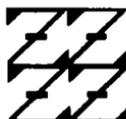




UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
"ZARAGOZA"

18
UNAM
FES
ZARAGOZA



LO HUMANO ES JE
DE NUESTRA ESSENCIA

**RELACIÓN NUTRIMENTAL NITRÓGENO/FÓSFORO Y
NITRÓGENO/POTASIO EN MAÍZ Y SU INFLUENCIA SOBRE
LA EFICIENCIA DE ESTOS NUTRIMENTOS**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

B I Ó L O G O

PRESENTA:

VERÓNICA QUIROZ GARCÍA

DIRECTOR: M. en C. GERARDO CRUZ FLORES

TESIS FINANCIADA POR:
PAPITT-DGAPA IN220298
Y PROBETEL, UNAM

JULIO 2002

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

PAGINACION DISCONTINUA

SE NECESITA VALOR...

Para huir de los chismes, cuando los demás se deleitan en ellos.

Para defender a una persona ausente a quien se critica abusivamente.

Para ser verdaderamente hombre o mujer aferrándose a nuestros ideales cuando esto nos hace parecer extraños o singulares.

Para guardar silencio en ocasiones que una palabra nos limpiaría del mal que se dice de nosotros, pero perjudicaría a otra persona.

Para vestírnos según nuestros ingresos y negarnos lo que no podemos comprar.

Para vivir según nuestras convicciones.

Para ser lo que somos y no pretender ser lo que no somos.

Para decir rotunda y firmemente no, cuando los que nos rodean dicen sí.

Para vivir honradamente dentro de nuestros recursos y no deshonradamente a expensas de otros.

Para ver en las ruinas de un desastre que nos mortifica y humilla los elementos de un éxito futuro.

Para negarnos a hacer una cosa que es mala, aunque otros lo hagan.

Para pasar las veladas en casa tratando de Aprender.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

"Cuidar de la madre tierra es cuidar
de nosotros mismos"

"Lo ambicioso de tus metas y lo alto de tu riesgo
será la grandeza de tu gloria"

"El éxito es el camino, no el lugar a
donde se llega"

"No temas a los vientos de adversidad recuerda que
el papalote se eleva contra el viento, no con el viento"

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Dedicatorias...

CON AMOR

A Dios

Por dejarme existir.

A Mis Padres

Pedro F. Quiroz Cruz que a pesar de no estar junto a mí, has estado en mis pensamientos. Francisca García Herrera, ya que gracias a tu apoyo, ejemplo y dedicación, has logrado lo que ahora soy, ya que me enseñaste la responsabilidad a través de la Libertad.

Al Sr. Abel Alemán

Que durante más de siete años me apoyo y me guió siendo como un Padre para mí.

A Mis Hermanos

Adriana y Fernando

Por estar junto a mí apoyándome en las buenas y en las malas y soportarme en las malas.

A Carlitos

Que esto sea un ejemplo para ti en el futuro.

A Mi Gran AMOR, a ti Aarón

Que parte de este éxito logrado es tuyo, ya que con tu energía y ganas de vivir me iluminaste la existencia, y has estado junto a mí sin dejarme sola y creyendo siempre que si lo lograría e impulsándome a seguir adelante siempre.

A mis Profesores

Todos y cada uno de ustedes, desde los que me enseñaron mis primeras letras y hasta hoy.

A mis Amigos

Porque parte de este triunfo es de ustedes.

A mis Alumnos

Para que sea un ejemplo para seguir adelante.

Agradecimientos:

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a La Facultad de Estudios Superiores (FES) "Zaragoza", por la formación profesional e intelectual que en ella recibí.

Al M. en C. Gerardo Cruz Flores (director del presente trabajo), por ser un Gran Maestro y Amigo.

Al M. en C. Armando Cervantes Sandoval, por Todo el Apoyo recibido a pesar de las circunstancias.

A los miembros del jurado: Q. F. B. Georgina Rosales Rivera, M. en C. Lourdes Castillo Granada y M. en C. Rosalva García Sánchez, por sus comentarios y sugerencias que enriquecieron el presente trabajo.

A todas y cada una de las personas que en ayudaron en algunas de las fases del presente trabajo (Invernadero, Laboratorio, Gabinete): Aaron, Joel, Noé, Gustavo, Nadia, Fabiola, Fernando Quiroz, etc. (perdón si omito a alguien).

A todos y cada uno de los integrantes del Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal.

Al Biól. Noé Manuel Montaña Arias e Hilda Isela Medrano Castañeda, por hacer mas leve la existencia durante el trabajo en invernadero y a pesar de las circunstancias.

A las personas que me permitieron el acceso a las instalaciones de la Facultad durante el periodo de Huelga pues me dejaron continuar con mi investigación.

Agradezco a PAPIIT-DGAPA y al Programa de Beca Tesis de Licenciatura (PROBETEL) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), por el apoyo económica para la elaboración de esta tesis.

A la profesora Ma. de la Luz, los "Luises" y todas las personas de la carrera de Biología que siempre me apoyaron con material y equipo que necesite para realizar mis prácticas de campo y laboratorio.

A los Biól. Faustino López, M. en C. Efraim, M. en C. José Luis Gómez M., Dra. Berta Peña, Biól. Balbina Vázquez, Biól. Raúl Arcos Ramos, Biól. Aida Zapata S., Biól. Ma. de los Angeles Galván, Biól. Rubén Zulbarán, M. en C. Rosalva García además de ser mis profesores fueron y son grandes amigos y excelentes guías tanto en lo académico como en lo personal.

Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A mis amigos y compañeros biólogos e ingenieros: Joel (Grillo), Arturo, Hilda, Honorio, Tania Ramírez, Selene 1 y 2, Paty, Gustavo, Lidia, Juan José (hijo 1), Jaime (hijo 2), Betty, Misael, Osvaldo, Alicia, (y todos aquellos que en este momento se me olvidaron sus nombres, lo siento) por haberme acompañado a lo largo de esta etapa de mi vida, quienes tuvieron que soportarme durante este tiempo, y quienes fueron parte fundamental para mi formación como Biólogo Zaragozano y Ser Humano.

Principalmente a Noé Manuel Montaña, Erika Ortiz, Josefina Aguilar, Alfredo Hernández y Jorge E. Ramírez, a pesar de que los conocí casi al final de la carrera han sido como unos hermanos para mí.

A Aaron Portillo, por toda la paciencia y apoyo incondicional.

Al Ing. Emmanuel Cubillos P. y Prof. José Ruiz Chávez, por su amabilidad y comprensión para conmigo.

A todos mis maestros, sólidos pilares de sabiduría que me abrieron las puertas del Conocimiento.

Gracias a Todos Ustedes

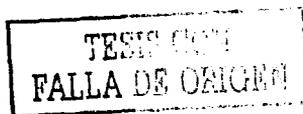
Vero Quiroz

Contenido	Págs.
CONTENIDO.....	i
Índice de Cuadros.....	v
Índice de Figuras.....	vi
Índice de Fotografías.....	ix
RESUMEN.....	1
INTRODUCCIÓN.....	3
MARCO TEÓRICO.....	6
Maíz.....	6
Razas de Maíz.....	7
Variedad.....	7
Usos del Maíz.....	9
Botánica.....	11
Clasificación Taxonómica.....	11
Raíz.....	12
Tallo.....	12
Hojas.....	13
Flores.....	14
Fruto.....	14
Hidroponía.....	15
Ventajas del cultivo hidropónico.....	15
Desventajas del cultivo hidropónico.....	16
Soluciones Nutritivas.....	18
Elementos Esenciales.....	22
Funciones de los Elementos Esenciales.....	23
Nitrógeno.....	26
Fósforo.....	27
Potasio.....	28
Calcio.....	29
Magnesio.....	29
Azufre.....	30
Hierro.....	30
Zinc.....	31
Manganeso.....	31

Cobre.....	32
Boro.....	32
Molibdenu.....	32
Cloro.....	33
Silicio.....	33
Sodio.....	33
Níquel.....	33
Vanadio.....	33
Cobalto.....	34
Desórdenes Nutrimientales.....	34
Sinergismos y Antagonismos Nutrimientales.....	36
Competencia de iones (Antagonismo).....	36
Sinergismo.....	36
Diagnóstico Nutricional.....	41
Requerimiento Interno.....	42
Nivel Crítico.....	42
Síntomas de Deficiencia y Toxicidad de los Elementos Esenciales.....	43
Nitrógeno.....	43
Fósforo.....	44
Potasio.....	45
Azufre.....	46
Magnesio.....	46
Calcio.....	47
Hierro.....	47
Cloro.....	47
Manganeso.....	48
Boro.....	48
Zinc.....	48
Cobre.....	49
Moblibdenu.....	49
Adaptabilidad.....	50
Eficiencia Nutricional.....	50
Medidor de Clorofila SPAD-502.....	55
OBJETIVO GENERAL.....	57
OBJETIVOS PARTICULARES.....	57

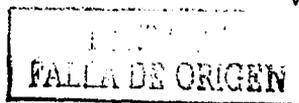
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

SUPUESTO.....	58
HIPÓTESIS.....	58
JUSTIFICACIÓN.....	58
MATERIALES Y MÉTODOS.....	59
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	66
Biomasa Total.....	66
Producción de Biomasa en las Relaciones N:P.....	68
Producción de Biomasa en las Relaciones N:K.....	69
Producción de Biomasa de Raíz.....	69
Acumulación de Nutrientos (N, P y K).....	70
Acumulación de Nitrógeno.....	70
Acumulación de Fósforo.....	72
Acumulación de Potasio.....	74
Lecturas de Clorofila.....	75
Lecturas de Clorofila en las Relaciones Nutrimientales N:P.....	76
Lecturas de Clorofila en las Relaciones Nutrimientales N:K.....	78
Correlación entre Lecturas SPAD de Clorofila, Porcentajes y Acumulaciones de N, P y K.....	79
Índices de Eficiencia.....	83
Índices de Eficiencia en el Uso de Nutrientos (IEN, IEP e IEK).....	83
Índices de Eficiencia Fisiológica en el Uso de N, P y K.....	89
Índice de Partición de Biomasa Raíz/Vástago (R/V).....	93
Sintomatología Visual.....	95
Relaciones Nutrimientales N:P.....	99
Relaciones Nutrimientales N:K.....	101
CONCLUSIONES.....	103
SUGERENCIAS.....	106
BIBLIOGRAFÍA.....	107
ANEXO 1.....	123



ANEXO 2.....	125
Métodos Analíticos.....	125
Nitrógeno Total.....	125
Fósforo (Método del Vanadato-Molibdato).....	125
Potasio (Absorción Atómica).....	126

Índice de Cuadros	Págs.	
Cuadro 1	Elementos esenciales para las plantas y su forma de asimilación	25
Cuadro 2	Índices utilizados para evaluar la eficiencia mineral para N y P	53
Cuadro 3	Componentes de la variación Genotípica que influyen sobre la Eficiencia Nutricional en Plantas (tomado de Cruz, 2000)	54
Cuadro 4	Compuestos Químicos utilizados como fuente de cada uno de los nutrimentos	63
Cuadro 5	Balance de los nutrimentos (N, P y K) de acuerdo a lo obtenido por Hernández (1998)	60
Cuadro 6	Balances nutrimentales (N, P y K) considerando la Técnica del elemento Faltante	61
Cuadro 7	Índices utilizados en el experimento	62
Cuadro 8	Correlación de lecturas SPAD a diferentes edades (C11-C110) y la acumulación de Nitrógeno (AcN), acumulación de Fósforo (AcP), acumulación de Potasio (AcK), porcentaje de Nitrógeno Fósforo y Potasio (%N, %P y %K respectivamente), donde el * muestra correlación significativa y NS correlación no significativa	80



Índice de Figuras	Págs.
Figura 1 Utilización del Maíz	10
Figura 2 Partes de la Hoja	13
Figura 3 Origen de los elementos esenciales en los cultivos en suelo y los hidropónicos (tomado de Resh,1992)	21
Figura 4 Las tres funciones que un elemento puede desempeñar (tomado de Sánchez, 1999)	24
Figura 5 Efectos sinérgicos y antagonicos entre algunos elementos presentes en el suelo para su absorción por las plantas. Las líneas continuas indican antagonismo entre los elementos que unen. Por ejemplo, un exceso de Fósforo (P) reduce la absorción de Potasio (K), Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Zinc (Zn). Las líneas discontinuas representan sinergismos entre los elementos que unen. Por ejemplo, un exceso de Magnesio (Mg) favorece la absorción de Nitrógeno (N) y Fósforo (P), tomado de Llanos (1984)	40
Figura 6 Derivación de la concentración nutritiva crítica, tomado de Etchevers (1988)	43
Figura 7 Componentes del cultivo hidropónico (esquema representativo del Drenaje de la Solución Nutritiva)	64
Figura 8 Componentes del cultivo hidropónico (esquema representativo del Suministro de Solución Nutritiva)	65
Figura 9 Biomasa de Maíz Pinto. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	66
Figura 10 Biomasa de Maíz V-23. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	67

Figura 11	Acumulación de Nitrógeno en mg.g^{-1} . Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	71
Figura 12	Acumulación de Fósforo en mg.g^{-1} . Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	73
Figura 13	Acumulación de Potasio en mg.g^{-1} . Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	74
Figura 14	Lecturas de clorofila a través del tiempo en Maíz Pinto con las relaciones nutrimentales N:P (10:1, 6:1 y 14:1)	76
Figura 15	Lecturas de clorofila a través del tiempo en Maíz V-23 con las relaciones nutrimentales N:P (10:1, 6:1 y 14:1)	77
Figura 16	Lecturas de clorofila a través del tiempo en Maíz Pinto con las relaciones nutrimentales N:K (2:1, :1 y 3.5:1)	78
Figura 17	Lecturas de clorofila a través del tiempo en Maíz V-23 con las relaciones nutrimentales N:K (2:1, 1:1 y 3.5:1)	79
Figura 18	Correlación entre los valores de clorofila y el porcentaje de Nitrógeno y Fósforo a diferentes edades fenológicas, el * muestra correlación significativa y NS correlación no significativa	81
Figura 19	Índice de Eficiencia de uso de Nitrógeno comparando ambos genotipos y la relaciones nutrimentales N:P y N:K. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	84
Figura 20	Índice de Eficiencia de uso de Fósforo comparando ambos genotipos y la relaciones nutrimentales N:P y N:K. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	85

Figura 21	Índice de Eficiencia de uso de Potasio comparando ambos genotipos y la relaciones nutrimentales N:P y N:K. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	87
Figura 22	Índice de Eficiencia Fisiológica en el Uso de Nitrógeno. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	89
Figura 23	Índice de Eficiencia Fisiológica en el Uso de Fósforo. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	91
Figura 24	Índice de Eficiencia Fisiológica en el Uso de Potasio. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	92
Figura 25	Relación R/V. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey	94

Índice de Fotografías	Págs.	
Fotografía 1	Maíz con solución nutritiva completa, relación N:P (10:1) y relación N:K (2:1)	95
Fotografía 2	Maíz con tratamiento induciendo deficiencia de Nitrógeno (6:1 y 1:1)	96
Fotografía 3	Maíz con tratamiento induciendo deficiencia de Nitrógeno (6:1 y 1:1)	97
Fotografía 4	Maíz con deficiencia de Fósforo, tratamiento (14:1)	98
Fotografía 5	Maíz con tratamiento induciendo deficiencia de Fósforo(14:1)	98
Fotografía 6	Maíces con la relación N:K (3.5:1), induciendo Deficiencia de Potasio	98
Fotografía 7	Maíces con la relación N:K (3.5:1), induciendo Deficiencia de Potasio	98
Fotografía 8	Maíz Pinto con los tratamientos (10:1, 6:1 y 14:1) a los 142 días de edad	99
Fotografía 9	Maíz V-23 con los tratamientos (10:1, 6:1 y 14:1) a los 142 días de edad	100
Fotografía 10	Maíz Pinto con los tratamientos (2:1, 1:1 y 3.5:1) a los 142 días de edad	101
Fotografía 11	Maíz V-23 con los tratamientos (2:1, 1:1 y 3.5:1) a los 142 días de edad	102

Resumen

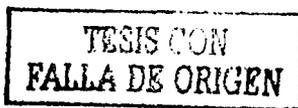
Uno de los problemas más serios a los que se enfrenta el país actualmente es la sobrepoblación, lo que equivale a disminuir la cantidad de alimento necesario para solventar las necesidades básicas, lo que permite que una gran cantidad de personas sufra hambre, para evitar esta situación es necesario encontrar alternativas para obtener el máximo rendimiento posible, utilizando la menor cantidad de nutrimento, esto es a través del conocimiento de las necesidades nutrimentales del cultivo, a su vez contribuimos a solventar la necesidad básica del ser humano y evitamos la pérdidas de suelo y por tanto de Biodiversidad.

Con la finalidad de proponer alternativas para que las plantas se desarrollen ante estrés nutrimental en el presente trabajo se buscaron alternativas para la mayor producción de biomasa posible a través de mecanismos de adaptabilidad a situaciones adversas, considerando las relaciones que guardan los nutrimentos así como las diferencias genotípicas dentro de una misma especie.

Los objetivos de este trabajo fueron comparar la producción de biomasa por efecto de las variaciones en las relaciones nutrimentales N/P y N/K en dos genotipos de maíz con diferente eficiencia nutrimental; determinar los diferentes índices de eficiencia en uso de Nitrógeno, Fósforo y Potasio y encontrar la correlación entre el contenido de clorofila (lecturas SPAD) y valores de N-total, Fósforo y Potasio en diferentes edades del cultivo.

El maíz V-23 produjo la mayor cantidad de biomasa total y por relaciones (N:P y N:K) que Pinto, teniendo una diferencia genotípica de aproximadamente el 25%.

En cuanto a acumulaciones de N, P y K, V-23 fue el genotipo con mayor acumulación de nutrimentos. Las relaciones con la mayor acumulación de nutrimentos de la N:P fue 10:1 y en la N:K fue 2:1, en la acumulación de Nitrógeno y Potasio, sin embargo, para Fósforo en las tres relaciones existieron valores altos de acumulación.



Las lecturas de clorofila se correlacionan a partir de los 53 días de edad del cultivo, principalmente con Nitrógeno, teniendo valores positivos y con Fósforo obteniendo valores negativos, además de que se observó que en las relaciones consideradas como "ideales" (10:1 y 2:1) se obtuvieron los valores más altos de unidades SPAD.

En los índices de eficiencia (IE, UE y R/V) de cada uno de los nutrimentos, V-23 presentó los valores más altos que Pinto.

Se concluyo que 1) V-23 es el genotipo más eficiente, 2) las relaciones que guardan los nutrimentos afectan considerablemente el rendimiento observándose claramente en los resultados obtenidos de biomasa, acumulación e índices de eficiencia, 3) el medidor de clorofila Minolta SPAD es una excelente alternativa para medir la concentración de Nitrógeno, ya que se obtuvo una buena correlación entre N, P y unidades SPAD, 4) el seguimiento de la sintomatología visual es una técnica útil para conocer las deficiencias de una planta, la cual es necesario correlacionar con valores obtenidos en el análisis vegetal para que sea una buena forma de corregir problemas nutrimentales de cultivos, 5) la hidroponía es una excelente alternativa para la producción de muchas especies vegetales obteniendo el máximo rendimiento posible, 6) al conocer los requerimientos básicos de un cultivo, las relaciones existentes entre nutrimentos se podrán dar dosificaciones adecuadas de los mismos para obtener los máximos rendimientos posibles.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Introducción

En nuestro país existe una gran diversidad de vegetación, fauna, clima, y por supuesto, de suelos, lo que conlleva a que regiones muy cercanas presenten características muy distintas en todos los aspectos y por tanto una disponibilidad de nutrimentos muy variada.

Uno de los problemas serios a los que se enfrenta la actividad agrícola no sólo en el cultivo del Maíz es, que, debido a las condiciones ecofisiográficas del país existen variaciones fuertes en cuanto a nutrimentos se refiere lo que provoca una gran deficiencia de algunos de ellos principalmente el Nitrógeno y el Fósforo pero también los demás nutrimentos requeridos por las plantas como sería el caso del Potasio.

El Nitrógeno es considerado como uno de los nutrimentos esenciales para las plantas, se encuentra en forma abundante en la Naturaleza sobre todo en la atmósfera ya que existen aproximadamente unas 67 000 toneladas en ella situada encima de cada hectárea de suelo (Marschner, 1995); sin embargo, es limitada su disponibilidad lo que afecta el rendimiento de los cultivos. Este nutrimento es considerado esencial debido a que forma parte de toda célula viva constituyendo aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos (DNA y RNA), nucleótidos, NADH₂, porfirinas, amidas, aminas, además de enzimas y coenzimas y varios metabolitos secundarios; por lo tanto juega un papel importante en muchas reacciones metabólicas.

El Fósforo, al igual que el Nitrógeno, es un constituyente de todas las células vivas, es constituyente de las enzimas y proteínas y es un componente

estructural de fosfoproteínas, fosfolípidos, glucosa, ATP y ácidos nucleicos, su presencia es necesaria en todos los procesos metabólicos.

La importancia del Potasio, por su parte, radica en que es activador de más de sesenta enzimas en el tejido meristemático; se requiere para la producción de mayor energía fosfatada (ATP) y está también involucrado en las funciones relacionadas con la absorción de Nitrógeno y síntesis de proteínas, metabolismo de lípidos, procesos fotosintéticos y en el metabolismo de carbohidratos, así como también en la calidad del fruto.

La hidroponía es un manejo alternativo de cultivos que permite obtener grandes rendimientos sin contaminar los suelos ya que generalmente el cultivo se realiza en sustratos y no directamente en suelo disminuyendo así su deterioro. Esta técnica de producción sin suelo, tiene también gran importancia en estudios de Nutrición Vegetal pues, permite suministrar nutrimentos en concentración y balance específico.

El presente estudio se enfocó: (a) Conocer el estado nutrimental del Maíz por ser una de las especies más importantes, ya que es sostén de la alimentación mundial junto con el arroz y el trigo, puesto que los cereales proveen a la población mundial de una dieta rica en calorías y proteínas además de su importancia en los aspectos social, cultural y económico sobre todo en México que presenta esta gramínea; (b) Determinar en esta especie, bajo condiciones de invernadero, observando las suficiencias o deficiencias de los tres principales nutrimentos de las plantas el balance nutricional de N, P y K y como las plantas responden a ellos utilizando como mecanismos de adaptación la eficiencia de uso de nutrimentos y (c) Considerar las distintas necesidades de los genotipos de Maíz y el estudio de las relaciones que guardan el N, P y K con

la finalidad de aprovechar de forma más eficiente los nutrimentos proporcionados inicialmente en soluciones nutritivas y posteriormente extrapolar esta información a regiones con problemas de disponibilidad de algún nutrimento como estrategia para proponer genotipos más eficientes que soportarían condiciones edáficas adversas.

En este estudio se emplearon dos genotipos de maíz (Maíz Pinto y Maíz V-23) para conocer su eficiencia con seis relaciones nutrimentales, tres correspondieron a la relación N:P y las otras tres a la relación N:K en un cultivo hidropónico. Se obtuvieron los índices nutrimentales de cada genotipo; además se realizó la medición de la clorofila para conocer el efecto que tenían las relaciones en la acumulación de este pigmento y encontrar si existía una correlación con el N, P y K. También se efectuó un seguimiento fotográfico para detectar variaciones en la coloración de las plantas y observar el efecto de las relaciones sobre la sintomatología visual.

Este trabajo pretendió proponer alternativas diferentes en el manejo de fertilizantes al considerar las características de los suelos. El aporte de nutrimentos por parte de éstos, la fisiología de la planta así como conocer las necesidades nutrimentales, y la eficiencia de uso de los mismos lo que ayudará a la disminución del daño ecológico que se genera al sobre utilizar los fertilizantes, ya que ellos contaminan el suelo y los mantos freáticos constituyéndose así en un factor principal en pérdida de la Biodiversidad.

Marco Teórico

Maíz

La palabra "maíz" proviene de una lengua del Caribe; los españoles tomaron el vocablo de un dialecto de la isla de Haití, cuyos aborígenes le llamaban "mahiz". El maíz o milpa, guarda muchos y grandes secretos; sus frutos o granos significan: moneda, religión, alimento (pan y tortilla) y vino, para grandes y dispersos conglomerados.

Junto con el trigo y el arroz, constituye uno de los recursos naturales renovables más relevantes en toda la historia de la humanidad; el grano posee diversas intensidades de colores: blanco, amarillo, rojo, azul, morado, púrpura, negro y pinto; una de sus principales ventajas es su amplia plasticidad de adaptación, apenas igualada por el frijol (Reyes, 1990).

El cultivo tiene, para los países de América, capital importancia en todos los órdenes de la vida humana, científica, tecnológica, social, económica y política. Hasta el momento no se sabe con precisión la época y el lugar exacto de la aparición del maíz, sin embargo se sabe que fue una planta muy importante a través de las Américas en la época Pre-Colombina; podría haber sido particularmente importante para la gente en zonas templadas donde la selección de plantas cultivables fue relativamente limitada.

El maíz fue domesticado entre los años 5000 a. C. y 8000 a. C. en lo que es ahora el México central hasta el Norte de Guatemala.

La cultura del maíz se expande a través del Hemisferio hasta llegar a Perú y Chile por el año 300 a. C. a 5000 a. C., cerca de 300 razas distintas existían cuando los europeos arribaron en el Hemisferio Oeste (Tracy, 1999).

RECURSOS GENÉTICOS (RAZAS DE MAÍZ)

Los indígenas domesticaron e iniciaron la selección del maíz, contribuyendo relevantemente en la obtención de variedades y razas; los agricultores las han conservado por siglos y los científicos las han estudiado y clasificado para su conservación, mantenimiento y mejoramiento (Reyes, 1990).

Raza

La raza se forma por poblaciones de individuos de una misma especie con genotipos similares; que manifiestan ciertos rasgos diferenciales, heredables y que a su vez, permiten separarlas de otras poblaciones. La formación de razas diferentes se origina por distintas modalidades de aislamiento que restringen la reproducción a un cierto número de individuos; estas restricciones generalmente son ecológicas en naturaleza (Reyes, 1990).

Las razas están definidas por ciertas características morfológicas y adaptaciones ecogeográficas, esto provoca una enorme diversidad genética dentro de las razas, con variaciones en tamaño, vigor, maduración, color de grano, textura y otras (Tracy, 1999).

Dentro de una raza hay un alto número de variedades.

Variedad

Grupo de individuos de una especie y raza con rasgos diferenciales más estrechos que aquellos manifestados por las razas. Las variedades agronómicas son producto de la selección humana que tiende a formar grupos de plantas similares con tendencia a su explotación económica. Las variedades se cruzan libremente y forman poblaciones diferenciales. Existen tantas variedades, tal vez

como productores, en una región agrícola. Algunas las seleccionan por su precocidad, por altura de planta, color de frutos, etcétera. El nombre común de una variedad es por su lugar de origen o son denominaciones autodescriptivas.

Hay variedades nativas y son aquellas que se originaron en un lugar determinado y ahí evolucionaron; las variedades criollas son las introducidas y adaptadas a las condiciones existentes en el lugar de adopción, que multiplicándose libremente y por selección natural o dirigida han logrado producciones aceptables para los agricultores.

En la actualidad los productores siembran semillas de siete clases, a saber:

1. Variedades criollas. Nombres diversos, ejemplos: hoja morada, olote delgado, Carmen, Santa Engracia, Brebe de Padilla, etc.
2. Variedades mejoradas. En los programas de mejoramiento genético con símbolo de V-número. Ejemplo: V-424, V-520C, V-524, V-23, etc.
3. Variedades sintéticas. Con símbolos VS-número. Ejemplo: VS-201, NLVS-1, etc.
4. Variedades híbridas. Con símbolo H-número. Ejemplo: H-352, H-507, H-422, etc.
5. Generaciones avanzadas de híbridos (F_2 , F_3 , F_{11}) o Híbridos acriollados.
6. Cruzas naturales recíprocas entre maíces criollos con variedades mejoradas (Criollos hibridados).
7. Híbridos naturales de las diversas clases de semillas descritas con Teocintle (Reyes, 1990).

El maíz tiene múltiples usos (Fig. 1) que se pueden agrupar en los siguientes rubros:

a) Grano

Alimentación humana

Alimentación del ganado

Materia prima en la industria

Semilla

b) Planta

Forraje verde

Ensilado

Rastrojo, forraje tosco

Materia orgánica al suelo

c) Mazorca

Elote- alimento humano

Forraje tosco

Olote (combustible)

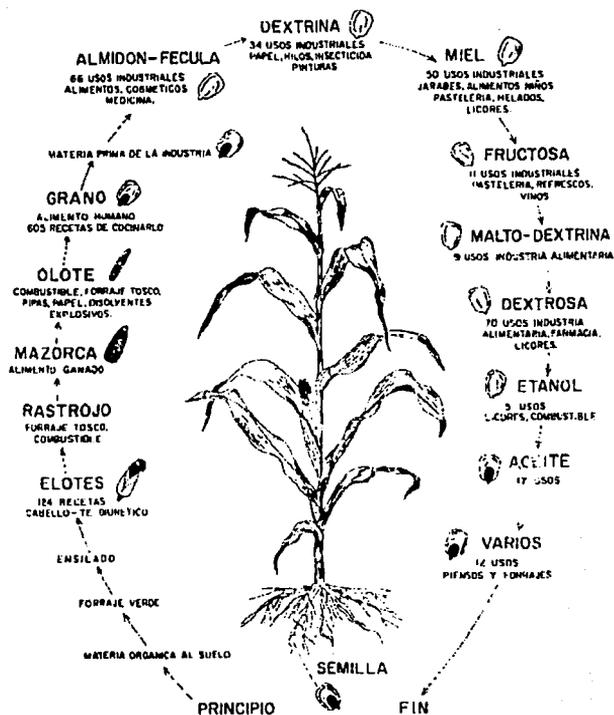


Fig. 1. Utilización del Maíz.

Botánica

La planta del maíz, Milpa, produce un fruto que se le conoce con varios nombres: agrícolamente es una semilla; botánicamente es una gramínea, un cariósida y comercialmente, es un grano o cereal.

Clasificación Taxonómica

Reino: Vegetal

División: Tracheophyta

Subdivisión: Pteropsidae

Clase: Angiospermae

Subclase: Monocotyledoneae

Grupo: Glumifora

Orden: Graminales

Familia: Gramineae

Tribu: Maydeae

Género: *Zea*

Especie: *Zea mays*

Raíz

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

Las raíces temporales, primarias o embrionales son funcionales durante la germinación, emergencia y desarrollo de la plántula; generalmente desaparecen al agotarse el endospermo e iniciarse las funciones de las raíces permanentes; éstas nacen en el segundo nudo del primer entrenudo o mesocotilo (Arnon, 1974; Llanos, 1984 y Reyes, 1990).

Tallo

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 las diferentes razas y variedades (con un rango de 8 a 26 y 7 a 25 entrenudos): en cada entrenudo hay una depresión como "canalito" que se extiende a lo largo del entrenudo, en posición relativa alterna a lo largo del tallo; en la base del entrenudo hay una yema floral femenina que se extiende a lo largo del canalito. Potencialmente un tallo puede desarrollar de 10 o más yemas florales que pueden 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.

En los nudos basales nacen las raíces adventicias; en general, en los nudos nacen las hojas cuyas vainas envuelven al entrenudo; hay por eso tantas hojas como nudos tenga la planta. En cada nudo funciona la hormona que determina la erección de la caña cuando ésta se acama en crecimiento activo, pues provoca una dilatación en el costado del nudo que está abajo y una contracción en el lado opuesto, con lo cual la caña se levanta formándose como un "escalón" (Arnon, 1974; Llanos, 1984 y Reyes, 1990).

La altura del tallo es variable y es una característica varietal, genética y ambiental. El rango varía de 0.30 m a 5.5 m y su altura es el resultado del número y longitud de los entrenudos.

Hojas

Las partes de la hoja son: la vaina que envuelve al entrenudo y cubre a la yema floral, lámina o limbo de tamaño variable en 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 lígula o lengüeta en la base de la hoja, parte pergaminosa; también en la base está la aurícula que envuelve al entrenudo (Fig. 2).

La aurícula y la lígula protegen al entrenudo y drenan el agua que al llover se desliza sobre el limbo y la nervadura central.

Las hojas nacen en los nudos en la parte inferior inmediata a las yemas florales femeninas. Su distribución es alterna a lo largo del tallo (Arnon, 1974; Llanos, 1984 y Reyes, 1990).

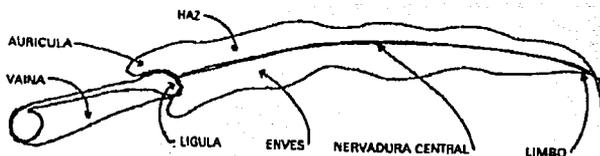


Fig. 2. Partes de la Hoja.

Flores

El maíz es una planta monoica de flores unisexuales muy separadas y bien diferenciales en la misma planta. Las flores que producen los granos de polen, en donde está el gameto masculino, se localizan en la inflorescencia terminal llamada "panícula", "panoja", "espiga" o "mahuatl".

Las flores pistiladas se localizan en las yemas florales que emergen en las axilas de las hojas y que en el proceso de su desarrollo, se denominan: yema floral pistilada, jilote, elote, elocinte (camahua o barroceo) y mazorca (Reyes, 1990).

Fruto

Los botánicos lo llaman carióspside, los agricultores semilla y comúnmente se conoce como grano de maíz. Biológicamente el fruto es el ovario desarrollado y la semilla es el óvulo fecundado, desarrollado y maduro. En el maíz y en las gramíneas, el ovario se desarrolla al igual que el óvulo hasta tener una sola estructura. El fruto se encuentra insertado al raquis u olote constituyendo hileras de granos o carreras cuyo conjunto forman la mazorca, espiga cilíndrica o infrutescencia, producto del desarrollo de la yema floral axilar de la hoja que nace en el nudo: el número de carreras es par y varía de 8 a 30 carreras. Un grano de maíz está formado por: un pericarpio (forma la cubierta del fruto y son las paredes del ovario), un endospermo (tejido de reserva de la semilla) y el embrión (Arnon, 1974; Llanos, 1984 y Reyes, 1990).

Hidroponía

El término "hidroponía" procede de las palabras griegas *hydros* (agua) y *ponos* (cultivo, labor) (Sholto, 1994; Samperio, 1997).

Es un sistema intensivo de producción de plantas sin utilización directa del suelo que, de manera natural, provee los nutrientes, agua y gases necesarios para su crecimiento además de permitir su fijación y anclaje (Cruz, 1996).

De los cinco requisitos esenciales para que la planta pueda crecer bien, el proceso hidropónico provee normalmente tres en la misma forma que en los cultivos en la tierra. Agua, luz y aire son dones de la naturaleza que pueden suministrarse en el invernadero como parte de lo que nos rodea o, sino, por medios artificiales. Pero los dos últimos elementos -las sales minerales y el sostén para las raíces- deben proporcionarse como suplemento. (Sholto, 1994).

Ventajas del Cultivo Hidropónico

- ❖ Reducción de costos de producción en forma considerable.
- ❖ No depende de los fenómenos meteorológicos.
- ❖ Permite producir cosechas fuera de la estación (temporada).
- ❖ Se requiere mucho menor espacio y capital para una mayor producción.
- ❖ Ahorro de agua, ya que esta se recicla.
- ❖ No se usa maquinaria agrícola (tractores, rastras, etc.).
- ❖ Mayor limpieza e higiene en el manejo del cultivo, desde la siembra hasta la cosecha.
- ❖ Es menos frecuente la presencia de parásitos, bacterias, hongos y contaminación.
- ❖ Producción de semilla certificada.

- ❖ Producción de almácigos 100 por ciento fecundos.
- ❖ Rápida recuperación de la inversión.
- ❖ Mayor precocidad de los cultivos.
- ❖ Posibilidad de automatización casi completa.
- ❖ Ayuda a eliminar parte de la contaminación.
- ❖ No provoca los riesgos de erosión que se presentan en el suelo.
- ❖ Soluciona el problema de producción en zonas áridas o frías.
- ❖ Se puede cultivar en ciudades.
- ❖ Se obtiene uniformidad en los cultivos.
- ❖ Permite ofrecer mejores precios en el mercado
- ❖ Nos faculta para contribuir a la solución del problema de la conservación de los recursos.
- ❖ Se puede cultivar en aquellos lugares donde la agricultura normal es difícil o casi imposible.
- ❖ Es un magnífico auxiliar en la educación infantil y juvenil.

Desventajas del Cultivo Hidropónico

- * El elevado costo de las instalaciones.
- * Alto nivel tecnológico que requiere su manejo. (Ibarzabal, 1976).

La unidad del Cultivo Hidropónico se compone de las siguientes partes:

a) **recipiente**, llamado también cama, cantero, batea o cubeta, aunque frecuentemente se utilizan ollas, macetas u otros receptáculos; b) **agregado o medio de cultivo**, que se coloca dentro del receptáculo para proporcionar sustento a las raíces, y c) **suministro de agua**. En la mayor parte de las instalaciones el alimento de las plantas, en forma de sales fertilizantes, se

agrega al agua para formar la solución nutritiva que luego es utilizada en el riego normal de camas, bateas o cubetas (Howard, 1978; Huterwal, 1993 y Sholto, 1994).

Existen dos métodos de cultivo hidropónico en función de las características del sustrato:

- ✓ Cultivo en Agua o Solución Nutritiva. A esta técnica se le conoce también acuacultura, nutricultura, quimiocultura o hidrocultura, aunque el más conocido y actual de sus nombres es hidroponía. La técnica consiste en desarrollar desde su nacimiento hasta su producción flores, frutos, hortalizas y plantas medicinales, permaneciendo y desarrollándose las raíces en una solución acuosa de nutrimentos, en concentraciones adecuadas (cultivo en agua propiamente dicho); o bien en aire saturado de agua pulverizada, empleando para la irrigación de las raíces la pulverización de una solución llamada niebla nutriente (cultivo aeropónico) que contiene los elementos nutritivos.
- ✓ Cultivo en sustrato. En esta técnica las semillas germinan, crecen y se desarrollan hasta su producción en un medio inerte (un agregado) que es regado con solución nutritiva.

Contrariamente al anterior en este hay un sustrato, este sustrato a su vez puede ser de origen vegetal (turba, virutas menudas, aserrín, etc.) o de origen mineral o plástico (arena, grava, fibracel, vermiculita, agrolita, etc.).

La hidroponía con sustrato es el método más difundido porque garantiza a las plantas las mejores condiciones de crecimiento y desarrollo, así como por

su productividad más elevada y un gasto menor por unidad de superficie (Howard, 1978; Huterwal, 1993 y Sholto, 1994).

Los sustratos con gran capacidad de absorción (por ejemplo, la arena) se humedecen preferentemente con riego de superficie; los de grava, lascas, etc., mediante inundación y a veces por circulación interna o subirrigación. (Samperio, 1999).

Las Soluciones Nutritivas se definen como el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos en agua (Sánchez del Castillo, 1981; Withrow y Biebel, 1975); mientras que De Rijck y Schrevens (1997 a y b) las consideran como soluciones acuosas de iones inorgánicos, en las cuales los elementos no están presentes como iones libres sino que existe un equilibrio dinámico entre la disociación, precipitación y reacciones complejas resultando en una "especiación" específica elemental, donde el término especiación indica la distribución de los elementos entre sus varias formas químicas y físicas, iones libres, complejos solubles, quelatos, iones pares, fases sólidas y gaseosas, diferentes estados de oxidación, todo lo cual influye a su reactividad, movilidad y biodisponibilidad.

La elección de las sales para su preparación se hará considerando este gran número de factores.

La proporción relativa de iones que deberemos añadir a la composición se comparará con la necesaria en la formulación del nutrimento: por ejemplo, una molécula de Nitrato de Potasio (KNO_3) proporcionará un ion Potasio (K^{+1}) y un ion Nitrato (NO_3^{-}) (Samperio, 1999).

Las diferentes sales fertilizantes que podemos usar para la solución nutritiva tienen a su vez diferentes solubilidades. En los cultivos hidropónicos, las sales fertilizantes deberán tener una alta solubilidad, puesto que deben permanecer en solución (Fig. 3) para ser tomadas por las plantas (Resh, 1992). Las fuentes más comunes y económicas de los elementos esenciales son los fertilizantes comerciales. Por ejemplo, el Nitrógeno es absorbido por las plantas casi exclusivamente en forma de nitratos y amonio, solubles en agua.

Las principales fuentes de N son:

- o Nitrato de Potasio
- o Nitrato de Sodio
- o Nitrato de Amonio
- o Nitrato de Calcio
- o Sulfato de Amonio
- o Urea
- o Fosfato monoamónico
- o Fosfato diamónico

De igual manera sucede con los demás nutrimentos (NPFI, 1974).

Son tres los métodos para preparar las soluciones nutritivas más utilizados en hidroponía: método de las soluciones madre, método normal y método de los fertilizantes mezclados en seco.

▪ **Método de las Soluciones Madre**

Se utiliza en trabajos experimentales donde se labora con distintas concentraciones en las soluciones y/o varios cultivos a la vez. En este método se prepara una solución concentrada del fertilizante o reactivos y o

partir de esta se realizan diluciones dependiendo de los requerimientos del cultivo. Es muy práctico para la preparación de soluciones madre de micronutrientes, ya que como estos elementos son requeridos en muy pequeñas cantidades su pesado y preparación presentan ciertos problemas.

- **Método Normal**

En este método. Los fertilizantes en seco se van añadiendo uno en uno en el agua y en las cantidades adecuadas para formar la solución nutritiva.

- **Método de la Adición de los Fertilizantes Mezclados en Seco**

En este método, todos los fertilizantes que intervienen en la solución se revuelven en seco hasta lograr una mezcla homogénea y posteriormente, se disuelven en el volumen total del agua necesaria para preparar la solución (Sánchez del Castillo, 1983; Harris, 1988 y Resh, 1992).

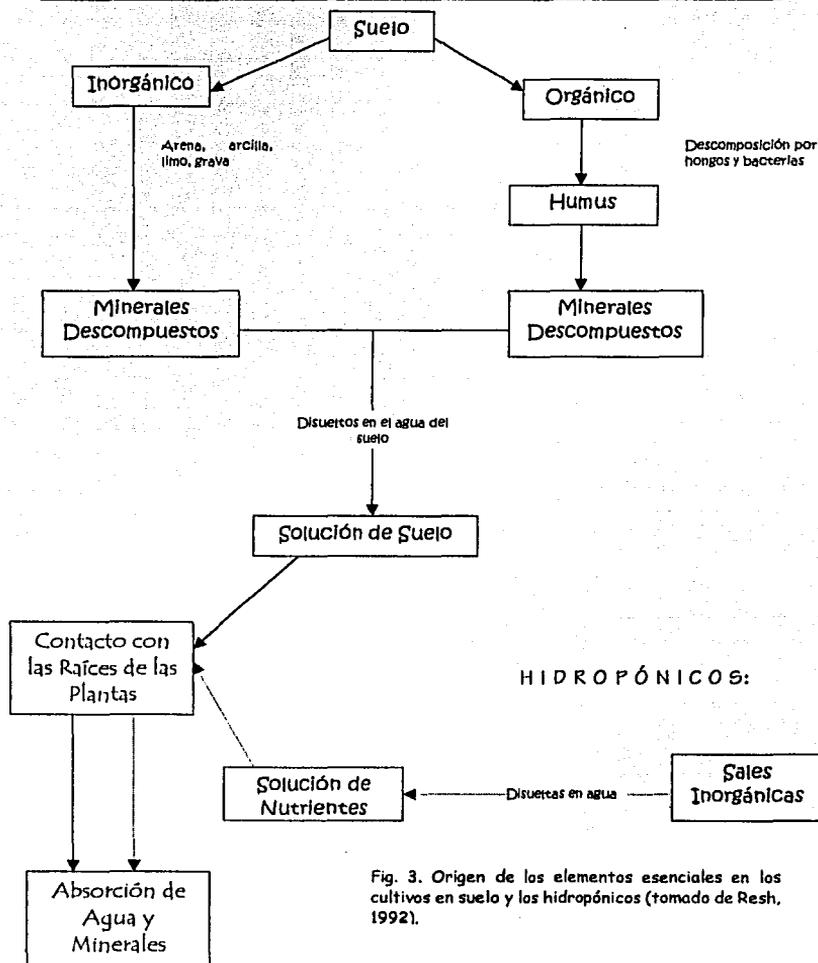


Fig. 3. Origen de los elementos esenciales en los cultivos en suelo y los hidropónicos (tomado de Resh, 1992).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Elementos Esenciales

Las plantas construyen su organismo con determinados elementos químicos que se encuentran en el medio que las rodean. Aproximadamente el 95-98% de la planta está constituido por Hidrógeno, Carbono, Oxígeno y Nitrógeno y el 2-5% corresponden a los otros elementos (Resh, 1992; Marschner, 1995).

En las plantas se han encontrado más de 70 elementos químicos, incluso algunos autores afirman que en estas se pueden encontrar todos los elementos de la tabla periódica, pero solamente algunos de ellos son esenciales para el crecimiento de las plantas (Sánchez, 1999).

Arnon y Stout en (1939) propusieron el concepto de **Elemento Mineral Esencial**, ellos mencionan, para que un elemento pueda ser considerado esencial es necesario que cumplan los siguientes criterios:

- a) Una planta será incapaz de completar su ciclo de vida en ausencia del elemento mineral.
- b) La función del elemento no debe ser reemplazada por otro elemento mineral.
- c) El elemento debe ser necesario en el metabolismo de la planta, por ejemplo, como componente de un constituyente esencial de la planta (enzima) o puede ser requerido para un proceso metabólico distinto (reacción enzimática).

Bennett (1997) considera que un elemento es esencial si éste es útil para el productor desde el punto de vista práctico.

Sánchez (1999) menciona que son 21 elementos que se consideran como esenciales.

Los elementos esenciales (cuadro 1) pueden ser clasificados en dos grandes grupos: *macronutrientes* que son requeridos en cantidades relativamente grandes (N, P K, Ca, Mg y S) y *micronutrientes*, los cuales son requeridos en pequeñas concentraciones (Fe, Mn, Cu, B, Zn, Mo y Cl) Hartmann *et al.*, 1988; Malavolta, 1989; Resh, 1992; Sánchez, 1999.

Funciones de los Elementos Esenciales

Los nutrientes ejercen funciones específicas de la vida de la planta, las cuales pueden ser clasificadas en tres grandes grupos:

- * Estructural. El elemento forma parte de la molécula de uno o más compuestos orgánicos, por ejemplo:

N- aminoácidos y proteínas

Ca- pectato (sal de ácido poligalacturónico) de la lámina media de la pared celular

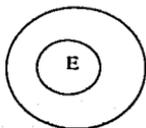
Mg- ocupa el centro del núcleo tetrapirrólico (porfirina) de las clorofilas

- * Constituyentes de enzimas. Se trata de un caso particular del primero y se refiere a elementos, generalmente metales o elementos de transición (molibdeno) que forman parte del grupo prostético de enzimas y que son esenciales en las actividades de las mismas. Este es el caso del cobre, hierro, manganeso, molibdeno, zinc y níquel.

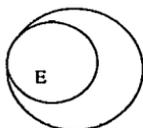
- * Activador enzimático. Forma parte del grupo prostético o elemento disociable de la fracción proteica de la enzima y es necesario en las actividades de la misma (Sánchez, 1999).

Estos tres tipos de funciones están representadas en la figura 4. Las diferentes funciones que un mismo elemento puede desempeñar corresponden a uno o más procesos vitales: fotosíntesis, respiración, síntesis de aminoácidos o proteínas y transferencia de caracteres hereditarios, entre otras (Sánchez, 1999)

Estructural



Constituyente de Enzima



Activador Enzimático



Fig. 4. Las tres funciones que un elemento puede desempeñar (Adaptado de Sánchez, 1999).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN.

Elemento	Forma de asimilación por la Planta
Carbono	CO_2
Hidrógeno	H_2O
Oxígeno	H_2O, O_2
Nitrógeno	NH_4^+, NO_3^-
Fósforo	$H_2PO_4^-, HPO_4^{2-}$
Potasio	K^+
Calcio	Ca^{2+}
Magnesio	Mg^{2+}
Azufre	SO_4^{2-}
Hierro	Fe^{2+}, Fe^{3+}
Zinc	$Zn^{2+}, Zn(OH)_2$
Manganeso	Mn^{2+}
Cobre	Cu^{2+}
Boro	H_3BO_3
Molibdeno	MoO_4^{2-}
Cloro	Cl^-
Silicio	$Si(OH)_4$
Sodio	Na^+
Cobalto	Co^{2+}
Vanadio	V^+
Níquel	Ni^{2+}

Cuadro 1. Elementos esenciales para las plantas y su forma de asimilación.

Nitrógeno (N)

El Nitrógeno es absorbido por plantas en ambas formas como nitrato (NO_3^{-1}) y amonio (NH_4^{+1}) (Cuadro 1). El amonio es absorbido y utilizado principalmente por plantas jóvenes, mientras que el nitrato es la forma principalmente utilizada durante el período de crecimiento adulto.

La absorción de iones amonio es benéfico para las plantas, ya que resulta en un ahorro de energía metabólica, pues proporciona una mayor disponibilidad de nutrimentos debido a un aumento de la solubilidad en el medio ácido que se crea por las plantas, las cuales generalmente secretan iones hidrógeno cuando estas absorben iones amonio (Sandoval-Villa *et al.*, 1995).

La forma de absorción de N es principalmente determinada por la abundancia y la accesibilidad de las formas iónicas, además también dependerá de las preferencias de la planta, por lo cual las plantas mantienen el balance catión/anión durante la absorción (von Wirén, *et al.* 1997; De Rijck y Schrevens, 1997b).

El Maíz absorbe la mayor parte del N en forma nítrica (NO_3^{-1}). La absorción de N se hace a distinta velocidad según el estado vegetativo por el que pasa la planta. Durante el estado juvenil la absorción de N se hace a ritmo lento; cuando se aproxima al momento de la floración la absorción de N crece rápidamente de forma que al aparecer las "sedas" o estilos de las flores femeninas, la planta ha absorbido más de la mitad del total extraído durante el ciclo (Llanos, 1984).

Cuando se encuentra en abundancia en el suelo, las plantas responden con un crecimiento vegetativo intenso, genera un color verde intenso en las hojas; es fundamental en la asimilación de Fósforo y Potasio y produce sucuencia en las hojas (Vázquez y Ríos, 2000)

El Nitrógeno tiene numerosas funciones en la planta como parte de los aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos (DNA y RNA), nucleótidos, NADH₂, porfirinas, amidas, aminas, además de enzimas y coenzimas y varios metabolitos secundarios; por lo tanto juega un papel importante en muchas reacciones metabólicas (Andesirk y Andesirk, 1993; Bennet, 1994 y Marschner, 1995).

El Nitrógeno también se encuentra dentro de la molécula de la clorofila por lo que una deficiencia de N resultaría en una condición clorótica de la planta, está presente en otros pigmentos (Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Fósforo (P)

El Fósforo es absorbido por las plantas como ion fosfato monovalente ($H_2PO_4^-$) o como ion fosfato divalente (HPO_4^{2-}). El ion absorbido es determinado por el pH del suelo (Bennet, 1994).

La cantidad de Fósforo presente en los tejidos de las plantas vivas es aproximadamente una décima parte del nitrógeno (Marschner, 1986).

La mayor concentración se presenta en los tejidos vegetales jóvenes.

La necesidad de Fósforo en las partes de la planta en crecimiento activo se cubren por la movilización de Fósforo inorgánico acumulado en los tejidos menos jóvenes. (Llanos, 1984, Marschner, 1986).

Es un constituyente de las enzimas y proteínas, es un componente estructural de fosfoproteínas, fosfolípidos, glucosa, ATP y ácidos nucleicos. Dado que es parte de los ácidos nucleicos, genes y cromosomas, juega un papel importante en el ciclo de vida de las plantas y es importante en el desarrollo reproductivo; fomenta la maduración temprana y la calidad del fruto; su presencia es necesaria en todos los procesos metabólicos (Marschner, 1986;

Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Bennet, 1994; Starr y Taggart, 1995 y Sánchez, 1999).

Está también involucrado en la fotosíntesis, en el almacenamiento y transferencia de energía y la formación de semillas (Vázquez y Ríos, 2000).

Potasio (K)

El potasio se absorbe en forma de K^+ ; la velocidad de absorción del Potasio por la planta es algo superior a la del Nitrógeno (Marschner, 1986; Kochian y Lucas, 1988).

Casi todo el Potasio que necesita el maíz lo toma en los primeros 80 días de vida; no obstante, en el primer mes, la velocidad de absorción potásica es relativamente lenta (Llanos, 1984).

El Potasio se requiere para el aumento de la turgencia en células especializadas de las plantas y así mantener el potencial osmótico de las células; esta regulación osmótica indica el rol que juega el potasio en las relaciones de la planta con el agua (absorción, asimilación, retención, transporte del agua a través de la planta) (Marschner, 1986; Andesirk y Andesirk, 1993; Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Tiene funciones en la estabilización del pH en la célula, ya que neutraliza la carga negativa de ácidos orgánicos y aniones inorgánicos como el Cl^- y el SO_4^{2-} . Es activador de más de sesenta enzimas en el tejido meristemático; con adecuado Potasio las paredes celulares son más gruesas y proveen más estabilidad, este efecto sobre el crecimiento celular normalmente aumenta la resistencia a plagas y enfermedades (resistencia a fitopatógenos) (Vázquez y Ríos, 2000).

Se requiere para la producción de mayor energía fosfatada (ATP) y está también involucrado en las funciones relacionadas con la absorción de Nitrógeno y síntesis de proteínas, metabolismo de lípidos, procesos fotosintéticos y en el metabolismo de carbohidratos, así como también en la calidad del fruto (Andesirk y Andesirk, 1993; Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Calcio (Ca)

El Calcio se encuentra en las plantas como pectato de calcio, un componente de las paredes celulares y dentro de las vacuolas como un precipitado de oxalato cálcico; está involucrado en la elongación y división celular (mitosis).

Tiene influencia sobre el pH de las células y en la estabilidad estructural así como en la permeabilidad de las membranas celulares. Actúa como ión regulador en la traslocación de carbohidratos y activador para algunas enzimas; tiene un efecto benéfico sobre el vigor de la planta y la rigidez del tallo y también en la formación del grano y semilla. (Marschner, 1986; Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Magnesio (Mg)

Es una parte esencial de la molécula de clorofila, es también un cofactor de numerosas enzimas incluyendo a la transfosforilasa, dehidrogenasa y la carboxilasa. El magnesio ayuda a la formación de azúcares, aceites y grasas; también activa la formación de cadenas polipeptídicas de aminoácidos.

Está involucrado en la respiración así como también es activador enzimático en el metabolismo de carbohidratos y síntesis de ácidos nucleicos,

es esencial para mantener la estructura del ribosoma (Marschner, 1986; Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Influye en la disolución de los fosfatos en el suelo (Vázquez y Ríos, 2000).

Azufre (S)

Es un constituyente de dos aminoácidos, la cisteína y la metionina, los cuales son esenciales para la formación de proteínas; está también involucrado en la formación de vitaminas (tiamina y biotina) y en la síntesis de algunas hormonas.

Es un constituyente estructural de distintas coenzimas y grupos prostéticos; está también involucrado en las reacciones de oxido-reducción y fotosíntesis. Es un componente de sulfolípidos (Marschner, 1986; Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Hierro (Fe)

Es esencial para la síntesis de la clorofila, está involucrado en la fijación del Nitrógeno, fotosíntesis y transferencia de electrones; como un transportador de electrones está involucrado en las reacciones de oxido-reducción, es también un componente estructural de sustancias involucradas en estas reacciones, como en la reducción del O_2 a H_2O durante la respiración.

El Hierro está involucrado en los sistemas enzimáticos respiratorios como una parte del citocromo y la hemoglobina y también en muchos otros sistemas enzimáticos; es requerido en la síntesis de proteínas, es un constituyente de hemoproteínas y proteínas sulfurerrosas; también actúa en

las enzimas, en la transferencia de electrones; de energía y en la fotosíntesis (Andesirk y Andesirk, 1993; Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Zinc (Zn)

Es un componente metálico en varios sistemas enzimáticos que funcionan como parte de los sistemas de transferencia de electrones y en la síntesis y degradación de proteínas.

El Zinc forma parte de la auxina, una de las enzimas más conocidas reguladoras del crecimiento de las plantas, además de estar involucrado en la biosíntesis del ácido indol-3-acético: algunos autores reportan que puede ser reemplazado en ciertas enzimas por otros elementos metálicos (Cobalto, Manganeso, Cadmio y Plomo) (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Manganeso (Mn)

Está involucrado en la evolución del O_2 en la fotosíntesis, es un componente de distintos sistemas enzimáticos, aunque en menor proporción que otros micronutrientes, como por ejemplo, es un activador de enzimas envueltas en el ciclo de Krebs; tiene funciones en los cloroplastos como parte de la transferencia de electrones en las reacciones oxido-reducción y sistemas de transporte de electrones. Es un componente estructural de diversas metaloproteínas y está involucrado en el crecimiento y la reproducción (Marschner, 1986; Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Cobre (Cu)

Es activador de enzimas (fenolasas, citocromo oxidasa, etc.); está involucrado en la formación de la pared y membrana celular, y como otros micronutrientes en el transporte de electrones y reacciones de oxidación. El cobre afecta a la formación y composición química de la pared celular (lignificación) (Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Boro (B)

Forma parte del transporte de azúcares a través de las membranas celulares y en la síntesis del material de la pared celular; tiene influencia en la transpiración a través del control de azúcares y la formación de almidón, también tiene influencia sobre el desarrollo celular y la elongación. El Boro afecta el metabolismo de carbohidratos y juega un papel importante en la formación de aminoácidos, síntesis de proteínas, floración y formación de semillas (Marschner, 1986; Resh, 1992; Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Molibdeno (Mo)

Funciona como un componente metálico de dos sistemas enzimáticos: es parte de la nitrato reductasa, la cual está involucrada en la reducción de NO_3^- a NH_4^+ después de ser absorbido por la planta. Es también un componente estructural de la nitrogenasa, la cual está involucrada en la fijación de N_2 en forma de amonio en las relaciones simbióticas con las leguminosas. (Marschner, 1986; Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Cloro (Cl)

Toma parte en la captura y al almacenamiento de la energía lumínica a través de la participación en las reacciones de fotofosforilación en la fotosíntesis.

No está presente como un metabolito verdadero pero sí como un anión móvil, está involucrado con el Potasio en la regulación de la presión osmótica, actúa como un anión en contrapeso para los cationes (Turgencia celular) (Marschner, 1995; Resh, 1992; Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Silicio (Si)

Forma complejos enzimáticos de silicio que actúa como protectores y reguladores de la fotosíntesis y otras actividades enzimáticas. Juega un rol en la rigidez estructural de la pared celular (Bennet, 1994).

Sodio (Na)

Está involucrado en la regulación osmótica y en algunos casos desempeña las funciones del Potasio (Bennet, 1994 y Sánchez, 1999).

Níquel (Ni)

Es constituyente de la enzima ureasa (Andesirk y Andesirk, 1993).

Vanadio (V)

Aunque no es considerado un elemento esencial, está involucrado en procesos de la planta como por ejemplo, promueve la síntesis de clorofila, realiza funciones en las reacciones oxido-reducción y ha sido mostrado como un sustituto del Molibdeno (Bennet, 1994).

Cobalto (Co)

El Cobalto está involucrado en el crecimiento de las plantas inferiores; aparentemente está involucrado en el desarrollo de organismos relacionados en la fijación del Nitrógeno (Marschner, 1986; Resh, 1992; Bennet, 1994; Sánchez, 1999; Andesirk y Andesirk, 1993, Starr y Taggart, 1995).

Desórdenes Nutrimientales

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 elementos minerales. Este desorden lo muestra la planta, bien externa, o internamente por medio de síntomas.

Una deficiencia o exceso de cada uno de los elementos esenciales da lugar a diferentes síntomas de las plantas, los cuales pueden utilizarse para identificar dicho desorden.

Los elementos se agrupan básicamente en aquellos que son móviles y los inmóviles, siempre teniendo diferentes grados de movilidad.

Los elementos móviles son aquellos que pueden trasladarse de una parte a otra de la planta, moviéndose desde los lugares originales de situación (hojas viejas) a las de regiones de crecimiento activo de la planta (hojas jóvenes) cuando ocurre una deficiencia. Esto da como resultado que los primeros síntomas aparezcan en las hojas más viejas de las partes más bajas de las plantas. Los elementos móviles son el magnesio, fósforo, potasio, zinc y nitrógeno.

Cuando ocurre una reducción de los elementos inmóviles, no hay ninguna traslocación de éstos a las regiones de desarrollo de las plantas, sino que permanecen en las hojas más viejas donde fueron originariamente depositados.

Así pues, los síntomas de deficiencia aparecerán en primer lugar, en las hojas más jóvenes de la parte superior de la planta. Los elementos inmóviles incluyen al calcio, hierro, azufre, boro, cobre y manganeso.

Los síntomas de deficiencia puede ser de cinco tipos:

1. Clorosis, la cual se presenta como un amarillamiento generalizado o intervenal del tejido vegetal, debido a la reducción de los procesos de clorofila.
2. Necrosis o muerte vegetal.
3. Inhibición del crecimiento de las yemas terminales, lo cual ocasiona un "arrosetamiento".
4. Acumulación de antocianina, lo cual provoca una coloración rojiza o púrpura de las hojas y de tallos.
5. Reducción del crecimiento con coloración normal, verde oscura o amarillamiento (Bennet, 1997).

Los desórdenes en un elemento a menudo interfieren la capacidad de la planta para acumular otros elementos, y rápidamente aparece un exceso o una deficiencia de dos o más elementos esenciales de forma simultánea; esto es particularmente cierto en las deficiencias nutrimentales.

A menudo, la deficiencia de un elemento permite un antagonismo hacia la absorción de otro elemento. Por ejemplo, la deficiencia de Boro puede causar también una deficiencia de calcio. La deficiencia de calcio puede permitir una deficiencia de potasio, y viceversa. (Resh, 1992).

Sinergismos y Antagonismos Nutrimientales

El sinergismo y el antagonismo son los casos más comunes de efectos interiónicos, los cuales afectan la absorción de los nutrimentos, aumentando o disminuyendo la velocidad de la misma (Fig. 5).

Competencia de iones (Antagonismo)

En general, transferir un ion de la solución externa al citoplasma requiere necesariamente llevar iones a los sitios más específicos en la superficie de la membrana plasmática, por lo que la competencia entre los iones de la misma carga eléctrica puede esperarse, asumiendo que el número de sitios libres es pequeño en relación al número o concentración de iones en competencia. Marschner (1986), menciona que la competencia ocurre particularmente entre los iones con las propiedades fisicoquímicas similares (la valencia y diámetro del ion), es decir, la presencia de un determinado elemento disminuye la absorción de otro, cuya toxicidad es así evitada; por ejemplo, el Ca^{+2} impide la absorción exagerada de Cu^{+2} (Malavolta, 1989).

Sinergismo

El sinergismo, como la competencia (Antagonismo), es un rasgo de interacción del ion durante la captación. La estimulación de absorción de cationes por aniones y viceversa se observa a menudo y es principalmente un reflejo de la necesidad de mantener el equilibrio de cargas dentro de las células. El sinergismo en la absorción también puede ser el resultado de un aumento en la actividad metabólica de las raíces cuando se proporcionan los nutrimentos minerales después de un periodo de suspensión. En experimentos a largo plazo que involucran diferentes tasas de crecimiento, cuando "la

concentración" o "la dilución" de los nutrimentos minerales en la materia seca juega un papel importante, la interpretación de efectos mutuos de iones durante la absorción es difícil y debe emprenderse con cuidado. (Marschner, 1986; De Rijck y Schrevens, 1997).

Cuando se regula la absorción del catión y la absorción del anión en forma diferente, las interacciones directas entre ellos no necesariamente ocurren.

La tasas diferentes de absorción de cationes y aniones requiere la compensación de cargas eléctricas tanto dentro de las células como en la solución externa.

La proporción de absorción catión/anión no sólo afecta el contenido de aniones y ácidos orgánicos en las células ya que también afecta el pH de la solución externa. El exceso de la absorción de aniones aumenta el pH externo, mientras que la absorción de cationes en exceso lo disminuye (Marschner, 1986; De Rijck y Schrevens, 1997).

Algunos ejemplos de sinergismos con ciertos elementos son los siguientes: Cuando el N es absorbido en forma amoniacal (catión NH_4^+), el mantenimiento en los tejidos de las plantas del equilibrio entre aniones y cationes, hace que se reduzca la absorción de otros cationes, tales como el calcio, el potasio y el magnesio; pero sí, como es lo más frecuente, el N es extraído en forma nítrica (anión NO_3^-), la misma ley de equilibrio interno actúa reduciendo la absorción de otros aniones (tales como el fósforo) del medio nutritivo. Por lo mismo, la absorción de fósforo se ve favorecida cuando la planta toma el N en forma amoniacal.

El potasio se intercambia con gran facilidad con otros metales, especialmente con los del grupo de los alcalinos y los alcalinotérreos (sodio, calcio y magnesio principalmente), tanto en los tejidos vegetales, como en la zona de absorción radicular.

Entre los cationes monovalentes la competencia entre K^+ y NH_4^+ es difícil, de explicar de manera simple porque se da la competencia para los sitios obligatorios de la membrana plasmática. Considerando que NH_4^+ es bastante eficaz compitiendo con K^+ , lo contrario (la inhibición de captación de NH_4^+ por K^+) no se observa. Esto parece bastante sorprendente, pero Mengel *et al.* (1976) obtuvo los resultados similares con arroz; estos autores asumieron que una proporción sustancial de nitrógeno del amonio no se toma en la forma de NH_4^+ por lo menos, pero que también NH_3 penetra la membrana del plasma después de la desprotonación, mientras deja un H^+ en la solución externa. Estudios con plantas inferiores indican esa desprotonación antes de la captación (infiltración como NH_3) podría aumentar de manera importante si las concentraciones de NH_4^+ del substrato son más altas (Bertl *et al.*, 1984). La inhibición de la captación de K^+ y otros cationes por NH_4^+ es entonces meramente un reflejo de la competencia para los cargos negativos dentro de las células, esto es, de las relaciones catión-anión.

De los nutrimentos minerales que se absorben como cationes, la afinidad del Mg^{+2} muy hidratado para los sitios obligatorios a la membrana plasmática de raíz parece ser particularmente bajo. Otros cationes, Mn^{+2} (Heenan y Campbell, 1981) y Ca^{+2} en particular, por consiguiente compite bastante y eficazmente con el Mg^{+2} , y por tanto la tasa de captación de Mg^{+2} es disminuida fuertemente. Esta fuerte competencia verifica las observaciones de

deficiencia del magnesio inducidas en cultivos por la extensa aplicación de potasio y fertilizantes del calcio.

El Magnesio mantiene un equilibrio dinámico con otros cationes en especial con el potasio y el calcio. Las características de su comportamiento en el intercambio catiónico de los tejidos de la planta lo sitúan en una posición intermedia entre el calcio y el potasio, por ejemplo, por lo que se refiere a la solubilidad de sus sales.

También se observa la competencia y la selectividad limitada de ligar los sitios a las membranas de plasma de raíz para los aniones. Los ejemplos representativos son la competencia entre SO_4^{-2} y MoO_4^{-2} (Pasricha *et al.*, 1977) y entre SO_4^{-2} y SeO_4^{-2} (Leggett y Epstein, 1956).

Otro tipo de competencia entre aniones ocurre entre Cl^- y NO_3^- . La entrada neta de NO_3^- se disminuye por Cl^- , y el Cl^- ya acumulado en las vacuolas parece ser particularmente eficaz con respecto a esto (Cram, 1973). En la producción de cultivos intensivos, la competencia del Cl^- puede usarse para disminuir el contenido de NO_3^- de especies tales como la planta de espinaca que tiende a aumentar una cantidad grande de NO_3^- y para usarse principalmente como un osmótico.

Finck (1969) citado por Larcher (1977) menciona los principales o los más comunes antagonismos y sinergismos presentes entre los nutrimentos:

El Mn^{+2} presenta sinergismo con Mg^{+2} y Zn^{+2} ; mientras que el K^{+1} presenta antagonismo con Ca^{+2} y sinergismo con NH_4^+ y Na^+ ; el Mg^{+2} presenta sinergismo con Mn^{+2} y Zn^{+2} y el Ca^{+2} presenta antagonismo con K^+ y Mg^{+2} .

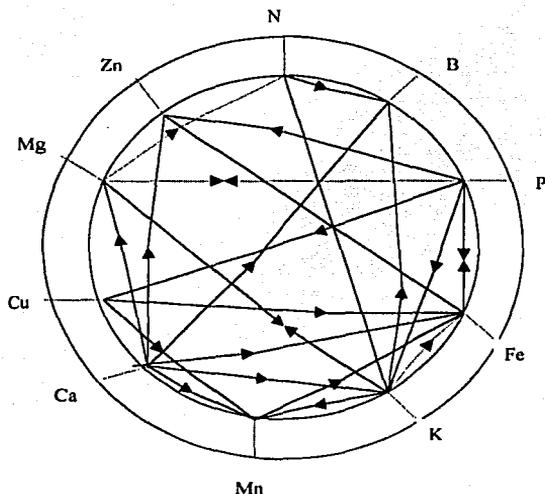


Fig. 5. Efectos sinérgicos y antagonísticos entre algunos elementos presentes en el suelo para su absorción por las plantas. Las líneas continuas indican antagonismo entre los elementos que unen. Por ejemplo, un exceso de Fósforo (P) reduce la absorción de Potasio (K), Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Zinc (Zn).

Las líneas discontinuas representan sinergismos entre los elementos que unen. Por ejemplo, un exceso de Magnesio (Mg) favorece la absorción de Nitrógeno (N) y Fósforo (P), tomado de Llanos (1984).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Diagnóstico Nutricional

La deficiencia de un elemento esencial para las plantas ocasiona la reducción del crecimiento de estas y afecta negativamente el rendimiento de los cultivos. Un elemento esencial tendrá que contenerse en cantidades suficientemente bajas o altas para que la deficiencia o toxicidad se manifieste de alguna manera en la planta.

La concentración de elementos nutrimentales en el tejido vegetal han sido ampliamente utilizados como indicadores del estado nutricional de las plantas (Sinclair *et al.*, 1997).

Existen diversas técnicas para diagnosticar los problemas nutrimentales de los cultivos y poder tomar medidas correctivas en el momento. Las técnicas comúnmente utilizadas para estos fines son: el diagnóstico visual, análisis químico de tejido vegetal, diagnóstico de la fertilidad de suelos y los bioensayos (Sánchez, 1999).

La relación que existe entre la concentración de un nutrimento en la planta y el rendimiento de ésta, constituye la base de la mayoría de los esquemas que se emplean en el análisis químico para evaluar el estado nutricional de un cultivo (Etchevers, 1988).

Los principales criterios utilizados para interpretar los resultados del análisis químico vegetal son los niveles críticos, los rangos de concentración y los índices nutricionales basados en las relaciones binarias de nutrimentos como en el método DRIS (Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación), (Palacios, 1986; Alcántar y Sandoval, 1999).

Requerimiento Interno

El requerimiento interno se refiere a la concentración de un nutrimento en toda la biomasa aérea de las plantas (y la subterránea cuando esta es la de interés) al momento de la cosecha o cuando se produce la mayor acumulación de materia seca, cuando el rendimiento es igual o cercano al que el agroecosistema permite, y cuando el cultivo no presentó consumo de lujo. El requerimiento interno es una constante del cultivo dentro de un rango normal de condiciones de crecimiento e independiente del rendimiento (Greenwood *et al.*, 1986; Rodríguez, 1993 a, b; Galvis *et al.*, 1994; Padilla-Cuevas, 1998).

Un concepto parecido al requerimiento interno es la concentración crítica. Este concepto es básico en la determinación de la condición nutritiva de los cultivos.

La concentración crítica generalmente se mide en un órgano específico, colectado en cierto momento del crecimiento (generalmente cuando la concentración se hace independiente de la edad del tejido), el cual se determina empíricamente (Padilla-Cuevas, 1998).

Nivel Crítico

Ulrich y Hills (1967) definen el nivel crítico como la concentración a la cual se obtiene de 90 a 95% de la respuesta máxima de un cultivo (figura 6). Desde el punto de vista agronómico Bates (1971) lo define como la concentración a la que las aplicaciones adicionales de nutrimentos no producen ningún beneficio. Por su parte, Sumner y Boswell (1977) mencionan que el nivel crítico es definido como un nivel de nutrimentos en el tejido de la planta abajo del cual la tasa de crecimiento, rendimiento o calidad declinan significativamente (5 al 10%) citados por Palacios-Alvarado (1986).

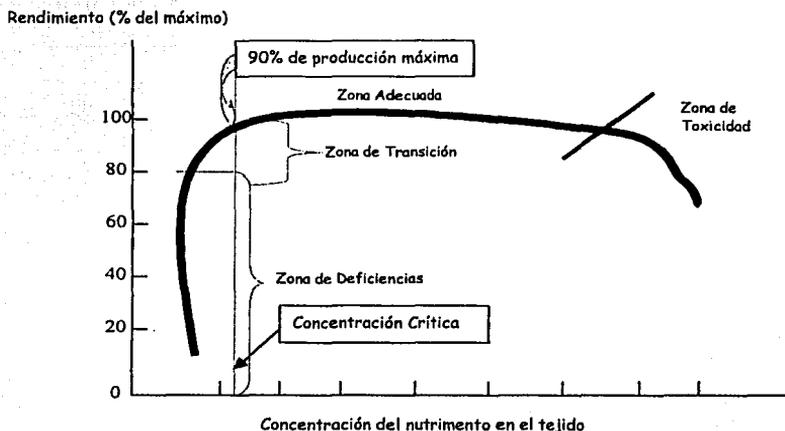


Fig.6. Derivación de la concentración nutritiva crítica, tomado de Etchervers (1988).

Los rangos críticos son intervalos de concentración que se asocian con algunas zonas determinadas de la curva resultante de relacionar los rendimientos con la concentración. En general, se reconocen las siguientes clases: deficiente, baja o marginal, nivel crítico de deficiencia, suficiente o adecuado, alta, nivel crítico de toxicidad y tóxico.

Síntomas de Deficiencia y Toxicidad de los Elementos Esenciales

Nitrógeno

Síntomas de Deficiencia: Se reduce el crecimiento y las plantas generalmente se vuelven amarillas (cloróticas) a causa de la pérdida de la Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal

clorofila, especialmente las hojas más viejas; posteriormente a que las hojas viejas presentan la coloración amarilla, este problema avanza hacia las hojas jóvenes y de manera progresiva avanza en toda la planta (Bennet, 1994). El tallo, los pecíolos y las superficies de las hojas del maíz pueden volverse púrpuras (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Marschner, 1995 y Samperio, 1997).

Se presenta un acortamiento del período vegetativo y se da la pérdida de hojas adultas (Vázquez y Ríos, 2000).

Síntomas de Toxicidad: Las plantas, normalmente, toman un color verde oscuro, con follaje abundante, pero a menudo con un sistema muy reducido de raíces (Samperio, 1997).

Fósforo

Síntomas de Deficiencia: Las plantas suelen parar su desarrollo y a menudo toman un color verde oscuro. Existe una acumulación de pigmentos de antocianina; los síntomas de deficiencia aparecen en las hojas más maduras; a menudo se atrasa la madurez de la planta. Se observa tallos y hojas pequeñas (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Marschner, 1995 y Samperio, 1997).

En el maíz la carencia de fósforo suele presentarse ya al comienzo del desarrollo vegetativo, lo primero que se aprecia son unas manchas de color púrpuro-amaratado a lo largo de los bordes de las hojas; después, los tallos se vuelven delgados y ahilados y las hojas y los tallos se vuelven color púrpura; la planta tiene un crecimiento lento y queda de un porte achaparrado. La escasez de fósforo induce un desarrollo incompleto de los estigmas, lo que da lugar a una mala polinización; las mazorcas granan mal y tarde, o incluso no se forman. (Llanos, 1984).

Síntomas de Toxicidad: Al principio no se notan los síntomas, algunas veces, las deficiencias de cobre o zinc ocurren ante un exceso de fósforo (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993 y Samperio, 1997).

Potasio

Síntomas de Deficiencia: Los síntomas son primero visibles en las hojas más viejas; en las dicotiledóneas, estas hojas se vuelven inicialmente cloróticas, pero pronto aparecen lesiones necróticas en toda la superficie. En muchas monocotiledóneas, los vértices y márgenes de las hojas se secan rápidamente (Resh, 1992).

En el maíz la falta de potasio puede producir los siguientes síntomas:

- * Tallos cortos (enanismo), con nudos de color pardo-oscuro fácilmente observable practicando un corte longitudinal en le tallo.
- * Alargamiento de las hojas, y reseca y oscurecimiento de sus bordes, seguido de necrosis (especialmente en las hojas bajas).
- * A veces, las mazorcas no granan bien y los granos en el extremo de las mismas quedan poco apretadas y se caen con facilidad (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Starr y Taggart, 1995 y Samperio, 1997).
- * Las hojas nuevas desarrollan una pigmentación roja o clorosis intervenla y una superficie brillante (Vázquez y Ríos, 2000).

Síntomas de Toxicidad: Normalmente no existe demasiada absorción de este elemento por las plantas; el exceso de potasio puede dar lugar a una deficiencia de magnesio y posiblemente deficiencias en manganeso, zinc o hierro (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993 y Samperio, 1997).

Azufre

Síntomas de Deficiencia: no suele encontrarse a menudo; generalmente aparece un amarilleo en las hojas que suele ser visible, en primer lugar en las más jóvenes.

Síntomas de Toxicidad: Existe una reducción en el crecimiento y tamaño de las hojas: estos síntomas en las hojas a menudo son difíciles de observar; algunas veces, las zonas entre los nervios amarillean y acaban por secarse (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993 y Samperio, 1997).

Magnesio

Síntomas de Deficiencia: Aparece una clorosis en las hojas, en la zona entre las nervaduras, desarrollándose, en primer lugar, en las más viejas. La clorosis puede empezar en los márgenes de las hojas o en los vértices y progresar hacia su parte interior entre las zonas de las nervaduras (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993 y Samperio, 1997).

En el Maíz, la carencia de Mg se manifiesta sobre todo en las hojas más viejas (las más cercanas al suelo), en donde los síntomas típicos son la aparición de manchas en forma de rayas blancuzcas a lo largo de las venas; el envés de las hojas puede a veces tomar un color púrpura (Llanos, 1984).

En las hojas altas, los síntomas son menos observados debido a un mecanismo de aviso por el que el Mg se moviliza hacia las partes más jóvenes de la planta.

Síntomas de Toxicidad: No existe información acerca de síntomas visuales (Resh, 1992).

Calcio

Síntomas de Deficiencia: El desarrollo de los tallos suele quedar inhibido y los extremos de las raíces pueden morir. Las hojas jóvenes se ven afectadas antes que las más viejas, volviéndose irregulares y pequeñas, con márgenes del mismo tipo y moteado de zonas necróticas (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993 y Samperio, 1997).

Síntomas de Toxicidad: Un exceso de Calcio puede inducir un déficit en potasio y magnesio, así como de algunos microelementos tales como el manganeso, hierro y zinc (Llanos, 1984).

Hierro

Síntomas de Deficiencia: Aparece una clorosis entre las nervaduras muy pronunciada, parecida a la causada por la deficiencia de magnesio, con la diferencia de estar situada en las hojas más jóvenes.

Síntomas de Toxicidad: En las condiciones naturales no se evidencia a menudo; después de pulverizaciones han aparecido algunos puntos necróticos (Resh, 1992).

Cloro

Síntomas de Deficiencia: Hojas marchitas que posteriormente se vuelven cloróticas y necróticas; algunas veces aparece un color bronceado. El desarrollo de la raíz es pobre y ésta se engruesa cerca de sus extremos.

Síntomas de Toxicidad: Quemado de los bordes y extremos de las hojas y el desarrollo general es muy bajo (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993 y Samperio, 1997).

Manganeso

Síntomas de Deficiencia: Los síntomas iniciales son a menudo una clorosis de la zona entre las nervaduras de la hojas, tanto jóvenes como viejas, según la especie, con posterioridad pueden aparecer lesiones necróticas y caída de las propias hojas. Desorganización del cloroplasto.

Síntomas de Toxicidad: Algunas veces aparece clorosis, existiendo una distribución irregular de la clorofila y provocándose una deficiencia en hierro; hay reducción en el crecimiento (Resh, 1992).

Boro

Síntomas de Deficiencia: Los síntomas varían según las especies; a menudo suelen morir los tallos y la zona meristemática apical de las raíces. Los vértices de las raíces a menudo se vuelven descoloridos y se hinchan. Los tejidos internos suelen desintegrarse (o decolorarse). Las hojas muestran síntomas variados, incluyendo engrosamiento, brillantez, rizado, marchites y moteado clorótico.

Síntomas de Toxicidad: El amarilleo del vértice de las hojas es seguido por una necrosis progresiva de éstas desde la zona basal hasta los márgenes y vértices (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993 y Samperio, 1997).

Zinc

Síntomas de Deficiencia: Reducción de la longitud de los internodos y del tamaño de las hojas. Los bordes de las hojas se distorsionan a menudo. Algunas veces aparece una clorosis entre las nervaduras, formando una banda ancha de tejido blanquizco que aparece desde la base hasta la punta (Hartmann *et al.*, 1988).

Síntomas de Toxicidad: El exceso de zinc produce comúnmente clorosis férrica en las plantas.

Cobre

Síntomas de Deficiencia: Esta deficiencia es rara de forma natural: Las hojas más jóvenes se vuelven comúnmente verde oscuro y se enrollan, frecuentemente aparece un moteado necrótico.

Síntomas de Toxicidad: Desarrollo reducido seguido por síntomas de clorosis férrica, acaparamiento, se reduce la formación de las ramas, engrosamiento y oscurecimiento anormal de la zona de las raíces (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Starr y Taggart, 1995; Samperio, 1997; Vázquez y Ríos, 2000).

Molibdeno

Síntomas de Deficiencia: A menudo se desarrolla una clorosis entre las nervaduras, primero en las hojas más viejas y después, de forma progresiva, en las más jóvenes (semejante a la deficiencia en nitrógeno). A veces, las hojas se ahuecan y aparecen quemaduras en sus bordes.

Síntomas de Toxicidad: Se observan raramente (Resh, 1992; Andesirk y Andesirk, 1993; Starr y Taggart, 1995; Samperio, 1997; Vázquez y Ríos, 2000).

Adaptabilidad

Los mecanismos de adaptabilidad que presentan las plantas a condiciones de estrés puede ser tanto de forma como función y pueden presentarse desde nivel celular, tisular, órgano o hasta individuo en donde el desarrollo de estos mecanismos responde a la deficiencia o toxicidad de los nutrimentos debido a las condiciones del suelo. (Montaño *et al.*, 1999; Quiroz *et al.*, 1999).

Las plantas presentan diversas estrategias para adaptarse a condiciones edáficas adversas, como por ejemplo la tolerancia y la evasión. (Marschner, 1991).

La Eficiencia Nutricional es otro mecanismo de adaptación de las plantas que consiste en utilizar las mínimas cantidades de nutrimentos disponibles en los suelos (Montaño *et al.*, 1999; Quiroz *et al.*, 1999). El concepto general para la eficiencia nutricional es que una planta de alguna forma cambia o hace algo mejor que otra planta reflejando su habilidad para producir una cosecha alta cuando existe una cantidad dada de cierto nutrimento (Clark, 1990; Marschner, 1991; Jungk, 1993).

Se ha mencionado que las plantas eficientes son aquellas que producen más materia seca o tienen un mayor incremento en la cosecha por unidad de tiempo, área o nutrimento aplicado, o por tener gran incremento y altas concentraciones de nutrimentos minerales que otras plantas creciendo en las mismas condiciones o al comparar con un genotipo estándar (Clark, 1990).

Las definiciones de eficiencia nutricional generalmente pueden ser divididas en aquellos que dan énfasis a la productividad y aquellos que dan énfasis al requerimiento interno de la planta.

Con respecto a los parámetros del rendimiento, se ha definido la eficiencia nutrimental como la habilidad de producir un alto rendimiento de la planta en el suelo, u otros medios que de otro modo limitarían la producción normal (Buso y Bliss, 1988; Graham, 1984).

Otras definiciones de eficiencia nutrimental, llamada también "eficiencia agronómica", incluye la producción de retoños de la planta por unidad de nutrimento aplicado (Blair y Cordero, 1978; Caradus, 1990; Moll *et al.*, 1987; Saric, 1982; Sauerbeck y Helal, 1990).

La respuesta de la cosecha por unidad de nutrimento agregado también se ha usado como una medida de eficiencia nutrimental (Baligar *et al.*, 1990; Blair, 1983; Thung, 1988).

Alternativamente, la eficiencia nutrimental enfatizando la utilización generalmente se define como la producción de biomasa total de la planta por unidad de nutrimento absorbido, lo que es equivalente a la concentración recíproca de nutrimento en la planta entera. Esto se llama a menudo "la proporción de eficiencia nutrimental" y se ha usado extensivamente para describir el requerimiento nutrimental interno en muchas especies agronómicas (Baligar *et al.*, 1990), y también en especies forestales (Prescott *et al.*, 1989).

Algunos investigadores han usado la cantidad de producto de la cosecha, en lugar de la biomasa de la planta total, por unidad de nutrimento absorbido (Blair y Cordero, 1978).

Siddiqui y Glass (1981) argumentan que la concentración recíproca de nutrimento no considera el rendimiento de la cosecha. Ellos sugirieren que una medida más apropiada de eficiencia nutrimental es el producto de los tiempos de rendimiento recíproco a la concentración del nutrimento que ellos llaman "la eficiencia de utilización."

Otros investigadores han usado "la eficiencia de absorción", que se define como la absorción del nutrimento por unidad de longitud de raíz, el área de la superficie, o peso, como medidas de eficiencia nutrimental (Blair y Cordero, 1978).

Clark (1990) define a la Eficiencia Nutrimental como la producción de grano por unidad de nutrimento aplicado.

Ciarelli *et al.* (1998) define la eficiencia de una planta como el proceso por el cual las plantas absorben, translocan, acumulan y usan los nutrimentos para la mejor producción de materia seca y/o grano en condiciones normales o adversas de nutrición.

Según Marschner (1992) la eficiencia en uso de un nutrimento o eficiencia fisiológica, se establece como la producción de materia seca por unidad de nutrimento en la propia materia seca.

En general, la eficiencia nutrimental de las plantas es su capacidad para producir la mayor cantidad de biomasa seca por unidad de mineral aplicado o absorbido. La eficiencia es un mecanismo de adaptación a los bajos niveles de nutrimentos que se dan en varios tipos de suelos.

Las diferencias genotípicas en eficiencia nutrimental, están relacionadas con variación en la eficiencia de adquisición de los nutrimentos por la raíz o por la diferente utilización de dichos nutrimentos por las plantas o ambas condiciones.

La eficiencia mineral de las plantas puede ser evaluada por diferentes vías. A partir de diferentes índices (Cuadro 2) que consideran relaciones entre acumulación de algún nutrimento con la biomasa seca total, de la raíz y la parte aérea, se puede hacer una diferenciación entre genotipos o entre especies.

Cuadro 2. Índices utilizados para evaluar la eficiencia mineral para N y P.

Índice	Autor		Modelo
Índice de Eficiencia	IE	Furlani y Filho, 1990	IE = Bio ² Tot/ Acu. Tot. de Nut.
Eficiencia de uso	UE	Rao, et al., 1995	UE = Bio vas / Acu. Tot. de Nut.
Eficiencia en partición de Biomasa	R/V	Marschner, 1995	R/V = Bio ra / Bio vas
Eficiencia de absorción de la raíz	ER	Jones, et al., 1989	ER = Acu. de Nut. / Bio ra
Eficiencia en la traslocación de la raíz	RUE	Soon, 1992	RUE = Acu. de Nut. / (R/V)
Eficiencia por intercepción radical	RUELra	Cruz y Vivanco, 1997	RUELra = Acu. de Nut. / (Bio ra) (Lra)

Las diferencias genótípicas en eficiencia nutrimental ocurren por varias razones, las cuales pueden estar relacionadas con la absorción, transporte y utilización de nutrimentos en las plantas (Cuadro 3); (Cruz, 1998; Cruz, 1999; Cruz, 2000).

La identificación de germoplasma o especies con diferentes eficiencias nutrimentales incluye la investigación de mecanismos morfológicos, fisiológicos, y bioquímicos potenciales involucrados (Gourley *et al.*, 1994).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuadro 3. Componentes de la Variación Genotípica que Influyen Sobre la Eficiencia Nutricional en Plantas (Tomado de Cruz, 2000).

<p>1. Adquisición del Ambiente.</p> <ul style="list-style-type: none">* Rasgos morfológicos de la raíz (eficiencia del sistema radical).a. Alta relación raíz / vástago ante estrés por deficiencia nutrimental.b. Gran desarrollo lateral y vertical del sistema radical.c. Alta densidad de raíces o superficie de absorción, más pelos radicales, sobre todo bajo estrés.<ul style="list-style-type: none">* Eficiencia fisiológica de absorción de iones por unidad de longitud de raíz.* Generación de condiciones reductoras de la raíz y aumento en capacidad quelante.* Aumento de "Extensión" de sus raíces por micorrizas.* Longevidad de las raíces.* Modificación de condiciones fisicoquímicas en su rizósfera para subsanar deficiencias minerales y tolerar toxicidades.
<p>2. Movimiento de nutrimentos a través de las raíces y liberación en el Xilema.</p> <ul style="list-style-type: none">* Transferencia lateral a través de la endodermis.* Liberación al Xilema.* Control de absorción de iones y su distribución por los sistemas de la raíz y de la parte aérea o en ambos.a. Distribución de iones entre raíz y tallo bajo deficiencia nutrimental.b. Regulación en absorción de nutrimentos y uso en nivel global.
<p>3. Distribución de nutrimentos dentro de las plantas.</p> <ul style="list-style-type: none">* Grado de retranslocación y reutilización bajo condiciones de estrés.* Almacenamiento y liberación de iones de la vacuola bajo deficiencia nutrimental.* Compuestos quelantes naturales en el Xilema.* Modificación en la tasa de abscisión foliar y tasa de hidrólisis.* Capacidad de almacenaje rápido cuando el nutrimento está disponible para un uso posterior.
<p>4. Crecimiento y eficiencia metabólica bajo estrés nutrimental.</p> <ul style="list-style-type: none">* Capacidad de funcionamiento normal ante concentraciones baja de nutrimentos en tejidos.* Sustitución de iones en funciones metabólicas.
<p>5. Diferente grado en poliploidía y nivel de hibridación.</p>

Ionómetros Específicos

En la década de los años 90 han adquirido gran importancia algunos medidores manuales, con nuevas tecnologías, para llevar a cabo pruebas rápidas *in situ* que permiten evaluar la concentración a nivel semicuantitativo, de algunos iones, principalmente para ser utilizados en campo e invernadero, aunque su precisión y reproducibilidad han favorecido su aplicación con numerosas ventajas a nivel de laboratorio. El caso de los ionómetros específicos (Cardy-meter, Horiba) para cuantificar NO_3^- , H_2PO_4^- , K^+ y Na^+ en agua, solución del suelo y extractos de pecíolos o tejido vegetal en general, son un claro ejemplo de estos nuevos instrumentos.

Medidor de Clorofila SPAD-502

Otro instrumento que en años recientes ha adquirido gran popularidad, casi en todo el mundo, es el medidor de clorofila SPAD-502, Minolta; el cual es compacto, ligero y de un precio accesible y se utiliza para determinar la cantidad de clorofila presente en las hojas de las plantas.

La clorofila en sus varias formas, es el pigmento fotosintético primario en plantas superiores. El contenido de clorofila se correlaciona con la concentración de Nitrógeno en hoja, porcentaje de fertilizante nitrogenado y el rendimiento Lohry y Schepers (1988) citados por Bullock y Anderson (1998).

El medidor Minolta SPAD (Minolta Camera Co., Ltd., Japan) es un espectrómetro manual usado para medir la coloración verde relativa de las plantas de una manera rápida y no destructiva. El medidor SPAD ha sido desarrollado primeramente para el manejo de Nitrógeno en la producción de arroz y fue creado con este propósito en Japón (Turner y Jund, 1991; Minolta, 1990).

Los valores de las lecturas en el SPAD-502 corresponden a la cantidad de clorofila presente en la hoja de la planta, los cuales son calculados con base en la cantidad de luz transmitida por la hoja en dos rangos de longitud de onda, en los que la absorbancia de la clorofila es diferentes, la región roja donde la absorbancia es alta y la región infrarroja donde la absorbancia es mínima (Aicántar y Sandoval, 1999).

El SPAD-502 detecta la diferencia en la disminución de la luz sobre la superficie de la hoja entre los 430 y 750 nm, y muestra una unidad numérica SPAD, en un rango de 0 a 80 (Wood *et al.*, 1992).

Las lecturas del SPAD han sido utilizadas para correlacionar positivamente con el Nitrógeno foliar y la concentración de clorofila foliar (Schepers *et al.*, 1992) y la clorofila extractable en veinte especies de plantas diferentes (Bullock y Anderson, 1998; Shadchina y Dmitrieva, 1995; Reaves *et al.*, 1993 y Rodríguez, 1998).

Existe una estabilidad de la interrelación entre la clorofila y el contenido de materia seca y entre la clorofila y el contenido de nitrógeno total favorecido principalmente en especies cultivadas bajo el contraste de condiciones ambientales (Shadchina y Dmitrieva, 1995).

El nitrógeno (N) se encuentra estrechamente asociado con la clorofila del follaje, por lo que las lecturas del medidor de clorofila son un magnífico indicador del estado nutricional nitrogenada en los cultivos. De esta forma, el medidor SPAD-502 permite detectar una potencial deficiencia de Nitrógeno, por lo que representa una valiosa herramienta para mejorar los programas de manejo de nitrógeno (Quiroz *et al.*, 2000).

Objetivo General:

Determinar el efecto de las relaciones nutrimentales N/P y N/K, en la eficiencia en uso de estos nutrimentos, en la productividad, en el contenido de clorofila y su relación con los síntomas visuales en maíz.

Objetivos Particulares:

- Conocer en diferentes edades los balances N/P y N/K más propicios para el desarrollo del cultivo.
- Comparar la producción de biomasa por efecto de las variaciones en las relaciones nutrimentales N/P y N/K en dos genotipos de maíz con diferente eficiencia nutrimental.
- Determinar los diferentes índices de eficiencia de uso N, P y K en Maíz.
- Encontrar la correlación entre el contenido de clorofila (lecturas SPAD) y valores de N-total, P y K en diferentes edades de cultivo.

Supuesto:

Por aspectos de sinergismos y antagonismos nutrimentales la variación en la relación N:P y N:K en las soluciones nutritivas como en el suelo influye sobre la eficiencia nutrimental.

Hipótesis:

Con el conocimiento de los balances nutrimentales, así como su relación con la eficiencia, se puede estimar las cantidades correctas de nutrimentos que necesita la planta para obtener el máximo rendimiento posible ante carencia o baja disponibilidad de los mismos.

Justificación

El maíz, uno de los cultivos legendarios en México es y ha sido de capital importancia en aspectos como el social, el cultural y principalmente el económico, pues actualmente y a lo largo de siglos es el principal sostén de muchas familias, por lo que realizar estudios relacionados a esta planta son y seguirán siendo de vital importancia; es por esto, que el presente trabajo pretende conocer los balances nutrimentales adecuados para esta planta, y por lo tanto se podrá disminuir la utilización de fertilizantes y se contribuirá a la preservación y conservación de los recursos evitando una pérdida irreparable de suelos y por tanto de nuestra biodiversidad.

Materiales y Métodos:

Para el estudio de las relaciones nutrimentales N/P y N/K se utilizaron dos genotipos de Maíz diferentes en eficiencia de uso de N y P (Cruz-Flores *et al.*, 2001).

Genotipos

Maíz V-23	Más Eficiente
Maíz Pinto (Negro)	Menos Eficiente

Se realizaron pruebas de germinación colocando cuatro lotes de 100 semillas en agrolita, regando con agua destilada cada tercer día.

Para el experimento se pusieron diez lotes de 20 semillas para cada genotipo en macetas de unicel, utilizando como sustrato agrolita y regando cada tercer día con agua destilada durante la primera semana y con solución nutritiva completa (contiene todos los nutrimentos) durante la segunda semana (Cuadro 4).

Para el estudio de las relaciones nutrimentales se prepararon 6 tipos de solución nutritiva cuyos valores de referencia o normales corresponden a la relación N/P de 10:1 y para N/K de 2:1, los cuales son los valores medios obtenidos de la Subprovincia de Mil Cumbres, Estado de México (Hernández, 1998). Para la definición del cuadro de tratamientos se utilizó una relación N/P y N/K abajo y otra arriba de la normal (Cuadro 5).

BALANCE NITRÓGENO /FÓSFORO			
10 : 1	14 N y 1.4 P	NORMAL	K = CTE. = 7
6 : 1	8.4 N y 1.4 P	DEF. EN N	
14 : 1	14 N y 1 P	DEF. EN P	
BALANCE NITRÓGENO /POTASIO			
2 : 1	14 N y 7 K	NORMAL	P = CTE. = 1.4
1 : 1	7 N y 7 K	DEF EN N	
3.5 : 1	14 N y 4 K	DEF EN K	

Cuadro 5. Balances de los Nutrientos (N, P y K) de acuerdo a lo obtenido por Hernández (1998).

Cada unidad experimental constó de una cubeta de una capacidad aproximada de cinco litros, un hule espuma que mide aproximadamente 20 cm de espesor, agrolita, una manguera de un centímetro de diámetro para el drenado de la solución, conectada a una botella de litro y medio, y su tapa con cinco orificios uno de los cuales sirvió para el suministro de la solución. (Figura 7 y 8).

A dos semanas de que las plantas germinaron, se realizó el trasplante, colocando una planta en cada orificio, y utilizando individuos de talla semejante, además se colocaron en cada unidad experimental cuatro litros de solución nutritiva (con el tratamiento correspondiente) el día del trasplante.

El drenado de la solución nutritiva (aproximadamente litro y medio) se hizo una vez al día, pues de esta forma las raíces de las plantas recibieron tanto el oxígeno necesario como el abastecimiento de la misma solución. El cambio de la solución nutritiva se hizo cada semana.

A partir de la semana 8 se empleó la Técnica del Elemento Faltante debido a que las plantas en todos los tratamientos mostraban uniformidad, esto es, eliminamos el nutrimento que suponíamos sería deficiente de acuerdo a lo reportado por Hernández (1998): (Cuadro 6).

BALANCE NITRÓGENO /FÓSFORO			
10 : 1	14 N y 1.4 P	NORMAL	K = CTE. = 7
6 : 1	- N y 1.4 P	DEF. EN N	
14 : 1	14 N y - P	DEF. EN P	
BALANCE NITRÓGENO /POTASIO			
2 : 1	14 N y 7 K	NORMAL	P = CTE. = 1.4
1 : 1	- N y 7 K	DEF EN N	
3.5 : 1	14 N y - K	DEF EN K	

Cuadro 6. Balances nutrimentales (N, P y K) considerando la Técnica del Elemento Faltante.

Cada tercer día se midió el pH y la conductividad eléctrica para conocerlos y mantenerlos en los rangos estandarizados para que se dé adecuadamente la absorción de los nutrimentos, esto se realizó durante los primeros 45 días del experimento (Anexo 2).

Se realizó la medición de clorofila semanalmente (obteniendo el valor medio por unidad experimental), con un medidor portátil de clorofila SPAD-502 (*Soil Plant Analysis Development*) (Rodríguez, 1998).

Se realizó un seguimiento fotográfico para detectar variaciones en la coloración de las plantas a partir de los 61 días.

Durante la cosecha se tomó el peso fresco de la parte aérea y de la raíz, se lavaron con agua de la llave y destilada; se colocaron en bolsas de papel para realizar el secado.

Se secaron en la estufa a 65-80°C.

Se molieron y tamizaron con malla del No. 20 para el análisis químico de la planta (N, P y K).

El análisis químico de Nitrógeno se realizó por el método microkjeldahl, Fósforo por el método Vanadomolibdico y Potasio por absorción atómica.

Se obtuvieron los índices de Eficiencia para cada nutrimento y por genotipo:

Índice de Eficiencia de uso UE (Rao, *et al.* , 1995)

$$UE = \text{Biomasa de vástago} / \text{Acumulación Total de Nutrimento}$$

Índice de eficiencia IE (Furlani y Filho, 1990)

$$IE = \text{Biomasa}^2 \text{ Total} / \text{Acumulación Total de Nutrimento}$$

Índice de Eficiencia en partición de biomasa R/V (Marschner, 1995)

$$R/V = \text{Biomasa raíz} / \text{Biomasa vástago}$$

Cuadro 7. Índices utilizados en el experimento

Se analizaron los datos en el paquete estadístico SAS comparando las diferencias entre tratamientos, los genotipos, clorofila así como los índices de eficiencia, con un coeficiente de correlación de Pearson, análisis de varianza (Modelo Lineal General) seguido de una prueba de diferencias de medias Tukey (SAS, 1985, Infante y Zarate, 1997; Martínez, 1990).

Diseño Experimental:

El experimento tuvo un arreglo factorial:

$$6 \text{ Trat.} \times 2 \text{ Gen.} \times 5 \text{ Rep.} = 60 \text{ u.e.}$$

Con un arreglo experimental de bloques al azar.

SOLUCIÓN NUTRITIVA COMPLETA

Compuesto Químico	Sulfato de amonio	Nitrato de Calcio	Sulfato de Potasio	Sulfato de Magnesio $7H_2O$	Fosfato Monobásico de Sodio	Ácido Bórico	Cloruro de Manganeso	Sulfato de Zinc	Ácido Molibdico	Fe-EDTA
Unidades	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	meq L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg L ⁻¹	mg Kg ⁻¹
Concentración	3	15	9	6	1.8	2.86	1.81	0.22	0.08	2.6

Cuadro 4. Compuestos químicos utilizados como fuente de cada uno de los nutrimentos.

NOTA: Cada meq L⁻¹ = mL/L.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

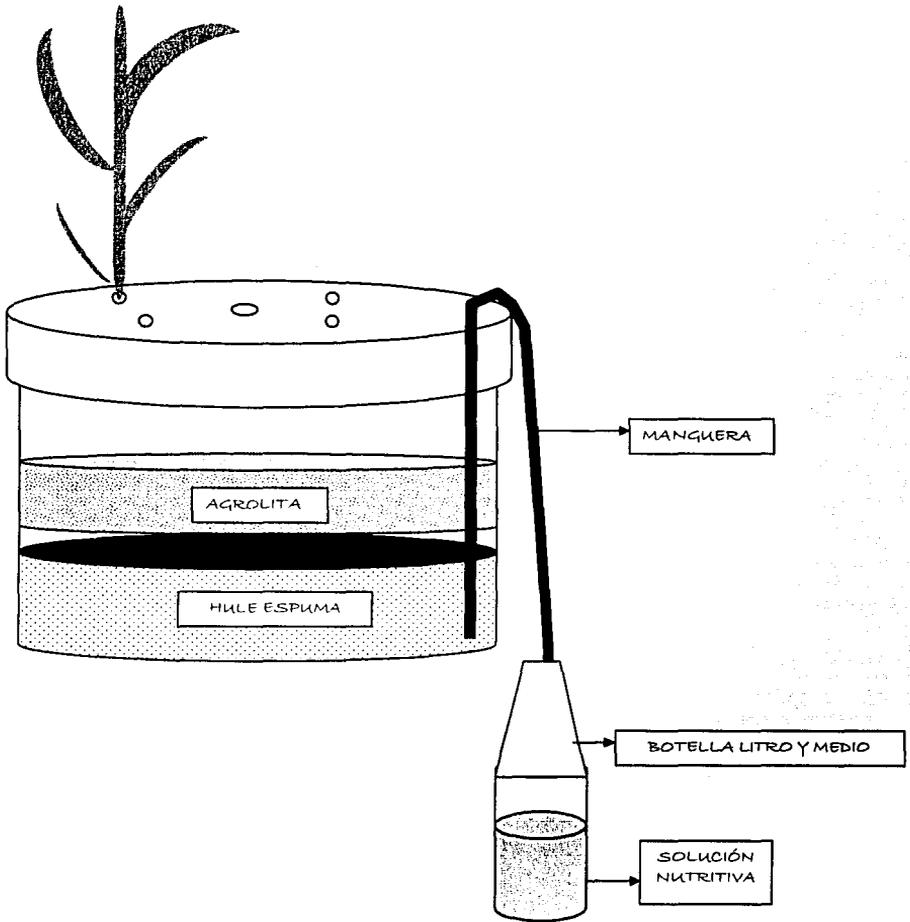


Figura 7. Componentes del Cultivo Hidropónico (Esquema representativo del Drenaje de la Solución Nutritiva).

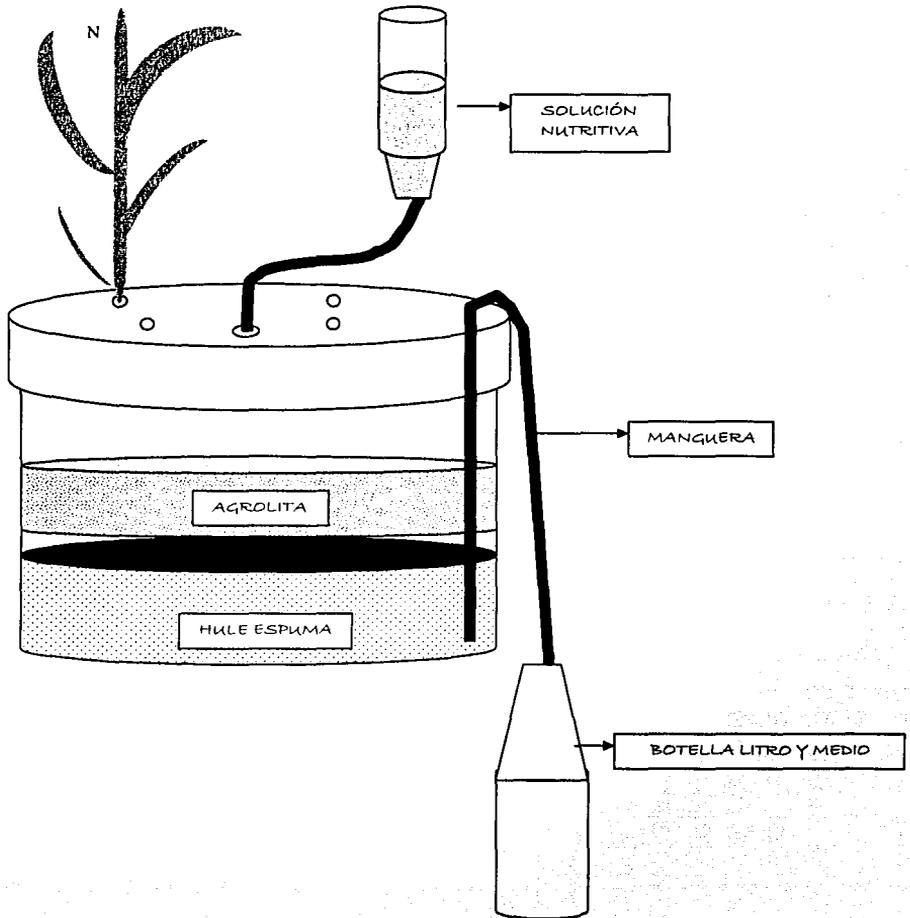


Figura 8. Componentes del Cultivo Hidropónico. (Esquema representativo del Suministro de Solución Nutritiva).

Resultados y Discusión

Biomasa Total

Los resultados obtenidos demostraron que el Maíz V-23 tuvo en el promedio general la mayor producción total de biomasa (473 g) con una diferencia con respecto a Maíz Pinto de 110 g (aproximadamente 24% mayor).

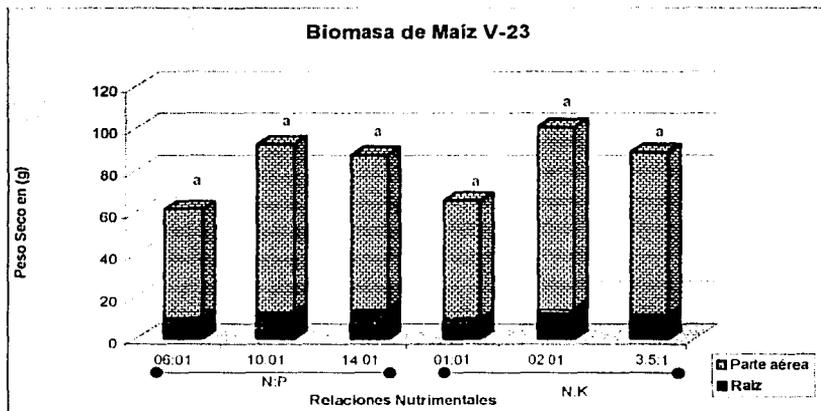


Figura 9. Biomasa de Maíz V-23. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey.

Esta diferencia notable de aproximadamente un 25% más producción de biomasa en el genotipo V-23 (más eficiente) es de gran importancia en términos económicos, sin embargo, a pesar de ello estadísticamente no se presentaron diferencias significativas (Figura 9 y 10). Los resultados encontrados en esta investigación confirman al maíz V-23 como una variedad más eficiente (mayor producción de biomasa producida por unidad de

nutrimento absorbido o aplicado) respecto al maíz Pinto clasificado como menos eficiente (Cruz, *et al.* 2001).

Al comparar todos los tratamientos en los dos maíces estudiados, la mayor producción de biomasa se obtuvo con la relación N:P 14:1 en el maíz Pinto (77 g) y con la relación N:K 2:1 en el V-23 (98 g), mientras que la relación N:P 6:1 afectó la producción de ambos genotipos, pues en esta se tuvieron 40% menos respecto a los tratamientos de las relaciones indicadas.

Como se indicó, en la sección de materiales y métodos la relación N:P 6:1 es condición de carencia o deficiencia de Nitrógeno, esto explica la baja producción de biomasa de ambos genotipos en este tratamiento y a pesar de ello, en la comparación entre genotipos V-23 produjo cerca de 20 g más que Pinto.

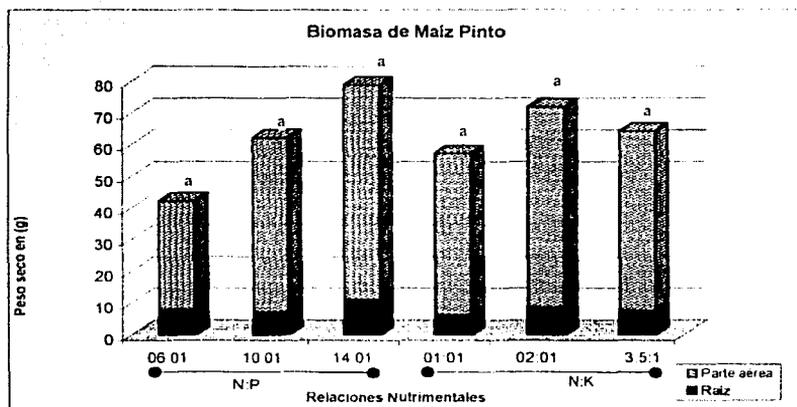


Figura 10. Biomasa de Maíz Pinto. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P < 0.05$ Tukey.

Un aspecto relevante en la relación N:P 14:1 respecto al maíz Pinto es que en ella, este maíz alcanzó la mayor producción de biomasa, tal vez por ser un genotipo que se ha desarrollado en suelos de baja disponibilidad de Fósforo (Montaño, Quiroz y Cruz, 1999) como es el caso de los Andosoles en Villa de Allende, México que es el lugar de donde proviene.

A pesar de la fuerte diferencia en producción de biomasa entre las relaciones nutrimentales estudiadas, en ambos genotipos, no se tuvieron diferencias estadísticas significativas, aunque la variación de biomasa fue de aproximadamente entre 8 y 35% (Figura 9 y 10).

Producción de Biomasa en las Relaciones N:P

La mayor producción de biomasa en las relaciones N:P, la presenta el genotipo V-23, que produce un 25% más que maíz Pinto.

Ambos genotipos fueron susceptibles a la disminución de cuatro unidades de Nitrógeno por unidad de Fósforo (relación N:P 6:1), mostrando los valores más bajos (40-58 g) aproximadamente.

En el genotipo V-23, la relación N:P considerada como óptima 10:1 presentó la mayor producción de biomasa, sin embargo, en maíz Pinto no sucedió, ya que la relación N:P 14:1 considerada como deficiente de Fósforo obtuvo los valores más altos (73 g) en comparación con la relación N:P 10:1 (60 g), posiblemente por su capacidad de generación de mecanismos de adaptación a suelos con baja disponibilidad de este elemento ya que proviene de una región que posee suelos ácidos (figuras 9 y 10).

Producción de Biomasa en las Relaciones N:K

En cuanto a las relaciones N:K, la mayor producción de biomasa la obtuvo el maíz V-23 produciendo un total de 242 g (22% más que Pinto), confirmando su mayor eficiencia.

En ambos genotipos se observó la mayor producción de biomasa en la relación "óptima", mientras que la relación N:K 1:1 afectó la producción de biomasa de ambos maíces pues se obtuvieron valores menores a los 63 g de biomasa, un 28% menos que la relación ideal, siendo V-23 el más susceptible a la disminución de una unidad de Nitrógeno por unidad de Potasio, reduciendo aproximadamente 40% la producción.

La relación N:K 3.5:1 no afectó visiblemente a la producción de biomasa en ambos genotipos, observándose diferencias en la generación de esta menor al 15% con respecto a la relación ideal (2:1).

Producción de Biomasa de Raíz

Se observó la misma tendencia que la producción total demostrando la mayor eficiencia de V-23; en las relaciones N:P la mayor producción la presenta la relación 14:1 en ambos genotipos debido a que con esta relación se fomentó una deficiencia o carencia de Fósforo, lo que conlleva que los genotipos desarrollen mecanismos de adaptación para sustentar este problema resultando en un mejor y mayor desarrollo radical como lo presentan en suelos con baja disponibilidad o carencia del nutrimento (Montaño, Quiroz y Cruz, 1999).

En las relaciones N:K la mayor producción de biomasa seca de Raíz lo presenta la relación 2:1 y la menor, la relación 1:1 indicando con esto, que la

disminución en una unidad de Nitrógeno por unidad de Potasio si afecta en cuanto a producción de Raíz.

Acumulación de Nutrientes (N, P y K)

Fisiológicamente la acumulación de un nutriente, es una propiedad importante en la nutrición de las plantas y a diferencia de la concentración, nos ayuda a conocer el nivel crítico de un nutriente, mientras que la concentración solamente nos indica la cantidad de un elemento por unidad de solución o compuesto (Farhoomand y Peterson, 1968).

Acumulación de Nitrógeno

En la figura 11 se presentan los valores de acumulación de Nitrógeno como respuesta al suministro de las diferentes relaciones nutrimentales estudiadas.

Al comparar ambos genotipos, se observó que V-23 acumuló más nutriente (aproximadamente 2410 mg.g^{-1}) un 24% más que Pinto, valores que se corresponden a la producción de biomasa (figura 9 y 10), en los cuales se observó el efecto que tienen los tratamientos sobre la producción de biomasa, ya que se observó algo similar en las relaciones N:P donde el aumento o disminución de Nitrógeno provocaba una variación de la producción de biomasa como se esta presentando en la acumulación de Nitrógeno.

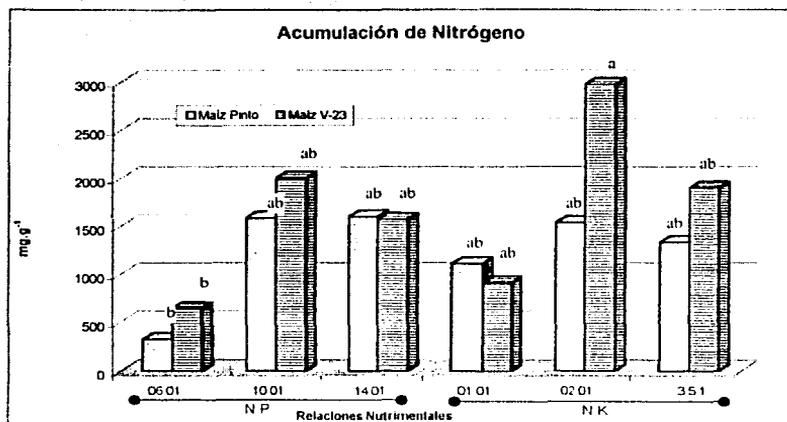


Figura 11. Acumulación de Nitrógeno en mg g^{-1} . Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey.

De las relaciones N:P (6:1, 10:1 y 14:1), la mayor acumulación de Nitrógeno, se obtuvo en el tratamiento 10:1 en el que los valores de Nitrógeno acumulado fueron de 1500 y 2000 mg g^{-1} de materia seca, mientras que la menor acumulación de este nutriente se tiene en la relación 6:1.

En promedio, en la condición de deficiencia de N (N:P 6:1) la acumulación de este elemento fue cuatro veces menor.

En la condición de suficiencia de Nitrógeno y deficiencia de Fósforo (N:P 14:1), la acumulación de nutriente se encontró entre los 1500 mg g^{-1} de materia seca en ambos genotipos, solo que al relacionarlos con la biomasa, se observó que esta acumulación de Nitrógeno en Pinto fue en mayor cantidad de materia seca; considerando lo anterior se pudo apreciar que V-23 acumula

mejor el nutrimento, ya que Pinto requirió producir mayor biomasa para acumular cantidades similares de Nitrógeno.

En las relaciones N:K (1:1, 2:1 y 3.5:1), la mayor acumulación la presentó la relación 2:1 considerada como "óptima" en ambos genotipos, oscilando los valores entre 1500-3000 mg.g^{-1} de materia seca, mientras que la menor acumulación la presentó la relación 1:1 considerada como relación con carencia o insuficiencia de Nitrógeno, teniendo valores entre los 900 y 1100 mg.g^{-1} .

En el genotipo Pinto la diferencia entre la relación óptima y la carente de este nutrimento fue de 500 mg.g^{-1} , mientras que en V-23 fue de 2000 mg.g^{-1} , lo que indicó la susceptibilidad del genotipo a esta relación.

En la relación N:K 3.5:1, el maíz Pinto mostró una diferencia con respecto a la relación N:K 2:1 de 300 mg.g^{-1} , mientras que el maíz V-23 tuvo una diferencia de 1000 mg.g^{-1} , lo que indicó que el genotipo V-23 es más susceptible a la relación existente entre el Nitrógeno y el Potasio.

Acumulación de Fósforo

En la figura 12 se muestran los resultados obtenidos de acumulación de fósforo con el suministro de los diferentes tratamientos, los cuales demostraron que V-23 acumula un 8% más de fósforo que Pinto.

La mayor acumulación de fósforo en las relaciones N:P la presentó el tratamiento 10:1 en ambos genotipos, mientras que la menor acumulación la presentaron ambos maíces en la relación 14:1 (considerada como carente o insuficiente de fósforo, existiendo una diferencia entre estas relaciones del 75%.

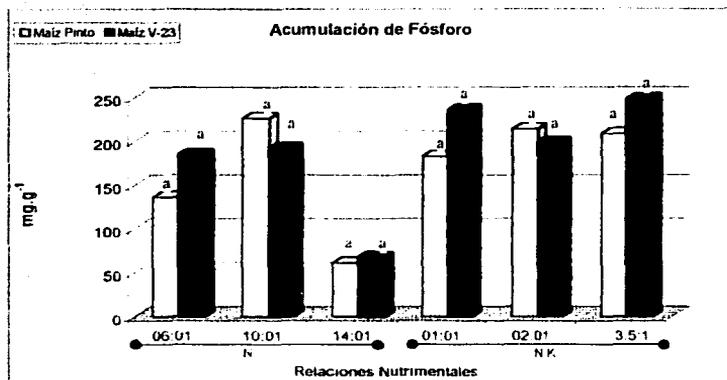


Figura 12. Acumulación de Fósforo en mg.g^{-1} . Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey

Al relacionar los resultados de acumulación de Fósforo con la biomasa (figura 9 y 10) se observó que en la relación N:P 14:1 es donde maíz Pinto alcanzó la mayor producción de biomasa y V-23 obtuvo valores muy cercanos a la relación ideal, lo que mostró que fue muy poco nutrimento acumulado considerando la producción de biomasa que se obtuvo en este genotipo.

En la relación N:P 6:1 los valores que se obtuvieron no son bajos, aunque V-23 si demostró una mayor susceptibilidad a la carencia de Nitrógeno.

Con respecto, a las relaciones N:K, los valores obtenidos en los tres tratamientos (1:1, 2:1 y 3.5:1) son altos, oscilando entre los 182 y 248 mg.g^{-1} , mayores que los obtenidos en las relaciones N:P.

Esto demostró la correspondencia entre el fósforo y el potasio, ya que las relaciones N:K favorecen el aumento en la acumulación de fósforo en ambos genotipos y con cada uno de los tratamientos involucrados.

Acumulación de Potasio

Los resultados obtenidos mostraron que existe una diferencia entre genotipos de 3406 mg.g⁻¹ de nutrimento acumulado (26%) entre genotipos siendo V-23 el maíz que presentó mayor acumulación.

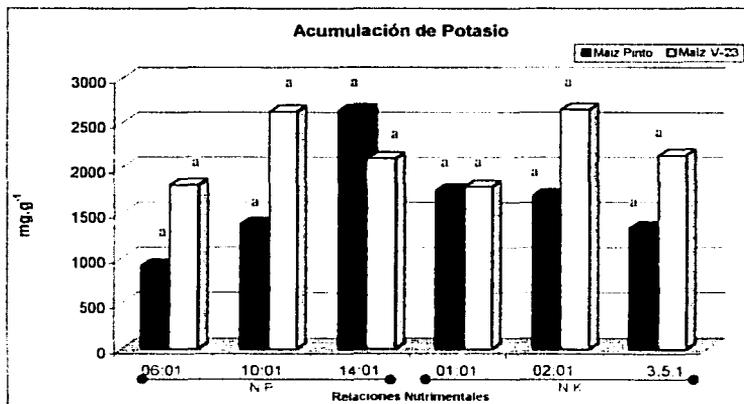


Figura 13. Acumulación de Potasio en mg.g⁻¹. Letras diferentes indican diferencias significativas a P < 0.05 Tukey.

La mayor acumulación de Potasio obtenida se produjo en el tratamiento N:P en la relación 10:1 para maíz V-23 y en la 14:1 para maíz Pinto, mientras que las menores acumulaciones del nutrimento se observó en la relación 6:1 en ambos genotipos, oscilando los valores entre los 921 y 1814 mg.g⁻¹, similar a lo observado en la acumulación de nitrógeno; lo que mostró la estrecha relación existente entre el Nitrógeno y el Potasio, ya que este último se requiere en grandes cantidades por las plantas como es el caso del Nitrógeno y Fósforo.

cuando existe una deficiencia de este nutrimento resulta usualmente en el decremento de la acumulación y la producción (Pujos y Morard, 1997).

En las relaciones N:K, el maíz V-23 presentó con la relación 2:1 el valor más alto con la acumulación, mientras que la más baja fue en la relación 3.5:1 en maíz Pinto.

Al comparar los valores obtenidos de acumulación de fósforo (figura 12) con la acumulación de potasio, se encontró una relación inversamente proporcional entre los nutrimentos, ya que en la relación 14:1, donde existió una disminución en la acumulación de fósforo, aumento en ella el contenido de potasio (figura 12 y 13); en la relación 3.5:1 donde hubo una insuficiencia en el suministro de potasio y por lo tanto, hubo un déficit en el contenido de potasio aumento la acumulación de fósforo de forma considerable principalmente en el genotipo con baja eficiencia.

Lecturas de Clorofila

La clorofila, en sus varias formas es el pigmento fotosintético primario en plantas superiores, responsable de proporcionar el color verde de las plantas.

El medidor Minolta SPAD es un espectrómetro manual usado para medir la relativa coloración verde de las plantas de una manera rápida y no destructiva (Bullock y Anderson, 1998).

Los medidores de clorofila han sido usados para evaluar la absorción de nitrógeno, debido a la estabilidad de la interrelación entre la clorofila y el contenido de materia seca y entre la clorofila y el contenido de nitrógeno total (Shadchina y Dmitrieva, 1995), ya que los cloroplastos contienen un 70% del

nitrógeno total de la hoja, y consecuentemente las hojas más verdes son las mejores correlacionadas con el contenido de Nitrógeno (Ma y Dwyer, 1997). Las figuras 14, 15, 16 y 17 corresponden a los valores de las lecturas de clorofila con respecto al tiempo, considerando la edad desde la siembra en cada uno de los genotipos con los diferentes tratamientos.

Lecturas de Clorofila en las Relaciones Nutrimientales N:P

Se encontró que en maíz Pinto (figura 14) así como en maíz V-23 (figura 15), los valores más bajos de unidades SPAD corresponden al tratamiento 6:1 (considerado como bajo o deficiente de Nitrógeno), manteniéndose más o menos constante a menos de 30 unidades SPAD.

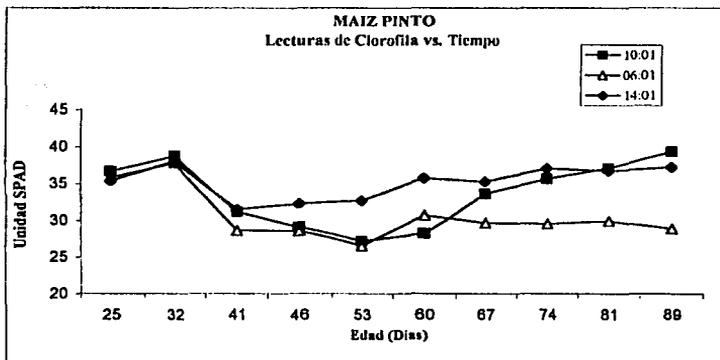


Figura 14. Lecturas de Clorofila a través del tiempo en Maíz Pinto con las Relaciones Nutrimientales N:P (10:1, 6:1 y 14:1).

Cada dato es el promedio de 60 lecturas que consideran la base, la parte media y apical de las hojas más jóvenes en el momento de la determinación.

Conforme a los tratamientos N:P 10:1 y 14:1, la cantidad de clorofila aumentó a partir de los 53 días, lo que mostró que hasta antes de los dos meses de edad de las plantas, no presentaron un cambio significativo (figura 14 y 15).

En maíz Pinto se observó que los valores de unidades SPAD del tratamiento N:P 14:1, presentaron los valores más altos que en el tratamiento con la relación "ideal" (10:1), igualándose a los 81 días y superando en el contenido de clorofila las plantas con solución completa a las plantas que tuvieron una insuficiencia de fósforo a los 89 días.

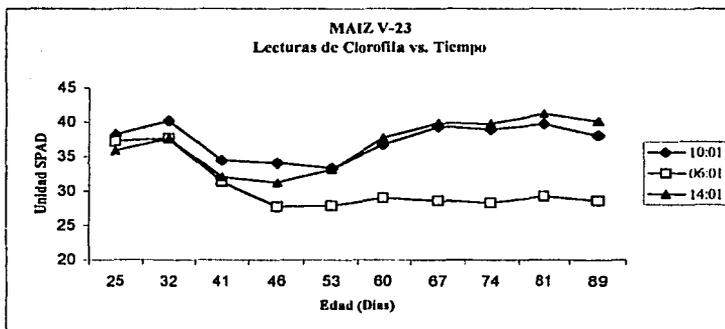


Figura 15. Lecturas de Clorofila a través del tiempo en Maíz V-23 con las Relaciones Nutrientales N:P (10:1, 6:1 y 14:1).

Cada dato es el promedio de 60 lecturas que consideran la base, la parte media y apical de las hojas más jóvenes en el momento de la determinación.

En el genotipo considerado como más eficiente, los valores de unidades SPAD entre los tratamientos N:P 10:1 y 14:1, a partir de los 53 días aumentaron, no existiendo una diferencia notable entre estos tratamientos como lo observado en Pinto, encontrándose los valores entre los 35 y 40 unidades SPAD (Quiroz-García *et al.* 2000b).

Lecturas de Clorofila en las Relaciones Nutrimientales N:K

En los tratamientos con la relación N:K se encontró que la relación 1:1 en ambos genotipos (figura 16 y 17), presentaron los valores más bajos, los cuales estuvieron por debajo de las 31 unidades SPAD.

En Pinto, los valores se encontraron entre las 25 y 27 unidades SPAD, lo que demostró que este genotipo es más susceptible a la carencia o baja disponibilidad de Nitrógeno, en comparación a V-23, cuyos valores se encontraron entre las 29 y 31 unidades SPAD.

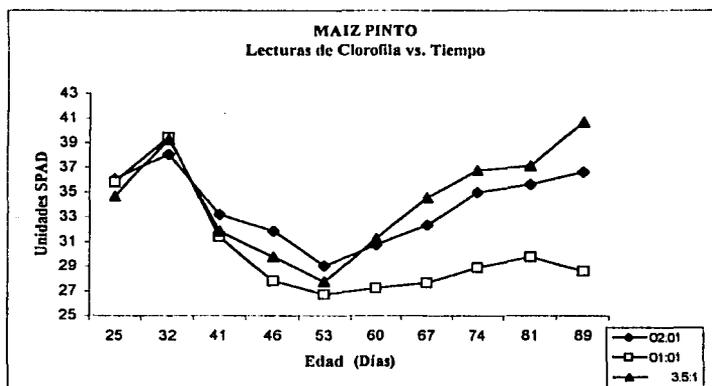


Figura 16. Lecturas de Clorofila a través del tiempo en Maíz Pinto con las Relaciones Nutrimientales N:K (2:1, 1:1 y 3.5:1). Cada dato es el promedio de 60 lecturas que consideran la base, la parte media y apical de las hojas más jóvenes en el momento de la determinación.

En cuanto a la relación N:K 2:1 en maíz Pinto, las unidades SPAD aumentaron a partir de los 53 días de edad, hasta llegar a las 37 unidades SPAD, mientras que la relación N:K 3.5:1 existió este aumento, sin embargo, los valores de clorofila alcanzaron las 42 unidades SPAD mostrando de esta forma

que al existir una suficiencia de Nitrógeno o una deficiencia de Potasio favoreció el aumento de la concentración de clorofila.

En V-23 existió una fluctuación alta en los resultados obtenidos con respecto a la concentración de clorofila en comparación con Pinto en las relaciones N:K 2:1 y 3.5:1, habiendo una estabilidad entre los 41 y 53 días, en esta relación, para posteriormente aumentar y llegar hasta las 41 unidades SPAD en ambos tratamientos, no mostrando alguna diferencia significativa.

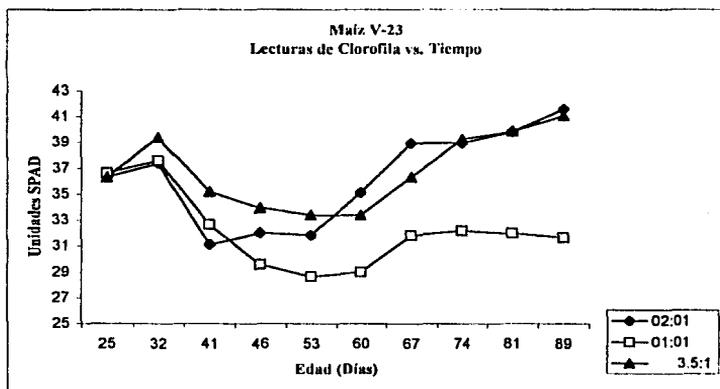


Figura 17. Lecturas de Clorofila a través del tiempo en Maíz V-23 con las Relaciones Nutrimientales N:K (2:1, 1:1 y 3.5:1).

Cada dato es el promedio de 60 lecturas que consideran la base, la parte media y apical de las hojas más jóvenes en el momento de la determinación.

Correlación entre Lecturas SPAD de Clorofila, Porcentajes y Acumulaciones de N, P y K

Al correlacionar las lecturas de clorofila con los valores de acumulación de Nitrógeno se observó que existía una relación entre ambas a partir de los

67 días de edad, mientras que con la acumulación de Potasio solamente esta correlación se dio en un solo momento y fue a los 53 días (cuadro 8).

Con respecto a los valores de porcentaje de N, P y K, hubo una correlación positiva con Nitrógeno a partir de los 74 días de edad, mientras con Fósforo fue a los 53 días de edad solo que es inversamente proporcional la correlación, lo que implicó que al aumentar las unidades SPAD disminuyó el porcentaje de Fósforo (Quiroz-García *et al*, 2000a); mientras que con los valores de Potasio no hay correlación.

	C11	C12	C13	C14	C15	C16	C17	C18	C19	C110
Días	25	32	41	46	53	60	67	74	81	89
AcN (mg.g ⁻¹)	0.029 NS	0.125 NS	0.211 NS	0.522 NS	0.39931 NS	0.38224 NS	0.43818 *	0.48303 *	0.50672 *	0.44274 *
%N	0.226 NS	0.437 NS	0.369 NS	0.470 NS	0.27440 NS	0.18720 NS	0.41211 NS	0.48674 *	0.48359 *	0.49981 *
AcP (mg.g ⁻¹)	-0.066 NS	-0.136 NS	-0.073 NS	-0.102 NS	0.05586 NS	-0.06615 NS	-0.01624 NS	0.07367 NS	0.09476 NS	0.06974 NS
%P	0.174 NS	0.085 NS	-0.051 NS	-0.354 NS	-0.56870 *	-0.69189 *	-0.53404 *	-0.48985 *	-0.51679 *	-0.39572 NS
Ac K (mg.g ⁻¹)	-0.0119 NS	0.00367 NS	0.16820 NS	0.47468 NS	0.44228 *	0.37753 NS	0.31763 NS	0.30494 NS	0.30939 NS	0.21624 NS
%K	0.31091 NS	0.32628 NS	0.22401 NS	0.18593 NS	0.13981 NS	0.07760 NS	-0.00933 NS	-0.08932 NS	-0.14833 NS	-0.18988 NS

Cuadro 8. Correlación de lecturas SPAD a diferentes edades (C11-C110) y la acumulación de Nitrógeno (AcN), acumulación de Fósforo (AcP) acumulación de Potasio (AcK), porcentaje de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (%N, %P y %K respectivamente), donde el * muestra correlación significativa y NS correlación no significativo.

En la figura 18 se observó la correlación entre el porcentaje de nutrimentos (N y P) y las lecturas de clorofila, donde se mostró la máxima demanda de Energía necesaria para realizar procesos metabólicos (fotosíntesis, respiración, absorción de nutrimentos, etc), la cual se manifiesta con valores negativos en la correlación con Fósforo a partir de los 53 días de edad, ya que como sabemos el Fósforo por su esencialidad, está involucrado en

Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal

la transferencia de energía en la planta (Aerts y Chapin III, 2000), lo cual al existir una correlación significativa a partir de esta edad mostraría el momento de estabilidad, en la que una planta después de demandar nutrimentos del medio que la rodea (ya sea suelo o solución nutritiva), se vuelve fuente de los mismos para los procesos metabólicos, es decir, al ir creciendo la planta se observó que el porcentaje de fósforo disminuía conforme al tiempo debido a su utilización como fuente de Energía.

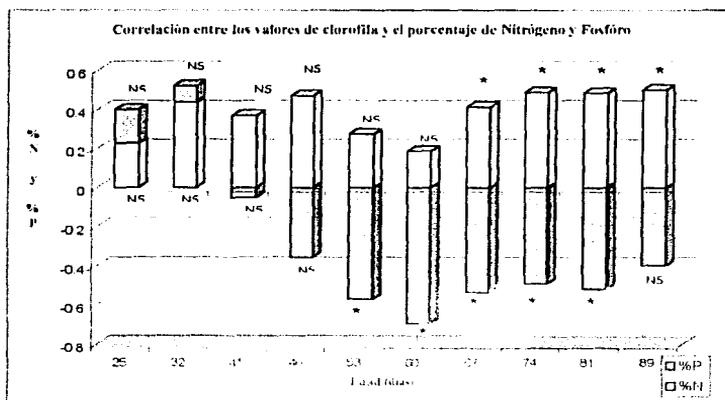


Figura 18. Correlación entre los valores de clorofila y el porcentaje de Nitrógeno y Fósforo a diferentes edades fenológicas, el * muestra correlación significativa y NS correlación no significativa.

En cuanto a la correlación con el porcentaje de Nitrógeno, se observó una correlación positiva significativa a partir de los 74 días de edad, así como esa misma correlación positiva se observó en la acumulación del mismo nutrimento a partir de los 67 días; esta correlación positiva indicó que al

aumentar la concentración y la acumulación del nutrimento aumentaba la concentración de clorofila.

Edmisten *et al* (1992) y Wood *et al* (1992) reportaron que las lecturas realizan un excelente trabajo de predecir el rendimiento de grano.

Sunderman y Lamm (1991) al evaluar las lecturas de clorofila con el Minolta SPAD en Maíz bajo condiciones de campo encontraron que las diferencias entre híbridos de Maíz eran considerables pero la correlación de las lecturas de SPAD con el rendimiento de grano fue bajo.

Al observar la correlación existente entre la acumulación y el porcentaje de Nitrógeno (cuadro 8 y figura 18) con las lecturas de clorofila se puede considerar a este método como una alternativa en la medición del contenido de Nitrógeno, sin embargo, sería conveniente realizar la medición de clorofila hasta el momento de la floración para así correlacionar con más precisión este método.

Índices de Eficiencia

Un componente omnipresente del ambiente es el estrés (Shogart, 1998), que induce en los organismos, permanentes ajustes de su metabolismo celular, su morfología y fisiología. En agricultura el estrés es el efecto de uno o varios factores que afectan los rendimientos.

Al presentarse el estrés tiene efectos de tipo biológico que se relacionan con respuestas que les permiten crecer, sobrevivir y propagarse a sí mismas. La plantas con capacidad de desarrollar mecanismos de respuesta a factores de estrés, adquieren un alto valor comercial en términos de aumento de rendimiento y con ello beneficios económicos y ecológicos.

Los índices de eficiencia nos hace mención de cuanta biomasa se produce por cada unidad de nutrimento, lo cual incluye procesos morfológicos o fisiológicos mediante los cuales las plantas absorben, translocan, acumulan y usan los nutrimentos para mejorar la producción de materia seca, fresca y de grano ante condiciones nutrimentales adversas o normales, lo cual constituye una ventaja ecológica ante baja fertilidad de los suelos.

Índices de Eficiencia en el Uso de Nutrimentos (IEN, IEP, IEK)

Con la biomasa producida en la parte aérea y en la raíz y la acumulación de N, P y K en los dos genotipos de Maíz se analizó la eficiencia en el uso de nutrimentos (IEN, IEP, IEK) por el método propuesto por Furlani y Filho (1990), el cual evalúa la biomasa elevada al cuadrado por la cantidad de nutrimento acumulado.

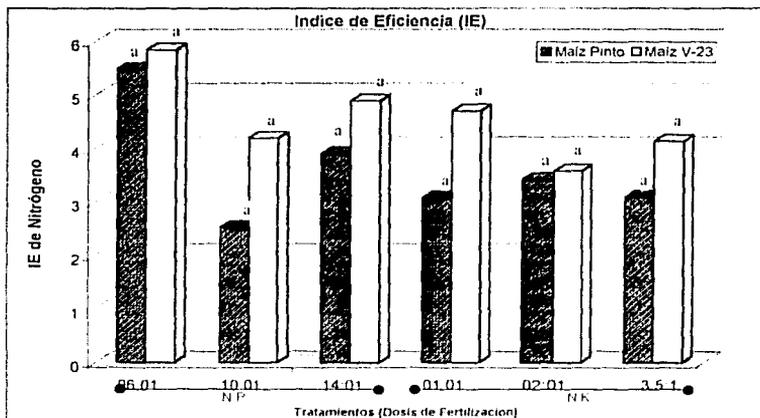


Figura 19. Índice de Eficiencia de uso de Nitrógeno comparando ambos genotipos y las relaciones nutrimentales N:P y N:K. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey.

La eficiencia de Uso de Nitrógeno y Fósforo están relacionados entre sí (figuras 19 y 20).

Cuando hubo una deficiencia de Nitrógeno y una suficiencia de Fósforo (relación 6:1) existió un alto IE de Nitrógeno en ambos genotipos observándose valores mayores de cinco unidades; cuando provocamos una deficiencia de Fósforo y mantenemos constante el Nitrógeno (relación 14:1), los genotipos también presentaron valores altos, esto confirma lo expuesto por Vivanco (1998) y Córdoba (1998) en genotipos de Maíz, Trigo y Triticale; mencionan que al comparar respuesta entre suficiencia y deficiencia de nitrógeno, se presentó la mayor eficiencia a Nitrógeno (IEN) ante carencia de nutrimento lo cual indicaría que la planta hace un mejor uso del elemento ante estrés nutrimental, mientras a un nivel de suficiencia su uso disminuye. Con la aplicación del

Fósforo, la suficiencia del nitrógeno propicia que se incremente la eficiencia, como consecuencia del desbalance entre N/P.

En las relaciones N:K los tres tratamientos presentaron valores similares, encontrándose entre las tres y cuatro unidades de Nitrógeno mostrando que no hay una influencia fuerte por Potasio sobre el IEN, el único que presentó un valor mayor es V-23 en la relación 1:1 con un valor de 4.7 unidades de IEN.

Una alta suficiencia de Nitrógeno en correspondencia con la figura anterior nos da un alto IEP (figura 20).

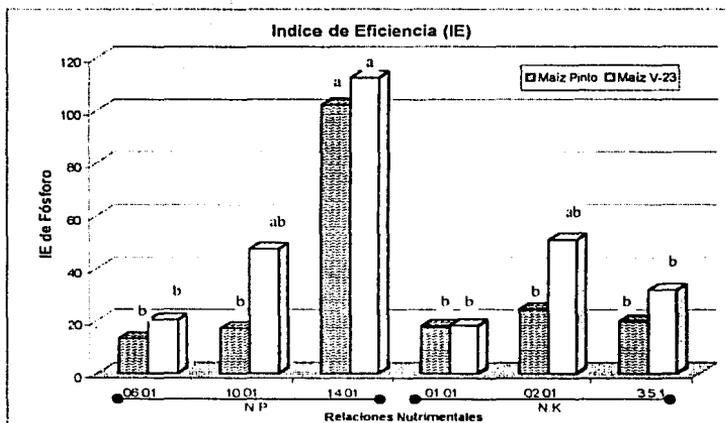


Figura 20. Índice de Eficiencia de uso de Fósforo comparando ambos genotipos y las relaciones nutrimentales N:P y N:K. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey.

En la figura 20 se observó que al existir una deficiencia de Nitrógeno proporcionó a los genotipos una eficiencia baja de IEP (10:1) la cual es cinco

veces menor que en la relación 14:1, contando ambos genotipos con valores entre las 100-120 unidades de IEP.

El mayor índice de eficiencia de Fósforo lo presentaron ambos genotipos con la relación N:P 14:1.

En cuanto a las relaciones N:K, en la relación 2:1 se presentó la mayor eficiencia en ambos genotipos, sin embargo, entre ellos se observó que el IEP fue el doble en Maíz V-23 que en Maíz Pinto; la alta proporción entre Nitrógeno y Potasio (3.5:1) provocó que V-23 tuviese un IEP alto (32 unidades).

Al compararse la respuesta entre suficiencia y deficiencia de Nitrógeno y Fósforo, se presentó la mayor eficiencia a Nitrógeno y Fósforo (IEN y IEP) ante la carencia del nutrimento lo cual indicó que la planta hace un mejor uso del elemento ante estrés nutrimental, mientras a nivel de suficiencia su uso disminuye notablemente.

Con el aumento de Fósforo manteniendo Nitrógeno constante (figura 20) es decir, la relación 14:1, propicio que se incrementará la suficiencia por lo que se afirma que la proporción de Fósforo es importante.

En IEK el Potasio fue más alto en Maíz V-23 a pesar de que no se observó estadísticamente una diferencia significativa (figura 21).

En los tratamientos N:P la relación 14:1 donde existió altas cantidades de Nitrógeno y bajas proporciones de Fósforo hubo una mayor eficiencia de Potasio y en los tratamientos N:K los valores más altos lo presentaron los tratamientos 2:1 y 3.5:1 en ambos genotipos.

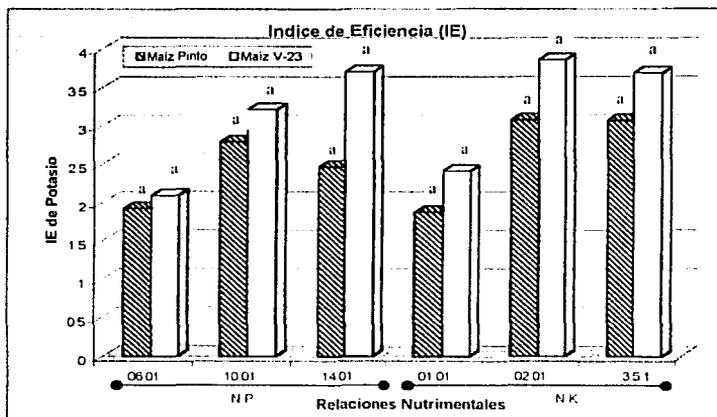


Figura 21. Índice de Eficiencia de uso de Potasio comparando ambos genotipos y las relaciones nutrimentales N:P y N:K. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P < 0.05$ Tukey.

En ambas relaciones el Maíz Pinto presentó la menor eficiencia de Potasio. Se observó una estrecha relación entre el Nitrógeno y el Potasio en los tratamientos 6:1 y 1:1, donde se suministró una baja cantidad de Nitrógeno hubo una baja eficiencia de uso de Potasio, lo cual ratifica lo observado por Gentry *et al* (1989), pues ellos observaron que estos nutrimentos al ser requeridos en grandes cantidades por los cereales al aumentar la absorción de uno se incrementa de manera proporcional (si esta disponible) el otro.

El Maíz V-23 es el de mayor eficiencia al N, P y K por lo que se consideraría como una especie que por sus condiciones fenotípicas y genotípicas tiene la capacidad de sobresalir a diferentes condiciones de nutrimentos en los tratamientos a los que el otro genotipo no responde de la misma forma, esto confirma lo expuesto por Rao (1995), quien menciona que la

variabilidad genética y la habilidad de la planta para absorber, translocar, distribuir, acumular y usar el nutrimento mineral son importantes en la adaptabilidad de las plantas a la infertilidad de suelos, principalmente ácidos, además este genotipo muestra la diferencia que puede existir entre genotipos (un híbrido y un criollo).

Heuberger *et al* (1994), encontraron que la eficiencia en el uso de Nitrógeno y Fósforo no declinaba con el incremento en el suministro del nutrimento, por lo cual habría de esperarse que los genotipos eficientes presentaran una respuesta similar a diferentes contenidos de nutrimento en el medio. La respuesta ante bajo suministro de Nitrógeno, se debe principalmente a las diferencias entre los genotipos para usar el nutrimento, estas diferencias son debidas a la variación en la utilización del elemento y a la variación en la eficiencia para absorber el nutrimento (Bertholdsson y Stoy, 1995), de ahí la importancia de realizar estimaciones por otros métodos además de la eficiencia en el uso (IE), para poder de esta forma confirmar la eficiencia o deficiencia de un genotipo.

Índice de Eficiencia Fisiológica en el Uso de N, P y K

La ratificación de la eficiencia del genotipo se efectuó por medio del método propuesto por Rao, 1995; Wu y Tao, 1995; Bowen y Zapata, 1991 y Manske y Ortiz-Monasterio, 1996, el cual involucra a la biomasa entre el total de nutrimento acumulado, este método (UE) es conocido como el de eficiencia fisiológica en el uso, y se emplea también para estimar la eficiencia en el uso del nutrimento con ligeras modificaciones al IE.

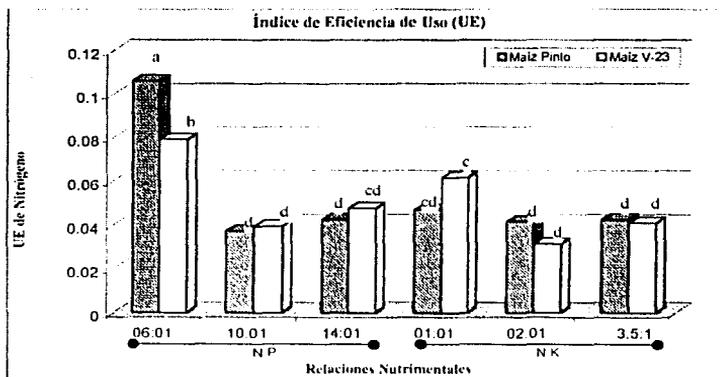


Figura 22. Índice de Eficiencia Fisiológica en el Uso del Nitrógeno. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P < 0.05$ Tukey.

El UE estimado para Nitrógeno (figura 22) en promedio fue mayor en la relación 6:1 en ambos genotipos donde existe una deficiencia de Nitrógeno y una suficiencia de Fósforo que corresponde a lo observado con el IEN, aunque existe una diferencia entre genotipos si comparamos ambos índices ya que en el caso de los valores de UEN, Maíz Pinto supera a Maíz V-23 aunque la diferencia no es significativa, además si se considera los valores de biomasa,

donde V-23 produjo más que Pinto confirmaremos su eficiencia fisiológica en el uso del Nitrógeno.

En cuanto a los otros tratamientos N:P la tendencia es similar a lo observado con el índice de eficiencia de uso (IEN) presentando los valores más altos Maíz V-23.

Con respecto a las relaciones N:K el más alto valor de UE lo presentó la relación 1:1; sin embargo, donde hay una suficiencia de Nitrógeno pero una deficiencia en el suministro de Potasio (3.5:1), se encuentra un bajo UEN probablemente por las condiciones enzimáticas dadas por las relaciones existentes entre los nutrimentos.

En figura 23 se observó la misma tendencia de eficiencia fisiológica de uso de Fósforo, solo que en este caso, mostró mayor eficiencia V-23, con excepción en la relación 14:1 donde Maíz Pinto tuvo un 10% más de eficiencia que Maíz V-23, pero si consideramos los valores de producción de biomasa y acumulación del nutrimento tal valor no es muy significativo.

En las relaciones N:K se observaron valores de UEP similares en los tres tratamientos en el genotipo Pinto, mientras que en V-23 en estas relaciones mostró el valor más alto de UEP en el tratamiento "ideal".

Existió una correspondencia entre los nutrimentos Nitrógeno y Fósforo, la cual se observó en las figuras 22 y 23 ya que al existir una suficiencia de Fósforo hay un aumento en el UEN y viceversa.

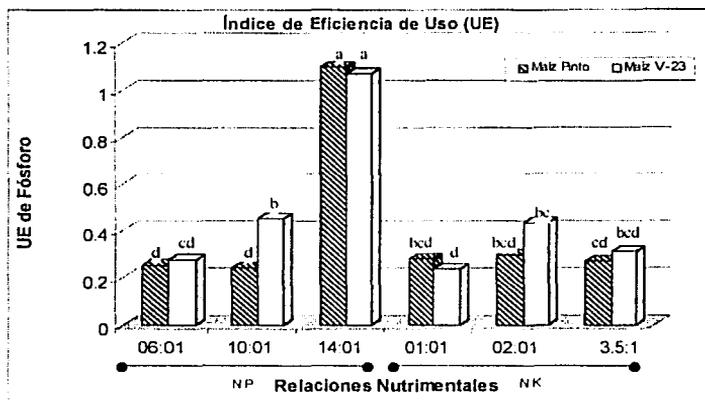


Figura 23. Índice de Eficiencia Fisiológica en el Uso del Fósforo. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P \leq 0.05$ Tukey.

La respuesta a la suficiencia y deficiencia de nutrimentos es aún más notable sobre UEP que el UE de Nitrógeno.

Con respecto al índice de Eficiencia Fisiológica de Potasio (figura 24), el Maíz V-23 presentó los valores más altos en los tratamientos 14:1 y 1:1, lo que pudiese justificarse con lo mencionado en el IEK dada la relación entre P y K. Las relaciones N:P y N:K tuvieron menos influencia sobre el UEK que sobre el UEN y UEP.

También se observó que V-23 es más sensible a la falta o insuficiencia de Nitrógeno que a la de Fósforo en el UE de Potasio.

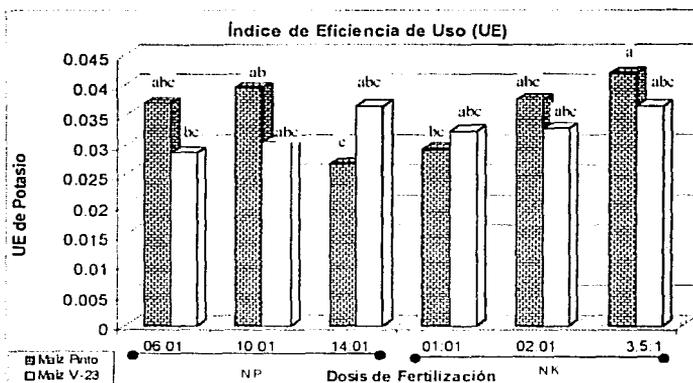


Figura 24. Índice de Eficiencia Fisiológica en el Uso del Potasio. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P < 0.05$ Tukey.

La deficiencia de Nitrógeno en las relaciones N:P en Maíz V-23 indujo un UEK bajo; la deficiencia de Fósforo (14:1) provocó que este genotipo usó adecuadamente el Potasio.

El valor más alto en las relaciones N:K lo presentó la relación 3.5:1 donde se provocó una deficiencia de Potasio y una suficiencia de Nitrógeno en ambos genotipos.

Comparando los tres figuras de UE se aprecia una menor influencia sobre el Potasio que en Nitrógeno y Fósforo donde se encontró los valores más altos para este índice.

Con respecto a este nutrimento se sabe que más del 70-80% del Potasio que necesita lo absorbe la planta en las primeras semanas de desarrollo (40-50 días), después disminuye tanto que incluso para las épocas de cosecha más del 60-75% del nutrimento que la planta utilizó es secretado, por lo que estas

variaciones en concentración o acumulación de nutrimento afecta los valores obtenidos de UEK dando resultado menos consistencia sobre este índice que en UEN y UEP (Cruz, 2001 com. per.).

Índice de Eficiencia de Partición de Biomasa Raíz/ Vástago (R/V)

Con la finalidad de completar el estudio de la eficiencia e involucrar parámetros de raíz se evaluó la razón R/V para comparar la translocación de nutrimentos de raíz al vástago, en la cual se refleja la relación existente entre la producción de biomasa con respecto a la raíz, la cual debe ser menor para especies de plantas en las cuales se quiere mayor producción de parte aérea.

Evaluar la relación R/V es importante ya que nos da una idea aproximada del comportamiento de la raíz y vástago.

Existió una buena distribución de biomasa en ambos genotipos hacia la parte aérea (figura 25), sólo que Maíz V-23 presento una mejor distribución de biomasa teniendo un desarrollo radical importante (mayor vigor) que correlaciona con la eficiencia de uso y fisiológica de uso de nutrimento.

Fiel *et al* (1990) encontró que cuando el suministro de Nitrógeno es bajo la R/V aumenta, lo cual confirmo los valores obtenidos en el experimento donde la relación 6:1 (deficiencia de Nitrógeno en relaciones N:P) presento los valores más altos de la razón raíz-vástago, mientras que en las relaciones N:K, la relación 1:1 presento la misma situación.

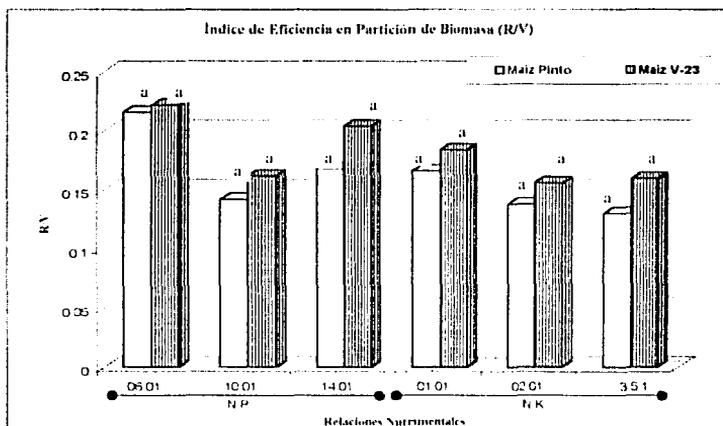


Figura 25. Relación R/V. Letras diferentes indican diferencias significativas a $P < 0.05$ Tukey.

Hewinkiel *et al* (1992) mencionan que en las plantas superiores por una variedad de cambios morfológicos y fisiológicos, favorece el aumento en la elongación en el crecimiento de la raíz y la proliferación de pelos radicales como respuesta a una carencia de Fósforo.

Lo que en el experimento se ratificó, ya que al existir una deficiencia de Fósforo favoreció considerablemente los valores altos de R/V en la relación 14:1 en ambos genotipos, siendo más susceptible V-23 debido a que la raíz se desarrolla con la finalidad de tener más contacto con los nutrientes principalmente el Fósforo, ya que este nutriente tiende a ser difícil de obtener por la planta debido a su fijación.

Sintomatología Visual

La deficiencia de un elemento esencial para las plantas provoca la reducción del crecimiento de estas y afecta negativamente el rendimiento de los cultivos; existen diversas técnicas para diagnosticar problemas nutrimentales, uno de ellos es el diagnóstico visual, el cual a través de la coloración de cierto órgano de la planta (hoja o tallo) podemos conocer de manera muy general el elemento que esta siendo insuficiente, sin embargo, el análisis vegetal puede ratificar un diagnóstico de síntomas visuales, a través del conocimiento de síntomas y secuencias sintomatológicas que presentan los vegetales.

Las imágenes corresponden a las observaciones visuales de cada uno de los tratamientos realizados.

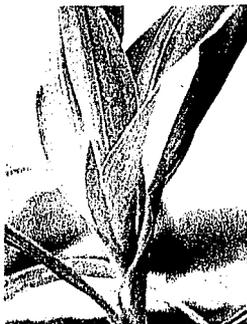


Fotografía 1. Maíz con solución nutritiva completa, relación N:P (10:1) y relación N:K (2:1)

En la fotografía 1 se observó la coloración característica de una planta de maíz (no importando el genotipo) cuando se le administra todos los nutrimentos necesarios para su desarrollo.

Cuando una planta se encuentra "sana", presenta un característico color verde oscuro, sin manchas en las hojas ni tallos, lo cual fue posible en la relación N:P (10:1) y N:K (2:1) donde se les administró todos los nutrientes esenciales.

Las fotografías 2 y 3 corresponde a maíces a los cuales se les indujo la deficiencia de Nitrógeno a través de la eliminación del nutriente de la solución nutritiva, en el caso de la relación N:P fue el tratamiento 6:1 y en la relación N:K fue el tratamiento 1:1.



Fotografía 2. Maíz con tratamiento induciendo deficiencia de Nitrógeno (6:1 y 1:1)

En la fotografía 2 se observó la típica coloración verde-amarillenta en las hojas, que principalmente las plantas presentan cuando tienen carencia de Nitrógeno, algo muy notable es que la planta presentó ya casi la pérdida del color verde en lo que se consideran hojas jóvenes, lo cual es indicativo de un problema serio de deficiencia de nutriente.



Fotografía 3. Maíz con tratamiento induciendo deficiencia de Nitrógeno (6:1 y 1:1).

En la fotografía 3 se observó la pérdida del color verde de las hojas superiores, es decir, ya son cloróticas, reducción del crecimiento de la planta además del necrosamiento de este órgano a pesar de que son hojas jóvenes; se observó claramente el avance de este problema pues ya avanzó progresivamente a toda la planta.

En el maíz la carencia de Fósforo se caracteriza por una manchas de color purpúreo-amorado a lo largo de los bordes de las hojas y tallos, causados por la acumulación de pigmentos de antocianina (fotografía 4 y 5).

En algunos casos se observaron tallos y hojas pequeñas, lo cual en la relación N:P (14:1), en algunas plantas se mostró esto sin embargo, en términos generales las plantas con este tratamiento fueron las mayor producción de biomasa principalmente el maíz Pinto, probablemente por ser un genotipo adaptado a condiciones de baja disponibilidad de Fósforo, pues este maíz proviene de la Subprovincia de Mil Cumbres, Estado de México donde existen suelos ácidos carentes o con baja disponibilidad de este nutrimento.

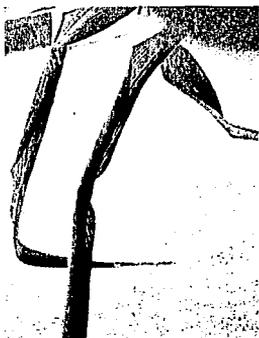


Fotografía 4. Maíz con deficiencia de Fósforo, tratamiento 14:1



Fotografía 5. Maíz con tratamiento induciendo deficiencia de Fósforo (14:1)

Los síntomas de deficiencia de Potasio son visibles primeramente en las hojas más viejas, los vértices y márgenes de las hojas presentaron una marchitez y muerte de esas partes (fotografía 7), se observó la reducción del tamaño y adelgazamiento de los tallos, así como también el enroscamiento de las hojas jóvenes hacia el envés, además de una superficie brillante (fotografía 6).



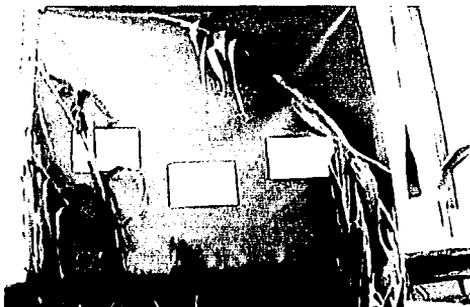
Fotografía 6 y 7. Maíces con la relación N:K (3.5:1), induciendo deficiencia de Potasio

En las siguientes imágenes se observaron las diferencias generales que tuvieron los genotipos a cada una de las relaciones así como a cada uno de los tratamientos.

Relaciones Nutrimientales N:P

El maíz Pinto presentó marcadas diferencias como efecto a los tres diferentes tratamientos, mostrando mayor altura los maíces con la relación 14:1, verificando lo obtenido en la producción de biomasa por parte de este genotipo (figura 9); dado su tamaño y el pequeño espacio que tenía para el anclaje de sus raíces, las plantas se encorvaron pues el peso era demasiado (fotografía 8).

Las plantas con el tratamiento donde se indujo una deficiencia de Nitrógeno presentaron la menor talla y vigor, mientras con el tratamiento 10:1, considerado como la ideal presentaron mayor vigor, mayor desarrollo foliar.



Fotografía 8. Maíz Pinto con los tratamientos (10:1, 6:1 y 14:1) a los 142 días de edad.

El maíz V-23 presentó mayor producción de biomasa en comparación del maíz Pinto (figura 10), lo cual se denota en el tamaño de las hojas en cada uno de los tratamientos; a pesar de que en la relación 14:1 se indujo una insuficiencia de Fósforo, hubo una buena producción de biomasa, sin embargo, es notable la presencia de la deficiencia por la coloración amarillenta y púrpura de tallos y hojas (fotografía 9).



Fotografía 9. Maíz V-23 con los tratamientos (10:1, 6:1 y 14:1) a los 142 días de edad.

Se observó la menor producción de biomasa en la relación 6:1, mostrando la esencialidad del nitrógeno para el buen desarrollo de la planta.; mientras que con la relación "ideal" a pesar, de que se observó una planta de talla baja, esta presenta mayor grosor y vigor de tallos y hojas, notándose una coloración verde intensa.

Al comparar los dos genotipos, en términos generales maíz V-23 no manifiesta efectos severos a causa de las relaciones N:P, demostrándolo en el vigor, tamaño y grosor de sus tallos y hojas.

Relaciones Nutrimientales N:K

En el maíz Pinto, las plantas con la relación 2:1 presentaron mayor vigor, tamaño de las hojas y más altura; mientras que las plantas que tuvieron la solución nutritiva incompleta (1:1), presentaron tallos muy delgados, poco vigorosos, con una coloración púrpura en ellos, hojas muy delgadas (fotografía 10).

En cuanto a las plantas con el tratamiento 3.5:1, tuvieron una altura similar a la que presentaron las plantas con la solución nutritiva completa, sin embargo, estas presentaron muchos nudos a lo largo del tallo que provocó un encurvamiento generalizado, lo que propició a que la planta se encorvará; en cuanto a las hojas, estas se enroscaban hacia dentro.

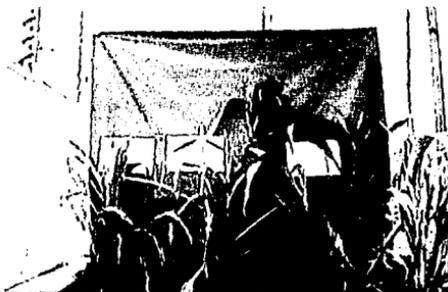
Algo sobresaliente en este tratamiento fue la presencia de espigas bien formadas en algunos individuos.



Fotografía 10. Maíz Pinto con los tratamientos (2:1, 1:1 y 3:5:1) a los 142 días de edad.

En maíz V-23, las plantas con la relación 2:1 presentaron mayor vigor y grosor tanto en tallo como en hoja, mientras que en la relación 1:1, se observaron las plantas más pequeñas y delgadas (fotografía 11).

Las plantas con el tratamiento 3.5:1 presentaron una menor talla, pero la cual no es significativa si se compara con los otros tratamientos, aunque si presentaron hojas más pequeñas y delgadas.



Fotografía 11. Maíz V-23 con los tratamientos (2:1, 1:1 y 3.5:1) a los 142 días de edad.

Al comparar ambos genotipos se observó la susceptibilidad del maíz Pinto a cada una de las relaciones mostrando menor vigor que V-23.

Conclusiones:

- ✓ Los síntomas de deficiencia son un buen auxiliar para el diagnóstico del estado nutrimental de un cultivo: sin embargo, es indispensable realizar un análisis del tejido vegetal para ratificarlo y poder corregir adecuadamente el problema.
- ✓ Los resultados obtenidos en el presente trabajo indican la presencia de una alta relación entre el Nitrógeno, Fósforo y Potasio que afecta considerablemente la absorción de nutrimentos.
- ✓ El estado nutrimental de las plantas en cada uno de los tratamientos estuvo afectado por las relaciones nutrimentales de los elementos estudiados, lo que se manifestó a través de diversas coloraciones en tallos y hojas.
- ✓ La relaciones menos adecuadas para clorofila y producción de biomasa fueron N:P (6:1) y N:K (1:1), en las cuales se presentó una deficiencia de Nitrógeno y la mejor fue N:P (10:1) y N:K (2:1) en la mayoría de las variables estudiadas.
- ✓ La producción de biomasa total estuvo afectada por las diferentes relaciones nutrimentales en cada genotipo, siendo V-23 el que mayor biomasa produjo a pesar de la deficiencia de algún nutrimento.

- ✓ Se puede considerar al método de medición de lecturas de clorofila con uso del SPAD-502 como una alternativa en la medición del contenido de Nitrógeno.
- ✓ Hasta antes de los dos meses de edad no existe una correlación significativa entre los valores de acumulación y porcentaje de nutrimentos.
- ✓ La mayor acumulación de nutrimentos la presenta el genotipo considerado como eficiente, es decir, V-23, lo que influye en su mayor producción de biomasa.
- ✓ Los maíces criollos como Pinto son genotipos que se ha desarrollado en condiciones adversas, por lo que dependerá de las condiciones ambientales a las que se enfrente para manifestar sus mecanismos de adaptación.
- ✓ El sistema hidropónico es una excelente alternativa para la producción de muchas especies vegetales obteniendo el máximo rendimiento posible, utilizando los menores recursos así como disminuyendo considerablemente la contaminación de nuestros suelos, por el abuso de fertilizantes.

- ✓ Al conocer los requerimientos básicos de un cultivo, así como las relaciones existentes entre los nutrientes podremos dar dosificaciones adecuadas de los mismos en condiciones de hidroponía para obtener los máximos rendimientos posibles, sin necesidad de agotar nuestros recursos y así evitar la pérdida de nuestra biodiversidad.

Sugerencias:

- Realizar este experimento en los tiempos adecuados, es decir, colocar el cultivo en primavera, ya que dadas las circunstancias este experimento se realizó en noviembre y no en abril como correspondería.

- Hacer los cambios de solución continuamente dado que la planta necesita agua y absorbe rápidamente los nutrimentos.

- En estudios posteriores medir las lecturas de clorofila semanalmente hasta el momento de la floración para obtener valores completos y correlacionarlos con las acumulaciones de nutrimentos.

- El análisis de tejido vegetal realizarlo mensualmente para obtener correlaciones más completas con clorofila.

Bibliografía

- Aerts, R. and F. S. Chapin III. 2000. The Mineral Nutrition of Wild Plants Revisited: A Re-evaluation of Processes and Patterns. *Advances in Ecological Research*. Vol. 90. pp. 1-67.
- Alcántar, G. G. y M. Sandoval V. 1999. *Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal*. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Chapingo, México.
- Arnon, L. 1974. *Nutrition Mineral of Maiz*. International Potash Institute.
- Andesirk, T. and G. Andesirk. 1993. *Biology: Life on Earth*. 4a. ed. Prentice Hall.
- Baligar, V. C., R. R. Duncan y N. K Fageria. 1990. Soil-plant interactions on nutrient use efficiency in plants. In *Crops as Enhancers of Nutrient use*. Eds. V.C. Baligar and R.R. Duncan. pp. 351-373. Academic Press, San Diego.
- Basra, A. S. 2000. *Mechanisms of Plant Growth and Improved Productivity: Modern Approaches*. Marcel Dekker, Inc. New York, U. S. A.

- Bennett, W. F. 1994. Plant Nutrient Utilization and Diagnostic Plant Symptoms and Grain Crops: Corn. In Nutrient Deficiencies & Toxicities in Crop Plants. APS Press. St. Paul, Minnesota, USA.
- Bennett, W. F. 1997. Nutrient deficiencies & toxicity's in crop plants. APS Press. The American Phytopathological Society. St. Paul, Minnesota, USA.
- Bertholdsson, N. O. y V. Stoy. 1995. Yields of dry matter and nitrogen in highly diverging genotypes of winter wheat in relation to N-uptake and N-utilization". J. Agronomy and Crop Science 175, 285-295.
- Bertl, A., H. Felle and F. W. Bentrup. 1984. Amine transport in *Riccia fluitans*. Cytoplasmic and vacuolar pH recorded by a pH- sensitive microelectrode. Plant Physiol. 76. 75-78.
- Blair G. L. 1983. Nutrient efficiency- what do we really mean?. In Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition. Eds. P.J. Randall, E. Haize, R.A. Richards and R. Munson. pp 205-213. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Blair, G.J. and S. Cordero. 1978. The phosphorus efficiency of three annual legumes. Plant and Soil. 50: 387-398.

- Bullock, D. G. and D. S. Anderson. 1998. Evaluation of the Minolta SPAD-502 Chlorophyll Meter for Nitrogen Management in Corn. *Journal of Plant Nutrition*. 21(4). 741-755.
- Buso, G. S. C. y F. A. Bliss. 1988. Variability among cultivars grown at two levels of available phosphorus. *Plant and Soil* 111: 67-73.
- Caradus, J.R. 1990. Mechanisms improving nutrient in crop and herbage legumes. In *Crops as Enhancers of Nutrient Use*. Eds. V.C. Baligar and R.R. Duncan. pp. 253-311. Academic Press, San Diego.
- Cram, W. J. 1973. Internal factors regulating nitrate and chloride influx in plant cells. *J. Exp. Bot.* 24: 328-341.
- Ciarelli, D. M., A. M. C. Furlani, A.R. Dechen and M. Lima. 1998. Genetic Variation among maize genotypes for phosphorus-uptake and phosphorus-use efficiency in nutrient solution. *Journal of Plant Nutrition* 21: (10). 2219-2229.
- Clark, R.B. 1990. Physiology of cereals for mineral nutrition uptake, use and efficiency. In *Crops as Enhancers of Nutrient Use*. Eds. V.C. Baligar and R.R. Duncan. pp. 131-209. Academic Press, San Diego.

- Cruz-Flores, G. 1996. Preparación y Manejo de Soluciones Nutritivas para Cultivos Hidropónicos. Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal. FES Zaragoza. UNAM. pp1-5.
- Cruz-Flores, G. 1998. Evaluación de mecanismos de adaptación de cereales ante condiciones de estrés nutrimental en suelos de baja fertilidad. Proyecto e investigación para la realización de Doctorado. Facultad de Ciencias (Estudios de Postgrado) y Laboratorio de Edafología y Nutrición Vegetal. FES Zaragoza. UNAM.
- Cruz Flores, G. 1999. Relaciones Suelo-Planta en la Nutrición Vegetal. Curso de Actualización Docente (DGAPA). FES Zaragoza UNAM.
- Cruz-Flores, G. 2000. Adaptación de las Plantas a Estrés Nutrimental. Conferencia Magistral. En Memorias del 2º Simposio Nacional 1º. Reunión Iberoamericana sobre Nutrición de Cultivos. Mérida, Yucatán. México.
- Cruz-Flores, G. 2000. Fertilidad del Suelo y Nutrición Vegetal: Un Enfoque Ecológico. Curso de Actualización Docente (DGAPA). FES Zaragoza, UNAM.
- De Rijck, G. and E. Schrevens. 1997a. Elemental Bioavailability in Nutrient Solutions in Relation to Dissociation Reactions". Journal of Plant Nutrition. 20 (7&8). 901-910.

- De Rijck, G. and E. Schrevens. 1997b. "pH influenced by elemental composition of nutrient solutions". *Journal of Plant Nutrition*. 20 (7&8). 911-923.
- Etchevers, B. J. D. 1988. Diagnostico de la fertilidad del suelo. Colegio de Potsgraduados. Notas de Curso. H. Cárdenas, Tabasco. México.
- Fageria, N. K. and V. C. Baligar. 1997. Phosphorus-Use efficiency by Corn Genotypes. *Journal of Plant Nutrition*. 20(10). 1267-1277.
- Galvis, S. A., J. D. Etchevers B. and S. J. Rodríguez 1994. A system approach for determining NP fertilizer recommendations for annual crops. II. Nutrient demand. 15th World Congress of Soil Science. Acapulco, México. Vol. 5b. 440-441.
- Gentry, L. E., X. T. Wang and F. E. Below. 1989. Nutrient Uptake by wheat seedlings that differ in response to mixed nitrogen nutrition. *Journal of Plant Nutrition*. 12(3). 363-373.
- Gourley, C. P. J.: D. L. Allan y M. P. Ruselle. 1994. Plant nutrient efficiency: A comparison of definitions and suggested improvement. *Plant and Soil* 158: 29-37.
- Grajeda, C. E. R., J. M. Soto Parra, y J. X. Uvalle-Buena. 1996. Estándares Nutrimientales para Manzano Red Delicious mediante

- Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI) para Canatlán, Durango, México. En XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Obregón, Sonora, México.
- Greenwood, D. J., L. M. J. Verstraeten and A. Draycott. 1986. Response of winter wheat to N-Fertilizer: quantitative relations for components of growth. *Fertilizer Research* 31:305-318.
 - Harris, D. 1988. *Hydroponics: The Complete Guide to Gardening Without Soil*: New Holland. Londres, Inglaterra.
 - Heenan, D. P. and L. C. Campbell. 1981. Influence of potassium and manganese on growth and uptake of magnesium by soybeans (*Glycine max* (L.) Merr. Cv Bragg). *Plant and Soil*. 61: 447-456.
 - Hernández, C. G. 1999. Balance Nutricional del Cultivo de Maíz en la Subprovincia de Mil Cumbres correspondiente al Estado de México. Tesis de Maestría, Fac. de Ciencias. UNAM.
 - Heuberger, H.T., J. C. Kling y W. J. Horst. 199). Effect of root growth characteristics on nitrogen use efficiency of tropical maize varieties. Fourth Eastern and Southern Africa Regional Maize Conference 28th March- 1st April. 44-48.

- Heuinkel, H., E. A. Kirkby, J. Le Bot and H. Marschner. 1992. Phosphorus Deficiency Enhances Molybdenum Uptake by Tomato Plants. *Journal of Plant Nutrition*. 15(5). 549-568.
- Howard, M. 1978. *Hidroponic Food Production*. University of British Columbia, Vancouver.
- Huterwal, G. O. 1993. *Hidroponia*". Albatros, Buenos Aires.
- Ibarzabal, C. 1976. Hidroponia: Nueva Agricultura sin Tierra. *Revista de Geografía Universal*. Vol. 1 No.6. 658-675. México.
- Infante, S. y G. P. Zarate. 1997. *Métodos estadísticos: Un enfoque Interdisciplinario*. Ed. Trillas. México.
- Jiménez, M. P., D. Efrón, A. M. de la Horra and R. Defrieri. 1996. Foliar Potassium, Calcium, Magnesium, Zinc, and Manganese Content in Soybean Cultivars at Different Stages of Development. 19(6). 807-816.
- Jung, H. A., B. Seeling and J. Gerke. 1993. Mobilization of different phosphate fractions in the rhizosphere. *Plant and Soil* 155/156:91-94.
- Kochian, L. V. and Lucas, W. J. 1988. Potassium transport in roots. *Adv. in Bot. Res.* 15. 93-177.

- Larcher, W. 1977. *Ecofisiología Vegetal*. Ed. Omega. España.
- Llanos, C. M. 1984. *El Maíz*. Ed. Mundi-Prensa. España.
- Leggett, I. E. and E. Epstein. 1956. Kinetics of sulfate absorption by barley roots. *Plant Physiol.* 31: 222-226.
- Ma B. L. and L. M. Dwyer. 1997. Determination of Nitrogen Status in Maize Senescing Leaves. *Journal of Plant Nutrition.* 20(1). 1-8.
- Malavolta, E. 1989. *Avaliação do Estado Nutricional das Plantas: Princípios e Aplicações*. Piracicaba. Brasil.
- Mariscal, A. G., J. M. Soto Parra, J. M. Uvalle-Bueno y E. Sánchez Chávez. 1996. Obtención de Estándares para Nitratos mediante Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI) en manzano Golden Delicious y Red Delicious. En XXVII Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Obregón, Sonora. México.
- Marschner, H. 1986. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. Londres.
- Marschner, H. 1991. Mechanics of Adaptation of Plant and Soils. *Plant and Soil.* 134: 1-20.

- Marschner, H. 1992. Nutrient dynamics at the Soil-Root interface (Rhizosphere). In: Mycorrizas in Ecosystems. Eds. Read, D. J. et al. C. A. B. International Cambridge, United Kingdom. 3-12.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. Londres.
- Martínez, G. A. 1990. Diseños experimentales, métodos y elementos de teoría. Trillas. México. 924 pp.
- Mengel, K., M. Viro and G. Hehl. 1976. Effect of potassium on uptake, and incorporation of ammonium-nitrogen of rice plants. Plant and Soil. 44: 547-558.
- Minolta. 1990. Specifications in detail- Chlorophyll meter SPAD-502. Minolta Technical Note.
- Moll, R. H. , E. J. Kamprath y W. A. Jackson. 1987. Development of nitrogen-efficient prolific hybrids of maize. Crop Sci. 27:323-341.
- Montaña-Arias N. M., V. Quiroz-García, y G. Cruz-Flores. 1999. Colonización Micorrízica Arbuscular (MVA) y eficiencia de uso de fósforo y nitrógeno en trigo, triticale y maíz cultivados en un andisol del municipio Villa de Allende Edo. De México. Proyecto Octavo y Noveno FES Zaragoza, UNAM. 78pp.

- Mozafar, A. 1997. Distribution of Nutrient Elements Along the Maize Leaf: Alteration by Iron Deficiency. *Journal of Plant Nutrition*, 20 (7&8). 999-1005.
- National Plant Food Institute. 1974. *Manual de Fertilizantes*. Ed. Limusa. México.
- Osaki, M., T. Shinano and T. Tandano. 1992. Carbon-Nitrogen interaction in field crop production. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 38: 553-564.
- Padilla-Cuevas, J. 1998. Estimación de la Demanda Nutricional de N, P y K de Brocoli y Cebolla. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México.
- Palacios Alvarado, J. M. 1986. Dinámica y balance nutrimental en árboles de aguacate (*Persea americana* Mill) CV Hass, con alto y bajo rendimiento en la región de Uruapan, Michoacán. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados. Montecillos, México.
- Pasricha, N. S., V. K. Nayyar, N. S. Randhawa and M. K. Sinha. 1977. Influence of sulphur fertilization on suppression of molybdenum uptake by berseem (*Trifolium alexandrinum*) and oats (*Avena sativa*) grown on a molybdenum-toxic soil. *Plant and Soil*. 46: 245-250.

- Prescott, C.E., J. P. Corbin and D. Parkinsons. 1989. Biomass, productivity, and nutrient-use efficiency of above ground vegetation in four Rocky Mountain coniferous forest. *Can. J. For. Res.* 19: 309-317.
- Pujos, A. and P. Morard. 1997. Effects of potassium deficiency on tomato growth and mineral nutrition at the early production stage. *Plant and Soil.* 189: 189-196.
- Quiroz-García V., N. M. Montaña-Arias y G. Cruz-Flores. 1999. Actividad Fosfatásica y Glutamina Sintetasa de Raíz y la Cinética de Absorción de Nitrógeno y Fósforo en Trigo (*Triticum aestivum*), Triticale (*triticosecale* sp.) y Maíz (*Zea mays*). Proyecto Octavo y Noveno FES Zaragoza, UNAM 87 pp.
- Quiroz-García, V., G. Cruz-Flores y A. Cervantes-Sandoval. 2000^a. Balance de N:P y N:K sobre la Acumulación de estos nutrimentos y Producción de Biomasa. En *Memorias del 2° Simposio Nacional 1°. Reunión Iberoamericana sobre Nutrición de Cultivos.* Mérida, Yucatán. México.
- Quiroz-García, V., G. Cruz-Flores y A. Cervantes-Sandoval. 2000^b. Correlación de lecturas SPAD-502 y el N y P foliar en diferentes estadios fenológicos en Maíz. En *Memorias del 2° Simposio Nacional 1°. Reunión Iberoamericana sobre Nutrición de Cultivos.* Mérida, Yucatán. México.

- > Rao, T. P., O. Ito and R. Matsunga. 1993. Differences in uptake kinetics of ammonium and nitrate in legumes and cereals. *Plant and Soil*. 154: 67-72.
- > Rao, I. M., M. A. Ayarza y R. García. 1995. Adaptive attributes of tropical forage species in acid soils I. Differences in plant growth, nutrient acquisition and nutrient utilization among C4 grasses and C3 legumes. *Journal of Plant Nutrition*. 18(10). 2135-2155.
- > Reeves, D. W., P. L. Mask, C. W. Wood and D. P. Delaney. 1993. Determination of Wheat Nitrogen Status with a Hand-Held Chlorophyll Meter: Influence of Management Practices. *Journal of Plant Nutrition*. 16(5). 781-796.
- > Resh, H. M. 1992. *Cultivos Hidropónicos: Nuevas Técnicas de Producción*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España. Pp.23-48.
- > Reyes, C. P. 1990. *El Maíz y su Cultivo*. AGT Editor. México.
- > Rodríguez, S. J. 1993 a. *La fertilización de los cultivos. Un método racional*. 2ª. Edición. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.

- Rodríguez, S. J. 1993 b. Manual de fertilización. Colección en agricultura. 1ª. Edición. Facultad de Agronomía, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- Rodríguez, M. M. N., G. G. Alcántar, S. A. Aguilar, B. J. D. Etchever, y J. A. R. Santizó. 1998. Estimación de la Concentración de Nitrógeno y Clorofila en Tomate mediante un Medidor Portátil de Clorofila. *Terra*. 16(2): 135-141.
- Samperio, R. G. 1997. Hidroponía Básica: el cultivo fácil y rentable de plantas sin tierra. Ed. Diana. México.
- Sandoval-Villa, M., G. Alcantar-Gonzalez and J. L. Tirado-Torres. 1995. Use of Ammonium in Nutrient Solutions. *Journal of Plant Nutrition*. 18(7). 1449-1457.
- Sánchez del Castillo, F. 1981. Hidroponia: Principios y Métodos de Cultivo. Universidad Autónoma de Chapingo. México.
- Sánchez del Castillo, F. y E. R. R. Escalante. 1983. Hidroponia. UACH. México.
- Sánchez G, P. y N. Martínez B. 1999. Nutrición Mineral de *Alstroemeria*. Primera Edición. Publicación Especial 9. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo (SMCS). pp. 3-11.

- Saric, M. R. 1982. Theoretical and practical approaches to the genetic specificity of Mineral Nutrition of Plants. Ed. M.R. Saric. pp9-20. Proc. Int. Symp. Belgrade.
- Sauerbeck, D.R. y H. M. Helal. 1990. Factors affecting the nutrient efficiency of plants. In *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. Eds. N. E. Bassam; M. Dambroth y B.C. Loughman. pp. 11-16. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- SAS Institute, Inc. 1985. *SAS/Stat user's guide*, release 6.03 de SAS NC.
- Schepers, J. S., D. D. Francis, M. Vigil and F. E. Below. 1992. Comparison of corn leaf nitrogen concentration and chlorophyll meter readings. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 23: 2173-2187.
- Shadchina, T. M. and V. V. Dmitrieva. 1995. Leaf Chlorophyll Content as a Possible Diagnostic Mean for the Evaluation of Plant Nitrogen Uptake from the Soil. *Journal of Plant Nutrition.* 18(7). 1427-1437.
- Shogart, H. H. 1998. *Terrestrial ecosystem in changing environments*. Cambridge University Press. U. K.
- Sholto, D. J. 1994. *Hidroponia: Cómo Cultivar sin Tierra*. Ateneo. Buenos Aires.

- Siddiqui, M. Y. y A. D. Glass. 1981. Utilization Index: A modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. *Journal of Plant Nutrition*. 4:289-302.
- Sinclair, A. G., J. D. Morrison, L. C. Smith and K. G. Dodds. 1997. Determination of Optimum Nutrient Element Ratios in Plant Tissue". *Journal of Plant Nutrition*, 20 (9), 1069-1083.
- Starr, C. and R. Taggart. 1995. *Biology: The Unity and Diversity of Life*. 7a. ed. Wadsworth Publishing Company.
- Thung, M. 1988. "Phosphorus: A limiting nutrient in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) production in Latin America and field screening for efficiency and response. In *Genetic Aspects of Plant Mineral Nutrition*. Eds. N. E. Bassam; M. Dambroth y B. C. Loughman. pp. 501-521. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Uvalle-Bueno, J.; S. Alcalde-Blanco y H. Kick. 1995. Fundamento Fisiológico del Diagnóstico Diferencial Integrado (DDI). En XXVI Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo. Cd. Victoria, Tamaulipas, México.
- Volke Haller, V., B. J. D. Etchevers, A. Sanjuan Ramírez y T. Silva Palomino. 1998. Modelo de Balance Nutricional para la Generación de Recomendaciones de Fertilización para Cultivos. *Terra* 16(1):79-91

- Von Wirén, N., S. Gazzarrini and W. B. Frommer. 1997. Regulation of mineral nitrogen uptake in plants. *Plant and soil*. 196: 191-199.
- Withrow, R. B. y J.P. Biebel. 1975. *Nutrient Solution Methods of Greenhouse Crop Production*. Purdue Agronomy Experimental Station, La Fayette (Indiana).
- Wood, C. W., P. W. Tracy, D. W. Reeves and K. L. Edmisten. 1992. Determination of Cotton Nitrogen Status with a Hand-Held Chlorophyll Meter. *Journal of Plant Nutrition*. 15(9).1435-1448.
- Woodend, J. J. and A. D. M. Glass. 1993. Genotype-environment interaction and correlation between vegetative and grain production measures of potassium use-efficiency in wheat (*T. aestivum* L.) grown under potassium stress. *Plant and Soil* 151. 39-44.

Anexo 1

pH y Conductividad Eléctrica (CE) a diferentes edades durante el cultivo hidropónico considerando la unidad experimental como punto de referencia para conocer como se comportaban estos parámetros para cada genotipo (Maíz Pinto y Maíz V-23), tratamiento o dosis de nutrimentos así como por bloque (Repetición).

Los tratamientos del 1 al 6 corresponden a Maíz Pinto en el siguiente orden: tratamiento 1 (10:1), 2 (6:1), 3 (14:1), 4 (2:1), 5 (1:1), 6 (3.5:1) y del 7 al 12 a Maíz V-23: 7 (10:1), 8 (6:1), 9 (14:1), 10 (2:1), 11(1:1) y 12 (3.5:1).

BLOQUE 1																
Edad (días)	28		37		45		54		60		67		75		80	
Tratamiento	pH	CE														
1	7.02	298	7.10	294	7.08	214	7.02	280	7.10	232	7.03	269	6.75	263	7.08	273
2	7.04	260	7.18	269	7.04	201	7.14	246	7.10	219	6.93	231	6.95	243	7.15	183
3	7.04	296	7.11	301	7.09	217	7.04	289	7.01	235	6.91	276	6.98	278	7.30	278
4	7.24	282	7.08	263	7.13	239	6.98	278	7.24	253	6.93	291	6.93	274	7.16	290
5	7.12	240	7.10	258	7.29	184	7.12	237	7.04	207	6.86	238	6.79	229	7.15	192
6	7.10	256	7.01	264	7.20	219	6.96	257	7.24	234	6.98	277	6.70	265	7.05	220
7	7.02	298	7.08	297	7.10	221	7.02	280	6.98	235	6.74	266	6.79	257	7.08	273
8	7.04	260	7.06	357	7.20	225	7.14	246	7.17	229	6.88	253	6.88	256	7.15	183
9	7.04	296	7.11	302	7.14	216	7.04	289	7.10	238	7.01	279	6.83	276	7.30	278
10	7.24	282	7.03	309	7.17	234	6.98	278	7.04	253	6.84	295	6.81	293	7.16	290
11	7.12	240	7.08	258	7.30	185	7.12	237	7.12	208	7.14	237	6.78	229	7.15	192
12	7.10	256	7.06	264	7.16	197	6.96	257	7.21	219	6.97	258	6.69	240	7.05	220

BLOQUE 2																
Edad (días)	28		37		45		54		60		67		75		80	
Tratamiento	pH	CE	pH	CE	pH	CE										
1	7.02	298	7.15	280	7.07	217	7.02	280	7.08	216	6.81	261	6.98	243	7.08	273
2	7.04	260	7.04	274	7.23	200	7.14	246	7.09	212	6.88	251	6.89	229	7.15	183
3	7.04	296	7.09	296	7.04	232	7.04	289	7.00	244	6.81	272	6.6.8	261	7.30	278
4	7.24	282	7.15	290	7.16	249	6.98	278	7.26	256	7.17	286	6.59	278	7.16	290
5	7.12	240	7.03	256	7.26	190	7.12	237	7.23	205	7.18	244	6.82	237	7.15	192
6	7.10	256	7.01	274	7.16	192	6.96	257	7.18	206	6.97	261	6.62	235	7.05	220
7	7.02	298	7.07	294	7.13	220	7.02	280	7.18	230	6.90	278	6.78	257	7.08	273
8	7.04	260	7.08	263	7.14	180	7.14	246	7.07	186	6.96	228	6.82	203	7.15	183

9	7.04	296	7.07	302	7.13	224	7.04	289	7.07	248	6.87	297	6.70	234	7.30	278
10	7.24	282	7.05	286	7.19	212	6.98	278	7.00	216	7.00	262	6.70	245	7.16	290
11	7.12	240	7.08	258	7.10	174	7.12	237	7.15	200	6.92	230	6.77	220	7.15	192
12	7.10	256	7.05	277	7.14	206	6.96	257	7.09	221	6.77	264	6.62	272	7.05	220
BLOQUE 3																
Edad	28		37		45		54		60		67		75		80	
Tratamiento	pH	CE														
1	7.02	298	7.21	272	7.19	217	7.02	280	7.18	229	7.10	280	6.75	268	7.08	273
2	7.04	260	7.10	281	7.10	207	7.14	246	7.02	229	6.77	230	6.95	219	7.15	183
3	7.04	296	7.07	306	7.18	216	7.04	289	7.24	232	7.06	272	6.98	256	7.30	278
4	7.24	282	7.12	303	7.09	205	6.98	278	6.99	197	6.72	289	6.93	246	7.16	290
5	7.12	240	7.06	257	7.21	179	7.12	237	7.22	180	7.02	220	6.79	204	7.15	192
6	7.10	256	7.01	274	7.06	192	6.96	257	7.12	211	6.95	258	6.70	255	7.05	220
7	7.02	298	7.06	297	7.15	211	7.02	280	7.21	222	6.94	268	6.79	253	7.08	273
8	7.04	260	7.07	255	7.26	213	7.14	246	7.24	214	6.87	251	6.88	239	7.15	183
9	7.04	296	7.06	297	7.14	211	7.04	289	7.05	218	6.93	262	6.83	247	7.30	278
10	7.24	282	7.10	291	7.11	214	6.98	278	7.15	229	6.98	276	6.81	271	7.16	290
11	7.12	240	7.04	274	7.20	195	7.12	237	7.27	196	7.07	235	6.78	227	7.15	192
12	7.10	256	7.03	265	7.16	219	6.96	257	7.18	223	7.01	276	6.69	259	7.05	220
BLOQUE 4																
Edad	28		37		45		54		60		67		75		80	
Tratamiento	pH	CE														
1	7.02	298	7.12	294	7.24	185	7.02	280	7.14	201	6.82	244	6.75	227	7.08	273
2	7.04	260	7.09	269	7.13	188	7.14	246	7.21	181	6.39	217	6.95	212	7.15	183
3	7.04	296	7.07	313	7.20	166	7.04	289	7.18	197	6.84	247	6.98	239	7.30	278
4	7.24	282	7.07	303	7.11	254	6.98	278	7.09	246	6.75	284	6.93	272	7.16	290
5	7.12	240	7.09	258	7.07	180	7.12	237	7.18	197	6.86	232	6.79	220	7.15	192
6	7.10	256	7.01	244	7.04	197	6.96	257	7.02	211	6.84	251	6.70	246	7.05	220
7	7.02	298	7.06	292	7.10	203	7.02	280	7.14	223	6.94	271	6.79	264	7.08	273
8	7.04	260	7.08	353	7.18	184	7.14	246	7.17	190	6.99	222	6.88	226	7.15	183
9	7.04	296	7.06	304	7.13	220	7.04	289	7.07	235	6.79	270	6.83	265	7.30	278
10	7.24	282	7.03	282	7.13	226	6.98	278	7.08	242	6.74	290	6.81	283	7.16	290
11	7.12	240	7.06	268	7.18	187	7.12	237	7.21	197	6.89	245	6.78	227	7.15	192
12	7.10	256	7.04	264	7.17	180	6.96	257	7.13	206	6.85	237	6.69	228	7.05	220
BLOQUE 5																
Edad	28		37		45		54		60		67		75		80	
Tratamiento	pH	CE														
1	7.02	298	7.09	303	7.13	201	7.02	280	7.01	233	7.03	273	6.98	208	7.08	273
2	7.04	260	7.10	255	7.01	184	7.14	246	7.04	184	6.98	239	6.89	215	7.15	183
3	7.04	296	7.08	293	7.18	222	7.04	289	7.09	224	6.87	266	6.68	248	7.30	278
4	7.24	282	7.13	267	7.07	193	6.98	278	6.94	218	6.78	267	6.59	255	7.16	290
5	7.12	240	7.06	256	7.28	188	7.12	237	7.09	197	6.96	235	6.82	216	7.15	192
6	7.10	256	7.07	248	7.03	186	6.96	257	6.97	204	6.80	250	6.62	238	7.05	220
7	7.02	298	7.09	274	7.04	228	7.02	280	7.22	234	6.91	286	6.78	283	7.08	273

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

8	7.04	260	7.06	268	7.17	194	7.14	246	7.06	201	6.92	240	6.82	230	7.15	183
9	7.04	296	7.07	291	7.10	220	7.04	289	7.07	215	6.61	269	6.70	242	7.30	278
10	7.24	282	7.06	255	7.03	199	6.98	278	6.99	202	6.85	256	6.70	241	7.16	290
11	7.12	240	7.09	254	7.19	182	7.12	237	7.13	201	6.94	254	6.77	218	7.15	192
12	7.10	256	7.06	257	7.02	170	6.96	257	6.95	186	6.78	219	6.62	209	7.05	220

Anexo 2**Métodos Analíticos****Nitrógeno Total**

1. Pesar 0.1 g de tejido vegetal y se colocan en un matraz kjeldhal.
2. Agregar 1 g de mezcla de sulfatos, 1.5 mL de Ácido Sulfúrico-Salicílico.
3. Digerir a una temperatura no mayor de 360°C hasta que aparezca un color claro.
4. Enfriar y agregar 10 mL de agua destilada.
5. Transferir la solución al equipo de destilación adicionando 15 mL de Hidróxido de Sodio al 50%.
6. El destilado se recibe en 20 mL de solución de Ácido Bórico al 4% más 0.2 mL de indicador Verde de Bromocresol-Rojo de Metilo.
7. Se titula con Ácido Sulfúrico hasta que aparezca un color rosado.

Fósforo (Método del Vanadato-Molibdato).

1. Pesar 0.2 g de tejido vegetal pasado por una mall del No. 20 y colocarlo en un matraz kjeldhal.
2. Agregar 3 mL de Ácido Nítrico y 2 mL de Ácido Perclórico concentrados.
3. Digerir previamente por 30 minutos a temperatura menor a 160°C.

4. Concluir la digestión hasta que la muestra se haya aclarado.
5. Dejar enfriar y aforar a 10 mL, filtrando.

Determinación

1. Tomar 1 mL del extracto filtrado.
2. Agregar 1.5 mL de solución para fósforo (Vanadato-Molibdato).
3. Aforar a 10 mL y leer en un espectrofotómetro a 470 nm.

Potasio (Absorción Atómica)

1. Pesar 0.2 g de tejido vegetal pasado por una mall del No. 20 y colocarlo en un matraz kjeldhal.
2. Agregar 3 mL de Ácido Nítrico y 2 mL de Ácido Perclórico concentrados.
3. Digerir previamente por 30 minutos a temperatura menor a 160°C.
4. Concluir la digestión hasta que la muestra se haya aclarado.
5. Dejar enfriar y aforar a 10 mL, filtrando.
6. Se lee en Absorción atómica.

