

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**Respuesta en la Asimilación Diferencial de Minerales de
líneas de Sorgo "glossy" y "no «fessy"**

TESIS

Que en Opción al Título de

Maestro en Ciencias con Especialidad en

BOTANICA

PRESENTA

Q.B.P. María Adriana Núñez González

MONTERREY, N.L.

JULIO DE 1995

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLOGICAS



**Respuesta en la Asimilación Diferencial de Minerales de
líneas de Sorgo "glossy" y "no glossy"**

T E S I S

Que en Opción al Título de

Maestro en Ciencias con Especialidad en

BOTANICA

P R E S E N T A

Q.B.P. María Adriana Núñez González

MONTERREY, N.L.

JULIO DE 1995

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**Respuesta en la Asimilación diferencial de Minerales de
líneas de Sorgo "glossy" y "no glossy"**

T E S I S

Que en Opción al Título de

Maestro en Ciencias con Especialidad de

B O T A N I C A

P R E S E N T A

Q.B.P. María Adriana Núñez González

/i/

Presidente:

Dr. Ratikanta Maiti

Secretario:

/ i /
-NA/ Ce/—' N-I.
, ^TÍ.S.P. Gracie)a/García Díaz

Vocal:

Dra. Hilda Gámez González

Esta investigación se realizó
en los laboratorios de Botánica,
y Química Analítica de la Facultad
de Ciencias Biológicas de la
Universidad Autónoma de Nuevo
León bajo la dirección del Dr.
Ratikanta Maiti.

RESUMEN

El desarrollo de un país depende de su capacidad de producir alimentos, el sorgo es un cultivo muy importante para la ganaderías principalmente en las zonas semiáridas. Los factores que limitan el establecimiento de este cultivo son la sequía, las altas temperaturas, las plagas, la salinidad de los suelos y la escasez de nutrientes entre otros, por lo que se han introducido a esta zona líneas de sorgo principalmente con carácter "glossy"; éste es una serie de propiedades morfológicas que le confieren resistencia a diversos factores de estrés tanto biótico como abiótico. A la fecha se han realizado varios estudios con el fin de recomendar los genotipos con más posibilidades de adaptación al suelo de estas zonas para una mejor producción de forraje y grano. Este trabajo es un complemento para dicha línea de investigación. Se estudió la respuesta de los genotipos "glossy" a altas y bajas concentraciones de nutrientes comparándola con las líneas "no glossy". Las semillas de sorgo fueron sembradas en cuatro concentraciones de la solución nutritiva propuesta por Clark en 1982 para crecimiento de sorgo y maíz usando como soporte perlita. Se aplicaron los tratamientos por 45 días en cámara bioclimática, al término se obtuvo la plántula completa, se secó, calcinó y determinó Calcio, Potasio, Magnesio, Manganeso, Hierro, Cobre y Sodio por espectrofotometría de emisión por plasma. De acuerdo a los resultados, se recomiendan como genotipos óptimos para crecimiento bajo estrés de nutrientes: **IS 5567, IS 1082 e IS 4476**, los tres "**glossy**". Cabe mencionar que no se presentó diferencia en la captación de calcio.

INTRODUCCION

El desarrollo de un país depende de su capacidad de producir alimentos, el sorgo es la principal fuente de alimento para millares de personas que habitan los trópicos semiáridos, pero la producción de forraje y grano en estas zonas representa un gran reto por las características ambientales y de suelo tales como la sequía, las altas temperaturas y escasez de nutrientes entre otras. En base a este problema, se han introducido a nuestro País líneas de sorgo tropical principalmente con carácter **"glossy"** que de acuerdo a varios autores son resistentes a las diferentes condiciones de estrés que se presentan en esta área del Noroeste del País. Estas líneas de sorgo se han venido estudiando con gran interés ya que resultan ser una magnífica alternativa de cultivo de forraje y grano. Según los resultados de los experimentos realizados en México para la evaluación de las variedades y germoplasma del sorgo tropical "glossy" mostraron una fuerte variabilidad en los mecanismos fisiológico y bioquímicos de adaptación a los diferentes factores de estrés estudiados tanto biótico como abiótico por lo que fueron seleccionados algunos genotipos resistentes como alternativa de cultivo. A la fecha, se continúa con dicha línea de investigación y el presente trabajo es un complemento para la misma. Se evaluará la capacidad de resistencia de algunos genotipos "glossy" comparándolos contra "no glossy" a altas y bajas concentraciones de nutrientes. Al momento solo hay un estudio sobre este tema, específicamente con fosfatos, en este trabajo se abarcará, macro y micronutrientes esenciales.

HIPOTESIS

Se espera encontrar una mayor eficiencia en captación de nutrimentos en sorgo "glossy" y respuesta diferencial entre los genotipos "glossy" y "no glossy".

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Determinación de la eficiencia en la absorción de calcio, magnesio, potasio, fierro, manganeso, cobre y sodio en líneas de sorgo "glossy" y "no glossy" a diversas concentraciones de nutrimentos.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Evaluar la respuesta en captación al aumentar gradualmente la concentración de minerales en el medio de crecimiento en genotipos de sorgo "glossy" y "no glossy".

Comparar el comportamiento entre líneas de sorgo "glossy" y "no glossy" a altas y bajas concentraciones de nutrimentos.

Seleccionar los genotipos eficientes para cada uno de los elementos determinados a altas y bajas concentraciones de nutrimentos.

ANTECEDENTES:

SORGO

El sorgo es la principal fuente de alimento para millares de personas que habitan en los trópicos semiáridos. En las áreas tropicales el grano de sorgo es importante tanto como alimento humano como por su utilidad forrajera. El follaje y tallo son utilizados como forraje henificado y pastura; este último es también utilizado como combustible y material de construcción. En áreas templadas su principal uso es como forraje, excepto en China donde principalmente es usado para alimento humano (House, 1980). Según algunos autores, el centro de origen del sorgo (*Shorgum bicolor* (L.) Moench) es la zona ecuatorial de África oriental, quizá Etiopía o Sudán. Angeles, en 1968 menciona que el primer sorgo cultivado llegó a América en 1853 por el puerto de Nueva York, E. U. A., y fue establecido por primera vez en California, en 1874. No se tiene referencia sobre el lugar y fecha de su introducción a México, sin embargo, se tiene la impresión de que esto sucedió a fines del siglo pasado. En nuestro país específicamente en la región noreste comprendida por los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, miles de hectáreas de este grano son cultivadas anualmente donde un gran porcentaje de la superficie cultivada se lleva a cabo bajo la condición de temporal. (Maiti, 1986). En base a la necesidad cada vez mayor tanto de forraje como de grano en zonas temporales fueron introducidas líneas de sorgo 'tropical principalmente con carácter "**glossy**".

SORGO "GLOSSY"

El carácter "glossy" es una serie de características morfofisiológicas sencillas relacionadas con la resistencia de estos genotipos a diversos factores de estrés biótico y abiótico como lo son:

- Capacidad de desarrollar raíces mas largas en condiciones de sequía y salinidad.

- Presencia de una capa de cera epicuticular lisa que refleja la radiación solar y evita la pérdida de agua.

- Adaptaciones bioquímicas:

 - Acumulación de prolina en raíz.

 - Presencia de ácido cianhídrico en hoja.

Estos dos últimos caracteres le sirven como osmoreguladores del flujo de agua, todos estos caracteres presentan variabilidad entre los genotipos (Maiti 1995).

Entre 4-90 líneas de sorgo "glossy" evaluadas bajo las condiciones de suelo de Nuevo León, se seleccionaron algunas para su utilización en la producción de forraje y grano. Se han evaluado dichas líneas a fin de conocer su grado de resistencia y el mecanismo de esta reportando resultados muy alentadores y determinantes que proponen genotipos resistentes como alternativa de cultivo de grano y forraje para ganadería del Noreste de México. Maiti en 1995 encontró que la resistencia de algunas líneas de sorgo "glossy" a dichos factores no es debida a un solo carácter sino a un mecanismo complejo que incluye adaptaciones morfológicas y fisiológicas, así como a adaptaciones bioquímicas. En este mismo trabajo el autor propone los siguientes genotipos "glossy" como óptimos para producción de forraje y grano en las zonas temporaleras de México: IS 5587, IS 5604, IS 5484, IS 4776 y el IS 18390.

Los principales problemas que afectan el establecimiento y producción de sorgo en las zonas semáridas son básicamente las altas temperaturas, salinidad de los suelos, lluvias erráticas y escasez de nutrimentos entre otros (Wilson et al., 1982, Maiti, 1983; Maiti et al.; 1984, 1986; Soman, 1990; Soman and Peacock, 1985; Maiti et al., 1986; Maiti y Carrillo, 1989; Maiti, 1993).

ESTUDIOS SOBRE NUTRICION MINERAL

El crecimiento de las plantas en soluciones nutritivas es una invaluable herramienta para estudios de nutrición mineral. El análisis de las plantas se realiza desde 1840 por Van Liebig como un medio para determinar las necesidades de nutrimentos del suelo mediante la determinación de los elementos removidos. Weinhold en 1862 lo utilizó como de suplemento de nutrimentos disponibles. (Mortvedt,1983). Hewitt en 1966 reporta que el crecimiento de las plantas en soluciones nutritivas tiene ventajas y desventajas: la mayor ventaja es que la composición del medio de crecimiento puede ser cuidadosamente definida y controlada en comparación con el crecimiento en suelos, otra de ellas es que la raíz puede ser fácilmente estudiada e incluida en los análisis. La desventaja es que algunas plantas tardan en adaptarse a este medio artificial. Las plantas toleran varios tipos de soluciones nutricias. Algunos macronutrimentos pueden ser muy variados sin que representen severos problemas dentro de ciertos limites, un buen ejemplo es el fósforo. El balance de elementos y la concentración osmótica es importante, ciertos elementos interactuan con otros y estos a su vez Con otros mas. A través de los años se han reportado varios tipos de soluciones nutricias para el crecimiento de las plantas en medio líquido, los mas comunmente referidos en la literarura son los siguientes: Sachs, Knop, Maze, Hoaglandd, HoasjSand and Amoid, Steinberg, Shive, Crone, Trealease and Trealease, Piper, Robins, y muchos otros. Las soluciones llevan los nombres de las personas que

los reportaron, y consisten en mezclas de compuestos químicos que varían en sus concentraciones utilizadas. Las unidades que usan para reportar concentraciones son: moles, micromoles, partes por millón, equivalentes, etc. A veces la concentración de la solución de nutrientes depende del número de plantas por recipiente o de la edad de la planta, otros detalles que hay que cuidar escrupulosamente son el pH de la solución y la razón NO_3/NH_4 ya que de acuerdo a Shibano en 1981 el contenido de calcio, potasio y magnesio del grano de sorgo es influenciado por el contenido de nitrógeno. En la preparación de la solución nutritiva es muy importante la purificación de los reactivos utilizados (esencialmente las sales) para reducir la contaminación con metales pesados (Clark 1982). Las técnicas para medir la concentración de los elementos en las plantas, suelos y soluciones nutritivas han progresado mucho en los últimos 20 años. En la actualidad se utilizan espectrofotómetros de absorción atómica para determinar metales. Aún más valiosos (y costosos) son los espectrofotómetros de emisión por plasma, en los cuales los elementos se vaporizan a temperaturas mayores de 2000 grados centígrados, temperaturas tan elevadas excitan de manera temporal los electrones desplazándolos de sus órbitas de estado basal o fundamental a niveles de energía superiores, cuando estos electrones regresan a su estado energético original, se emite energía con longitud de onda característica para cada elemento. El espectrofotómetro mide esta longitud de onda y cuantifica la energía. En estos equipos es posible medir las concentraciones de más de 20 elementos en una sola solución con gran sensibilidad y pequeña cantidad de muestra (Soltanpour et al., 1982., Alexander y McAnulty, 1983).

IMPORTANCIA DE LOS MINERALES PARA EL CRECIMIENTO DE LAS PLANTAS.

Las funciones de los elementos necesarios para el crecimiento de las *plantas han sido estudiadas por vahos científicos, Cronquist en 1986 menciona* que los papeles de varios elementos necesarios están interrelacionados en una forma muy compleja, de tal manera que un aumento o disminución en el suministro de cualquier elemento influye directa o indirectamente en la necesidad para uno o varios otros. Existen distintas clasificaciones de los elementos dependiendo del autor o el punto de vista que se clasifiquen, una de ellas es, **esenciales y no esenciales**; según Epstein, 1972, reporta que un elemento es esencial si el vegetal no puede completar su ciclo de vida (esto es formar semillas viables) en ausencia de tal elemento. En segundo lugar, un elemento es esencial si forma parte de cualquier molécula o constituyente de la planta que es, en sí mismo, esencial para esta como el nitrógeno en las proteínas y el magnesio en la clorofilia por ejemplo. Aún cuando estos dos criterios tienen amplia aceptación entre los expertos en nutrición mineral hay otros mas. Amon y Stout (1939) propusieron el uso de un tercer criterio: Si un elemento es esencial, debe actuar de manera directa en el interior de la planta, sin influir en que algún otro elemento sea mas fácilmente disponible, ni antagonizar el efecto de algún otro elemento. Los elementos esenciales son 17 y se dividen en: Elementos traza, oligoelementos o micronutrientes, que son los que se necesitan en concentraciones tisulares iguales o menores que 100 mg/kg de materia seca y son el molibdeno, níquel, cobre, zinc, manganeso, boro, hierro, y cloro, y los otros nueve son denominados macronutrientes, se necesitan concentraciones de 1000 mg/kg de materia seca. Además de estos elementos esenciales, algunas especies requieren de otros. Brownell en 1972 afirma que el sodio es un elemento esencial cuando menos para algunas plantas, las que utilizan fotosíntesis C4. Los elementos no esenciales se clasifican como elementos de acción no definida (silicio, aluminio, flúor y cobalto) y

elementos tóxicos (plomo, cadmio, plata, mercurio, arsénico, estaño, etc.) (Tomsetty Thurman, 1988).

CALCIO

El calcio es esencial para las funciones normales de la membrana en todas las células, probablemente como un enlazador de fosfolípidos entre sí o a proteínas de membrana. Hanson en 1984, Hepler y Wayne, 1985, Trewavas, 1986; Leonard y Hepler, 1990) reportan que todos los organismos mantienen concentraciones inesperadamente bajas de Ca^{++} en el citosol comúnmente menores de un micromol. La mayor parte del calcio se encuentra en las vacuolas centrales y unido en las paredes celulares a polisacáridos llamados pectatos (Kinsel 1989). El calcio es un segundo mensajero metabólico cuya concentración citosólica es íntimamente controlada por Ca^{2+} -ATPasa (Kauss, 1987), cualquier modificación en la entrada de calcio al citosol a través de la membrana plasmática tiene fuertes consecuencias en el crecimiento de la planta. Sin embargo la proporción de NH_4^+ - NO_3 y posiblemente la proporción de magnesio/calcio puede ser crítica en la captación de calcio, esto ha sido estudiado por décadas pero no hay resultados concluyentes (Miller, 1938). Wilkinson y Duncan en 1989 encontraron que en suelos ácidos no hay influencia sobre el crecimiento inicial de la raíz a una concentración de calcio hasta de 100 mg l^{-1} como cloruro, pero al incrementar la concentración se inhibe el crecimiento de este de manera reversible por adición de ácido giberélico exógeno en seis variedades de sorgo. Estos mismos autores probando el efecto del pH en la asimilación de este elemento en

hoja de seis variedades de *Sorghum bicolor* (L.) (Moench) encontraron como máximo una concentración de 76 micromoles de calcio por gramo de materia seca cultivándolo el suelo a un pH de 6.2 a 6.5.

Los síntomas de deficiencia de calcio en los vegetales son los siguientes: Las hojas jóvenes se distorcionan y las yemas terminales mueren y por consiguiente el tallo. (Kirkby y Pilbeam, 1984).

POTASIO

El potasio es uno de los elementos mas abundantes en las plantas de sorgo, dependiendo de la edad de la planta, la parte y las condiciones, otros elementos igualmente altos son, nitrógeno, calcio y silicio. El potasio es un activador de muchas enzimas que son esenciales en la fotosíntesis y la respiración, además de que activa enzimas necesarias para formar almidón y proteínas (Bhandal y Malik 1988). Este elemento es tan abundante que contribuye de manera importante al potencial osmótico de las células y por consiguiente a su presión de turgencia. La deficiencia de este elemento produce hojas moteadas o cloróticas con manchones de tejido muerto por lo común en las puntas y entre las venas mas notables en los tallos de las hojas. Roy y Wright en 1974 estudiaron el patrón de acumulación fosforo/potasio en diferentes etapas de sorgo en suelo fertilizado y no fertilizado, mostrando que la acumulación de potasio fué mas rápida en etapa temprana pero una pérdida significativa de potasio por la planta ocurre durante la etapa final. La tasa de acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio fué mas alta durante los primeros 35 a 42 días y a los 70 y 91 días coincidiendo con un gran período de etapa vegetativa y llenado de grano respectivamente. En suelos no fertilizados hay una alta traslocación de nitrógeno y fósforo de la parte vegetativa al grano, y fue una menor la translocación de

fósforo. El sorgo en etapa temprana acumula altas concentraciones de potasio en las hojas el cual disminuye con la edad, aunque el grano contiene gran cantidad de este elemento, la mayoría de este en plantas adulta se acumula en tallo (Clark 1993).

MAGNESIO

El magnesio se absorbe como ión divalente Mg^{++} . En su ausencia la clorosis se las hojas mas antiguas es el primer síntoma. Además de su presencia en la clorofila el magnesio es esencial porque se combina con el ATP (permitiendo así que participe en muchas reacciones) y porque activa muchas enzimas necesarias en fotosíntesis, respiración y formación de DNA y RNA (McMurtrey, 1938). Tan *et al*, en 1992 reportan efecto de la fertilización con magnesio sobre el crecimiento del sorgo, elongación de raíz y captación de nutrimentos y el efecto del pH sobre estos, reportando como óptimo 4.3 a 4.7 reportando también variabilidad entre los genotipos estudiados. Kezheng, et al., 1993 encontraron que una deficiencia de magnesio causa un síndrome de toxicidad por aluminio en diferentes genotipos de sorgo.

MANGANESO

El *manganeso tiene una función* estructural en el sistema de membranas del cloroplasto y activa numerosas enzimas (Uren, 1981). Existe un reporte que afirma que niveles de manganeso arriba de 6 milimoles son severamente tóxicos para el sorgo en particular (Mgema y Clark 1994). La concentración de hidrógeno calcio y manganeso influyen en el crecimiento de la raíz en sorgo (Wilkinson y Duncan, 1989), se encontró un exceso de manganeso disminuye en crecimiento de la raíz.

COBRE

El cobre esté presente en diversas enzimas o proteínas implicadas en los procesos de oxidación y reducción, por ejemplo la citocromo oxidasa y la plastocianina. Los síntomas de deficiencia de este nutrimento es marchitez en las puntas de hojas jóvenes (Grundon 1987), según Clark 1982, el sorgo no es muy susceptible a la deficiencia demostrando variabilidad entre genotipos.

FIERRO

El fierro es esencial debido a que forma parte de ciertas enzimas y numerosos proteínas que acarrear electrones durante la fotosíntesis y la respiración (Seckback, 1982). La importancia del fierro, zinc, cobre y manganeso ha sido revisada por Sandman y Borguer (1983), reportando que en suelos de pH elevado y con bicarbonatos se presenta deficiencia de fierro, en tanto que suelos ácidos el aluminio soluble es más abundante y restringe la absorción del fierro. El sorgo es muy susceptible a la deficiencia de este nutrimento (Clark 1982).

SODIO

El sodio aun cuando no se considera por sí mismo necesario, puede sustituir, en parte al potasio requerido por las plantas (Brownell,19721). El sodio se acumula en altos niveles en suelos salinos, aparentemente no es esencial para el crecimiento del sorgo, un exceso de este elemento puede ocasionar toxicidad para algunas líneas de este cultivo causando flacidez en el ápice y bordes de las hojas jóvenes (Clark, 1993). De Rosa en 1993 demostró que algunos genotipos de

sorgo "glossy" son altamente resistentes a elevadas concentraciones de NaCl en el medio de crecimiento.

MINERALES SORGO

El sorgo es un cereal y como tal tiene requerimientos minereales diferentes a los cultivos no cereales (Maiti 1993). Muchos factores están involucrados en la asimilación de elementos minerales para la producción de sorgo, por ejemplo la disponibilidad de los elementos en el suelo, propiedades físicas y químicas de los suelos, las condiciones ambientales y el producto final deseado. La siguiente tabla muestra un reporte de la concentración de elementos minerales en plántulas de sorgo (Clark 1993).

Tabla 1. Concentración promedio de elementos en plántulas de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench).

ELEMENTO	CONCENTRACION	
Nitrógeno	20.4 mg/gr materia seca	
Fosforo	3.17 •	i»
Potasio	40.2	!«
Calcio	28.6	«1
Magnesio	2.18	II
Azufre	1.40	II
Silicio	21.8	II
Manganeso	41.2	ug/gr materia í
Fierro	274	II
Cobre	7.4	II
Zinc	21.3	II

PAPEL GENETICO DE LA NUTRICION MINERAL

El crecimiento y la productividad de las plantas es influenciado por la información genética y el ambiente. Las interacciones ambientales con las plantas y la habilidad de éstas para convertir agua, bióxido de carbono y nutrientes minerales en tejido determina el nivel de crecimiento y producción (Bjorman y Berry, 1973). La absorción de elementos del suelo por las plantas es el primer paso de unión de requerimientos en planta-animal-alimento humano. Clark y Brown en 1986 hacen una revisión del papel de la nutrición mineral relacionada con el mejoramiento genético de las plantas y reportan que existe variabilidad genética en la capacidad de adaptación de las plantas para adaptarse a diferentes ambientes; éstas difieren en su respuesta a estrés de minerales según su especie (Lafever, 1981). Existen numerosos métodos para evaluar e identificar la respuesta a dicho estrés por las plantas (Wright, 1976). Estos métodos deben ser sencillos, baratos, altamente específicos y precisos. El mismo autor demostró que los caracteres específicos de resistencia a estrés de nutrimentos son heredables, pero el grado de heredabilidad y acción de los genes involucrados en este proceso no está estudiado. Gabelman (1976) y Gerloff (1986) estudiaron la herencia de utilización de nitrógeno, fósforo y potasio en tomate y frijol, ellos sugieren que los niveles de segregación en la progenie de la plántula debe ser adecuada para selección del programa de mejoramiento. En maíz la nutrición diferencial para fósforo, calcio y manganeso fué asociada con el cromosoma 9 (Naismith et al. 1974), y en *Sécales cereale* L. un brazo de un cromosoma simple fué responsable para la eficiencia de absorción de cobre (Graham 1978). El mecanismo de adaptación de la planta a bajos niveles de fósforo fué sugerido por Bielecki en 1973 y Woolhose en 1983 ellos encontraron actividad diferencial de la

fosfatasa en raíz bajo estrés de fosforo. Existe variación genética en la capacidad de captación de calcio (Wilkinson y Duncan 1993).

INTERACCIONES

Existe una serie de interacciones entre los distintos nutrimentos que son requeridos por las plantas por mencionar algunos, una cantidad inadecuada de fósforo, puede ser compensada, en parte, por una cantidad adicional de magnesio. Un aumento en el suministro de calcio aumenta la necesidad de boro, cobre, magnesio, manganeso y potasio; y un aporte inadecuado de calcio interfiere con la absorción de los nitratos. Las concentraciones y las proporciones exactas de los distintos minerales necesarios para el óptimo crecimiento de alguna especie en particular son con seguridad rara vez alcanzadas, ya que existe un rango considerable de variación dentro del cual ocurre un crecimiento razonablemente normal (Cronquist, 1986).

El aluminio tiene efecto tóxico sobre el crecimiento de la raíz en sorgo, pero existe una interacción de calcio-magnesio sobre este efecto, con un incremento de calcio desde 3.7 a 15.5 milimoles, por litro se reduce el efecto de toxicidad promoviendo así el crecimiento de la raíz, al contrario, el incremento de magnesio en los mismos niveles, aumenta la toxicidad disminuyendo el crecimiento de la raíz (Furiani y Clark, 1981). Wilkinson y Duncan 1993 también estudiaron el efecto inhibitorio del aluminio en la absorción de calcio por raíces de sorgo.* El verde malaquita disminuye significativamente la absorción de calcio por raíz de sorgo a una concentración de 0.01 milimolar (Wilkinson y Duncan 1994). Estos mismos autores en 1994 estudiaron la influencia del sulfato de magnesio sobre la absorción del calcio por el sorgo encontrándose que una concentración de magnesio de 0.01 molar induce un incremento significativo en la absorción, pero

una de 1.0 molar reduce significativamente la captación del Calcio; esta respuesta puede explicarse en base al tamaño, número de iones hidratados y sus cargas que se presenta» i en la apertura del canal y las cargas sobre los canales prote'cos (Stein, 1990). Los canales cationicos tienen carga negativa, el hidrato de Mg^{+2} es mas pequeño que el Ca^{2+} , en alta concentración el magnesio compite con el calcio por el espacio en el canal y disminuye la cantidad de iones de calcio que pueden ser difundidos a través del canal por unidad de tiempo (Hille, 1984; Stein, 1990, Hille, 1992.) El incremento en la captación de calcio es el resultado de la combinación del tamaño del canal, la carga negativa y la apertura del mismo (Stein, 1990).

una de 1.0 molar reduce significativamente la captación del Calcio; esta respuesta puede explicarse en base al tamaño, número de iones hidratados y sus cargas que se presenta[<], en la apertura del canal y las cargas sobre los canales profesos (Stein, 1990). Los canales cationicos tienen carga negativa, el hidrato de Mg^{+2} es mas pequeño que el Ca^{2+} , en alta concentración el magnesio compite con el calcio por el espacio en el canal y disminuye la cantidad de iones de calcio que pueden ser difundidos a través del canal por unidad de tiempo (Hille, 1984; Stein, 1990, Hille, 1992.) El incremento en la captación de calcio es el resultado de la combinación del tamaño del canal, la carga negativa y la apertura del mismo (Stein, 1990).

MATERIALES Y METODOS

El material genético utilizado para este trabajo fue proporcionado por el Instituto Internacional de Investigaciones para los Cultivos en los Trópicos Semiáridos (ICRISAT).

GENOTIPOS "glossy"

IS 5587

IS 4476

IS 1082

IS 2205

GENOTIPOS "no glossy"

TY 101 R

M9 11R

EXPERIMENTO

La siembra de las semillas se realizó en macetas de polietileno de 355cc. de capacidad con un orificio al fondo para drenaje usando como soporte perlita que

es un material completamente inerte y podemos garantizar que no aportara *nutrimentos* al medio. Se colocaron 8 semillas por maceta a una profundidad de 4 cm. para cada uno de 6 genotipos (cuatro "glossy" y dos "no glossy"), cuatro tratamientos y tres repeticiones utilizando un diseño de bloques completamente al azar. Las macetas fueron colocadas en una camara bioclimatica Modelo Biotronett Mark III por 45 dias a 14 horas luz a 30 grados centígrados +/- 2.

Los tratatamientos consistieron en cuatro concentraciones diferentes de la solución nutricia de Clark propuesta en 1982 para el crecimiento de sorgo y maíz, ya que el crecimiento de plantas en soluciones de minerales es una herramienta indispensable para estudios de nutrición mineral, debido al control que es posible tener de las concentraciones de estos. El pH elegido para el crecimiento del sorgo fué de 6.2 ya que el sorgo crece adecuadamerrta bajo esa condición. A la solución de concentración propuesta por Clark se le denomino en el experimento solución 1. Una dilución 1:4 se denominó 0.25. Al dobie y triple de la concentración, solución 2 y 3 respectivamente.

COMPOSICION DE LA SOLUCION NUTRICIA DE CLARK.

ELEMENTO	uMol	gr por litro DOSIS AÑADIDA'	
Calcio	7540	302	3393
Potasio	7240	283	3258
Magnesio	1550	37.8	697
N N03	22900	321	10305
N NH4	2780	39	1251
Cloro	1940	65	8973
Azufre	1820	58.5	819
Fosforo	65	2	29.2

Fierro	49	2.76	22
Manganeso	18	0.974	8.1
Boro	50	0.536	22.5
Zinc	4.6	0.3	2070
Cobre	1.2	0.076	540
Molibdeno	1.6	0.155	0.72
Sodio	200	4.56	90
* uMol	Tomando en cuenta	que fueron	agregados

solución por tratamiento.

Esta solución se preparo pesando la cantidad de reactivo sugerida por Clark previamente purificada y disolviéndola al volumen requerido en agua desionizada. Las sales se purifican con una solución de 8-hidroxiquinolina al 0.25 % en cloroformo, lavándolas subsecuentemente en cloroformo puro y removiendo luego el solvente por secado en estufa, con este procedimiento se purifican de metales pesados (Hewitt, 1966).

Al día 15 de la siembra se aclareó dejando solo fres plantas por maceta y se continua con el tratamiento hasta los 45 días, fecha en que se sacó la planta del soporte incluyendo la raíz y se lavó cuidadosamente con agua desionizada para eliminar los elementos depositados sobre la superficie de la plántula y se colocó a secar en una estufa Felisa modelo FE 131 a 60 grados centígrados por

Añ hArae ñora li uartry ríoforrtrinor nactn com Doró lo HatarminoriAn r4o mofoloo co
-TW i ivt uer, |Jui u iuwyy awtwmiii tui pvrov cvw. i uuu tu uviai i t m iuwr >1 i ti |wiiwec ov

realiza la digestión vía seca según Perkin Elmer 1986 que consiste en pesar la muestra, carbonizarla y calcinarla a 500 grados centígrados por fres horas disolviendo las cenizas en una solución de ácido clorhídrico al 20 % y filtrándolas sobre papel filtro Whatman # 41; del filtrado se analizó calcio, magnesio, potasio, sodio, cobre, manganeso y fierro en planta completa por la técnica de

espectroscopía de emisión por plasma (Thermo Jarrell Ash Atom Sean™ 25). Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó la prueba de T de student para comparar promedios de asimilación de genotipos "glossy" y "no glossy" y **comportamiento** a altas y bajas concentraciones y análisis de varianza para probar la diferencia entre los genotipos las concentraciones y su interacción.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La solución de nutrimentos utilizada para nuestro estudio fué la reportada por Clark en 1982 para cultivo de sorgo y maíz, resultó ser un eficiente medio para lograr nuestros objetivos. El pH elegido de la solución nutritiva fué de 6.2 que obsevó una buena tasa de germinación de las semillas utilizadas (98 %).

CALCIO:

El comportamiento de los genotipos "glossy" y "no glossy" estudiados para absorción global de calcio fué significativamente diferente, siendo para "glossy" 284 micromoles por gramo de materia seca en planta total y para "no glossy" 241 (cuadro 1). Wilkinson y Duncan probando el efecto del pH en la asimilación de este elemento en seis variedades de *Sorghum bicolor* (L.) Moench encontraron como máximo una concentración de 76 micromoles de calcio por gramo de materia seca en hoja, cultivada en suelo. Estos valores son más bajos debido a que la raíz tiene mayor contenido de minerales que la hoja. En general se presentó una buena absorción de calcio por parte de los genotipos "glossy" y "no glossy" pero uno de ellos en especial, el IS 5587 "glossy" presento una «elevada capacidad de absorción a bajas concentraciones tolerando igualmente las altas (Fig. 1). En la figura 2 se comparó con la prueba de T el comportamiento a bajos y altos,niveles de nutrimentos para "glossy" y "no glossy", y no se encontró diferencia significativa entre estos, resultando lo siguiente: "glossy" a baja

concentración de nutrimentos 287 micromoles por gramo de planta, "glossy" alta concentración, 252 micromoles por gramo de planta, "no glossy" baja concentración 232 micromoles por gramo de planta y "no glossy*" alta concentración 224 micromoles por gramo de planta, (cuadro 2), se comprobó que el sorgo "glossy" es más eficiente que el "no glossy" en absorción de calcio tanto a altas como a bajas concentraciones de nutrimentos. En cuanto a la comparación entre líneas glossy y "no glossy" se presentó diferencia significativa (Cuadro 1). De acuerdo al análisis de varianza existió diferencia significativa entre genotipos, concentraciones y su interacción (Cuadro 3). Con estos resultados se encontró que al incrementar la captación de magnesio ocurre una disminución en la absorción de calcio lo que concuerda con diferentes autores que estudian esta interacción, reportando que una baja concentración de magnesio induce una mayor absorción de calcio, pero a alta concentración la disminuye debido a que el magnesio compite con el calcio por el espacio en los canales de la membrana plasmática, ya que los hidratos de magnesio son más pequeños que los de calcio a alta concentración y tiene más posibilidades de difundirse a los canales retardando así la absorción del calcio (Miller, 1937; Wilkinson y Duncan, 1993; Kaus, 1987; Hille, 1984; Hille, 1992; Wilkinson 1993).

POTASIO

La asimilación del potasio a las diferentes concentraciones utilizadas de la solución nutritiva (0.25, 1, 2 y 3) se observó que no se encuentra una tendencia definida (Fig 2.). En general no existió diferencia significativa de la concentración de potasio en

la planta según la prueba de T; obteniéndose para la línea "glossy" 411 micromoles por gramo de planta y para "no glossy" 517. (Cuadro 1). Sin embargo, comparando el promedio de asimilación a alta concentración de nutrimentos sí se presentó diferencia significativa siendo para "glossy" 658 micromoles por gramo de planta y para "no glossy" 512, y por el contrario a bajas concentraciones no existió diferencia significativa obteniéndose 153 y 150 micromoles por gramo de planta para "glossy" y "no glossy" respectivamente (Cuadro 2). Según Maiti en 1993 una concentración de potasio de 103 micromoles es la concentración normal de potasio en plántulas de sorgo lo que concuerda con los resultados encontrados en la prueba de baja concentración de la solución de Clark (153 y 150 micromoles por gramo de planta para "glossy" y "no glossy" respectivamente). El análisis de varianza realizado arrojó los siguientes resultados: No existió diferencia significativa en cuanto a los genotipos ni en la interacción genotipo-concentración de la solución nutritiva y sí la hay para las diferentes concentraciones utilizadas (Cuadro 3). Según los resultados encontrados los genotipos de sorgo estudiados tuvieron la capacidad de asimilar potasio dentro de sus niveles normales (103 micromoles por gramo de planta) y en concentraciones mucho más elevadas (hasta de 660.6 micromoles por gramo de planta) sin síntomas aparentes de toxicidad.

MAGNESIO:

En el caso del magnesio se presentó una variabilidad entre los genotipos "glossy" tanto a altas como a bajas concentraciones de la solución nutritiva como lo reporta Tan et al., 1992. A baja concentración, la línea "glossy" presenta la mayor absorción de magnesio encontrada tanto para "glossy" como para "no glossy" a altas y bajas concentraciones de la solución de Clark observando un valor de 175.2 micromoles por gramo de planta (Cuadro 2). Se observó un óptimo de asimilación a la concentración original de la solución propuesta por Clark tanto para los genotipos "glossy" como para los "no glossy" e excepción del genotipo IS 5587 "glossy" que lo presentó a una concentración de 2 (Fig. 3). Según la prueba de F hubo diferencia significativa entre los genotipos, las diferentes concentraciones probadas y la interacción entre estas variables (Cuadro 3). Diferentes trabajos reportan el efecto de la fertilización con magnesio sobre el crecimiento de las plantas, elongación de la raíz, captación de nutrientes, y el efecto que tiene el pH sobre estos, reportando como óptimo de 4.3 a 4.7 (TAN et al, 1992), en este trabajo el pH elegido fue de 6.2 y no se presentó síntomas aparentes de toxicidad o carencia de este nutriente.

MANGANESO:

Para el caso de manganeso se observó una clara tendencia de aumento en la captación conforme aumenta la concentración de la solución nutritiva de Clark (Fig. 4) tal vez debido, a que la concentración de este nutriente en la solución nutritiva de baja concentración le fué insuficiente, según Maiti en 1993 reporta que el contenido normal de manganeso en plántula es 0.75 micromoles y a esta concentración solo alcanzó a absorber 0.43 y 0.27 micromoles por gramo de

planta respectivamente "glossy" y "no glossy" ,aún así "glossy" fué mas eficiente en absorción a bajas concentraciones. Según la prueba de T existe diferencia significativa entre "glossy" y "no glossy" en cuanto a la asimilación global de este nutrimento (Cuadro 1). Comparando los promedios de captación a bajas concentraciones (0.25) presentó diferencia significativa sin embargo no la hubo a alta concentración (Cuadro 2). De acuerdo a la prueba de F existe diferencia significativa entre los genotipos, las concentraciones y su interacción (Cuadro 3). Se encontró que con un incremento de concentración hay un aumento gradual en la absorción, demostrando variabilidad entre los genotipos estudiados tal como lo mencionan Mgema y Clark en 1993. Clark et al reportan que niveles de manganeso arriba de 6 milimolar son severamente tóxicos, mostrando variabilidad en la respuesta según el genotipo. La concentración mas alta utilizada en en nuestro trabajo fue de 0.03 mM por lo que no se presentó ninigun sintoma de toxicidad.

COBRE

En el caso del cobre también se observó una clara tendencia de aumentar la asimilación conforme aumenta la concentración de nutrimentos (Fig. 5). Existió diferencia significativa en cuanto a asimiliacion para "glossy" y no "glossy" siendo 0.362 y 0.283 micromoles por gramo de planta respectivamente. (Cuadro 1). El genotipo iS 5587 "glossy" presento la mayor asimilación (0.708 micromoles por gramo de planta) en el experimento de la concentración 1 sin síntoma visible de toxicidad (Fig. 5). Con respecto a los valores de F demostraron que hay diferencia significativa entre genotipos, concentraciones y su interacción. Wilkinson 1994 en su estudio de asimilación de iones a diferentes pH observa una mayor respuesta a

un pH de 6.2 concordando con Clark 1982, por lo que se escogió este valor como el óptimo.

FIERRO

No se observó una clara tendencia de asimilación de los genotipos probados a las diferentes concentraciones elegidas (Fig. 6). Se encontró diferencia significativa en la asimilación de fierro entre las líneas "glossy" y "no glossy" siendo 3.49 y 2.15 micromoles por gramo de planta respectivamente (Cuadro 1). En alto contenido de nutrimentos no se presenta diferencia, sin embargo en la prueba a baja concentración si la hubo absorbiendo "glossy" 3.5 y "no glossy" 1.6 micromoles por gramo de planta (Cuadro 2). El genotipo IS 5587 presento una gran capacidad de asimilación a bajas concentraciones inhibiéndose luego al aumentar la misma (Fig. 6).

SODIO

El sodio fue estudiado por el interés que se tiene sobre el comportamiento de la línea "glossy" a altos niveles de salinidad, existen antecedentes sobre la resistencia de este y con los resultados de esta investigación lo corroboramos. En la figura 7 se puede observar que los genotipos "glossy" presentaron mayor captación de sodio en especial el IS 4476 y el IS 5587, De la Rosa en 1994 propone como genotipo resistente a la salinidad el IS 4476, lo que concuerda con los resultados de esta investigación. Los genotipos de la línea "no glossy" absorben como máximo 67.8 micromoles de sodio por gramo de planta, mientras que los genotipo "glossy" absorbieron 154.3 micromoles sin ningún sintoma de toxicidad (Cuadro 1). Según la prueba de T existe diferencia significativa entre "glossy" y no

"glossy" a altas y bajas concentraciones (Cuadro 2). Este mismo investigador demostró que la resistencia a la salinidad que presentan ,los genotipos "glossy" no esta dada por una sola característica, sino por varias, es decir es un mecanismo complejo dado por característica múltiples como lo son adaptaciones morfológicas y adaptaciones fisiológicas y bioquímicas. La salinidad causa cambio® morfológicos y fisiológicos en plantas y el calcio puede neutralizar o disminuir muchos efectos adversos y también incrementa las tasa de extención de la hoja de las plantas estresadas por salinidad aumentando la conductancia hidráulica (Cramer 1992).

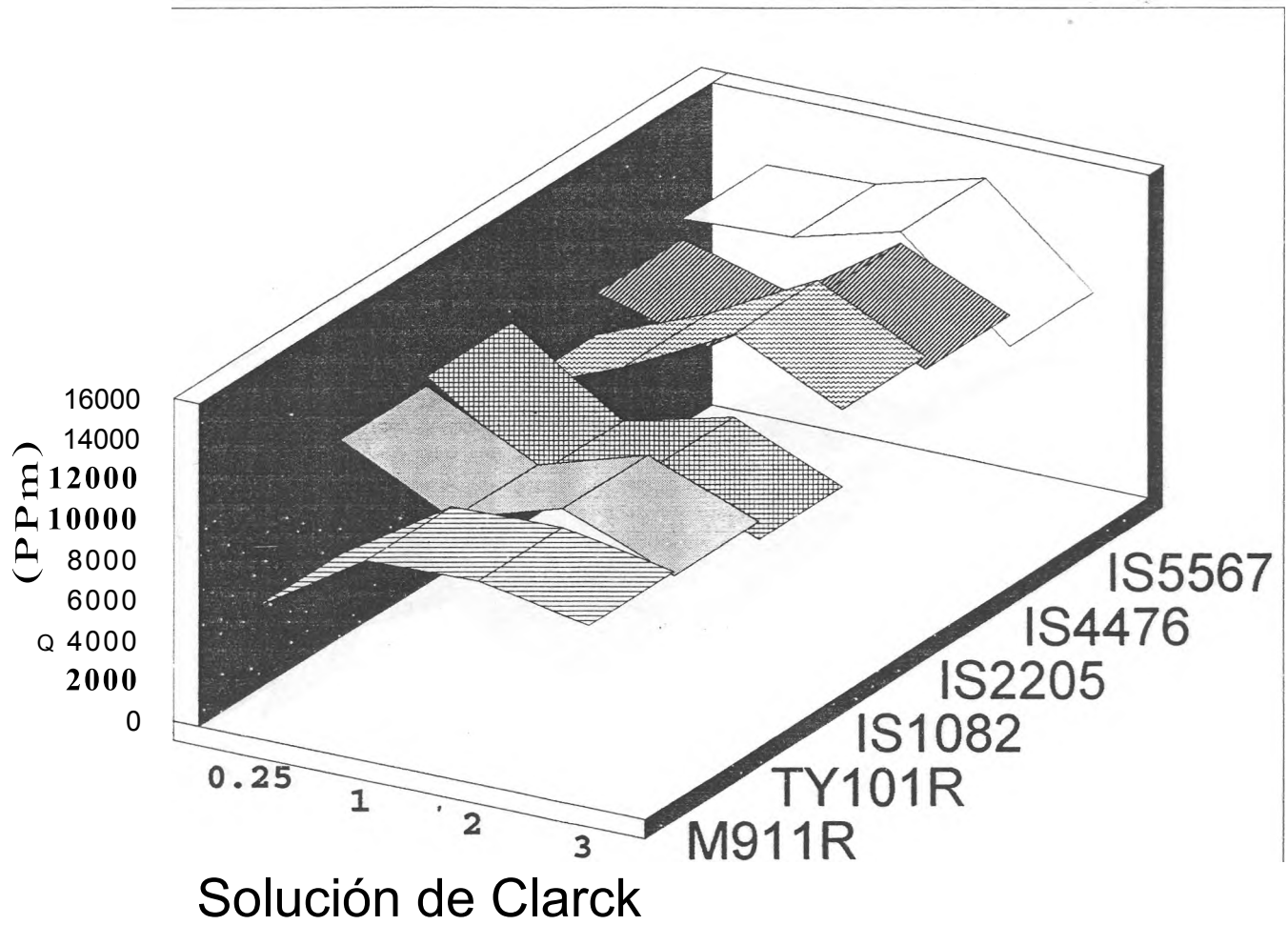
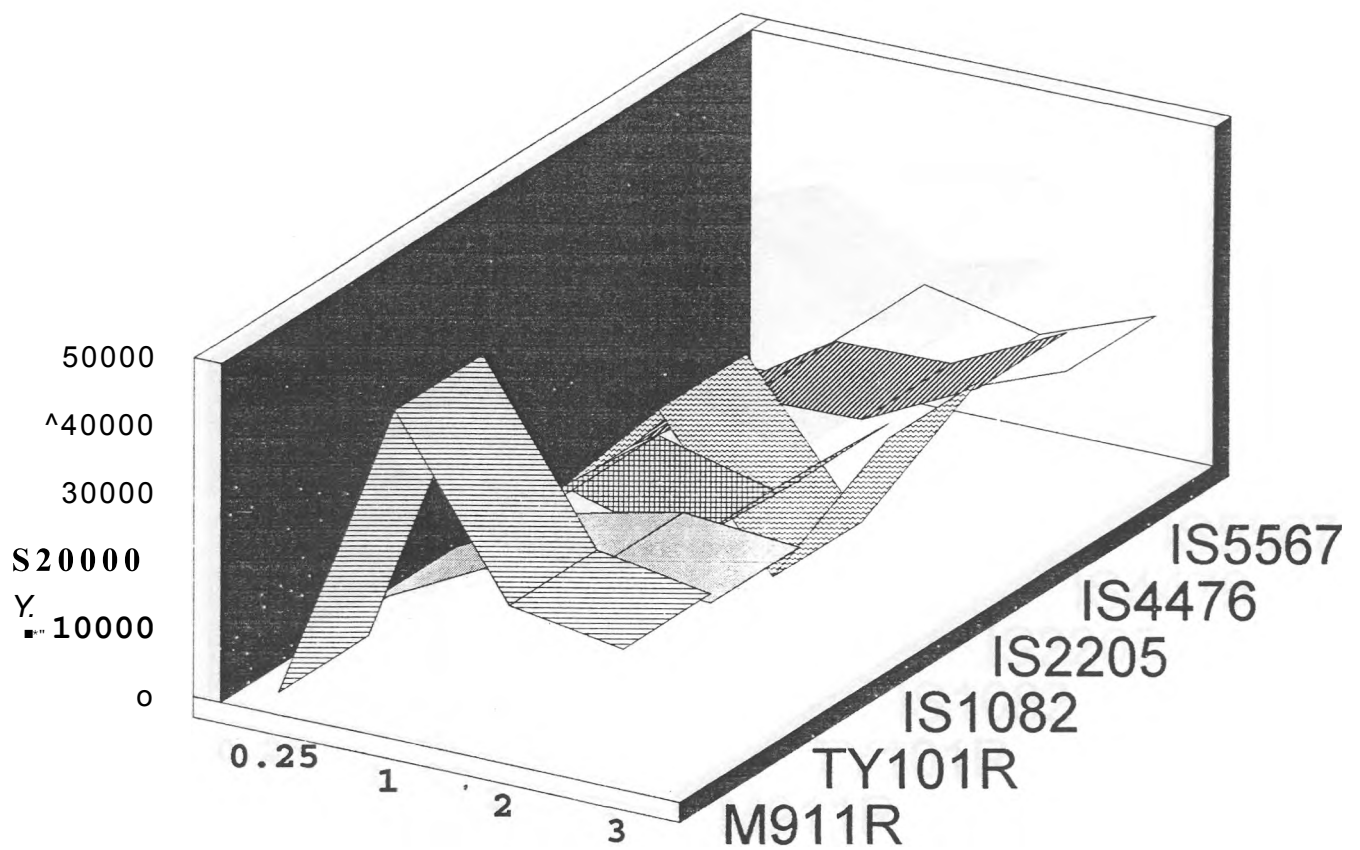


Figura 1. Asimilación de Calcio en ppm en líneas de sorgo "glossy" y "no glossy"



Solución de Clarck

2 Asimilación de Potasio en ppm en líneas de sorgo "glossy" y "no glossy"

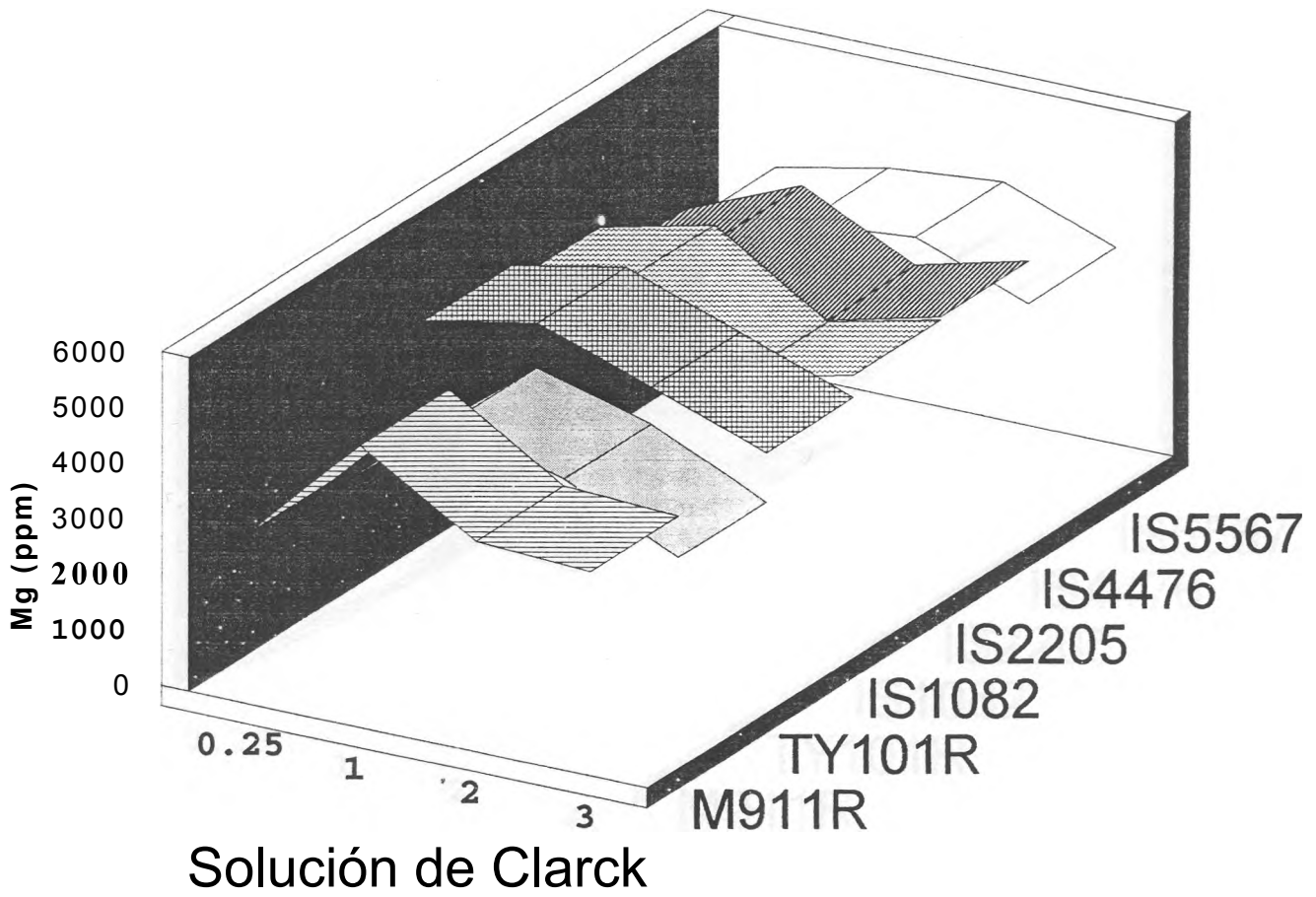
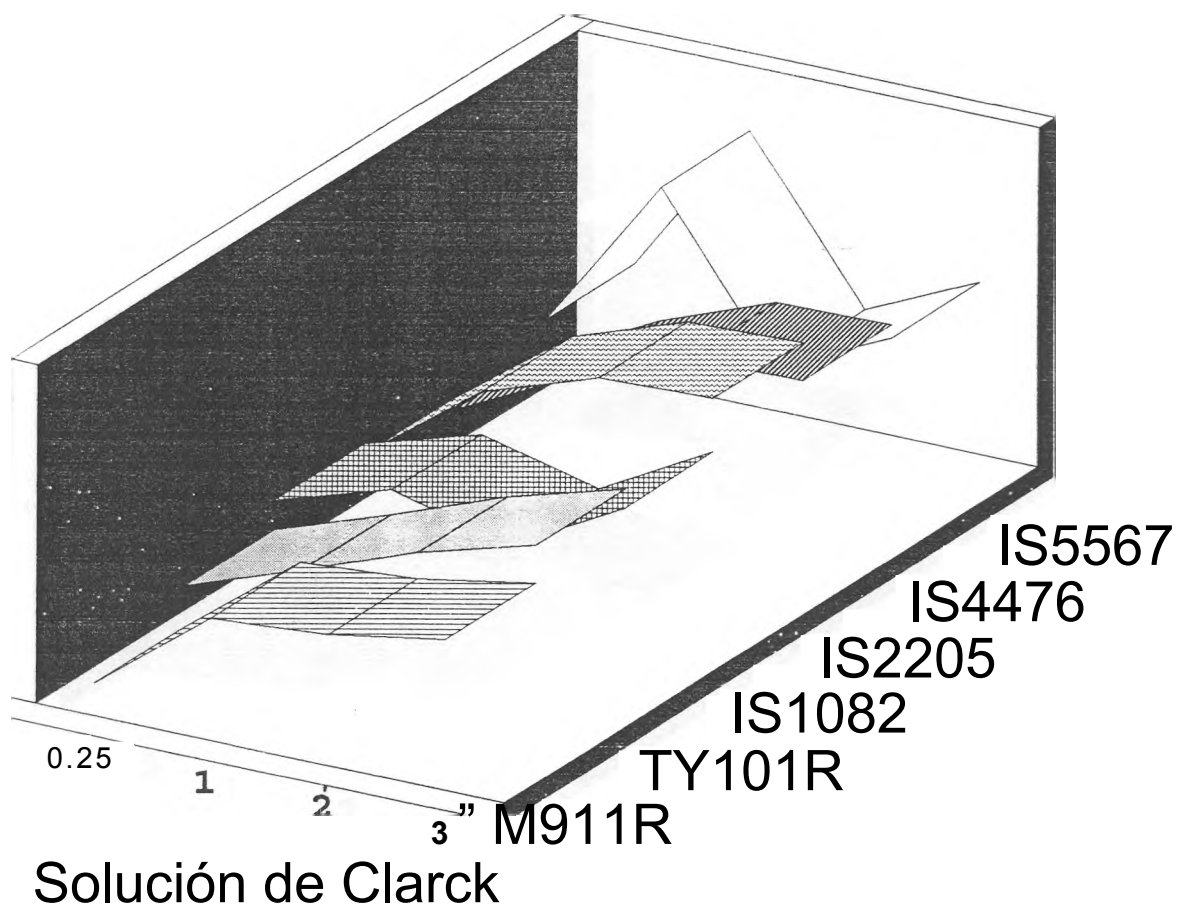
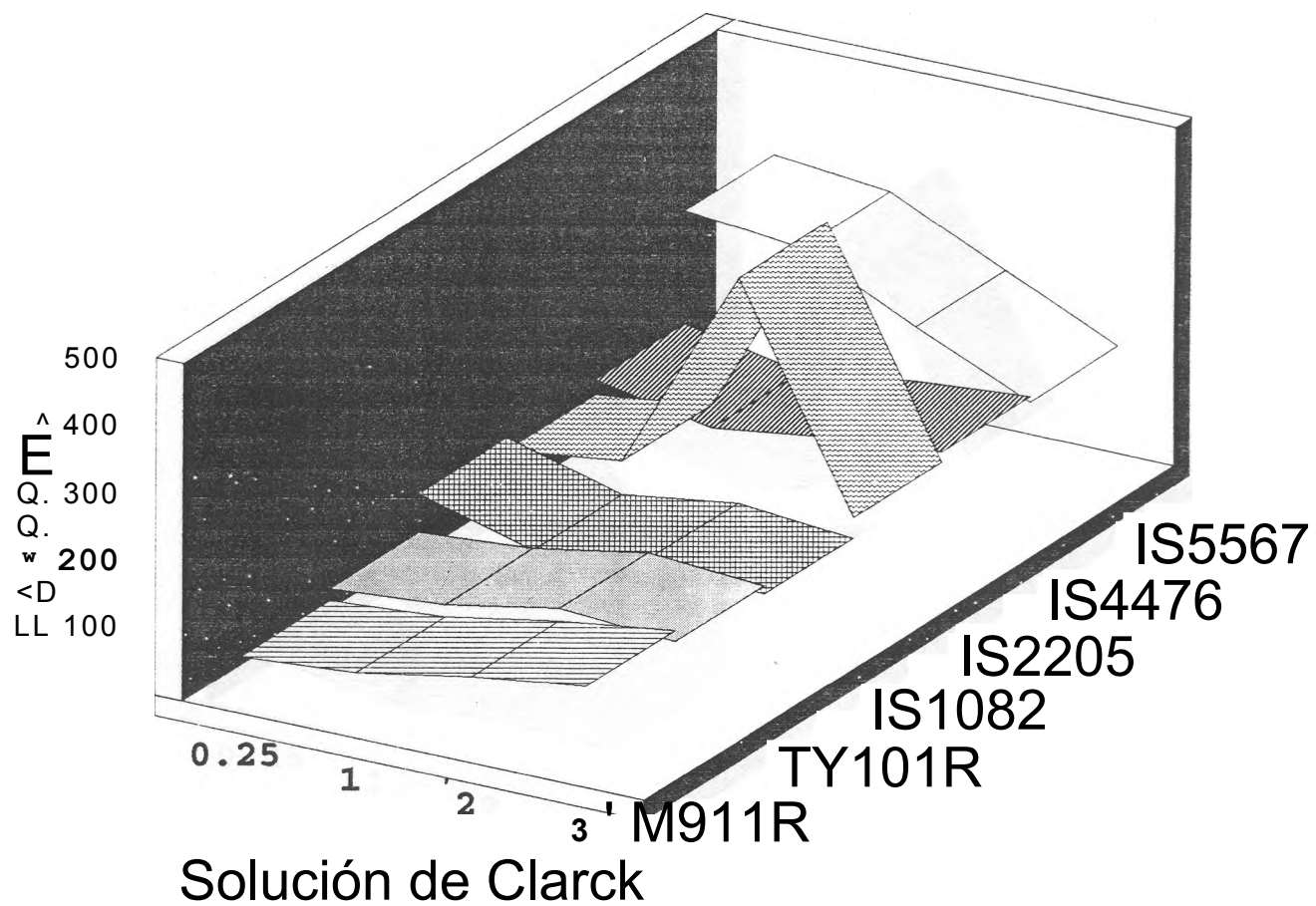


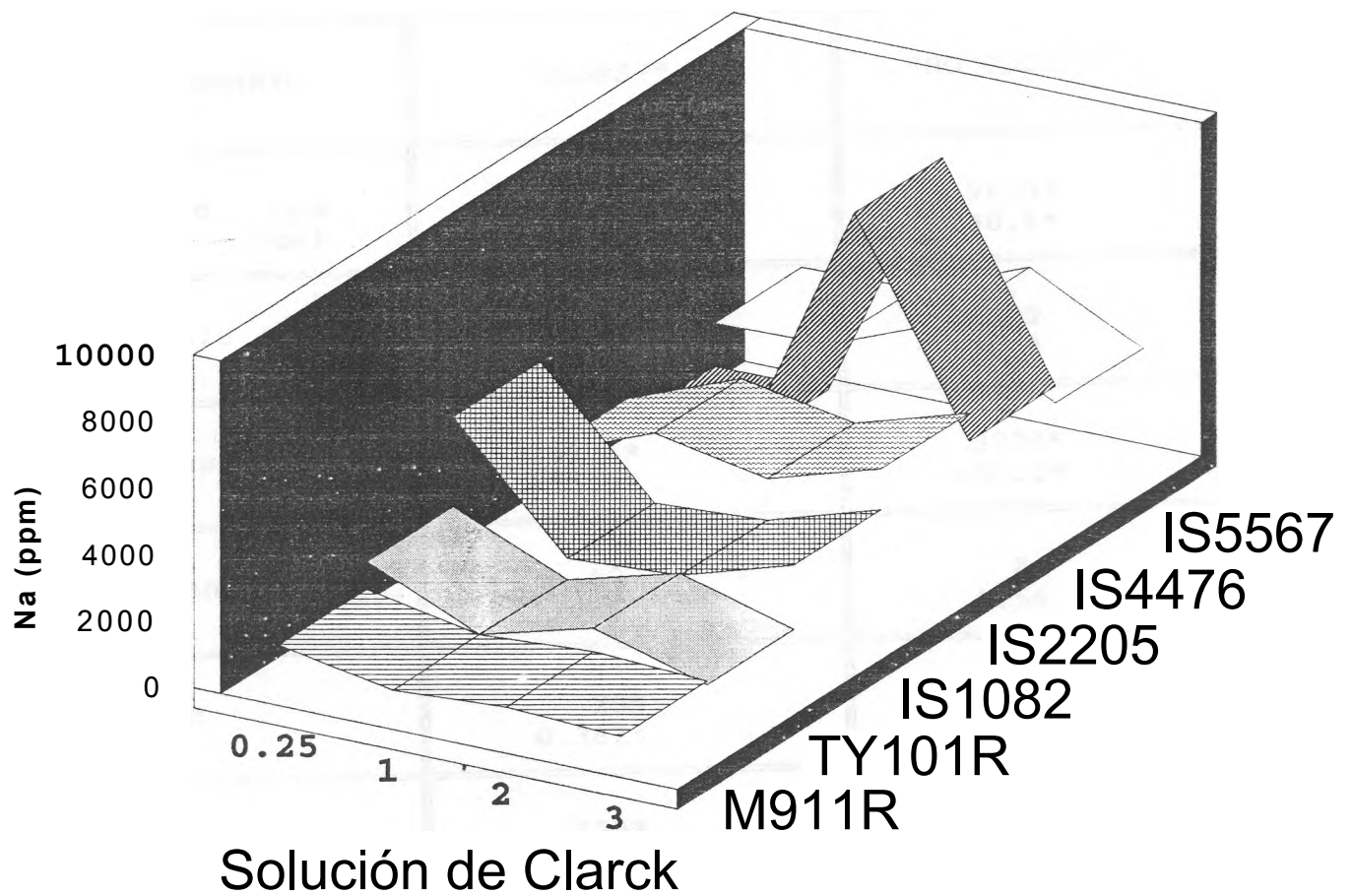
Figura 3. Asimilación de Magnesio en ppm en líneas de sorgo "glossy" y "no glossy"



a 5. Asimilación de cobre en ppm en líneas de sorgo "glossy" y "no glossy".



ia.6. Asimilación de fierro en ppm en líneas de sorgo "glossy" y y "no glossy".



<

7. Asimilación de sodio en ppm en líneas de sorgo "glossy" y "no glossy".

CUADRO 1. VALORES PROMEDIO DE ASIMILACION EN PPM Y μ MOL POR GRAMO DE PLANTA Y PRUEBA DE T PARA LINEAS DT2 SORGO "GLOSSY" Y "NO GLOSSY".

ELEMENTO	"GLOSSY"	"NO GLOSSY"
Calcio ppm Umol	11543* 283.8*	9625* 240.6*
Potasio	16079 441.2	20212 516.9
Magnesio	4276* 175.9*	3720* 153.1*
Manganeso	82 1.46	86 1.56
Cobre	23* 0.362*	18* 0.283*
Fierro	195* 3.49*	120* 2.15*
Sodio	3549* 154.3*	1581* 68.7*
1		-(-----

* Significancia a $P < 0.05$.

CUADRO 2. VALORES PROMEDIO DE ASIMILACION EN PPM Y μ MOL POR GREAMO DE PLANTA Y PRUEBA DE T A ALTAS Y BAJAS CONCENTRACIONES DE NUTRIENTES EN LINEAS DE SORGO "GLOSSY" Y "NO GLOSSY"

ELEM.	"GLOSSY"		"NO GLOSSY"	
	BAJA (0.25)	ALTA (3)	BAJA (0.25)	ALTA (3)
Ca ppm	11478	10103	9305	8964
uMol	287	252	232	224
K	5977 152.8	25763* 658*	2944 149.8	20042* 512*
Mg	4260* 175.2*	3960* 162.8*	2944* 121*	3313* 136.2*
Mn	24* 0.437*	133 2.4	15* 0.273	134 2.4
Cu	15* 0.236*	28 0.441	8* 0.122*	25 0.382
Fe	200* 3.5*	150 2.6	94* 1.6*	143 2.5
Na	3230 140.4	3407* 148.1*	2238 97.3	1<174* 51*

* Significancia a $p < 0.05$.

CUADRO 3-ANALISIS DE VARIANZA (VALORES DE F) PARA LOS DIFERENTES GENOTIPOS Y NIVELES DE NUTRIENTES ESTUDIADOS 1) GENOTIPO, 2) CONCENTRACION, 12) INTERACCION.

1 ELEMENTO	VALOR DE F		
	1	2	12
Calcio	11.5*	12.2*	4.5*
Potasio	1.2	9.6*	1.2
Magnesio	19.4*	42.9*	6.0*
Manganeso	8.4*	347.3*	11.1*
Cobre	37.8*	147.2*	18.0*
Fierro	26.2*	8.7*	10.2*
Sodio			4

Significancia a P menor o igual de que 0.05

CONCLUSIONES

El crecimiento de las plantas en soluciones *nupcias* es una importante herramienta para estudios de nutrición mineral, el medio de crecimiento de Clark fue el adecuado para lograr los objetivos de esta investigación. Se encontró que existe variabilidad en la respuesta de asimilación tanto a altas como a bajas concentraciones de nutrimentos para "glossy" y "no glossy". "Glossy" fué más eficiente en captación de magnesio tanto a altos como a bajos niveles de minerales, en absorción de cobre y fierro a bajas concentraciones y para sodio y potasio a altas concentraciones de la solución nutritiva de Clark. En cuanto a la absorción de calcio, no hubo diferencia significativa en la absorción entre ambas. Los genotipos que se proponen como resistentes a estrés nutricional son los siguientes:

IS 5567

IS 1082

IS 4476

*

los tres "glossy". Se encontró también un alto nivel de tolerancia por parte de estos elevadas concentraciones de sodio en el medio absorbiéndolo sin síntoma alguno de toxicidad aparente.

Existe por delante un amplio campo de estudio sobre nutrimentos y sus interacciones, búsqueda de los mecanismos genéticos, bioquímicos o morfológicos de resistencia a escasez de nutrimentos y su posible manipulación para mejoramiento genético.

LITERATURA CITADA

- Alexander, G. V. and L. T. McAnulty. 1983. Multielemental analysis of plant-related tissues and fluids by optical emission spectrometry. *Journal of Plant Nutrition* 3:51-59.
- Angeles, A. H. 1968. El maíz y el sorgo y sus programas de mejoramiento genético en México. *Memorias del tercer congreso Nacional de Fitogenética (Primer simposio)*. México.
- Amon, D. I. and P. R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology* 14:371-375.
- Bhandal, I. S. and C. P. Malik, 1988. Potassium estimation, uptake and its role in the physiology and metabolism of flowering plants. *International Review of Cytology* 110:205-254.
- Bialeski, R. L., 1973. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate **availability**. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **24:225-252**.
- Bjornian, O., and J. Berry. 1973. High-efficiency photosynthesis. *Sci. Am.* 229: 80-93.
- Brownell, P. F., 1972. The requirement for sodium as a micronutrient by species having the C₄ dicarboxylic photosynthetic pathway. *Plant Physiology*. 49:794-797.

LITERATURA CITADA

- Alexander, G. V. and L. T. McAnulty. 1983. Multielemental analysis of plant-related tissues and fluids by optical emission spectrometry. *Journal of Plant Nutrition* 3:51-59.
- Angeles, A. H. 1968. El maíz y el sorgo y sus programas de mejoramiento genético en México. *Memorias del tercer congreso Nacional de Fitogenética (Primer simposio)*. México.
- Amon, D. I. and P. R. Stout. 1939. The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiology* 14:371-375.
- Bhandal, I. S. and C. P. Malik, 1988. Potassium estimation, uptake and its role in the physiology and metabolism of flowering plants. *International Review of Cytology* 110:205-254.
- Bialeski, R. L., 1973. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate **availability**. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **24:225-252**.
- Björman, O., and J. Berry. 1973. High-efficiency photosynthesis. *Sci. Am.* 229: 80-93.
- Brownell, P. F., 1972. The requirement for sodium a micronutrient by species having the C₄ dicarboxylic photosynthetic pathway. *Plant Physiology*. 49:794-797.

- Clark, R. B., 1982. Nutrient solution growth of sorghum and corn in mineral nutrition studies. *Journal of Plant Nutrition*, 5(8), 1038-1057.
- Clark, R. B., 1993. Mineral nutrition of sorghum. Agricultural Research Service, Department of Agronomy-University of Nebraska. Citado en *Morphophysiological traits in crop improvement: Case study-Sorghum*. Publicaciones Biológicas. Universidad Autónoma de Nuevo León. Ratikanta Maiti. 1993.193-207.
- Clark, R. B. 1982. Mineral Nutritional Factors Reducing Sorghum Yields: Micronutrients and Acidity. International Crops Research Institute for the Semiarid Tropics. 1982. 179-190.
- Clark, R. B. and Brown, J. C. 1986. Role of the Plant in Mineral Nutrition as related to Breeding and Genetics. Contribution of the U.S. Department of Agriculture, Science and Education Administration, Agricultural Research, at Lincoln, Nebraska.
- Cronquist, A. 1986. *Introducción a la Botánica*. Segunda edición. CECSA. 513-526.
- De la Rosa, I., Manuel. 1993. Contribución a la determinación del mecanismo morfofisiológico y bioquímico de resistencia a la salinidad de Sorgo "glossy". Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. Monterrey, N. L. México.

Epstein, E. 1972. Mineral Nutrition of Plants: Principles and perspectives. Wiley, New York.

Furlani, P. R. and Clark, R. B., 1981. Screening Shorgum for Aluminium Tolerance in nutrient solution. Agronomy journal. Vol. 73, July-August, p 587-594.

Gabelman, W. H., 1976. Genetic potentials in nitrogen, phosphorus and potassium efficiency. p. 205-212. In M. J. Wright (ed.)

Gerloff, G. C. 1976. Plant efficiencies in the use of nitrogen, phosphorus, and potassium. p. 161-173. In M. J. Wright (ed.) Plant adaptation to mineral stress in problem soils. Cornell Univ. Agric. Exp. Stn., Ithaca, N. Y.

Graham, R. D. 1978. Plant breeding for nutritional objectives, p 165-170. In: A. R. Ferguson, R. L. Bielecki, and I. B. Ferguson (ed.) Plant analysis and fertilizer problems. Proc. 8th Int. Colloq., Auckland, New Zealand.

Grundon, N. J. 1987. Hungry Crops: A Guide to Nutrient Deficiencies in Field Crops. Queensland Department of Primary Industries, Brisbane, Australia,

Hanson, J. B., 1984. The function of calcium in plant nutrition. Advances in Plant Nutrition, p 49-200.

Hewitt, E. J., 1966. Sand and Water Culture Methods used in the studies of Plant Nutrition, second edition. Technical communication No. 22 (Revised). Commonwealth Agricultural Bureau, Farnham Royal, Bucks England.

Hepler P. K. and R. O. Wayne. 1985. Calcium and plant development. Annual Review of Plant Physiology 33:397-439.

Hille, B., 1984. Ionic Channels of excitable membranes. Sinauer Association Inc. Sunderland, MA.

Hille, B., 1992. Ionic channels of excitable membranes, 2nd edition. Sinauer Association Inc., Sunderland, MA.

House 1980, L. R. 1980. A guide to sorghum breeding. ICRISAT. Parancheru, A. P.

Kauss, H., 1987. Some aspects of calcium-dependent regulation of plant metabolism. Ann. Rev. Plant Physiology. 38:47.

Kezheng Tan., Willem G., and Gunter, R., 1992. Acid soil in Sorghum genotypes: Role of Magnesium deficiency and root impairment. Plant and Soil. 139: 149-155.

Kinzel, H., 1989. Calcium in the vacuoles and cell wall of plant tissue. Flora 182:99-125.

Kirkby, E. A. and Pilbeam, D. J. 1984. Calcium as a plant nutrient. Plant, Cell and environment. 7:397-405.

Lafever, H. N., 1981. Genetic differences in plant response, to soil nutrient stress. Journal of Plant Nutrition 4:89-109.

- Leonard, R. T. and P. K. Heple.. (Eds.) 1990. Calcium in Plant Growth and Development. American Society of Plant Physiologists, Rockville, Md.
- Marti, R. K. 1983. Evaluación de sorgo bajo condiciones de "stress" múltiple en el noreste de México. Boletín No. 1. Centro de investigaciones Agropecuarias, Facultad de Agronomía, Marín, N. L., México.
- Marti, R. K., Rao, K.E.P., Raru, P. S. and Hoese, L. R.. 1984. The glossy trait in sorghum. Its characteristics and significance in crop improvement. Fields Crop Research Institute 9:279-289.
- Marti, R. K. 1986. Morfología, crecimiento y desarrollo del sorgo (Libro). Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de Nuevo León, Marín, N. L., México.
- Marti, González, R. H., y AJanís, C. D. y Rivera, M. A. 1986. Establecimiento del cultivo de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench.) Turrialba 36(2):205-216.
- Maiti, R. K. and Carrillo, G.M.J. 1989. Effect of planting depth on seedling emergence in *Sorghum bicolor* (L.) Moench). Seed Science and Technology 17:83-90.
- Maiti, R. K. 1993. Morphophysiological Traits in crop improvement: A case Study- Sorghum. Publicaciones Biológicas, U.A.N.L., Monterrey, México, pp 238.

Maiti, R. K. 1995. Aspectos fisiológico y bioquímicos de sorgo tropical (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), como una alternativa para incrementar la producción de forraje y grano en las regiones semiaridas del noreste de México. Inédito. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, México.

McMurtrey, J. E., Jr. 1938. Distinctive plant symptoms caused by deficiency of any one of the Chemical elements esencial for normal development. Botanical Review 4:183-203.

Mgema, W.G., and Clark, R. B., 1993. Screening sorghum for tolerance to excess manganese in solution culture. Plant and soil. 155/156: 493-496.

Miller, E. C. , 1938 Plant physiology. McGraw-Hill Boock Co., Inc., New YorK, N.

Mortvedt, J. J. and Giordano, P. M. 1983. Micronutrientes en agricultura. AGT Editor, S. A. Primera Edición en español. México, D. F. 349-372.

Naismith, R. W., M. W. Johnson and W. I. Thomas., 1974. Genetic control of relative calcium, phosphorus, and manganese accumulation on chromosome 9 in maize. Crop Sci. 14:845-849.

Perkin Elmer Corp., 1986. Analytical Methods for Atomic Absorption Spectrometry. The Perkin Elmer Corporation. Norwalk, C. V. U. S. A. pp. AY 1-2, GN-2.

- Roy, R. N. and Wright, B. C., 1974. Sorghum growth and nutrient in relation to soil fertility, N, P, and K, uptake pattern by various plants. - Darts. 'Agronomy Journal, Vol. 66, January-February. 5-10.
- Sandman, G. and P. Boger. 1983. The enzymological function of heavy metals and their role in electron transfer processes of plants. Pages 563-596
- Seckback, J. 1982. Ferretting out the secrets of plant ferretin; A review. Journal of Plant Nutrition. 5:369-394.
- Shibano, K., Horino and Hara. 1981. Fertilizer application method for high-yielding culture of grain sorghum kica and Mg con kinki. 28-31.
- Softanpour, P. N., Jones, J. B. Jr., and Workman. 1982. Optical emission spectrometry. 29-65 In: Methods of soil Analysis, Part. 2, Chemical and Microbiological Properties (Agronomy Monograph No. 9).
- Soman, P. 1990. Development of a technique to study seedling emergence in response to moisture deficit in the field. The seed bed environments. Annals of Applied Biology 116:357-364.
- Soman, P. and Peacock, J. M. 1985. A laboratory technique to screen seedling emergence of sorghum and pearl millet at soil temperature. Experimental Agricultura 21:335-341.
- Stein, W. D. 1990. Channels, carriers, and pumps: An introduction to membrane transport. Academic Press, Inc., New York.

- Tan, *et al.* 1992. Effect of nitrogen form on aluminium toxicity in sorghum genotypes. *Journal of Plant Nutrition*. 15(9), 1383-1394.
- Tomsett, A. B. and Thurman, D. A. 1988. Molecular biology of metal tolerances of plants. *Plant, Cell and Environment* 11:383-394.
- Trewavas, A. J. (Ed.). 1986. *Molecular and cellular aspects of calcium in plant development*. Plenum, New York.
- Uren, N. C. 1981. Chemical reduction of an insoluble higher oxide of manganese by plant roots. *Journal of Plant Nutrition* 4:65-71.
- Wilkinson, R. E., Duncan, R. R. 1989. Sorghum seedling root growth as influenced by H⁺, Ca⁺⁺, and Mn⁺⁺ concentrations;. *Journal of Plant Nutrition*, 12(11), 1379-1394.
- Wilkinson, R. E., Duncan, R. R. 1993 . Calcium (⁴⁵Ca²⁺) absorption inhibition by aluminum (Al³⁺) in sorghum roots. *Journal of Plant Nutrition* 16(2), 235-240.
- Wilkinson, R. E., Duncan, R. R. 1993 . Sorghum genetic variation in calcium (⁴⁵Ca) uptake. *Journal of Plant Nutrition* 16(3), 445-460.
- Wilkinson, R. E., Duncan, R. R. 1994. Malachite green influence on calcium, (⁴⁵Ca²⁺) absorption by sorghum roots tips. *Journal of plant nutrition*, 17(2&3), 427-431.
- Wilkinson, R. B. Duncan, R. R. 1994. Magnesium influence on calcium (⁴⁵Ca²⁺) absorption by sorghum root tips. *Journal of Plant Nutrition*. 17(2), 411 -424.

Wilkinson, R. B., Duncan, R. R. 1994. Acid-soil stress influence on mineral ion contents of sorghum leaves and juvenile panicles. *Journal of plant Nutrition*. 17(8), 1309-1332.

Wilson, G. L., Raju, P. S., and Peacock, J. M. 1982. Effect of soil temperature on seedling emergence in sorghum. *Indian Journal of Agricultural Science* 52(12):848-851.

Wright, M. J. (ed.). 1976. Plant adaptation to mineral stress in problem soils. *Cornell Univ. Agr. Exp. Stat., Ithaca, N. Y.*

Woolhouse, H. W. 1983. Toxicity and tolerance in the responses of plants to metals. 245-300.