verdes son las clorofilas. Por lo general, se identifica a cada clorofila por medio de una letra distinta (Figura 3). Se ha encontrado que todas las plantas fotosintéticas poseen clorofila a, pero la presencia de las clorofilas secundarias b, c o d depende del tipo de planta. Las plantas superiores por lo general tienen clorofila b. Cada clorofila tiene un espectro de absorción de luz característica. La clorofila a, extraída, tiene máximos de absorción de 430 y 670 nm, mientras que los máximos de absorción de la clorofila b son de 455 y 640 nm.

Además de las clorofilas existe otro grupo de pigmentos llamados carotenoides. Uno de los carotenoides que se encuentra en las plantas es el beta-caroteno; estos son pigmentos rojos, anaranjados o amarillos. En las hojas verdes su color está enmascarado por las clorofilas, que son más abundantes (Curtis, 2000).

Clorofila a R = CH<sub>3</sub>  
Clorofila b R = CHO

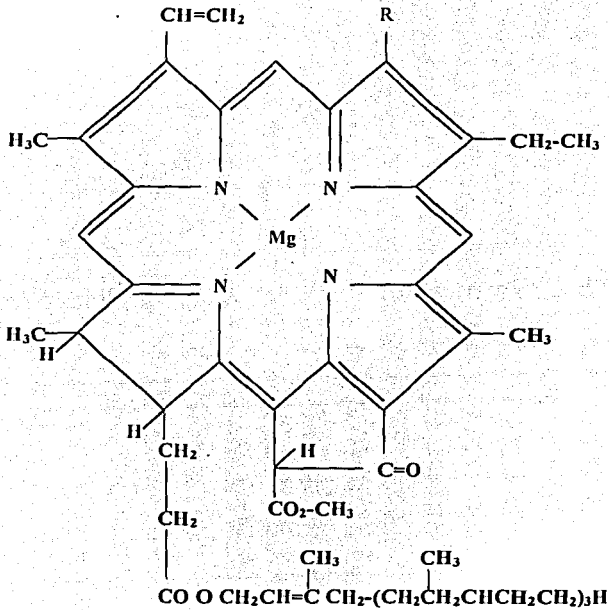


Fig. 3. Estructura de la clorofila.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 4.3 NUTRIMENTOS.

La disponibilidad de nutrimentos para las plantas es uno de los principales factores del ambiente edáfico que determinan su productividad, el problema de la disponibilidad se ha contrarrestado con fertilizantes que se han usado muchas veces en exceso, tales fertilizantes aportan al suelo el material nutritivo que la planta requiere para su crecimiento, esto que parece una medida adecuada ha traído consecuencias graves por el efecto nocivo que estos producen con el tiempo a los suelos.

Las plantas tienen la facultad de formar materia orgánica a partir del agua que las raíces absorben del suelo, y del anhídrido carbónico del aire. La materia orgánica constituye la mayor parte de los tejidos vegetales. Esta materia orgánica se compone esencialmente de tres elementos químicos: carbono, oxígeno e hidrógeno. Pero además de materia orgánica, los tejidos contienen otros elementos químicos; estos elementos químicos se encuentran en el suelo, de donde las plantas los toman por medio de las raíces, después de que dichos elementos se han disuelto en el agua del suelo.

Hay 16 elementos químicos que se consideran esenciales para la vida de las plantas; de tal forma que aquéllas no se desarrollan normalmente cuando le falta uno cualquiera de ellos; estos cumplen funciones específicas en el metabolismo de la planta y pueden ser considerados macro y micronutrientes según la cantidad requerida por la planta (Marschner, 1995); Dentro de los macronutrientes el Nitrógeno y el Fósforo son los más importantes, estos pueden estar presentes en el suelo, pero no estar disponibles para la planta en función del pH del suelo, los elementos minerales son absorbidos en las proximidades de las raíces.

*La absorción de nutrimentos en las plantas involucra cuatro pasos:*

Movimiento de los iones de la fase sólida del suelo a la solución de éste.

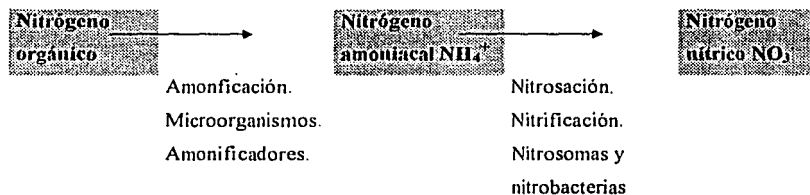
El movimiento de los iones de algún punto de la solución del suelo a la raíz.

El paso de nutrimento al interior de la raíz.

La translocación de los nutrimentos de las raíces a la parte aérea de la planta.

### 4.3.1 Nitrógeno.

El nitrógeno del suelo proviene principalmente de la materia orgánica en descomposición, según la siguiente dinámica:



Las formas amoniacales y nítricas del nitrógeno son solubles y pueden ser asimiladas por las plantas, por lo que éstas constituyen el centro del sistema suelo-planta con relación al nitrógeno. La forma nítrica es la absorbida por la raíz y la que corre por la savia; la forma amoniacal es la fijada por la célula del tejido vegetal. La materia orgánica del suelo, según el nivel de humedad y temperatura, se transforma en  $\text{NH}_4^+$  y/o  $\text{NO}_3^-$  de acuerdo con las necesidades vegetativas de la planta; la concentración de este nutrimento va de 1.5 a 5 % (Bellpart, 1988).

El nitrógeno es utilizado por las plantas para sintetizar diversos compuestos entre los que están los aminoácidos, que a su vez forman proteínas. El protoplasma de todas las células vivas contiene proteínas. Las plantas requieren también nitrógeno para sintetizar otros compuestos vitales como la clorofila, los ácidos nucleicos y las enzimas (California Fertilizer Association, 1995). La clorofila tiene integrada en su estructura un átomo de magnesio enlazado por cuatro átomos de nitrógeno. Una planta con buen suministro de nitrógeno tiene un bello color verde intenso debido a la abundancia de la clorofila, este nutrimento es un componente esencial de la molécula de clorofila. Una deficiencia de nitrógeno en maíz produce desarrollo raquítico, clorosis de las hojas a partir del ápice por la parte central hasta extenderse por toda la hoja; se inicia en las hojas jóvenes y después alcanza a toda la planta, se producen mazorcas pequeñas con aborto de los granos en el ápice.



El balance de las formas asimilables de nitrógeno para la planta en la solución del suelo, es el resultado dinámico de una serie de reacciones que se producen continuamente y de las cuales resulta un constante movimiento de entradas y salidas de nitrógeno asimilable (Dominguez, 1989).

*Entradas o ganancias de nitrógeno asimilable:*

- mineralización de la materia orgánica
- fijación del nitrógeno atmosférico
- movimientos del nitrógeno en el suelo

*Salidas o pérdidas del nitrógeno asimilable:*

- inmovilización por seres vivos
- fijación en el complejo coloidal
- desnitrificación y pérdidas gaseosas (volatilización)
- movimiento de nitrógeno en el suelo (lixiviación)

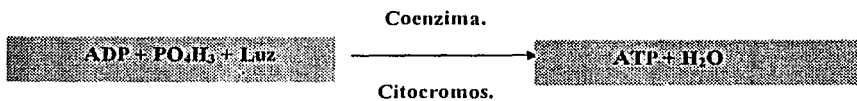
#### 4.3.2 Fósforo.

El fósforo es un elemento indispensable en el crecimiento vegetal ya que es constitutivo de los tejidos destinados al soporte físico del vegetal, es decir, del esqueleto vegetal. La absorción del fósforo está íntimamente unida al valor de pH del suelo, pues en terrenos ácidos queda retenido por los compuestos de hierro y aluminio, su concentración varía de 0.1 a 0.5 %.

La mejor absorción del fósforo es en forma de fosfato monocalcico y bicalcico, en terrenos de pH neutro a ligeramente ácido. Cuando hay más fósforo disponible es a niveles ligeramente ácidos, con pH entre 6 y 7. Entonces el fosfato está como fosfato monocalcico ( $(\text{PO}_4\text{H}_2)_2\text{Ca}$ ), que es el más soluble y algo como fosfato bicalcico ( $\text{PO}_4\text{HCa}$ ), que también es bastante soluble. En suelos más ácidos, con pH menor a 6, el fosfato queda retenido a los óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio, siendo conveniente realizar el encalado para que la planta pueda utilizar el fósforo del suelo.

Los fosfatos naturales acostumbran estar en forma de fosfato tricalcico insoluble. Se recomienda utilizarlos en suelos ácidos o en suelos ricos en materia orgánica y será solubilizada por la acidez de esta materia orgánica en estado de humificación (Bellapart, 1988).

El fósforo existe en las células vivas. Las plantas lo utilizan para sintetizar ácidos nucleicos (ADN y ARN), como amortiguador del pH de las células (sus ácidos y sus sales forman soluciones "buffers" que regulan el pH de las soluciones celulares) y como regulador osmótico para el eficiente metabolismo celular. El fósforo es constituyente de compuestos como fosfolípidos, NADPH, fitina, además del di y trifosfato de adenosina (ADP y ATP). El compuesto orgánico más importante en el que interviene el fósforo por su papel en el almacenamiento y transporte de energía es el ATP que se forma en la reacción de fosforilación. La energía que se absorbe en la fosforilación procede, bien directamente de la fotosíntesis o bien de la respiración (Dominguez, 1989).



El fósforo estimula el crecimiento temprano y la formación de la raíz; acelera la maduración y promueve la producción de semillas (CFA, 1995). Las deficiencias de fósforo en maíz provocan desarrollo lento y las hojas iniciales tienen un color verde oscuro con tinte púrpuro.

#### 4.3.3 Calcio.

La concentración de calcio en la materia seca de las plantas puede variar en un intervalo tan amplio como 0.1 a 2.5 %, pero como este elemento tiene baja movilidad y no puede redistribuirse desde las hojas más viejas a las jóvenes. El calcio es esencial para el crecimiento de los meristemas y especialmente, para el adecuado crecimiento y funcionamiento de los ápices radiculares. Juega un papel clave en el mantenimiento de la integridad de las membranas protegiéndolas de resquebraduras (Urbano y Hernández, 1992).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

El calcio es absorbido por las plantas en forma catiónica  $\text{Ca}^{2+}$  y es parte constituyente de las sales en la solución del suelo. Este elemento regula la presión osmótica de las células. Interviene en la formación de la lecitina, que es un fosfolípido importante de la membrana celular y por lo tanto en la permeabilidad de estas. Igualmente actúa en la división mitótica de las células y en la absorción de nitratos. El calcio es esencial para las funciones normales de la membrana en todas las células, probablemente como un enlazador de fosfolípidos, entre sí o proteínas de membrana. Las deficiencias de calcio afectan inicialmente, el crecimiento del sistema radicular, en el que provocan atroñas, y a las hojas jóvenes en las que producen curvatura de los bordes y ápices. A continuación las hojas pueden mostrar márgenes cloróticos y, finalmente, pueden aparecer zonas cloróticas en el parénquima foliar (Rodríguez, 1982; Urbano y Hernández, 1992)

#### 4.3.4. Magnesio.

La concentración de magnesio en la materia seca de la planta es variable (0.1 a 0.5 %) aunque generalmente, más baja que la del calcio. Sin embargo a diferencia del calcio, el magnesio es móvil y una gran parte del Mg total se combina con aniones orgánicos, por ej. El ácido málico. Es un componente específico de la clorofila en la que un átomo de magnesio está ligado a cuatro anillos pirrólicos. Además el magnesio juega un papel esencial en numerosas reacciones enzimáticas que intervienen en la fosforilación, su importancia es grande en la transferencia de energía. Activa también, algunas enzimas como las carboxilasas y determinadas deshidrogenasas. Debido al papel que juega en la fosforilación, la distribución del Mg en la planta coincide, frecuentemente, con la del fósforo (Urbano y Hernández, 1992). El Magnesio es absorbido por la planta en su forma catiónica  $\text{Mg}^{2+}$ . Los síntomas de deficiencia magnésica son diferentes para las distintas especies, pero el primer síntoma corresponde siempre a un amarillamiento, o clorosis, entre los nervios de las hojas más viejas debido al menor contenido de clorofila. Esta situación va acompañada lógicamente, de un descenso de la actividad fotosintética. Algunas rutas biosintéticas se interrumpen por inhibición de los procesos de fosforilación y se acumulan compuestos nitrogenados solubles con el correspondiente descenso del contenido de proteínas. El fenómeno, que se debe a deficiente absorción de Mg por acción de los Cationes  $\text{Ca}^{2+}$ , se conoce como "antagonismo" o "interacción". Altos niveles de  $\text{K}^+$  o  $\text{NH}_4^+$  en la rizosfera producen, asimismo, limitaciones en la absorción del magnesio (Rodríguez, 1982; Urbano y Hernández, 1992).

#### 4.4. BALANCE NUTRIMENTAL.

Las prácticas de manejo que competen a la fertilidad de sus suelos en sistemas de producción intensivos, son: la aplicación de fertilizantes químicos, orgánicos, verdes y foliares, y la aplicación de enmiendas, en especial, el enclado. La mayor o menor respuesta de los cultivos a la fertilización depende de que todos los factores de producción (uso de riego, optima cantidad de siembra, control de plagas y malezas, entre otros) sean más o menos satisfechos con un nivel y un balance adecuados. Si uno de estos factores resulta limitante, el beneficio de la fertilización se vería restringido o se perdería (Bertsch, 1998).

Marschner (1986) indica varias relaciones entre las tasas de crecimiento de una planta y el contenido de nutrimentos minerales, las cuales deben ser consideradas en el diagnóstico de un estado nutrimental determinado a partir del análisis químico de la misma:

1. Debe tomarse en cuenta que se presentan diferentes grados de correlación entre el contenido nutrimental (macro y micronutrimentos) y los intervalos de clasificación: deficiencia, adecuado, excesivo o toxicidad.
2. Pueden producirse efectos de concentración y dilución de nutrimentos minerales debidos a antagonismos (ej.  $K^+$  con  $Ca^{++}$ ) o sinergismos (ej.  $NH_4^+$  con P) durante la absorción.
3. En el establecimiento de un cierto intervalo a partir del contenido de un nutrimento mineral intervienen consideraciones probabilísticas, otras relacionadas con el análisis en conjunto de todos los nutrimentos y el manejo en general de la planta.
4. La conveniencia de establecer el órgano de la planta que refleja más fielmente el estado nutrimental de la planta o el propósito específico del estudio.

#### 4.5. MAÍZ.

El cultivo de maíz tiene importancia especial, dado que este cereal constituye la base de la alimentación de los mexicanos. El maíz es un cereal que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y edáficas; es buena fuente de almidón, pero su contenido de proteína es más bajo que el de otros cereales. Entre las clases del maíz, el amarillo es el más nutritivo, por su alto

contenido de vitamina B. El maíz opaco tiene alto contenido de lisina, que es un aminoácido esencial.

#### 4.5.1. Clasificación taxonómica.

**Cuadro 1.** Clasificación taxonómica del Maíz (González, 1995).

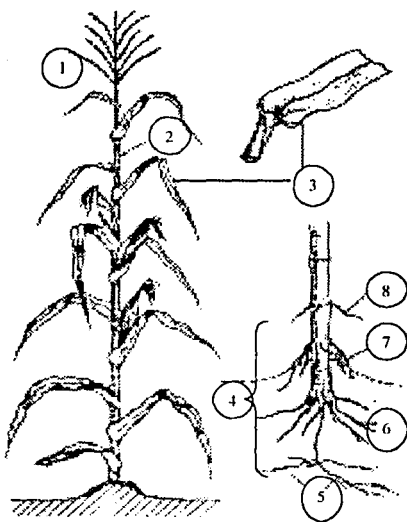
<b>Reino</b>	<b>Vegetal</b>
<b>División</b>	Tracheophyta
<b>Subdivisión</b>	Pteropsidae
<b>Clase</b>	Angiospermae
<b>Subclase</b>	Monocotiledoneae
<b>Grupo</b>	Glumiflora
<b>Orden</b>	Graminales
<b>Familia</b>	Graminae
<b>Tribu</b>	Mydae
<b>Género</b>	Zea
<b>Especie</b>	mays

#### 4.5.2. Morfología.

El cultivo del maíz es de régimen anual. Su ciclo vegetativo oscila entre 80 y 200 días, desde la siembra hasta la cosecha. La estructura del maíz es la siguiente:

1. Planta. Existen variedades enanas de 40 a 60 cm de altura, hasta las gigantes de 200 a 300 cm. El maíz común no produce macollos.
2. Tallo. Es leñoso y cilíndrico. El número de los nudos varía de 8 a 25, con un promedio de 16.
3. Hoja. La vaina de la hoja forma un cilindro alrededor del entrenudo, pero con los extremos desunidos. Su color usual es verde pero se pueden encontrar hojas rayadas de blanco y verde o verde púrpura. El número de hojas varía entre 8 y 25.
4. Sistema radical

5. Raíz principal. Está representada por un grupo de una a cuatro raíces, que pronto dejan de funcionar. Se originan en el embrión. Suministra nutrientes a las semillas en las primeras dos semanas.
6. Raíces adventicias. El sistema radical de una planta es casi totalmente de tipo adventicio. Puede alcanzar hasta dos metros de profundidad.
7. Raíces de sostén o soporte. Este tipo de raíces se origina en los nudos, cerca de la superficie del suelo. Las raíces de sostén pueden realizar la fotosíntesis.
8. Raíces aéreas. Son raíces que no alcanzan el suelo. (Figura 4).

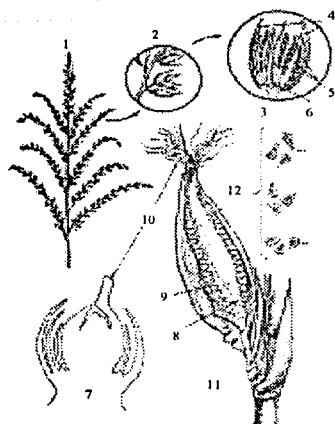


TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Fig. 4. Morfología del Maíz.

El maíz es monoico, es decir, tiene flores masculinas y femeninas en la misma planta. Las flores son estaminadas o pistiladas. Las flores estaminadas o masculinas están representadas por la espiga. Las pistiladas o femeninas son las mazorcas. Las diferencias entre las flores masculinas y las femeninas, se aprecian en la Figura 5.

1. La inflorescencia de la flor masculina se presenta como espiga o panoja.
2. Las espiguillas se encuentran en pares, una sésil, la otra pedicelada. Los pares de espiguillas se orientan en dos hileras alternadas, a lo largo de las ramas laterales del tallo floral. El eje central superior o terminal lleva más de dos hileras.
3. Flor masculina. Cada una está formada por glumelas, estambres, y pistilo rudimentario.
4. Par de glumelas.
5. Tres estambres fértiles.
6. Pistilo rudimentario.
7. Inflorescencia. Consta de ramas, hojas y estigma.
8. Rama lateral modificada. Los entrenudos son muy cortos.
9. Hojas. Éstas cubren la inflorescencia.
10. Estigma. Recibe el polen. Se le conoce como cabello de elote.
11. Mazorca. Cada planta tiene de una a tres mazorcas, según las variedades y condiciones ambientales.
12. Granos.



**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Fig. 5. Diferencias entre las flores femeninas y masculinas del Maíz.

#### 4.5.3. Variedades de maíz.

Si se tuviera que hablar de todas las variedades de maíz criollo, mejorado, o híbrido, resultaría una lista larga e infructuosa, ya que los nombres cambian de región a región. Al hablar de este aspecto, lo principal es saber que se va a cultivar en cada región, se deben tomar en cuenta datos como: altura sobre el nivel del mar; condiciones de clima e intensidad y frecuencia de las heladas; precipitación pluvial y disponibilidad del sistema de riego. La época y la densidad de siembra son también datos importantes para establecer la variedad que se va a cultivar.

De acuerdo con su uso, existen variedades de maíz forrajero y de maíz para la producción de grano. El maíz forrajero debe tener abundante follaje. La particularidad del maíz forrajero es que las hojas y el tallo tienen menos lignina, por lo que es más digerible; en tanto que el maíz para grano tiene mayores reservas de almidón y mayor cantidad de lignina. El maíz predominante en el Distrito de Valle de Bravo es el criollo.

#### 4.5.4. Fertilización del maíz.

El maíz requiere un manejo adecuado en cuanto a la fertilidad del suelo. Especialmente los híbridos de maíz necesitan gran cantidad de fertilizantes, para que alcancen un alto rendimiento.

Un cultivo de maíz que produzca cuatro toneladas de granos por hectárea, requiere las siguientes cantidades aproximadas de elementos esenciales mostrados en el Cuadro 2:

Cuadro 2. Tasas de fertilización.

Elemento	kg. ha <sup>-1</sup>
Nitrógeno	120
Fósforo	60
Potasio	80
Calcio	7
Magnesio	6
Azufre	6



#### 4.5.5. Cantidad y época de aplicación.

El maíz necesita una buena cantidad de nitrógeno para alcanzar su máximo rendimiento. El periodo de demanda máxima de este nutriente se presenta desde 10 días antes de la floración, hasta 25 días después de ella. Los requerimientos de nitrógeno durante el segundo mes después de la siembra son bajos. El suministro de nitrógeno puede hacerse en dos aplicaciones. Se aplica el 30% del total antes o durante la siembra y el 70% restantes antes o durante la floración.

El suelo contiene menos cantidades de fósforo en comparación con nitrógeno y potasio. El fósforo es necesario para el crecimiento de las plántulas. Su deficiencia se muestra desde la germinación hasta que la planta alcanza aproximadamente 75 cm de altura. Por lo tanto, el fósforo se aplica antes o al momento de la siembra; los fertilizantes fosfatados favorecen el crecimiento vigoroso de la planta (Parsons, 1985).

#### 4.5.6. Usos del maíz.

La planta del maíz es una maravilla porque es una de las pocas plantas de las que se pueden utilizar todas sus partes. Prácticamente no hay nada que se desperdicie. Casi durante todo el ciclo de vida del maíz se está cosechando algo. Por ejemplo tenemos:

- ❖ Durante el crecimiento de la planta, cuando ésta está todavía tierna, se hacen aclareos o deshijados. Los aclareos se hacen en los lugares donde se siembran 6 o 7 granos de maíz en el mismo hoyo para luego dejar sólo las tres o cuatro mejores plantas. Se quitan las plantitas que se ven más débiles y éstas se usan para forraje.

- ❖ Al espigar las plantas se corta el Miahualt o espiga que se usa para forraje; este es un excelente forraje porque contiene muchas sustancias nutritivas ya que allí se produce el polen. Por eso se aprecia mucho como alimento para los animales.

- ❖ Cuando el jilote está lechoso se cosechan elotes para comer y las plantas de las que se cortan los elotes, se usan para forraje. En este tiempo también se colectan pelos para remedio; hojas verdes para tamales y hojas amarillas inferiores para tejer tapetes; se cosechan elotes con huitlacoche para las quesadillas.

❖ Cuando la mazorca está masuda se colectan para desgranarlas y hacer esquites. En esta fase también se cortan hojas para forraje y las cañas dulces de las plantas que no dan mazorca se utilizan para mascar.

❖ Cuando la mazorca está madura y seco el grano, se pizca la mazorca, se selecciona el tomoxtle que sirva para envolver tamales o para hacer cigarras, Se seleccionan las mazorcas para semillas, se corta y se traslada el rastrojo; se selecciona la caña y se usa para construir zarcos, tapancos y cercas.

❖ Se rotura la tierra abriendo surcos y se desprenden de la tierra las raíces del maíz y lo que queda del tallo. Se espera a que se seque con el sol y luego se colecta la raíz y que sirve para leña.

❖ Al desgranar el maíz se aparta el olote para combustible y para hacer oloterías o sea desgranadoras de maíz.

❖ El maíz se vende en grano sobre todo en el campo, sirve de alimento a personas y animales. La fabricación de masa de nixtamal se hace principalmente para surtir las tortillerías de las ciudades. Las industrias fabrican aceite, almidón, miel, antojitos y botanas de maíz (Palma, 1982).

#### 4.6. CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SUELO.

El suelo es la capa mineral superficial de la capa terrestre producto del material geológico, por acción de agentes físicos, químicos y biológicos, es material capaz de soportar crecimiento vegetal. Formado por materiales inorgánicos, orgánicos, agua y gases. Algunos suelos son productivos por naturaleza y mantienen cultivos abundantes de gran valor con poco esfuerzo humano, a diferencia de otros tan poco productivos que casi no conservan por sí solo la vida de la planta útil (Thamane, *et al.*, 1986).

Por características químicas y físicas cada nación ha intentado clasificar los diferentes tipos de suelo. La FAO-UNESCO elaboró un mapa mundial de suelos, reconociendo 32 unidades o tipos de suelo, de las cuales, al menos 10 se encuentran en México:

1. El 25% del territorio nacional presenta Calcisoles y Cambisoles
2. El 23% esta cubierto por Kastañozems y Solonets

3. El 18% Luvisoles
4. El 10% Vertisoles
5. El 9% Andosoles
6. El 8% representa, Litosoles.

#### 4.6.1. Unidades taxonómicas de suelo presentes en la zona de estudio.

En la zona de estudio se presentan 5 tipos de suelo mostrados en el Cuadro 3 (Citado por Hernández, 2000).

**Cuadro 3. Tipos de suelo.**

Municipio	Tipo de suelo
Villa Victoria	Andisol 53.3%, Acrisol 24.4%, Phaeozem 14.3%, Vertisol 8.0%
Villa de allende	Andisol 93.3%, Acrisol 6.6%
Donato Guerra	Andisol 94.1%, Acrisol 5.9%
Amanalco	Andisol 100%
Valle de Bravo	Vertisol 46.6%, Andosol 20%, Acrisol 20%, Litosol 13.3%

#### Acrisoles

El nombre deriva de la palabra latina *acris*, muy ácido. Suelos sumamente intemperizados con horizontes arcillosos. Connotativo de un contenido bajo de bases. En la superficie puede haber hojarasca suelta, pero de ordinario forma una capa muy delgada, de tal modo que puede quedar expuesto el suelo al desnudo. El horizonte mineral superior es de color pardo grisáceo oscuro, migajón-arenoso que varía de espesor de 10-30 cm (FitzPatrick, 1984).

Los Acrisoles representan enorme potencial para la producción agrícola, se desarrollan en climas que tienen largas estaciones libres de heladas y abundancia de lluvias. La baja fertilidad y bajo contenido de bases han sido y siguen siendo, la principal limitación para uso agrícola. Estas limitaciones se pueden superar mediante prácticas agrícolas como encalado y fertilización aplicando en particular nitrógeno y fósforo, la deficiencia en micro elementos no son comunes. Desde el punto de vista nutricional las buenas condiciones de agregamiento de estos suelos representan condiciones ideales para la lixiviación de nutrientes, especialmente de las bases (Ca, Mg y K) lo que conduce a

acentuados problemas de acidez. Además los materiales arcillosos de estos suelos, al unirse unos con otros, restringen su superficie específica y ofrecen una muy pobre capacidad de intercambio catiónico, lo que determina su muy baja fertilidad. Al ser suelos ácidos, presentan también problemas de disponibilidad de fósforo por fijación con Fe y Al; los nitratos se pierden muy fácilmente por lavado, la disponibilidad de N casi siempre es deficiente (Bertsch, 1998).

### **Phaeozems**

El nombre deriva del griego *phaijos* que significa negrozco y de la palabra rusa *zemlja* cuyo significado es tierra. Superficie oscura, más lixiviada que los castanozem y los chernozem.

En la superficie puede haber una capa delgada suelta de hojarasca que descansa sobre el suelo mineral o bien una maraña delgada de raíces. El horizonte mineral superior es de color gris muy oscuro, pueden llegar a tener hasta 50 cm de espesor. Los valores de pH muestran un patrón fluctuante, en la superficie los valores pueden ser mayores a 7, pero disminuyen a alrededor de 5 a 7 en el horizonte medio. En cuanto a la vegetación, en muchos casos las comunidades naturales están dominadas por gramíneas y bosque deciduo dominado por especies tales como encinos (FitzPatrick, 1984). Estos suelos tienen una fertilidad natural elevada y producen buenas cosechas, las cuales pueden aumentar con la aplicación de fósforo y cuando se practican cultivos intensivos es necesario la aplicación de fertilizantes y cal.

### **Vertisoles**

El nombre proviene de la palabra latina *verto* que significa voltear, connotativo del volteo hacia debajo de la superficie del suelo. Suelos inversores y autoabonados ricos en arcilla montmorillonítica.

Para que se origine este tipo de suelos es necesaria la confluencia de ciertos factores: una zona depresional que impida el buen drenaje, materiales ricos en Si, Ca y Mg y de tamaños coloidales. Estas condiciones propician la formación de arcillas del tipo montmorillonítico, que por sus reacciones de agrietamiento y expansión ante la presencia de agua, favorece la inversión constante de los materiales hasta aproximadamente un metro de profundidad, lo que origina el perfil típico de estos suelos, generalmente de color muy oscuro, muy uniformes y muy arcillosos. Una

característica común de los diversos materiales originales de los Vertisoles es una reacción básica (alcalina). Estas incluyen rocas sedimentarias calcáreas, rocas ígneas básicas, basalto, cenizas y aluviones de esos materiales (Buol, 1991). Son suelos muy fértiles que pueden presentar condiciones adecuadas para el suplemento de elementos a partir de la descomposición de materiales orgánicos, sus limitantes productivas son esencialmente físicas, no nutricionales. La arcilla montrillonita presenta gran capacidad de retención en sus superficies, especialmente de K y NH<sub>4</sub>; en las condiciones de estos suelos el P disminuye su solubilidad al ligarse al Ca, sin embargo, debe recordarse que dentro de los diferentes tipos de fosfatos presentes en los suelos, los fosfatos de calcio son los más fáciles de solubilizar (Bertsch, 1998).

### **Litosoles**

El nombre deriva de la palabra griega *lithos* que significa piedra; connotativa de suelos con roca dura a muy poca profundidad. Suelos gris-pardos.

Son suelos que están limitados en profundidad por roca continua dentro de los 10 cm de profundidad de la superficie. Se presentan principalmente en zonas montañosas. Las tierras rocosas, esquistas y arenosas plantean riesgos en diferentes modos. Son suelos no aptos para cultivos, pueden destinarse al pastoreo. Los litosoles son suelos con un menor desarrollo, o sea, aquellos en los que no es posible distinguir una secuencia de horizontes definidos por el perfil. Son suelos que presentan poca profundidad radical, exceso de humedad, inundaciones frecuentes y alta susceptibilidad a erosión hídrica y/o eólica (Bertsch, 1998).

### **Andisoles**

El nombre deriva del japonés An-oscuro y Do suelo. Son suelos originados por cenizas volcánicas con superficies oscuras.

Son suelos que se originan a partir de las deposiciones de origen volcánico, por lo general son suelos profundos y sus colores son oscuros o pardos oscuros: la arcilla dominante bajo estas condiciones es la alofana que es un coloide de características muy particulares, amorfo e hidratado, que aparece en esos sistemas como producto obligatorio de la descomposición de las cenizas volcánicas en zonas húmedas

Con base en mapas de suelos publicados por el INEGI, se presentan áreas cubiertas con suelos ácidos en casi toda la parte sur de México. Del total de la superficie cultivada con maíz en esta zona aproximadamente el 72.25 % del suelo utilizado corresponde al tipo Andisol (INEGI, 1989).

Los suelos derivados de materiales volcánicos se distribuyen principalmente, en México, a través del eje neo-volcánico. Estos suelos son muy productivos y se justifica por su naturaleza reciente y porque la ceniza volcánica está formada de abundantes minerales primarios y también por los contenidos altos de nitrógeno, fósforo y de azufre que están incorporados a la materia orgánica. Parece que estas son las condiciones que respaldan el desarrollo de la vegetación nativa. Pero para los cultivos, como el maíz, estos suelos presentan problemas de acidez, de alta retención de fosfatos y de toxicidad de aluminio. La acidez que manifiestan los suelos volcánicos es motivada por la naturaleza de su fracción coloidal. La alteración de los materiales, principalmente del vidrio volcánico, ha dado origen a la formación de minerales no cristalinos (alofano, imogolita, ferrihidrita) y ha beneficiado a la acumulación de materia orgánica. Estos productos de la alteración son los que contribuyen a la acidez del suelo. La acumulación de formas activas de aluminio es una de las propiedades más importantes en el concepto central de acidez en los andisoles; además de la baja reserva de  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  intercambiable (Campos A, 2000). La acidez de los suelos se origina principalmente en regiones de alta precipitación pluvial que desplaza los radicales básicos Ca, Mg, K y Na tanto en el complejo de intercambio como la solución del suelo y su sustitución por iones hidrógeno y aluminio, provocan toxicidad en cultivos por concentraciones altas de Al y Mn, y en ocasiones origina deficiencias de hierro por antagonismo recíproco entre ambos nutrientes (Bertsch, 1998).

## 5. JUSTIFICACIÓN.

En los municipios de Villa de Allende, Villa Victoria, Amanalco, Donato Guerra y Valle de Bravo, que pertenecen al Estado de México, los suelos son jóvenes de profundidad media a alta, medianamente fértiles con excesiva utilización de fertilizantes, uso mecánico, animal y manual se obtienen rendimientos de 2500-4000 Kg Ha<sup>-1</sup> de maíz, el cual se destina al autoconsumo y al mercado regional, siendo este uno de los principales ingresos monetarios de los campesinos.

García y Hernández, (1994) reportan que para el municipio de Villa de Allende, los suelos presentan alta retención de fósforo, baja disponibilidad de N, P, Ca, y Mg, altos contenidos de materia orgánica con bajas tasas de mineralización, que dan como consecuencia problemas de abastecimiento nutrimental para el cultivo de maíz principalmente de Mg, Ca, P y N, así mismo delimitan áreas con diversos grados de suministros de nutrimentos para el cultivo de maíz. Estudios recientes (Hernández, 2000), mencionan que las condiciones edafológicas de la zona (Distrito de temporal N° 7 de Valle de Bravo) dan como resultado un estado nutrimental con niveles bajos en nitrógeno; las causas de acidez de los suelos origina bajo suministro de calcio, magnesio y fósforo para la planta de maíz, los cuales se ubican en niveles nutrimentales bajo y suficiente. El análisis de los balances nutrimentales de maíz muestra que las relaciones N/Mg, K/Mg y P/Mg contribuyen posiblemente a los bajos rendimientos de la zona. Las relaciones de los micronutrimentos no presentan ningún problema, ya que se encuentran en cantidades adecuadas en suelo y planta.

En la Revisión bibliográfica realizada y por lo reciente de esta herramienta no hay suficiente información, sobre los efectos de la concentración de nitrógeno y fósforo sobre las lecturas del medidor de clorofila en la zona de estudio. Además de que los análisis químicos utilizados en el diagnóstico y recomendación de nutrimentos para las plantas requiere equipo especializado, gran cantidad de reactivos y personal altamente capacitado, por lo que el objeto de esta investigación fue conocer las ventajas de la utilización del medidor rápido de clorofila como una alternativa económica y eficaz para medir (indirectamente) el contenido de nitrógeno *in situ* previa calibración de datos (Rodríguez *et al.*, 1998).

## 6. ZONA DE ESTUDIO.

El Distrito de temporal N° 7 de Valle de Bravo se ubica en la zona oeste del Estado de México, forma parte de la provincia geográfica del Eje Neovolcánico. La altitud es de 1360 a 2570 msnm.

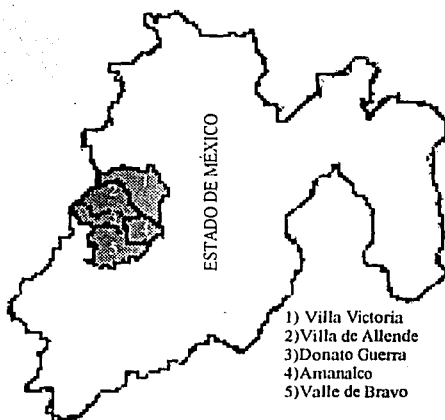


Fig. 6. Localización de la zona de estudio.

Al norte limita con Atlacomulco, al sur con la región de Tejupilco, al este con el Valle de Toluca y al oeste con el estado de Michoacán. Su extensión es de 2000.97 Km<sup>2</sup>, y representa el 8.89% de la superficie total estatal, Los municipios que ocupan un mayor espacio son Villa Victoria, Valle de Bravo y Villa de Allende. Esta región se caracteriza por tener un clima templado subhúmedo con temperatura media anual de 12°C y 18°C, la precipitación pluvial media anual es mayor de 800 mm. La vegetación característica es bosque templado de pino, encino y oyamel intercalado con áreas de pastizal introducido. Los relieves más representativos proceden de la Sierra Volcánica Transversal, encontrándose pequeñas planicies sobre las partes altas, valles intermontanos y cañadas que van de los 2000 a los 3000 msnm.

En cuanto a las características hidrológicas, forma parte de la cuenca del balsas, con almacenamientos en forma de presas que actualmente alimentan al sistema Cutzamala que abastece de agua potable a la zona metropolitana del Valle de México.



## **7. OBJETIVOS.**

### **OBJETIVO GENERAL.**

Determinar la relación entre la concentración foliar de nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio con las lecturas SPAD durante la época de floración en plantas de Maíz en el Distrito de temporal N° 7.

### **OBJETIVOS PARTICULARES.**

Evaluar la concentración foliar de N, P, Ca y Mg en plantas de maíz durante la floración para determinar su estado nutricional y las relaciones de los nutrimentos analizados.

Encontrar la relación entre mediciones de clorofila, con el SPAD-502, con los rendimientos estimados del cultivo de Maíz.

Determinar si el medidor portátil de clorofila es adecuado para el manejo de fertilización con N, P, Ca y Mg en cultivos de Maíz.

## **8. HIPOTÉISIS.**

Las características edáficas de la zona, inducen la presencia de deficiencias nutricionales para el maíz. Entre las principales se presentan el nitrógeno, fósforo, calcio y magnesio, que en la nutrición del cultivo provocan que las relaciones nutrimentales entre estos elementos sean inadecuadas para obtener los máximos rendimientos promedio de la zona.

La concentración de clorofila en las hojas de maíz esta estrechamente relacionada con la concentración de nitrógeno, esta concentración afecta la intensidad del color verde de las hojas y consecuentemente de las lecturas SPAD. Por lo tanto si se encuentra la relación entre la concentración de N y los valores de clorofila (con el medidor SPAD-502) se puede predecir el estado nutricional de este elemento en el cultivo de maíz, teniendo la posibilidad de establecer medidas correctivas para el nutrimento a corto plazo.

## 9. MATERIALES Y METODOS.

Para la toma de muestras de planta de maíz, se seleccionaron aleatoriamente 70 parcelas distribuidas en los cinco municipios pertenecientes al Distrito de riego N° 7 de Valle de Bravo, en el Estado de México. Las parcelas presentaron diferentes dimensiones de acuerdo a los recursos de los campesinos; así también la variedad del maíz dependió del cultivado por el campesino en cada lugar. Las parcelas/muestra consideradas se distribuyeron de la siguiente manera: 20 en Villa de Allende, 20 en Villa Victoria, 10 en Donato Guerra, 10 en Valle de Bravo y 10 en Amanalco; esta distribución se realizó con base en la importancia de los dos primeros municipios en la producción de maíz y en menor proporción los tres últimos municipios.

Para la determinación de clorofilas se utilizó el medidor de clorofila SPAD-502, minolta Co. (Figura 7) y con el se tomaron lecturas en la base, en la parte media y en el ápice de la hoja de maíz. Dicha hoja fue la opuesta a la floración femenina (de julio a agosto); tomando 15 a 25 plantas por cada parcela/muestra, considerando un muestreo en zigzag dentro de las parcelas.

Estas hojas se recolectaron enteras, se colocaron en bolsas de papel y se secaron en una estufa a temperatura de 65-80 °C hasta alcanzar peso constante ( $\pm 0.3g$ ), posteriormente se procedió a molerlas y pasarlas por un tamiz de malla del número 20: Se determinaron los siguientes nutrimentos en el tejido foliar:

Nitrógeno por digestión y posterior destilación con el método semi-microkjeldahl modificado para incluir nitratos (Bremner, 1965).

La concentración de fósforo se realizó por colorimetría con el método Vanadato-molibdato, previa digestión (Chapman, 1965).

Calcio y magnesio en hoja por espectroscopia de absorción atómica, previa digestión (Lindsay y Morvet, 1978).

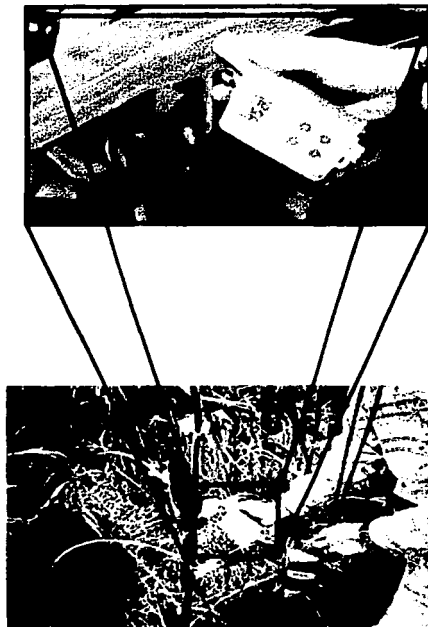


Fig. 7. Medición de clorofilas con el SPAD-502.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Con la finalidad de comparar los resultados con algunos estándares de nutrientes en las hojas de maíz, se utilizó el Cuadro 4, en este, Etcheverts, *et al.*, 1985, establece un cuadro de clases nutrimentales para maíz con concentraciones de los elementos en la hoja opuesta al jilote, durante el inicio de la floración femenina.

Cuadro 4. Clases nutrimentales.

Nivel					
Elemento %	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto	crítico
Nitrógeno	<1.80	1.80-2.60	2.61-3.50	>3.50	3.00
Fósforo	<0.11	0.11-0.25	0.26-0.45	>0.45	0.25
Calcio	<0.20	0.20-0.40	0.41-1.00	>1.00	0.40
Magnesio	<0.10	0.10-0.20	0.21-0.50	>0.51	0.25

A los datos obtenidos se les realizó un análisis estadístico de correlación y regresión lineal simple (Elston, 1990), para conocer la relación entre las variables nitrógeno, fósforo, magnesio y calcio con el promedio de clorofila medido en cada hoja, con ayuda del paquete estadístico SAS.

## 10. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Existen en el Distrito de Temporal en estudio, cinco ordenes de suelo: Andisoles, Acrisoles, Phaeozems, Litosoles y Vertisoles. Sin embargo, los dos primeros representan casi el 95% de la superficie cultivable, y estos son de tipo ácido con valores de pH de 4.2 a 5.7 (Hernández, 2000). Nutricionalmente los Andisoles se pueden catalogar como moderadamente fértiles y su potencial está definido por las características de las cenizas que los forman, entre ellas la alta fijación de fósforo que por lo general es mayor al 60%, llega fácilmente al 95% y constituye la mayor limitante de estos suelos. La baja fertilidad y bajo contenido de bases han sido y siguen siendo la principal limitación para el uso agrícola de los suelos de Acrisoles. Los Litosoles por la poca profundidad del suelo no son aptos para el cultivo y más bien son útiles para la silvicultura o en el pastoreo moderado. Los Phaeozem, al igual que los tres ordenes anteriores pueden ser suelos ácidos, pero este último tiende a la neutralidad. Los Vertisoles son suelos muy fértiles con altos contenidos de Ca y Mg, y con pH de neutro a básico (Bertsch, 1998)

La acidez del suelo es un factor que limita el crecimiento de las plantas en gran parte del eje Neovolcánico. Esta acidez ejerce efectos directos perjudiciales sobre las plantas. El hecho de que el suelo es el medio o fuente nutritiva por excelencia de las plantas, supone que alguna característica de ese suelo, o el nivel de los bioelementos en él existentes puede definir la posible alteración deficitaria de la planta sobre él cultivada (Navarro, 2000). Los requerimientos nutricionales para las plantas varían, este factor ha sido efectivamente manipulado por el agricultor alterando el rendimiento y calidad. Las plantas requieren elementos específicos para su crecimiento normal y desarrollo; el contenido de estos varía para cada cultivo (Tisdale, 1982).

### 10.1. Nitrógeno

Con los resultados del análisis químico de las hojas opuestas e inferiores a la floración femenina se encontró que la concentración de nitrógeno fue de 1.99% a 5.64% (Cuadro 5). Con respecto al nivel de este elemento en las hojas índice del maíz, para los cinco municipios se encontró en promedio en estado suficiente de acuerdo con Etchevers *et al.*, 1985 (Cuadro 4). En la Figura 8, se observa que en los 5 municipios de la zona estudiada el nivel que predomina es el suficiente y

alto ante una reciente aplicación de fertilizantes, la cual ocurre en la segunda escarda (principios de junio).

Cuadro 5. Porcentaje de nutrimentos en hoja de maíz opuesta al jilote durante la floración femenina de maíz, para cada municipio durante el ciclo agrícola primavera-verano del 2000.

Municipio	% DE NITRÓGENO			% DE FÓSFORO			% DE CALCIO			% DE MAGNESIO		
	min.	prom.	max	min.	prom.	max	min.	prom.	max	min.	prom.	max
Villa Victoria	2.57	3.44	5.06	0.09	0.16	0.35	0.32	0.75	2.27	0.21	0.34	0.91
Villa de Allende	2.78	3.58	5.64	0.06	0.14	0.17	0.21	0.66	1.19	0.18	0.29	0.74
Donato Guerra	2.21	3.20	4.14	0.09	0.13	0.17	0.64	0.79	0.97	0.23	0.42	0.54
Amanalco	2.49	3.21	3.78	0.07	0.12	0.19	0.54	0.73	0.86	0.20	0.37	0.50
Valle de Bravo	1.99	2.88	3.35	0.07	0.12	0.15	0.54	0.74	0.86	0.39	0.46	0.51

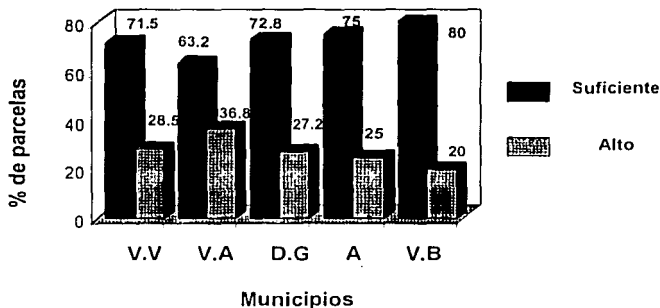


Figura 8. Porcentaje de parcelas para los distintos niveles de Nitrógeno en los municipios Villa Victoria (V.V), Villa de Allende (V.A), Donato Guerra (D.G), Amanalco (A) y Valle de Bravo (V.B).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Hernández *et al.*, (1996) mencionó que las condiciones edafológicas de la zona dieron como resultado un estado nutrimental con niveles bajos en nitrógeno, para todas las unidades edafológicas presentes, con un promedio de 2.35%, causado por la baja tasa de mineralización y las pérdidas de éste por diferentes vías en su ciclo biogeoquímico.

Las deficiencias de nitrógeno cada vez son menos frecuentes en los suelos cultivados. El agricultor sabedor de la importancia del nitrógeno, suele emplear ampliamente los fertilizantes nitrogenados, llegando incluso a abusar de los mismos con el deseo de forzar la producción sin reparar en la calidad. Muchas veces esos aumentos no se ven correspondidos en incrementos económicos de cosecha, pero no se reflexiona en esto, deslumbrado por las reacciones a veces espectaculares, de que las plantas responden a estos fertilizantes (Navarro, 2000).

Ningún otro elemento, más que el nitrógeno, promueve el crecimiento rápido y el color verde intenso; las plantas necesitan gran cantidad de nitrógeno porque forma parte de muchos compuestos importantes, incluyendo las proteínas y clorofila. Las plantas bien alimentadas producen altas cantidades de clorofila, así como hojas verde intenso.

## 10.2. Fósforo

Para los cinco municipios el fósforo en tejido vegetal se encontró en estado bajo, si se consideran los estándares reportados por Etcheverts *et al.*, 1985 (Cuadro 4). Los valores promedio obtenidos van de 0.12 a 0.16 (Cuadro 5). No se encontraron diferencias importantes entre los municipios, no obstante en Amanalco el 33.7% de las parcelas se encontró en un nivel deficiente aún cuando el nivel predominante en los otros municipios es el bajo (Figura 9). Esto concuerda con las condiciones edáficas de la zona, donde principalmente predominan Andisoles, que promueven la retención de fósforo orgánico e inorgánico (Shoji *et al.*, 1993).

La disponibilidad del fósforo disminuye a pH inferior a 6.5, debido a que el hierro y el aluminio se encuentran tanto más solubilizados cuanto menor es el pH y provocan la precipitación del fósforo como fosfatos insolubles. A valores de pH 6.5-7.5, las cantidades de hierro y aluminio solubles son muy pequeñas, con lo que la citada precipitación se reduce (Navarro, 2000). Los suelos del distrito en estudio son ácidos y fluctúan de moderada a fuertemente ácidos (4.2-5.8), los valores

más bajos los tienen los acrisoles y los que tienden a la neutralidad son Vertisoles (Hernández *et al.*, 1996).

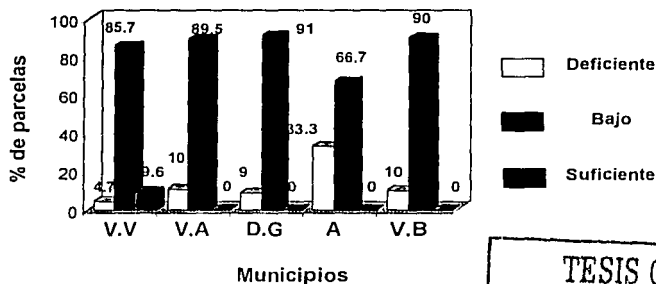


Figura 9. Porcentaje de parcelas para los distintos niveles de Fósforo en los municipios Villa Victoria (V.V), Villa de Allende (V.A), Donato Guerra (D.G), Amanalco (A) y Valle de Bravo (V.B).

Los beneficios de las prácticas de fertilización se ven limitadas, en suelos ácidos de la zona, debido a la alta fijación de fósforo, se ha encontrado para Amanalco 76.1% de fijación y para Villa de Allende un 70%, de hecho estos son los municipios con mayor retención de fosfatos (Hernández *et al.*, 1996). Lo anterior hace necesario añadir altas dosis de fertilizante consecuencia de una baja utilización por la planta.

El fósforo es un componente esencial del material genético del núcleo celular. Las células no pueden dividirse hasta poseer el suficiente fósforo (y demás constituyentes vitales) para formar un núcleo adicional. Por eso, la deficiencia de fósforo da lugar al raquitismo y al retraso de la maduración y a la producción de semillas arrugadas. El fósforo tiene una capacidad muy importante para formar enlaces con más de un nivel de energía; esta circunstancia permite el almacenamiento, transferencia y liberación de energía en el interior de la planta. Por esto la falta de fósforo dificulta procesos metabólicos como la conversión de azúcar en almidón y celulosa. De ello resulta un aumento de la concentración de azúcar que, a menudo conduce a la formación de antocianinas, que



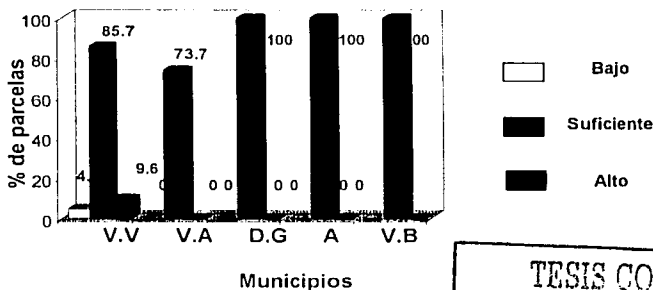
se manifiestan como manchas púrpuras en tallos y hojas. El fósforo no forma parte de la clorofila; cuando este elemento se encuentra en deficiencia y abunda el nitrógeno, suelen producirse elevados contenidos de clorofila y las plantas adquieren un color verde oscuro (Thomson, 1982). El fósforo interviene en la estructura de los ácidos nucleicos, sirviendo de puente de enlace a la molécula de pentosa del nucleótido inmediato, pero varía la proporción entre el fósforo presente en DNA y RNA y el fósforo enlazado a compuestos orgánicos; así este nutrimento es mas alto en tejido meristemático que en tejido de almacenamiento (Marschner, 1995), lo cual se reflejó en los bajos valores de concentración en la hoja utilizada como índice.

### 10.3 Calcio y Magnesio

En el presente trabajo se encontró que dentro de los cinco municipios los niveles fisiológicos del Calcio y Magnesio son suficientes de acuerdo con Etchevers *et al.*, 1985. Con valores promedio de 0.66 a 0.79% para calcio y 0.20 a 0.46% para magnesio (Cuadro 5).

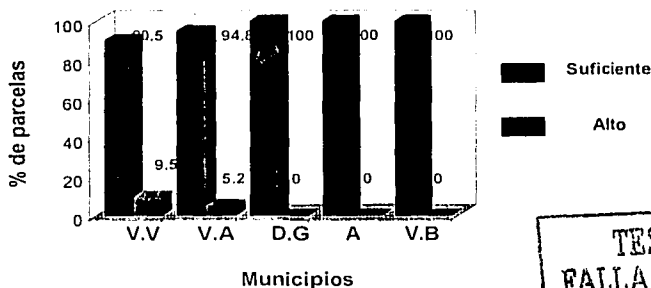
Al comparar el estado nutricional de estos elementos entre municipios, Villa de Allende presentó el 26.3% de las parcelas con niveles altos de calcio, esto puede deberse a que al ser suelos ácidos se ha agregado año tras año cal a los suelos con la intención de mejorar las condiciones del suelo y con ello el rendimiento (Figura 10 A). Villa Victoria presentó niveles bajo, suficiente y alto, no obstante predomina con 85.7% de las parcelas el nivel de suficiencia. Villa Victoria y Villa de Allende presentaron un pequeño porcentaje de parcelas con nivel alto de magnesio (Figura 10 B).

A)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

B)



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Figura 10. Porcentaje de parcelas para los distintos niveles de A) Calcio y B) Magnesio en los municipios Villa Victoria (V.V), Villa de Allende (V.A), Donato Guerra (D.G), Amanalco (A) y Valle de Bravo (V.B).

En años anteriores (Hernández *et al.*, 1996) encontró que la acidez de los suelos en este Distrito originaron bajo suministro de calcio y magnesio, que se ubicaron en niveles principalmente bajo y suficiente, lo cual es ocasionado por las pérdidas de bases ( $\text{Ca}^{++}$ ,  $\text{Mg}^{++}$ ), para restablecer la perdida de esas bases se recomiendan prácticas de encalado. Los requerimientos de cal encontrados para los suelos de la región Fisiográfica de "Mil Cumbres" para atenuar la acidez edáfica oscilan entre 900 y 1200 kg ha<sup>-1</sup> en promedio, aunque para algunos sitios en particular pueden ser hasta 2500 con dosis extremas altas y de 300 a 500 kg ha<sup>-1</sup> con dosis bajas (Cruz y Hernández, 1996).

La adición de cal al suelo con el fin de reducir su acidez es una práctica comúnmente empleada desde hace muchos años, se debe considerar por tanto como una enmienda y ello lleva consigo un aporte simultáneo de magnesio. Se obtienen enmiendas magnésicas a partir de las calizas dolomíticas, las enmiendas calizas por si solas aportan de 3 a 8 Kg de MgO por tonelada.

Un programa formal de encalado debe considerar dosis, textura y equivalente de  $\text{CaCO}_3$  del material a encalar, así como la aplicación oportuna al suelo. En un suelo encalado, si la cal aportada posee una textura conveniente, existirán al menos durante un tiempo, varias formas de calcio: como

catión disociado en la disolución junto con iones bicarbonato; como base intercambiable adsorbida al coloide; y como calcio en forma de carbonato sólido. De esta forma, la reserva cálcica, tanto de carbonatos como de iones adsorbidos, proporciona gradualmente  $\text{Ca}^{2+}$  a la disolución del suelo por cambio catiónico (Navarro, 2000).

#### 10.4. BALANCE NUTRIMENTAL.

Los rendimientos máximos de los cultivos no solo dependen del factor intensidad sino también están en combinación con el propio balance de todos los nutrientes (Marschner, 1995). Los minerales como fósforo, potasio, calcio y magnesio durante el crecimiento podrían ser deficientes entre gramíneas y leguminosas; estos macronutrientes están íntimamente relacionados con el porcentaje de C/N en el metabolismo de las plantas, estos balances juegan un papel importante en el desenvolvimiento de la fotosíntesis y otras actividades fisiológicas de la planta (Osaki, *et al*; 1996).

##### 10.4.1. Relación Nitrógeno-Fósforo.

La relación (% nutriente/% nutriente) encontrada para N: P va de 22.23 a 25.51 (Cuadro 6), lo que indica un claro desbalance entre estos nutrientes de acuerdo con Koerselman (1996) y lo cual puede determinar un exceso de N o una marcada deficiencia de P.

Koerselman (1996) realizó una revisión de 40 estudios de fertilización en la que encontró que una relación N: P mayor a 16 indica limitaciones de fósforo, mientras que una relación N: P menor a 14 indica limitación de nitrógeno y una relación N: P entre 14 y 16 indica que las plantas en crecimiento se encuentran bien alimentadas.

Una planta bien provista de nitrógeno brota pronto, adquiere un gran desarrollo de hojas y tallos y toma un bonito color verde oscuro (Figura 11), debido a la abundancia de clorofila. Una buena vegetación hace prever una intensa actividad asimiladora, es decir, un crecimiento activo y una cosecha grande. Esta acción intensa del nitrógeno sobre la vegetación no solo tiene ventajas debido a que una vegetación excesiva trae consigo el retraso en la maduración; la planta alimentada

en demasía con nitrógeno continúa desarrollándose y tarda en madurar, lo que generalmente es inconveniente y conduce a riesgo de acame en los cereales (Gros, 1981). Además este tipo de crecimiento se realiza a expensas de la producción de semilla en los cultivos para grano, como el maíz (Teuscher, 1985).



**Fig. 11.** Plantas de maíz en floración femenina con niveles óptimos N, Ca y Mg, pero deficientes en P.

Como el nitrógeno, el fósforo es un factor de crecimiento muy importante, y debe señalarse la fuerte interacción que existe entre ellos; una alimentación insuficiente en fósforo se manifestará en el análisis de la planta por un contenido menor de fósforo en los órganos verdes y en el grano. Para el agricultor supondrá un retraso en el crecimiento, fecundación defectuosa, movimiento anormal de las reservas y retraso de la maduración, lo que determina en conjunto una reducción más o menos pronunciada de la cosecha y menor calidad de la misma.

El nitrógeno, fósforo y azufre son constituyentes esenciales de las proteínas. Forman parte de las estructuras orgánicas en proporciones relativamente fijas, de manera que la deficiencia de cualquiera de ellos puede limitar la utilización de los restantes. Existe una estrecha relación entre el fósforo y la proteína; una deficiencia de fósforo puede provocar acumulaciones de nitrógeno y azufre disueltos en la savia debido a que no pueden utilizarse para la síntesis de proteínas (Thompson, 1982).

Los valores de la relación N/P ya indicados, señalan una severa disminución de fósforo por lo que las plantas ven disminuido su crecimiento ya que, el fósforo es también un nutrimento importante para la fotosíntesis, respiración, metabolismo energético, y metabolismo de carbohidratos. La relación directa entre nitrógeno y fósforo es como sigue: bajo condiciones de deficiencia de fósforo, la absorción y reducción de nitrato son suprimidas ante el retraso de la síntesis de proteínas (Schjorring 1986; Rufty y Mackown 1990).

#### **10.4.2. Relación nitrógeno-calcio.**

La relación nitrógeno: calcio se encuentra en un desbalance, ya que la relación óptima es de 7.5 y los valores encontrados de esta relación van de 3.89 a 5.42, lo que indica que el calcio está más bajo que el nitrógeno (Cuadro 6). Además en suelo ácidos una importante fuente de N es la forma amoniacal ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ), la cual al ser absorbida por las plantas en grandes cantidades, y afecta la absorción de otros cationes como el  $\text{Ca}^{2+}$ .

El calcio es importante para la síntesis de proteínas y transferencia de carbohidratos (Jones, 1998). Como segundo mensajero envuelve la fosforilación de las proteínas, el calcio puede ser un importante factor en la regulación de la actividad de numerosas enzimas (Hopkins, 1995).

Cuadro 6. Relaciones nutrimentales para cada elemento de las clases nutricionales en la hoja opuesta a la mazorca (jilote) en la etapa de floración, para los cinco municipios.

MUNIC.	N/P	N/Ca	N/Mg	Ca/P	Ca/Mg	Mg/P
Villa Victoria	21.51	4.58	10.11	4.68	2.21	2.12
Villa de Allende	25.51	5.42	12.34	4.71	2.27	2.06
Donato Guerra	24.69	4.06	7.64	6.06	1.88	3.23
Amanalco	22.23	4.39	8.67	5.05	1.97	2.56
Valle de Bravo	24.01	3.89	6.26	6.16	1.61	3.83
<b>Relación óptima para el balance nutrimental del cultivo de maíz (Nivel crítico/nivel crítico).</b>						
	N/P	N/Ca	N/Mg	Ca/P	Ca/Mg	Mg/P
	12	7.5	12	1.6	1.6	1

#### 10.4.3. Relación nitrógeno-magnesio.

Esta relación nutrimental fue adecuada en Villa de Allende, no obstante para los otros cuatro municipios el magnesio tuvo un nivel inferior al del nitrógeno. El municipio de Valle de Bravo presentó el mayor desbalance, la relación promedio para este fue de 6.26. (Cuadro 6).

El magnesio juega un papel específico en el proceso de activación de numerosos sistemas enzimáticos los que involucran el metabolismo del nitrógeno (Cajuste, 1977).

El magnesio responde negativamente a las aplicaciones del nitrógeno al suelo. La explicación probable a la concentración foliar de magnesio en función de la fertilización nitrogenada, es que se trata de un efecto de dilución, pues aumenta proporcionalmente más la biomasa de las hojas y el Mg es distribuido en una mayor cantidad de materia seca, resultando en

concentraciones más bajas de magnesio ante aplicaciones crecientes de nitrógeno al suelo, dicha absorción limitada de magnesio se debe a la disponibilidad insuficiente de magnesio (Baca, 1997).

#### **10.4.4. Relación calcio-fósforo.**

En los cinco municipios se presentaron niveles bajos de fósforo con relación al calcio (Cuadro 6).

El calcio es un ión esencial para la actividad de numerosas enzimas, algunas de las cuales son componentes de la membrana celular. Especialmente relevante es la asociación ATPasas-Calcio. Estas enzimas catalizadoras transfieren la energía del ATP para que la membrana realice procesos como el transporte de iones. Igualmente importante es el hecho de que el calcio transportado alrededor de la membrana puede bajo algunas condiciones, manejar directamente la síntesis de ATP (Atkinson, 1980).

Alvarado (1990) investigó en invernadero el efecto del encalado en la disponibilidad de fósforo y el rendimiento de materia seca de maíz en suelos ácidos del Estado de México. Sus resultados mostraron que el encalado no tuvo un efecto significativo en el rendimiento de materia seca, aun cuando la absorción de fósforo por el cultivo se incrementó.

El encalado puede incrementar o disminuir la extractabilidad del fósforo a través de las raíces, lo que depende de las propiedades de cada suelo y de la cantidad de cal aplicada. Los incrementos en el fósforo extraído por efecto del encalado en el suelo pueden deberse a la hidrólisis de fosfatos de aluminio, dicho mecanismo, ha sido considerado como el responsable de una mayor extractabilidad del fósforo, al elevar el pH del suelo. Por otra parte el decremento en el fósforo extraído del suelo con la aplicación de cal, puede deberse a la formación de fosfatos de calcio cuando existe sobrencalado (Alvarado, 1992).

#### **10.4.5. Relación magnesio-fósforo.**

En esta relación nutrimental, el fósforo tiene un nivel bajo con relación al magnesio en todos los municipios (Cuadro 6).

Parece que el magnesio esta asociado con la absorción de fósforo por la planta, siendo aquel elemento un transportador de fósforo dentro de esta (Cajuste, 1977). El magnesio es un activador de muchas reacciones de transferencia de fosfato (excepto de fosforilasas), de enzimas implicadas en la síntesis de ácidos nucleicos y también de muchas enzimas que involucran transferencia de  $\text{CO}_2$ , reacciones de carboxilación y descarboxilación. Como tal, el Magnesio es decisivo en las reacciones del metabolismo energético, así como en la síntesis de constituyentes del núcleo, cloroplasto y ribosoma (Hopkins, 1995).

#### **10.4.6. Relación calcio-magnesio**

En la relación  $\text{Ca/P}$  y  $\text{Mg/P}$ , se observó al fósforo como elemento deficiente por lo que al comparar  $\text{Ca}$  y  $\text{Mg}$  entre sí se encontró que estos dos nutrientes tuvieron un adecuado balance (Cuadro 6). Para la relación calcio magnesio, lo ideal es que la planta tenga una relación  $\text{Ca/Mg} = 2$ . Si esta es superior a tres probablemente faltara magnesio. Si es inferior a uno, puede faltar calcio, sobre todo si el valor de este no es muy grande (López, 1990).

De hecho la química del magnesio es, en muchos aspectos, parecida a la del calcio. Por lo tanto, la disponibilidad del magnesio para la planta se encuentra controlada por casi los mismos factores que actúan sobre las del calcio. Al igual que en el caso del calcio, la deficiencia de magnesio puede corregirse con base en un programa adecuado de encalado. Generalmente es necesario hacer aplicaciones periódicas de cal a estos tipos de suelos para mantener un suministro adecuado de magnesio (Cajuste, 1977). Aunque el incremento de magnesio puede competir con el calcio en la absorción y translocación, el incremento de magnesio de un nivel deficiente a adecuado puede actualmente incrementar la absorción de calcio y solamente a niveles excesivos de magnesio el calcio puede ser sustancialmente reducido (Atkinson, 1980).



Los nutrimentos compiten para ser tomados por las plantas; el magnesio y el calcio compiten, si la relación calcio-magnesio es más grande que 3 el magnesio puede no ser tomado por la planta (Plaster, 1997).

## 10.5. CLOROFILA.

### 10.5.1. Relación clorofila-nitrógeno.

Los valores de clorofila variaron considerablemente, con valor mínimo de 21.80 y valor máximo de 68.5 unidades SPAD, dichos valores coincidieron con valores altos y bajos de nitrógeno, respectivamente (Cuadro 7). El Nitrógeno es el mayor nutrimento y la fotosíntesis requiere considerablemente este elemento porque es muy activo en procesos metabólicos y es utilizado para la síntesis de muchos compuestos.

Smeal y Zhang en 1994 encontraron que con un tratamiento de urea alto (224 kg ha<sup>-1</sup>) el porcentaje de nitrógeno en promedio era de 3.1, en tanto que las lecturas del medidor de clorofila fue de 49 unidades SPAD en plantas de maíz (en la hoja 17 emergida); también encontraron que en la etapa anterior a la floración el valor de las lecturas de clorofila fue de 52 unidades SPAD, y ellos tomaron este último valor para prevenir reducciones en el rendimiento del maíz.

Bullock y Anderson (1998) utilizando híbridos de maíz en su investigación, encontraron que eran plantas grandes con un promedio de lecturas SPAD de 46.6 a 57.3; aunque no todas las plantas tenían el mismo color verde para diferentes tasas de fertilización, las lecturas SPAD y la concentración de nitrógeno aumentaron gradualmente conforme incremento la tasa de fertilización. Como el nitrógeno disponible incrementó y hubo mayor producción de clorofila en la hoja, las plantas exhibieron un incremento en el verdor de las hojas.

Cuadro 7. Valores promedio de clorofila para los cinco municipios (en unidades SPAD).

MUNICIPIO	PARTE DE LA HOJA *	VALORES DE CLOROFILA EN UNIDADES SPAD		
		Mínima	Media	Máxima
Villa Victoria	Base	45.50	53.28	63.10
	Medio	47.80	55.28	62.70
	Apice	42.50	52.16	61.20
	Hoja **	46.10	53.56	62.30
Villa de Allende	Base	40.10	49.78	57.50
	Medio	40.70	54.09	68.50
	Apice	26.70	50.08	59.90
	Hoja **	37.90	51.31	61.90
Donato Guerra	Base	46.50	51.69	57.30
	Medio	51.40	56.34	60.10
	Apice	43.80	51.10	57.70
	Hoja **	47.70	53.04	58.30
Amanalco	Base	36.90	50.19	56.90
	Medio	44.70	54.04	61.60
	Apice	35.60	48.65	60.30
	Hoja **	40.30	50.97	58.70
Valle de Bravo	Base	21.80	48.46	58.30
	Medio	27.70	51.01	58.70
	Apice	33.10	50.39	60.80
	Hoja **	27.60	49.90	57.40

\*Hoja inferior y opuesta al jilote o floración femenina.

\*\*promedio total de la hoja.

Piekielek *et al* (1995) investigaron en plantas de maíz en etapa de dentición temprana, obtuvieron promedio de lecturas SPAD de 52. Los datos fueron separados en dos grupos, un grupo con óptima cantidad de N con 54 unidades SPAD, unidades menores a 52 se consideraron con deficiencias de nitrógeno; con cantidades superiores a 54 hubo exceso de nitrógeno. Por definición

las lecturas SPAD no pueden ser usadas para predecir cantidades excesivas de nitrógeno aplicado; no obstante con las lecturas de 56 a 65 unidades SPAD la cantidad de nitrógeno en hoja fue excesiva. Con lo anterior ellos propusieron que el rango inferior de suficiencia fuera de 52 unidades; el índice superior de suficiencia de 56 unidades SPAD, el cual fue el más bajo nivel de los sitios con excesos. de fertilizante nitrogenado; y 54 como el valor óptimo.

Shapiro (1999) utilizó una tasa de nitrógeno de  $180 \text{ kg ha}^{-1}$  durante tres años y encontró suficiencia de nitrógeno en hoja de maíz en dentición temprana con valores máximos de 51, 55.8 y 59.4 unidades SPAD para cada año, respectivamente.

Wood *et al.*, (1992), encontró que suelos con suficiencia de fósforo los valores máximos de clorofila fueron de 60.2 y 62.3, para los años de 1991 y 1992, en plantas de maíz híbrido en floración. Piekielek y Fox (1992) indican que otros factores además de la disponibilidad de nitrógeno afectan las lecturas de clorofila; entre los factores que pueden ser considerados son: estrés de la planta, temperaturas bajas o altas, población de plantas y deficiencias de otros nutrientes.

Krugh *et al.*, (1994) seleccionaron hojas de maíz de diferentes tonalidades; les determinaron las unidades SPAD y cuantificaron la clorofila extractable, sus resultados mostraron alta correlación entre ambos parámetros ( $r = 0.96$ ). Con la figura 12 ellos mostraron que aproximadamente un  $\mu\text{g}$  de clorofila por  $\text{cm}^2$  equivale a 1 unidad SPAD, no obstante es necesario realizar más trabajos a este respecto.

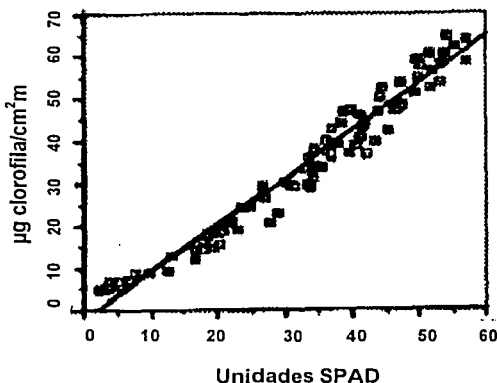


Fig.12. Relación clorofila/unidades SPAD (Tomado de Krugh *et al*, 1994).

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

#### 10.5.2. Relación clorofila-fósforo.

Con dosis bajas de fósforo, la concentración de clorofila disminuyó ligeramente por alteraciones metabólicas causadas por la deficiencia de fósforo; probablemente el efecto de este elemento sobre la clorofila se debe a efectos sobre el crecimiento foliar y desarrollo.

El suministro de fosfatos afecta muchos aspectos de la función fotosintética y otros procesos de la planta, así esto dificulta la atribución de lesiones específicas del metabolismo causado por deficiencias. Uno de los muchos efectos de la deficiencia de fosfato es la disminución del contenido de ATP en los tejidos y así reducir la regeneración de Rubi (ribulosa bifosfato); bajo tales condiciones el transporte de electrones puede no disminuir mucho la asimilación de  $\text{CO}_2$ , en tal caso, los nucleótidos de piridina son altamente reducidos, y la cantidad de N aumenta con la disipación de la energía por el ciclo de las xantofilas. El contenido de pigmentos xantofilas frecuentemente incrementa con la deficiencia de fósforo. Sin embargo, la regulación del metabolismo con deficiencias de fosfato también envuelve cambios para la actividad enzimática, por ejemplo. Baja cantidad de fósforo disminuye la actividad de rubisco (Lawlor, 2001).

Díaz (1987) observó, como a cualquier aumento de fósforo en la solución nutritiva correspondió un incremento en la concentración de fósforo en cualquier parte de la planta de frijol, pero no se encontró una relación clara con el contenido de clorofila, más bien al parecer el fósforo ejerce un efecto indirecto a través del crecimiento que afecta finalmente de la cantidad de clorofila en la planta. La deficiencia aguda de fósforo provocó una mayor concentración de clorofila en los tejidos foliares, de manera más acentuada en las primeras etapas de crecimiento; pero la deficiencia muy aguda de fósforo produjo clorosis en las etapas reproductivas.

Peng, *et al.*, 1999, mencionan que la deficiencia de fósforo reduce la concentración de Nitrógeno en hojas de arroz en etapa tempranas, pero incrementa la concentración de N en hojas en etapa de floración, cuando fue aplicada la misma cantidad de nitrógeno. En la etapa de floración la relación entre los valores SPAD y la concentración de nitrógeno en hoja no fue significativamente afectada por el estado del fósforo.

### 10.5.3. Relación clorofila-calcio.

En el calcio se encontró una relación lineal negativa, lo cual puede deberse a que la mayoría del calcio se localiza en las paredes celulares y en las vacuolas, y en menor proporción en enzimas involucradas en la fotosíntesis.

El calcio es esencial para las funciones normales de la membrana en todas las células, probablemente como enlazador de fosfolípidos, entre sí o proteínas de membrana. Este nutrimento esta recibiendo renovada atención debido a que en la actualidad se reconoce que todos los organismos mantienen concentraciones inesperadamente bajas de  $\text{Ca}^{2+}$  libre en el citosol. La mayor parte del calcio en las plantas se encuentra en las vacuolas centrales y unido a las paredes celulares o polisacáridos llamados pectatos, en las vacuolas el calcio muchas veces se precipita en forma de cristales insolubles de oxalatos, en algunas especies, como carbonato, fosfatos o sulfatos insolubles. Las concentraciones bajas, casi micromolares, de  $\text{Ca}^{2+}$  en el citoplasma al parecer debe mantenerse en parte para impedir la formación de sales de calcio insolubles a partir de ATP y otros fosfatos orgánicos.

Gran parte del calcio en el citosol se une de manera reversible a una pequeña proteína de nominada calmodulina, esta unión cambia la estructura de la calmodulina de tal forma que activa varias enzimas necesarias en la fotosíntesis. Hasta la fecha, entre las enzimas que se sabe son activadas por el complejo Ca-calmodulina en plantas existen varias proteínas (enzimas) cinasas,  $\text{NAD}^+$  cinasa (una enzima que utiliza ATP para fosforilar  $\text{NAD}^+$  a  $\text{NADP}^+$ ) y una ATPasa de la membranas plasmáticas que transfiere el exceso de  $\text{CA}^{2+}$  a fuera de la célula (Salisbury, 1994).

#### 10.5.4. Relación clorofila-magnesio.

El magnesio tuvo una relación negativa con las clorofilas, así mientras el magnesio aumenta la clorofila disminuye.

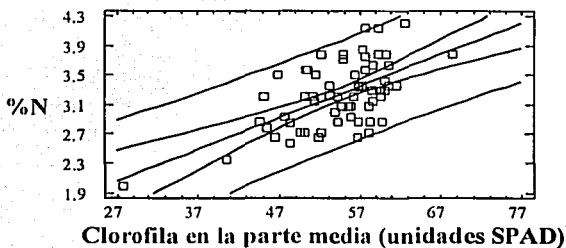
Algunas de las funciones del magnesio se relacionan con una gran capacidad para interaccionar con ligandos fuertemente nucleofílicos (por ej. grupos fosforilo) a través de enlaces iónicos que lo hacen actuar como elemento enlazante para formar compuestos de diferente estabilidad. Sin embargo, la mayoría enlaces que involucran al magnesio son primordialmente iónicos y algunos son covalentes como la molécula de la clorofila. El magnesio también forma complejos ternarios con enzimas en las cuales el elemento central catiónico es requerido para establecer una geometría precisa entre la enzima y el sustrato; la enzima ribulosa bifosfato carboxilasa es un ejemplo de lo anterior. Finalmente, una importante cantidad de magnesio está involucrada en la regulación del pH celular y en el balance cationes/aniones requerido para el equilibrio químico y electrostático celular (Marschner, 1995). En las células del tejido foliar maduro cerca del 15% del volumen total celular está ocupado por cloroplastos y el citoplasma, la pared celular el 5% y el resto (80%) por la vacuola; así la vacuola es la principal reserva de magnesio, sobre todo cuando hay estrés por sequía.

Ciertamente la función más familiar y conocida del magnesio en las células de las hojas verdes, es su papel como átomo central de la clorofila. La proporción de magnesio total enlazado a la clorofila depende mucho del suministro de este elemento en la dosis de fertilizante. En hojas de trébol la proporción de magnesio total: magnesio en clorofila esta en el intervalo de 6% en hojas de plantas con alto suministro de Mg y de 35% en hojas de plantas deficientes de Mg, en la mayoría de las especies la disminución del crecimiento y los síntomas visuales de deficiencia se presentan

cuando la proporción del magnesio en la clorofila, respecto al total, excede del 25% (Scout y Robson, 1990; citado por Marschner, 1995).

### 10.6. CORRELACIÓN ENTRE CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL Y LECTURAS SPAD.

Al realizar la correlación entre las lecturas de clorofilas en unidades SPAD con los porcentajes de los nutrientes; la mayor correlación de clorofilas se encontró en la parte media de la hoja, para el caso del nitrógeno, con un coeficiente de correlación de  $r = 0.59$ , este análisis se tomaron en cuenta el 90% de los datos para todos los nutrientes, dado que el 10% de estos por ser valores altos o bajos, que coincidieron con valores bajos o altos de nitrógeno respectivamente desviaba la correlación. El coeficiente de correlación indicó una relación positiva moderada (Manzano, 1997) entre las variables nitrógeno y clorofila, así un aumento en Nitrógeno predispone un aumento en clorofila (Figura 13).



TESIS OCULTA  
 FALLA DE ORIGEN

Figura 13. Diagrama de dispersión para la relación clorofila en la parte media de la hoja con el porcentaje de nitrógeno.

En el caso del fósforo, la mayor correlación se encontró con la clorofila de la base con  $r = 0.27$ , lo cual indica una relación positiva entre estas dos variables; si se eleva el valor de fósforo se eleva ligeramente la clorofila, lo que puede explicarse por que la planta se encuentra en floración y

se destina mucha energía a los procesos metabólicos relacionados con la formación de estructuras florales y posterior formación del fruto (Figura 14).

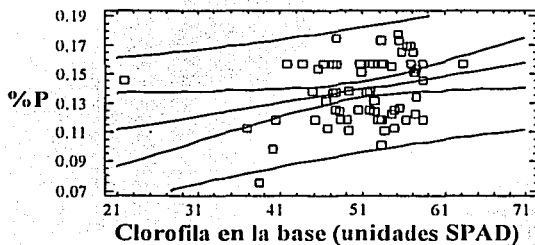


Figura 14. Diagrama de dispersión para la relación clorofila en la base con porcentaje de fósforo.

La mayor correlación con calcio se dio con la clorofila del ápice, con  $r = -0.38$ , lo cual indica una correlación negativa entre las variables. Así cuando aumenta el calcio disminuye ligeramente el valor de clorofila, debido a que este elemento es poco móvil a diferencia del fósforo, su porcentaje en tejido vegetal es relativamente independiente a la concentración de clorofila (Figura 15).

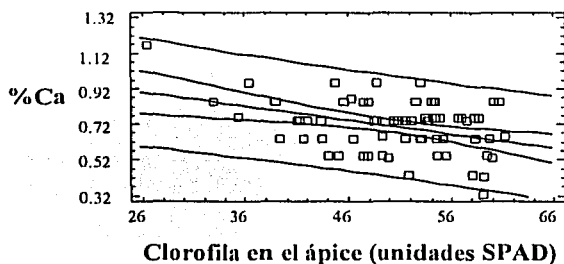
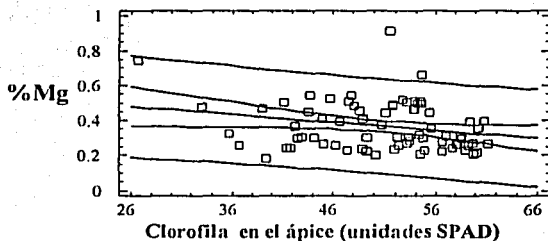


Figura 15. Diagrama de dispersión para la relación clorofila en el ápice con porcentaje de calcio.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



En el caso del magnesio la mejor correlación se encontró con clorofila en el ápice, con una  $r = -0.24$ , lo cual es una relación negativa, conforme aumenta el magnesio disminuye ligeramente el valor de clorofila (Figura 16).



TERCER CON  
 FALLA DE ORIGEN

Figura 16. Diagrama de dispersión para la relación clorofila en el ápice con porcentaje de magnesio.

En el presente trabajo no se midió la concentración de N, P, Ca y Mg en cada parte de las hojas; no obstante Jones en 1970, midió los elementos esenciales en hojas de maíz en floración y encontró que los mayores porcentajes de N fueron en la parte media, fósforo en la base, calcio en el ápice y magnesio en la parte media; esto concuerda con la movilidad de cada elemento y con la zona de crecimiento, primero apical y después marginal de la hoja.

Rodríguez (1998) encontró alta correlación ( $r = 0.96$ ) entre el porcentaje de nitrógeno y las unidades SPAD en plantas de jitomate. En plantas de arroz en floración Peng *et al.*, (1999) observaron alta correlación ( $r = 0.93$  a  $0.96$ ). Bullock y Anderson obtuvieron una  $r$  de 0.78 para maíz híbrido en floración.

La mayoría de los trabajos citados en la bibliografía se llevaron a cabo en condiciones óptimas para las plantas y generalmente en invernadero, pero en el Distrito de Temporal N° 7 existió gran variabilidad en las condiciones climáticas, edafológicas y nutrimentales. En esta área la mayor parte del maíz se produce en condiciones de temporal por lo que la absorción de nutrimentos, así como el rendimiento dependen de la cantidad de precipitación en el cultivo; para el año en estudio la

precipitación fue escasa y mal distribuida. En cuanto al tipo de siembra hubo tempranas en marzo para cultivos de riego, intermedias en abril para cultivos de riego y temporal; y tardías en abril y mayo para cultivos solo de temporal. La preparación del terreno sigue siendo en su mayoría (58%) con el uso de yunta, ya sea por falta de recursos o bien debido a las condiciones del terreno. Además en los aspectos tecnológicos llama la atención el hecho de que la mayoría de los productores (94% aproximadamente) utiliza semilla criolla con una densidad de siembra que va de 50,000 a 75,000 plantas  $\text{Ha}^{-1}$ . En relación con el tipo de fertilizante utilizado como fuente de N, destacan la urea y el sulfato de amonio, de P la fuente principal es de superfosfato de calcio simple y superfosfato de calcio triple, para calcio y magnesio la principal fuente es la cal agrícola aplicada (SEDAGRO, 1996). Esta variabilidad en las condiciones donde se desarrollaron las plantas fue lo que originó la moderada y baja correlación entre los nutrientes y la clorofila.

### 10.7. REGRESIÓN.

Aunque la correlación informa sobre la intensidad de la relación lineal, no informa como determinar un valor de "Y" dado con un valor de "X". Esto lo hace el análisis de regresión, este calcula una ecuación que produce valores de "Y" para valores de "X" dados; con lo cual se pueden hacer predicciones. Generalmente no predice el valor exacto de "Y", se acepta por lo general si las predicciones están razonablemente cercanas a los valores reales. El estadístico busca una ecuación que le permita expresar la relación entre dos variables (Wonnacott, 1999), la ecuación que se eligió es aquella que se ajustó mejor al diagrama de dispersión. La  $r^2$  estadística indica que el modelo explica el 36% de la variabilidad en el nitrógeno, 7.5% del fósforo, 14.5% de calcio y 5.61% de magnesio; todas las  $r^2$  son bajas, pero significativas (Cuadro 8 y Figuras 17-20).

**Cuadro 8.** Modelo estadístico para cada uno de los nutrientes.

modelo	$r^2$	Desviación estándar de residuales	r
%N= 0.88464+0.04312(clorofila media)	0.36	0.36	0.59
%P = 0.09171+0.00093(clorofila base)	0.07	0.02	0.27
%Ca= 1.12946-0.00806(clorofila ápice)	0.14	0.14	-0.38
%Mg= 0.59553-0.00428(clorofila ápice)	0.06	0.13	-0.24

Valores de p menor a 0.05, significativamente estadístico 95% nivel de confiabilidad

Smeal y Zhang (1994), Chapman y Barreto (1997) encontraron  $r^2$  de 0.81 a 0.85, al igual que Wood *et al.*, (1992) obtuvo una  $r^2$  de 0.90 para maíz en floración con óptimos niveles de nitrógeno y fósforo. Peng *et al.*, (1999) obtuvo una  $r^2$  de 0.93 a 0.96 para plantas de arroz en floración.

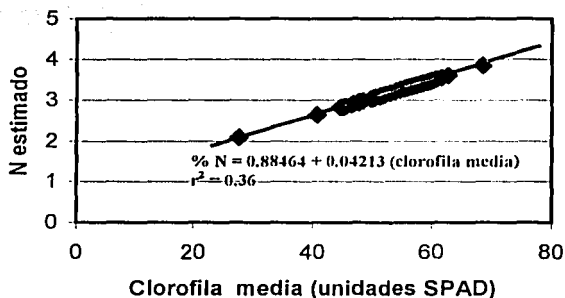


Fig. 17. Nitrógeno estimado con la ecuación obtenida por el estadístico de regresión.

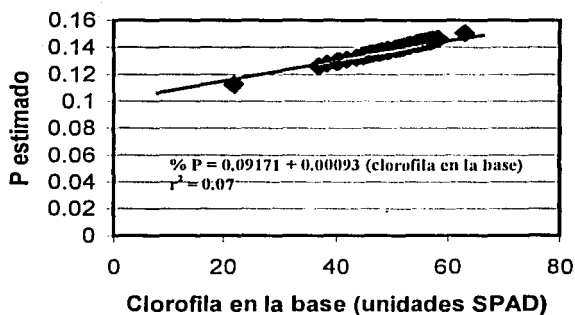


Fig. 18. Fósforo estimado con la ecuación obtenida por el estadístico de regresión.

FESIS CON  
 FALTA DE ORIGEN

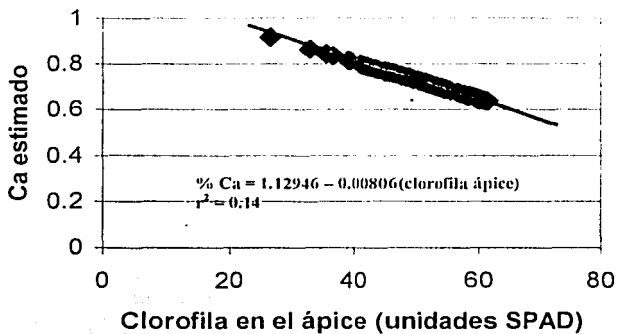


Fig. 19. Calcio estimado con la ecuación obtenida por el estadístico de regresión.

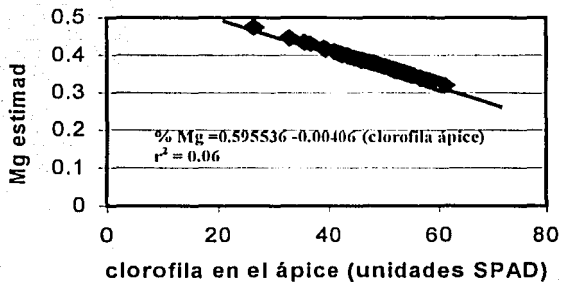


Fig. 20. Magnesio estimado con la ecuación obtenida por el estadístico de regresión.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 10.8. RELACIÓN DEL RENDIMIENTO CON LA CLOROFILA.

Debido a la dificultad para obtener el rendimiento en cada una de las parcelas muestreadas, sólo se obtuvieron los rendimientos promedio para cada municipio (proporcionados por SEDAGRO), estos fueron bajos en comparación con años anteriores (Cuadro 9).

Cuadro 9. Rendimiento del maíz en Kg Ha<sup>-1</sup> (Tomado de SEDAGRO; 2001).

Municipios	Ciclo primavera-verano (62,300 hectáreas cultivadas)			
	1996	1998	1999	*2000
Villa Victoria	3,939	3,200	3,300	2,500
Villa de Allende	4,300	3,200	3,300	2,500
Donato Guerra	4,550	3,100	3,200	2,400
Amanalco	3,642	3,200	3,200	2,500
Valle de Bravo	3,476	3,200	3,200	2,400

\* Año en que se realizaron las mediciones de clorofila

La clorofila medida en las hojas de maíz, en el ciclo primavera-verano del año 2000 no se correlacionaron con el rendimiento, las *r* no fueron significativas (Cuadro 10).

Cuadro 10. Correlación entre la clorofila y el rendimiento del maíz.

Clorofilas	Coefficiente de correlación de Pearson ( <i>r</i> )
Base de la hoja	0.0181
Parte media de la hoja	0.0156
Apice de la hoja	-0.011
Promedio total de la hoja	0.044

El rendimiento no puede ser explicado sólo en función del abasto de nutrientes, debido a que éste es el resultado de la interacción de diferentes factores, tales como: bióticos, genéticos, climáticos, edáficos y de manejo Zarate y Vergara, 1989). Estos pueden afectar en diferente grado a la producción de grano y no han sido incluidos en el diagnóstico elaborado.

El rendimiento estuvo directamente afectado por la deficiencia de fósforo; además de las condiciones climáticas severas que se observaron en los dos años anteriores y en el propio año de muestreo (precipitación escasa y mal distribuida). Otro factor que afectó el rendimiento fue la descapitalización de los agricultores por las pérdidas sufridas en estos años, así como las relaciones precios-insumos (bajo el costo de 1,800 a 1.400 pesos por tonelada de grano y subió el precio del fertilizante) lo cual fue menos favorable para la producción de maíz.

La precipitación en la región es altamente variable. Los rendimientos del maíz son altamente dependientes del agua presente en el suelo durante la siembra y la precipitación recibida durante la etapa de crecimiento; alta variabilidad en la precipitación y variabilidad resultante en el crecimiento hace difícil la estimación del rendimiento óptimo cuando se calculan las necesidades de fertilizante nitrogenado. En relación con la cantidad de agua disponible para las plantas, el periodo anterior y posterior a la época de la floración y polinización es el más importante como condicionante del rendimiento en grano de la cosecha, la sequía produce deficiente producción de grano en las mazorcas y es más perjudicial si coincide con temperaturas superiores a la media.

En plantas sometidas a escasez de agua y temperaturas superiores a la media, se ha observado un incremento en la cantidad de nitratos acumulados en sus tejidos. Esto se explica por una fuerte reducción de la actividad de la enzima nitrato-reductasa, encargada de transformar el nitrógeno de forma nítrica en nitrógeno reducido, propio de las moléculas de los aminoácidos. Esta reducción de la actividad enzimática está producida por la incidencia simultánea de la falta de agua en los tejidos de las plantas y la elevada temperatura atmosférica, y puede ser observada incluso antes de que se aprecien los síntomas de la falta de turgidez en los tejidos foliares.

Además cuando el nitrógeno es absorbido en forma amoniacal (catión  $\text{NH}_4^+$ ), el mantenimiento en los tejidos de la planta del equilibrio entre aniones y cationes, hace que se reduzca la absorción de otros cationes, tales como calcio, el potasio o el magnesio. Pero si, como es lo más frecuente, el N es extraído en forma nítrica (anión  $\text{NO}_3^-$ ), la misma ley del equilibrio interno actúa reduciendo la absorción de otros aniones, tales como el fósforo, del medio nutritivo.

Word *et al*, 1992 encontraron que la irrigación suplementada en 1990 no fue suficiente para aumentar el rendimiento como ocurrió con la alta cantidad de lluvia en 1991. El mayor rendimiento

para 1991 fue probablemente ayudado por la siembra temprana que resultó en un régimen de temperatura más favorable durante la polinización. Las lecturas de clorofila medidas en campo en hojas de maíz en floración fue más alta en 1991 que en 1990, debido a diferencias en el crecimiento de maíz, y al metabolismo de nitrógeno y carbohidratos que fueron promovidos por diferentes condiciones climáticas, estas lecturas SPAD promedio fueron 60.2 y 62.3 en 1990 y 1991, respectivamente, con suficiente fósforo disponible en el suelo. El rendimiento alcanzó 7,000 kg ha<sup>-1</sup> en 1990 y 9,500 kg ha<sup>-1</sup> en 1991. La relación clorofila-rendimiento, fue de  $r^2 = 0.81$  en 1990 y  $r^2 = 0.89$  en 1991.

Bullock y Anderson, 1998 obtuvieron alta correlación entre clorofilas de hojas de maíz en floración y el rendimiento ( $r = 0.81$ ), cuando este rendimiento fue alto (Rendimiento de 7,500 a 11,500 kg ha<sup>-1</sup>). Sus rendimientos variaron de 2,700 a 11,500 kg ha<sup>-1</sup> en parte, a la variación ambiental que observaron, lo que se explicó por los diferentes tipos de suelos y sus características en el suplemento de nitrógeno; las diferencias en la cantidad de lluvia también contribuyeron a las variaciones del medio ambiente en el mes de julio (época de floración), cuando hubo una mayor cantidad de lluvia, lo que ayudo para obtener un buen rendimiento. El menor rendimiento se presentó en suelos con baja tasa de mineralización de nitrógeno y poca lluvia.

## II. CONCLUSIONES.

- Se encontraron niveles de suficiencia en Nitrógeno, Calcio y Magnesio. Nivel bajo de fósforo, este último ocasionado por la alta retención del nutrimento en el suelo predominantemente ácido.
- Existe desbalance entre los nutrimentos principalmente N/P, lo cual ocasionó una disminución del rendimiento.
- La cantidad de clorofila expresada en unidades SPAD promedio fueron de 49.78 a 56.39, los cuales indican un nivel de suficiencia de nitrógeno. La clorofila se correlacionó moderadamente con la concentración de Nitrógeno ( $r = 0.59$ ). Para fósforo, calcio y magnesio los niveles de correlación con la clorofila son bajos, ocasionados por el nivel de fósforo y las condiciones climáticas.
- El rendimiento no se correlacionó con la clorofila; lo cual se debe a la sequía del año de estudio que incremento la cantidad de nitrógeno y disminuyó la absorción de fósforo.
- El medio ambiente, híbridos y criollos y tasa de fertilización tuvieron efectos en las lecturas SPAD. Tal variación enfatizo la dificultad que éstas pueden tener para adoptar el uso del medidor SPAD para determinar la necesidad de adicionar nitrógeno, a través de diferentes condiciones climáticas y variedades de maíz. Justamente como una prueba de tejido vegetal, se necesitan desarrollar procedimientos estándar para las lecturas SPAD (por ejemplo, para la hoja encontrar cual etapa de desarrollo es la más apta para un nutrimento en particular.
- El medidor de clorofilas SPAD-502, no puede realizar predicciones exactas de cuanto fertilizante nitrogenado se necesitará ser adicionado a un cultivo durante las etapas de crecimiento futuras. Por lo tanto, el SPAD-502 puede ser más útil como un diagnóstico de ayuda complementario que como una herramienta para el manejo de nitrógeno en maíz.



## 12. SUGERENCIAS.

Se recomienda medir las unidades de SPAD-502 en plantas de maíz de diferentes hábitos de crecimiento, diferentes estados fenológicos y niveles de nutrición para obtener ecuaciones de regresión que se puedan utilizar en invernadero y campo.

Es importante conocer que otros factores afectan las lecturas SPAD, como son variedad, posición de la hoja en la planta y parte de la hoja donde la lectura es tomada; también es importante mantener en mente que deficiencias de fósforo, magnesio, zinc, manganeso y hierro entre otros, pueden influenciar las lecturas SPAD.

### 13. CITAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Alvarado L. J. 1990. Efecto de la cal en la disponibilidad de P y los componentes responsables de su fijación. Centro de Edafología, Colegio de Posgraduados. Montecillo, México. Tesis de Maestría.
- Alvarado L. J. 1992. Respuesta del maíz al encalado de suelos del Valle de Atlacomulco, México. *Terra* 10:262-273.
- Artero J. 1992. Botánica. Ed Everest. España. pp 63-66.
- Atkinson D. 1980. Mineral nutrition of fruit trees. Butterworths, Boston USA.
- Baca A.G. 1997. Estados nutrimentales del aguacatero en el suelo Ando fertilizado con N, P y K durante seis años consecutivos. *Terra* 15(4):371-381.
- Bellapart V. 1988. Agricultura Biológica en Equilibrio con la Agricultura Química. Ed AEDOS. España.
- Bertsch H. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Ed. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. pp 99-117.
- Bremmer J. M. 1965. Total Nitrogen. In: C.A.Black (ed); *Methods of Soil Analysis. Part 2, Agronomy N° 9*. Am. Soc. Agron;Madison, Wisconsin. pp 1149-1178.
- Bremmer L. M. y Mulvaney C. S. 1982. Total nitrogen. Pp. 595-634. In: *Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties (Agronomy 9)*. ASA Ed. Wisconsin, USA.
- Bullock D. G. y Anderson D. S. 1998. Evaluation of the Minolta SPAD-502 Chlorophyll Meter for Nitrogen Management in Corn. *Journal of Plant Nutrition*. 21(4): 741-755.
- Buol S. 1991. Génesis y clasificación de Suelos. Ed Trillas. México. pp 222-262.
- Cajuste J.L. 1977. Química de los suelos con un enfoque agrícola. Colegio de Posgraduados. México.
- Campos A. 2000. La Acidez de Suelos Volcánicos. Instituto de Ecología Xalapa, Veracruz. México.
- California Fertilizer Asociation (CFA). 1995. Manual de Fertilizantes para la Horticultura. Noriega Editores. México.
- Chapman H. D. 1965. *Methods of Analysis. Part 2. Agronomy 9* American Society of Agronomy Madison, Wisconsin pp 891-901.
- Chapman S. C. y Barrero H. J., 1997. Using a chlorophyll meter to estimate specific leaf nitrogen of tropical maize during vegetative growth. *Agron. J* 89:557-562

- Cerrato M.E y Blackmer A. M. 1991. Relationships between leaf nitrogen concentrations and the nitrogen satatus of corn. *J. Prod. Agric.* 4:525-531.
- Cruz F.G. y Hernández C.G. 1996. Necesidades de cal en los suelos de la Subprovincia Fisiográfica Mil Cumbres, correspondiente al Estado de México. *Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Cd Obregón Sonora.*
- Curtis H. 2000. *Biología*. Ed. Panamericana. México. pp 237-267.
- Díaz J.G. 1987. Efecto de la nutrición fosfatada sobre el contenido de clorofilas en frijol. *Terra.* 5(2):118-125.
- Dominguez V. 1989. *Tratado de Fertilización*. Ed. Mundi-Prensa. España.
- Elston R, 1990. *Principios de Bioestadística*. Ed Manual Moderno. México.
- Etchevers J. D. Trinidad A. S. Guerrero S. M. Pérez G. A. García L. D. y Morfin R. G. 1985. Levantamiento nutricional del maíz en la Sierra Tarasca de Michoacan. *Agrociencia.* 60:143-154. Chapingo, México.
- FitzPatrick, E.A. 1984. *Suelos*. Compañía Editorial Continental. México.
- Fox R. H., Piekielek W. P. y Macneal K. E. 1994. Using a Chlorophyll Meter to Predict Nitrogen Fertilizaer Needs of Winter Wheat. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25:171-181.
- Frank B. 1994. *Fisiología Vegetal*. Ed. Iberoamericana. México. pp 258-260.
- Fuentes J. 1992. *Los Abonos*. Ed. Mundi-Prensa. España.
- García G. A. y Henández G. C. 1994. Levantamiento Nutricional del Cultivo de Maíz en Andosoles del Municipio de Villa de Allende en el Estado de México. Tesis de licenciatura. FES zaragoza. UNAM.
- García F. V., Peng S. Gines H. C., Laza R. C. 1996. Chlorophyll meter based nitrogen management improves nitrogen use efficiency of irrigated rice in farmers' fields. In R. Ishii y T. Horie eds., *Crop Research in asia: Achievements Y perspective*. Proc. 2<sup>nd</sup> Asian Crop Sci. Conf. 187-190.
- González, A. 1995. *El Maíz y su conservación*. Ed, Trillas. México.
- Gros, A. 1981. *Abonos, guía práctica de la fertilización*. Ed Mundi-Prensa. España.
- Hernández C. G. Cruz. F. G. y Flores R. D. 1996. Estado de fertilidad de los suelos de la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México. *Memorias del XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Obregón Sonora.*

- Hernández C. G. 2000. Levantamiento Nutricional del Cultivo de Maíz en la Subprovincia Geográfica de Mil Cumbres Correspondiente al Estado de México. Tesis de maestría. UNAM.
- Hopkins W.G. 1995. Introduction to plant physiology. John Wiley and Sons Inc. New York.
- INEGI. 1989. Anuario Estadístico del Estado de México.
- Jones J B. 1970. Distribution of fifteen elements in corn leaves. Commun. Soil. Sci. Plant. Anal (1):27-33.
- Jones, B. Jr. 1998. Plant Nutrition. CCR Press, New York.
- Koerselman, W. 1996. British Ecology Society, Journal of Applied Ecology. 33:1441-1450.
- Krugh B, L. Bichham y D. Miles. 1994. The Solid State Chlorophyll Meter, a Novel Instrument for Rapidly and Accurately Determining the Chlorophyll Concentrations in Seedling Leaves. Maize Genetics Cooperation. New Letter. 68:25-27.
- Lawlor W. D. 2001. Photosynthesis. Springer-Verlag. New York.
- Linsay Y. W y Morved, W. A. 1978. Development of a DTPA Soil Test for Zinc, Iron, Manganese and Coper. Soil Sci. Soc. Am. J. 42: 421-428.
- López A.J. 1990. El diagnóstico de suelos y plantas. Ed. Mundi-Prensa. España.
- Los libros del maíz. 1982. Compra y Venta del Grano. Ed. Arbol. México.
- Llanos C. M. 1984. El maíz, su cultivo y aprovechamiento. Ed. Mundi Prensa. España.
- Madakadze C. I. 1999. Field evaluation of the chorophyll meter to predict yield and nitrogen concentration of Switchgrass.
- Manzano V. 1997. Inferencia estadística, aplicaciones con SPSS/PC+. Ed. Alfa-Omega. México.
- Marschner H. 1986. Mineral nutrition of higher plant. Institute of Plant Nutrition. University of Hohenheim. Federal Republic of Germany. Academic press.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London.
- Minolta. 1989. SPAD-502. Owner's Manual. Industrial Meter Division, Minolta Corporation, Ramsey. N.J.
- Monje O. A y Bugbee B. 1992. Inherent limitations of nondestructive chlorophyll meters: A comparison of two types of meters. Hort. Sci. 27(1):69-71.
- Moran, R. 1982. Formulae for determination of chlorophyll pigments extracted with N,N-dimethylformamide. Plant Physiol. 69: 1376-1381.

- Navarro G. G. 2000. Química agrícola. Ed mundi-Prensa. México.
- Osaki, M., T. Zheng. y K. Konno. 1996. Carbon-Nitrogen interation relates to P K Ca and Magnetion nutrients in field crops. *Soil Science Plant Nutrition*. 42(3): 539-552.
- Palma F. 1982. Técnicas Tradicionales de Cultivo. Ed. Árbol. México. pp 96-109.
- Parsons P. 1985. Manuales para la Educación Agropecuaria del Maíz. Ed. SEP-Trillas. México.
- Peng S. Arnel L. Felipe V. 1999. Effect of leaf phosphorus and potassium concentration on chlorophyll meter reading in rice. *Plant Prod Sci*. 2(4):227-231.
- Pérez, G. F. 1994. Introducción a la fisiología vegetal. Ed mundi-prensa, España.
- Piekielek W. P. y Fox R. H., 1992. Use of a Chlorophyll meter to predict Sidedress Nitrogen Requirements for maize. *Agron. J*. 84: 59-65.
- Piekielek W. P. Fox R. H., Thoh J. D. and Macneal K. E. 1995. Use of a Chlorophyll Meter at the Early Dent Stage of Corn to Evaluate Nitrogen Sufficiency. *Agron. J*. 87:403-408.
- Plaster, J.E. 1997. Soil science and management. Delmar Publishers. New York.
- Reeves W. D., Mask P. L. Wood C. W. y Delay D. P. 1993. Determination of wheat nitrogen status with a handheld chlorophyll meter. Influence of management practices. *J. Plant Nutr*. 16: 7781-7796.
- Rodríguez F. 1882. Fertilizantes. AGT editores S.A. México. pp 86-91.
- Rodríguez M. N. N., Alcántar G. G. Aguilar S. A., Echevers B. J. D. y Santizo R. J. A. 1998. Estimación de la Concentración de Nitrógeno y Clorofila en Tomate Mediante un Medidor Portatil de Clorofila. *Terra*. 16(2):135-142.
- Ruffy, T. W. y Mackown C. T. 1990. Phosphorous Stress effects on assimilation of nitrate. *Plant Physiol*., 94: 328-333.
- Sachdchina, T. y V. V. Dimitrieva. 1995. Leaf chlorophyll content as a possible diagnostic mean for the evaluation of plant nitrogen uptake from the soil. *Plant nutr*. 18:1427-1437.
- Salisbury B: F. 1994. Fisiología vegetal. Ed Iberoamerica. México D. F.
- Schjorring, J. K. 1986. Nitrate and ammonium absorption by plants growing at a sufficient level of phosphorous in nutrien solutions. *Plant Soil*, 91: 313-318.
- Schepers, J S. Francis D. D. Vigil M. y Below F. E. 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chloropyll meter readings. *Commun Soil Sci. Plant Anal*. 23: 2173-2187.
- Schopter P. 1995. *Plant Physiology* Heidelberg New York.

- SEDAGRO. 1995. Evaluación Tecnológica de la Región del Valle de Bravo.
- SEDAGRO. 1996. Estimación de rendimientos de maíz. Estado de México.
- SEDAGRO. 2001. Dirección general de agricultura, Delegación Regional VII de Valle de Bravo.
- Shaobing P., Arnel L. S., Felipe V. G., Rebecca C. L., Romeo M. V., Josue P. D. A y Kenneth G. C. 1999. Effect of Leaf Phosphorus and Potassium Concentration on Chlorophyll Meter Reading in Rice. *Plant Production Science*. 2(4):227-231.
- Shapira C. A. 1999. Using a chlorophyll meter to manage nitrogen applications to corn with high nitrate irrigation water. *Commun Soil Sci Plant. Anal.* 30(7 y 8):1037-1049.
- Sheeler P. 1993. *Biología Celular*. Noriega Editores. México. pp 429-454.
- Shoji, S. Massai, N y Randy, D. 1993. Volcanic ash soils; genesis properties and utilization. The sevier science publisher.
- Smeal, D. y H. Zhang. 1994. Chloropyll meter evaluation for nitrogen management in corn. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25: 1495-1503.
- Tamhane R., Motiramani D. P. Bali Y. P. y Donahue R. L. 1986. *Suelos: su Química y Fertilidad en Zonas Tropicales* Ed. Diana. México.
- Tanaka, A. y Hara, T. 1971. Nutrio-physiological studies on the photosyntetic rate of the leaf (part 2). Effect of phosphoreus status on the photosyntetic rate in the corn plant. *J. Sci Soil Manure.* 42: 300-303.
- Teuscher, H. 1985. *El suelo y su fertilidad*. Ed. Continental. México.
- The state of food and agriculture 2000. Ed. Food and Agriculture organization of to United Nations Rome. 2000. pp. 13-17.
- Thompson, M. 1982. *Los suelos y su fertilidad*. Ed. Reverte. México.
- Tisdale. 1982. *Fertilidad de los suelos y fertilizantes*. Edit. UTENA. México.
- Turner F. T. y Jund M. F., 1991. Chlorophyll Meter to Predict Nitrogen Topdress Requirement for Semidwarf Rice. *Agron. J.* 83:923-928.
- Urbano T y Hernández C. R. 1992. *Condiciones del Suelo y Desarrollo de las Plantas según rusell*. Ed. Mundi-Prensa. España.
- Watanabe, S., Hatanaka Y. y Inaka, K. 1980. Development of a Digital Chlorophyll Meter: Structure and Performance. *Jpn. J. Crop Sci.* 49 (extra 1): 89-90.

- Wood C. W. 1992. Field chlorophyll measurements for evaluation of corn nitrogen status. *Journal of Plant Nutrition*. 15(4):487-500.
- Wood, C. W., Tracy P. W., Reeves D. W. y Edmisted K. L. 1992. Determination of cotton nitrogen status with a hand-held chlorophyll meter. *J. Plant Nutr.* 15: 1435-1448.
- Wood, C. W., Reeves D. W y Himelrich D. G. 1994. Relationships between chlorophyll meter reading and crop chlorophyll concentration, N status and yield: A review *Proc. Agron. Soc. New Zealand* 23: 1-9.
- Wonnacott T.H.W. 1999. *Introducción a la estadística. Segunda Edición.* Ed. Limusa. México.
- Zárate Z. R y Vergara S. A. 1989. Evaluación del estado nutrimental del cultivo del durazno utilizando la técnica DRIS. *Terra*. 7(1):21-27.

## 14. ANEXOS.

## 14.1. ANEXO I. Parcelas-muestra.

Nº	LOCALIDAD	MUNICIPIO
1	EJIDO PALO AMARILLO	VILLA VICTORIA
2	LA GAVIA	VILLA VICTORIA
11	LA PRESA	VILLA VICTORIA
17	PUENTE LOS VELAZQUEZ	VILLA VICTORIA
18	PUENTE LOS VELAZQUEZ	VILLA VICTORIA
19	PUENTE LOS VELAZQUEZ	VILLA VICTORIA
20	PUENTE LOS VELAZQUEZ	VILLA VICTORIA
21	EL HOSPITAL	VILLA VICTORIA
22	EL HOSPITAL	VILLA VICTORIA
23	LA GAVIA	VILLA VICTORIA
24	EJIDO SANTIAGO DEL MONTE	VILLA VICTORIA
25	EJIDO SANTIAGO DEL MONTE	VILLA VICTORIA
26	LAGUNA SECA	VILLA VICTORIA
27	LAGUNA SECA	VILLA VICTORIA
28	LAGUNA SECA	VILLA VICTORIA
43	LAS PEÑAS	VILLA VICTORIA
44	EL VIVERO	VILLA VICTORIA
45	EL VIVERO	VILLA VICTORIA
46	LAS PEÑAS	VILLA VICTORIA
47	LAS PEÑAS	VILLA VICTORIA
49	LAS PEÑAS	VILLA VICTORIA
41	SABANA DEL ROSARIO	VILLA DE ALLENDE
42	SABANA DEL ROSARIO	VILLA DE ALLENDE
3	EL JACAL	VILLA DE ALLENDE
4	EL JACAL	VILLA DE ALLENDE
5	EL JACAL	VILLA DE ALLENDE
6	EL JACAL	VILLA DE ALLENDE
7	BARRIO SANTIAGO	VILLA DE ALLENDE
8	BARRIO SAN PABLO	VILLA DE ALLENDE
9	EL PUERTO	VILLA DE ALLENDE
10	EL JACAL	VILLA DE ALLENDE
29	MESAS DE ZACANGO	VILLA DE ALLENDE
30	EL PUERTO	VILLA DE ALLENDE
31	EL PUERTO	VILLA DE ALLENDE
32	EL PUERTO-LA PIEDRA	VILLA DE ALLENDE
33	EL PUERTO-LA PIEDRA	VILLA DE ALLENDE
34	SAN PABLO	VILLA DE ALLENDE
35	SAN PABLO	VILLA DE ALLENDE



Nº	LOCALIDAD	MUNICIPIO
36	BARE CHIHUICHUCA	VILLA DE ALLENDE
37	BARE CHIHUICHUCA	VILLA DE ALLENDE
38	SAN ANTONIO HIDALGO	DONATO GUERRA
39	SAN ANTONIO HIDALGO	DONATO GUERRA
40	SAN ANTONIO HIDALGO	DONATO GUERRA
66	SAN AGUSTIN LAS PALMAS	DONATO GUERRA
67	SAN AGUSTIN LAS PALMAS	DONATO GUERRA
68	SAN AGUSTIN LAS PALMAS	DONATO GUERRA
69	SAN AGUSTIN LAS PALMAS	DONATO GUERRA
70	SAN AGUSTIN LAS PALMAS	DONATO GUERRA
71	SAN AGUSTIN LAS PALMAS	DONATO GUERRA
72	SAN AGUSTIN LAS PALMAS	DONATO GUERRA
73	SAN AGUSTIN LAS PALMAS	DONATO GUERRA
48	EL CAPULIN	AMANALCO
50	EL CAPULIN	AMANALCO
13	SAN BARTOLO	AMANALCO
14	SAN BARTOLO	AMANALCO
15	AGUA BENDITA	AMANALCO
16	EL CAPULIN	AMANALCO
60	SAN JUAN	AMANALCO
61	SAN JUAN	AMANALCO
62	SAN JUAN	AMANALCO
63	SAN JUAN	AMANALCO
64	SAN SEBASTIAN EL CHICO	AMANALCO
65	SAN SEBASTIAN EL CHICO	AMANALCO
51	SANTA MARIA PIPIOLTEPEC	VALLE DE BRAVO
52	SANTA MARIA PIPIOLTEPEC	VALLE DE BRAVO
53	SANTA MARIA PIPIOLTEPEC	VALLE DE BRAVO
54	SANTA MARIA PIPIOLTEPEC	VALLE DE BRAVO
55	SANTA MARIA PIPIOLTEPEC	VALLE DE BRAVO
56	SANTA MARIA PIPIOLTEPEC	VALLE DE BRAVO
57	SANTA MARIA PIPIOLTEPEC	VALLE DE BRAVO
58	SANTA MARIA PIPIOLTEPEC	VALLE DE BRAVO
59	SANTA MARIA PIPIOLTEPEC	VALLE DE BRAVO
12	VALLE DE BRAVO	VALLE DE BRAVO

## 14.2. ANEXO II.

### NITRÓGENO TOTAL.

Se pesan 0.1g de tejido vegetal y se colocan en un matraz microkjeldhal.

Se agrega 1 gramo de mezcla de sulfatos, 1.5ml de ácido sulfúrico-salicílico.

Realizar la digestión a una temperatura no mayor a 360°C hasta que aparezca un color claro.

Dejar enfriar y se agrega 10ml de agua destilada.

Transferir la solución a equipo de destilación adicionando 10ml de hidróxido de sodio al 50%. El destilado se recibe en 20ml de solución de ácido bórico al 4% más 0.2ml de indicador verde de bromocresol-rojo de metilo.

### FÓSFORO (MÉTODO DE VANADATO- MOLIBDATO).

Pesar 0.2g de tejido vegetal y colocarlo en un matraz microkjeldhal.

Se agregan 3ml de ácido nítrico y 2 de ácido perclórico concentrado.

Se digiere previamente 30 minutos, a temperatura menor a 160°C.

Se concluye la digestión hasta que la muestra se haya aclarado.

Dejar enfriar y aforar a 10ml (filtrado obtenido de la digestión).

Para la determinación:

Se toma 1ml del extracto filtrado.

Se agregan 1.5 ml de solución para fósforo (Vanadato-Molibdato).

Se afora a 10ml y hay que leer en un espectrofotómetro a 470nm, junto con la curva patrón.

### CALCIO Y MAGNESIO (ABSORCIÓN ATÓMICA).

Del extracto obtenido para fósforo:

Para calcio se toma 1ml filtrado y se diluye a 25ml, se lee en absorción atómica a 422.7nm.

Para magnesio se lee en el primer extracto obtenido, y se lee en absorción atómica a 285.2nm.

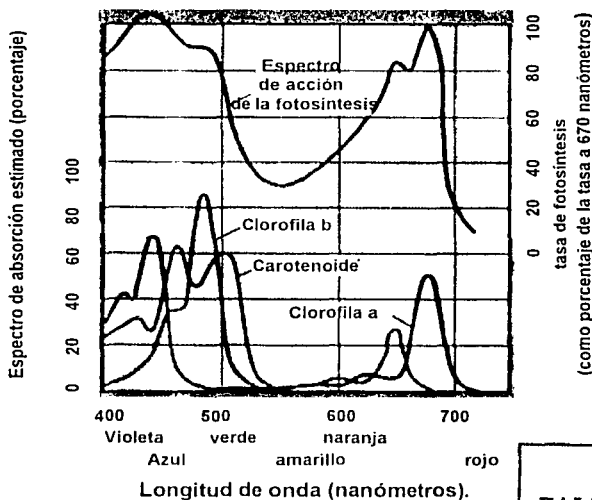
### 14.3. ANEXO III.

#### MEDICIÓN DE CLOROFILAS CON EL SPAD-502.

Se calibra el SPAD-502 con la celda que se proporciona con el aparato, con esto se evitan los cambios en las mediciones cuando se toman los valores con sol o sombra.

Se introduce la muestra, por el borde de la hoja, en la ventana de medición. El SPAD-502 da los valores de clorofila en unidades SPAD.

Los valores medidos por el medidor de clorofilas SPAD-502 corresponden a la clorofila presente en la hoja de la planta. Los valores son calculados basados en la cantidad de luz transmitida por la hoja en dos longitudes de onda en la cual la absorbancia de la clorofila es diferente. Los rangos de longitud de onda que se escoge para ser usado en las mediciones son la área roja (donde la absorbancia es alta y no afectada por carotenoides, 430 y 670nm) y el área infrarroja (donde la absorbancia es extremadamente baja, superior a 750nm).



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## 14.4. ANEXO IV.

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE CORRELACIÓN DE PEARSON.

Nº de muestras	Variable X	Variable Y	r	Variable y	r
64	Clorofila en la parte media	%N	0.596	rendimiento	0.056
63	Clorofila en la base	%P	0.274	rendimiento	0.081
65	Clorofila en el ápice	%Ca	-0.39	rendimiento	-0.011
65	Clorofila en el ápice	%Mg	-0.237	rendimiento	

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE REGRESIÓN LINEAR SIMPLE, MODELO LINEAR DE LA FORMA  $Y = A + B \cdot X$ .

Variable x	Variable y	$r^2$	Parámetro	Estimación	Error estandar	T estadística	Valor de P
Clorofila en la parte media	%N	0.36	Intercepto (a)	0.88464	0.402	2.199	0.0315
			Pendiente (b)	0.04312	0.007	5.891	0.000
Clorofila en la base	%P	0.07	Intercepto (a)	0.09171	0.0917	0.0211	0.001
			Pendiente (b)	0.00093	0.0004	2.242	0.028
Clorofila en el ápice	%Ca	0.14	Intercepto (a)	1.1246	0.124	9.0411	0.000
			Pendiente (b)	-0.00806	0.002	-3.296	0.0016
Clorofila en el ápice	%Mg	0.06	Intercepto (a)	0.59553	0.112	5.285	0.000
			Pendiente (b)	-0.00428	0.002	-2.055	0.043