

50



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

**DETERMINACIÓN DE LA SINTOMATOLOGÍA
VISUAL Y PRODUCCIÓN DE LA BIOMASA ANTE
LA CARENCIA DE N, P, K, Ca, Mg y S EN EL
CULTIVO DE MAÍZ**

298577

T E S I S

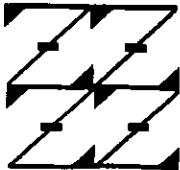
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

B I Ó L O G O

P R E S E N T A:

NADIA NARVÁEZ PÉREZ

DIRECTOR: M en C. GERARDO CRUZ FLORES



NOVIEMBRE 2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

A Dios:

Por darme la dicha de vivir.

A mis padres:

María del Carmen Pérez Herrera y José Luis Narváez Torres

Por darme la vida, y ser las personas a las cuales quiero y respeto, gracias por apoyarme en este proyecto, a ustedes debo lo que soy ahora, muchas gracias papas.

A mi hermano:

Daniel Narváez Pérez

Por apoyarme y estar cerca de mí, ya que se que cuanto contigo para todo, gracias por ser mi hermano.

A mis sobrinos:

Nayeli y Luis Mario, por ser parte de mi vida y ser esa luz que me da la fuerza para lograr todo en la vida.

El presente trabajo de tesis de licenciatura de la Carrera de Biología, se realizó con el apoyo de la DGAPA, UNAM PAPIIT, ya que formó parte del proyecto de investigación Modelación de la arquitectura de plantas mediante gramáticas formales. Un enfoque biológico. Con número de proyecto IN220998.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México

Por brindarme la oportunidad de estudiar en sus instalaciones.

A la Facultad de Estudios Superiores Zaragoza

Por ser parte de mi formación académica a nivel licenciatura.

A todos los profesores que formaron parte de mi educación y enseñanza.

Al laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal, por todo el apoyo académico y experimental brindado.

A los sinodales:

M. en C. Gerardo Cruz Flores

Biol. Ramiro Ríos Gómez

Biol. Rubén Zulbarán Rosales

M. en C. Rosalva García Sánchez

M. en C. Armando Cervantes Sandoval

Por los comentarios hechos, los cuales ayudaron a enriquecer este trabajo.

A la M. en C. Lourdes Castillo Granada, por la ayuda brindada en su laboratorio de absorción atómica.

A la Dra. Bertha Peña Mendoza, por el apoyo brindado en el análisis de agua.

A las M. en C. Miriam Martínez Gómez y Vianney Arroyo Avila, por todo su apoyo en la elaboración de este proyecto y su amistad.

Al M. en C. Rafael A. Vivanco Estrada, por los comentarios, recomendaciones y ayuda en este trabajo y amistad.

A Salvador Hernández Juan, por ser una persona especial en mi vida y estar en todos los momentos especiales y saber que cuánto con él.

A mis amigos y compañeros: Edna Barragán, Cesar Guerrero Guerra, Fabiola Martínez, Carolina Mendoza, María Elena Pérez, Dora Villegas, Olivia González, Angelica Talavera, Magali Luna, Imelda Valecia, Gustavo Pérez, Oswaldo Partida, José Patlani, Fernando López, Gerardo Bello, Alejandro Bello y Rodrigo León.

ÍNDICE

	PÁGINA
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
ANTECEDENTES.....	6
MARCO TEORICO.....	8
MAÍZ.....	8
Descripción botánica.....	8
Adaptación.....	14
Utilización e importancia.....	17
ELEMENTO ESENCIAL.....	19
FUNCIONES DE LOS MACRONUTRIMENTOS.....	20
DEFICIENCIA NUTRICIONAL.....	27
HIDROPONÍA.....	29
Antecedentes y conceptos.....	29
Ventajas de los cultivos hidropónicos.....	30
Desventajas de los cultivos hidropónicos.....	31
Composición de las soluciones nutritivas.....	31
JUSTIFICACIÓN.....	32
OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	33
MATERIAL Y MÉTODOS.....	35
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
Efecto de la Carencia de un elemento esencial en la producción de biomasa aérea y de raíz.	
a) Raíz.....	41
b) Parte aérea.....	44
Efecto de la carencia de un elemento esencial en la acumulación de los elementos en estudio.	
Tratamiento S/Nitrógeno.....	48
Tratamiento S/Fósforo.....	49
Tratamiento S/Potasio.....	50
Tratamiento S/Calcio.....	52
Tratamiento S/ Magnesio.....	53
Tratamiento S/Azufre.....	55
Estado nutrimental del cultivo de maíz ante la carencia de un elemento esencial	
Nitrógeno.....	57
Fósforo.....	58
Potasio.....	59
Calcio.....	61
Magnesio.....	62
Azufre.....	63
Efecto de la carencia de un elemento esencial en el contenido de clorofila	
Nitrógeno.....	65
Fósforo.....	66
Potasio.....	67

Calcio.....	68
Magnesio	69
Azufre	71
CONCLUSIONES	72
SUGERENCIAS	73
LITERATURA CITADA	74
ANEXO.....	82

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

CUADROS	PÁGINA
Cuadro 1. Composición de las soluciones nutritivas utilizadas en el experimento y denominación de los tratamientos.....	38
Cuadro 2. Métodos utilizados para la determinación de los elementos en estudio.....	39
Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en la hoja debajo de la mazorca de maíz iniciación de floración de cabello, que corresponde a varios estados nutricionales de la planta	39
Cuadro 4. Clases nutricionales del maíz establecidos para concentraciones de los elementos en la hoja de opuesta a la mazorca, durante el inicio de la floración femenina.....	40
Cuadro 5. Producción de biomasa fresca y seca de raíz en los diferentes tratamientos en el cultivo de maíz en un sistema hidropónico.....	41
Cuadro 6. Producción de biomasa fresca y seca de la parte aérea en los diferente tratamientos en el cultivo de maíz en un sistema hidropónico.....	44
Cuadro 7. Porcentajes de los nutrimentos en el tejido vegetal de maíz cultivado bajo condiciones hidropónicas con carencia de algún nutrimento según indica, el material vegetal fue colectado a los 80 días	56
 FIGURAS	
Figura 1. Germinación, plántula y planta adulta de maíz	9
Figura 2. Estructura de una hoja de maíz.....	10
Figura 3. Estructura de una planta adulta de maíz	12
Figura 4. Estructuras florales en el maíz.....	14
Figura 5. Diseño de la unidad experimental	36
Figura 6. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de nitrógeno.....	48
Figura 7. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de fósforo	50

Figura 8. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de potasio	51
Figura 9. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de calcio	52
Figura 10. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de magnesio.....	53
Figura 11. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de azufre	55
Figura 12 Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Nitrógeno.....	58
Figura 13 Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Fósforo	59
Figura 14 Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Potasio	60
Figura 15 Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Calcio	62
Figura 16 Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Magnesio	63
Figura 17 Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Azufre	64
Figura 18. Contenido de clorofila en la planta carente de nitrógeno en comparación con el testigo.	65
Figura 19 Contenido de clorofila en la planta carente de fósforo en comparación con el testigo.	66
Figura 20 Contenido de clorofila en la planta carente de potasio en comparación con el Testigo	67
Figura 21. Contenido de clorofila en la planta carente de calcio en comparación con el testigo.	72
Figura 22 Contenido de clorofila en la planta carente de magnesio en comparación con el testigo.	73
Figura 23 Contenido de clorofila en la planta carente de azufre en comparación con el testigo..	75

RESUMEN

Las plantas constituyen su organismo con determinados elementos químicos que se encuentran en el medio que los rodea. Aproximadamente del 95 al 98% de la planta esta constituido por H, C, O, y N (elementos organogénéticos) y entre 2 y 5% son cenizas. Una deficiencia nutricional determina cambios en el metabolismo y en el crecimiento de las plantas lo que se expresa a través de síntomas en la planta. Los objetivos del presente trabajo son determinar a partir de la técnica del elemento faltante, los síntomas por las deficiencias de N, P, K, Ca, Mg y S y sus efectos, en la producción de biomasa utilizando un genotipo de maíz eficiente en el uso de N y P, así como relacionar la sintomatología por el efecto de la carencia de los elementos en estudio sobre el contenido de clorofila en las hojas más jóvenes. Se realizó un experimento en invernadero con un genotipo eficiente en el uso de N y P (V-23), el cual se cultivó en condiciones hidropónicas. Tres semanas después de la siembra se aplicaron las soluciones nutritivas a las cuales según el tratamiento se eliminan alguno de los elementos en estudio, y como testigo un tratamiento que no presenta carencia de ningún elemento esencial. Se determinó el contenido de clorofila cada tercer día con el medidor de clorofila SPAD-502. Se cosecho a los 80 días de edad, se evaluó el peso fresco y seco de la parte aérea y de raíz, así como la concentración de N, P, K, Ca, Mg en la parte aérea. Los síntomas por la carencia de los nutrientes se manifestaron a los 57 días del desarrollo de la planta, y se presentaron en los tratamientos carentes de N, P y Mg. Al comparar la producción de biomasa seca por tratamiento se encontró que el testigo fue notablemente menor, principalmente en el tratamiento carente de N, esta diferencia fue de 3.72g planta⁻¹, siguiendo el tratamiento carente de K dando una diferencia de 5.60 g planta⁻¹. En la producción de biomasa fresca los tratamientos con menores valores fueron los ya mencionados lo que da una diferencia con respecto al testigo del tratamiento carente de N 141 g planta⁻¹ y para el tratamiento carente de K. 90 g planta⁻¹. La deficiencia de un elemento esencial se presenta por medio de síntomas en los primeros días de desarrollo de la planta además que puede ser mas severo en otros cultivos, en cuanto al maíz podemos decir que la carencia de N y K, induce los síntomas más severos en producción de biomasa.

INTRODUCCIÓN

A escala mundial, los cereales constituyen la fuente primordial de alimentos para el hombre, ya que proporciona el 75% del alimento mundial, el 20% se obtiene de cultivos de maíz y caña de azúcar y el 5% restante de especies del mar.

En México el cultivo de maíz tiene una capital importancia en todos los órdenes de la vida humana, científica, tecnológica, social, económica y política. Su domesticación influyó de manera determinante en el desarrollo de las culturas, y hoy, la planta, los usos y su cultivo, han sido ampliamente estudiados. México es uno de los más importantes países consumidores con una gran tradición en este cultivo y un fuerte arraigo del producto como base de la alimentación de la población, especialmente en las clases populares. México es deficiente en la producción de grano de maíz, producto que se debe de importar en gran cantidad para satisfacer su demanda interna (Llanos, 1984).

Las plantas constituyen su organismo con determinados elementos químicos que se encuentran en el medio que las rodean. Aproximadamente el 95-98% de la biomasa seca de la planta está constituida por H, C, O y N y el 2.8% de cenizas.

Solamente 16 elementos están considerados como esenciales para el crecimiento de la mayoría de las plantas, un elemento esencial deberá cumplir cada uno de los criterios que se exponen a continuación: 1) la planta no podrá completar su ciclo de vida en ausencia del elemento; 2) la acción del elemento deberá ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente y 3) el elemento debe estar directamente implicado en el metabolismo de la planta, es decir, es un constituyente de un metabolito esencial, o su presencia es necesaria para la acción de una enzima esencial (Arnon y Stout, 1939; Citado por Resh, 1992).

Los nutrimentos que se abordan en este trabajo son N, P, Ca, Mg, y S, todos ellos están considerados como Macronutrimentos y cada uno juega un papel importante en la preparación y descomposición de diversos metabolitos necesarios para el crecimiento de la planta. Algunos se encuentran en enzimas y coenzimas que regulan la velocidad media de alguna reacción bioquímica, otros forman parte de compuestos importantes en el aporte de energía y en el almacenamiento de nutrimentos.

El nitrógeno ocupa una posición excepcional como elemento esencial para el crecimiento de las plantas por las altas tasas que requieren de él (Cruz, 1999). Como elemento nutrimental esta involucrado en diversos procesos, de los cuales, el más importante para la producción de cultivos, es la fijación de nitrógeno por organismos procarióticos, reducción de nitrato, nitrito, asimilación de amonio en compuestos de reserva y síntesis de proteínas o ácidos nucleicos en compartimentos celulares de demanda fisiológica.

El fósforo, después del nitrógeno, es un elemento importante para fomentar el vigor, crecimiento y desarrollo de las plantas. Es necesario, ya que actúa como elemento estructural en la elaboración y formación de materia orgánica y en su ausencia difícilmente puede realizarse el proceso de fotosíntesis o formación de clorofila, por una falta de movilización de sustancias en las plantas. El fósforo es la fuerza motriz mediante el ATP que impulsa las corrientes de savia, que actúan de vehículo para el traslado de reservas que forman el crecimiento y desarrollo de la planta.

El potasio está relacionado con la producción de hidratos de carbono es de mucha importancia para el metabolismo de las plantas y solo puede llevarse a cabo con una suficiente cantidad de potasio. Normalmente se encuentra gran concentración de potasio en los brotes de crecimiento y el déficit de este elemento vuelve precaria la división de las células. Sin embargo, en estos casos, el crecimiento prosigue haciéndose a expensas del alargamiento de células, de lo que resultan ramas débiles (Huterwal, 1989). Funciona como osmoregulador en el jugo celular, regula el movimiento de apertura y cierre de estomas (Penny y Bowling, 1974).

El calcio, existe en relación bien definida entre la cantidad de calcio y la cantidad de nitrógeno que necesita una planta cuando esta consume gran cantidad de nitrógeno, ya que el calcio se relaciona con la síntesis de proteínas por su incremento sobre asimilación de nitrógeno nítrico y se asocia con la actividad de ciertos sistemas enzimáticos, lo cual entraña mayor producción de ácido oxálico y otros ácidos que a su vez requieren mayor cantidad de calcio para neutralizar el exceso de acidez. Al calcio se le reconoce también un importante papel en varias reacciones enzimáticas, en esta forma influye activamente sobre la capacidad respiratoria de las células vegetales (Huterwal, 1989; Llanos, 1984).

El magnesio actúa como vehículo de fósforo, por esta causa abunda como el primero, particularmente en los brotes. Influye en la formación de aceites vegetales abundantes en las semillas, así mismo en las hojas, más que en el resto de la planta. El Magnesio es la parte esencial de la molécula de clorofila, y es necesario para la actividad de muchas enzimas, incluyendo aquellos pasos más importantes en la actuación del ATP (Huterwal, 1989; Rending y Taylor, 1989).

El azufre se encuentra distribuido casi uniformemente en la totalidad de la planta. Es esencial para la formación de las proteínas. Si bien es cierto que no integra directamente la clorofila, su ausencia impide la formación de la misma, es decir, que actúa por acción de presencia catalítica. Aunque no se ha podido comprobar estrictamente la relación directa que pueda existir entre azufre y el nitrógeno, resulta siempre evidente que los sulfatos aumentan el contenido de Nitrógeno en las plantas (Huterwal, 1989).

Las plantas satisfacen normalmente sus necesidades de agua y elementos minerales a partir del suelo. Sin embargo, en el medio sin suelo, las plantas también deberán proveerse de agua y elementos minerales. Como ocurre en el caso de cultivos hidropónicos, el término hidropónico deriva de las palabras griegas: hydro = agua y ponos = trabajo, que combinados significa "trabajo con agua" y son una alusión al empleo de soluciones de agua y fertilizantes químicos para el cultivo de plantas sin tierra (Sánchez y Escalante, 1988). Aunque se usa un medio inerte llamado sustrato al cual se le añade una solución de nutrimento lo cual suministra todos los elementos esenciales a la planta, esta solución llevará a la planta a un crecimiento y desarrollo normal. Por el contrario cuando falta un nutrimento, la fisiología de la planta se va alterando, lo cual da como resultado un crecimiento anormal causado por una deficiencia o por un exceso de uno o varios nutrimentos esenciales

Ese desorden lo muestra la planta, bien externa, o internamente por medio de síntomas. El diagnóstico de un desorden nutricional incluye el detalle descripción e identificación del desorden. Una deficiencia o exceso de cada una de los elementos esenciales da lugar a diferentes síntomas en las plantas, los cuales pueden utilizarse para identificar dicho desorden (Resh, 1992)

ANTECEDENTES

Uno de los principales problemas que afrontan los profesionistas de la ciencia del suelo, los productores y en general, todos aquellos que en alguna forma directa participan en la producción de cultivos básicos para la alimentación. frutales y plantas forrajeras, ornamentales, forestales o cultivos para la industrialización, son las fuertes mermas que se presentan en la producción, tanto en cantidad como calidad, cuando las plantas de un cultivo presentan alteraciones nutritivas, ya sea en la solución nutritiva (cultivos hidropónicos), o en el suelo, como consecuencia de su precipitación, inmovilización o fijación o por que uno o varios elementos se encuentran en cantidades excesivas (niveles tóxicos) y originan anormalidades en el crecimiento y la producción de las plantas.

Considerando los valores reportados por la bibliografía, producto de investigaciones en diferentes condiciones climáticas y del manejo, se hace evidente la necesidad de llevar acabo este tipo de trabajos en condiciones específicas de cada zona, sin olvidar la gran variabilidad por efectos genéticos. tanto en especies como en variedades. Estudios realizados muestran los intervalos establecidos de abastecimiento para diferentes cultivos y en muchos casos, se refiere al promedio de muchas variedades. algunos de estas publicaciones se consideran completas como: Champman (1966), Martín-Prevel *et al.*, (1984), Jones *et al.*, (1991), Bennett (1994) y Etchever *et al.*, (1985).

Alcalde *et al.*, (1977) el utilizo el análisis de nitratos en tejidos vegetal de maíz con un estimador del estado nutrimental, para el desarrollo de ecuaciones empiricas generalizadas de producción.

Zercero (1978) realizó un estudio sobre el estado nutrimental y alguna pruebas de control para corregir deficiencias de zinc y magnesio en naranjo. Los análisis efectuados señalan que los síntomas en las hojas terminales, fueron relacionadas con un bajo contenido de zinc. En cuento al efecto de la fecha de muestreo indica que para las muestras de la parte media del brote, los valores promedio del análisis foliar mostraron diferencias estadísticas para los elementos N, K, Ca, Mg, Zn y Fe en distintas muestras. El nitrógeno presentó concentraciones foliares deficientes en el periodo Febrero-Junio, debido probablemente a la gran demanda de nutrimentos para la floración y el fuerte crecimiento vegetativo de estas épocas.

Yoshida (1972), menciona que una alta producción de grano para cualquier cultivo, se puede obtener sólo cuando se ha proporcionado una buena combinación de variedad, medio ambiente y prácticas agronómicas. Un aumento de la densidad de plantas y de la aplicación de nutrimentos, aumenta el índice foliar por hectárea, aunque diferentes cultivos difieren en su respuesta.

Amado (1989) menciona que la nutrición adecuada de la planta requiere que la dosis y oportunidad de fertilización sea de acuerdo a la necesidad del cultivo en particular, lo cual permite obtener la máxima eficiencia por unidad de fertilizante aplicado. El análisis foliar es una herramienta útil para lograr lo anterior, debido a que la planta refleja en forma integral la influencia de factores físicos, químicos, biológicos y climáticos que afecta la nutrición mineral de los cultivos.

MARCO TEÓRICO

MAÍZ

El cultivo del maíz en América Latina es de capital importancia en todos los órdenes de la vida humana, científica, tecnológica, social, económica y política. Por su gran diversidad de variedades y usos; la planta, grano o cultivo, han sido ampliamente estudiados.

Descripción botánica

El maíz es un cereal cuya planta es monocotiledonea, con flores unisexuales y alógama, su taxonomía es la siguiente, (González, 1995):

Reino Vegetal
División Tracheophyta
Subdivisión Pterapsidae
Clase Angiosperma
Subclase Monocotledoneae
Orden Graminales
Familia Graminae
Tribu Maydeae
Género *Zea*
Especie *Zea mays*

a) Raíz

El maíz tiene un sistema radical bien definido en tres estadios. Al germinar emergen las raíces temporales o embrionales que nacen en el primer nudo, las raíces permanentes que nacen del segundo nudo de la plántula o nudo superior del mesocótilo y las raíces adventicias que emergen de los nudos basales de la planta en crecimiento activo.

Las raíces temporales, primarias o embrionarias son funcionales durante la germinación, emergencia y desarrollo de la plántula, éstas son emitidas por la semilla y comprenden la radícula y las raíces seminales, generalmente desaparecen al agotarse el endóspermo, momento en el que se inician las funciones de las raíces permanentes.

Las raíces permanentes son profundamente ramificadas y en forma horizontal cerca de la superficie extendiéndose en un diámetro de 1.8 metros y una profundidad de 2 metros o más, intervienen en el soporte y nutrición de la planta en crecimiento activo hasta la madurez fisiológica. Éstas comienzan a formarse a partir de la corona, por encima de las raíces primarias y constituyen casi la totalidad del sistema radicular.

Las raíces adventicias, también llamadas permanentes, emergen en los nudos basales o inmediatamente cerca del suelo al profundizar sirven de sostén o anclaje y como medio de absorción de nutrimentos (Reyes, 1990; Llanos, 1984).

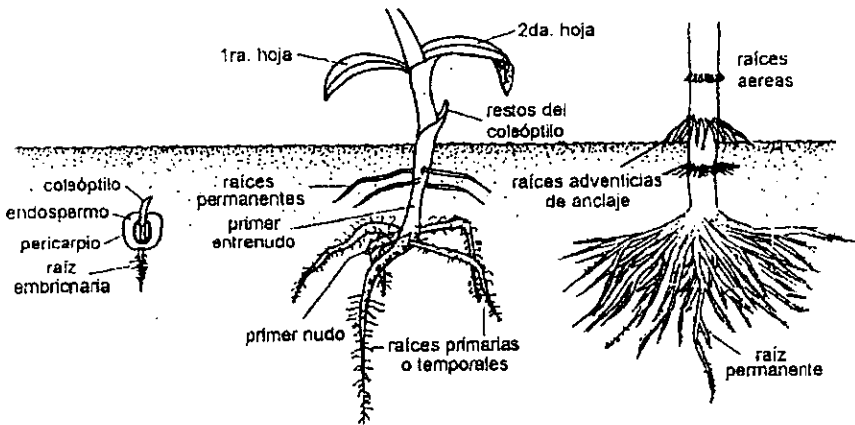


Figura 1. Germinación, plántula y planta adulta de maíz.
(Tomado de Reyes, 1990).

b) Tallo

El maíz es una planta anual, su tallo es una caña formada por nudos y entrenudos macizos, de longitud variable, gruesos en la base y de menor grosor en los entrenudos superiores, el número de nudos es variable en diferentes razas y variedades con un rango de 8 a 26 (7 a 25 entrenudos). Potencialmente un tallo puede desarrollar 10 o más yemas florales que puede originar 10 o más mazorcas. Únicamente una, dos o tres yemas llegan a formar grano de maíz por el fenómeno conocido como "dominancia apical" que inhibe el desarrollo de las yemas inferiores.

La altura del tallo es variable y es característica variedad de la genética, el rango de altura varia de 0.30 m a 5.5 m es resultado del número y longitud de entrenudos (Reyes, 1990). El grosor del tallo disminuye de abajo a arriba. Su sección es circular, pero desde la base hasta la inserción de la mazorca presenta una depresión que va haciéndose más profunda conforme se aleja del suelo (Llanos, 1984).

c) Hojas

Las partes de una hoja de maíz son: la vaina que envuelve al entrenudo y cubre la yema floral, lámina o limbo de tamaño variable en el largo y ancho, con una nervadura central bien definida, el haz o parte superior con pequeñas vellosidades, el envés o parte inferior lisa sin vellosidades, la ligula o lengüeta en la base de la hoja, parte pergaminosa; también en la base está la aurícula que envuelve al entrenudo. La aurícula y la ligula protegen al entrenudo y drenan el agua y al llover se desliza sobre el limbo y la nervadura central.

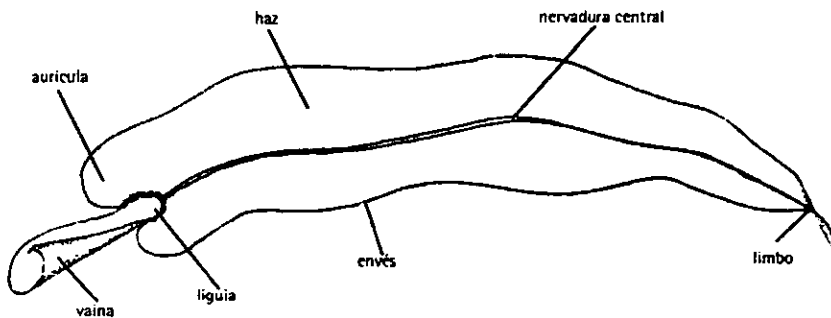


Figura 2. Estructura de una hoja de maíz
(Tomada de Reyes, 1990)

Las hojas nacen entre los nudos en la parte inferior inmediata a las yemas florales femeninas. Su distribución es alterna a lo largo del tallo.

d) Flores

El maíz es una planta monóica, es decir, lleva en cada pie de planta, flores masculinas y femeninas. Las flores masculinas se agrupan en una panícula (Llanos, 1984).

La espiga esta estructurada por un eje central, ramas laterales primarias, secundarias y terciarias; las panículas de las variedades de clima caliente son largas, muy ramificadas, y producen abundante polen, las de clima frío son más cortas, menos ramificadas, más laxas y producen menos polen. La flor está compuesta de 3 estambres, en la base de estos están 2 lodiculos y un pistilo rudimentario (Reyes, 1990).

Las flores pistiladas se agrupan también por pares, distribuyéndose a lo largo de la inflorescencia femenina, que es una espiga cilíndrica: consiste en un raquis central u olote en donde se inserta a lo largo, las espiguillas por partes, con glumas, lema y palea rudimentarias.

Las flores pistiladas constituyen en un ovario pedicelo unido al raquis u olote; un óvulo único, un estilo muy largo con propiedades estigmáticas, es decir, en toda su longitud es receptivo y germina el grano de polen. La inflorescencia femenina está cubierta por brácteas cuyo conjunto forman el " Totomoxtle" (Reyes, 1990).

Las flores femeninas se agrupan en una ramificación lateral gruesa, de forma cilíndrica, cubierta por brácteas foliadas. Sus estilos sobresalen de las brácteas y alcanzan una longitud de 12 a 20 cm formando su conjunto una cabellera característica que sale por el extremo de la mazorca. Se conocen vulgarmente con el nombre de sedas o barbas (Llanos, 1984).

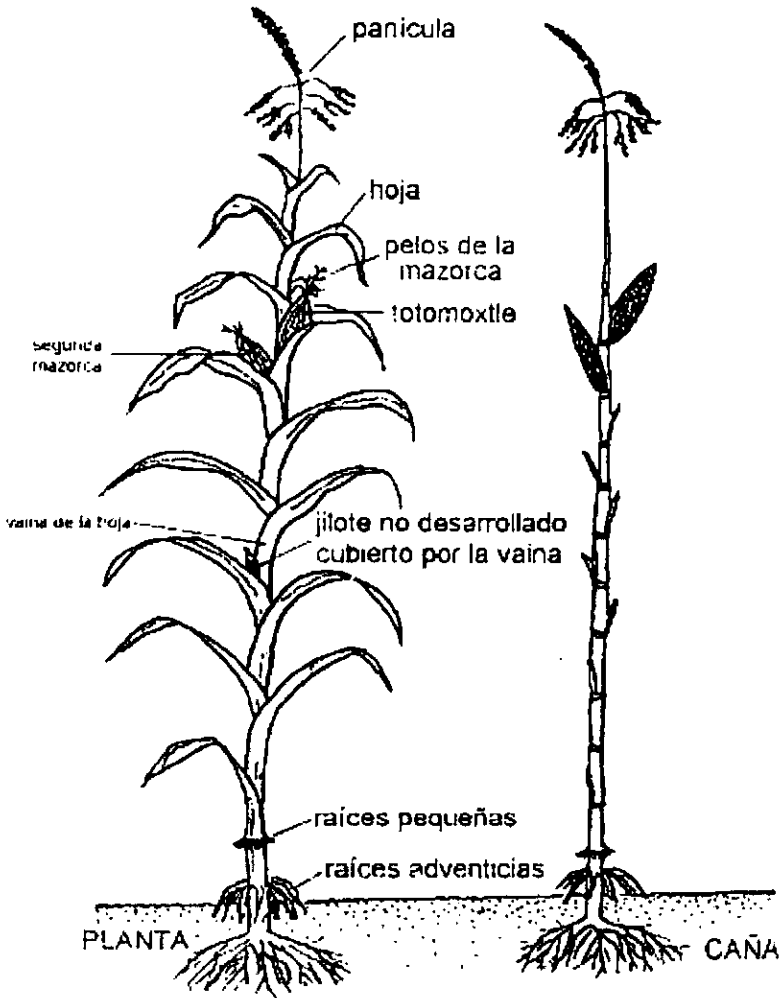


Figura 3. Estructura de una planta adulta de maíz.
(Tomada de Reyes, 1990).

e) Fruto

Los botánicos lo llaman cariósipide, los agricultores semilla y comúnmente se conoce como grano de maíz. El fruto se encuentra insertado en el raquis u olote constituyen hileras de granos o carreras cuyo conjunto forma la mazorca. El número de carreras es par y varía de 8 a 30. El grano está formado por las siguientes partes:

- **Pericarpio.** Cubierta del fruto y la pared del ovario, es de origen materno. El color del pericarpio puede ser rojo o incoloro, el rojo es dominante.
- **Endospermo.** Es el tejido de reserva de la semilla; el color del endóspermo puede ser amarillo o blanco. La aleurona es una capa de células del endospermo, sustancia protéica en forma granular, se origina al madurar la semilla, al alcanzar la deshidratación; la aleurona puede ser blanca o incolora, roja o bien, púrpura con intensidades variables.
- **Embrión.** El grano de maíz tiene en su embrión una planta en miniatura con su radícula, su plúma con tres a cinco hojas, el escutelum o cotiledón y dos capas, el coleóptilo que cubre a la plúma y la coleoriza que cubre a la radícula. El grano es muy variable en el tamaño, minúscula composición, textura y forma, en lo más importante, como alimento por su alto contenido energético del endóspermo. Su embrión es rico en aceite y biológicamente balanceado (Reyes, 1990).
- **Mazorca.** Es la inflorescencia o espiga cilíndrica formada por el grano, el olote, el pedúnculo y la cubierta o totomoxtle; el totomoxtle debe de cubrir bien a la mazorca para protegerla de la humedad y del ataque de plagas y enfermedades; el pedúnculo debe ser largo y flexible, que permita que la mazorca sea colgante para protegerla. El contenido en peso del olote varía de 8 a 30%. Los agricultores prefieren las de olote delgado porque son más fáciles de cosecha, desgranar, secar el grano y en general son más precoces.

En la mazorca hay una amplia variación en forma, tamaño y número de hileras. La magnitud de la mazorca y su número son de mayor importancia por ser elementos correlativos en el rendimiento del grano; tales componentes son: longitud, número de hileras, peso del grano y número de mazorcas por planta. Los atributos anteriores se ven sumamente afectados por el ambiente (Reyes, 1990).

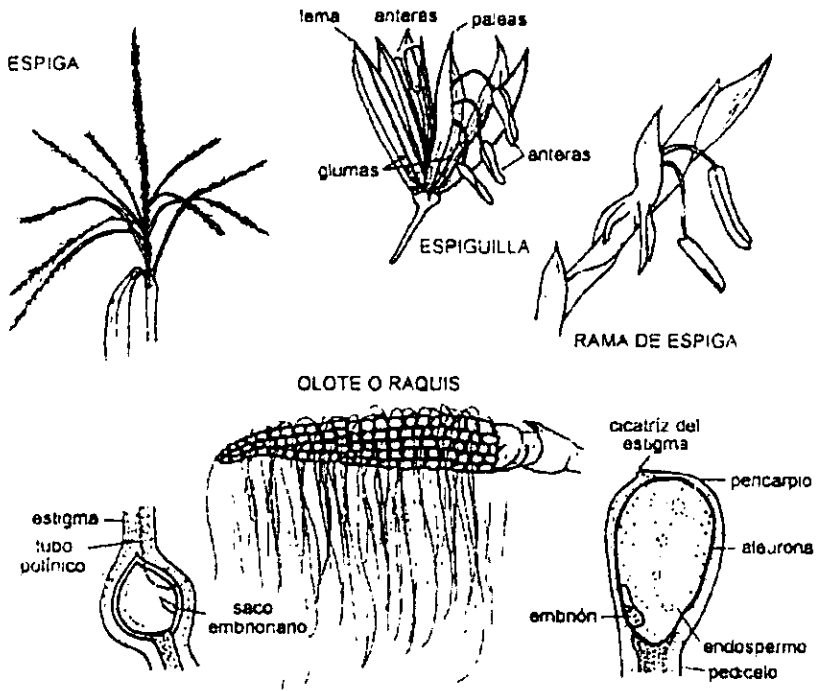


Figura 4 Estructuras florales en el maíz.
(Tomada de Reyes, 1990).

Adaptación.

El maíz es una planta dotada de una amplia respuesta a las oportunidades que ofrece el medio ambiente. Esta cualidad ha sido explorada por el hombre para conseguir variedades adaptadas a condiciones muy dispares. Actualmente existe una gran diversidad de tipos y de razas de maíz útiles para su cultivo, bajo condiciones ambientales muy distintas a las de su habitat natural.

En general se puede decir que el cultivo del maíz es susceptible de aprovecharse en diferentes regiones agrícolas las cuales son afectadas por los siguientes factores:

a) Efecto de la luz y del fotoperíodo. El maíz es una de las plantas cultivadas de más alto nivel de respuesta a los efectos de la luz. De este hecho depende principalmente su elevado potencial productivo. Correlativamente, la falta o reducción de la luz incide sobre su crecimiento y producción. Una disminución de un 90 por 100 de la intensidad lumínica por un período de pocos días produce la máxima reducción en el rendimiento de grano si se produce durante la fase de polinización. La fase productiva resulta la más sensible a la carencia de la intensidad lumínica desde el punto de vista de la producción de grano.

b) Altitud y latitud. En los trópicos, el maíz crece desde el nivel del mar hasta elevaciones cercanas a los 4000 metros.

Por efecto de la altura a la que se cultiva se manifiesta una variación en el porte de la planta, en el nivel de inserción de las mazorcas en el tallo y el tamaño de las mazorcas.

A baja o media altura sobre el nivel de mar, las plantas (normalmente de ciclo largo) puede alcanzar alturas de tres o más metros, mientras que a grandes altitudes (más de 3000 mnm) las plantas (variedades de ciclo corto) apenas llegan al medio metro de altura.

Las variedades de ciclo largo, cultivadas a baja o media altitud, pueden dar mazorcas de 35 a 40 cm de longitud que nacen a 2-2.5 m sobre el nivel del suelo. En cambio, en variedades de ciclo corto adaptadas a climas montañosos de gran altura sobre el nivel del mar, las mazorcas nacen a unos 20 cm del suelo y su tamaño apenas pasa de 5 cm de longitud (Llanos, 1984).

En general, el maíz se adapta desde mas o menos 50° de latitud norte, hasta los 40° de latitud sur. Las regiones más productivas para el maíz se localizan entre los trópicos de Cáncer y el trópico de Capricornio (Robles, 1983).

c) Influencia del suelo. El maíz se adapta a una amplia variedad de suelos, donde puede producir buenas cosechas a condición de emplear variedades adecuadas y utilizar técnicas de cultivo apropiadas.

Los peores suelos para el maíz son los excesivamente pesados (arcillosos) y los muy ligeros (arenosos); los primeros por su facilidad para inundarse y los arenosos por su propensión a secarse excesivamente.

El clima, en relación con las características del suelo, es también fundamental para evaluar las posibilidades de hacer un cultivo rentable. En regiones de clima frío y con fuertes precipitaciones, los suelos relativamente ligeros son preferibles por su facilidad para drenar y alta capacidad para conservar el calor. En lugares de escasas precipitaciones, los suelos de textura pesada (arcillosos) con alta capacidad de retención de agua, son los más convenientes.

En general los suelos más idóneos para el cultivo del maíz son los de textura media (francos), fértiles, bien drenados, profundos y con elevada capacidad de retención de agua.

En comparación con otros cultivos, el maíz se adapta bastante bien a la acidez-alcalinidad del terreno.

Puede cultivarse con buenos resultados ente pH 5.5 y 8 aunque el óptimo corresponde a una ligera acidez entre pH 6 y 7 (Llanos, 1984).

El suelo de textura franca es preferible para el cultivo del maíz ya que esto permite un buen desarrollo del sistema radical, con una mayor eficiencia de absorción de la humedad y de los nutrimentos del suelo. Además, evita problemas de acamé o caída de las plantas

d) La temperatura media óptima para la producción de maíz debe oscilar entre 20 y 30 °C, pero puede ser mayor o menor según las distintas regiones agrícolas (Robles 1983).

La temperatura óptima para una buena producción de maíz depende también del estado de desarrollo durante la formación de grano, las temperaturas altas tienden a inducir una maduración más temprana (SEP., 1981, citado por Hernández, 2000) .

Al principio del ciclo vegetativo, el crecimiento del maíz depende linealmente de la temperatura en el suelo, si esta varía entre 15 y 27 °C. Temperaturas más altas reduce la velocidad de crecimiento de las plantas (Llanos, 1984).

Utilización e importancia del maíz

México es uno de los más importantes países consumidores de maíz. Con una gran tradición en este cultivo y un fuerte arraigo del producto como base de la alimentación de la población, especialmente las clases populares. El maíz ha sido alimento, moneda y religión para el pueblo de México. Durante siglos, la historia nacional y las condiciones de vida de los mexicanos han estado asociados estrechamente a su cultivo (Figueroa *et al.*, 1994 ; Llanos, 1984).

Así, sus múltiples usos, se pueden agrupar en los siguientes rubros, (Reyes, 1990; González, 1995):

- Grano: alimentación humana, alimentación del ganado, materia prima en la industria, semilla.
- Planta: forraje verde, ensilado, rastrojo, forraje tosco, materia orgánica del suelo.
- Mazorca: elote alimento humano, forraje tosco, olote (combustible).

En países como México, tiene escaso uso ganadero. El maíz se aprovecha directamente como alimento humano (tortilla, bollos, arepa, elote, etc.), o como materia prima en la industria alimentara (harina, maicena, aceite, mieles, etc.) e industrias diversas.

Se estima que son más de 800 artículos, que utiliza la humanidad, en los que interviene el maíz. Esto es porque todas las partes, excepto las raíces, de la planta se utilizan, aun cuando las raíces son también fuente de materia orgánica del suelo.

En México, la mayor parte de la producción del maíz es para uso del grano como alimento humano en la fabricación de tortillas y/o la fabricación de harina de maíz nixtamizado. En nuestro país más del 50% del volumen alimentario lo constituye el maíz; el complemento lo integran más de 30 especies de diversas plantas, que incluyen tubérculos, raíces, hojas, flores y frutas; en adición se consumen diversas frutas silvestres y cultivadas, así como carne de varias especies animales domésticos y silvestres (González, 1995).

De la industrialización del maíz se obtienen importantes subproductos utilizados como materias primas industriales, así como para la alimentación humana y del ganado.

El gluten de la semilla tienen un gran valor como materia alimenticia. Está formada por una mezcla de sustancias nitrogenadas (proteínas) contenidas en el grano. Se usa en la preparación de alimentos ricos en proteínas para el ganado. Los principales son los concentrados de gluten, con el 23 % de sustancias protéicas, y las tortas de gluten, con el 41 %.

Del maíz se benefician también algunos aminoácidos de gran valor alimenticio tales como ácido glutámico, leucina y tirosina,

Las proteínas del grano de maíz sirven como materia prima para la industria alimentaria. A partir del almidón se obtienen múltiples productos de panadería, maicena, confitería, goma de mascar, cervecera, etc.

Por medio de otros aprovechamientos industriales del maíz se benefician productos textiles, cosméticos, fabricación de papel y materiales de envasados, lavandería, adhesivos, etc. (Llanos, 1984).

Por su variedad de usos para el hombre, su importancia puede analizarse en diversos aspectos:

- Económico. La importancia del maíz en el mundo y en México, se manifiesta por los siguientes rubros: significa bienestar económico para los países autosuficientes y/o exportadores; los múltiples usos como alimento humano directo a transformarlo en carne, huevo, leche y derivados; como insumo en la industria; por su amplia área geográfica de cultivo, ya que se encuentra distribuido en 134 países del mundo, 82% de los países lo producen y por su alto volumen de producción.
- Científico. Como recurso biológico para explicar teorías, principios y leyes que han contribuido en avances de las ciencias biológicas y sus aplicaciones en agronomía; en la creación de nuevas tecnologías que se aplican en fitotécnica y conocimiento de causas que explican los efectos en diversos caracteres de plantas y animales. Además es una planta de amplio espectro en su utilidad para múltiples ejemplos y medios de ayuda en cursos de biología, química y agronomía. Son escasas las especies de plantas que compiten con el maíz (González, 1995).

ELEMENTO ESENCIAL

El crecimiento y desarrollo de las plantas están determinados por numerosos factores del medio y del clima, así como factores inherentes de la misma planta. Algunos de esos factores están bajo control del hombre, pero muchos de estos no lo están. Por ejemplo, el hombre tiene poco control sobre el aire, la luz y la temperatura, pero puede influir en la provisión de los nutrientes del suelo. Puede modificar la cantidad de nutrientes disponibles modificando las condiciones del suelo o añadiéndolos en forma de fertilizantes. Quien esté relacionado con el desarrollo de la planta, tiene un particular interés en sus requerimientos nutricionales.

Los elementos nutritivos no sólo deben estar presentes en las formas que la planta puede utilizar, sino también debe existir entre ellos un equilibrio aproximado de acuerdo con las cantidades que necesitan las plantas. Si falta alguno de los elementos o se encuentra presente en proporciones inadecuadas, las plantas no tendrán un crecimiento normal. Los elementos requeridos por las plantas son los elementos esenciales (Foth, 1992).

De los 92 elementos naturales que se conocen, solamente 60 de ellos han sido encontrados en diversas plantas; no obstante, muchos de éstos no se consideran esenciales para su crecimiento y su existencia probablemente se debe a que las raíces de las plantas absorben en su entorno algunos elementos que existen en formas solubles. Las plantas, no obstante, tienen la habilidad de poder seleccionar la cantidad de los diversos iones que absorben, normalmente esta absorción no es directamente proporcional a la cantidad de nutrientes que existen; es más, las especies pueden variar la habilidad de seleccionar cada uno de los iones en particular.

Un elemento esencial deberá cumplir cada uno de los tres criterios que se mencionan a continuación (Arnon y Stout, 1939, Citado por Resh 1992):

- 1) La planta no podrá completar su ciclo de vida en la ausencia del elemento.
- 2) La acción del elemento deberá ser específica y ningún otro elemento puede sustituirlo completamente.

3) El elemento deberá estar directamente implicado en la nutrición de la planta; esto es, ser un constituyente de un metabolito esencial o, por lo menos, ser necesario su presencia para la acción de una enzima esencial, y no ser simplemente la causa para que otros elementos sean más fácilmente asimilables, o ser al menos un antagonista de un efecto tóxico de otros elementos.

A causa de las complicaciones que pueden aparecer para definir un elemento como esencial, Nicholas, de la estación experimental de Long Ashton. Ha sugerido que el término nutrimento funcional sea usado para cualquier elemento mineral que toma parte en el metabolismo de la planta, tanto si su acción es o no específica (Tisdale y Nelson, 1991).

Los elementos que por lo general requieren las plantas se dividen en dos grupos, la cantidad que de ellos necesita la planta. Los Macronutrientes por lo general son necesarios en cantidades relativamente grandes de más de 500 partes por millón (ppm). Los Micronutrientes sólo se necesitan en cantidades mucho más pequeñas, de ordinario de menos de 50 partes por millón (Foth, 1992).

En la actualidad se dice que 16 elementos son esenciales para el desarrollo y la reproducción de las plantas superiores. Estos son: Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Hierro, Azufre, Boro, Manganeso, Cobre, Zinc, Molibdeno y Cloro. En pocas palabras, un elemento puede considerarse esencial si su exclusión impide que la planta complete su ciclo de vida (Tamhane *et al.*, 1986).

FUNCIONES DE LOS MACRONUTRIMENTOS CONSTITUYENTES DE LAS PLANTAS SUPERIORES

NITRÓGENO

El nitrógeno es un constituyente de importantes compuestos y complejos orgánicos de las plantas. Como ejemplo, se puede citar a los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, aminas, amidas, nucleoproteínas, entre otros (Domínguez, 1989).

Este elemento, para ser absorbido por la mayoría de las plantas (excepto leguminosas), debe estar en forma diferente que la del nitrógeno elemental. Las formas más comúnmente asimiladas por las plantas son los iones nitrato (NO_3^-) y el amonio (NH_4^+). Indiferentemente de la forma del nitrógeno absorbido por las plantas, éste es transformado en el interior de las plantas a las formas R-N= , R-NH- , R-NH_2 . Este nitrógeno reducido es elaborado en compuestos más complejos y finalmente transformados en proteínas (Tisdale y Nelson, 1991). Algunos factores como la temperatura y el pH parecen afectar de modo distinto la absorción de ambas formas de nitrógeno. Así la forma amoniacal parece más favorecida a baja temperatura, en tanto que la forma lo nítrica es pH bajos.

La abundancia de nitrógeno promueve un rápido crecimiento con un mayor desarrollo de hoja y tallo de color verde oscuro. Aunque una de las funciones más sobresalientes del nitrógeno es estimular el crecimiento vegetativo de la parte aérea, además que impulsa la formación de follaje de buena calidad facilitando la producción de carbohidratos y ayudando a la succulencia, pero este desarrollo no puede efectuarse sin la disponibilidad de fósforo, potasio y otros elementos esenciales (Tamhane *et al.*, 1986; Foth, 1992).

Por su parte, el nitrógeno, dada su presencia en la clorofila, influye en la asimilación de los hidratos de carbono (Domínguez, 1989).

FÓSFORO

Después del nitrógeno, el fósforo es el segundo nutrimento en importancia para la planta. Es esencial para el crecimiento de las planta y ningún otro nutrimento puede sustituirlo (necesario para completar el desarrollo de la planta). Actúa en la fotosíntesis, la respiración, el almacenamiento y transporte de energía, la división celular, el crecimiento de las células y en otros procesos de la planta.

Las plantas absorben la mayoría del fósforo en forma de ion primario ortofosfato $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$, pequeñas cantidades de ion secundario ortofosfato HPO_4^{-2} , el primero es más rápidamente absorbido. Las cantidades relativas de estos dos iones absorbidos por las plantas están afectadas por el pH del medio que rodea a la raíz. Valores bajos de pH incrementan la absorción de ion $\text{H}_2\text{PO}_4^{-1}$, mientras que los valores más altos del pH incrementan la absorción de la forma HPO_4^{-2} (Tisdale y Nelson, 1991).

La capacidad de absorción varía considerablemente de un cultivo a otros e incluso entre las variedades de una misma especie, lo que sugiere que esta característica esta controlada por el genotipo (Dominguez, 1989). El fósforo desempeña un papel importante en las formaciones de energía y participa en el metabolismo de las grasas y proteínas. Es un constituyente esencial de muchos compuestos vitales como los nucleótidos, las lecitinas y la mayor parte de las enzimas; algunos de los efectos sobre el desarrollo de la planta se mencionan a continuación:

1. Efecto más evidente del fósforo se efectúa sobre el sistema de raíces de las plantas.

Fomenta la formación de raíces laterales y fibrosas, lo que aumenta la superficie de absorción de nutrimentos.

2. El fósforo aumenta el número de renuevos en los cereales y por tanto, crece el número de vástagos que, generan espigas, mazorca o grano.

3. El fósforo apresura la maduración de las plantas. En presencia de fósforo disponible suficiente, la formación de semillas comienza antes y los cultivos maduran varios días más pronto, que cuando el fósforo esta deficiente. Es esencial para la formación de semillas.

4. El fósforo aumenta la proporción de grano, con la paja en los cereales y aumenta, así, el rendimiento del grano.

5. El fósforo da a las plantas una mayor resistencia a las enfermedades, debido al desarrollo normal de la célula y al crecimiento vigoroso (Tamhane *et al.*, 1986).

El fósforo desempeña un papel indispensable como combustible universal para todas las actividades bioquímicas de las células vivientes. Los enlaces de alta energía de trifosfato de adenosina (ATP) liberan energía para el trabajo (Foth, 1992).

POTASIO

El potasio es el más abundante catión en el citoplasma y esto ayuda a conseguir una mayor contribución en el potencial osmótico de las células. Además, varias de las funciones del potasio en la célula, están relacionados con la concentración de éste en las vacuólas (Maschner, 1985).

Las membranas celulares tienen baja permeabilidad para el potasio, pese a lo cual es absorbido fácilmente y en cantidades considerables. Como ion potasio (K^+), cuando pasa a través de las células corticales hacia el xilema, es transportado principalmente hacia los tejidos jóvenes en crecimiento (Tisdale y Nelson, 1991; Domínguez, 1989).

Entre las reacciones y fenómenos vitales de la planta en las cuales el potasio participa se pueden mencionar:

1. Aumenta la síntesis y la translación de carbohidratos estimulando con ello el engrosamiento de la pared celular y la resistencia del tallo (Foth, 1992).
2. El potasio ayuda a mantener la permeabilidad de la célula, y hace que el hierro sea más móvil en la planta.
3. El potasio aumenta la resistencia de la planta a enfermedades (Tamhane *et al.*, 1986). Se han observado efectos favorables del potasio en la resistencia de la planta al frío y las heladas, al evitar el deterioro de la permeabilidad de las membranas celulares (Domínguez, 1989).
4. El potasio es un activador de muchas de las enzimas que activan a los aminoácidos y la síntesis de proteínas.
5. El potasio, al ser muy móvil, impulsa la división celular normal en los tejidos meristemáticos jóvenes (Tamhane, 1986).
6. Activador de fenómenos de respiración y de fotosíntesis.

7. El potasio tiene un papel muy importante en los tejidos de división. De modo parecido a lo que ocurre con el fósforo, el potasio está presente en mayor proporción en las partes de la planta que se encuentran en división activa (Llanos, 1984).

Existe una fuerte interacción del potasio con el nitrógeno, ya que tiene cierta función reguladora del metabolismo del nitrógeno.

CALCIO

El calcio es esencial para el crecimiento de los meristemos 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 resquebrajaduras. Es necesario para la formación de algunas enzimas, como la amilasa y determinadas nucleasas (Urbano y Hernández, 1992).

El calcio es absorbido bajo la forma de ion calcio (Ca^{2+}). Se ha comprobado que el calcio puede ser absorbido por las partes más jóvenes de la raíz, en las que las células de la endodermis no se ha suberizado (Clarkson y Sanderson, 1978 citado por Domínguez, 1989). El calcio es un elemento muy móvil en la planta, siendo muy escaso el movimiento de arriba abajo.

Entre las funciones que el calcio desempeña en el desarrollo de la planta son las siguientes:

1. Es absolutamente necesario para la división y crecimiento celular (Domínguez, 1989).
2. Tiende a hacer a la planta más selectiva en su absorción y dado que es un constitutivo de la pared celular, ayuda a mantener la rigidez de la planta.
3. Las puntas de la raíz que crece con rapidez son ricas, en calcio, indicando que se necesita en cantidades grandes para la división celular.
4. El calcio proporciona un material básico para la neutralización de los ácidos orgánicos. De esta manera actúa como agente desintoxicado.
5. Este nutrimento impulsa la producción de semillas.
6. El aumento de la proporción de Ca:K en la solución del suelo reduce la ingestión de K. Cuando el potasio se encuentra en exceso, el calcio impide que la planta derroche potasio (Tamhane *et al.*, 1986).

MAGNESIO

El magnesio es un constituyente de la clorofila por lo que una parte apreciable del contenido total en la planta se halla en los cloroplastos de las células de las hojas.

El magnesio es absorbido como ion magnesio (Mg^{2+}) y en menores cantidades que el potasio o el calcio. Este elemento es muy susceptible a la competencia de otros cationes en su absorción, según por la que es frecuente que se observen deficiencias inducidas por esta causa (Domínguez, 1989).

Además esta relacionado con la movilidad del magnesio dentro de la célula como: alta capacidad de interactuar con ligandos nucleófilicos fuertes, relacionados con enlaces iónicos y actúa como elemento enlazante para formar complejos de diferente estabilidad, forma complejos terciarios con enzimas en los cuales funciona como vehiculo, se enlaza para establecer la geometría precisa entre sustrato y la enzima. Una proporción alta de magnesio total esta implicada en la regulación de pH celular y el balance catión-anión.

El magnesio ayuda a la absorción de fósforo, desempeña un papel esencial en muchas reacciones enzimáticas, principalmente en reacciones de fosforilación, es decir, las que participan en la formación de ésteres de ácido fosfórico de complejos orgánicos. Por lo cual aumenta la eficiencia de absorción de fósforo.

El magnesio ayuda al traslado de carbohidratos y regula la absorción de otros nutrimentos, al parecer por que ayudan a la formación de compuestos fosforilados (Tamhane *et al.*, 1986).

AZUFRE

El azufre es similar al nitrógeno en algunas funciones el metabolismo de las plantas, pero con diferente importancia. El azufre es un constitutivo de las enzimas y de otras proteínas (Rending, y Taylor, 1989; Tamhane *et al.*, 1986).

El azufre se absorbe por las raíces de las plantas casi exclusivamente en forma de ion sulfato (SO_4^{2-}). Pequeñas cantidades son absorbidas bajo la forma de dióxido de azufre (SO_2), a través de

las hojas de las plantas y son utilizadas por las plantas; el dióxido de azufre se encuentra en las plantas en pequeñas concentraciones, sin embargo es bastante tóxico (Tisdale y Nelson, 1991).

El azufre se encuentra en coenzimas, como la coenzima A, el pirofosfato de la tiamina y la biotina. Estas coenzimas participan en varias reacciones metabólicas que presuponen el metabolismo que los carbohidratos, grasas y proteínas. Se sabe que el azufre estimula el desarrollo de la raíz, la formación de la semilla y la formación de nódulos, además ayuda a la formación de la molécula de clorofila (Tamhane *et al.*, 1986).

DEFICIENCIA NUTRICIONAL

Un desorden nutricional es un mal funcionamiento de la fisiología de la planta y da como resultado un crecimiento anormal, causado bien por una deficiencia o por un exceso de uno o varios nutrimentos. Este desorden lo muestra la planta, bien sea externa o internamente por medio de síntomas. El diagnóstico de un desorden nutricional incluye una detallada descripción del desorden. Una deficiencia o exceso de cada uno de los nutrimentos esenciales da lugar a diferentes síntomas en la planta, los cuales pueden utilizarse para identificar dicho desorden.

Es importante detectar rápidamente los desordenes nutricionales, ya que conforme estos se incrementan, los síntomas se van extendiendo más rápidamente sobre la totalidad de la planta, dando como resultado la muerte de la mayoría de los tejidos de la planta. Los síntomas característicos suelen ser muy generales, tales como la clorosis (amarillamiento) y necrosis (parpadeamiento) de los tejidos de las plantas. Además, los desordenes de un nutrimento a menudo interfieren la capacidad de la planta para acumular otros y rápidamente aparece una deficiencia o exceso de dos o más nutrimentos esenciales de forma simultanea; esto es particularmente cierto en deficiencias nutricionales (Rending y Taylor, 1989)

Una deficiencia nutrimental determina cambios en el metabolismo y el crecimiento de las plantas expresandose a través de un síntoma. Una deficiencia de cada elemento esencial causa diferentes síntomas en la planta (Bennet, 1994).

Es importante señalar que el diagnóstico visual está basado en: a) patrón del síntoma, b) secuencia del desarrollo y c) órgano o edad fisiológica del órgano en que se presenta. Es conveniente recordar que un síntoma se manifiesta cuando la concentración del nutrimento faltante ha alcanzado un nivel suficientemente bajo que la planta no puede funcionar normalmente, de manera que cuando se detecta, se ha afectado el rendimiento irreversiblemente, salvo que este se presente en las primeras etapas del desarrollo y pueda corregirse oportunamente con otras técnicas de diagnóstico, a fin de lograr obtener plantas nutricionalmente equilibradas.

El análisis del tejido vegetal ha sido considerado un excelente medio para diagnosticar el estatus de nutrimentos para las plantas (Palacios *et al*, 1978 citado por Ríos 1995). Conocer la concentración de los nutrimentos en ellas, permite elaborar recomendaciones de fertilización a fin de asegurar el adecuado estado nutricional del cultivo. La interpretación del análisis vegetal depende del conocimiento del “intervalo adecuado” de concentración del nutrimento en el tejido al cual puede obtenerse un crecimiento aceptable y/o la “concentración crítica del nutrimento”, arriba de la cual poco o ningún incremento en el rendimiento es esperado por incrementos adicionales de aplicaciones del nutrimento en cuestión (Zarate y Vergara, 1989; Cox, 1992)

La diagnosis visual consiste en comparar el aspecto externo de una muestra con el de un patrón, que supone representa una condición determinada. En general los órganos que generalmente se usan son las hojas, aunque para algunos elementos pueden ser necesario usar otros órganos como la raíz o el fruto (Bertsch, 1995).

El análisis vegetal se puede realizar para ratificar un diagnóstico de síntomas visuales, a través del conocimiento de los síntomas y secuencias sintomatológicas que presentan los vegetales, utilizando los diferentes elementos de diagnóstico como: la movilidad de los nutrimentos, las variaciones en forma, color, hábito y estado general de la planta y tomado en cuenta los factores del suelo, clima, manejo e incidencia de plagas y enfermedades. Así, es factible establecer un proceso deductivo para llegar a ratificar o rectificar que los síntomas de la planta pueda ser atribuida a la carencia o exceso de un nutrimento en particular. Esto es fundamentalmente válido para aquellos nutrimentos los cuyo su deficiencia conduce a la generación de una serie de síntomas típicos.

La presencia de síntomas visuales de deficiencia es un índice de que en tejido vegetal, la concentración de uno o varios nutrimentos se ha abatido en tal magnitud que un gran número de procesos metabólicos ahora en desorden, proporcionan la aparición de dichos síntomas. Sin embargo, dentro de los rangos de abastecimiento nutricional se presenta una zona de carencia, llamada deficiencia latente, que genera fuertes depresiones, tanto en el rendimiento como en la calidad de los productos sin que a simple vista se hayan observado los síntomas.

HIDROPONÍA

Antecedente y Conceptos.

Hidroponía es, el cultivo de las plantas sin tierra, se ha desarrollado a partir de los descubrimientos hechos en las experiencias llevadas a cabo para determinar qué sustancias hacen crecer a las plantas y la composición de ellas. Los jardines colgantes de Babilonia; los jardines flotantes de los aztecas en México, y los de la china imperial son ejemplos de cultivos «hidropónicos», existieron también jeroglíficos egipcios fechados cientos de años antes de Cristo que describen el cultivo de las plantas en agua.

El interés sobre la aplicación práctica de estos cultivos en nutrimentos no llegó hasta, cerca de 1925, cuando la industria de los invernaderos demostró interés en su uso, debido a la necesidad de cambiar la tierra con frecuencia para evitar los problemas de estructura, fertilidad y enfermedades; como resultado, los investigadores comenzaron a valorar el uso potencial del cultivo en nutrimentos para reemplazar los métodos de cultivo en los suelos convencionales. Entre 1925 y 1935 tuvo lugar un desarrollo extensivo hacia una producción en gran escala.

A comienzos de los años treinta, W. F. Gericke, de la Universidad de California, puso los ensayos de laboratorio de nutrición vegetal a escala comercial, denominado a este sistema de cultivo en nutrimentos *hidroponics*, palabra derivada de las griegas *hidro* (agua) y *ponos* (labor, trabajo), literalmente «trabajo en agua».

Los cultivos hidropónicos o hidroponía pueden ser definidos como la ciencia del crecimiento de las plantas sin utilizar el suelo, aunque usando un medio inerte, tal como la grava, arena, turba, vermiculita, piedra pómez o aserrín, a los cuales se añade una solución de nutrimentos que contiene todos los elementos esenciales necesitados por la planta para su normal crecimiento y más desarrollo. Puesto que muchos de estos métodos hidropónicos emplea algún tipo de medio de cultivo, se les denomina a menudo «cultivo sin suelo», mientras que el cultivo solamente en agua sería el verdadero hidropónico.

Desventajas de los cultivos hidropónicos.

⊕ Las mayores de las desventajas son los elevados costos de capital inicial; se requiere un alto conocimiento técnico; requiere una fuente continua de agua; se requiere de mucha atención de detalles; se necesita mano de obra calificada en tecnología vegetal y química orgánica y por ahora ésta mano de obra esta escasa en México.

Composición de las soluciones nutritivas

En los cultivos hidropónicos, todos los elementos esenciales se encuentran disponibles para las plantas al disolver las sales fertilizantes en agua. La elección de las sales que deberán ser usadas depende de un elevado número de factores. La producción se comparará con la necesaria en la formulación del nutrimento. En los cultivos hidropónicos, las sales fertilizantes deberán tener una alta solubilidad, puesto que deben permanecer en solución para ser tomadas por las plantas.

Características del medio de cultivo.

La capacidad de retención del agua por un medio se determina a partir del tamaño de sus retículas, de su forma y de la porosidad. Es importante tener en cuenta que el medio no solamente debe ser capaz de poseer una buena retención para el agua y de una falta de movimiento del oxígeno dentro del medio. La elección del medio es determinada según disponibilidades de éste, costo, calidad y el tipo de método de cultivo hidropónico que va a ser empleado. El medio no debe contener ningún material tóxico. El medio debe ser lo suficientemente duro en orden de manera que sea durable. Los agregados muy blandos que pueden desintegrarse fácilmente deberán evitarse, ya que pierden rápidamente la estructura y el tamaño de sus partículas va disminuyendo, lo cual trae como resultado una compactación que produce una pobre aireación de las raíces.

JUSTIFICACIÓN

La nutrición de las plantas por medio de la utilización de soluciones nutritivas es la llave del éxito en los cultivos hidropónicos. La absorción y transporte de los nutrimentos de las plantas en estas han sido ya discutidos. La siguiente cuestión es cómo mantener las plantas en un estado óptimo de nutrición. Los cultivos hidropónicos permiten obtener esto, pero también presentan un riesgo de error, que puede dar como resultado una rápida carencia de nutrimentos u otros efectos adversos en las plantas. Es muy importante disponer de un programa de diagnosis que permita conocer el nivel nutricional de la planta en cualquier momento, para evitar los desequilibrios nutricionales que, como ya sea dicho, limitaría el crecimiento de estas plantas. El método ideal para efectuar este diagnostico es el análisis foliar periódico (una o dos veces por semana) y junto con este análisis, evaluar la producción respecto a los nutrimentos. El nivel de cada uno de los elementos esenciales en los tejidos de las plantas y en la solución nutritiva deberá, al determinarse, llevar de forma conjunta un ajuste en la solución de nutrimentos, si es necesario, para evitar los problemas potenciales de nutrición.

Otra alternativa para estos análisis de laboratorio consiste en un diagnostico visual de los síntomas de deficiencias en nutrimentos que aparecerán en las plantas en los primeros días de desarrollo lo cual ayudara a corregir los síntomas de deficiencia en el cultivo de estudio.

OBJETIVO GENERAL

Inducir con el uso de la técnica del elemento faltante, las deficiencias de N, P, K, Ca, Mg y S y determinar los efectos que, estas tienen sobre la producción de biomasa y la presencia de síntomas visuales en genotipo eficiente en uso de N y P en maíz.

OBJETIVOS PARTICULARES

→ Determinar los síntomas que presenta la planta de maíz en su desarrollo ante la carencia de N, P, K, Ca, Mg y S.

→ Evaluar la producción de biomasa ante la carencia de cada elemento esencial.

→ Evaluar el efecto de la carencia de los elementos en estudio sobre el contenido de clorofila en las hojas más jóvenes.

HIPÓTESIS

En la planta de maíz, la falta de un elemento esencial en la solución nutritiva, produce valores bajos en el contenido de clorofila y con ello una reducción en la producción de biomasa.

La carencia de un nutrimento esencial para la planta de maíz, trae como consecuencia la presencia de síntomas lo cual muestra una deficiencia nutrimental.

MATERIALES Y MÉTODOS

La primera etapa de esta investigación consistió en la búsqueda bibliográfica sobre el maíz, hidroponía (conceptos, ventajas y desventajas de su uso y sus ventajas en el estudio de la nutrición vegetal), elemento esencial (funciones de N, P, K, Ca, Mg y S en las plantas) y deficiencia nutrimental en diferentes tipos de suelo.

Para la realización de este experimento en condiciones de invernadero, se utilizó el genotipo V-23, el cual proviene del INIFAP Estado de México, Campus Toluca, el cual se ha considerado como eficiente en el uso de N y P, y ha sido utilizado tanto en campo como en invernadero. La selección de la semilla se realizó con base en los siguientes criterios: debe ser viable, poseer un tamaño adecuado, además de ser uniforme.

A la semilla se le realizó como tratamiento pregerminativo, el remojo en agua por 24 horas, posteriormente se desinfectó con hipoclorito de sodio al 5% y se realizó un lavado con agua destilada.

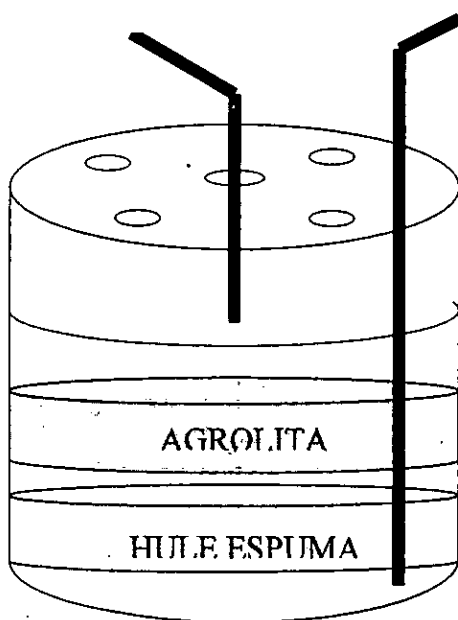
La siembra se realizó con la colocación de la semilla en un sustrato de arena, con aplicación de agua destilada exclusivamente en los primeros 5 días y a la emergencia con solución nutritiva completa la cual sustentó el crecimiento de las plantas.

Esta investigación consistió en la realización de un experimento en el invernadero de la FES Zaragoza, en el cual se empleó un cultivo hidróponico, cuyas unidades experimentales estuvieron constituidas por una maceta con capacidad de siete litros. Se colocó en su interior un cilindro de hule espuma y agrolita la cual ayudó a dar soporte a cuatro individuos (figura 5). Se colocó además una manguera para drenar y suministrar la solución nutritiva.

Se utilizó un diseño de bloques al azar, con siete tratamientos y nueve repeticiones, lo cual da un total de 63 unidades experimentales. Este experimento se realizó durante el periodo de primavera-verano del 2000 (abril-julio).

Figura 5. Diseño de la unidad experimental.

MANGUERA
DE
SUMINISTRO



MANGUERA
DE
DRENADO

A tres semanas de la siembra se trasplantaron las plantas manteniéndolas durante dos semanas con solución nutritiva completa, con la finalidad de que estas tomaran fortaleza y partir de plantas con una reserva suficiente de nutrimentos y capacidad de respuesta ante las condiciones de estrés nutrimental posterior. Posteriormente a los 15 días del trasplante se llevaron a cabo lavados o purgas con agua común durante 72 horas, lo cual ayudó a lavar la agrolita eliminando la presencia de cualquier nutrimento, para la aplicación de los tratamientos.

La preparación de las soluciones nutritivas se realizó con base en un testigo (solución nutritiva completa) y seis tratamientos (cuadro 1), en las cuales se eliminan uno por uno los elementos en estudio. Cruz (1994) y Vivanco (1998) han utilizado estas soluciones en el cultivo maíz, trigo y triticale. El aporte de cada una de las soluciones se realizó dos veces al día (mañana y noche). Se realizó periódicamente en las dos hojas más jóvenes de las plantas, la medición de clorofila, la cual se llevó a cabo con un medidor de clorofila (SPAD-502, Bullock y Anderson, 1998).

El medidor de clorofila ha sido considerado de gran utilidad para corregir oportunamente la carencia de algún nutrimento, ya que es un dispositivo portátil que mide instantáneamente en campo el verdor de la hoja en la planta el cual está directamente relacionado con el contenido de clorofila en la hoja (Minolta SPAD-502). También se realizó la toma de fotografías las cuales ayudaron a detectar y describir la presencia de síntomas causados por la deficiencia de los elementos en estudio.

La cosecha se realizó a los 80 días del desarrollo de la planta de maíz, fue determinado tanto el peso de la parte aérea, así como de la raíz y el número de plantas por unidad experimental.

Una vez realizada la cosecha se procedió al secado del material vegetal a una temperatura de 65 °C hasta obtener peso seco constante de la muestra, una vez obtenido éste, se molieron y tamizaron con una malla # 20 para determinar el porcentaje de N, P, K, Ca y Mg, mediante los métodos descritos en el cuadro 2.

Cuadro 1. Composición de las soluciones nutritivas utilizadas en el experimento y denominación de los tratamientos

DENOMINACIÓN DE	φ										ppm	
	(NH ₄) ₂ SO ₄	Ca Cl ₂	Ca(NO ₃) ₂	NH ₄ Cl	K ₂ SO ₄	MgSO ₄	NaH ₂ PO ₄	H ₃ BO ₃	MnCl ₂	ZnSO ₄		H ₂ MoO ₄
S/NITRÓGENO	-	15	-	-	12	8	2	2.86	1.81	0.22	0.08	2.6
S/FÓSFORO	3	-	15	-	12	6	-	2.86	1.81	0.22	0.08	2.6
S/POTASIO	3	-	15	-	-	10	2	2.86	1.81	0.22	0.08	2.6
S/CALCIO	NH ₄ NO ₃ 3	-	KNO ₃ 15	-	-	10	2	2.86	1.81	0.22	0.08	2.6
S/MAGNESIO	5	-	12	-	15	-	2	2.86	1.81	0.22	0.08	2.6
S/AZUFRE	-	-	15	3	KCl 9	MgCl ₂ 6	2	2.86	1.81	0.22	0.08	2.6
TESTIGO (COMPLETA)	3	-	15	-	9	6	1.8	2.86	1.81	0.22	0.08	2.6

S/Nutrimiento= sin suministro de elemento

φ Los compuestos químicos utilizados para la elaboración solución nutritiva son grado reactivo con excepción del Nitrato de calcio el cual es un fertilizante químico que como impurezas contiene varios micronutrientes entre ellos al cobre

Cuadro 2. Métodos utilizados para la determinación de los porcentajes de los elementos en estudio.

PORCENTAJE	MÉTODO
Nitrógeno	Microkjeldhal (Bremmer, 1965)
Fósforo	Vanadato-Molibdato (Champan, 1981)
Potasio	Extractados con mezcla perclórico-nítrico y determinados con absorción atómica (Allan, 1971).
Calcio	
Magnesio	

Con los resultados obtenidos del análisis vegetal de cada elemento se realizó una agrupación en cinco clases: deficiente, bajo, suficiente, alto y tóxico (Jones, 1967 citado por Martin *et al.*, 1984 y Etchevers *et al.*, 1985).

Con base en los cuadros 3 y 4, se realizaron comparaciones de las concentraciones observadas de cada muestra, respecto a la carencia de cada elemento esencial en estudio.

Finalmente a los resultados se les aplicó un análisis estadístico de ANOVA, comparación de medias entre los parámetros estudiados.

Cuadro 3. Concentración de nutrimentos en la hoja debajo de la mazorca de maíz iniciación de la formación de cabello, que corresponde a varios estados nutricionales de la planta (Jones, 1967 citado por Martin *et al.*, 1984).

Elemento	Estado nutricional de la planta				
	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto	Tóxico
	%				
Nitrógeno	◀ 2.45	2.46-2.75	2.76-3.50	3.15-3.75	▶ 3.75
Fósforo	◀ 0.15	0.16-0.24	0.25-0.40	0.41-0.50	▶ 0.50
Potasio	◀ 1.25	1.26-1.70	1.71-2.25	2.26-2.50	▶ 2.50
Calcio	◀ 0.10	0.11-0.20	0.21-0.50	0.51-0.90	▶ 0.90
Magnesio	◀ 0.10	0.11-0.20	0.21-0.40	0.41-0.55	▶ 0.55

Cuadro 4. Clases nutrimentales del maíz establecidos para las concentraciones de los elementos en la hoja opuesta a la mazorca, durante el inicio de la floración femenina (Etchevers, *et al.*, 1985).

Elemento	Estado nutricional de la planta				
	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto	Nivel 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
Potasio	◀1.00	1.00-1.70	1.71-2.71	▶2.71	1.90
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

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

PRODUCCIÓN DE BIOMASA ANTE LA CARENCIA DE UN ELEMENTO ESENCIAL

a) RAÍZ

La raíz es el órgano de la planta que está en contacto directo con los elementos que por su concentración puede ser deficiente o tóxico con afectación al crecimiento.

La producción de biomasa de raíz se registró en peso fresco y seco, con la obtención de casi la totalidad de la raíz. El peso reportado ésta referido como peso de raíz por planta (cuadro 5). Al comparar la producción de biomasa fresca de raíz obtenida en los tratamientos sin suministro de N, P, K, Ca, Mg y S, se encontró que la mayor biomasa fresca se tienen en el tratamiento carente de fósforo, mientras que el menor valor se obtuvo en el tratamiento que carece de potasio debido a que este elemento interviene en la regulación osmótica y dado que estimula la división celular. Con respecto a la biomasa seca, la mayor producción se presentó en el tratamiento carente de potasio, mientras que la menor cantidad de biomasa seca se obtuvo en el tratamiento carente de calcio, el cual tienen función primordialmente estructural en pared y membrana celular.

Cuadro 5. Producción de biomasa fresca y seca de raíz en los diferente tratamientos en el cultivo de maíz en un sistema hidropónico.

TRATAMIENTO	BIOMASA RAÍZ	
	FRESCA	SECA
	g planta ⁻¹	
S/Nitrógeno	31.16a	10.56a
S/Fósforo	52.14a	10.54a
S/Potasio	25.39a	13.28a
S/Calcio	34.89a	8.62a
S/Magnesio	40.75a	10.60a
S/Azufre	41.80a	11.69a
Testigo (solución completa)	42.65a	10.99a

Letras diferentes representa diferencia significativa. Tukey DSH a $p \leq 0.05$.

La producción de biomasa fresca de raíz ante la carencia de nitrógeno fue de 31.16 g planta⁻¹ aproximadamente 10 g menos, en comparación con el tratamiento testigo (solución completa)

quien produjo 42.65 g planta⁻¹. A pesar de esta diferencia en peso entre el testigo y el tratamiento sin nitrógeno (S/Nitrógeno), no se presentó diferencia significativa entre estos tratamientos. Con respecto a la producción de biomasa seca de raíz en el tratamiento S/Nitrógeno, fue de 10.56 g planta⁻¹ que en comparación con el testigo (10.99, cuadro 5), los valores obtenidos no presentan variación importante por lo que entre ellos no se encontró diferencia significativa. Thompson y Troeh (1980), mencionan que cualquier reducción o eliminación del nitrógeno en la nutrición de la planta, trae como consecuencia el bloqueo de los procesos de crecimiento y reproducción, debido a esto la baja producción de raíz en el tratamiento S/nitrógeno. Respecto a los resultados encontrados en los que no se presentó diferencias entre el tratamiento testigo y los que carecen de algún nutrimento, se puede sustentar en la adecuada utilización de los nutrimentos que se aplicaron al inicio del experimento dada la eficiencia nutrimental de este genotipo (Cruz, 1999)

Respecto al tratamiento carente de fósforo (S/Fósforo), la producción de biomasa fresca de raíz que se obtuvo fue aproximadamente de 52.14 g planta⁻¹, 10 g más que el tratamiento testigo (42.65 g planta⁻¹), valores entre los que no se encontró diferencia significativa. En comparación con el testigo respecto a producción de biomasa seca de raíz, en el tratamiento S/Fósforo, se encontró una ligera disminución cuyos valores no muestran diferencia significativa (cuadro 5). Tamhane *et al.* (1986), menciona que el efecto más evidente del fósforo se encuentra sobre el sistema radicular de las plantas, ya que fomenta la formación de raíces laterales y fibrosas, comparando esto con los resultados obtenidos, mostraron lo contrario ya que se obtuvo una mayor producción de biomasa en el tratamiento S/Fósforo. Además es importante ratificar que ante estrés por carencia de fósforo en la raíz de cereales hay un alargamiento que es promovido por mayor acumulación de agua de células (Cruz, 1999).

Ante la carencia de potasio (S/Potasio), la producción de biomasa fresca de raíz fue de 25.39 g planta⁻¹. que en comparación con el tratamiento testigo, produjo aproximadamente 17 g planta⁻¹ menos. Con respecto a la producción de biomasa seca de raíz, ésta es mayor en el tratamiento testigo (10.99 g planta⁻¹) en comparación al tratamiento S/Potasio que tuvo una producción de biomasa seca de raíz de 8.30 g planta⁻¹ y a pesar de esto, estos valores no mostraron diferencia significativa. Domínguez (1989), menciona que el potasio es absolutamente necesario para la

división y crecimiento de la célula, por lo tanto al estar carente, no se llevan a cabo dichos procesos dando como consecuencia la producción baja de raíz.

La producción de biomasa fresca de raíz en el tratamiento carente de calcio (S/Calcio) fue de 34.89 g planta⁻¹ aproximadamente 8 g menos, en comparación con el testigo el cual produjo 42.65 g planta⁻¹. Tamhane *et al.*, (1986) menciona que las puntas de la raíz crecen con mayor rapidez cuando son ricas en calcio, indicando esto que el calcio es necesario en condiciones grandes para la división celular, o sea, que fomentó el desarrollo rápido de la raíz, con los resultados obtenidos para el tratamiento S/Calcio muestran una baja producción. Con respecto a la producción de biomasa seca de raíz, está fue mayor en el tratamiento testigo que produjo 10.99 g planta⁻¹ en comparación con el tratamiento S/Calcio en el cual se obtuvo una producción de 8.62 g planta⁻¹. A pesar de la fuerte diferencia entre el tratamiento S/Calcio y el testigo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

En el tratamiento carente de magnesio (S/Magnesio), la producción de biomasa fresca de raíz es de 40.75 g planta⁻¹ que en comparación con el testigo (42.65) no mostró diferencia significativa. En cuanto a la producción de biomasa seca de raíz el tratamiento S/Magnesio, produjo 10.60 g planta⁻¹ ligeramente menor en comparación con el testigo (10.99) por lo que estos valores no mostraron diferencia significativa.

La producción de biomasa fresca de raíz para el tratamiento carente de azufre (S/Azufre) fue de 41.80 g planta⁻¹ que al ser comparado con el testigo (42.65) no muestra diferencia significativa. Bertsch, (1995), menciona que el efecto del azufre cuando se encuentra en las plantas estimula el crecimiento de la raíz, por lo tanto en el tratamiento S/Azufre, no se presentó un efecto negativo debido a la ausencia de azufre. Con respecto a la producción de biomasa seca de raíz, en el tratamiento S/Azufre fue de 11.69 g planta⁻¹ el cual al ser comparado con el valor del testigo (10.99) no muestran diferencia significativa (cuadro 5).

b) PARTE AÉREA

La producción de biomasa de la parte aérea se registró en peso fresco y seco. El peso esta referido como peso de la parte aérea por planta (cuadro 6). Al comparar la producción de biomasa fresca de la parte aérea obtenida en los tratamientos carentes en N, P, K, Ca, Mg y S, se encontró que el tratamiento testigo y el tratamiento carente de fósforo son los que obtuvieron la mayor producción, mientras que el menor valor lo obtuvo el tratamiento carente de nitrógeno. Con respecto a la biomasa seca, el tratamiento carente de calcio presentó la mayor producción, mientras que la menor producción se obtuvo en el tratamiento carente de potasio.

Cuadro 6. Producción de biomasa fresca y seca de la parte aérea en los diferente tratamientos en el cultivo de maíz en un sistema hidropónico.

TRATAMIENTO	BIOMASA PARTE AÉREA	
	FRESCA	SECA
	g planta ⁻¹	
S/Nitrógeno	57.37b	12.19a
S/Fósforo	169.92a	16.71a
S/Potasio	103.04a	3.27a
S/Calcio	108.86a	8.16a
S/Magnesio	128.14a	15.04a
S/Azufre	165.54a	14.53a
Testigo (solución completa)	193.54a	15.92a

Letras diferentes representa diferencia significativa. Tukey DSH a $p \leq 0.05$.

La producción de biomasa fresca de la parte aérea en la planta en los tratamientos sin suministro de nitrógeno (S/Nitrógeno) como se observo es muy baja en comparación con el testigo, ya que éste cuadruplica su producción de biomasa con una diferencia de 141.17 g planta⁻¹ entre estos dos tratamientos (Cuadro 6). Estos valores muestran una diferencia significativa, lo que se confirma en la prueba de comparación de medias de Tukey.

Con este resultado se comprueba que el efecto de la carencia de nitrógeno en el desarrollo de la planta y en su producción de biomasa afecta la función de síntesis de macromoléculas como las proteínas y carbohidratos entre otros. La variación en el suministro del nitrógeno afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas (Girardin *et al.*, 1987; Muchow, 1988; Muchow y Davis, 1988; McCullough *et al.*, 1994). El desarrollo vegetativo y los estados fenológicos reproductivos pueden ser retrasados por la deficiencia de Nitrógeno. Muchow (1988) reporta que la falta de

nitrógeno reduce la expansión de las hojas superiores, la velocidad de emergencia de las hojas, mientras que McCullough *et al.*, (1994) señalan al nitrógeno como fundamental y que el gran efecto de la deficiencia del nitrógeno es la depresión en la velocidad de emergencia de las hojas.

Con respecto a la biomasa seca de la parte aérea, en el tratamiento S/Nitrógeno la producción es baja (12.19 g planta⁻¹) en comparación con el testigo en el cual la biomasa seca de la parte aérea que se produjo fue de 15.92 g planta⁻¹ (cuadro 6). Con esta información se encontró que el tratamiento S/Nitrógeno, presentó un 76.72 % de humedad al momento de la cosecha mientras que en el testigo fue de 91.77%. Esto es relacionado con la succulencia y además los iones nitratos influyen en la regulación osmótica.

Ante la carencia de fósforo (S/Fósforo) la producción de biomasa fresca de la parte aérea fue de 169.92 g planta⁻¹ (cuadro 6), aproximadamente 23 g menos en comparación al testigo (193.54 g planta⁻¹). Aunque no hay diferencia significativa (ANEXO, Cuadro 1C), entre estos tratamientos, la variación existente entre ellos puede ser atribuida a una menor área foliar y una reducción en la fotosíntesis como consecuencia de esa menor área foliar en el tratamiento S/Fósforo. Resultados semejantes a estos fueron reportado para plantas de trigo por Rodríguez, *et al.*, (1998) en plantas de trigo y por Plénet *et al.*, (2000) en maíz; ambos citados en Plénet *et al.*, (2000).

Con respecto a la biomasa seca de la parte aérea, en el tratamiento S/Fósforo, la producción fue de 16.71 g planta⁻¹ muy similar al testigo que produjo 15.92 g planta⁻¹ (cuadro 6). En el tratamiento S/Fósforo se encontró un 90.16% de humedad en tanto que el testigo fue de 91.77%. Dada la pequeña diferencia encontrada en el tratamiento sin suministro de fósforo al tratamiento testigo, se puede señalar que esto se debió a la eficiencia de este elemento que se ha concentrado para el maíz V-23.

En el tratamiento sin suministro de potasio (S/Potasio), la producción de biomasa fresca de la parte aérea fue de 103.04 g planta⁻¹ (cuadro 6), aproximadamente 90.5 g menos, en comparación con el tratamiento testigo (193.54 g planta⁻¹), a pesar de la gran diferencia es fuerte entre estos dos tratamiento no presentaron diferencia estadística significativa (ANEXO, Cuadro 1C). Debido a que en el tratamiento testigo se produjo casi el doble de biomasa aérea, estos resultados

muestran un efecto directo del potasio en la producción de biomasa ya que en su ausencia, algunas de las funciones que desempeña este nutriente no pueden llevarse a cabo.

Con respecto a la producción de biomasa seca de la parte aérea en el tratamiento S/Potasio fue de 8.27 g planta⁻¹ (cuadro 6) en comparación con el tratamiento testigo (15.92 g planta⁻¹) presento una diferencia de 7.62 g. Según Huterwal 1989, cuando las plantas se desarrollan con escasez de potasio, producen menos materia seca, ya que normalmente se encuentra gran concentración de potasio en las yemas de crecimiento y el déficit de este elemento hace precaria la división de las células, con el resultado obtenido para el tratamiento S/Potasio concuerda con esta explicación. En este tratamiento S/Potasio se encontró un 91.97% de humedad, que en comparación con el testigo la pérdida de humedad fue similar, lo cual muestra que la aportación de potasio en la producción de biomasa es muy importante pues como se mencionó interviene en no meos de 40 procesos enzimáticos relacionados con la síntesis de proteínas, respiración, fotosíntesis y menor influencia en osmoregulación.

La producción de biomasa fresca aérea en el tratamiento carente de calcio (S/Calcio) fue de 108.8 g planta⁻¹ (cuadro 6), aproximadamente 85 g menos en comparación con el tratamiento testigo (193.54 g planta⁻¹), a pesar de la diferencia entre los pesos del tratamiento S/Calcio y el testigo es baja estos valores mostraron que no hay diferencia significativa. Con los valores obtenidos se de muestra que el efecto de la carencia de calcio, en la solución nutritiva, afecta algunas de las funciones que desempeña dicho nutriente, como es el crecimiento celular, la rigidez de la planta, inducir la división celular.

Con respecto a la producción de biomasa seca de la parte aérea en el tratamiento S/Calcio fue de 8.16 g planta⁻¹ (cuadro 6) que en comparación el tratamiento testigo que produjo 15.92 g planta⁻¹, dando una diferencia de producción entre estos dos tratamientos de 7g, aunque la diferencia en peso es mínima entre tratamientos no mostraron diferencia significativa.

Respecto al tratamiento sin suministro de magnesio (S/Magnesio), la producción de biomasa fresca de la parte aérea fue de 128.14 g planta⁻¹ (cuadro 6), aproximadamente 65.4 g menos en comparación con el testigo (193.54 g planta⁻¹), aunque la diferencia es alta entre los pesos

obtenidos para los tratamientos los valores mostraron que no hay diferencia significativa, pero esto muestra que la carencia de magnesio en el crecimiento del cultivo de maíz puede ocasionar disminución en la producción de biomasa además de afectarse las funciones relacionadas con la producción de biomasa como la síntesis de proteínas ya que el magnesio es el segundo elemento importante para que se lleve a cabo este procesos (Bellapart, 1988)

Con respecto a la producción de biomasa seca de la parte aérea en el tratamiento S/Magnesio fue de 15.04 g planta⁻¹ (cuadro 6), en comparación con el testigo (15.92 g planta⁻¹) dando una diferencia entre estos dos tratamientos de 0.88 g mostrando con estos valores que no hay diferencia significativa.

La producción de biomasa fresca de la parte aérea en el tratamiento carente de azufre (S/Azufre) fue de 165.08 g planta⁻¹ (cuadro 6), aproximadamente 30 g menos, en comparación con el testigo (193.54 g planta⁻¹).

A pesar de que la diferencia entre estos dos tratamientos es grande los pesos obtenidos no mostraron diferencia significativa. Según Tisdale y Nelson (1991) y Bellapart (1988), mencionan que este nutrimento es indispensable para la síntesis de proteínas y al estar ausente se ve afectada negativamente el crecimiento que aunque la diferencia entre el tratamiento S/Azufre y el testigo no es muy amplia, se observó una reducción de biomasa en el tratamiento S/Azufre.

Con respecto a la biomasa seca de la parte aérea la producción en el tratamiento S/Azufre fue de 14.53 g planta⁻¹, que en comparación con el testigo que produjo 15.92 g planta⁻¹, fue ligeramente menor obteniendo una diferencia mínima del 1.39 sin diferencia significativa entre tratamientos. La escasa diferencia mostrada entre los tratamientos propuestos respecto al testigo señalan que el suministro inicial pudo enmascarar algunos de los síntomas de deficiencia esperados, en particular la biomasa.

EFFECTO DE LA CARENCIA DE UN ELEMENTO ESENCIAL EN LA ACUMULACIÓN DE LOS ELEMENTOS EN ESTUDIO

TRATAMIENTO S/NITRÓGENO

En la figura 6 se muestra el efecto del tratamiento carente de nitrógeno (S/Nitrógeno) con respecto a la acumulación de los elementos en estudio se muestra en la figura 6. En este trabajo la acumulación de nitrógeno fue de 585.12 mg de N tratamiento⁻¹ aproximadamente 415 mg menos, en comparación con el tratamiento testigo ya que este acumuló 997.3 mg de N tratamiento⁻¹, lo cual se sustenta en la aplicación de este elemento en la solución nutritiva.

La acumulación de fósforo en el tratamiento S/Nitrógeno fue de 113.58 mg de P tratamiento⁻¹, 8.49 mg menos en comparación con el testigo el cual acumuló 22.07 mg de P tratamiento⁻¹, se sabe que la adición de nitrógeno favorecen una mayor absorción de fósforo lo cual explica este resultado, el cual muestra que la carencia de nitrógeno provocó una acumulación menor de fósforo.

Respecto a la acumulación de potasio en el tratamiento S/Nitrógeno esta fue de 2980.532 mg de K tratamiento⁻¹, aproximadamente 656.64 mg más en comparación con el testigo el cual acumuló 2323.89 mg de K tratamiento⁻¹, lo que muestra que la carencia de Nitrógeno, favorece la asimilación de potasio.

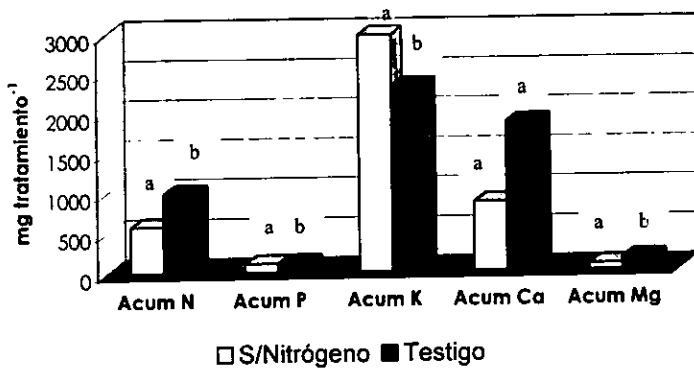


Figura 6. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de nitrógeno. Entre variables, letras diferentes presentan diferencia significativa $p \leq 0.05$.

Con respecto a la acumulación de magnesio en el tratamiento S/Nitrógeno esta fue de 79.27 mg de Mg tratamiento⁻¹. En comparación con el testigo la acumulación (157.52 mg de Mg tratamiento⁻¹) duplica el valor con el tratamiento aplicado. El ANOVA realizado a estos datos mostró que en esta comparación si hubo diferencia significativa (ANEXO, cuadro 1C).

La acumulación de calcio en el tratamiento S/Nitrógeno fue de 862.16 mg de Ca tratamiento⁻¹ en comparación con el tratamiento testigo este duplica su acumulación (1871.18 mg de Ca tratamiento⁻¹), aunque este valor obtenido es grande no muestra diferencia significativa.

TRATAMIENTO S/FÓSFORO

En la figura 7 se presenta la repuesta del maíz a la incorporación de los nutrimentos cuando no se adiciona fósforo, se encontró que en el tratamiento sin suministro de fósforo (S/Fósforo), la acumulación de nitrógeno y potasio es aproximadamente 600 mg tratamiento⁻¹ más, en comparación con el testigo (997.33 mg de N tratamiento⁻¹ y 2323.89 mg de K tratamiento⁻¹). A diferencia de el tratamiento S/Nitrógeno en el cual disminuye la acumulación de fósforo, en este tratamiento sin fósforo, en el cual se esperaba disminución de la acumulación de nitrógeno, esta fue mayor.

La acumulación de fósforo en el tratamiento S/Fósforo fue de 49.53 mg P tratamiento⁻¹, aproximadamente 70 mg menos en comparación con el testigo el cual acumuló 122.07 mg de P tratamiento⁻¹.

La acumulación de magnesio en el tratamiento S/Fósforo fue de 132.23 mg de Mg tratamiento⁻¹, aproximadamente 25.30 mg menos en comparación con el testigo el cual acumuló 157.52 mg Mg. A los valores obtenidos se les efectuó un Análisis de Varianza el cual mostro una diferencia significativa (ANEXO, cuadro 1C).

La acumulación de calcio en el tratamiento S/Fósforo acumuló 2443.92 mg de Ca tratamiento⁻¹, en comparación con el testigo el cual acumuló 1871.18 mg Ca, este valor no mostro diferencia significativa.

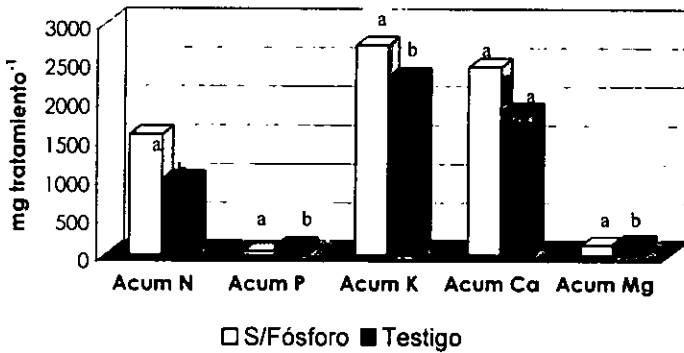


Figura 7. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de Fósforo. Entre variables, letras diferentes presentan diferencia significativa $p \leq 0.05$.

TRATAMIENTO S/POTASIO

En la figura 8 se muestra el efecto de la carencia de potasio en la acumulación de los nutrientes en estudio. La acumulación de nitrógeno en el tratamiento carente de potasio (S/Potasio) fue de 1031.30 mg de N tratamiento⁻¹, aproximadamente 30 mg más en comparación con el tratamiento testigo el cual acumuló 997.33 mg de N tratamiento⁻¹. Estos valores obtenidos demuestran que la carencia de potasio aumenta la absorción de nitrógeno. El ANOVA realizado a estos valores mostro que si hay diferencia significativa.

Con respecto a la acumulación de fósforo en el tratamiento S/Potasio fue de 105.70, aproximadamente 17 mg de P tratamiento⁻¹ menos en comparación con el testigo el cual acumuló 122.07 mg de P tratamiento⁻¹. La carencia de potasio disminuyó la absorción de fósforo, esto es

lo contrario a lo que sucede cuando hay carencia de fósforo, el potasio presenta una mayor absorción.

La acumulación de potasio es mayor en el tratamiento testigo (2323.89 mg de K tratamiento⁻¹) en comparación con el tratamiento S/Potasio el cual acumuló 472.81 mg de K tratamiento⁻¹, aproximadamente 1800 mg menos que el testigo, mostrando que la deficiencia de potasio en las plantas tiene un efecto directo en la acumulación de dicho elemento esencial.

Respecto a la acumulación del magnesio en el tratamiento S/Potasio fue de 221.81 mg de Mg tratamiento⁻¹, aproximadamente 60 mg más en comparación con el testigo el cual acumuló 152.52 mg de Mg tratamiento⁻¹. Por lo cual los valores obtenidos de acumulación mostraron diferencia significativa. El valor obtenido en el tratamiento S/Potasio, muestra que cuando no hay suministro de potasio, da como consecuencia una mayor acumulación de magnesio.

La acumulación de calcio en el tratamiento testigo es de aproximadamente 61 miligramos más que en el tratamiento S/potasio en el cual se acumuló 1810.52mg Ca tratamiento⁻¹, estos valores mostraron que no hay diferencia significativa en Analisis de Varianza realizado (ANEXO, cuadro 1C).

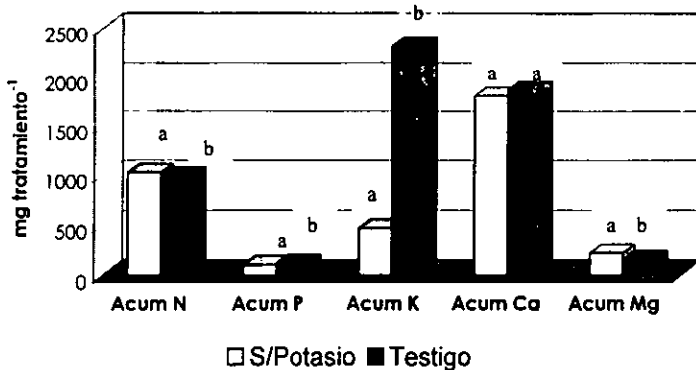


Figura 8. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de Potasio. Entre variables, letras diferentes presentan diferencia significativa $p \leq 0.05$.

TRATAMIENTO S/CALCIO

El efecto de la carencia de Ca en la acumulación de nutrientes se muestra en la figura 9, puede observarse que la carencia de calcio (S/Calcio), en la acumulación de nitrógeno fue de 1649.51 mg de N tratamiento⁻¹, aproximadamente 650 mg más en comparación con el tratamiento testigo el cual acumuló 997.33 mg de N tratamiento⁻¹. Esto muestra que la carencia de calcio, en el desarrollo de la planta provocó una mayor asimilación de nitrógeno. Con los valores obtenidos, se realizó un ANOVA, el cual mostró que si hay diferencia significativa (ANEXO, cuadro 1C).

Con respecto a la acumulación de fósforo en el tratamiento S/Calcio fue de 243.69 mg tratamiento⁻¹, aproximadamente 121 mg más en comparación con el testigo (122.07 mg P tratamiento⁻¹). La acumulación de potasio y magnesio en el tratamiento S/Calcio fueron de 5092.25 mg de K tratamiento⁻¹ y 310.58 mg de Mg tratamiento⁻¹ respectivamente, casi el doble en comparación con el testigo. En general se puede decir que la carencia de Calcio estimuló la absorción de los nutrientes P, K, y Mg. Conforme a los valores obtenidos estos mostraron diferencia significativa.

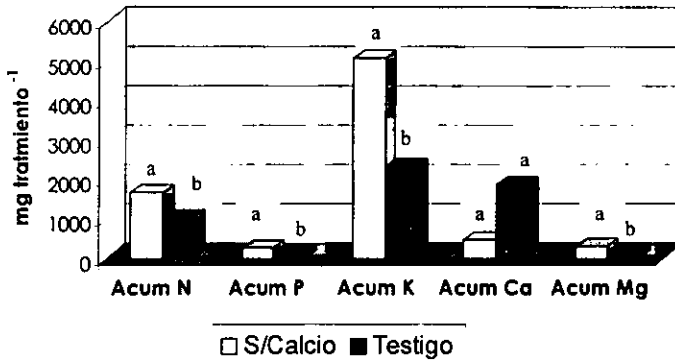


Figura 9. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de Calcio. Entre variables, letras diferentes presentan diferencia significativa $p \leq 0.05$.

Con respecto a la acumulación de calcio el tratamiento testigo acumula aproximadamente 1200 miligramos más que en tratamiento S/Calcio en el cual se acumuló 448.71 mg de Ca tratamiento⁻¹, este valor comprueba que la carencia de calcio fue mínima, mostrándose también que con este valor no hay diferencia significativa.

TRATAMIENTO S/MAGNESIO

En la figura 10 se muestra el efecto de la carencia de magnesio en la acumulación de los nutrimentos en estudio. En el tratamiento carente de magnesio (S/Magnesio), la acumulación de nitrógeno fue de 1210.52 mg de N tratamiento⁻¹, aproximadamente 213 mg más en comparación con el testigo el cual acumuló 997.33 mg de N tratamiento⁻¹. La acumulación de fósforo en el tratamiento S/Magnesio fue de 144.50 mg de P tratamiento⁻¹, aproximadamente 22 mg más en comparación con el testigo (122.07 mg de P tratamiento⁻¹).

La acumulación de potasio es mayor en el tratamiento S/Magnesio ya que este acumuló cerca de 2000 mg de K tratamiento⁻¹, más en comparación con el testigo el cual acumuló 4253.44 mg de K tratamiento⁻¹. La acumulación de magnesio en tratamiento S/Magnesio, fue de 93.99mg de Mg tratamiento⁻¹, aproximadamente 60 mg menos en comparación con el testigo el cual acumuló 157.52 mg de Mg tratamiento⁻¹. Debido a los valores obtenidos y al Análisis de Varianza, se mostro que presentan diferencia significativa (ANEXO, cuadro 1C).

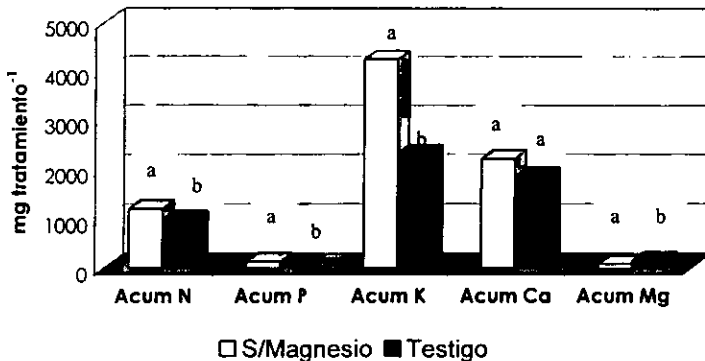


Figura 10. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de Magnesio. Entre variables, letras diferentes presentan diferencia significativa $p \leq 0.05$.

Con respecto a la acumulación de calcio en el tratamiento S/Magnesio fue de 2212.04 mg de Ca tratamiento⁻¹, aproximadamente 340 mg más que en el tratamiento testigo, estos valores no muestran diferencia significativa.

TRATAMIENTO S/AZUFRE

El efecto de la carencia del azufre en la acumulación de los nutrimentos en estudio se presenta en la figura 11. La acumulación de nitrógeno en el tratamiento testigo fue de 997.33 mg de N tratamiento⁻¹, aproximadamente 133 mg más, en comparación con el tratamiento S/Azufre el cual acumuló 864.32 mg de N tratamiento⁻¹, de igual manera en la acumulación de fósforo es mayor (122.07 mg de P tratamiento⁻¹), en el tratamiento testigo ya que acumuló 14.66 mg más que en el tratamiento S/Azufre. Esto sugiere que el azufre juega un papel importante en la absorción de estos nutrimentos.

La acumulación de potasio en el tratamiento S/Azufre fue de 2504.57 mg de K tratamiento⁻¹, cerca de 180 mg más en comparación con el testigo ya que éste acumuló 2323.89 mg de K tratamiento⁻¹ y en la acumulación de magnesio es mayor (174.90 mg de Mg tratamiento⁻¹), en el tratamiento S/Azufre en comparación con el testigo el cual acumuló 157.52 mg de Mg tratamiento⁻¹, con los valores obtenidos se observó una acumulación de los elementos K y Mg. El análisis estadístico mostró una diferencia estadística significativa para estos nutrimentos (ANEXO, cuadro 1C).

Con respecto a la acumulación de calcio en el tratamiento S/Azufre es mayor (2821.77 mg de Ca tratamiento⁻¹), ya que acumula 950 mg más, en comparación con el tratamiento testigo, mostrando este valor que no hay diferencia significativa.

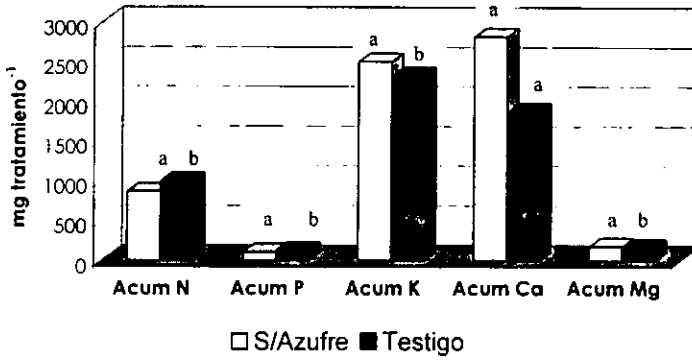


Figura 11. Acumulación de los elementos en estudio ante la carencia de Azufre. Entre variables, letras diferentes presentan diferencia significativa $p \leq 0.05$.

ESTADO NUTRIMENTAL DEL MAÍZ ANTE LA CARENCIA DE UN ELEMENTO ESENCIAL

El análisis vegetal se puede realizar para ratificar una diagnosis de síntomas visuales, a través del conocimiento de síntomas y secuencias sintomatológicas que presentan los vegetales utilizando los diferentes elementos de diagnóstico como: la movilidad de los nutrimentos, las variaciones en forma, color, hábito y estado general de la planta tomando en cuenta los factores del suelo, clima, manejo de incidencia de plagas y enfermedades. Así, es factible establecer un proceso de cultivo para llegar a ratificar o rectificar la sintomatología de la planta y que puede ser atribuida a la carencia o exceso de algún nutrimento en particular. Esto es fundamentalmente válido para aquellos nutrimentos en los cuales su deficiencia conduce a la generación de síntomas típicos. La presencia de un síntoma visual como índice de deficiencia muestra que en el tejido vegetal, la concentración de uno o varios nutrimentos se han abatido en tal magnitud que un gran número de procesos metabólicos ahora en desorden, propician la aparición de dichos síntomas.

En numerosas áreas de cultivo, las plantas aparentemente presenta un desarrollo normal al no mostrar ninguna anomalía visual, no obstante, sus rendimientos son bajos y la calidad deficiente, indicadores ambos de que podría existir una deficiencia latente, lo cual solamente es identificable a través del análisis vegetal.

Cuadro 7. Porcentajes de los nutrimentos en el tejido vegetal de maíz cultivado bajo condiciones hidropónicas con carencia de algún nutrimento según indica, el material vegetal fue colectado a los 80 días (ver cuadro 3).

TRATAMIENTO	N	P	K	Ca	Mg
	%				
S/Nitrógeno	2.25d	0.41a	2.13s	0.33s	0.26s
S/Fósforo	3.40s	0.13d	1.98s	0.55a	0.28s
S/Potasio	4.43t	0.45a	1.58b	0.65a	0.68t
S/Calcio	3.81a	0.56t	2.48a	0.29s	0.60t
S/Magnesio	3.28s	0.14d	2.45a	0.53a	0.25s
S/Azufre	2.29d	0.32s	2.18s	0.55a	0.50a
TESTIGO	2.60b	0.38s	2.38a	0.51a	0.46a

d= deficiente, b= bajo, s= suficiente, a= alto y t= tóxico

NITRÓGENO

El nitrógeno ocupa una posición excepcional como elemento esencial para el crecimiento de las plantas, ya que en la planta cumple con una función estructural y fisiológica al formar parte de todas las proteínas en el organismo. El nitrógeno como nutrimento en los seres vivos, esta involucrado en diversos procesos de los cuales los más importantes son: fuentes fisiológicas y la síntesis de proteínas, en compartimentos celulares de la demanda fisiológica del nutrimento; las fuentes fisiológicas son esenciales en los tejidos celulares y orgánelos, cuando este esta en deficiencia en la planta algunos procesos disminuyen o interrumpen el desarrollo de la planta (Miflin y Lea , 1977, citado por Cruz, 1999).

El estado nutrimental del nitrógeno cuando está carente en el cultivo de maíz en un sistema hidropónico resulto ser **deficiente** con un porcentaje de 2.25 (cuadro 7). Según Jones (1969) citado por Martin-Prevel *et al.*, (1984) el estado óptimo del nitrógeno para el cultivo de maíz esta entre el intervalo de 2.76-3.50% y se le considera como deficiente con valores menores a 2.45%. Para Etchevers *et al.*, (1985), según sus intervalos el porcentaje de nitrógeno obtenido se consideró como **bajo**, ya que se encuentra entre el intervalo 1.80-2.60 %.

La deficiencia de nitrógeno en el cultivo de maíz trae como consecuencia la presencia de amarillamiento del total de la hoja, además de un efecto en el tamaño de la planta como son la síntesis de compuestos (Martin *et al.*, 1984).

Los síntomas de deficiencia suelen aparecer con cierta rapidez, ya que las plantas apenas almacenan en sus tejidos reservas de nitrógeno utilizable, las proteínas del cloroplasto son las primeras afectadas por lo que la falta de nitrógeno se manifiesta por el amarillamiento de la hoja (Llanos, 1984). En la figura 12 se presenta el síntoma de clorosis en las hojas, el cual se observo en las primeras semanas del desarrollo de la planta de maíz.

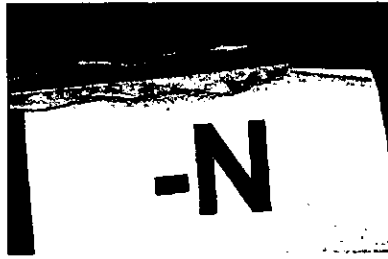


Figura 12. Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Nitrógeno.

La absorción de los demás nutrimentos en estudio no estuvo afectada por la carencia de nitrógeno ya que sus porcentajes son considerados como suficientes, con excepción del fósforo que está en un estado nutrimental alto.

FÓSFORO

El fósforo es considerado como elemento esencial para el crecimiento de las plantas y ningún otro elemento puede sustituirlo, ya que forma parte de procesos fisiológicos de la planta como es la respiración, la fotosíntesis, el almacenamiento y transporte de energía entre otros procesos. Además que el suministro de fósforo influye en el crecimiento de la raíz y formación de pelos radiculares y la producción de exudados radicuales (Gahonia y Nielsen, 1996).

El estado nutrimental del cultivo de maíz carente de fósforo resultó ser deficiente ya que presenta un porcentaje de 0.13 (cuadro 7), el cual para Jones, (1969) citado por Martin-Prevel *et al.*, (1984) los valores menores a 0.15% de fósforo es considerado como deficiente. Para Etchevers *et al.*, (1985) está en estado nutrimental del tratamiento carente S/Fósforo resultó ser bajo ya que el valor obtenido se encuentra en el intervalo de 0.11-0.25%.

La deficiencia de fósforo en las primeras etapas del crecimiento vegetativo provocó un menor desarrollo y vigor de la planta. El color de las hojas que carecen de fósforo se tornan verde oscuro y se observa un ligero moteado en las hojas más viejas, las partes nuevas pueden parecer largas y débiles (Snowball y Robson, 1991). En la figura 13 se muestra el síntoma de deficiencia del tratamiento carente de fósforo en las hojas maduras de maíz, en este estudio el síntoma que caracterizó la carencia de fósforo fue la presencia de color café como quemado en el margen de la hoja de maíz.

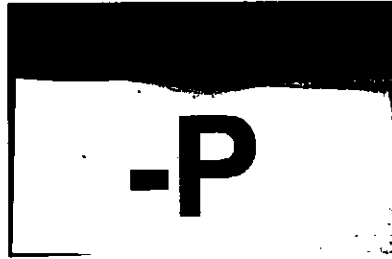


Figura 13. Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Fósforo.

La carencia de fósforo no afectó la absorción de los demás nutrientes en estudio ya que todos se encuentran en un estado nutricional suficiente para la planta de maíz, excepto el calcio que resultó ser alto.

POTASIO

El potasio, junto con el fósforo y nitrógeno, son los más requeridos por las necesidades de las plantas (Marschner, 1995). Aunque el potasio no forma parte constituyente de algún compuesto orgánico, este elemento está omnipotente en la planta y es muy móvil. Su gran movilidad y su presencia en la actuación de importantes reacciones enzimáticas son sus características fundamentales. Además el potasio juega un papel fundamental en la catálisis enzimática (Suelter,

1985), en el metabolismo de las proteínas (Blevins, 1985), en la fotosíntesis (Huber, 1985), características estructurales (Beringer y Nothduft, 1985), asimilación y transporte (Mengel, 1985) entre otras funciones.

El estado nutrimental ante la carencia de potasio resulto ser **bajo** ya que presenta un porcentaje de 1.58 de potasio (Cuadro 7), según Jones (1969), citado por Martin-Prevel *et al.*, (1984) los porcentajes de potasio entre 1.26-1.70% son considerados como bajos. Para Etchevers *et al.*, (1985) el porcentaje de potasio ante la carencia del mismo resulto ser **bajo** ya que se encuentra en el intervalo 0.11-0.27%.

Los porcentajes bajos de potasio trae como consecuencia la presencia de síntomas como pequeños puntos de tejidos muertos, normalmente en los vértices y entre las nervaduras, de forma más pronunciada en los márgenes de las hojas y tallos (Resh, 1992). Además que se observo la reducción del tamaño y el adelgazamiento de los tallos en comparación con el testigo (sin deficiencia de ningún elemento esencial). En la figura 14 se muestra el síntoma de deficiencia de potasio en la hoja de maíz, el cual muestra quemadura en el margen de la hoja.



Figura 14. Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Potasio.

La carencia de potasio en la absorción de los demás nutrimentos en estudio afecto de la siguiente manera, fósforo y calcio se encuentran en un estado nutrimental alto, pero no mostrando síntomas de toxicidad, El nitrógeno y magnesio se encuentran en un estado nutricional tóxico, dando paso a la presencia de síntomas de toxicidad por parte del nitrógeno como es el color obscuro en las hojas de maíz.

El potasio y el nitrógeno presentan una cierta relación en la cual la cantidad de nitrógeno soluble incrementa con la deficiencia de potasio, provocando que la síntesis de proteínas disminuya con la deficiencia de potasio y se aumentara el porcentaje de nitrógeno en la planta de maíz, la materia seca incrementa exponencialmente (Osaki, *et al.* 1995).

CALCIO

Mucho del calcio en las plantas presenta reacciones intermoleculares en paredes y membranas celulares, y contribuye a la estabilidad estructural y cambios de célula a célula de varios metabolitos (Rending y Taylor, 1989). Algunas de las reacciones del calcio con varios otros componentes celulares conduce a formar sales insolubles. Así, bajo algunas condiciones, una fracción significativa del total de calcio en vacuolas y orgánulos debe ser posible, estar presentes en precipitados de ácidos orgánicos, particularmente de oxalatos y de fosfatos (Marschner, 1995).

El estado nutrimental del calcio en el cultivo de maíz cuando éste se encuentra carente resulta ser suficiente con un porcentaje de 0.29 (cuadro 7). Ya que según Jones (1969) citado por Martín-Prevel *et al.*, (1984) el estado óptimo del calcio para el cultivo de maíz son los valores que se encuentran en el intervalo 0.21-0.5, tomando en cuenta que el calcio no se encuentra ausente en su totalidad ya que el agua con la cual se realizó la preparación de las soluciones nutritivas presenta una concentración de dicho elemento y para Etchervers *et al.*, 1985, el porcentaje obtenido, es considerado en estado nutrimental bajo ya que se encuentra el intervalo 0.20-0.40 % y los valores que caen en este intervalo son considerados bajos.

El porcentaje bajo de calcio da como consecuencia la presencia de síntomas, el cual se presenta en la figura 15, como son la presencia de clorosis entre nervaduras, además de la dificultad de las hojas jóvenes para abrir dando una apariencia como si estuviesen enrolladas.

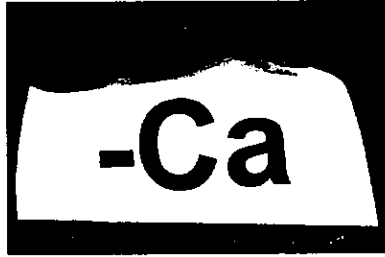


Figura 15. Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Calcio.

La absorción de los demás elementos en estudio no se ve afectados, ya que el fósforo y magnesio se encontró en un estado nutricional tóxico y nitrógeno y potasio en un nivel alto. Lo cual muestra que se presentó un absorción en exceso de los elementos en estudio.

MAGNESIO

El magnesio es un elemento mineral activo para llevar acabo muchas funciones fundamentales. El magnesio es parte constituyente de la molécula de clorofila es un frecuente activador enzimático en el metabolismo de carbohidratos. En suplemento, el magnesio esta involucrado en varias funciones incluida la síntesis de proteínas (Taylor, 1983).

El estado nutricional de las plantas de maíz carentes en magnesio se encontrarán suficiente, ya que presenta un porcentaje de 0.25 de magnesio (cuadro 7). Según Jones (1969) citado por Martin-Prevel *et al.*, (1984) el porcentaje de potasio se encuentra en el intervalo de 0.21-0.40% se consideran como un estado nutricional suficiente para la planta, pero el valor obtenido se

encuentra en el extremo mínimo, lo que da origen a la presencia de síntomas característicos de la deficiencia de magnesio como es el moteado de las hojas o cloróticas, con un tono típicamente rojizo, a veces con puntos secos, vértices o márgenes amuecados o doblados hacia abajo (Resh, 1992), en la figura 16 se observa la aparición de los síntomas se presentan a lo largo de las nervaduras, además que el crecimiento se ve afectado en comparación con el testigo (sin deficiencia de ningún elemento esencial). Se ha comparado que la carencia de magnesio produce una alteración en la estructura de los cloroplastos que precede a la aparición de síntomas visibles (Domínguez, 1989).

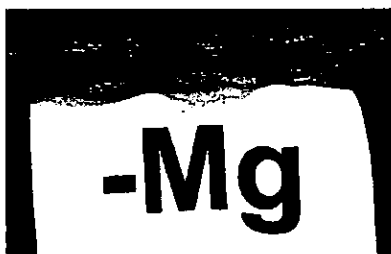


Figura 16. Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Magnesio.

La carencia de magnesio en la absorción de los nutrimentos potasio y calcio no se ve afectada, estando estos en un estado nutrimental alto pero no tóxico, con excepción del fósforo el cual se encuentra en un estado nutrimental deficiente, y el nitrógeno se encontró suficiente. Considerando esto se puede decir que la presencia de síntomas en la planta del maíz se debe principalmente a la carencia de un elemento esencial, el magnesio.

AZUFRE

El azufre es similar al nitrógeno en algunas funciones, en el metabolismo de las proteínas, pero estas son también diferentes (Rending y Taylor, 1988), además que también tienen lugar en una amplia variedad de componentes en la planta, pero para muchos de ellos en general son funciones fisiológicas, pero no están claramente definidas (Thompson *et al.*, 1986).

El estado nutrimental de las plantas carentes de azufre, ha sido determinado mediante la presencia de síntomas como es la presencia del color verde claro entre las nervaduras, así como se muestra en la figura 17, casi transparente, por lo cual se puede determinar a este tratamiento es un estado nutrimental **deficiente**, esto relacionado con la deficiencia de nitrógeno ya que presencia un porcentaje de 2.29, el cual para Jones (1969) citado por Martin *et al.*, (1984) es considerado en un estado **deficiente**, además que Janiek *et al.*, 1981 menciona que los síntomas de deficiencia de azufre son algunas similares a los que se presentan ante la carencia de nitrógeno, las plantas deficientes de azufre tienden a ser verdes, además aunque no es parte esencial de la molécula de clorofila es necesaria para su síntesis.

La carencia de azufre solo afecto a la absorción de nitrógeno el cual se encontró **deficiente**, ya que el fósforo y el potasio esta un estado **suficiente** , calcio y magnesio están en un estado **alto** pero no tóxico para la planta de maíz.



Figura 17. Síntoma presente en la hoja de maíz en las primeras semanas de desarrollo en el tratamiento carente de Azufre.

EFFECTO DE LA CARENCIA DE UN ELEMENTO ESENCIAL EN EL CONTENIDO DE CLOROFILA

NITRÓGENO

El efecto de la carencia de nitrógeno en el contenido de clorofila es muy evidente ya que se obtuvieron valores bajos en este tratamiento en comparación con el testigo (figura 18). Las lecturas de SPAD ante la carencia de nitrógeno se encuentra en un intervalo de 25.6–28.26 unidades SPAD y el testigo que sirvió como referencia con un intervalo de 29.16 – 37.85 unidades SPAD. Esto se debe a que el nitrógeno es el elemento que confiere el color verde y que es un constituyente del anillo tetra pirrólico de la clorofila que contienen cuatro átomos de nitrógeno (Bellapart, 1988).

La primera lectura de clorofila (unidades SPAD) fue realizada a los 44 días de edad, justo en el momento de aplicación de los diferentes tratamientos y posterior al transplante y a la purga o limpieza de nuestra unidad experimental.

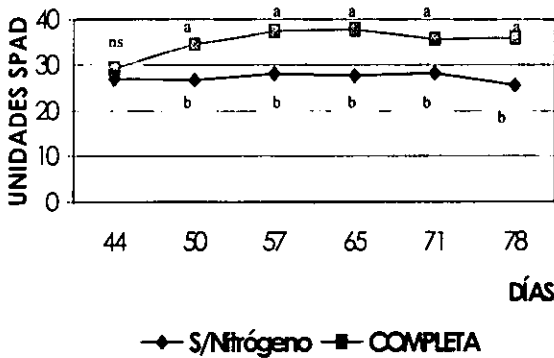


FIGURA 18. Contenido de clorofila en la planta carente de nitrógeno en comparación con el testigo. Letras diferentes entre edades muestran diferencia significativa $p \leq 0.05$.

La primera lectura de clorofila a los 44 días de edad, justo en el momento de aplicar los diferentes tratamientos y posterior a la limpieza de las unidades experimentales, en esta observación no se encontró diferencia significativa en el contenido de clorofila. Las siguientes determinaciones (unidades SPAD), se realizaron semana a semana y se observó que en las siguientes lecturas de clorofila no se presentaron diferencias significativas (ANEXO, cuadro 1B) con los lecturas obtenidas su considera que la carencia de fósforo no presentó un efecto en el contenido de clorofila.

POTASIO

La carencia de potasio en el crecimiento de las plantas no presentó un efecto en el contenido de clorofila (figura 20), en comparación con los valores obtenidos en el tratamiento testigo (sin deficiencia de ningún elemento esencial), no hay diferencia significativa, ya que lleva una secuencia similar en todo el desarrollo de la planta. La primera lectura de clorofila (unidades SPAD), fue realizada a los 44 días de edad, justo después de la limpieza de las unidades experimentales y la aplicación de los diferentes tratamientos. En esta observación los valores de clorofila no presentaron diferencia significativa.

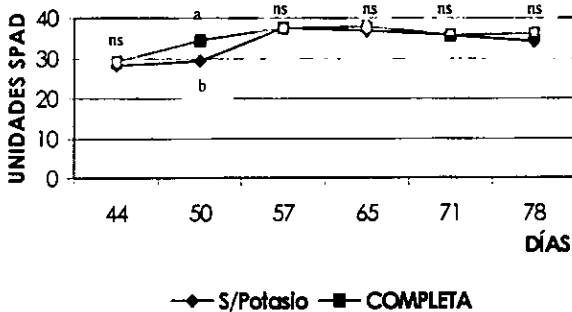


Figura 20. Contenido de clorofila en la planta carente de potasio en comparación con el testigo. Letras diferentes entre edades muestran diferencia significativa $p \leq 0.05$.

en esta primera observación de los valores de clorofila no se encontraron diferencias significativas en el contenido de clorofila puesto que aun no hay efecto del tratamiento carente de nitrógeno. Las siguientes determinaciones de clorofila (unidades SPAD), se realizaron semana a semana y se observó que a los 50 días ya se presentan diferencias significativas (ANEXO), en el contenido de clorofila.

En las siguientes lecturas de clorofila (57, 65, 71 y 78 días de edad), el contenido de clorofila es aproximadamente 10 veces mayor (Figura 17) en el tratamiento testigo (sin deficiencia de ningún elemento esencial) que en el tratamiento carente nitrógeno.

FÓSFORO

El efecto de la carencia de fósforo en el contenido de clorofila no se obtuvieron valores con mucha diferencia en comparación con los valores obtenidos para el testigo (solución nutritiva completa). Además de que estos valores llevan una secuencia similar durante todo el desarrollo de la planta (figura 19).

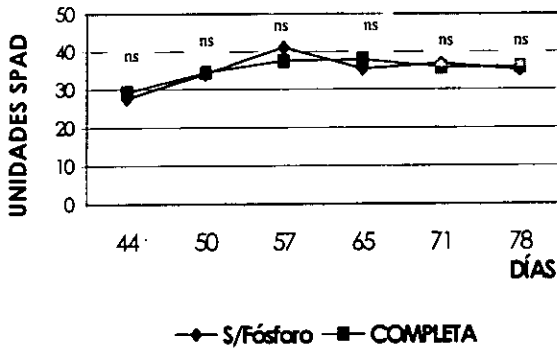


Figura 19. Contenido de clorofila en la planta carente de Fósforo en comparación con el testigo.
 Letras diferentes entre edades muestran diferencia significativa $p \leq 0.05$.

La siguiente medición se realizó a los 50 días de edad en la cual se observó diferencia significativa (Cuadro 1B ANEXO) ya que el contenido de clorofila es aproximadamente 5 veces mayor en el tratamiento testigo, que en tratamiento carente de potasio. En las siguientes lecturas de clorofila (57, 65, 71 y 78 días de edad) se observó una secuencia similar entre el tratamiento carente de potasio y el tratamiento testigo.

CALCIO

La carencia de calcio en el desarrollo de la planta, tiene un efecto menor en el contenido de clorofila ya que en comparación con el testigo (sin deficiencia de ningún elemento esencial) presentaron poca diferencia significativa en los valores obtenidos. La primera lectura de clorofila (unidades SPAD), a los 44 días de edad no muestra diferencia significativa, ya que se tomo justo en el momento de la aplicación del tratamiento carente en calcio (figura 21).

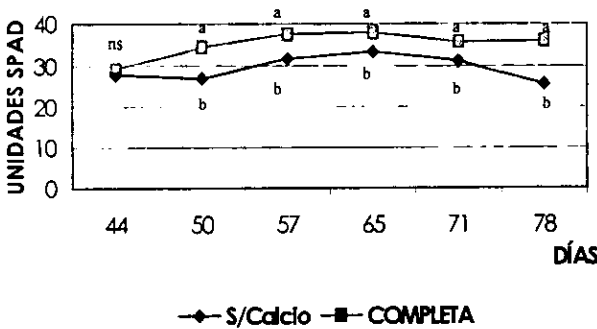


Figura 21. Contenido de clorofila en la planta carente de calcio en comparación con el testigo. Letras diferentes entre edades muestran diferencia significativa $p \leq 0.05$.

En las siguientes lecturas de clorofila (50, 57, 65, 71 y 78 días), el contenido de clorofila es aproximadamente 7 veces mayor en el tratamiento testigo (solución sin deficiencia de ningún elemento esencial) que el tratamiento carente de calcio, lo cual muestra diferencia significativa (cuadro 1B ANEXO) en el contenido de clorofila.

MAGNESIO

El efecto de la carencia de magnesio en el contenido de clorofila durante el desarrollo de la planta, en comparación con el testigo se observa una secuencia similar durante todo el desarrollo de la planta (figura 22). La determinación de clorofila (lecturas SPAD) a los 44 días de edad no muestra valores con diferencia significativa en los contenidos de clorofila. La determinación a los 50 días de edad presenta diferencia significativa (cuadro 1B, ANEXO) en el contenido de clorofila ya que es aproximadamente 4 veces mayor en el tratamiento testigo (sin carencia de ningún elemento esencial) que en carencia de magnesio.

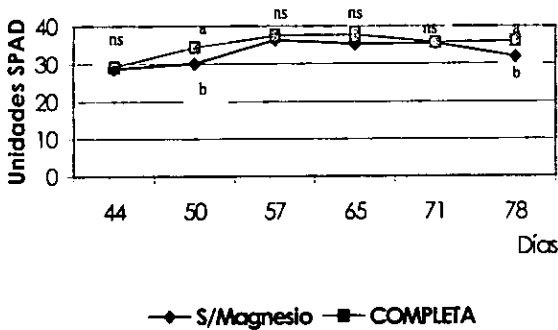


Figura 22. Contenido de clorofila en la planta carente de magnesio en comparación con el testigo.
 Letras diferentes entre edades muestran diferencia significativa $p \leq 0.05$.

En las siguientes lecturas de clorofila (57, 65 y 71 días) se observó una secuencia similar entre los dos tratamientos. La última determinación a los 78 días de edad se presenta una diferencia significativa ya que el contenido de clorofila es aproximadamente 5 veces mayor en el tratamiento testigo que en el carente de magnesio.

En este caso se observó que la carencia de magnesio no afectó en gran medida el contenido de clorofila en el cultivo de maíz, tomando en consideración que es el núcleo de la molécula de clorofila y es considerado un elemento esencial.

AZUFRE

En el contenido de clorofila de las plantas carentes de azufre se observa una tendencia similar con respecto al testigo (figura 23). La primera lectura de clorofila (unidades SPAD) fue realizada a los 44 días de edad, justo en el momento de la aplicación del tratamiento carente de azufre y posterior a la limpieza de las unidades experimentales. En esta observación los valores de clorofila no muestran diferencia significativa puesto que aún no hay efecto de la carencia de azufre. La siguiente determinación de clorofila se llevó a cabo a los 50 días de edad en la cual ya se observó diferencia significativa (cuadro 1B ANEXO) en el contenido de clorofila.

En las siguientes determinaciones de clorofila (57, 65, 71 y 78 días) el contenido de clorofila de la planta carente de azufre y el testigo (sin deficiencia de ningún elemento esencial) se observa una secuencia similar.

Según Huterwal 1984, menciona que si bien el azufre no es parte integral de la molécula de clorofila, la ausencia de azufre impide la formación de la molécula, es decir, que actúa por acción de presencia o catalítica.

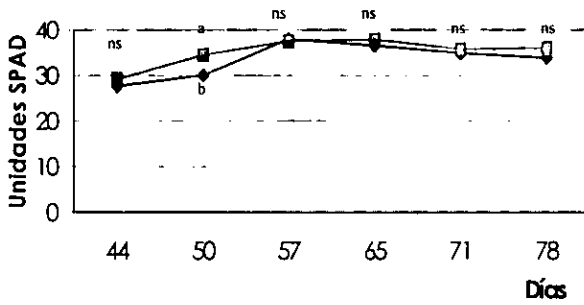


Figura 23. Contenido de clorofila en la planta carente de azufre en comparación con el testigo. Letras diferentes entre edades muestran diferencia significativa $p \leq 0.05$.

CONCLUSIONES

⊗ Para corregir el problema nutricional es esencialmente primero diagnosticar correctamente cual elemento se encuentra de manera deficiente, con ayuda de un análisis vegetal y relacionando con la presencia de síntomas.

⊗ La producción de biomasa aérea como de raíz se vio afectada por la carencia de los elementos esenciales los cuales cumplen funciones primordiales para el desarrollo de la planta. Con excepción del calcio el cual presento una producción de biomasa aérea fresca mayor, ya que no se encuentra ausente en su totalidad, ya que obtuvo con esto una producción mayor en comparación con el tratamiento testigo.

⊗ El estado nutrimental de cada uno de los tratamiento se observó que estuvo afectado por la carencia del elemento esencial ya que para los tratamientos carentes de N, P, K, Mg y S, se encontraron en un estado deficiente para la planta de maíz lo cual dió como consecuencia la presencia de síntomas. Además que en la mayoría de los tratamientos la absorción de los nutrimentos no se vió afectada por la carencia de estos.

⊗ El contenido de clorofila se observó que es afectado por la carencia de nitrógeno ya que presento diferencia significativa entre los valores obtenidos para el tratamiento S/Nitrógeno y el tratamiento testigo. Por su parte los demás tratamientos no presentaron diferencia significativa en comparación con el testigo, ya que llevan una secuencia similar durante el desarrollo de la planta, aunque hay que mencionar que el tratamiento carente de calcio presenta diferencia significativa en la segunda y tercera lectura.

⊗ Se obtuvo un cuadro donde se reporta, el contenido de N, P, K, Ca y Mg, cuando estos nutrimentos están carentes en la planta de maíz a los 80 días de desarrollo.

⊗ En el sistema hidropónico utilizado para este trabajo, se logro observar los síntomas de deficiencia de los nutrimentos estudiados en este trabajo.

SUGERENCIAS

⊗ En estudios posteriores el tejido vegetal más apropiado para realizar el análisis químico vegetal y tiempo de muestreo considero que debe de ser mensualmente, lo cual ayudara a tener valores de concentración de cada uno de los nutrimentos a diferentes etapas del cultivo

⊗ En estudios posteriores la elaboración de la solución nutritiva con respecto al tratamiento carente de calcio, debe de realizarse con agua desionizada, lo cual ayudara a obtener valores más exactos en cuanto a la concentración de calcio, y dar paso a la presencia de síntomas. Además de la soluciones de carentes de magnesio y potasio, lo cual ayudará a eliminar el error o que esté no sea mayor.

LITERATURA CITADA

- ✓ **Alcalde, B. S., B. A., Alvaro, C. Senigagliaesi y J. I. Cortez.** 1977 . "El análisis de nitratos como un estimador del estado nutricional del maíz de temporada y su utilidad en las ecuaciones empíricas generalizadas de producción". *Agrociencia*. 27:177-192.

- ✓ **Allan, J. E.** 1971. "The preparation of agriculture sample for analysis by atomic absorption spectroscopy varian". Thechtron, Walnut Creek, California.

- ✓ **Amado ,A. J. P.** 1989. "Levantamiento nutrimental del manzano (*Malus domestica*) en la sierra de Chihuahua". *Terra*. 7(2)116-124.

- ✓ **Bellapart, V. C.** 1988. *Agricultura Biológica en equilibrio con la agricultura química*. Edit. AEDOS. Barcelona, España.

- ✓ **Blevins, D. G.** 1985. Role of potassium in protein metabolism in plants. **In:** R. D. Mundon (ed.) *Potassium in Agriculture*, Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am ., Madison. W. I. pp 413-424

- ✓ **Bennet, W. T.** 1994. *Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants*. APSTIES. The American phytopathological Society. S T. Paul. Minesota.

- ✓ **Beringer, H. y F. Nothdurft.** 1985. Effects of potassium on plant and cellular structures **In:** R. D. Mundon (ed.) *Potassium in Agriculture*, Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am ., Madison. W. I. pp 413-424

-
- ✓ **Bertsch, H. F.** 1995. La fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación costarricense la ciencia del suelo. San José California.

 - ✓ **Bremmer, J. M.** 1965. Total nitrogen. In: Ca. Black (ed), Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy q. American society of agronomy. Madison, Wisconsin. pp 1149-1178

 - ✓ **Bullock, D. G. y S. Anderson.** 1998. Evaluation of minolta SAPD-502 chlorophyll meter for nitrogen in corn. *J. of Plant Nutrition.* 21(4):741-755.

 - ✓ **Chapman .** 1966. Diagnostinc criterial for plants and soil . Univ. Of California. Berkley.

 - ✓ **Cox, F. R.** 1992. Range in soil phosphorus critical leves with time. *Soil Cience Society of American Journal.* 56: 1504-1509.

 - ✓ **Cruz, F. G.** 1999. Relación suelo-nitrógeno-planta. Apuntes de seminario de investigación .Facultad de Estudios Superiores Zaragoza. UNAM. México.

 - ✓ **Cruz, F. G.** 1994. Evaluación de la absorción de fósforo por diferentes genotipos de triticale (*X Triticosecale wittmack*) y trigo (*Triticum aestivum*), en suelos con diferente capacidad de fijación de fósforo. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos , México.

 - ✓ **Dominguez, V. A.** 1989. Tratado de fertilización. Edit. Mundi-Prensa. 2da. Edición. España.

- ✓ **Douglas, J. S.** 1985. Advance guide to hydroponic soiles cultivation. Pelham Books. London.

- ✓ **Etchevers, J. D. , A. Trinidad S. , S. Guerrero M. , A. Pérez G. , D. García L. y G. Morfin R.** 1985. Levantamiento nutricional de maíz en la sierra tarasca de Michuacan. *Agrociencia*. **60**:143-154. Chapingo, México.

- ✓ **Figueroa, C. J. D. , F. Martínez B., J. González H. , F. Sánchez S. , L. Martínez M. y M. Ruiz T.** 1994 . Modernización tecnológica del proceso de nixtamización . *Avances y Perspectivas*. **13**: 323-329.

- ✓ **Foth, H. D.** 1992 Fundamentos de la ciencia del suelo. 3ra.. edición. Edit. CECSA: México.

- ✓ **Gahonia , T. S. Y E. Nielsen N.** 1996. Variation in acquisition of soil phosphorus among wheat an genotypes. *Plant and soil* . **178**:223-230.

- ✓ **García F. J y García C. R.** 1982. Edafología y fertilización agrícola . Edit. AEDOS . Barcelona , España.

- ✓ **Girardin, P., M. Tollennar, A. Deltour, y J. Muldoon.** 1987. Temporary N starvation in maize (*Zea maays* L.) effects on development, dry matter acumulation and grain yiel. *Agronomic*. **7**:289-296.

- ✓ **González, A, V.** 1995. El maíz y su Conservación. Edit. Trillas. México.

- ✓ **Hernández C. G.** 2000. Balance nutrimental del Cultivo de maíz en la subprovincia fisiográfica de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, UNAM.

- ✓ **Huber, S. C.** 1985. Role of potassium in photosynthesis and respiration. In: R. D. Mundon (ed.) Potassium in Agriculture. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am., Madison. W. I. pp 369-396

- ✓ **Huterwal G. O.** 1989. Hidroponia. Edit. Albatros. Buenos Aires, Argentina.

- ✓ **Janiek, J. , R. W. Schery, F. W. Woods y V. W. Ruttan.** 1981. Plant Science, an Introduction to world crops. W. H. FREEMAN and Company. Third Edition. U.S.A.

- ✓ **Jensen M. H.** 1997. Hidroponics. *Hort Science*. **32** (6): 1018-1021.

- ✓ **Llanos C. M.** 1984. El maíz su cultivo y aprovechamiento. Edit. Mundi-Prensa. Madrid, España.

- ✓ **Marschner, H.** 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. London.

- ✓ **Martín-Prevel P., J. Gagnord y P. Gautier.** 1984. Plant analysis: A. S. A guide to the nutrient requirements of temperate and tropical crops. Edit. Lavoiser publishing. New York, USA.

- ✓ **McCullough, D. E.; Ph. Girardin; M. Mihojlovic; A. Aguilera y M. Tollenaar.** 1994. Influence of N supply on development and dry matter acumulation of an old and new maize hybrid, *Can J. Plant Sci.* **74**:741-777.

- ✓ **Mengel, K.** 1985. Potassium movement within plants and its importance in assimilate transport. In: R. D. Mundon (ed.) Potassium in Agriculture, Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Soil Sci. Soc. Am., Madison. W. I. pp 397-412

- ✓ **Muchow, R. C.** 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semiarid tropical enviroment. I. leaf growth and leaf nitrogen. *Field crops Res.* **18**:1-6.

- ✓ **Muchow, R. C. y R. Davis.** 1988. Effects of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical enviroment. II. Radiation interception and biomass acumulation. *Field Crops Res.* **18**:17-30.

- ✓ **Osaki, M., Hiroyuki Veda, Takuro shinan, Harokazu Matzul y Tashiak Tadano.** 1995. Acumulation carbon and nitrogen compounds in sweet patato plants ground under diferent. Nitrogen applications rates. *Soil Sc. Plant. Nutr.* **41**(3):547-55.

- ✓ **Palacios S. J., U. A. Agular y E.E. Velasco.** 1978. Estudio previo sobre la nutrición del aguacate para análisis foliar. *Anual de Edafología y Agrobiología.* Tomo XXXVIII. No. 9-10. M. Madrid, España. pp863-869.

- ✓ **Paulitz C. T.** 1997. Biological control of root pathogenesis. Soilless and hydroponic system. *Hort Science*. **32**:193-195.

- ✓ **Plenet, D. , A, Mollier y S. Pellerin.** 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency II. Radiation use efficiency, biomass accumulation and yield components. *Plant and soil*. **224**:259-257.

- ✓ **Rending V. V. y Taylor H. M.** 1989. Principles of Soil-Plant Interrelationships. Mc Graw-Hill. UEA.

- ✓ **Resh H. M.** 1992. Cultivos Hidroponicos. Tercera Edición. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.

- ✓ **Reyes C. P.** 1990. El maíz y su cultivo. Edit. A.G.T. Editor. D.F., México.

- ✓ **Reyes C. P.** 1992. Diseño de experimentos aplicados. 3ra. ed. Edit. Trillas. D.F., México.

- ✓ **Rios G. R.** 1995. Métodos para la evaluación de la fertilidad del suelo. Apuntes del curso de suelo séptimo semestre, Facultad de Estudios Superiores Zaragoza UNAM. México.

- ✓ **Robles S. R.** 1983. Producción de granos y forrajes. Edit. Limusa. México.

- ✓ **Sánchez C. F. y Escalante R. E. R.** 1988. Hidroponia. Universidad Autónoma de Chapingo. Tercera edición. México.

- ✓ **Snowball K. Y Robson A.** 1991. Carencias y toxicidades nutricionales al trigo. CIMMYT, México. ppl-25.

- ✓ **Suelter, C. H.** 1985. Role of potassium in enzima catalysis. In: R.D. Munson (ed.). Potassium in agriculture. Am Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Am., Madison. WI. pp.337-350

- ✓ **Tamhane, R.V. , D. P. Motiramani, Y. P: Bali y R.L. Donahue.** 1986. Suelos: su química y fertilidad en zonas tropicales. Edit. Diana. México.

- ✓ **Taylor, D. J.** 1983. Nutritious vegetables without soil: parkside press publishing company. Santa Ana California, U.S.A.

- ✓ **Tisdale, L.S. y Nelson, L.W.** 1991. Fertilidad de los suelos y fertilizantes. Edit. UTENA (Unión tipográfica Editorial Hispanoamericana, S.A. de C.V.). México.

- ✓ **Thompson, J. F., I.K. Smith y J.T. Madison.**1986. Sulfur metabolism in plants. In: M.A. Tabatobal (ed). Sulfur in Agriculture, Am Soc. Agron., Crop Sci. Soc Am., Madison. WI. pp 57-122.

- ✓ **Thompson M. L. y Troeh R. F.**1980. Los suelos y su fertilidad. 4 ed. Edit. REVERTE. Barcelona, España.

- ✓ **Urbano T. y Hernández C. R.** 1992. Condiciones del suelo y desarrollo de las plantas según Rusell. Edit. Mundi-Prensa. Madrid, España.

- ✓ **Vivanco-Estrada R.A.** 1998. Eficiencia de uso de nitrógeno y fósforo y su relación nitrato reductasa y fosfatos ácida en trigo, triticale y maíz. Tesis de Licenciatura de Biólogo. FES-Zaragoza.

- ✓ **Yoshida, S.** 1972. Physiologia aspects of grain yield. *Ann. Rue. Plant Physiol.* **23**:427-464.

- ✓ **Zarate, Z. R. Y Vergara, S. N. A.** 1989. Evaluación del estado nutrimental del cultivo de durazno utilizando la técnica DRIS. *Terra* **7**:21-29.

- ✓ **Zerecero, L. D.** 1978. Estudio del estado nutrimental del naranjo "valencia" (*C. Sinensis*, SW), en la región de Martínez de la Torre, Ver. y pruebas de control para las diferencias de zinc y magnesio. Tesis de M.C. Rama de genetica. Colegio de Posgraduados. Chapingo, México.

ANEXO I

NITRÓGENO TOTAL

Pesar 0.1 g de tejido vegetal y colocar en un matraz kjeldhal.

Agregar 1 g de la mezcla de sulfatos, 1.5 ml de Acido Sulfúrico-Salicílico.

Digerir a una temperatura no mayor a 360 °C hasta que aparezca un color claro.

Enfriar y agrega 10 ml de agua destilada.

Transferir la solución a equipo de destilación adicionando 14 ml de Hidróxido de Sodio al 50%.

El destilado se recibe en 20 ml de solución de Acido Bórico al 4% más 0.2 ml de indicador verde de Bromocresol-Rojo de Metilo.

FÓSFORO (MÉTODO DE VANADATO-MOLIBATO)

Pesar 0.2 g de tejido vegetal pasado por un malla # 20 y colocarlo en un matraz kjeldhal.

Agregar 3 ml de Acido Nítrico y 2 de Acido Perclórico concentrado.

Digerir previamente por 30 min. A temperatura menor a 160 °C.

Concluir la digestión hasta que la muestra se haya aclarado.

Dejar enfriar y aforar a 10 ml, filtrar.

DETERMINACIÓN

Tomar 1 ml del extracto filtrado.

Agregar 1.5 ml de solución para fósforo (Vanadato-molibdato).

Aforar a 10 ml y leer en un Espectrofotómetro a 470 nm.

CALCIO, MAGNESIO Y POTASIO(ABSORCIÓN ATÓMICA)

Pesar 0.2 g de tejido vegetal pasado por un malla # 20 y colocarlo en un matraz kjeldhal.

Agregar 3 ml de Acido Nítrico y 2 de Acido Perclórico concentrado.

Digerir previamente por 30 min. A temperatura menor a 160 °C.

Concluir la digestión hasta que la muestra se haya aclarado.

Dejar enfriar y aforar a 10 ml, filtrado.

DETERMINACIÓN CALCIO

Tomar 1 ml del extracto filtrado y diluir a 25 ml

Se lee en Absorción Atómica a 422.7 nanómetros.

DETERMINACIÓN DE MAGNESIO

Se lee con un primer extracto en Absorción Atómica a 285.2 nanómetros.

DETRMINACIÓN DE POTASIO

Tomar 1 ml del extracto original y diluir a 50 ml.

Se lee en Absorción Atómica a 766.5 nanómeros

Cuadro 1A. Resumen ANOVA del trabajo Determinación de la sintomatología visual y producción de la biomasa ante la carencia de N, P, K, Ca, Mg y S en el cultivo de maíz

Variable	GL	S.C.	C.M.	P>F
Cl-1(44 días)	14	205.9	12.1	N.S.
Cl-2(50 días)	14	1448.7	85.2	*
Cl-3(57 días)	14	1313	72.2	*
Cl-4(65 días)	14	912.6	53.7	*
Cl-5(71 días)	14	963.6	56.7	*
Cl-6(78 días)	14	1577.1	92.8	*
Psvapla	14	1976.6	141.18	N.S.
Pfvapla	14	231077.7	16505.5	N.S.
Psrapla	14	422.8	30.20	N.S.
Pfrapla	14	8169.8	583.5	N.S.
%N	14	42.6	2.5	*
%P	14	1.88	0.11	*
%K	14	587.92	34.58	N.S.
%Ca	14	384.72	27.48	N.S.
%Mg	14	170.59	10.03	*
Acum N	14	30782228.3	1810719.3	*
Acum P	14	245405.8	14435.6	*
Acum K	14	145014562.3	8530268.4	*
Acum Ca	14	216790905.8	15485064.7	N.S.
Acum Mg	14	928694.3	54629	*

Cl-1= clorofila 1, Cl-2= clorofila 2, Cl-3= clorofila 3, Cl-4= clorofila 4, Cl-5= clorofila 5, Cl-6= clorofila 6, Psvapla= peso seco del vástago por planta, Pfvapla= peso fresco del vástago por planta, Psrapla= peso seco de raíz por planta, Pfrapla= peso seco de raíz por planta, %N= porcentaje de nitrógeno, %P= porcentaje de fósforo, %K= porcentaje de potasio, %Ca= porcentaje de calcio, %Mg= porcentaje de magnesio, AcumN= acumulación de nitrógeno, AcumP= acumulación de fósforo, AcumK= acumulación de potasio, AcumCa= acumulación calcio, AcumMg= acumulación de magnesio, *= si hay diferencia significativa, N.S.= no hay diferencia significativa $p \leq 0.05$.

Cuadro 1B. Análisis de varianza de los tratamientos carentes de N, P, K, Ca, Mg y S con respecto al contenido de clorofila .

Variable	Tratamientos					
	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S
Cl1 (44días)	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Cl2 (50días)	*	N.S.	*	*	*	*
Cl3 (57días)	*	N.S.	N.S.	*	N.S.	N.S.
Cl4 (65días)	*	N.S.	N.S.	*	N.S.	N.S.
Cl5 (71días)	*	N.S.	N.S.	*	N.S.	N.S.
Cl6 (78días)	*	N.S.	N.S.	*	*	N.S.

*= si hay diferencia significativa

$p \leq 0.05$.

N.S.= no hay diferencia significativa

Cuadro 1C. Análisis de varianza de los tratamientos carentes de N, P, K, Ca, Mg y S con respecto a la producción de biomasa aérea, de raíz y acumulación de los nutrientes en estudio.

Variable	Tratamientos					
	-N	-P	-K	-Ca	-Mg	-S
Psvapla	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Pfvapla	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Psrapla	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
Pfrapla	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
AcumN	*	*	*	*	*	N.S.
AcumP	*	*	*	*	*	*
AcumK	*	*	*	*	*	*
AcumCa	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
AcumMg	*	*	*	*	*	*

* = si hay diferencia significativa

 $p \leq 0.05$

N.S. = no hay diferencia significativa

Determinación de la Dureza total y de calcio del agua potable utilizada para la elaboración de las soluciones nutritivas.

$$\frac{A \times B \times 1000}{\text{ml de muestra}} = \frac{4 \text{ ml} \times 0.9253 \text{ mg} \times 1000}{50 \text{ ml}} = 74.024 \text{ mg/L}$$

A= 4 ml de gasto de EDTA

B=1 EDTA= 0.9253

50 ml de muestra

Dureza de Calcio

$$A \times B \times 8.016 = 0.5 \text{ ml} \times 0.9253 \text{ ml} \times 8.016 = 3.7 \text{ mg/L}$$

A=0.5 ml de gasto de EDTA

B=1 EDTA= 0.9253

50 ml de muestra