

AGR
0001
1982

METODO RAPIDO PARA DETERMINAR LA TOLERANCIA DIFERENCIAL DEL SORGO
(Sorghum bicolor (L.) Moench) A TOXICIDAD DE ALUMINIO
Y CORRELACION CON DESEMPEÑO DEL CULTIVO PARA SU MEJOR
ADAPTACION A ESTAS CONDICIONES

HERNANDO DELGADO HUERTAS

" Tesis de grado presentada como requisito parcial para optar al
título de Ingeniero Agrónomo ".

Presidente de Tesis: Eric J. Owen B. I.A., Ph.D.

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS LLANOS ORIENTALES
FACULTAD DE AGRONOMÍA

VILLAVICENCIO, 1982

CARLOS ENRIQUE GARZON GONZALEZ

Rector

FIDEL ANTONIO HUERTAS PERNAL

Vice - Rector

MANUEL CASTRO GARRIDO

Secretario General

HERNAN GIRALDO VIATELA

Decano Facultad de Agronomía

JURADO DE TESIS

JORGE ORTEGA NAVARRO

Jorge Ortega N
[Signature]

JORGE ENRIQUE MUÑOZ AGUILERA

" El Jurado Calificador otorgó Nota Aprobatoria "

Villavicencio, 10 de Diciembre de 1982

" El Presidente de Tesis y el Consejo Examinador de Grado no serán responsables de las ideas emitidas por el candidato ".

D E D I C O

A mis Padres Luis Ludoro y Carmen

A mis hermanos

A mis familiares y amigos

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, y especialmente al Doctor Eric J. Owen B. por su acertada orientación en la selección del tema y su realización. En la misma institución al Doctor Luis Fernando Sánchez por facilitarme materiales y mano de obra para la realización de la etapa de campo del presente trabajo.

A los Doctores Favio Garavito N., Jorge Muñoz A., Jorge Ortega y Eduardo Palacio por su valiosa colaboración durante el desarrollo de la etapa de Laboratorio al facilitarme reactivos, material e instrumentos del Laboratorio de Suelos de la Universidad, al igual que a la Tecnóloga Martha Salazar y al auxiliar Francisco Zapata.

Al señor Jairo Ruiz de la Sección de Ayudas Educativas de la Universidad por su especial colaboración en el trabajo fotográfico.

Al Doctor Joaquín Sanabria de la División de Estadística y Bionetría del ICA por su asesoría en los análisis e interpretación de los estudios estadísticos.

CONTENIDO

| | Página |
|--|--------|
| 1. INTRODUCCION | 1 |
| 2. REVISION DE LITERATURA | 4 |
| 2.1. La toxicidad del aluminio en suelos tropicales. | 4 |
| 2.2. Efectos adversos del aluminio sobre las plantas. | 5 |
| 2.3. El encalamiento como solución al problema del Al . | 7 |
| 2.4. Evaluación de tolerancia al Al en soluciones nutritivas. | 8 |
| 2.5. Correlación entre evaluaciones en solución nutritiva y evaluaciones en suelos ácidos. | 12 |
| 2.6. Tolerancia diferencial de plantas a toxicidad de aluminio. | 13 |
| 2.7. Selección y mejoramiento de genotipos tolerantes al aluminio. | 15 |
| 3. MATERIALES Y METODOS | 17 |
| 3.1. Etapa de laboratorio. | 17 |
| 3.1.1. Localización. | 17 |
| 3.1.2. Método de Manchado. | 17 |
| 3.1.2.1. Soluciones nutritivas. | 18 |
| 3.1.2.2. Procedimiento. | 19 |
| 3.1.2.3. Calificación. | 21 |

| | Página |
|---|--------|
| 3.1.2.4. Evaluación. | 21 |
| 3.1.3. Método de solución nutritiva de 14 días. | 22 |
| 3.1.3.1. Soluciones nutritivas. | 23 |
| 3.1.3.2. Procedimiento. | 24 |
| 3.1.3.3. Calificación. | 25 |
| 3.1.3.4. Evaluación. | 26 |
| | |
| 3.2. Etapa de campo. | 26 |
| 3.2.1. Localización. | 26 |
| 3.2.2. Diseño experimental. | 27 |
| 3.2.3. Niveles de enclamiento. | 28 |
| 3.2.4. Fertilización constante. | 28 |
| 3.2.5. Genotipos de sorgo. | 29 |
| 3.2.6. Análisis de suelos. | 29 |
| 3.2.7. Controles fitosanitarios. | 29 |
| 3.2.8. Evaluación. | 30 |
| | |
| 4. RESULTADOS Y DISCUSION | 31 |
| | |
| 4.1. Etapa de laboratorio | 31 |
| 4.1.1. Método de Manchado | 31 |
| 4.1.2. Método de solución nutritiva de 14 días | 35 |

| | Página |
|--|--------|
| 4.2. Etapa de Campo. | 40 |
| 4.2.1. Comportamiento agronómico. | 40 |
| 4.2.2. Efecto de los tratamientos cal x genotipos en el rendimiento en grano seco. | 42 |
| 4.2.3. Respuesta general de los genotipos de sorgo al encalamiento. | 44 |
| 4.2.4. Tolerancia Máxima de Saturación de Aluminio (TOMSAL) de cada genotipo. | 46 |
| 4.2.5. Correlación entre el comportamiento de 18 genotipos de sorgo en el método de manchado en laboratorio y su producción de grano en el campo. | 52 |
| 4.2.6. Correlación entre el comportamiento de 18 genotipos de sorgo en el método de solución nutritiva de 14 días en laboratorio y su producción de grano en el campo. | 53 |
| 5. CONCLUSIONES | 56 |
| 6. RESUMEN | 59 |
| 7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS | 63 |
| 8. APENDICES | 67 |

INDICE DE TABLAS

| Tabla No. | | Página |
|--------------|---|--------|
| 1 | Análisis de caracterización del suelo donde se efectuó el experimento de campo. | 27 |
| 2 | Nivel de aluminio (mM) tolerado por 37 genotipos de sorgo evaluados por el método de manchado con hematoxilín. | 32 |
| 3 | Longitud de raíz primaria e índice de desarrollo de raíces secundarias de 18 genotipos de sorgo evaluados por el método de solución nutritiva de 14 días. | 39 |
| 4 | Calificación por comportamiento agronómico de 18 genotipos de sorgo con cuatro dosis de cal en un suelo de la Serie La Libertad. Promedio de tres repeticiones. | 41 |
| 5 | Promedios de tres repeticiones del rendimiento en g/10 plantas de los 18 genotipos de sorgo en las cuatro dosis de cal del ensayo de campo. | 43 |
| 6 | Rendimiento relativo en porcentaje de cada genotipo en los cuatro niveles de saturación de aluminio en el campo. En porcentaje (%). | 47 |

Tabla

Página

No.

- 7 Tolerancia Máxima de Saturación de Aluminio (TOMSAL) y Tipo de Respuesta en rendimiento relativo al mayor % de saturación de aluminio en el nivel 0,5 t/Ha de cal de los genotipos sembrados en el campo.

49

INDICE DE FIGURAS

| Figura No. | | Página |
|---------------|---|--------|
| 1 | Seis láminas de icopor con 20 genotipos de sorgo provenientes de los tratamientos de aluminio en el proceso de manchado de raíces con solución de hematoxilín. | 19 |
| 2 | Cubeta plástica con la solución nutritiva de 14 días. En el interior la lámina de icopor con 20 orificios, uno para cada genotipo y tres plántulas por genotipo. | 24 |
| 3 | Evaluación del genotipo S.G.-366 por el método de manchado. Fotografía A : Manchado de una raíz en el nivel bajo de aluminio (0,2 mM). Fotografía B: Manchado en el nivel máximo de aluminio (0,7 mM), no se observan lesiones en la epidermis. Este genotipo se comportó como tolerante al aluminio. | 35 |
| 4 | Evaluación del genotipo H-29-2 por el método de manchado. Fotografía A : Manchado de una raíz en el nivel bajo de aluminio (0,2 mM). Fotografía B : Manchado en el nivel máximo de aluminio (0,7 mM), se observan bandas sin mancha y lesión en la epidermis. Este genotipo se comportó como susceptible al aluminio. | 37 |

Figura

Página

No.

5 En el método de solución nutritiva de 14 días se observa el desarrollo diferencial en longitud de raíz de cinco genotipos de sorgo en el nivel máximo de aluminio, 0,12 mM, 2: Dorado M; 3: 6093; 4: P-25; 5: ICA-Nataima y 6: Pionner 8225.

38

6 El genotipo Sorghica NH 301 fué uno de los que mostró mejor comportamiento agronómico en los cuatro niveles de cal.

42

INDICE DEL APÉNDICE

| Apéndice No. | | Página |
|-----------------|--|--------|
| 1 | Rendimiento y promedios en g/10 plantas de 18 genotipos de sorgo en cuatro dosis de cal y tres repeticiones en el ensayo de campo. | 68 |
| 2 | Análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento en g/10 plantas de los 18 genotipos de sorgo en el ensayo de campo. | 72 |
| 3 | Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento en g/10 plantas del promedio de cales en los 18 genotipos de sorgo. | 72 |
| 4 | Análisis de varianza de la regresión para la variable dependiente rendimiento en g/10 plantas en función de la variable dosis de cal para los 18 genotipos de sorgo. | 73 |
| 5 | Modelo de regresión del rendimiento en g/10 plantas en función de la dosis de cal para los 18 genotipos de sorgo. | 73 |

| No. | | |
|-----|--|----|
| 6 | Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento en g/10 plantas del promedio de genotipos en las cuatro dosis de cal. | 74 |
| 7 | Coeficientes de correlación entre los parámetros evaluados en el ensayo de campo y los niveles de tolerancia al aluminio de 18 genotipos de sorgo en los métodos de laboratorio. | 75 |
| 8 | Caracterización química del suelo después de la cosecha del ensayo de campo en los cuatro tratamientos de cal. | 76 |

1. INTRODUCCION

El principal problema de fertilidad de los suelos de los Llanos Orientales es la extrema acidez, ocasionada por los altos contenidos de aluminio intercambiable y hierro que además de fijar el poco fósforo existente en el suelo, son tóxicos, especialmente el aluminio intercambiable.

Una de las formas de resolver el problema de la fitotoxicidad del aluminio es el encalado del suelo para subir el pH y neutralizar el aluminio intercambiable pero, esta solución resulta antieconómica en la mayoría de los suelos del Llano debido a las grandes cantidades de cal necesarias para neutralizar el aluminio. Otra forma más adecuada y económica es la de seleccionar especies o variedades que se adapten a las condiciones de extrema acidez y alto contenido de aluminio intercambiable.

La tolerancia de plantas al aluminio ha sido el problema que más se ha estudiado relacionado con la acidez del suelo.

En cultivos como trigo y arroz se han realizado trabajos y se ha observado como responden a diferentes niveles de aluminio, no sólo en la fase inicial de vida de la planta sino en todo su ciclo vegetativo.

Se han realizado algunos trabajos sobre el sorgo para conocer los efectos del aluminio en el crecimiento de raíces en soluciones nutritivas pero, una correlación entre esta respuesta y el ciclo vegetativo en

cultivos experimentales en el campo no ha sido aún claramente establecida.

El problema de los suelos ácidos se ve aún más acentuado debido a que los fitomejoradores de sorgo no conocen que líneas o variedades son susceptibles, tolerantes o resistentes al aluminio.

Para solucionar lo anterior es necesario desarrollar un método rápido de laboratorio, con el que se pueda evaluar un gran número de genotipos en pocos días para que los fitomejoradores tengan una guía para determinar si sus cruces serán resistentes al aluminio o no. Con este objetivo se adaptaron para sorgo dos métodos de laboratorio aplicados al maíz en Estados Unidos (Polle y otros, 1978). Los resultados de laboratorio se correlacionaron con los obtenidos en un ensayo de campo en un suelo de la Serie La Libertad clasificada a nivel de familia como, arcilloso, caolínico, isohipertérmico de los Haplorthox tropéuticos.

Con base en las anteriores consideraciones, en la presente investigación se establecieron los siguientes objetivos:

1. Encontrar un método rápido de laboratorio para determinar la susceptibilidad o resistencia de genotipos de sorgo a toxicidad de aluminio.
2. Determinar la Tolerancia Máxima de Saturación de Aluminio (TOMSAL) de cada genotipo en el suelo.

3. Observar el comportamiento agronómico de 18 genotipos de sorgo sembrados en un suelo Clase IV del Departamento del Meta.

4. Hacer correlaciones entre los métodos rápidos de laboratorio para evaluar tolerancia al aluminio con ensayos realizados en el campo.

2. REVISION DE LA LITERATURA

2.1. LA TOXICIDAD DEL ALUMINIO EN SUELOS TROPICALES.

Existen en América Tropical 950 millones de hectáreas de suelos ácidos e infértiles, clasificados como oxisoles y ultisoles. Esta área cubre el 51 por ciento de América Tropical y está constituida principalmente por las sabanas tropicales y la selva amazónica. Estos suelos tienen un pH que oscila entre 4 y 5, bajo contenido de fósforo y frecuentemente presentan niveles tóxicos de aluminio para las plantas. Las sabanas tropicales abarcan 300 millones de hectáreas y poseen suelos con excelentes condiciones físicas, paisajes bastante planos y muy aptos para la mecanización agrícola; existe una amplia disponibilidad de energía solar y de abundante lluvia durante 6 a 9 meses del año (CIAT, 1979).

El 90 por ciento del área del Departamento del Meta (77.193 Km²) constituido por el Pie de Monte Llano y la Altillanura Plana, presenta suelos de baja fertilidad y alto contenido de aluminio intercambiable. El cultivo del sorgo en el Departamento del Meta se siembra en los suelos Clase I, que representan sólo el 10 por ciento del área y los que poseen alta fertilidad, bajo contenido de aluminio intercambiable que no es tóxico para el cultivo y características físicas adecuadas. En ciertas áreas de suelos Clase IV se puede sembrar el sorgo con altas dosis de fertilizantes y enmiendas (Owen y Sanchez, 1979).

En un ensayo localizados en suelos de altillanura plana de Carimagua en los Llanos Orientales de Colombia, se evaluaron tres variedades de sorgo en cuanto a su respuesta a cinco dosis de cal y tres dosis de P_2O_5 y los resultados mostraron que casi no hubo producción con 0 y 0.4 t/Ha de cal, mientras que la producción fué normal con 4.0 t/Ha y no hubo respuesta a aplicaciones más altas (Calvo, y otros, 1.974).

2.2. EFECTOS ADVERSOS DEL ALUMINIO SOBRE LAS PLANTAS.

A través de numerosas investigaciones realizadas en las décadas del 60 y 70, se ha demostrado que el aluminio es el principal componente de la acidez intercambiable del suelo y como tal, es uno de los factores principales que contribuye al mal desarrollo de las plantas en suelos ácidos. (Foy, 1.974 ; Kamprath, 1.970).

Pearson citado por Sánchez (1.981), sostiene que la toxicidad es particularmente severa a un pH por debajo de 5.0 pero puede ocurrir a valores de pH tan altos como 5.5 . Para un cultivo dado, el pH crítico al cual el aluminio se vuelve soluble o intercambiable en concentraciones tóxicas, depende de muchos factores del suelo, incluyendo la predominancia de arcillas minerales, el contenido de materia orgánica y las concentraciones de otros cationes, aniones y sales totales. Así mismo, la toxicidad de aluminio es muy seria en subsuelos fuertemente ácidos que son difíciles de enacalar, debido a que causa una zona radicular poco profunda para las plantas, lo cual disminuye la tolerancia a la sequía y hay poco uso

de nutrimentos del suelo.

El efecto principal del aluminio en plantas es la severa inhibición del crecimiento de la raíz. El aluminio inhibe directamente la división celular en el meristemo apical de la raíz resultando una drástica restricción en el crecimiento radicular. Esto ha sido utilizado para evaluar genéticamente variedades tolerantes al aluminio (Moore, y otros ; 1.976).

Los síntomas de toxicidad del aluminio en raíces se caracterizan generalmente por raíces pequeñas, atrofiadas, quebradizas y de coloración oscura y, hojas con clorosis intervenal, similar a deficiencia de hierro, o rojizas, características de deficiencia de fósforo (Furlani y Clark, - 1.981). Otro de los efectos de la toxicidad de aluminio es el grán número de células con dos núcleos en la región meristemática de la raíz. Se ha sugerido que el aluminio limita la toma de hierro necesario para la división celular.

Se ha encontrado igualmente que la síntesis de DNA es modificada, el DNA formado en presencia de exeso de aluminio es metabólicamente inestable (Bollard, 1.966). El principal efecto de la toxicidad de aluminio en plantas es el disturbio de la asimilación del fósforo (Foy y Brown, - 1.964). Tanto en suelos ácidos como en solución nutritiva los síntomas foliares de toxicidad de aluminio son generalmente similares a los de la severa deficiencia de fósforo (Randall y Vose, 1.963).

En una investigación diseñada para identificar mediante técnica microfotográfica los sitios de fijación de fosfatos por el aluminio dentro de las raíces de las plantas, se encontró una definitiva interacción de aluminio y fosfato en la cofia de la raíz y en las regiones epidermales y corticales atrás de la punta de la raíz extendiéndose de 1 a 5 mm. La interacción Al- fosfato pareció estar asociada con la pared celular y la membrana citoplasmática de la células epidermales y corticales. Los resultados indicaron también que el aluminio adsorbido a la superficie de la raíz o libre en los espacios intracelulares puede ser capáz de inmovilizar fosfatos presente en los tejidos de la raíz o en el subtrato externo - (McCormick y Borden, 1.972).

2.3. EL ENCALAMIENTO COMO SOLUCION AL PROBLEMA DEL ALUMINIO.

El encalamiento de los suelos agrícolas ha sido una práctica agrícola por varios siglos. Sinembargo, la primera evidencia de que la eliminación de cantidades tóxicas de aluminio soluble estaba envuelta en el encalamiento de algunos suelos altamente ácidos, no vino sino hasta principios del presente siglo. Parker, 1.966 cita la literatura que hizo Hutchinson (1.943) en donde reportó que Coupin (1.901), House y Gies (1.906), Rothert (1.906), Kratzmann (1.914), Miyake (1.916), y Stoklasa y otros (1.918) presentaron datos sugiriendo que el aluminio en suficientes cantidades era tóxico para las plantas. Hutchinson criticó este anterior trabajo por la falta de control del ión hidrógeno y por el uso de soluciones sal-individual, y da crédito a Ruprecht y Morse (1.915, 1.917),

Ruprecht (1.915), Hartwell y Pember (1.918) y Abbot y otros, (1.913) como el primer trabajo que hizo hincapié en la importancia del aluminio como un elemento tóxico a las plantas.

El aluminio es el principal componente de la acidéz intercambiable que afecta el desarrollo de las plantas. En los suelos minerales ácidos, existe muy poco hidrógeno intercambiable y solamente en suelos ácidos con un alto contenido de materia orgánica se encuentra algo de hidrógeno intercambiable (Sanchez, 1.981). Habiendo identificado al aluminio como uno de los factores fundamentales, responsable del pobre crecimiento de las plantas en suelos ácidos, a finales de la década del 60 se desarrolló el criterio mediante el cual el propósito del encalamiento debía tener como base la neutralización del aluminio intercambiable, del manganeso y suministrar calcio y magnesio como nutrimentos (Sanchez, 1.981).

La neutralización del aluminio intercambiable también trae como consecuencia una disminución en la fijación del fósforo (Sanchez, 1.981). Muchas variedades difieren en la tolerancia al aluminio, y su estudio se denomina requerimiento de cal y, no es necesario neutralizar todo el aluminio del suelo porque además el suelo posee calcio y magnesio que no se considera al encalar (Cochrane y otros , 1.978).

2.4. EVALUACION DE TOLERANCIA AL ALUMINIO EN SOLUCIONES NUTRITIVAS.

Se han desarrollado métodos con soluciones nutritivas en el laborato-

rio para evaluar la tolerancia de plantas al aluminio y se han tenido varios criterios de calificación como son : longitud de la raíz primaria, manchado de ésta en solución colorante de hematoxilina, grosor y crecimiento de las raíces secundarias (Rhue y Grogan, 1.976). Diferencias en rendimiento de materia seca de raíces y parte aérea, no sirvieron para diferenciar genotipos de sorgo por tolerancia al aluminio, ya que en muchos casos éste tendió a incrementarse en plantas creciendo con aluminio en soluciones nutritivas (Furlani y Clark, 1.981).

Ya muchos años atrás Hackett (1.962) reportó el efecto benéfico de bajos niveles de aluminio sobre el rendimiento en materia seca de Deschampsia flexuosa en solución nutritiva. Incluso Howitt en 1.952 citado por Hackett (1.962) describió tentativamente al aluminio como un micronutriente potencial. También Andrew en 1.973 y Clark en 1.977 citados por Furlani y Clark (1.981) reportaron idénticos efectos benéficos trabajando con pasturas leguminosas y maíz respectivamente.

Además de los niveles de aluminio en la solución nutritiva, otros factores que tienen efecto en la manifestación de síntomas de toxicidad de aluminio son : la temperatura, la fuente de nitrógeno y la concentración de P, K, Ca y Mg como lo determinaron Furlani y Clark (1.981) trabajando con varios genotipos de sorgo en solución nutritiva. Ellos observaron los siguientes efectos :

- La temperatura al incrementarse aumentó los síntomas de toxicidad de alu-

minio.

- Raíces de plantas creciendo con NO_3^- como única fuente de nitrógeno mostraron siempre menores síntomas de toxicidad de aluminio; raíces creciendo con NH_4^+ siempre mostraron síntomas severos de toxicidad. Raíces creciendo con $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ mostraron síntomas diferenciales de toxicidad de aluminio. La razón de estos cambios se explica por cambios en el pH de la solución. La solución de pH 6.5 con NO_3^- disminuyó a cerca de 3.5 con NH_4^+ . El pH de la solución con $\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$ se mantuvo cerca de 4.0 que es el ideal.
- Cuando el fósforo en la solución se incrementa, disminuyen los síntomas de toxicidad de aluminio.
- Diferentes niveles de potasio no afectaron en nada los síntomas de toxicidad de aluminio.
- Cuando el calcio en la solución se incrementó, disminuyeron los síntomas de toxicidad.
- Niveles de magnesio mayores de 7.4 mM/l aumentaron los síntomas de toxicidad de aluminio.

Los trabajos realizados en suelos ácidos se dificultan debido a que no sólo causan toxicidad o disminución el aluminio sino que también van aso-

ciados el Mn, Fe y Ca. Por ésto los métodos usados en suelos ácidos no son muy precisos. Las soluciones nutritivas son más precisas porque muchas variables pueden ser controladas (Moore, 1.974). El crecimiento de plantas en soluciones nutritivas tiene ventajas como desventajas. Una de las mayores ventajas es que la composición del medio de crecimiento puede ser cuidadosamente definida y controlada, lo que no puede hacerse en el suelo. Otra ventaja es que las raíces pueden ser fácilmente estudiadas e incluidas en los análisis. Entre las desventajas de las soluciones nutritivas se tienen, que las plantas requieren más cuidado, puede ser requerido frecuente remplazo del medio, y el sistema puede ser un poco artificial comparado con las condiciones de campo donde las plantas crecen normalmente.

Sin embargo, algunas investigaciones requieren que factores específicos sean controlados muy cuidadosamente y los efectos de otros factores eliminados en lo posible, es aquí donde tienen especial importancia las soluciones nutritivas (Clark, 1.981).

En varios cultivos se han desarrollado técnicas para seleccionar variedades tolerantes al efecto del aluminio, estas se basan en observaciones del crecimiento de la raíz de las plantas en soluciones nutritivas conteniendo aluminio. Algunas de estas técnicas requieren del control en el pH y necesitan de una concentración constante de aluminio durante el trabajo (Konzak y otros, 1.976).

En Estados Unidos se desarrolló un trabajo con varias especies de plantas, entre ellas el sorgo, para determinar su tolerancia al aluminio utilizando un método de solución en papel absorbente. Muchas semillas de sorgo mostraron dormancia y en algunas variedades la germinación fué muy pobre; además, poca información estuvo disponible sobre la respuesta de variedades de sorgo al aluminio. De acuerdo a Schaffert y otros citado por Konzak y otros, (1.976), las variedades " Redland B " y PU-932204 fueron tolerante y susceptible al aluminio respectivamente, en suelos de Cerrado Brasil altos en aluminio intercambiable. En el ensayo en solución papel, estas variedades a 0; 0, 4; 0, 6 y 0,8 mM Al mostraron respuesta en longitud de raíz que concuerdan con las observaciones de Schaffert y otros. El rango de tolerancia del sorgo al aluminio puede ser similar o inferior que el de cebada.

2.5. CORRELACION ENTRE EVALUACIONES EN SOLUCION NUTRITIVA Y EVALUACIONES EN SUELOS ACIDOS.

Ensayos realizados en los Estados Unidos sobre la tolerancia del trigo al aluminio en diferentes niveles, en soluciones nutritivas, han mostrado correlación con los ensayos de invernadero en soluciones artificiales, pero no con los ensayos realizados en el suelo debido al problema de controlar los niveles de aluminio (Campell y Lafever, 1.976). En ensayos con el cultivo del maíz hasta ahora no se han podido establecer correlaciones entre los resultados de campo y los de laboratorio (Polle y otros, 1.978).

Schaffert citado por Clark y Brown (1.980), sostiene que pruebas de selección de genotipos de sorgo por su tolerancia al aluminio en soluciones nutritivas, han concordado bien con datos provenientes de ensayos de campo.

Un programa cooperativo entre las Universidades de Georgia y de Nebraska ha producido interesantes resultados preliminares, genéticos y fisiológicos, en cuanto a la correlación entre evaluaciones en invernadero (solución nutritiva artificial) con evaluaciones de campo en suelos ácidos en el cultivo del sorgo. El propósito inicial es establecer parámetros para cada medio, los cuales serán una guía para estudios genéticos y fisiológicos más definitivos (Duncan y Clark, 1.981).

2.6. TOLERANCIA DIFERENCIAL DE PLANTAS A TOXICIDAD DE ALUMINIO.

Foy citado por Salinas (1.980), sostiene que parece que la tolerancia al aluminio entre especies y variedades se debe a una adaptación genética como resultado de una selección involuntaria en suelos ácidos. La genética de la tolerancia al aluminio está actualmente bajo estudio, pero para la naturaleza de la tolerancia diferencial no ha sido esclarecida al presente, debido a que los mecanismos exactos de toxicidad de aluminio no están todavía completamente conocidos. Varios intentos se han hecho para explicar la causa de la tolerancia al aluminio por las plantas; básicamente éstos pueden ser separados en 2 categorías : cambios diferenciales en la morfología de la planta y, cambios diferenciales en la fisiología y

bioquímica de la planta.

La habilidad diferencial del crecimiento radicular en presencia de aluminio es considerada una importante medida de tolerancia y frecuentemente ha sido usada como criterio para clasificar especies y variedades de acuerdo a su tolerancia al aluminio (Rhue y Grogan, 1.976; Konzak y otros, 1.976 ; Polle y otros, 1.978; Furlani y Clark, 1.981).

Se ha encontrado que la tolerancia diferencial de las especies de plantas al aluminio está estrechamente relacionada con la habilidad de éstas para tomar y utilizar el fósforo en presencia de exceso de aluminio. Existe la posibilidad de inactivación del aluminio por formación de complejos orgánicos con este elemento. El grado de formación de estos complejos explica en parte la diferencia en tolerancia (Bollard y Butler, 1.966).

La tolerancia al aluminio ha sido usualmente asociada con una disminución en la absorción y translocación de elementos minerales. Los más afectados por el aluminio son P, Ca, Mg y menores reducciones en la absorción y translocación de K, Fe, Cu y Zn. (Salinas, 1.980)

Allí citado por Salinas (1.980) sostiene que sí el aluminio es absorbido en una manera similar a otros cationes, existe competencia entre aluminio y otros cationes. Por tanto, es razonable afirmar que el sistema radicular es inhibido debido a una mayor absorción de aluminio dentro de

las células meristemáticas. Esto sugiere que especies y variedades difieren unas de otras en la manera como el aluminio es absorbido y concentrado en las células. Esto es, que especies y/o variedades tolerantes a aluminio tienden a excluirlo por algún mecanismo fisiológico.

Durante los últimos años diferencias consistentes se han encontrado entre especies y variedades para tolerar el aluminio. La mayoría de los resultados y discusiones han enfatizado sobre la reducción radicular y disminución de rendimientos con poca atención a los mecanismos fisiológicos en la nutrición de las plantas. Esto ha determinado que al presente todavía no se conozca exactamente la fisiología de la tolerancia al aluminio (Salinas, 1.980).

2.7. SELECCION Y MEJORAMIENTO DE GENOTIPOS TOLERANTES AL ALUMINIO.

Uno de los caminos para lograr soluciones económicas al problema de la acidéz y el alto contenido de aluminio en el trópico, es la selección y mejoramiento de líneas nuevas que sean más tolerantes a la acidéz que las variedades comerciales actualmente en uso (Spain, 1.971). Investigaciones en varios países han tenido como objetivo explicar las respuestas diferenciales de plantas para ayudar a incrementar la producción de alimentos mediante siembra de cultivos en suelos con estres minerales (Clark y Brown, 1.980).

En un ensayo con soluciones nutritivas para determinar tolerancia del

sorgo a toxicidad de aluminio se encontraron como tolerantes los genotipos: SC 369-3-1JB y NB 9040 y como susceptibles : TX 415, Plainsman, NB 3494 y TX 7078 (Furlani y Clark, 1.981).

Varios mejoradores de maíz y sorgo en el Brasil como Bahía y otros, Pitta y otros y Schaffert y otros, citados por Clark y Brown (1.980), se han interesado también acerca de la tolerancia de genotipos al aluminio y amplias diferencias han sido observadas. Schaffert y otros citado por Clark y Brown (1.980), afirma que en suelos ácidos del Brasil varios genotipos de sorgo han crecido sólo hasta plántulas mientras que otros han madurado y producido grano. Además, se han tenido buenos progresos para el desarrollo de híbridos de sorgo tolerantes al aluminio.

Parece lógico que valdría la pena una investigación más a fondo de la posibilidad de obtener variedades nuevas para ser sembradas en zonas de suelos muy ácidos donde el encalamiento resulta demasiado caro. Sería un trabajo de equipo a largo plazo de requeriría estrecha colaboración entre fitomejoradores, fisiólogos y especialistas en suelos, pero podría traer logros importantes para el trópico (Spain, 1.971).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en dos etapas. Primero la etapa de laboratorio donde se utilizaron dos métodos : Método de Manchado y Método de Solución Nutritiva de 14 días, y luego la etapa de campo.

3.1. Etapa de Laboratorio.

3.1.1. Localización :

Se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Tecnológica de los Llanos Orientales.

3.1.2. Método de Manchado.

Un juego de materiales para prueba de 20 genotipos de sorgo incluye :

- 20 vasos plásticos con tapas de 38 ml de capacidad, perforados con un diámetro de 0,2 cm.

- 2 bandejas poco profundas de (35,6 cm x 45,7 cm x 2,5 cm).

- 1 cubeta plástica de (33 cm x 25,4 cm x 15,2 cm).

- 6 cubetas de (30,5 cm x 13,3 cm x 11,4 cm).

- 6 tiras de icopor de (3,6 cm x 29 cm x 0,7 cm). Cada una se perfora

con 20 hileras de 3 agujeros de 0,4 cm de diámetro.

Por éste método se evaluaron 37 genotipos de sorgo en dos pruebas, una con 20 y otra con 17.

Otros materiales para ambos métodos : Vidrieria para contener soluciones, balanza analítica, Potenciómetro, aireadores tipo acuario, agua deionizada, etc.

3.1.2.1. Soluciones Nutritivas.

- Solución A, solución nutritiva patrón : Disolver en 900 ml de agua destilada, 22,2 g de CaCl_2 anhidro ; 32,86 g de KNO_3 ; 25,41 g de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; 0,66 g de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y 1,60 g de NH_4NO_3 . Diluir a 1 litro. Cuando 20 ml de esta solución se diluyen a 1 litro, la concentración será de 4 mM de CaCl_2 ; 6,5 mM de KNO_3 ; 2,5 mM de MgCl_2 ; 0,1 mM de $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ y 0,4 mM de NH_4NO_3 .

- Solución B, 0,1 M Al : Disolver 24,15 g de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ en 900 ml de agua destilada y diluir a 1 litro.

- Solución C, 0,25 M HCl : Diluir a 1 litro 20,83 ml de HCl concentrado.

- Solución D, 0,2 % hematoxilín : Disolver 2,0 g de hematoxilín anhidro en 900 ml de agua, agregar 0,2 g de yodato de sodio (NaIO_3) y diluir

a 1 litro.

- Solución E, KH_2PO_4 1 M : Diluir 136,1 g de KH_2PO_4 a 1 litro con agua destilada.

3.1.2.2. Procedimiento.

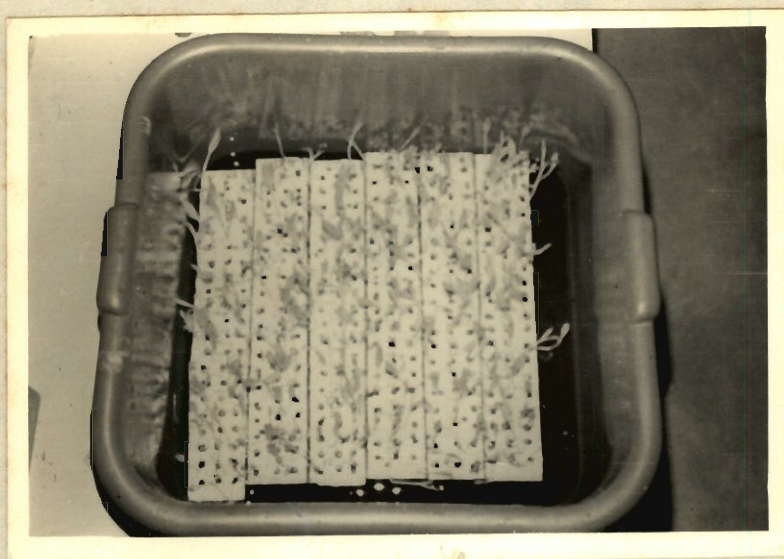


FIGURA 1. Seis láminas de icopor con 20 genotipos de sorgo provenientes de los tratamientos de aluminio en el proceso de manchado de raíces con solución de hematoxilín.

- Colocar 40 semillas en imbibición en cada uno de los vasos plásticos en una cubeta con agua destilada y aireada por 24 horas.

- Incubación de las semillas en una mufla a 25°C y en la oscuridad por 48 horas.

- Transplantar las plántulas de cada genotipo a la solución nutritiva. Tres plántulas de cada genotipo y seis tratamientos de aluminio.

La solución nutritiva se prepara así : medir 9,8 litros de agua desionizada, adicionar 200 ml de solución A y 4 ml de solución E, con una pipeta ajustar el pH a 4 con solución C y dejar las plántulas en esta solución por 24 horas.

- Pasar las plántulas a los tratamientos de aluminio (6) por 20 horas. Los tratamientos de aluminio consisten en soluciones nutritivas con 0,20 ; 0,30 ; 0,40 ; 0,50 ; 0,60 y 0,70 mM Al. Cada solución nutritiva es preparada por colocación en cada una de las seis cubetas de 2,5 litros de agua y adicionar 50 ml de solución A. Luego adicionar a cada una de las seis cubetas 5,0 ; 7,5 ; 10,0 ; 12,5 ; 15,0 y 17,5 ml de 0,1 M AlCl_3 para hacer el 0,20 a 0,70 mM Al. Luego ajustar el pH de cada solución a 4 con solución C.

- Colocar todas las láminas de icopor en una cubeta común con 10 li-

tros de agua destilada aireada por 30 minutos.

- Pasar luego los icopores con las plántulas a un recipiente con una capa poco profunda de solución de hematoxilín por 15 minutos para cubrir las raíces como se observa en la figura 1.

- Lavar las plántulas colocando las láminas de icopor debajo de un flujo de agua destilada por 30 segundos.

- Colocar todas las láminas en una cubeta común con 10 litros de agua destilada aireada por 30 minutos.

3.1.2.3. Calificación :

Separar los tipos de manchado de las raíces primarias con pinzas y ponerlas sobre un papel filtro humedecido, anotando antes un número a cada variedad e indicando el tratamiento de aluminio, escribiendo a máquina. Tomar una fotografía. También el papel filtro con las raíces puede cubrirse con una película plástica clara o una hoja de lucite de 1/16" de espesor y fotocopiar . Un poco de alto contraste en la reproducción es conveniente.

3.1.2.4. Evaluación :

La evaluación de resultados en la prueba de hematoxilín está basada en el manchado patrón de la punta de la raíz.

El aluminio tiende a acumularse en la superficie de las células de esa parte de la raíz que es zona activa de crecimiento durante el tratamiento de aluminio. Así, toda la punta de la raíz desarrolla una " región manchable " que se extiende hasta cerca de 2 cm desde la cofia.

En un determinado nivel de aluminio es característico para cada genotipo de sorgo que la " región manchable " sea totalmente cubierta. Como al aumentar la concentración de aluminio la región manchada crece en tamaño, síntomas de daño en la superficie de las células pueden observarse.

Aparentemente, por causa de una desigual rata de crecimiento de células interiores y de la epidermis, se produce un rompimiento, permitiendo exposición de capas interiores de células sin mancha.

Para el método hematoxilín la medida cuantitativa se reduce a estimar la concentración de aluminio a la cual el completo manchado de la punta de la raíz puede ser detectado. Las plántulas de sorgo que muestren una región clara e intacta detrás de la cofia por encima de 0,6 mM de Al se pueden considerar tolerantes.

3.1.3. Método de solución nutritiva de 14 días.

Un juego de materiales para prueba de 20 genotipos de sorgo incluye :

- 20 vasos plásticos con tapas de 38 ml de capacidad y perforados co-

mo en el método de manchado.

- 2 bandejas plásticas de (35,6 cm x 45,7 cm x 2,5 cm).
- 4 cubetas plásticas de (33 cm x 25,4 cm x 15,2 cm).
- 4 láminas de icopor de (18 cm x 28 cm x 2 cm). Cada una con 20 agujeros donde se coloca un tubo plástico de 3 cm de diámetro con un tamíz de nylon que puede ser encajado.
- Un pedazo de tamíz de nylon de 60 x 80 cm (abertura hexagonal de 0,35 cm a 0,4 cm).

Por este método se evaluaron 18 genotipos, seleccionando de la evaluación por manchado, seis tolerantes, seis intermedios y seis susceptibles.

3.1.3.1. Soluciones Nutritivas.

- Solución A : Elementos Mayores : Disolver 85 g de $\text{Ca} (\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$; 19,20 g de NH_4NO_3 ; 14,3 g de KCl; 23,7 g de $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ y 3,27 g de KH_2PO_4 en 5 litros de agua destilada y completar el volumen a 6 litros.

- Solución B : Elementos Menores : Disolver 2,214 g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$; 0,235 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$; 0,966 g de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$; 2,275 g de H_3BO_3 y 0,178 g de MoO_3 en 800 ml de agua destilada y completar a 1 litro.

- Solución C, 0,3 % de Hierro : Disolver 30 g de sequestrene 330 Fe (Geigy 10 % Fe) en 800 ml de agua destilada y completar a 1 litro.

- Solución D, 0,1 M de Al : Disolver 24,15 g de $AlCl_3 \cdot 6 H_2O$ en 800 ml de agua destilada y completar a 1 litro.

- Solución E, 0,25 M HCl : Diluir 20,83 ml de HCl concentrado en 1 litro de agua destilada.

3.1.3.2. Procedimiento.



FIGURA 2. Cubeta plástica con la solución nutritiva de 14 días. En el interior la lámina de icopor con 20 orificios, uno para cada genotipo y 3 plántulas por genotipo.

- Proceder como en el método anterior hasta la germinación de las

semillas.

- Llenar las 4 cubetas plásticas con 8 litros de solución nutritiva preparada así : adicionar a 4 litros de agua destilada, 200 ml de solución A, 4 ml de solución B y 8 ml de solución C y llevar el volúmen a 8 litros. Rotular de 0; 0,04 ; 0,08 y 0,12 mM de aluminio cada cubeta y adicionar a cada una 0; 3,2; 6,4 y 9,6 ml de solución D al correspondiente tratamiento en cada cubeta. Luego, con una pipeta adicionar a cada cubeta suficiente solución E hasta llevar el pH a 4, recordando el volúmen usado para adicionar siempre que la solución sea preparada nuevamente.

- Colocar en cada cubeta un pedazo de icopor llevando 20 agujeros con los tamices ligados para sembrar. Seleccionar de cada genotipo 12 plántulas con raíces uniformes y plantar 3 en un orificio de cada pedazo de icopor como se observa en la Figura 2. Colocar las cubetas sembradas a la luz 12 horas por día y a una temperatura de 25°C.

Reemplazar la solución de las cubetas por una fresca al 40, 70, 90 y 100 día después de plantar. Airear las soluciones constantemente.

3.1.3.3. Calificación.

Al 110 día después de plantar, evaluar el experimento midiendo la longitud de las raíces en cada tratamiento y por observación del crecimiento de raíces laterales.

3.1.3.4. Evaluación.

Estimar el promedio de la longitud de las raíces primarias de cada tratamiento. Calcular la longitud relativa del promedio de raíz en cada tratamiento dividiendo por la longitud en el tratamiento 0 (cero) aluminio. Para la evaluación del crecimiento de raíces secundarias tomar el crecimiento en el tratamiento cero (0) aluminio como unidad (1) y 0,75 o 0,50 si el crecimiento de las raíces secundarias decrece moderada e intensamente con respecto al tratamiento control. Luego, multiplicando esos coeficientes por el correspondiente cociente de longitud relativa obtenemos un valor que representa la respuesta de las raíces a los tratamientos de aluminio.

3.2. ETAPA DE CAMPO.

3.2.1 Localización.

El trabajo de campo se desarrolló en el C.R.I. La Libertad del ICA ubicado en Villavicencio (Colombia) en un suelo de terraza alta clasificado por su aptitud de uso como Clase IV cuyo análisis de caracterización química se observa en la Tabla 1.

Durante el ciclo de cultivo de los genotipos desde su siembra en Septiembre de 1.981 hasta su cosecha en Diciembre, la precipitación total fué de 934 mm y se distribuyó así : Septiembre (233,5 mm); Octubre (374,5 - mm); Noviembre (157,8 mm) y Diciembre (168,3 mm).

La temperatura promedio durante el ciclo de cultivo fue de 25,6 °C, con un máximo promedio de 30,5 °C y un mínimo promedio de 21,4 °C.

TABLA 1. Análisis de caracterización del suelo donde se efectuó el experimento de campo.

| Prof. (cm) | Textura | pH | M.O. (%) | P (ppm) | Al Ca Mg K Na | | | | | CICe | S.Al (%) |
|---------------|---------|-----|-------------|------------|---------------|-----|-----|-----|-----|------|-------------|
| | | | | | meq/100 g | | | | | | |
| 0-20 | FAr | 4,2 | 3,0 | 12,0 | 2,3 | 0,5 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 3,5 | 65,7 |
| 20-40 | FAr | 4,5 | 2,0 | 4,0 | 2,0 | 0,2 | 0,1 | 0,8 | 0,2 | 3,3 | 60,6 |

3.2.2. Diseño Experimental.

Se diseñó un experimento bifactorial (cal x genotipos) con cuatro niveles de cal y 18 genotipos de sorgo para un total de 72 tratamientos, utilizando un arreglo en parcelas divididas y una distribución en bloques al azar con tres repeticiones.

3.2.2.1. Parcela experimental.

- Parcela principal con niveles de cal, 20 surcos x 0,6 m x 5 m.
- Subparcela con genotipos, 1 surco x 0,6 m x 5 m.

3.2.2.2. Parcela Estadística : 10 plantas por surco o subparcela

3.2.3. Niveles de encalamiento.

| Nivel | CaCO ₃ Cal agrícola (t/Ha) |
|-------|--|
| 1 | 0,5 |
| 2 | 1,5 |
| 3 | 2,5 |
| 4 | 4,5 |

3.2.4. Fertilización Constante.

- Nitrógeno (N) : 150 kg/Ha aplicado como úrea en banda, 1/3 a los 8 días después de germinación y 2/3 a los 30 días después de germinación.

- Fósforo (P₂O₅) : 200 kg/Ha aplicado en banda como superfosfato triple, el total presiembra incorporado.

- Potasio (K₂O) : 100 kg/Ha , aplicando 50 kg/Ha como sulfomag - (22 % de K₂O) presiembra incorporado y 50 kg/Ha como KCl a los 30 días después de germinación.

- Magnesio (Mg) : 50 kg/Ha aplicado como sulfomag (18 % de MgO)
presiembrado incorporado.

3.2.5. Genotipos de sorgo.

Se sembraron 18 genotipos seleccionados entre los evaluados en el método de manchado; escogiendo seis tolerantes, seis intermedios y seis susceptibles al aluminio en el respectivo orden siguiente : Sorghica NH 301, Dorado M, 6125, 6098, S.G.-866, P-25, Granada, Rendidor, 6051, NK-266, E-57, 6093, P-8225, Pionner 8417, Penta 5690, M.B.S.-9, M.B.S.-10 e ICA-Nataima.

3.2.6. Análisis de suelos.

Se realizaron dos. Uno antes de la siembra para conocer principalmente el contenido de aluminio intercambiable y otro después de la cosecha para observar el efecto del encalamiento. Estos análisis se realizaron en el Laboratorio de Suelos del C.N.I.A. Tibaitatá.

3.2.7. Controles fitosanitarios.

El control de malezas se realizó manualmente para evitar la posible fitotoxicidad de la atrazina sobre alguno de los genotipos. Se hicieron dos aplicaciones de Lorsban 4 E (1 lt/Ha) para control de cogollero a los 30 y 50 días después de germinación. Para el control de enfermedades

en la panoja se hizo una aplicación de Benlate en mezcla con la segunda aplicación de insecticidas.

3.2.8. Evaluación.

- Se observó el desarrollo de los genotipos en los 4 niveles de cal y se efectuó una evaluación por comportamiento agronómico (vigor, tamaño de panoja y tolerancia a Diatrea y enfermedades) a los 80 días después de germinación.

- Se cosecharon 10 panojas sanas y representativas de cada surco o subparcela en tres repeticiones para evitar la interferencia de problemas fitosanitarios, especialmente Diatrea, y se evaluó su producción de grano seco al 14 % de humedad en g/10 plantas.

- Se calculó la Tolerancia Máxima de Saturación de Aluminio (TOMSAL) en el suelo de cada genotipo de sorgo.

- Con base en los datos de producción de grano seco se llevaron a cabo los análisis de varianza y pruebas de Duncan para evaluar el efecto y la diferencia de los tratamientos (cal x genotipo) y análisis de correlación entre las evaluaciones de los métodos de laboratorio y la producción de grano en el campo. Los análisis estadísticos se realizaron en la División de Biometría y Estadística del ICA.

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. ETAPA DE LABORATORIO.

4.1.1. Método de Manchado.

El desarrollo de la "región manchable" debido a la fijación del colorante hematoxilín por el aluminio acumulado en las células superficiales de la raíz, sólo alcanzó en plantulas de sorgo 1,0 a 1,5 cm, a diferencia de los 2,0 cm reportados en maíz por Polle y otros (1978). Esta diferencia puede atribuirse a que las raíces de sorgo tienen un crecimiento más lento que las del maíz.

Este método resultó ser muy efectivo, no sólo por la rapidéz con que se realiza (en sólo cinco dias se pueden evaluar 20 genotipos con un juego de materiales) sino por la facilidad con que se evalúa.. La evaluación se realizó observando el manchado patrón de la punta de la raíz de cada genotipo mediante el uso de una lupa, lo que facilitó observar las lesiones en la epidermis de la raíz cuando el aluminio las afectó. Se observó que al nivel más bajo de aluminio, 0,2 mM, el manchado fué mínimo y la región manchable fué aumentando de tamaño a medida que aumentaba el contenido de aluminio en la solución, hasta aparecer los síntomas de lesión en la raíz, lo que coincide con observaciones hechas en maíz por Polle y otros (1978).

La evaluación consistió en observar las raíces de cada genotipo primero en el nivel más bajo de aluminio y luego en los más altos y determinar en cual de ellos se presentaba ruptura de la epidermis de la raíz manifestada por bandas blancas sin manchado de hematoxilín. El nivel de aluminio que produzca estas lesiones no lo tolera el genotipo y su manchado total o nivel de tolerancia estará en el nivel inmediatamente inferior.

El método de manchado con hematoxilín mostró claramente la tolerancia diferencial de genotipos de sorgo al aluminio pues mientras que unos se mostraron sensibles al tolerar sólo niveles bajos (0,2 y 0,3 mM), otros fueron intermedios (0,4 y 0,5 mM) y otros tolerantes al soportar niveles altos (0,6 y 0,7 mM) como se observa en la Tabla 2. Esta diferenciabilidad de tolerancia observada por este método ya se había logrado por Polle y otros (1978) trabajando con diferentes genotipos de maíz. Las Figuras 3 y 4 ilustran la tolerancia diferencial de dos genotipos.

TABLA 2. Nivel de aluminio (mM) tolerado por 37 genotipos de sorgo evaluados por el método de manchado con hematoxilín.

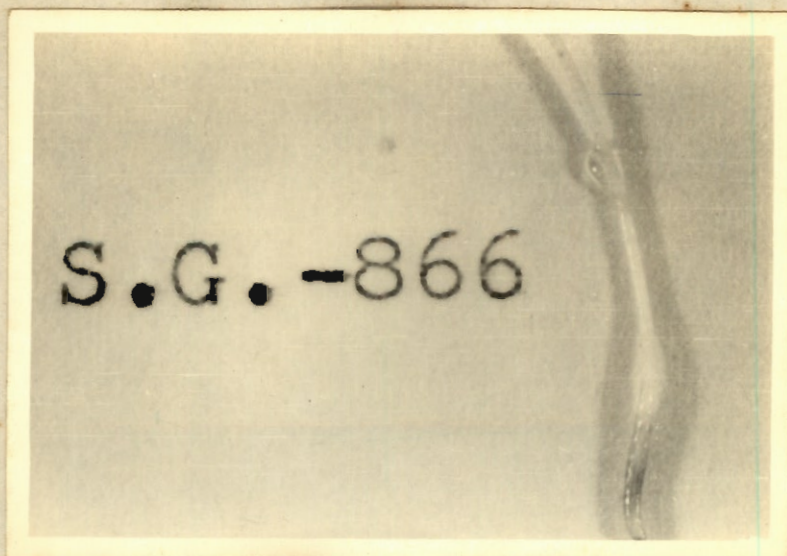
| Genotipo | mM de Aluminio |
|-----------------|----------------|
| Sorghica NH 301 | 0,7 |
| Dorado M | 0,7 |
| 6125 | 0,7 |
| 6098 | 0,7 |
| Continúa... | |

Viene ... TABLA 2.

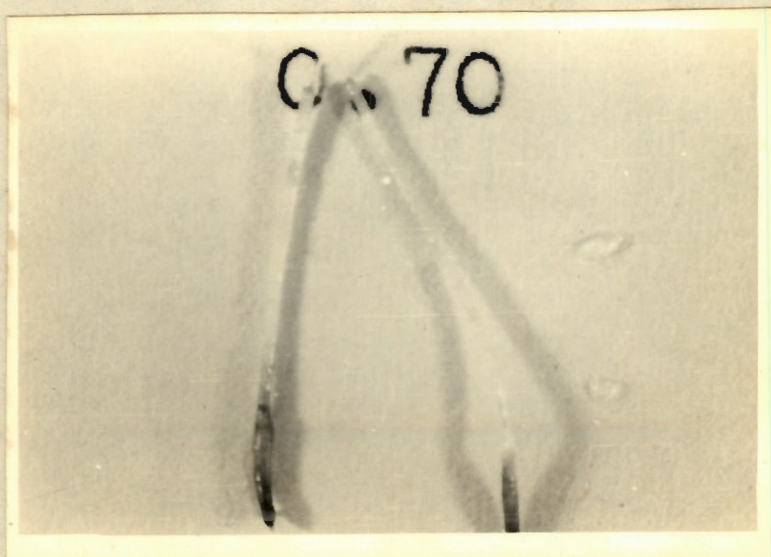
| Genotipo | mM de Aluminio |
|-----------------|----------------|
| Granada | 0.6 |
| S.G.-866 | 0.6 |
| P-25 | 0.6 |
| Rendidor | 0.6 |
| 6051 | 0.6 |
| NK-266 | 0.6 |
| Trpical-5 | 0.6 |
| E-57 | 0.5 |
| Penta 5690 | 0.5 |
| ICA-Nataima | 0.5 |
| M.S.R.-4 | 0.5 |
| P-8225 | 0.5 |
| M.B.S.-3 | 0.4 |
| Pionner 8417 | 0.4 |
| 6107 | 0.4 |
| <u>P</u> -8311 | 0.4 |
| P-8202 | 0.4 |
| M.S.R.-9 | 0.4 |
| M.B.S.-6 | 0.4 |
| 159 Wadbershire | 0.4 |
| N-29-2 | 0.4 |
| Continúa ... | |

Viene ... TABLA 2.

| Genotipo | mM de Aluminio |
|---------------|----------------|
| 6126 | 0.3 |
| M.B.S.-9 | 0.3 |
| 6093 | 0.3 |
| 6116 | 0.3 |
| Penta 5775 | 0.3 |
| M.B.S.-1 | 0.3 |
| NK-2266 | 0.3 |
| M.B.S.-10 | 0.3 |
| M.B.S.-2 | 0.2 |
| M.B.S.-5 | 0.2 |
| Prosemillas-1 | 0.2 |
| Penta 5880 | 0.2 |



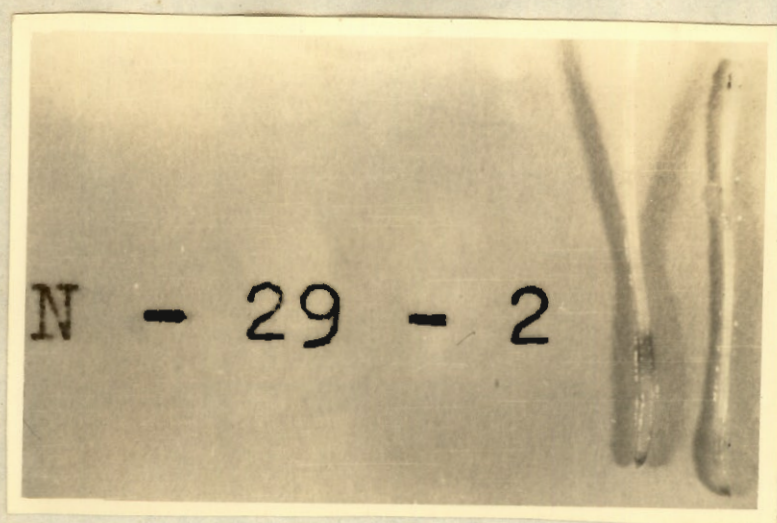
Fotografía A



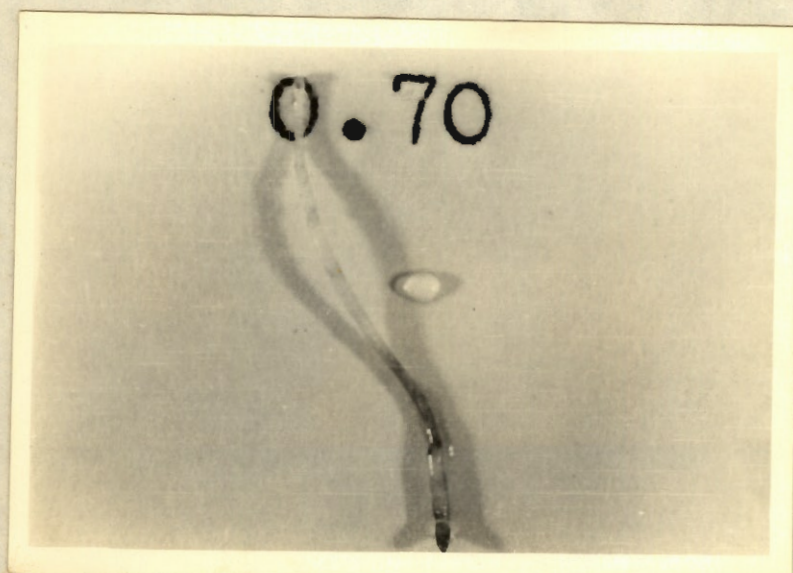
Fotografía B

FIGURA 3. Evaluación del genotipo S.G.-866 por el método de manchado. Fotografía A : Manchado de una raíz en el nivel bajo de aluminio (0.2 mM). Fotografía B : Manchado en el nivel máximo de alumi-

nio (0.7 mM), no se observan lesiones en la epidermis. Este genotipo se comportó como tolerante al aluminio.



Fotografía A



Fotografía B

FIGURA 4. Evaluación del genotipo N-29-2 por el método de manchado. Fotografía A : Manchado de una raíz en el nivel bajo de aluminio - (0.2 mM). Fotografía B : Manchado en el nivel máximo de alu-

minio (0.7 mM), se observan bandas sin mancha y lesión en la epidermis.

Este genotipo se comportó como susceptible al aluminio.

4.1.2. Método de solución nutritiva de 14 días.

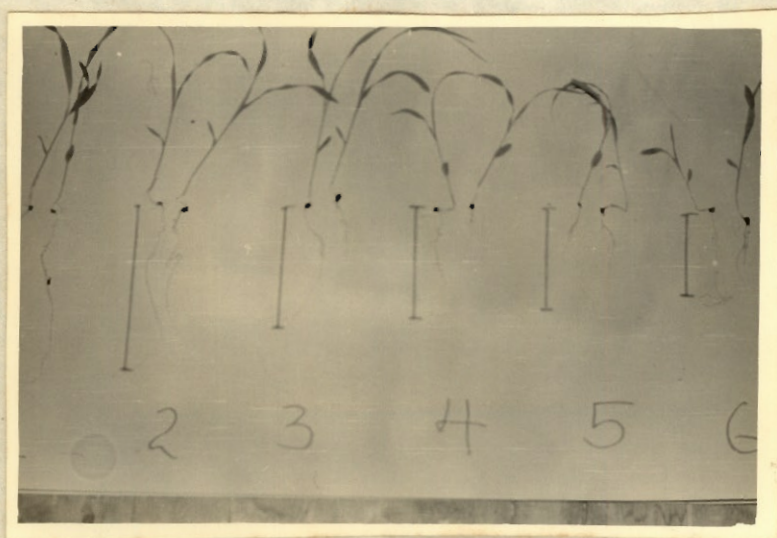


FIGURA 5. En el método de solución nutritiva de 14 días se observa el desarrollo diferencial en longitud de raíz de cinco genotipos de sorgo en el nivel máximo de aluminio, 0,12 mM. 2: Dorado; 3: 6093; 4: P-25; 5: ICA-Nataima y 6: P-8225.

Es un método más dispendioso por la necesidad de efectuar cuatro cambios de solución en el transcurso de los 14 días. Sin embargo el método - mostró también la tolerancia diferencial de genotipos de sorgo al aluminio, expresada en la longitud de la raíz principal y el desarrollo de raíces se-

TABLA 3. Longitud de raíz primaria e índice de desarrollo de raíces secundarias de 18 genotipos de sorgo evaluados por el método de solución nutritiva de 14 días.

| GENOTIPO | T R A T A M I E N T O S (m M A L) | | | | | | | | | | | | Indice de Tolerancia | | | | |
|--------------|-------------------------------------|--------------|--------------|-----------|---------|------------|-----------|-----------|---------|------------|-----------|-----------|----------------------|---------|------------|-----------|-----------------|
| | 0 | | | | 0.04 | | | | 0.08 | | | | | 0.12 | | | |
| | L 1/ cm | C.R.2/ S. | V/r 2/ C. | V/r C. | L cm | C.R. S. | V/r C. | V/r C. | L cm | C.R. S. | V/r C. | V/r C. | | L cm | C.R. S. | V/r C. | Suma V/r. C. |
| Sorghica | 15.3 | 1 | 1 | 1 | 13.6 | 0.7 | 0.62 | 0.64 | 14.0 | 0.7 | 0.64 | 0.64 | 16.3 | 0.7 | 0.74 | 3.00 | |
| Dorado M | 15.0 | 1 | 1 | 1 | 13.0 | 0.7 | 0.60 | 0.65 | 14.0 | 0.7 | 0.65 | 0.65 | 14.0 | 0.7 | 0.65 | 2.40 | |
| Granada | 14.0 | 1 | 1 | 1 | 12.6 | 0.7 | 0.63 | 0.61 | 12.3 | 0.7 | 0.61 | 0.57 | 11.6 | 0.7 | 0.57 | 2.81 | |
| S.G.-866 | 13.3 | 1 | 1 | 1 | 16.3 | 0.7 | 0.85 | 0.53 | 14.3 | 0.5 | 0.53 | 0.41 | 11.0 | 0.5 | 0.41 | 2.79 | |
| Rendidor | 12.3 | 1 | 1 | 1 | 16.6 | 0.7 | 0.94 | 0.44 | 11.0 | 0.5 | 0.44 | 0.38 | 9.5 | 0.5 | 0.38 | 2.76 | |
| P-25 | 14.0 | 1 | 1 | 1 | 13.0 | 0.7 | 0.64 | 0.61 | 12.3 | 0.7 | 0.61 | 0.41 | 11.0 | 0.5 | 0.41 | 2.64 | |
| 6093 | 17.3 | 1 | 1 | 1 | 19.3 | 0.7 | 0.78 | 0.40 | 14.0 | 0.5 | 0.40 | 0.36 | 12.6 | 0.5 | 0.36 | 2.54 | |
| 6098 | 17.3 | 1 | 1 | 1 | 19.0 | 0.7 | 0.76 | 0.40 | 14.0 | 0.5 | 0.40 | 0.36 | 12.6 | 0.5 | 0.36 | 2.52 | |
| 6125 | 14.6 | 1 | 1 | 1 | 12.6 | 0.7 | 0.60 | 0.55 | 11.6 | 0.7 | 0.55 | 0.35 | 10.3 | 0.5 | 0.35 | 2.50 | |
| MC-266 | 13.0 | 1 | 1 | 1 | 12.6 | 0.7 | 0.67 | 0.38 | 10.0 | 0.5 | 0.38 | 0.38 | 10.0 | 0.5 | 0.38 | 2.43 | |
| 6051 | 15.0 | 1 | 1 | 1 | 13.6 | 0.7 | 0.63 | 0.42 | 12.6 | 0.5 | 0.42 | 0.36 | 11.0 | 0.5 | 0.36 | 2.41 | |
| E-57 | 14.6 | 1 | 1 | 1 | 12.3 | 0.7 | 0.58 | 0.39 | 11.6 | 0.5 | 0.39 | 0.36 | 10.6 | 0.5 | 0.36 | 2.33 | |
| P-8417 | 17.0 | 1 | 1 | 1 | 14.6 | 0.7 | 0.60 | 0.37 | 12.6 | 0.5 | 0.37 | 0.35 | 12.0 | 0.5 | 0.35 | 2.32 | |
| P-8225 | 18.3 | 1 | 1 | 1 | 17.6 | 0.7 | 0.67 | 0.41 | 15.3 | 0.5 | 0.41 | 0.20 | 7.3 | 0.5 | 0.20 | 2.28 | |
| IGA-Natalima | 15.6 | 1 | 1 | 1 | 13.3 | 0.5 | 0.42 | 0.42 | 13.3 | 0.5 | 0.42 | 0.30 | 9.6 | 0.5 | 0.30 | 2.14 | |
| Penta 5690 | 15.3 | 1 | 1 | 1 | 13.0 | 0.5 | 0.42 | 0.40 | 12.3 | 0.5 | 0.40 | 0.31 | 9.6 | 0.5 | 0.31 | 2.13 | |
| M.B.S.-9 | 14.0 | 1 | 1 | 1 | 11.0 | 0.5 | 0.39 | 0.37 | 10.6 | 0.5 | 0.37 | 0.37 | 10.6 | 0.5 | 0.37 | 2.06 | |
| M.B.S.-10 | 14.0 | 1 | 1 | 1 | 10.6 | 0.5 | 0.37 | 0.37 | 10.6 | 0.5 | 0.37 | 0.32 | 9.0 | 0.5 | 0.32 | 2.06 | |

1: Longitud en centímetros (promedio de 3 plántulas). 2: Coeficientes de raíces secundarias. 3: Valor compuesto = Longitud Relativa x C.R.S.

cundarias en los cuatro tratamientos de aluminio como lo muestra la Tabla 3. En la Figura 5 se ilustra el comportamiento diferencial en longitud de raíz de cinco genotipos.

Se observaron genotipos cuya longitud de raíz y desarrollo de raíces secundarias fueron poco afectados por los tratamientos de aluminio, lo que indica su tolerancia. Otros genotipos fueron drásticamente afectados en ambos aspectos lo que indica su susceptibilidad al aluminio. Idéntico comportamiento diferencial obtuvieron Polle y otros (1978), utilizando el mismo método para evaluar genotipos de maíz.

4.2. ETAPA DE CAMPO.

4.2.1, Comportamiento agronómico.

Se realizó una evaluación visual de comportamiento agronómico de los 18 genotipos sembrados en el campo, en los cuatro niveles de cal y a los 80 días después de germinación, basada principalmente en vigor de plantas, tamaño de panoja y daño de Diatrea que es la plaga más limitante en la región. En la Tabla 4 se ilustra el resultado de esta evaluación.

Como puede observarse en la Tabla 4 genotipos tales como : M.B.S.-9 ; M.B.S.-10 ; ICA-Nataima y Penta 5690 mostraron mal comportamiento agronómico en todos los niveles de cal debido principalmente a su alta susceptibilidad al Diatrea. Genotipos como : Dorado M; Sorghica NH 301 y P-25, mostraron buen comportamiento general como lo ilustra la Figura 6. Los

TABLA 4. Calificación por comportamiento agronómico de 18 genotipos de sorgo con cuatro dosis de cal en un suelo de la Serie La Libertad. Promedio de tres repeticiones.

| GENOTIPO | CALIFICACION ^{1/} | | | |
|-----------------|----------------------------|-----|-----|-----|
| | Cal t/Ha | | | |
| | 0,5 | 1,5 | 2,5 | 4,5 |
| P-25 | 4,0 | 4,0 | 3,5 | 4,0 |
| S.G.-866 | 4,0 | 3,5 | 3,0 | 3,0 |
| Sorghica NH 301 | 3,5 | 4,5 | 4,0 | 4,5 |
| 6125 | 3,5 | 4,0 | 3,5 | 3,5 |
| NK-266 | 3,5 | 4,0 | 3,5 | 3,0 |
| 6051 | 3,5 | 3,0 | 3,5 | 3,5 |
| 6093 | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 3,5 |
| P-8225 | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 4,0 |
| Granada | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 3,0 |
| Dorado M | 3,0 | 4,5 | 4,0 | 4,5 |
| Rendidor | 2,5 | 4,0 | 3,5 | 4,0 |
| 6098 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 3,0 |
| Pionner 8417 | 2,5 | 2,5 | 3,0 | 3,0 |
| ICA-Nataina | 2,5 | 2,0 | 2,0 | 2,0 |
| E-57 | 2,5 | 3,5 | 3,5 | 3,5 |
| Penta 5690 | 2,0 | 3,0 | 2,0 | 3,0 |
| M.B.S.-9 | 2,0 | 2,5 | 2,0 | 2,0 |
| M.B.S.-10 | 2,0 | 2,0 | 2,5 | 2,0 |

^{1/} Calificación de 2 a 5 así: 2-3 (Mal comportamiento); 3-4 (Regular comportamiento) y 4-5 (Buen comportamiento).

restantes genotipos mostraron regular comportamiento. En la dosis mínima de cal, se comportaron mejor P-25 y S.G-866.



FIGURA 6. El genotipo Sorghica NH 301 fué uno de los que mostró mejor comportamiento agronómico en los cuatro niveles de cal.

4.2.2. Efecto de los tratamientos cal x genotipos en el rendimiento en grano seco.

La respuesta de 18 genotipos de sorgo a cuatro niveles de cal (0,5; 1,5; 2,5 y 4,5 t/Ha) en tres replicaciones se encuentra en el Apéndice 1 y la Tabla 5.

En el análisis de varianza para los 18 genotipos que se encuentra en el Apéndice 2, se tomó como variable dependiente el rendimiento y se efec-

TABLA 5. Promedios de tres repeticiones del rendimiento en g/10 plantas de los 18 genotipos de sorgo en las cuatro dosis de cal del ensayo de campo.

| GENOTIPOS | t/Ha de Cal | | | |
|-----------------|-------------|--------|--------|--------|
| | 0,5 | 1,5 | 2,5 | 4,5 |
| Sorghica NH 301 | 233,56 | 306,78 | 286,79 | 348,74 |
| Granada | 233,65 | 277,86 | 346,63 | 277,86 |
| Rendidor | 187,70 | 326,19 | 289,10 | 320,51 |
| 6125 | 265,37 | 294,46 | 293,81 | 268,49 |
| P-25 | 273,26 | 275,00 | 282,01 | 280,47 |
| NK-266 | 232,12 | 282,06 | 301,36 | 277,08 |
| Dorado M | 227,71 | 296,59 | 268,38 | 296,59 |
| S.G.-366 | 279,94 | 256,78 | 254,96 | 263,87 |
| 6051 | 255,58 | 259,62 | 260,32 | 249,09 |
| 6093 | 233,44 | 252,40 | 282,76 | 254,84 |
| P-8225 | 234,97 | 273,61 | 241,28 | 241,53 |
| E-57 | 158,18 | 237,96 | 315,77 | 257,24 |
| 6098 | 228,14 | 229,29 | 233,98 | 229,99 |
| Pinner 8417 | 221,14 | 252,38 | 241,43 | 195,70 |
| Penta 5690 | 191,70 | 260,02 | 220,97 | 215,56 |
| M.B.S.-9 | 175,74 | 183,22 | 179,48 | 195,68 |
| ICA-Nataima | 173,79 | 190,09 | 195,23 | 157,14 |
| M.B.S.-10 | 132,29 | 184,20 | 163,38 | 175,37 |

tuó la prueba de hipótesis usando el cuadrado medio para repeticiones x dosis de cal como Error a (Ea) obteniéndose un F para repeticiones de 2,67 no significativo lo cual indica que no hubo variabilidad debida al suelo. No hubo respuesta significativa a las aplicaciones de cal pues se obtuvo un F para dosis de cal de 3,62 no significativo debido a que el suelo presentó un porcentaje de saturación de aluminio de sólo 66 % por lo cual no requería de dosis muy elevadas de cal para neutralizar el aluminio intercambiable y para obtener respuesta al encalamiento y además el coeficiente de variación fué alto (29 %).

En la prueba de hipótesis usando el cuadrado medio para dosis de cal (Repet. x Genot.) como Error b (Eb) se obtuvo un F para genotipos de 11,04 altamente significativo y un F para la interacción genotipos x cal de 1,29 no significativo.

Con este análisis de varianza puede concluirse que en el ensayo de campo con los 18 genotipos de sorgo, el único factor que influyó con alta significancia en el rendimiento de grano fué el factor Genotipo. Los factores repeticiones, dosis de cal e interacción genotipos x cal no influyeron significativamente en el rendimiento en grano.

4.2.3. Respuesta general de los genotipos de sorgo al encalamiento.

En la prueba de Duncan (Apéndice 3) para observar el efecto de los niveles de cal (0,5; 1,5; 2,5 y 4,5 t/Ha) se determinó que los genotipos en general respondieron diferencialmente sólo a dos niveles de cal: 0,5 y

1,5 t/Ha . El rendimiento promedio de los genotipos con 1,5; 2,5 y 4,5 t/Ha de cal no fué significativamente diferente e incluso en 4,5 el rendimiento disminuyó un poco hasta no diferenciarse significativamente del obtenido con 0,5 t/Ha. Este comportamiento se debió seguramente a que como se anotó en el numeral anterior, el suelo no requería de dosis muy elevadas de cal por tener sólo un 66 % de saturación de aluminio y en la dosis más alta, 4,5 t/Ha, pudo ocurrir alguna fijación de fosfatos por formación de compuestos insolubles con carbonato de calcio o un desbalanceamiento con las otras bases, lo que produjo alguna disminución en el rendimiento. En el Apéndice 8 se observa que el análisis de caracterización del suelo después de la cosecha muestra en las parcelas con 0,5 t/Ha de cal un contenido de 7 ppm de fósforo mientras que en las parcelas con 4,5 t/Ha de cal sólo hay 5 ppm de fósforo, lo que puede confirmar alguna fijación.

Calvo y otros (1.974), en un suelo de Carimagua encontraron respuesta de tres genotipos de sorgo hasta 4,0 t/Ha de cal pero, estos suelos contienen entre 80 y 90 % de saturación de aluminio.

En el Apéndice 4 se consigna el análisis de varianza de la regresión de la variable dependiente rendimiento en g/10 plantas en función de la dosis de cal y se encuentra un F de 4,83 significativo al 5 % lo que indica alguna respuesta al encalamiento. En el Apéndice 5 se observa el modelo de regresión del rendimiento en g/10 plantas en función de la dosis de cal para los 18 genotipos de sorgo, el cual es : $Y = 233,075 + 5,92 X_i$ siendo Y el rendimiento estimado del sorgo y X_i la dosis de cal.

De este modelo se deduce que partiendo de un rendimiento de 233, 075 g/10 plantas con 0 (cero) cal, por la adición de una tonelada de cal se produce un incremento de rendimiento de 5,92 g/10 plantas. Puede observarse que la respuesta general al encalamiento es baja, pero el rendimiento con 0 (cero) cal es relativamente alto comparado con otros cultivos más sensibles al aluminio lo que hace prever un buen nivel de tolerancia promedio en los genotipos de sorgo evaluados.

En la prueba de Duncan (Apéndice 6) se observa el rendimiento promedio de los genotipos en las cuatro dosis de cal y se aprecia que Sorghica NH 301 fué el de mayor rendimiento pero sin diferenciarse significativamente al nivel del 5 % de genotipos como Granada, Rendidor, 6125, P-25, NK-266, Dorado M, S.G.-866, 6051 y 6093. Todos los anteriores genotipos tuvieron rendimientos promedios significativamente superiores a M.B.S.-9, M.B.S.-10, e ICA-Nataima que fueron los de menor rendimiento coincidiendo con su mal comportamiento agronómico de la Tabla 4. Los demás genotipos tuvieron rendimiento promedio intermedio. Sin embargo, esta prueba de Duncan no identifica a los genotipos de mayor rendimiento promedio como los más tolerantes al aluminio pues, su alto promedio en algunos de ellos se debe a su alto rendimiento en las dosis altas de cal (2,5 y 4,5 t/Ha). Esta prueba de Duncan indica más bien la adaptación de los genotipos al medio.

4.2.4. Tolerancia máxima de saturación de aluminio (TOMSAL) de cada genotipo.

Se toma como TOMSAL el nivel de saturación de aluminio que tolera cada genotipo para producir el 91 % o más de su rendimiento relativo en grano seco. En la Tabla 6 se observan esos datos de rendimiento relativo.

TABLA 6. Rendimiento relativo de cada genotipo en los cuatro niveles de saturación de aluminio en el campo. En porcentaje (%).

| GENOTIPO | SATURACION DE ALUMINIO (%) | | | |
|-----------------|------------------------------|------|-------|------|
| | 63 ^{1/} | 52 | 39 | 34 |
| Dorado M | 76.7 | 100 | 90.5 | 100 |
| S.G.-866 | 100 | 91.7 | 91.0= | 94.3 |
| 6098 | 97.5 | 97.9 | 100 | 98.3 |
| Sorghica NH 301 | 66.9 | 87.9 | 82.2 | 100 |
| P-25 | 96.8 | 97.5 | 100 | 99.4 |
| M.B.S.-9 | 89.8 | 93.6 | 91.7 | 100 |
| ICA-Nataima | 89.0 | 97.4 | 100 | 80.5 |
| Penta 5690 | 73.7 | 100 | 84.9 | 82.9 |
| 6051 | 98.2 | 100 | 100 | 95.7 |
| E-57 | 50.0 | 75.3 | 100 | 81.5 |
| M.B.S.-10 | 71.8 | 100 | 88.7 | 95.2 |
| Rendidor | 57.5 | 100 | 98.8 | 98.3 |
| P-8225 | 85.8 | 100 | 88.2 | 88.3 |
| 6125 | 90.1 | 100 | 99.7 | 91.2 |
| Granada | 67.4 | 80.2 | 100 | 80.2 |
| NK-266 | 77.0 | 93.6 | 100 | 92.0 |
| Pionner 8417 | 87.6 | 100 | 95.7 | 77.5 |
| 6093 | 82.5 | 89.2 | 100 | 90.1 |

1./ Porcentajes de saturación de aluminio correspondientes a los cuatro

niveles de encalamiento, así : 0,5 t/Ha cal (63 %); 1,5 t/Ha cal - (52 %); 2,5 t/Ha cal (39 %) y 4,5 t/Ha cal (32 %).

De los datos consignados en la Tabla 6 puede deducirse que los valores de TOMSAL encontrados en este experimento para cada genotipo de sorgo son los que se muestran en la Tabla 7.

Los genotipos con mayor valor de TOMSAL (63 %) son : S.G.-866; 6051; 6098 y P-25 los que producen el 91 % o más de su rendimiento relativo en el tratamiento más bajo de cal o sea calcio aplicado como fertilizante y por lo tanto con el mayor contenido de aluminio en el suelo. Se comportan como resistentes al aluminio (Tabla 7). Además, estos genotipos en la misma dosis de cal tienen rendimientos absolutos que se encuentran entre los mayores (Tabla 5); no respondieron al encalamiento manteniendo un rendimiento medio absoluto constantemente alto y superior al promedio general (Apéndice 6), excepto 6098 cuyo rendimiento medio fué inferior a dicho promedio. De tal manera que según los resultados de la etapa de campo se puede considerar a los anteriores genotipos como los más resistentes a la toxicidad del aluminio de los evaluados en el campo.

Los genotipos con TOMSAL de 52 % fueron los siguientes : 6125; M.B.S.-9; ICA-Nataima; Pinner 8417; P-8225; NK-266; Dorado M; Penta 5690; M.B.S.-10 y Rendidor, de los cuales los cinco primeros produjeron entre el 81 y 90 % de su rendimiento relativo en el tratamiento más alto en aluminio por lo que se les calificó como tolerantes al mismo (Tabla 7). Pero, en -

TABLA 7. Tolerancia Máxima de Saturación de Aluminio (TOMSAL) y tipo de Respuesta en Rendimiento Relativo al mayor % de saturación de aluminio en el nivel 0,5 t/Ha de cal de los genotipos sembrados en el campo.

| GENOTIPO | TOMSAL ^{1/} % | R/R 0,5 t/Ha Cal | TIPO ^{2/} |
|-----------------|---------------------------|---------------------|------------------------|
| S.G.-866 | 63 | 100 | Resistente |
| 6098 | 63 | 97,5 | Resistente |
| P-25 | 63 | 96,8 | Resistente |
| 6051 | 63 | 98,2 | Resistente |
| 6125 | 52 | 90,1 | Tolerante |
| M.B.S.-9 | 52 | 89,8 | Tolerante |
| ICA-Nataima | 52 | 89,0 | Tolerante |
| Pionner 8417 | 52 | 87,6 | Tolerante |
| P-8225 | 52 | 85,8 | Tolerante |
| NK-266 | 52 | 77,0 | Moderada/ susceptible |
| Dorado M | 52 | 76,7 | Moderada/ susceptible |
| Penta 5690 | 52 | 73,7 | Moderada/ susceptible |
| M.B.S.-10 | 52 | 71,8 | Moderada/ susceptible |
| Rendidor | 52 | 57,5 | Muy susceptible |
| 6093 | 39 | 82,5 | Tolerante |
| Granada | 39 | 67,4 | Suceptible |
| E-57 | 39 | 50,0 | Extremada/ susceptible |
| Sorghica NH 301 | 34 | 66,9 | Suceptible |
| PROMEDIO | 47 | | |

^{1/} El nivel de saturación de aluminio que permite el 91 % o más del rendimiento relativo máximo.

^{2/} 50 % (Extremadamente susceptible); 51-60 % (Muy susceptible); 61-70% (Suceptible); 71-80 % (Moderadamente susceptible); 81-90 % (Tolerante) y 91-100 % (Resistente) al aluminio.

rendimiento absoluto en este mismo tratamiento sólo 6125 presentó un rendimiento alto, mientras que M.B.S.-9; ICA-Nataima; Pioneer 3417 y P-8225 tuvieron bajo rendimiento (Tabla 5). Los cinco genotipos citados no respondieron al encalamiento aunque mantuvieron un rendimiento medio absoluto constantemente bajo e inferior al promedio general, excepto 6125 cuyo rendimiento medio absoluto fué constantemente alto y superior a dicho promedio.

De este mismo grupo con TOMSAL 52 % son : NK-266; Dorado M; Penta - 5690 y M.B.S.-10 los que produjeron entre el 71 y 80 % de su rendimiento relativo en el tratamiento más alto en aluminio por lo que se les califica como moderadamente susceptibles al aluminio (Tabla 7). En rendimiento absoluto en este mismo tratamiento, NK-266 y Dorado M presentaron rendimiento intermedio mientras que Penta 5690 y M.B.S.-10 tuvieron rendimiento bajo. Estos cuatro genotipos no respondieron al encalamiento; NK-266 y Dorado M, mantuvieron un rendimiento medio absoluto constantemente alto y superior al promedio general mientras que Penta 5690 y M.B.S.-10 estuvieron en el grupo de rendimiento medio absoluto constantemente bajo e inferior al promedio general.

El último genotipo de este grupo de TOMSAL 52 % es Rendidor, el cual produjo entre el 51 y 60 % de su rendimiento relativo en el tratamiento más alto en aluminio por lo que se le califica como muy susceptible al mismo (Tabla 7). Su rendimiento absoluto de grano seco en dicho tratamiento fué bajo (Tabla 5). Respondió con aumentos en su rendimiento a dosis

mayores de 0,5 t/Ha.

Los genotipos con TOMSAL de 39 % fueron : 6093; Granada y E-57. De éstos, 6093 produjo entre el 81 y 90 % de su rendimiento relativo en el tratamiento más alto en aluminio por lo que se le califica como tolerante al mismo (Tabla 7). Su rendimiento absoluto de grano seco en dicho tratamiento fué intermedio; no respondió al encalamiento y mantuvo un rendimiento medio absoluto constantemente alto y superior al promedio general.

Granada produjo entre el 61 y 70 % de su rendimiento relativo en el tratamiento más alto en aluminio por lo que se le califica como susceptible al mismo (Tabla 7). Su rendimiento absoluto de grano seco en dicho tratamiento fué intermedio (Tabla 5) y respondió con aumentos en su rendimiento a dosis mayores de 0,5 t/Ha de cal.

E-57 produjo el 50 % de su rendimiento relativo en el tratamiento más alto en aluminio del suelo por, lo que se le calificó como extremadamente susceptible al mismo (Tabla 7). Su rendimiento absoluto de grano seco en dicho tratamiento fué bajo y respondió al encalamiento con aumentos en su rendimiento.

El único genotipo con TOMSAL de sólo 34 % fué Sorghica NH 301 y produjo entre el 61 y 70 % de su rendimiento relativo en el tratamiento más alto en aluminio del suelo por lo que se le califica como susceptible al mismo (Tabla 7). Su rendimiento absoluto de grano seco en dicho trata-

miento fue intermedio (Tabla 5) y respondió al enclamiento con aumentos en su rendimiento.

Haciendo una síntesis del comportamiento de los 18 genotipos de sorgo en la etapa de campo en cuanto a su respuesta diferencial a la toxicidad del aluminio y considerando los parámetros rendimiento relativo en máximo aluminio y Tolerancia Máxima de Saturación de Aluminio (TOMSAL), se pueden agrupar de la siguiente manera :

Genotipos Resistentes al aluminio : S.G.-866; 6051; 6098 y P-25.

Genotipos Tolerantes al aluminio : 6125; 6093; M.B.S.-9; ICA-Nataima; Pionner 8417 y P-8225.

Genotipos Moderadamente susceptibles : NK-266; Dorado M; Penta 5690 y M.B.S.-10.

Genotipos susceptibles al aluminio : Rendidor; Granada; E-57 y Sorghica NH 301.

4.2.5. Correlación entre el comportamiento de 18 genotipos de sorgo en el método de manchado en laboratorio y su producción de grano en el campo.

Efectuando el análisis de correlación (Apéndice 7) para los 18 ge-

notipos sembrados en el campo, entre el nivel de aluminio tolerado en la solución nutritiva del método de manchado (Tabla 2) y el rendimiento absoluto de cada genotipo en g/10 plantas en la dosis más baja de cal (0,5 t/Ha) del ensayo de campo (Tabla 5), se obtuvo un coeficiente de correlación $R= 0,56$ con una probabilidad de error $p=1,53$ que puede considerarse una correlación altamente significativa para 18 genotipos comparados. Al comparar el mismo nivel del aluminio del método de manchado con los rendimientos relativos de cada genotipo en la dosis baja de cal del ensayo de campo, se obtuvo un coeficiente de correlación negativo $R= -0,08$ no significativo. Lo anterior nos indica que el método de manchado correlaciona positivamente y con alta significancia con el rendimiento absoluto de los genotipos en el suelo alto en aluminio, pero no con su rendimiento relativo, debido a que este está más sujeto a error por depender del máximo rendimiento del genotipo que puede ser afectado por factores externos.

No existen reportes de literatura hasta el presente sobre la utilización del método de manchado en sorgo ni su correlación con evaluaciones de campo.

4.2.6. Correlación entre el comportamiento de 18 genotipos de sorgo en el método de solución nutritiva de 14 días en laboratorio y su producción de grano en el campo.

Para esta correlación (Apéndice 7) se tomó del método de laboratorio la sumatoria de valores compuestos de tolerancia de cada genotipo -

(Tabla 3) y se correlacionaron con el rendimiento absoluto de los genotipos en g/10 plantas en las dosis más baja de cal (0,5 t/Ha) del ensayo de campo (Tabla 5), obteniéndose un coeficiente de correlación $R= 0,58$ con una probabilidad de error $p= 1,02$ que puede considerarse una correlación altamente significativa para 18 genotipos comparados.

Al correlacionar la misma sumatoria de valores compuestos en laboratorio con el rendimiento relativo de cada genotipo en la dosis baja de cal del ensayo de campo, se obtuvo un coeficiente de correlación negativo $R= -0,34$ no significativo. Lo anterior indica que el método de solución nutritiva de 14 días se correlaciona positivamente y con alta significancia con el rendimiento absoluto de los genotipos en el suelo alto en aluminio pero no con su rendimiento relativo, debido a que el rendimiento absoluto es más intrínseco al genotipo que su rendimiento relativo expuesto a factores externos.

Con este mismo método de laboratorio no se conocen hasta el presente reportes de correlación con ensayos de campo para evaluar tolerancia diferencial del sorgo a toxicidad de aluminio.

Schaffert, citado por Konzak y otros (1.976) sostiene que los genotipos de sorgo " Redland E " y PU-932204 fueron tolerante y susceptible al aluminio respectivamente en suelos de Cerrado Brasil altos en aluminio intercambiable. Konzak y otros (1.976) en un ensayo de laboratorio utilizando un método de solución en papel absorbente el cual también se evalúa

por longitud de raíz, encontraron que los anteriores genotipos mostraron un comportamiento que concuerda con las observaciones de campo de Schaffert y otros. Este es un antecedente de resultados de correlación positiva entre evaluaciones por longitud de raíz en soluciones nutritivas con aluminio, con ensayos hechos en suelos altos en aluminio intercambiable.

Finalmente, el coeficiente de correlación entre los dos métodos de laboratorio, manchado y solución nutritiva de 14 días, fué $R= 0,68$ altamente significativo (Apéndice 7).

5. CONCLUSIONES

- El Método de Manchado de raíces en solución de hematoxilín mostró claramente la tolerancia diferencial de genotipos de sorgo a toxicidad de aluminio y presenta ventajas como su corta duración, eficiencia y facilidad para evaluar las raíces. Este método mostró un coeficiente de correlación altamente significativo $R= 0,56$ con la posterior evaluación de genotipos en el campo.

- El Método de Solución Nutritiva de 14 días a pesar de ser más dispendioso mostró también claramente la tolerancia diferencial de genotipos de sorgo a toxicidad de aluminio y presentó con la posterior evaluación de genotipos en el campo un coeficiente de correlación $R= 0,58$ altamente significativo.

- Para el trabajo más eficiente de los fitomejoradores tendiente a obtener variedades o híbridos de sorgo tolerantes a altos contenidos de aluminio en el suelo, se recomienda utilizar el método de manchado en hematoxilín por su corta duración y facilidad de evaluación.

- En el ensayo de campo los genotipos que mostraron mejor comportamiento agronómico en las cuatro dosis de cal fueron : Sorghica NH 301, Dorado M, P-25, 6125, NK-266 y Rendidor. En el nivel mínimo de cal (0,5 t/Ha) P-25 y S.G.-866 fueron los genotipos de mejor comportamiento agronómico.

- En el análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento de los 18 genotipos de sorgo en el ensayo de campo se encontró que el efecto del factor Genotipo fué altamente significativo ($p=0,01$) en el rendimiento diferencial de grano seco, mientras que los factores : repeticiones, dosis de cal e interacción genotipos x cal no influyeron significativamente en el rendimiento en grano.

- En el ensayo de campo los genotipos en general respondieron diferencialmente sólo a dos niveles de cal 0,5 y 1,5 t/Ha. El rendimiento general de los genotipos con 1,5; 2,5 y 4,5 t/Ha de cal no fué significativamente diferente.

- Los genotipos S.G.-866; 6051; 6098; P-25; 6125 y 6093 no presentaron respuesta evidente al encalamiento, tuvieron rendimiento alto tanto relativo como absoluto en el tratamiento más alto en aluminio del suelo y mantuvieron un rendimiento medio absoluto constatemente alto, por lo que se pueden considerar como los genotipos más promisorios por su tolerancia a toxicidad de aluminio y por su aceptable potencial de rendimiento en suelos ácidos con cantidades tóxicas de este elemento.

- Los genotipos con mayor nivel de Tolerancia Máxima de Saturación de Aluminio (TOMSAL) fueron : S.G.-866; 6098; P-25 y 6051 con 63 % , que se encuentran dentro de los calificados como más promisorios anteriormente. El TOMSAL para los 18 genotipos de sorgo evaluados en el campo presentó un rango de 34 - 63 % con una moda de 52 % y un promedio de 47 %.

- Sería recomendable evaluar los genotipos S.G.-866; 6051; 6098; P-25; 6125 y 6093 en un ensayo de campo sobre un suelo con mayor contenido de aluminio intercambiable que el utilizado en este ensayo para observar su comportamiento ante niveles más altos de este elemento.

- Para un programa de obtención de variedades o híbridos de alto rendimiento en suelos de la clase IV con baja dosis de cal, se deben usar los genotipos S.G.-866; 6051; 6098; P-25; 6125 y 6093 como progenitores de resistencia al aluminio intercambiable y a genotipos como Sorghica NH 301; Rendidor y Dorado M como progenitores de alto rendimiento, siendo éstos últimos promisorios para ser cultivados en suelos clase I bajos en aluminio intercambiable.

- Es conveniente continuar la investigación con los genotipos más promisorios por tolerancia al aluminio, encaminada a lograr en un futuro variedades o híbridos comerciales tolerantes a altos contenidos de aluminio en el suelo que permitan la utilización agrícola de grandes extensiones de los Llanos Orientales de Colombia cuyo principal limitante de fertilidad es el alto contenido de este elemento, tóxico a la mayoría de cultivos.

6. RESUMEN

METODO RAPIDO PARA DETERMINAR LA TOLERANCIA DIFERENCIAL DEL SORGO (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) A TOXICIDAD DE ALUMINIO Y CORRELACION CON EXPERIMENTOS DE CAMPO PARA SU MEJOR ADAPTACION A SUELOS ACIDOS.

Se realizó esta investigación con el objeto de encontrar un método - rápido de laboratorio para evaluar genotipos de sorgo en cuanto a su tolerancia a toxicidad de aluminio, así como para estudiar la correlación de los métodos rápidos de laboratorio con las evaluaciones hechas en el campo sobre suelos ácidos altos en aluminio intercambiable.

Se utilizaron dos métodos rápidos de laboratorio para evaluar la tolerancia diferencial de genotipos de sorgo a toxicidad de aluminio en soluciones nutritivas.

Un método de manchado de raíces en solución de hematoxilín en el que los tratamientos de aluminio consisten en soluciones nutritivas con 0,20; 0,30; 0,40; 0,50; 0,60 y 0,70 mM de aluminio. La evaluación de resultados en este método está basada en el manchado patrón de la punta de la raíz de cada genotipo, donde se desarrolla una "región manchable" debido a la acumulación del aluminio y a la fijación del colorante hematoxilín. Por este método se evaluaron 37 genotipos de sorgo y resultó ser muy efectivo por la rapidéz con que se realiza, su facilidad de evaluación y porque mostró claramente la tolerancia diferencial de los genotipos a la toxicidad de aluminio. Por este método resultaron tolerantes al aluminio genotipos como :

Dorado M; 6098; 6125; Sorghica NH 301; S.G.-366; P-25 y 6051. Resultaron sensibles entre otros: Penta 5880; Prosemillas-1; M.B.S.-9 y M.B.S.-10. En cuanto a la correlación de este método de manchado con la posterior evaluación de genotipos en el campo se presentó un coeficiente de correlación positivo $R= 0,56$ altamente significativo para 18 genotipos correlacionados.

El segundo método de laboratorio utilizado fue el de solución nutritiva de 14 días en el que los tratamientos de aluminio consisten en soluciones con 0; 0,04; 0,08 y 0,12 mM de aluminio. Al 11^o día después de plantadas las plántulas de cada genotipo en los tratamientos de aluminio se evaluó el experimento midiendo la longitud de las raíces en cada tratamiento y por observación del crecimiento de raíces laterales. Por este método se evaluaron 18 genotipos de sorgo y a pesar de ser más dispendioso mostró claramente la tolerancia diferencial de los genotipos de sorgo a la toxicidad del aluminio. Por este método resultaron tolerantes genotipos como: Sorghica NH 301; Dorado M; S.G.-866; Granada y P-25. Resultaron sensibles al aluminio entre otros: ICA-Mataima; Penta 5690; M.B.S.-9 y M.B.S.-10. En cuanto a la correlación de este método de solución nutritiva de 14 días con la posterior evaluación de genotipos en el campo se presentó un coeficiente de correlación positivo $R= 0,58$ altamente significativo para 18 genotipos correlacionados.

La etapa de campo se desarrolló en un suelo de la Serie La Libertad con un 66% de saturación de aluminio y para ello se diseñó un experimento

bifactorial (cal x genotipo) con 4 dosis de cal y 18 genotipos de sorgo para un total de 72 tratamientos, utilizando un arreglo en parcelas divididas y una distribución en bloques al azar con 3 repeticiones.

Las dosis de cal fueron : 500; 1.500; 2.500 y 4.500 Kg/Ha, Se aplicó fertilización constante así: 150 Kg/Ha de N; 200 Kg/Ha. de P_2O_5 ; 100 Kg/Ha de K_2O y 50 Kg/Ha de Mg. Los genotipos sembrados fueron: Dorado M; S.G.-866; 6098; Sorghica NH 301; Rendidor; 6125; Granada; P-25; NK-266; 6051; 6093; P-8225; E-57; Pionner 8417, Penta 5690; ICA-Nataima; M.B.S.-9 y M.B.S.- 10, seleccionados de la evaluación por el método de manchado.

Se evaluó el comportamiento agronómico de los 18 genotipos en las cuatro dosis de cal y se encontró que los de mejor comportamiento fueron: Dorado M; Sorghica NH 301 y P-25. Mostraron mal comportamiento entre otros, M.B.S.-9 M.B.S.- 10 e ICA-Nataima.

En el análisis de varianza de la variable dependiente rendimiento se encontró que el único factor que influyó significativamente en éste fué el factor genotipo, no influyendo significativamente las dosis de cal ni la interacción cal x genotipos. Los genotipos en general respondieron diferencialmente sólo a dos niveles de cal, 0,5 y 1,5 t/Ha. El rendimiento general de los genotipos con 1,5; 2,5 y 4,5 t/Ha no fué significativamente.

Los genotipos S.G.-866; 6051; 6098, P-25; 6125 y 60 93 se mostraron como los más promisorios en cuanto a su tolerancia a toxicidad de aluminio

en el campo y por su aceptable potencial de rendimiento en suelos ácidos con alto contenido de aluminio.

En la evaluación del TOMA, los genotipos con mayor nivel de Tolerancia Máxima de Saturación de Aluminio fueron: S.G.-866; 6098; P-25 y 6051.

Del conjunto de resultados obtenidos en este trabajo se concluye que los dos métodos rápidos de laboratorio utilizados, manchado en hematoxilín y solución nutritiva de 14 días, presentan una correlación positiva y altamente significativa con la evaluación de genotipos en el campo sobre un suelo ácido, por lo que se pueden considerar como métodos útiles para evaluar en pocos días numerosos genotipos de sorgo en cuanto a su tolerancia a toxicidad de aluminio, evaluación que es de gran utilidad para el trabajo de los fitomejoradores tendiente a obtener variedades o híbridos comerciales de sorgo tolerantes a altos contenidos de aluminio en suelos ácidos. Sería más conveniente utilizar el método de manchado con hematoxilín por su corta duración y facilidad de evaluación.

Se concluyó también que para un programa de obtención de híbridos de alto rendimiento en suelos ácidos con baja dosis de cal se deben utilizar los genotipos de sorgo S.G.-866; 6051; 6098; P-25; 6125 y 6093 como progenitores de resistencia al aluminio y a genotipos como Sorghica NH 301, Rendidor y Dorado M como progenitores de alto rendimiento de grano.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. BOLLARD, E.G.; BUTLER, G.W. Mineral nutrition of plant. *Annual Review of Plant Physiology (EUA)*. 17: 77-112. 1.966.
2. CALVO, F.A.; SPAIN, J.M.; HOWLER, R.H. La aplicación de cal y fósforo para diferentes cultivos en suelos de los Llanos Orientales de Colombia. Cali, CIAT. 1.974. p. 151-159.
3. CAMPBELL, L.G.; LAFEVER, H.N. Correlation of field and nutrient culture techniques of screening wheat for aluminum tolerance. In: Wright, M.J. Proceedings of workshop on plant adaptation to mineral stress in problem soils. New York, Cornell University. 1.976. p. 277-286.
4. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Avances logrados en 1.978. Cali, CIAT. 1.979. 119 p.
5. CLARK, R.B. Nutrient solution growth of sorghum and corn in mineral nutrition studies. *Journal Series (EUA)*. Paper No 6754. s.p. 1.981.
6. CLARK, R.B.; BROWN, J.C. Role of the plant in mineral nutrition as related to breeding and genetics. *Journal Series (EUA)*. Paper No 5703. Paper No 5703. p. 45-70. 1.980.

7. COCHRANE, T.T.; SALINAS, J.G.; SANCHEZ, P.A. An equation for liming acid mineral soils to compensate crop aluminum tolerance. Cali, CIAT. 1.978. s.p.
8. DUNCAN, R.R.; CLARK, R.B. Comparison of greenhouse and field evaluations of sorghum for tolerance to soil acidity. Agronomy abstract (EUA). p. 41. 1.981.
9. FOY, C.D. Effects of aluminum on plant root. En: Carson, E.W. (ed.). The plant root it's environment. Virginia, Univ. Station. 1.974. p. 601-642.
10. _____; BROWN, J.C, Toxic factors in acid soils; II. Differential aluminum tolerance of plant. specie. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. (EUA). 28: 27-32. 1.964.
11. FURLANI, P.R.; CLARK, R.B. Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solutions. Agronomy Journal (EUA). 73: 587-594. 1.981.
12. HACKETT, C. Stimulative effects of aluminum on plant growth. Nature (EUA). 193: 471-472. 1.962.
13. KAMPRATH, E.J. Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. (EUA). 34(2): 252-254. 1.970.

14. KONZAK, C.F.; POLLE, E.; KITTRICK, J.A. Screening several crops for aluminum tolerance. En: Wright, M.J. Proceedings of workshop on plant adaptation to mineral stress in problem soils. New York, Cornell University. 1.976. p. 311-327.
15. McCORMICK, L.H.; BORDEN, F.Y. Phosphate fixation by aluminum in plant roots. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. (EUA). 36:799-802. 1.972.
16. MOORE, D.P. Physiological effects of pH roots. En: Carson, E.W. The plant root and it's environment. Univ. Press of Virginia. 1.974. p. 311-327.
17. _____; KRONSTAD, W.E.; METZGER, R.J. Screening wheat for aluminum tolerance. En: Wright, M.J. Proceedings of workshop on plant adaptation to mineral stress in problem soils. New York, Cornell University. 1.976. p. 287-2 95.
18. OWEN, E.J.; SANCHEZ, L.F. Uso y manejo de los suelos de la parte plana del Departamento del Meta. Bogotá, ICA. 1.979. 40 p.
19. PARKER, F.P. Aluminum. En: Chapman, H.D. Diagnostic criteria for plants and soils. University of California. 1.966. p. 3-10.
20. POLLE, E.; KONZAK, C.F.; KITTRICK, J.A. Rapid screening of maize for tolerance to aluminum in breeding varieties better adapted to acid soils. Washington, AID. 1.978. 12 p.

21. RANDALL, P.J.; VOSE, P.B. Effect of aluminum on uptake and translocation of phosphorus by perennial ryegrass. *Plant Physiology* (EUA). 38: 403-409. 1.963.
22. RHUE, R.D.; GROGAN, C.D. Screening corn for aluminum tolerance. En: Wright, M.J. Proceedings of workshop on plant adaptation to mineral stress in problem soils. New York, Cornell University. 1.976. p. 399-416.
23. SALINAS, J.G. Adaptación de plantas a toxicidades de aluminio y manganeso en suelos ácidos. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo, Fertilidad de Suelos: diagnóstico y control. Bogotá, S.C.C.S. 1.980. p. 399-416.
24. SANCHEZ, L.F. Aspectos sobre acidéz y encalamiento. Villavicencio, ICA. 1.981. 21 p.
25. SPAIN, J.M. El problema de la acidéz en los suelos de los Llanos Orientales: Posibles soluciones. En: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo. Primer Coloquio de Suelos. Acidéz y encalamiento en el trópico. Medellín, S.C.C.S. 1.971. p. 206-208.

S. A P E N D I C E S

APENDICE 1. Rendimiento y promedios en g/10 plantas de 18 genotipos de sorgo en cuatro dosis de cal y tres repeticiones en el ensayo de campo.

| T | CAL | I | | | TOTAL | X | |
|----|-----------------|--------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | I | II | III | | | |
| | t/Ha | g/10 plantas | | | | | |
| 1 | Dorado M | 0.5 | 214.38 | 223.16 | 245.60 | 683.14 | 227.71 |
| 2 | S.G.-866 | 0.5 | 283.06 | 279.94 | 276.82 | 839.82 | 279.94 |
| 3 | 6098 | 0.5 | 215.07 | 149.86 | 319.49 | 684.42 | 228.14 |
| 4 | Sorghica NH 301 | 0.5 | 219.63 | 233.56 | 247.49 | 700.68 | 233.56 |
| 5 | P-25 | 0.5 | 165.14 | 246.84 | 407.82 | 819.80 | 237.26 |
| 6 | M.B.S.-9 | 0.5 | 166.88 | 175.74 | 184.61 | 527.23 | 175.74 |
| 7 | ICA-Nataima | 0.5 | 138.41 | 185.24 | 197.73 | 521.38 | 173.79 |
| 8 | Penta 5690 | 0.5 | 188.80 | 191.70 | 194.61 | 575.11 | 191.70 |
| 9 | 6051 | 0.5 | 299.48 | 237.27 | 229.99 | 766.74 | 255.58 |
| 10 | E-57 | 0.5 | 195.65 | 158.18 | 120.72 | 474.55 | 158.18 |
| 11 | M.B.S.-10 | 0.5 | 138.41 | 132.29 | 126.18 | 396.88 | 132.29 |
| 12 | Rendidor | 0.5 | 178.05 | 179.58 | 205.47 | 563.10 | 187.70 |
| 13 | P-8225 | 0.5 | 180.28 | 289.96 | 234.68 | 704.92 | 234.97 |
| 14 | 6125 | 0.5 | 202.93 | 265.37 | 327.81 | 796.11 | 265.37 |
| 15 | Granada | 0.5 | 220.62 | 185.83 | 294.51 | 700.96 | 233.65 |
| 16 | NK-266 | 0.5 | 257.58 | 209.26 | 229.53 | 696.37 | 232.12 |
| 17 | Pionner 8417 | 0.5 | 194.61 | 221.14 | 247.68 | 663.43 | 221.14 |
| 18 | 6093 | 0.5 | 236.01 | 212.07 | 251.36 | 700.34 | 233.44 |
| 19 | Dorado M | 1.5 | 235.19 | 350.71 | 303.88 | 889.78 | 296.59 |

Continúa...

Viene ...

| T | CAL | I | II | III | TOTAL | X |
|--------------------|------|---------|--------------|--------|--------|--------|
| | t/ha | | g/10 plantas | | | |
| 20 S.G.-866 | 1,5 | 243.52 | 265.37 | 261.47 | 770.36 | 256.78 |
| 21 6098 | 1.5 | 196.69 | 201.89 | 289.31 | 687.89 | 229.29 |
| 22 Sorghica NH 301 | 1.5 | 292.63 | 313.80 | 313.93 | 920.36 | 306.78 |
| 23 P-25 | 1.5 | 215.55 | 272.22 | 337.24 | 825.01 | 275.00 |
| 24 M.B.S.-9 | 1.5 | 171.05 | 165.45 | 222.16 | 549.66 | 183.22 |
| 25 ICA-Nataima | 1.5 | 135.29 | 189.40 | 245.60 | 570.29 | 190.09 |
| 26 Penta 5690 | 1.5 | 193.56 | 300.31 | 286.19 | 780.06 | 260.02 |
| 27 6051 | 1.5 | 251.24 | 240.40 | 287.23 | 778.87 | 259.62 |
| 28 E-57 | 1.5 | 228.95 | 262.25 | 222.70 | 713.90 | 237.96 |
| 29 M.B.S.-10 | 1.5 | 197.73 | 152.98 | 201.89 | 552.60 | 184.20 |
| 30 Rendidor | 1.5 | 315.00 | 340.79 | 322.78 | 978.57 | 326.19 |
| 31 P-8225 | 1.5 | 284.74 | 239.89 | 296.21 | 820.84 | 273.61 |
| 32 6125 | 1.5 | 297.63 | 294.36 | 291.39 | 883.38 | 294.46 |
| 33 Granada | 1.5 | 280.98 | 286.19 | 266.41 | 833.58 | 277.86 |
| 34 NK-266 | 1.5 | 291.54 | 278.30 | 276.35 | 846.19 | 282.06 |
| 35 Pionner 8417 | 1.5 | 251.24 | 267.60 | 757.15 | 252.15 | 252.38 |
| 36 6093 | 1.5 | 246.15 | 229.46 | 757.22 | 252.40 | 252.40 |
| 37 Dorado M | 2.5 | 197.73 | 361.12 | 246.29 | 805.14 | 268.38 |
| 38 S.G.-866 | 2.5 | 239.36 | 249.76 | 275.78 | 764.90 | 254.96 |
| 39 6098 | 2.5 | 169.11 | 264.33 | 268,50 | 701.04 | 233.98 |
| 40 Sorghica | 2.5 | 231.27. | 275.11 | 354.00 | 860.38 | 286.79 |

Continúa ...

Viene...

| T | CAL t/Ha | I | II | III | TOTAL | X |
|--------------------|-------------|--------------|--------|----------------------|---------|--------|
| | | g/10 plantas | | | | |
| 41 P-25 | 2.5 | 231.55 | 268.50 | 296.00 | 846.05 | 282.01 |
| 42 M.B.S.-9 | 2.5 | 157.75 | 222.16 | 158.53 | 538.44 | 179.48 |
| 43 ICA-Nataima | 2.5 | 190.24 | 215.42 | 180.04 $\frac{1}{2}$ | 585.70 | 195.23 |
| 44 Penta 5690 | 2.5 | 261.21 | 218.54 | 218.54 | 662.91 | 220.97 |
| 45 6051 | 2.5 | 265.27 | 217.41 | 298.29 | 780.97 | 260.32 |
| 46 E-57 | 2.5 | 223.00 | 458.94 | 265.37 | 947.31 | 315.77 |
| 47 M.B.S.-10 | 2.5 | 172.83 | 151.94 | 163.38 | 490.15 | 163.38 |
| 48 Rendidor | 2.5 | 271.16 | 273.71 | 322.43 | 867.30 | 289.10 |
| 49 P-8225 | 2.5 | 219.03 | 259.71 | 245.11 | 723.85 | 241.28 |
| 50 6125 | 2.5 | 209.86 | 377.77 | 293.81 | 881.44 | 293.81 |
| 51 Granada | 2.5 | 275.78 | 362.16 | 401.96 | 1039.90 | 346.63 |
| 52 NK-266 | 2.5 | 290.23 | 349.41 | 264.44 | 904.08 | 301.36 |
| 53 Pionner 8417 | 2.5 | 208.13 | 310.12 | 206.05 | 724.30 | 241.43 |
| 54 6093 | 2.5 | 295.51 | 299.34 | 253.45 | 848.30 | 282.76 |
| 55 Dorado M | 4.5 | 230.98 | 367.36 | 241.44 | 889.78 | 296.59 |
| 56 S.G.-866 | 4.5 | 317.41 | 253.93 | 220.27 | 791.61 | 263.87 |
| 57 6098 | 4.5 | 234.25 | 216.46 | 239.36 | 689.97 | 229.99 |
| 58 Sorghica NH 301 | 4.5 | 237.61 | 421.53 | 387.09 | 1046.23 | 348.74 |
| 59 P-25 | 4.5 | 277.37 | 283.70 | 280.35 | 841.42 | 280.47 |
| 60 M.B.S.-9 | 4.5 | 187.74 | 156.45 | 242.86 $\frac{1}{2}$ | 587.05 | 195.68 |
| 61 Penta 5690 | 4.5 | 208.13 | 228.95 | 646.62 | 215.56 | 215.56 |

Viene ...

| T | CAL t/Ha | I | II | III | TOTAL | X |
|-----------------|-------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| | | g/10 plantas | | | | |
| 62 Penta 5690 | 4.5 | 208.13 | 209.61 | 228.95 | 646.69 | 215.56 |
| 63 6051 | 4.5 | 249.09 | 234.89 | 263.29 | 747.27 | 249.09 |
| 64 E-57 | 4.5 | 300.31 | 213.34 | 258.09 | 771.74 | 257.24 |
| 65 M.B.S.-10 | 4.5 | 227.46 | 155.06 | 143.61 | 526.13 | 175.37 |
| 66 Rendidor | 4.5 | 309.25 | 328.55 | 232.75 | 961.55 | 320.51 |
| 67 P-8225 | 4.5 | 235.42 | 243.02 | 246.15 | 724.59 | 241.53 |
| 68 6125 | 4.5 | 209.54 | 268.49 | 267.45 | 805.48 | 268.49 |
| 69 Granada | 4.5 | 264.33 | 287.23 | 282.02 | 833.58 | 277.86 |
| 70 MK-266 | 4.5 | 279.02 | 326.93 | 225.31 | 831.26 | 277.08 |
| 71 Pionner 8417 | 4.5 | 195.70 | 209.29 | 182.02 | 587.11 | 195.70 |
| 72 6093 | 4.5 | 251.36 | 249.28 | 263.88 | 764.52 | 254.84 |

APENDICE 2. Análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento en g/10 plantas, de los 18 genotipos de sorgo en el ensayo de campo.

| Fuente de variación | G.L. | C.M. | F |
|--------------------------------|------|----------|-----------|
| Repeticiones | 2 | 14061.04 | 2.67 n.s. |
| Dosis de cal | 3 | 19056.95 | 3.62 n.s. |
| Rep. x Docal (E_a) | 6 | 5260.13 | |
| Genotipos | 17 | 17938.03 | 11.04 * * |
| Docal x Genot. | 51 | 2090.95 | 1.29 n.s. |
| Docal (Rep. x Gen) (E_b) | 136 | 1624.87 | |
| Total | 215 | 3485.68 | |

C.V._a = 29,43 %

C.V._b = 16,36 %

n.s. = no significativo

* * = Significativo al 1 %

APENDICE 3. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento en g/10 plantas del promedio de cales en los 18 genotipos de sorgo.

| N | CAL t/Ha | MEDIA | grupo |
|----|----------|--------|-------|
| 54 | 2.5 | 258.76 | a |
| 54 | 1.5 | 257.69 | a |
| 54 | 4.5 | 250.32 | ab |
| 54 | 0.5 | 218.77 | b |

Medias seguidas por la misma letra, no difieren estadísticamente al nivel del 5% . G.L.= 6 , C.M. = 5260.13

APENDICE 4. Análisis de varianza de la regresión para la variable dependiente rendimiento en g/10 plantas en función de la variable dosis de cal para los 18 genotipos de sorgo.

| Fuente de variación | G.L. | C.M. | F |
|---------------------|------|----------|--------|
| Regresión | 1 | 16545,13 | 4.83 * |
| Error | 214 | 3424.65 | |
| Total | 215 | | |

C.V. = 23.75 ; $r^2 = 0.02$

* Significativo al 5 %

APENDICE 5. Modelo de regresión del rendimiento en g/10 plantas en función de la dosis de cal para los 18 genotipos de sorgo.

| PARAMETRO | ESTIMADO | T PARA HO: PARAMETRO = 0 |
|------------|----------|-----------------------------|
| Intercepto | 233.07 | 32.15 † * |
| Dosis cal | 5.91 | 2.20 * |

$Y = 233.07 + 5.91 X_i$, donde Y = Rendimiento estimado del sorgo y

X_i = Dosis de cal.

* * Significativo el 1%

* Significativo al 5%

APENDICE 6. Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento en g/10 plantas del promedio de genotipos en las 4 dosis de cal.

| N | GENOTIPO | MEDIA | GRUPO |
|----|-------------------------------|--------|-------|
| 12 | Sorghica NH 301 $\frac{1}{2}$ | 293.97 | a |
| 12 | Granada | 284.00 | ab |
| 12 | Rendidor | 280.87 | abc |
| 12 | 6125 | 280.53 | abc |
| 12 | P-25 | 277.69 | abc |
| 12 | NK-266 | 273.15 | abc |
| 12 | Dorado M | 272.32 | abc |
| 12 | S.G.-866 | 263.89 | abcd |
| 12 | 6051 | 256.15 | abcde |
| 12 | 6093 | 255.86 | abcde |
| 12 | P-8225 | 247.85 | bcde |
| 12 | E-57 | 242.29 | cde |
| 12 | 6098 | 230.35 | de |
| 12 | Pionner 8417 | 227.66 | de |
| 12 | Penta 5690 | 222.06 | e |
| 12 | M.B.S.-9 | 183.53 | f |
| 12 | ICA-Nataima | 179.06 | f |
| 12 | M.B.S.-10 | 163.81 | f |

Medias seguidas por la misma letra, no difieren estadísticamente al nivel 5%
G.L. = 136 ; C.M. = 1624,87

APENDICE 7. Coeficientes de correlación entre los parámetros evaluados en el ensayo de campo y los niveles de tolerancia al aluminio de 18 genotipos de sorgo en los métodos de laboratorio.

| | RAGIOPO.5C ¹ | RR% 0.5 ² | NTALM ³ | NTALMSL4D ⁴ |
|--------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------|------------------------|
| RAGIOPO. 5C ¹ | | -0.02 | 0.56 * * | 0.58 * * |
| RR % 0.5C ² | -0.02 | | -0.08 | -0.34 |
| NTALM ³ | 0.56 * * | -0.08 | | 0.68 * * |
| NTALMSL4D ⁴ | 0.58 * * | -0.34 | 0.68 * * | |

1. Rendimiento absoluto en g/10 plantas en la dosis 0.5 t/Ha de cal en el campo.
2. Rendimiento relativo en % en la dosis 0.5 t/Ha de cal en el campo.
3. Nivel de tolerancia al aluminio en el método de manchado en laboratorio
4. Nivel de tolerancia al aluminio en el método de solución nutritiva de 14 días.

* * Significativo al 1 %.

APENDICE 8. Caracterización química del suelo después de la cosecha del ensayo de campo en los cuatro tratamientos de cal.

| t/Ha | cm | Text. | pH | MO % | P ppm Bray II | Miliequivalentos / 100 g. | | | | | | S. Ca % | S. Al % |
|------|-------|-------|-----|------|------------------|---------------------------|-----|-----|-----|-----|------|---------|---------|
| | | | | | | Al | Ca | Mg | K | Na | CIC. | | |
| 0.5 | 0-20 | F.Ar | 4.5 | 2.0 | 7.0 | 2.0 | 0.6 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 3.2 | 18.8 | 62.5 |
| 0.5 | 20-40 | F.Ar | 4.3 | 2.0 | 3.0 | 2.0 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 2.6 | 7.7 | 76.9 |
| 1.5 | 0-20 | F.Ar | 4.6 | 2.5 | 7.0 | 1.7 | 1.0 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 3.3 | 30.3 | 51.5 |
| 1.5 | 20-40 | F.Ar | 4.4 | 2.0 | 2.0 | 2.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 2.6 | 7.7 | 80.8 |
| 2.5 | 0-20 | F.Ar | 4.9 | 2.5 | 6.0 | 1.3 | 1.5 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 3.3 | 45.5 | 39.4 |
| 2.5 | 20-40 | F.Ar | 4.7 | 2.0 | 2.0 | 1.7 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 2.3 | 13.0 | 73.9 |
| 4.5 | 0-20 | F.Ar | 5.0 | 3.0 | 5.0 | 1.4 | 1.9 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 4.1 | 46.3 | 34.1 |
| 4.5 | 20-40 | F.Ar | 4.6 | 2.0 | 2.0 | 1.9 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 2.7 | 18.5 | 70.4 |