

AGR
0006
1983

020005

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS LLANOS ORIENTALES
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EVALUACION DE DOS METODOS RAPIDOS DE LABORATORIO PARA
DETERMINAR LA TOLERANCIA DIFERENCIAL DEL MAIZ A
TOXICIDAD DE ALUMINIO Y SU CORRELACION CON
EXPERIENCIAS DE CAMPO**

Trabajo de Grado presentado
como requisito parcial para
optar el título de Ingeniero
Agrónomo

OMAR H CASTRO B

Villavicencio, 1983

Fac. Hoel - Agronomía 8/11/83

HUMBERTO RIVEROS CASTRO

Rector

ANA MARIA HOPRILLO DE PARDO

Vicerector

HECTOR FERNADO SALAS IBARRA

Secretario General

HERNAN GIRALDO VIATELA

Decano Facultad de Agronomía

ERIC J OWEN BERTLET
Presidente de Tesis

JORGE MUÑOZ AGUILERA
Jurado

JORGE ORTEGA N
Jurado

DEDICO:

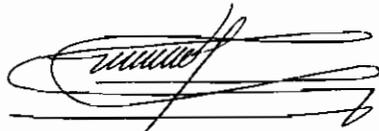
A mi madre María del Carmen Barón
A mis abuelos paternos y maternos
A mis familiares y amigos

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

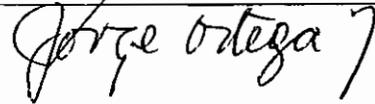
NOTA DE ACEPTACION

APROBADA

Jurado

A handwritten signature in black ink, appearing to be "Jorge Ortega", written over a horizontal line.

Jurado

A handwritten signature in black ink that reads "Jorge Ortega", written over a horizontal line.

AGRADECIMIENTOS:

Mis más profundos agradecimientos a

Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, y especialmente al doctor Eric J Owen B , por su valiosa orientación en el trabajo En la misma institución al doctor Luis Fernando Sánchez S , por su eficaz colaboración

A los doctores Fabio Garavito N , Jorge Muñoz, Jorge Ortega y Eduardo Palacios por su magnífica colaboración durante la etapa de laboratorio, al igual que a la tecnóloga Martha Salazar y al auxiliar Francisco Zapata

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

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS LLANOS ORIENTALES y a todas aquellas personas que colaboraron para la realización del presente trabajo

CONTENIDO-

Capítulo	T i t u l o	Página
1	INTRODUCCION	1
2	REVISION DE LITERATURA	4
2 1	LA TOXICIDAD DEL ALUMINIO EN SUELOS TROPICALES	4
2 2	EFFECTOS ADVERSOS DEL ALUMINIO SOBRE LAS PLANTAS	6
2 3	EL ENCALAMIENTO COMO SOLUCION AL PROBLEMA DEL ALUMINIO	9
2 4	EVALUACION DE TOLERANCIA AL ALUMINIO EN SOLU- CIONES NUTRITIVAS	11
2 5	TOLERANCIA DIFERENCIAL DE PLANTAS A TOXICIDAD DE ALUMINIO	14
2 6	SELECCION Y MEJORAMIENTO DE GENOTIPOS TOLERAN- TES AL ALUMINIO	16
2 7	CORRELACION ENTRE EVALUACIONES EN SOLUCION NUTRITIVA Y EVALUACIONES EN SUELOS ACIDOS	17
3	MATERIALES Y METODOS	18
3 1	ETAPA DE LABORATORIO	18
3 1 1	Localización	18

Capítulo	T í t u l o	Página
3 1 2	Método de manchado	18
3 1 2 1	Materiales para evaluación de 20 genotipos de maiz	18
3 1 2 2	Soluciones	19
3 1 2 3	Procedimiento	20
3 1 2 4	Calificación	21
3 1 2 5	Evaluación	22
3 1 3	Métodos de solución nutritiva de 14 días	23
3 1 3 1	Materiales para evaluación de 20 genotipos de maiz	23
3 1 3 2	Soluciones	23
3 1 3 3	Procedimiento	24
3 1 3 4	Calificación	25
3 1 3 5	Evaluación	25
3 2	Etapa de campo	26
3 2 1	Localización	26
3 2 2	Diseño experimental	26
3 2 2 1	Parcela experimental	26
3 2 2 2	Parcela estadística	29
3 2 3	Niveles de enclavamiento	29
3 2 4	Fertilización constante	29

Capítulo	T í t u l o	Página
3 2 5	Genotipos de maiz	30
3 2 6	Análisis de suelos	30
3 2 7	Controles fitosanitarios	31
3 2 8	Evaluación	31
4	RESULTADOS Y DISCUSION	33
4 1	ETAPA DE LABORATORIO	33
4 1 1	Método de manchado	33
4 1 2	Método de solución nutritiva de 14 días	34
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	47
4 2 3	Respuesta general de los genotipos de maiz al enclamiento	49
4 2 4	Tolerancia máxima de saturación de aluminio (TOMSAL) de cada genotipo	51
4 2 5	Correlación entre el comportamiento de los genotipos de maiz seleccionados en los méto- dos de laboratorio y su producción de grano en el campo	56
5	CONCLUSIONES	59
6	RESUMEN	62
7	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	67
	APENDICE	73

INDICE DE TABLAS

Tabla No	T í t u l o	Página
1	Análisis de caracterización del suelo donde se realizó el experimento de campo	26
2	Datos metereológicos durante el ciclo vegetativo	27
3	Tolerancia de 60 genotipos de maíz a di- ferentes niveles de aluminio en milimoles (mM), evaluados por el método de manchado	35
4	Calificación por el método de 14 días de 47 genotipos de maíz	38
5	Calificación por comportamiento agronómi- co de 19 genotipos de maíz, con cuatro dosis de cal y promedio de cuatro repe- ticiones	41

INDICE DE FIGURAS

Figura No	T í t u l o	Página
1	Comportamiento agronómico del genotipo H - 212 de porte bajo a los 85 días, con mejor desarrollo en el nivel de 4 5 t de cal	42
2	Genotipo altamente prolífico con regular comportamiento agronómico	43
3	Genotipo ICA - H - 211 de regular comportamiento agronómico con deficiencia en el cerrado del capacho	44
4	Genotipo de buen comportamiento agronómico en el nivel más bajo de cal	45
5	Genotipo de buen comportamiento agronómico	46

6	Promedios de cuatro repeticiones del rendimiento en gr/5 plantas de los 19 genotipos de maiz en las cuatro dosis de cal del ensayo de campo	48
7	Rendimiento relativo de cada genotipo en los cuatro niveles de saturación de aluminio en el campo	52
8	Tolerancia máxima de saturación de aluminio (TCMSAL) y tipo de respuesta en rendimiento relativo al mayor porcentaje de saturación de aluminio en el nivel 0 5 t/ha de cal de los genotipos de maiz	53

A P E N D I C E

Número	Título
1	Rendimiento y promedio en gr/5 plantas de los 19 genotipos de maíz en las cuatro dosis de cal, con cuatro repeticiones
2	Análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento en g/5 plantas de los genotipos de maíz en el ensayo de campo
3	Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento en g/5 plantas del promedio de cales en los 19 genotipos de maíz
4	Modelo de regresión del rendimiento en g/5 plantas en función de la dosis de cal para los genotipos de maíz

- 5 Análisis de varianza de la regresión para la variable dependiente rendimiento en g/5 plantas en función de la variable dosis de cal para los genotipos de maíz
- 6 Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento en g/5 plantas del promedio de genotipos en las cuatro dosis de cal
- 7 Coeficientes de correlación entre los parámetros evaluados en el ensayo de campo y niveles de tolerancia al aluminio de los 19 genotipos de maíz en los métodos de laboratorio
- 8 Caracterización química del suelo después de la cosecha del ensayo de campo

1. INTRODUCCION

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

Una de las formas de resolver el problema de fitotoxicidad del aluminio es el encalado del suelo para subir el pH y neutralizar el aluminio intercambiable pero, esta práctica en la mayoría de los casos se dificulta, por el transporte y el costo de las altas dosis lo que hace que esta solución sea antieconómica. Otra forma más adecuada y económica es la selección de especies o variedades que se adapten a las diferentes concentraciones de aluminio en los suelos ácidos

La tolerancia de plantas al aluminio ha sido el factor más estudiado en relación con la acidez del suelo. En los cultivos de trigo y arroz se han realizado trabajos y se ha observado como responden al aluminio, no sólo en la fase inicial de la planta sino en todo el ciclo vegetativo del cultivo

Se han realizado varios trabajos sobre el maíz para conocer los efectos del aluminio en el crecimiento de la raíz primaria, pero una correlación entre esta respuesta y el ciclo vegetativo en

cultivos experimentales en el campo, no ha sido aún establecido

El problema de los suelos ácidos es aún más marcado debido a que los fitomejoradores de maíz no conocen que líneas o variedades son susceptibles, tolerante o resistentes al aluminio

Con el fin de colaborar en la solución del anterior problema es necesario desarrollar un método rápido de laboratorio, con el que se pueda evaluar un gran número de líneas o variedades para que los fitomejoradores puedan determinar si sus cruces son los más resistentes al aluminio. Teniendo en cuenta lo anterior se aplicaron 2 métodos de laboratorio en maíz utilizados en los Estados Unidos (Polle y otros, 1978). Los resultados obtenidos en laboratorios se correlacionaron con un ensayo de campo.

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

1. Evaluar dos métodos rápidos de laboratorio para determinar la susceptibilidad o resistencia de genotipos de maíz a toxicidad del aluminio
2. Observar el comportamiento agronómico de los genotipos de maíz sem-

brados en el campo

- 3 Determinar la tolerancia máxima de saturación de aluminio (TOM-SAL) de cada genotipo en el suelo
- 4 Realizar correlaciones entre los métodos rápidos de laboratorio con la evaluación en el campo

2 REVISION DE LITERATURA

2 1 LA TOXICIDAD DEL ALUMINIO EN SUELOS TROPICALES

En el área tropical, donde los procesos de meteorización suelen tener una mayor intensidad, los minerales primarios contenidos en la arena y el limo representan una importante reserva natural de nutrientes. Estos minerales primarios son además, la materia prima a partir de la cual se originan los minerales secundarios de la fracción arcilla.

En muchos suelos del área tropical, y en particular, del trópico húmedo encontramos los óxidos hidratados de hierro y aluminio, que suelen ser los minerales dominantes en la constitución del coloide inorgánico. Como su nombre lo indica, son fundamentalmente óxidos hidratados que responden a la fórmula general, $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$ v $Al_2O_3 \cdot nH_2O$. A este grupo pertenecen los minerales como la limonita ($Fe_2O_3 \cdot 3H_2O$), la gibsitita ($Al_2O_3 \cdot 3H_2O$) etc., que constituyen las especies más frecuentes en estos suelos (Mejia, 1980).

Estos minerales poseen una carga neta negativa, aunque considerablemente menor que los filosilicatos, razón por la cual su capacidad adsorptiva de cationes es generalmente baja. En compensación su pegajosidad, plasticidad, expansión y cohesión es mucho menor que la de los "arcillos silicatos", cualidades que se traducen en las óptimas

condiciones físicas que le imprimen a los suelos en los cuales son predominantes

Particularmente bajo condiciones ácidas, estos óxidos reaccionan con los iones fosfato (H_2PO_4^-) dando origen a una gran variedad de hidroxifosfatos insolubles, y por lo mismo no aprovechables para las plantas (Mejía, 1980)

Sánchez citado por León (1980) sostiene que en general, los suelos ácidos, cuando su pH es menor de 5.5, presentan problemas de manejo que dificultan el desarrollo de una economía exitosa. Entre estos problemas se encuentran la toxicidad de aluminio y/o manganeso y la baja disponibilidad de elementos esenciales tales como fósforo, el calcio y el magnesio, además se presenta el fenómeno de fijación de fósforo, que es uno de los más importantes en los suelos ácidos y que actualmente impide el desarrollo de grandes zonas arables del mundo que se encuentran prácticamente sin uso.

En América Tropical existen 850 millones de hectáreas, clasificadas como suelos oxisoles y ultisoles. Esta área cubre el 51% de América Tropical y está constituida principalmente por las sabanas tropicales y la selva amazónica. Estos, suelen presentar bajo contenido de fósforo y, niveles de aluminio tóxicos para las plantas, con un pH que oscila entre 4 y 5.

Las sabanas tropicales presentan una topografía plana con excelentes condiciones físicas lo que permite una buena mecanización agrícola, se presenta una amplia disponibilidad de energía solar y lluvias abundantes durante 6 a 9 meses del año (CIAT, 1979)

En el Departamento del Meta las sabanas conocidas como llano o altillano ocupan un área considerable, las cuales presentan condiciones bajas de fertilidad y alta acidez

El cultivo de maíz se siembra en los suelos clase I, los cuales presentan alta fertilidad, bajo contenido de aluminio intercambiable que no son tóxicos para el cultivo y características físicas adecuadas. En ciertas áreas de suelos clase IV se puede sembrar el maíz con altas dosis y enmiendas (Owen y Sánchez, 1979)

Para el cultivo del maíz en los oxisoles se han realizado pruebas de fertilización aplicando fósforo y calcio que son los elementos críticos en el crecimiento de las plantas. Se pudo concluir que aplicando grandes proporciones a largo plazo es factible obtener buenas cosechas (Calvo, y otros 1974)

2 2

EFFECTOS ADVERSOS DEL ALUMINIO SOBRE LAS PLANTAS

La naturaleza de evidencia de toxicidad del aluminio en suelos ácidos es esencialmente como sigue. La adición del aluminio a

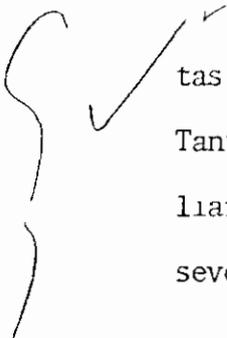
soluciones de cultivo disminuye el crecimiento de las plantas, en suelos ácidos, la adición de otros cationes en la forma de sales neutras no buffer, tales como cloruro de potasio o de calcio pueden aumentar la toxicidad del aluminio. La razón es que posiblemente las sales aumentan la concentración de aluminio en la solución del suelo y bajan el pH mientras parte de los cationes adicionados desaparecen por intercambio (Wright y Donahue, 1953)

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 en suelos minerales y como tal, es uno de los factores principales que contribuye al mal desarrollo de las plantas en suelos ácidos o en soluciones nutritivas (Black, 1968, Kamprath 1970, Foy, 1974). El exceso de aluminio en la solución nutritiva disminuye la absorción de fósforo, calcio, potasio, magnesio, hierro, sodio y boro, produciendo un decrecimiento general en la permeabilidad del protoplasma de las células de las raíces (Foy y Brown, 1964)

Pearson citado por Sánchez (1981), 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. Es de considerar también la profundidad del perfil ya que esta juega papel importante en el cultivo del maíz en cuanto a desarrollo radicular, ya que estas pueden llegar a profundidades de 1.0 - 1.5 metros. Aquí debemos considerar la acidez

del subsuelo debido a que este impide el crecimiento de las raíces y la absorción de agua (Eberhart, 1974)

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 meristema apical de la raíz resultando una drástica restricción en el sistema radicular. Esto ha sido utilizado para evaluar genéticamente variedades tolerantes al aluminio, (Moore y otros, 1976). Otro de los efectos de la toxicidad de aluminio es el gran número de células con dos núcleos en la región meristemática de la raíz. Ha sido 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 exceso de aluminio es metabólicamente inestable (Bollard, 1966)



El principal efecto de la toxicidad de aluminio en plantas es el disturbio de la asimilación de fósforo (Foy y Brown, 1964). Tanto en suelos ácidos como en soluciones nutritivas los síntomas foliares de toxicidad de aluminio son generalmente similares a los de severa deficiencia de fósforo (Randall y Vose, 1963)

Los síntomas de toxicidad del aluminio en raíces se caracterizan generalmente por raíces pequeñas, atrofiadas, quebradizas y de color oscuro. En las hojas se presenta clorosis intervenal, similar a la deficiencia de hierro, o rojizas, característica deficiencia de fósforo (Furlani y Clark, 1981)

En una investigación diseñada para identificar mediante técnica microfotográfica los sitios de fijación de fosfato por el aluminio dentro de las raíces de las plantas, se encontró una definitiva interacción de aluminio y fosfato en la coifa de la raíz y 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 las células epidermales y corticales. Los resultados indicaron también que el aluminio adsorbido a la superficie de la raíz o libre entre los espacios intercelulares puede ser capaz de inmovilizar fosfatos presentes en los tejidos de la raíz o en substrato externo (McCormick y Borden, 1972)

2.3 EL ENCALAMIENTO COMO SOLUCION AL PROBLEMA DEL ALUMINIO

El encalamiento de los suelos agrícolas ha sido una práctica común por varios siglos. Sin embargo 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, (1966) cita la revisión de literatura que hizo Hutchinson (1943) en donde reporto que Coupin (1901), House y Gies (1906), Rothert (1906), Kratzmann (1914), Miyake (1916), y Stoklasa y otros (1918) presentaron datos sugiriendo que el aluminio en suficientes cantidades era tóxico para las plantas. Hutchinson criticó este trabajo por la falta de control del ión hidrógeno y por el uso de soluciones sal-individual, y da crédito a Ruprecht

y Morse (1915, 1917), Hartwell y Pember (1918) y Abbot y otros (1913) como el primer trabajo que hizo hincapié en la importancia del aluminio como elemento tóxico a las plantas

El aluminio es el principal componente de la acidez intercambiable que afecta el desarrollo de las plantas. En los suelos minerales ácidos, existe muy poco hidrógeno intercambiable y solamente en suelos ácidos con alto contenido de materia orgánica se encuentra algo de hidrógeno intercambiable. 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 nutrientes (Sánchez, 1981)

En Carimagua se han realizado trabajos de encalamiento y se estableció que con 4 t/ha de cal se encontró el mayor contenido de calcio y fósforo en las hojas y las respuestas a aplicaciones de cal depende mucho de la especie y de las variedades dentro de la especie (Calvo y otros, 1974 y Cambell y Lafever, 1976)

Las variedades y especies no tolerantes a la acidez (frijol, maíz, sorgo y variedades enanas de arroz) se requiere 4 t/ha de cal. Para especies tolerantes a la acidez (caupí y maní) aplicacio-

ciones de 0.5 t/ha de cal parece ser suficiente. Para maíz específicamente se han realizado trabajos de selección utilizando 4 niveles de cal: 0.5, 2, 4 y 6 t/ha. El nivel de 0.5 t/ha se usa para indicar tolerancia al pH bajo y altos niveles de aluminio y el nivel de 2 t/ha para indicar el potencial genético más viable económicamente en esta zona dado los costos de fletes y precios del maíz. Hubo muy poca o ninguna producción sin cal y un desarrollo casi normal con 6 t/ha, los extremos se eliminaron en las siguientes pruebas (Calvo y otros, 1974).

Muchas especies y 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, debido a que este aporta calcio y magnesio que no se tiene en cuenta al encalar (Cochrane y otros, 1978).

2.4. EVALUACION DE TOLERANCIA AL ALUMINIO EN SOLUCIONES NUTRITIVAS

(Rhue y Grogan, 1976) sostienen que las primeras observaciones del efecto del aluminio en la elongación de raíces fue realizada por Clarkson y Sanderson. La elongación se redujo con un tratamiento de 3 horas en solución con 10^{-3} M de aluminio y se detuvo completamente con un tratamiento de 3.7×10^{-4} M de aluminio durante 8 horas, se dijo además que una variedad susceptible detiene el crecimiento de su raíz en 12 horas, de esta manera dieron los primeros niveles para el

cultivo del trigo. Posteriormente desarrollaron métodos con soluciones nutritivas en el laboratorio para evaluar la tolerancia al aluminio y se han tenido varios criterios: longitud de la raíz primaria, manchado de ésta, grosor y crecimiento de las raíces secundarias.

Diferencias en rendimiento de materia seca (raíces y parte aérea), no sirvieron para diferenciar genotipos de sorgo por tolerancia al aluminio debido a que el rendimiento tendió a incrementarse en muchos casos en plantas creciendo con aluminio en soluciones nutritivas. Muchos años atrás Hackett (1962) reportó el efecto benéfico de niveles bajos de aluminio sobre el rendimiento en materia seca de Deschampsia flexuosa en solución nutritiva. Incluso Hewitt (1952) citado por Hackett (1962) describió al aluminio como un micronutriente potencial. También Andrew en 1973 y Clark en 1977 citados por Furlani y Clark (1981) reportaron idénticos efectos benéficos trabajando con pasturas leguminosas y maíz respectivamente.

Además de los niveles de aluminio en soluciones nutritivas, otros factores que tienen efecto en la manifestación de síntomas de toxicidad al aluminio son: la temperatura, la fuente de nitrógeno y la concentración de P, K, Ca y Mg (Furlani y Clark, 1981).

Los trabajos realizados en suelos ácidos se dificultan debido a que no sólo causan toxicidad el aluminio sino también van asociados el Mn, Fe. Por esto los métodos usados en suelos ácidos no son

muy precisos. Las soluciones nutritivas son más precisas porque muchas variables pueden ser controladas (Nore, 1974). 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 definido y controlado, 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 frecuente el requerimiento de cambio de 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, 1981).

En maíz y otros cultivos se han desarrollado técnicas para seleccionar variedades tolerantes al efecto del aluminio. Estas se basan en observaciones en el crecimiento de la raíz de las plantas en solución nutritiva, contaminadas con el aluminio. Algunas de estas técnicas requieren del control en el pH y necesitan de una concentración constante de aluminio durante el trabajo (Konsak y otros, 1976). Se ha visto que el maíz tiende a cambiar más en sus respuestas al mismo tratamiento de aluminio que el trigo en las mismas condiciones. La variabilidad es menor con endocrías, pero no es el tipo de material más

requerido para estos ensayos (Polle y otros, 1978)

Los métodos utilizados específicamente para maíz en soluciones nutritivas son El método de manchado y el método de solución nutritiva de 14 días Para el método de manchado se tienen 6 niveles de aluminio (0 15), (0 25), (0 35), (0 45), (0 55), (0 65) mM Al Para este método las plántulas de maíz que muestran una región clara y sin daño detrás de la punta de la raíz, por encima de 0 55 mM de aluminio se consideran tolerantes

Para cada variedad en un ensayo de maíz se observó que hay un completo manchado detrás de la punta de la raíz a diferentes concentraciones de aluminio Para variedades tolerantes como GARGILL III aparece con 0 65 mM de aluminio y para variedades susceptibles como la P x 485 con 0 35 mM de aluminio (Polle y otros, 1978)

2 5 TOLERANCIA DIFERENCIAL DE PLANTAS A TOXICIDAD DE ALUMINIO

Foy citado por Salinas (1980) sostiene que la tolerancia al aluminio entre especies y variedades se deba a una adaptación genética como resultado de una selección involuntaria en suelos ácidos La genética de la tolerancia al aluminio está actualmente en estudio, pero la naturaleza de la tolerancia diferencial no ha sido esclarecida hasta el momento, debido a que los mecanismos exactos de toxicidad de aluminio no son completamente conocidos Varios intentos se han hecho

para explicar la causa de la tolerancia al aluminio por las plantas, básicamente estos se pueden separar en 2 categorías cambios diferencial 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, 1976, Konzak y otros, 1976, Polle y otros, 1978, Furlani y Clark, 1981)

Se ha encontrado que la tolerancia diferencial de las especies de plantas a aluminio está estrechamente relacionada con la habilidad de estas para tomar y utilizar el fósforo en presencia y 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, 1966)

Ali citado por Salinas (1980) sostiene que si el aluminio es absorbido de 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 del 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 incluirlo 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 del rendimiento 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, 1980).

2.6 SELECCION Y MEJORAMIENTO DE GENOTIPOS TOLERANTES AL ALUMINIO

Uno de los caminos para lograr soluciones económicas al problema de la acidez y al alto contenido de aluminio en el trópico, es la selección y mejoramiento de líneas nuevas que sean más tolerantes a la acidez que las variedades comerciales en uso (Spain, 1971). Investigaciones en varios países han tenido como objetivo encontrar las respuestas diferenciales de plantas para ayudar a incrementar la producción de alimentos mediante siembra de cultivos en suelos con estrés en cuanto a su contenido de nutrientes minerales (Clark y Brown, 1980).

Varios mejoradores de maíz y sorgo en el Brasil como Bahia y otros, Pitta y otros y Schaffert y otros citados por Clark y Brown

(1980) se han interesado también acerca de la tolerancia de genotipos a aluminio y amplias diferencias han sido observadas

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 muy caro. Sería un trabajo de equipo a largo plazo que requeriría estrecha colaboración entre fitomejoradores, fisiólogos y especialistas en suelos, pero podría traer logros importantes para el trópico (S in, 1971)

2.7 CORRELACION ENTRE EVALUACIONES EN SOLUCION NUTRITIVA Y EVALUACIONES EN SUELOS ACIDOS

Ensayos realizados en los Estados Unidos de tolerancia del maíz al aluminio en diferentes niveles, en soluciones nutritivas, han mostrado correlación con los ensayos de invernadero, pero no con los ensayos realizados en el campo debido al problema de controlar los niveles de aluminio en el campo (Campbell y Lafever, 1976). Para el cultivo de maíz hasta ahora no se han podido establecer correlaciones entre los resultados de campo y los de laboratorio (Polle y otros, 1978). Schaffert citado por Clark y Brown (1980) 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.

3. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se realizó en dos etapas. Primero, la etapa de laboratorio donde se utilizan dos métodos: Método de manchado y método de solución nutritiva de 14 días, y segundo, la etapa de campo.

3.1 ETAPA DE LABORATORIO

3.1.1 Localización

Se llevó a cabo en el laboratorio de suelos de la Universidad de los Llanos Orientales.

3.1.2 Método de manchado

Este método consiste en la tinción de la punta de la raíz con Hematoxilina y determinar en qué nivel de aluminio hay manchado pero no hay daño.

3.1.2.1 Materiales para evaluación de 20 genotipos de maíz

- 20 vasos plásticos perforados con un diámetro de 0.32 cms
- 5 bandejas plásticas de 35.6 cm x 20 cm x 2.5 cms
- 1 cubeta plástica de 33 cm x 25.4 cm x 15.2 cms

- 6 cubetas plásticas de 30.5 cm x 13.3 cm x 11.4 cms
- 6 tiras de Icopor de 3.6 cm x 29 cm x 1 cm Cada tira con 20 hileras de 3 huecos cada uno con un diámetro de 0.6 cms

Otros materiales para los dos métodos Vidriería para contener soluciones, balanza analítica, potenciómetro, pipetas aforadas, mangueras, aireadores tipo acuario, germinadores, agua desionizada, etc

3.1.2.2 Soluciones

- Solución A, solución nutritiva madre Disolver en 900 ml de agua destilada 22.2 g de CaCl_2 anhídrido, 32.86 g de KNO_3 , 25.41 g de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, 0.66 g de $\text{SO}_4 (\text{NH}_4)_2$, y 1.60 g de NH_4NO_3 Diluir a un litro
- 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 llevarlo a un litro
- Solución C, 0.25 M HCl 20.83 ml de HCl concentrado diluido en un litro de agua
- Solución D, 0.2% Hematoxilín Disolver 2g de Hematoxilín anhídrido en 900 ml de agua, añadir 0.2 g \pm 0.01 g de yodato de sodio (NaIO_3) y llevar a un volumen de 1 litro

- Solución E, KH_2PO_4 IM Diluir 136 1 g de KH_2PO_4 en un litro de agua destilada

3 1 2 3 Procedimiento

Por este método se evaluaron 60 genotipos de maíz

- Se colocan 40 semillas de cada genotipo en cada uno de los vasos plásticos perforados se trasladaron luego a un recipiente grande con agua para el proceso de imbibición y se airearon por 24 horas
- Se pasan las semillas a germinación, colocándolas en bandejas con papel filtro humedecido con su nombre Se colocan en la estufa a una temperatura de 25°C en la oscuridad por 48 horas
- Se transplantan las plántulas de los genotipos con un igual crecimiento de raíz a soluciones nutritivas, las plántulas en los huecos de los icopores 3 plántulas de cada genotipo por icopor para seis tratamientos luego de aluminio La solución nutritiva se prepara así 9 8 litros de agua, le adicionamos 200 ml de solución A y 4 de solución E, con una pipeta se ajusta el pH a 4 con solución C y se dejan las plántulas en esta solución por 24 horas
- Se pasan los icopores con las plántulas a los tratamientos de aluminio (6) por 20 horas, las soluciones son de 0 15 - 0 25 - 0 35

045 - 0 55 - 065 mM Al Cada solución nutritiva se prepara en las seis cubetas agregando 2 5 litros de agua y 50 ml de solución A, adicionando a cada cubeta 3 75, 6 25, 8 75, 11 25, 13 75 y 16 25 ml de $AlCl_3$ 0 1 M, y se ajusta el pH a 4 con solución C

- Se colocan los icopores con las plántulas en una cubeta común con 10 litros de agua por 30 minutos
- Se pasan las plántulas a el tratamiento de manchado con hemotoxín cubriendo las raíces por 15 minutos
- Se lava las plántulas por 30 segundos debajo de un flujo de agua destilada
- Se colocan las tiras de icopor con las plántulas en una cubeta común con 10 litros de agua destilada por 30 minutos

3 1 2 4 Calificación

Se cortan las puntas de las raíces primarias con las regiones manchadas, se colocan en papel filtro humedecido donde se ha escrito el número del genotipo y el tratamiento de aluminio. Es conveniente tomar una foto o sacar una fotocopia para facilitar la evaluación

3 1 2 5 Evaluación

La evaluación de los resultados con hematoxilín está basada en la tinción de la punta de la raíz, porque el aluminio tiende a acumularse en las células de la raíz en la región de crecimiento durante los tratamientos de aluminio. De esta manera detrás de la cofia se desarrolla una región manchada que se extiende cerca de 2 cms. Como la concentración de aluminio aumenta la región manchada se desarrolla y aumenta en tamaño.

Debido al crecimiento de la región, el síntoma de daño en la superficie de las células puede verse. Hay crecimiento desigual entre las células del interior y de la epidermis, las aberturas dejan bandas sin mancha de las células internas visibles.

Para este método la medida cuantitativa se reduce a estimar la concentración de aluminio en la cual hay completo manchado en la punta de la raíz y este es detectado. Un nivel de aluminio es característico para cada genotipo de maíz para que se presente la región manchada. En este caso los genotipos que muestren región manchada a niveles de 0.15 y 0.25 mM Al son susceptibles, los genotipos con región manchada a niveles de 0.35 y 0.45 mM Al son moderadamente tolerantes y los genotipos que muestren regiones claras y sin daño detrás de la cofia por encima de 0.55 mM Al son tolerantes.

3 1 3 Métodos de solución nutritiva de 14 días

En este método las plántulas crecen en soluciones nutritivas contaminadas con aluminio y al onceavo día se evalúa el crecimiento de las raíces primarias y secundarias

3 1 3 1 Materiales para evaluación de 20 genotipos de maíz

- 20 vasos perforados, según el método 1
- 5 bandejas plásticas de 35 6 cm x 20 cm x 2 5 cms
- 4 cubetas plásticas de 30 5 cm x 13 3 cm x 11 4 cm
- 4 tiras de icopor de 18 cms x 28 cms x 2 cms Cada una con 20 huecos donde se coloca un tubo plástico de 3 centímetros de diámetro

3 1 3 2 Soluciones

- Solución A Disolver 85 g de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 19 6g de NH_4NO_3 , 14 3g de KCl , 23 7 g de $\text{Mg SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y 3 27g de KH_2PO_4 en 5 litros de agua y completar el volumen a 6 litros
- Solución B elementos menores Disolver 2 214 g de $\text{MnSO}_4\text{H}_2\text{O}$, 0 235g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, 0 966g de $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, 2 275g de H_3BO_3 y 0 178g de MoO_3 en 800 ml de agua destilada y completar el volumen a un litro

- Solución C, 0.3% hierro Disolver 30 g de quelato 330 Fe (10% Fe) en 800 ml de agua y completar el volumen a un litro
- Solución D, 0.1 M Al Disolver 24.15 g de $AlCl_3 \cdot 6H_2O$ en 800 ml de agua y completar volumen a un litro
- Solución E, 0.25 M HCl Disolver 20 ml del HCl concentrado en un litro de agua

3.1.3.5 Procedimiento

Por este método se evaluaron 47 genotipos de maíz

- Se procedió como en el método anterior hasta la germinación de la semilla
- Se prepara en las 4 cubetas plásticas las soluciones nutritivas así 4 litros de agua destilada, 200 ml de solución A, 4 ml de solución B, 8 ml de solución C, aumentando el volumen a 8 litros Rotular las cubetas de 0.0, 0.03, 0.06, 0.09 mM Al, agregamos 0.0, 3.0, 6.0, 9.0 ml de la solución D a cada tratamiento, luego con una pipeta añadimos solución E para llevar el pH a 4, anotamos esta cantidad para agregarla a las nuevas soluciones
- Escogemos 12 plántulas con longitud de raíz uniforme y sembramos 3

plántulas en cada tratamiento Las bandejas se dejan a la luz por 12 horas y a una temperatura de 25°C

- Se reemplaza las soluciones de las bandejas por una fresca a los 4-7 - 9 - 10 días después de plantada Se airean las soluciones constantemente

3 1 3 4 Calificación

En el día décimo primero después de sembrada, medimos la longitud de las raíces en cada tratamiento y observamos el crecimiento de las raíces secundarias

3 1 3 5 Evaluación

Se calcula la longitud media de la raíz primaria de cada tratamiento Dividimos este valor por la longitud del tratamiento en cero

Para las raíces secundarias se establece la siguiente evaluación Se tomó 1 como unidad de crecimiento en el nivel de 0 0 mM Al y 0 75 ó 0 50 si el crecimiento de la raíz es moderado o decrece severamente con respecto al tratamiento control Estos coeficientes se multiplican por el valor de las longitudes relativas de las raíces primarias y de esta manera obtenemos el valor que representa la respuesta

de la raíz al tratamiento 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 y taxonómicamente como Isohipertermica arcilloso caolinitica tropeptic haplorthox, y su análisis de caracterización se observa en la tabla 1

Durante el ciclo vegetativo del cultivo de los genotipos de maíz desde su siembra en abril hasta su cosecha en agosto de 1982, se obtuvieron los siguientes datos meteorológicos, los cuales se reportan en la tabla 2

3 2 2 Diseño experimental

Se diseñó un experimento bifactorial (cal x genotipos) con cuatro niveles de cal y 19 genotipos de maíz para un total de 76 tratamientos, utilizando un arreglo en parcelas divididas y una distribución en bloques al azar con cuatro repeticiones

3 2 2 1 Parcela experimental

Tabla 1 Análisis de caracterización del suelo donde se realizó el experimento de campo

PROF (cm)	TEXTURA	P (ppm)	/	pH	MEQ 100 g DE SUELO						/
					Al	Ca	Mg	K	Na	Cice	
0 - 20	F Ar	10	4	4.6	3.7	0.20	0.10	0.15	0.10	4.25	87.1
20 - 40	F Ar	4	3	4.4	4.0	0.17	0.04	0.10	0.05	4.36	91.7

Tabla 2 Datos meteorológicos durante el ciclo vegetativo

M e s e s	Precipitación (mm)	Temperatura \bar{X}	Humedad Relativa
Abril	540	24.4 °C	84 %
Mayo	494.2	24.4 °C	85 %
Junio	177.8	24.4 °C	85 %
Julio	325.6	24.4 °C	84 %
Agosto	306.6	24.4 °C	81 %
T o t a l	1 844.4		

=====

- Parcela principal con niveles de cal, 21 surcos \times 0 8 m \times 2 m
- Subparcela con genotipos, 1 surco \times 0 80 m \times 2 m

3 2 2 2 Parcela estadística

1 surco \times 0 80 \times 5 plantas

3 2 3 Niveles de encalamiento

NIVEL	DOSIS Kg / Ha		
	Cal Dolomítica	Cal Agrícola	total
1	500	0	500
2	500	1 000	1 500
3	500	2 000	2 500
4	500	4 000	4 500

=====

3 2 4 Fertilización constante

- Nitrógeno (N) 150 Kg/Ha aplicado como úrea en banda, 1/3 a los 5 días después de germinado y 2/3 a los 30 días después de germinado

- Fósforo (P_2O_5) 200 kg/ha aplicado como superfosfato triple, el 100% presiembra en banda,
- Potasio (K_2O) 100 Kg/Ha aplicado como cloruro de potasio 1/2 presiembra incorporado y 1/2 30 días después de germinado, las aplicaciones se hicieron en banda
- Magnesio (Mg) 50 kg/ha aplicado como cal dolomítica al voleo presiembra incorporado

3 2 5 Genotipos de maíz

Se seleccionaron 19 genotipos de los evaluados en los métodos de laboratorio, escogiendo 5 susceptibles, 9 moderadamente tolerantes y 5 tolerantes al aluminio en el siguiente orden MFT-304, H-212, ICA-V-106, MET-318, Matalam f_1 , MET-311, MET-316, MET-328, ICA H-211, ICA-V-351, MET-332, MET-322, MET-320, Mabatal f_1 , ICA-H-302, MET-325, MET-330, MET-321, MET-319

3 2 6 Análisis de suelos

Se realizaron dos análisis de suelos Uno antes de la siembra para conocer principalmente los miliequivalentes de aluminio intercambiable y otro después de la cosecha para observar el efecto del encalamiento en la neutralización del aluminio Se tomaron mues-

tras de 0-20 cms y de 20-40 cms

Los análisis de suelos se realizaron en el laboratorio de suelos del C N I A Tibaitatá

3 2 7 Controles fitosanitarios

El control de malezas se efectúa manualmente para evitar la posible fitotoxicidad de la atrazina sobre alguno de los genotipos Se hicieron los controles para el ataque de cogollero con Dipterex y del cucarro con furadán 3G

3 2 8 Evaluación

- Se observó el desarrollo de los genotipos en los 4 niveles de cal y cuatro repeticiones y se llevó a cabo a los 85 días una evaluación por comportamiento agronómico (vigor, formación de mazorcas, tolerancia a diatrea
- Se cosecharon 5 plantas de cada surco o suoparcela en las cuatro repeticiones, las mazorcas cosechadas debían estar sanas y se evaluó su producción llevando el grano a 14% de humedad en g/5 plantas
- Se calculó la tolerancia máxima a Saturación de aluminio (TOMSAL) en el suelo de cada genotipo de maíz

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

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, alcanzó en plántulas de maíz los 20 cm, lo mismo que lo reportado por Polle y otros (1978)

El método de manchado resultó ser sencillo y rápido lo que nos permite más confiabilidad del trabajo de evaluación, porque en solo cinco días se pueden evaluar 20 genotipos de maíz con un juego de materiales. La evaluación se realizó observando el manchado de la punta de la raíz de cada uno de los genotipos mediante el uso de una lupa, la cual facilitó observar las lesiones en la epidermis de la raíz cuando el aluminio las afectó. Se observó que a niveles de aluminio bajos, 0.15-0.25 mM Al el manchado fue mínimo y la región manchable fue aumentando a medida que aumentaba la concentración de aluminio en la solución, hasta aparecer los síntomas de daño en la raíz, lo que coincide con las observaciones realizadas por Polle y otros (1978)

La evaluación consistió en observar las raíces de cada genotipo iniciando en el nivel más bajo 0.15 mM Al y luego en los niveles

siguientes, hasta observar en qué nivel había completo manchado pero no se presentaba daño en la raíz, originando las bandas blancas sin mancha de hematoxilín. El nivel de aluminio que produce lesión en la epidermis de la raíz no es tolerado por esta, entonces la tolerancia del genotipo de maíz estará en un nivel inmediatamente inferior en el cual hay completo manchado pero no hay lesión.

El método de manchado con hematoxilín mostró claramente la tolerancia diferencial de genotipos de maíz al aluminio, pues mientras unos toleraban niveles bajos de aluminio (0.15-0.25 mM Al), otros toleraban niveles medios (0.35-0.45 mM Al) y otros mostraban su tolerancia al aluminio al soportar los niveles más altos (0.55-0.65 mM Al), como puede observarse en la tabla 3. Esta diferencia de tolerancia observada con este método ya se había logrado por Polle y otros (1978) trabajando también en maíz.

4.1.2 Método de solución nutritiva de 14 días

Este método es más dispendioso, desde el momento de selección de plántulas con crecimiento uniforme de raíz, hasta la necesidad de efectuar cuatro cambios de soluciones en el transcurso de los 14 días. Sin embargo el método mostró también la tolerancia diferencial de los genotipos de maíz al aluminio, expresada en la longitud de la raíz principal y el desarrollo de raíces secundarias en los cuatro tratamientos de este método (0, 0.03, 0.06, 0.09 mM Al). Con el tratamiento

Tabla 3 Tolerancia de 60 genotipos de maiz a diferentes niveles de aluminio en milimoles (mM), evaluados por el método de manchado

GENOTIPO	mM DE ALUMINIO
ICA - V - 106	0 15
ICA - H - 212	0 15
DIACOL - V - 153	0 15
ICA - V - 105	0 15
DIACOL - V - 206	0 15
ICA - V - 303	0 15
MET - 327	0 '5
MB - 38	0 15
MET - 302	0 15
MET - 308	0 15
ICA - V - 303	0 25
ICA - H - 107	0 25
CIMMYT 307	0 25
MATALAM F ₁	0 25
ETO	0 25
V - E - 13	0 25
TUXPEÑO CARIBE	0.25
ICA - H - 154	0 25
ICA - H - 210	0.25
DIACOL - V - ETO	0.75
MET - 334	0 25
MET - 335	0.25
MET - 329	0.25
H - E - 31	0.25
MET - 303	0.25
MET - 304	0 25
MET - 305	0 25
MET - 306	0 25
MET - 307	0 25
MET - 310	0 25
MET - 317	0 25
MET - 318	0.25
MET - 323	0 25
PENTAC - 1011	0 25

Tabla 3
2

GENOTIPO	mM DE ALUMINIO
ICA - H - 211	0 35
ICA - H - 352	0 35
MABATAL F ₁	0 35
DIACOL - V - 254	0 35
MET - 320	0 35
MB - 36	0 35
ICA - H - 302	0 35
MET - 312	0 35
MET - 322	0 35
MET - 315	0 35
ICA - V - 351	0 45
ICA - H - 253	0 45
MB - 37	0 45
MET - 309	0 45
MET - 316	0 45
MET - 321	0 45
MET - 311	0 45
MET 324	0 45
ICA - H - 302	0 55
MET - 319	0 55
MET - 325	0 55
MET - 328	0 55
MET - 330	0 55
MET - 332	0 55
MET - 314	0 55
MET 331	0 65

=====

0 15 - 0 25	Susceptible
0 35 - 0 45	Intermedio
> 0 55	Tolerante

0 0 mM Al la raíz principal y las secundarias crecieron normalmente, pero a medida que aumentaba la concentración de aluminio se observó atrofiamiento de la raíz principal y de las secundarias, en algunos genotipos leve y en otros drásticamente lo que nos indica claramente la diferencia tolerada por los genotipos. Este comportamiento había sido observado también por Polle y otros (1978) trabajando en maíz

Con niveles bajos de aluminio 0 03 mM Al se pudo también observar un ligero crecimiento de la raíz principal en comparación con el tratamiento 0 0 mM Al esto había sido reportado por Clark (1977) citado por Furlani y Clark (1981)

En la tabla 4 se puede observar estos comportamientos, donde se presenta la evaluación de 47 genotipos de maíz. Los genotipos que en el nivel más alto de aluminio (0 09 mM Al) se acercan a la unidad (1) son los más tolerantes y los genotipos que tienen valores medios de 0 5 a 0 6 son moderadamente tolerantes y los genotipos que tienen valores en este nivel de (0 3-0 4) son susceptibles debido a que se ven drásticamente afectados en el desarrollo de la raíz principal y raíces secundarias

Tabla 4 Calificación por el método de 14 días de 47 genotipos de maíz

GENOTIPO	TRATAMIENTOS (mM Al)											
	0 0			0 03			0 06			0 09		
	LRP	CRS	VC	LRP	CRS	VC	LRP	CRS	VC	LRP	CRS	VC
	<u>1/</u>	<u>2/</u>	<u>3/</u>	<u>1/</u>	<u>2/</u>	<u>3/</u>	<u>1/</u>	<u>2/</u>	<u>3/</u>	<u>1/</u>	<u>2/</u>	<u>3/</u>
cm			cm			cm			cm			
ICA - V - 106	24.3	1	1	27.6	0.75	0.85	21.5	0.5	0.44	16.5	0.5	0.34
ICA - V - 351	14.4	1	1	16.8	0.75	0.87	15.2	0.5	0.53	16.3	0.5	0.57
H - 107	13.8	1	1	14.3	1.0	1.04	14.7	0.75	0.80	15.4	0.5	0.56
ICA - H - 211	12.7	1	1	13.6	1.0	1.07	15.3	0.75	0.90	15.8	0.5	0.62
H - 212	22.1	1	1	20.8	0.75	0.70	16.4	0.50	0.37	14.6	0.5	0.33
ICA - H - 302	18.6	1	1	18.6	1.0	1.01	18.2	0.75	0.73	17.5	0.75	0.71
MATALAM F ₁	22.2	1	1	23.4	1.0	1.05	19.7	0.75	0.65	16.4	0.50	0.37
MABATAL F ₁	23.1	1	1	20.7	1.0	0.90	25.7	0.75	0.83	24.9	0.75	0.81
DIACOL - V - 153	16.4	1	1	21.3	0.75	0.97	19.6	0.50	0.60	17.3	0.50	0.53
ICA - V - 105	20.7	1	1	19.8	1.0	0.96	20.2	0.75	0.73	19.4	0.50	0.47
V - E - 13	16.3	1	1	16.7	0.75	0.77	16.5	0.75	0.76	17.0	0.50	0.52
DIACOL - V - 254	14.8	1	1	15.2	0.75	0.77	17.3	0.50	0.58	16.6	0.50	0.56
DIACOL - V - 206	14.5	1	1	14.0	0.75	0.72	17.5	0.50	0.60	18.0	0.50	0.62
MB - 37	16.5	1	1	17.5	0.75	0.79	17.8	0.50	0.54	18.0	0.50	0.54
TUXPEÑO CARIBE	14.7	1	1	16.4	0.75	0.84	17.6	0.50	0.60	21.0	0.50	0.71
ICA - H - 154	14.8	1	1	19.6	0.75	0.99	19.8	0.50	0.67	21.4	0.50	0.72
DIACOL - V - ETD	18.3	1	1	16.5	0.75	0.68	18.9	0.50	0.52	24.5	0.50	0.67
MET - 319	16.5	1	1	17.2	1.0	1.04	17.6	0.75	0.80	19.2	0.75	0.87
MET - 320	15.8	1	1	16.5	0.75	0.78	17.2	0.75	0.82	18.0	0.75	0.85
MET - 325	15.0	1	1	16.5	1.0	1.10	16.2	0.75	0.81	16.7	0.75	0.83
MET - 328	23.5	1	1	24.8	0.75	0.70	23.7	0.50	0.50	26.7	0.50	0.57
MFT - 330	22.4	1	1	22.4	1.0	1.00	21.9	0.75	0.73	22.6	0.75	0.76
MET - 334	19.9	1	1	22.1	1.0	1.11	22.5	0.75	0.85	23.5	0.50	0.59
MET - 335	20.2	1	1	21.2	0.75	0.79	22.8	0.50	0.56	23.4	0.50	0.57
ICA V - 303	15.6	1	1	18.2	0.75	0.87	18.5	0.50	0.59	19.8	0.50	0.63
MB - 36	15.0	1	1	18.8	0.75	0.94	17.8	0.50	0.59	18.7	0.50	0.62
MET - 329	18.7	1	1	19.3	0.50	0.52	20.2	0.50	0.54	21.8	0.50	0.58
MET - 327	19.7	1	1	20.2	1.0	1.02	19.8	0.75	0.75	23.0	0.50	0.58
MET - 331	12.6	1	1	12.5	1.0	0.99	13.0	0.75	0.77	8.6	0.75	0.51
MET - 332	11.5	1	1	11.8	1.0	1.03	12.2	0.75	0.79	10.5	0.75	0.68
MET - 312	21.0	1	1	19.9	0.75	0.71	20.2	0.50	0.48	18.7	0.50	0.45
MET - 322	20.5	1	1	20.7	0.75	0.76	20.3	0.5	0.74	19.6	0.75	0.72
MET - 303	22.5	1	1	22.7	1.0	1.01	20.5	0.50	0.45	19.8	0.50	0.44
MET - 304	16.7	1	1	15.8	1.0	0.95	13.6	0.75	0.61	9.1	0.50	0.27
MET - 305	14.0	1	1	14.2	1.0	1.01	14.0	0.75	0.75	15.2	0.75	0.81

Tabla 4
2

GENOTIPO	T R A T A M I E N T O S (m M A l)											
	0 0			0 0 3			0 0 6			0 0 9		
	LRP	CRS	VC	LRP	CRS	VC	LRP	CRS	VC	LRP	CRS	VC
	<u>1/</u> cm	<u>2/</u>	<u>3/</u>	<u>1/</u> cm	<u>2/</u>	<u>3/</u>	<u>1/</u> cm	<u>2/</u>	<u>3/</u>	<u>1/</u> cm	<u>2/</u>	<u>3/</u>
MET-306	16.7	1	1	18.2	0.75	0.82	20.3	0.50	0.61	20.4	0.50	0.61
MET-309	26.1	1	1	21.7	1.0	0.83	17.0	0.75	0.49	16.0	0.50	0.31
MET-310	23.3	1	1	18.0	0.75	0.58	21.1	0.50	0.45	21.0	0.50	0.45
MET-314	22.3	1	1	19.8	1.0	0.89	20.2	0.75	0.68	16.6	0.75	0.56
MET-316	21.5	1	1	20.6	0.75	0.72	19.7	0.75	0.69	17.8	0.75	0.62
MET-318	20.6	1	1	18.6	0.75	0.68	20.8	0.75	0.76	16.5	0.5	0.40
MET-321	15.4	1	1	14.7	1.0	0.95	17.6	0.75	0.86	18.0	0.75	0.87
MET-311	24.7	1	1	22.5	0.75	0.68	21.8	0.75	0.66	16.7	0.75	0.51
MET-323	20.5	1	1	22.3	1.0	1.09	20.8	0.75	0.76	19.8	0.50	0.48
MET-302	23.2	1	1	21.4	0.75	0.63	18.6	0.50	0.40	16.3	0.50	0.35

1/ LRP LONGITUD PROMEDIO DE LA RAIZ PRINCIPAL EN CM

2/ CRS COEFICIENTE DE RAICES SECUNDARIAS

3/ VC VALOR COMPUESTO $VC = \frac{\text{LRP de un nivel}}{\text{LRP en el nivel}} \times \text{CRS}$
cero

4 2 ETAPA DE CAMPO

4 2 1 Comportamiento agronómico

Se realizó una evaluación del comportamiento agronómico de los 19 genotipos sembrados en el campo, para los cuatro niveles y cuatro repeticiones a los 85 días después de la germinación. Para esta evaluación se tuvo en cuenta principalmente el vigor de las plantas, el número y formación de mazorcas, la susceptibilidad al volcamiento y daño de Diatrea. En la tabla 5 se puede observar la calificación de esta evaluación y además se tiene que genotipos tales como MET-311, MET-304, ICA-V-106, MET-318 y H-212, tienen valores bajos debido específicamente a su deficiente vigor y daño de Diatrea. En la figura 1 se aprecia el híbrido H-212 de porte bajo, con un crecimiento muy regular con 0.5 t/ha de cal y mejor con 4.5 t/ha de cal, vea tabla 5. Genotipos como ICA-H-211 y MET-332 con valores intermedios presentan algunas ventajas y desventajas. MET-332 es un genotipo prolífico de buen vigor como lo muestra la figura 2, e ICA-H-211 es un genotipo de buen vigor y formación de mazorcas, pero las mazorcas no cierran completamente el capacho presentándose pudriciones de grano y ataque de plagas, como lo ilustra la figura 3.

Los genotipos ICA-H-302, MET-330, MET-319 y MET-321 tienen los valores más altos en los cuatro niveles y en el nivel más bajo de cal. En las figuras 4 y 5 observamos los genotipos MET-321 en el ni-

Tabla 5 Calificación por comportamiento agronómico de 19 genotipos de maíz, con cuatro dosis de cal y promedio de cuatro repeticiones

GENOTIPO	T/HA DE CAL <u>1/</u>			
	0 5	1 5	2 5	4 5
ICA- H- 302	4 0	3 5	4 0	4 5
MET-330	4 0	3 5	3 5	4 0
MET-319	3 5	3.5	4 0	4 0
MET-321	3 5	3 5	4 0	4 0
MET-322	3 5	3 5	4 0	3 5
MABATAL F ₁	3 5	3 0	3 5	3 5
ICA- H - 211	3 5	3 5	4 0	3 5
MATALAM F ₁	3 0	3 0	4 0	4 5
MET - 325	3 0	3.5	3 0	4 0
MET- 320	3 0	3 0	3 5	3 5
ICA - V - 351	3 0	3 0	3 0	3 5
McT - 316	3 0	3 0	3 5	3 0
MET - 332	3 0	2 5	3 5	3 5
MET - 318	3 0	2.5	3 5	3 0
H - 212	2 5	3 5	3 0	2 5
ICA - V - 106	2 5	3 0	3 0	3 0
MET - 328	2 5	2 5	3 5	3 0
MET - 304	2 5	2 5	3 0	3 0
MET - 311	2 0	3 5	3.5	4 5

1/ Calificación de 2 a 5 2-3 (mal comportamiento), 3-4 (regular comportamiento) 4-5 (buen comportamiento)



Figura 1. Comportamiento agronómico del genotipo H-212 de porte bajo a los 85 días, con mejor desarrollo en el nivel de 4.5 t de cal



Figura 2. Genotipo altamente prolífico con regular comportamiento agronómico



Figura 3. Genotipo ICA - H - 211 de regular comportamiento agronómico con deficiencia en el cerrado del carrizo



Figura 4. Genotipo de buen comportamiento agronómico en el nivel más bajo de cal



Figura 5. Genotipo de buen comportamiento agronómico

vel de 0,5 t/ha de cal y MET-319 en el nivel de 1,5 t/ha de cal, creciendo con buen vigor en estos niveles de cal.

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

La respuesta de los 19 genotipos de maíz en cuatro niveles de cal (0,5, 1,5, 2,5, 4,5 t/ha) y cuatro repeticiones se presentan en la tabla 6 y el apéndice 1.

En el análisis de varianza para los 19 genotipos que se encuentra en el apéndice 2, se tomó como variable dependiente el rendimiento y se efectuó la prueba de hipótesis usando el cuadrado medio para repeticiones y (Rep x Docal) como Error a (E_a), se obtuvo una F de 6,563 significativo al nivel del 5% lo que nos indica que hubo variabilidad debido al suelo. Para dosis de cal se obtuvo una F de 3,631 no significativo.

En la prueba de hipótesis usando el cuadrado medio para genotipos y como Error b (E_b), se obtuvo un valor de F de 5,146 altamente significativo al nivel del 5%. Para la interacción dosis de cal x genotipos se obtuvo un F de 0,979 no significativo, el coeficiente de variación fue de 23,4%.

Con este análisis de varianza puede concluirse que en el-

Tabla 6 Promedios de cuatro repeticiones del rendimiento en g/5 plantas de los 19 genotipos de maiz en las cuatro dosis de cal del ensayo de campo

GENOTIPOS	T/ HA DE CAL			
	0 5	1 5	2 5	4 5
MET - 304	215	207	176	276
H-212	199	252	322	333
ICA-V-106	203	231	279	336
MET-318	243	266	272	310
MATALAM F ₁	252	302	320	402
MET-311	216	253	300	325
MET-316	220	301	265	280
MET-328	198	255	228	260
ICA-H-211	273	340	311	444
ICA-V-351	228	295	260	366
MET-332	147	273	210	200
MET-322	275	256	297	274
MET-320	260	279	297	369
MABATAL F ₁	278	341	290	389
ICA-H-302	367	285	243	364
MET-325	232	264	294	323
MET-330	337	297	324	365
MET-321	251	252	280	348
MET-319	283	316	309	405

ensayo de campo con los 19 genotipos de maíz, los factores que influyen con significancia en el rendimiento de grano son las repeticiones (o sea el suelo), y los genotipos. Los factores correspondientes a dosis de cal y la interacción genotipo x dosis de cal no influyeron significativamente en el rendimiento en grano.

4.2.3 Respuesta general de los genotipos de maíz al encalamiento

En la prueba de Duncan (apéndice 9) observamos la respuesta de los genotipos a los niveles de cal (0.5, 1.5, 2.5 y 4.5 t/ha) se determinó que los genotipos en general respondieron a los tratamientos de cal, aumentando su producción en los niveles más altos. El rendimiento promedio de los genotipos no fue significativamente diferente en los cuatro niveles, la mayor producción se presentó en el nivel de 4.5 t/ha de cal y los rendimientos fueron iguales para 1.5 y 2.5 t/ha de cal. Este comportamiento se debió quizás a que el diseño experimental no presentó la suficiente sensibilidad para darnos una diferencia significativa entre los niveles de cal, los niveles de saturación de aluminio fueron de 85, 83, 72 y 53% donde vemos que sí hay diferencias en la saturación pero esta no alcanzó a ser significativa (apéndice 8).

Es posible que si agregamos más cal a los genotipos de maíz estos siguen respondiendo a la aplicación, hasta un punto de máxima producción y de allí descienda la producción, ya que el maíz es un cul-

tivo no tolerante a la acidez (Spain y otros, 1974)

En el apéndice 5 encontramos el análisis de varianza de la regresión de la variable dependiente rendimiento en g/5 plantas en función de las dosis de cal y tenemos un F de 36.92 altamente significativo al 5% lo que nos indica nuevamente la respuesta al encalamiento vista en el apéndice 2

En el apéndice 4 encontramos el modelo de regresión del rendimiento en g/5 plantas en función de las dosis de cal para los 19 genotipos de maíz, el cual es $y = 236.203 + 21.225 X_1$ en donde Y es el rendimiento estimado de maíz y X_1 la dosis de cal. Deducimos entonces que partiendo de un rendimiento de 236.203 g/5 plantas con 0.0 t/cal, por la adición de cada unidad de cal se produce un incremento de rendimiento de 21.225 g/5 plantas. Podemos observar que el incremento es alto con las dosis de encalamiento y el rendimiento con 0.0 cal es alto a pesar de que el maíz es considerado como un cultivo susceptible al aluminio, lo que nos indica un buen nivel de tolerancia de genotipos de maíz evaluados.

En el apéndice 6 prueba de rango múltiple de Duncan se observa el rendimiento promedio de los genotipos de maíz en las cuatro dosis de cal, aquí podemos ver que ICA-H-211, MFT-330 y MFT-319 fueron los genotipos de mayor rendimiento y únicamente se diferencian significativamente ICA-H-211 y MET-332 al 5%.

Los genotipos MET-332, MET-304, MET-328 e ICA-V-106 son los de más bajo rendimiento, los demás genotipos tienen producciones intermedias. Si vemos la tabla 5 observamos que coincide el rendimiento con la calificación de comportamiento agronómico. El genotipo que presenta alguna diferencia es ICA-H-211 que en comportamiento agronómico estaba con un valor intermedio y en el apéndice 6 es el de mayor producción. Es necesario hacer notar que los mayores rendimientos los encontramos en casi todos los casos en los niveles de cal más altos. Esta prueba de Duncan nos está indicando la adaptación de los genotipos al medio y no a tolerancia al aluminio ya que ICA-H-211 en la tabla 8 es un material susceptible junto con MIT-319, aunque sí se presenta alguna relación en los genotipos MET-330 e ICA-H-302 que presentan valor altos en las tablas 5 y 8 coincidiendo con esta prueba de Duncan en el apéndice 6.

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 7 se puede observar estos datos de rendimiento relativo. Con estos datos se deduce que los valores de TOMSAL son los encontrados en la tabla 8 para cada genotipo de maíz en el experimento.

Tabla 7 Rendimiento relativo de cada genotipo en los cuatro niveles de saturación de aluminio en el campo

GENOTIPO	SATURACION DE ALUMINIO (%)			
	85 ^{1/}	83	72	53
MET- 304	78	75	64	100
H-212	60	76	97	100
ICA - V - 106	68	69	83	100
MET - 318	78	86	88	100
MAT-LAM F ₁	63	75	80	100
MET - 311	66	78	92	100
MET - 316	73	100	88	93
MET - 328	72	98	88	100
ICA - H - 211	61	77	70	100
ICA - V - 351	62	81	57	100
MET - 332	54	100	77	73
MET - 322	93	86	100	92
MET - 320	70	75	80	100
MABATAL F ₁	71	88	74	100
ICA - H - 302	100	78	66	99
MET - 325	72	82	88	100
MET - 330	92	81	89	100
MET - 321	72	72	80	100
MET - 319	70	78	76	100

1/ Porcentajes de saturación de aluminio correspondientes a los cuatro niveles de encalamiento así 0.5 t/ha de cal (85%), 1.5 t/ha de cal (83%), 2.5 t/ha de cal (72%) y 4.5 t/ha de cal (53%)

Tabla 8 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 de maíz

GENOTIPO	TO SAL <u>1/</u> /	R/R 0.5 t/ha Cal	TIPO <u>2/</u>
ICA - H - 302	85	100	Resistente
MET - 322	85	93	Resistente
MET - 330	85	92	Resistente
MET - 316	83	73	Moderadamente susceptible
MET - 328	83	72	Moderadamente susceptible
MET - 332	83	54	Muy susceptible
MET - 311	72	56	Susceptible
H - 212	72	60	Muy susceptible
MET - 319	53	78	Moderadamente susceptible
MET - 304	53	78	Moderadamente susceptible
MET - 321	53	72	Moderadamente susceptible
MET - 325	53	72	Moderadamente susceptible
MABATAL F ₁	53	71	Moderadamente susceptible
MET - 313	53	70	Susceptible
MET - 320	53	70	Susceptible
ICA - V - 106	53	68	Susceptible
MATALAM F ₁	53	63	Susceptible
ICA - V - 351	53	62	Susceptible
ICA - H - 211	53	61	Susceptible

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

2/ Rangos de tolerancia al $\% \text{ Al} > 50$ (extremada/susceptible) 51-60% (muy susceptible) 61-70% (susceptible) 71-80% (moderada/susceptible), 81-90% (tolerante) y 91-100% (resistente) al aluminio

Los genotipos con mayor valor de TOMSAL 85% son ICA-H-302, MET-322 y MET-330 los que producen el 91% o más de su rendimiento relativo en el tratamiento más bajo de cal 0.5 t/ha y por lo tanto con el mayor contenido de aluminio en el suelo. Se comportan como resistentes al aluminio (tabla 8). Además, estos genotipos en la misma dosis de cal tienen rendimientos absolutos que se encuentran entre los mayores (tabla 6), estos genotipos no respondieron a los encalamientos manteniendo un rendimiento superior o igual al promedio de las repeticiones (apéndice 6 y tabla 6). De estas observaciones se deduce que estos genotipos fueron los más resistentes a la toxicidad de aluminio de los evaluados en el campo.

Los genotipos con TOMSAL de 83% fueron los siguientes MET-316, MET-328 y MET-332. Estos genotipos presentaron rendimientos relativos muy variables en el nivel más alto de aluminio y es así como MET-316 y MET-328 tienen valores entre 71 y 80% por lo que se les califica como moderadamente susceptibles y MET-332 tiene un valor entre 51-60% calificándosele como muy susceptible (tabla 8). En rendimiento absoluto al mismo nivel de cal solo MET-316 presentó un rendimiento alto, mientras que MET-328 y MET-332 presentaron valores bajos en rendimiento (tabla 6).

Los genotipos con TOMSAL de 72% fueron MET-311 y H-212, estos genotipos presentaron rendimientos relativos entre 61 y 70% y 51 y 60% respectivamente calificándose como susceptible MET-311 y muy

susceptible H-212 (tabla 8) En rendimiento absoluto al mismo nivel de cal los genotipos presentaron valores bajos (tabla 6) Estos genotipos respondieron al encalamiento con aumento en cuanto al promedio general (apéndice 6)

Los genotipos con TOMSAI de 53% fueron MET-318, MET-304, MET-321, MET-325, Mabatal F₁, MET-319, MET-320, ICA-V-106, Matalam F₁, ICA-V-351 e ICA-H-211, de los cuales los cinco primeros produjeron entre 71 y 80% de su rendimiento relativo en el nivel más alto de aluminio por lo que se les califica como moderadamente susceptibles (tabla 8) Pero en rendimiento absoluto en el mismo tratamiento solo MET-321 y Mabatal F₁ tienen valores mayores que el promedio y MET-318, MET-304 y MET-325 tienen valores inferiores (tabla 6)

Los genotipos restantes de este mismo grupo con TOMSAI de (55%), presentaron rendimientos relativos entre 61 y 70% en el nivel más alto de aluminio, por lo que se les califica como susceptibles (tabla 8) El rendimiento absoluto en el mismo tratamiento ICA-V-106 e ICA-V-351 presentan valores bajos al promedio y Matalam F₁, ICA-H-211, MET-320 y MET-319 tuvieron valores altos en rendimiento (tabla 6)

Los genotipos ICA-H-211 y MET-319 tienen los mayores valores en el promedio general (apéndice 6) lo que nos indica que estos genotipos responden bien a dosis superiores a 0.5 t/ha de cal

Haciendo una síntesis del comportamiento de los 19 genotipos en los cuatro niveles de cal 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 ICA-H-302, MET-322 y MET-330

Genotipos moderadamente susceptibles MET-316, MET-328, MET-318, MET-304, MET-321, MET-325

Genotipos susceptibles al aluminio MET-311, MET-319, MET-320, ICA-V-106, Matalam F₁, ICA-V-351 e ICA-H-211

Genotipos muy susceptibles al aluminio H-212 y MET-332

4 2 5 Correlación entre el comportamiento de los genotipos de maíz seleccionados en los métodos de laboratorio y su producción de grano en el campo

Efectuado el análisis de correlación (apéndice 7) para los 19 genotipos sembrados en el campo, entre el nivel de aluminio tolerado en la solución nutritiva del método de manchado (tabla 3) y el

rendimiento absoluto de cada genotipo en g/5 plantas en la dosis más baja de cal 0.5 t/ha del ensayo de campo (tabla 6), se obtuvo un coeficiente de correlación $R = 0.232$ no significativo para los genotipos de maíz. Al correlacionar el valor tolerado en el método de manchado con los rendimientos relativos de cada genotipo en la dosis más baja de cal del ensayo de campo (tabla 7), se obtuvo un coeficiente de correlación $R = 0.225$ no significativo.

Para el análisis de correlación (apéndice 7) de los 19 genotipos sembrados en el campo, entre el valor compuesto del nivel más alto en el método de solución nutritiva de 14 días (tabla 4) y el rendimiento absoluto de cada genotipo en g/5 plantas en la dosis más baja de cal (0.5 t/ha) del ensayo de campo (tabla 6) se obtuvo un valor para el coeficiente de correlación de $R = 0.422$ no significativo.

Al correlacionar el valor compuesto del nivel más alto de aluminio en el método de solución nutritiva de 14 días (tabla 4) con los rendimientos relativos de cada genotipo en la dosis más baja del ensayo de campo (tabla 7), se obtuvo un coeficiente de correlación $R = 0.210$ no significativo.

Al observar los coeficientes de correlación para los parámetros evaluados anteriormente se tiene que los métodos de laboratorio no correlacionan con las evaluaciones hechas en el campo en cuanto a

rendimientos absolutos y rendimientos relativos. Estos resultados coinciden con experiencias realizadas en los Estados Unidos donde no se establecieron correlaciones entre los resultados de laboratorio y los resultados de campo (polle y otros, 1978)

En la evaluación realizada por el método de solución nutritiva de 14 días (Tabla 4) según los valores compuestos de los niveles de aluminio, se ve el efecto benéfico del aluminio, siendo esto reportado por Hackett (1962) y Furlani y Clark 1981

El coeficiente de correlación entre los dos métodos de laboratorio, fue $R= 0.647$ altamente significativo (Apendice 7)

5. CONCLUSIONES

El método de manchado de raíces en solución de hematoxilina nos indica que existe tolerancia diferencial a toxicidad de aluminio por los diferentes genotipos de maíz, y presentó además ventajas sobre el método de solución nutritiva de 14 días, como es su corta duración, eficiencia y facilidad en la evaluación de las raíces. Este método mostró un coeficiente de correlación con la evaluación de campo de $R=0.232$ no significativa.

El método de Solución Nutritiva de 14 días, es más dispendioso, pero mostró también tolerancia diferencial de los genotipos de maíz a toxicidad de aluminio y presentó con la evaluación de campo un coeficiente de correlación de $R=0.422$ no significativa.

Para que el trabajo de los fitomejoradores sea más eficiente en la obtención de híbridos o variedades comerciales tolerantes a toxicidad de aluminio en el suelo, se recomienda la utilización de los métodos de laboratorio, ya que estos permiten diferenciar genotipos de maíz con tolerancia a toxicidad de aluminio.

En el ensayo de campo los genotipos de maíz que mostraron mejor comportamiento agronómico en el nivel más bajo de Cal 0.5 t/ha fueron MET-330, ICA-H-302 y MET-319. En las cuatro dosis de Cal ($0.5, 1.5, 2.5$ y 4.5 t/ha) los genotipos de mejor comportamiento agro-

nómico fueron ICA-H-211, MET-330, MET-319 y Mabatal F1

En el ensayo de campo los genotipos de maíz respondieron en general a los niveles más altos de cal, pero no se presentaron diferencias significativas entre los promedios de cada nivel

En el análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento de los 19 genotipos de maíz en el ensayo se encontró que los efectos de los factores Repeticiones, dosis de cal y genotipos fué significativa y la interacción dosis de cal por genotipos no fué significativa en el rendimiento en grano

Los genotipos MET-330, ICA-H-302 y MET-322 no presentaron respuesta al encalamiento, tuvieron un rendimiento alto en el nivel más bajo de Cal tanto relativo como absoluto y mantuvieron un rendimiento absoluto medio alto, por lo que les considera como genotipos promisorios, por su tolerancia a toxicidad de aluminio y por su potencial de rendimiento

Los genotipos con mayor nivel de tolerancia máxima a saturación de Aluminio (TOMSAI) fueron ICA-H-302, MET-322 y MET-330 con 85%, que son precisamente los materiales más promisorios

Para un programa de obtención de variedades o híbridos de alto rendimiento en suelos de la clase IV con baja dosis de cal, se

recomienda utilizar como progenitores de tolerancia a el aluminio intercambiable los genotipos ICA-H-302, MET-322 y MET-330 y a los genotipos como ICA - H -211, MET-319 y Mabtal F₁ como progenitores de alto rendimiento, siendo estos últimos promisorios para sembrarlos en suelos clase I bajos en aluminio intercambiable

Es conveniente organizar un grupo de trabajo, encaminado a continuar la investigación de los genotipos que presentan tolerancia a toxicidad de aluminio, mejorando las características de rendimiento de estos, para recuperar una gran área de suelo agrícola con limitantes de fertilidad y acidez intercambiable de América Latina, lo cual traería beneficios para nuestra y generaciones futuras

6. RESUMEN

- EVALUACION DE DOS METODOS RAPIDOS DE LABORATORIO PARA DETERMINAR LA TOLERANCIA A TOXICIDAD DE ALUMINIO EN MAIZ Y SU CORRELACION CON EXPERIENCIAS DE CAMPO

Se realizó la presente investigación con el objeto de encontrar un método rápido de laboratorio para evaluar genotipos de maiz en lo que concierne a la tolerancia a toxicidad de aluminio, así mismo para establecer correlación entre los dos métodos rápidos de laboratorio con las evaluaciones hechas en el campo sobre suelos ácidos con alto aluminio intercambiable

En la primera etapa del trabajo se utilizaron los dos métodos rápidos de laboratorio, para evaluar la tolerancia diferencial de genotipos de maiz a toxicidad de aluminio en soluciones nutritivas

En el método de manchado los tratamientos de aluminio consisten en soluciones nutritivas con 6 niveles de aluminio (0 15, 0 25, 0 35, 0 45, 0 55 y 0 65 mM Al) La evaluación de resultados de este método está basado en la tinción de la punta de la raíz, en donde el aluminio tiende a acumularse, desarrollándose una región manchada característica para cada genotipo debido a la fijación del colorante hematoxilín por el aluminio Por este método se evaluaron 60 genotipos de maiz, resultando ser un método efectivo por la rapidez con que se

realiza y su facilidad de evaluación, además se pudo observar la tolerancia diferencial a toxicidad de aluminio por los genotipos evaluados. Por este método resultaron tolerantes al aluminio ICA-H-302, MET-319, MET-325, MET-328, MET-330, MET-332, MET-314 y MET-331. Genotipos sensibles al aluminio ICA-V-106, ICA-H-212, MET-304, DIACOL-V-153, Matam F₁ etc. La correlación de este método con la evaluación de los resultados obtenidos en el campo presentó un coeficiente de correlación $R=0.252$ no significativa para los 19 genotipos de maíz.

En el método de solución nutritiva de 14 días los tratamientos de aluminio consisten en 4 soluciones nutritivas con diferentes niveles de aluminio 0.0, 0.03, 0.06 y 0.09 mM Al.

En el décimo primer día, después de plantados los genotipos de maíz en los tratamientos de aluminio, se evaluó el método midiendo las raíces primarias en cada tratamiento y, las raíces secundarias por observación de crecimiento, dándole valores de 1, 0.75 y 0.50, según sea su longitud. Por este método se evaluaron 47 genotipos de maíz, a pesar de ser más largo y dispendioso que el método de manchado mostró tolerancia diferencial de los genotipos a toxicidad de aluminio. Por este método resultaron tolerantes al aluminio los genotipos MET-319, MET-320, MET-325, MET-321, MET-330 e ICA-H-302. Resultaron sensibles al aluminio ICA-V-106, H-212, MET-304, MET-309, MET-318 y MET-302. En cuanto a la correlación de este método con la evaluación de los genotipos en el campo presentó un coeficiente de correlación $R=0.422$ no sig-

nificativo para los 19 genotipos de maiz

La segunda etapa de la investigación se desarrolló en un suelo de la terraza alta del C R I "La Libertad" con 87% de saturación de aluminio, utilizándose un diseño experimental bifactorial (Cal x genotipos) con 4 dosis de cal y 19 genotipos de maiz para un total de 76 tratamientos, utilizando un arreglo en parcelas divididas y una distribución en bloques al azar con 4 repeticiones

Las dosis de cal utilizadas fueron 500, 1 500, 2 500 y 4 500 Kg/ha. Se realizó una fertilización constante de (N, P₂O₅ y K₂O) así 150 Kg/ha de N, 200 Kg/ha de P₂O₅, 100 Kg/ha de K₂O y 50 Kg/ha de Mg. Los genotipos sembrados fueron MET-304, H-212, ICA-V-106, MET-318, Matalam F₁, MET-311, MET-316, MET-328, ICA-H-211, ICA-V-351, MET-322, MET-332, MET-320, Mabatal F₁, ICA-H-302, MET-325, MET-330, MET-321 y MET-319, seleccionados siguiendo las evaluaciones de los dos métodos de laboratorio

A los 85 días después de germinado el maiz se realizó una evaluación por comportamiento agronómico de los 19 genotipos de maiz en las cuatro repeticiones y cuatro dosis de cal, hallándose que los de mejor comportamiento fueron ICA-H-302, MET-330, MET-319, MET-321. Los genotipos con mal comportamiento fueron MET-311, MET-304, MET-328 y H-212.

Los genotipos MTT-330, ICA-H-302 y MET-322, se presentaron como los más promisorios en cuanto a su tolerancia a toxicidad de aluminio en el campo y por su buen rendimiento en suelos ácidos

En la evaluación del TOMSAL los genotipos con mayor nivel de tolerancia máxima a saturación de aluminio fueron ICA-H-302, MET-322, MET-330 con 85%, siendo los materiales más promisorios

En el análisis de varianza de la variable dependiente rendimiento en g/5 plantas se encontro que repeticiones, dosis de cal y genotipos fueron los factores que influyeron significativamente en el rendimiento y la interacción Dosis de cal x genotipo no influyo significativamente en el rendimiento en g/5 plantas Los genotipos en general respondieron a las dosis de cal más altas, pero no hubo diferencias significativas en el rendimiento

Con los resultados obtenidos en este trabajo se puede concluir que los dos métodos rápidos de laboratorio utilizados, método de manchado y método de solución nutritiva de 14 días, no presentan correlación significativa con la evaluación de genotipos en el campo Los dos métodos sí permiten rápidamente identificar genotipos con tolerancia diferencial a toxicidad de aluminio

Se concluye también que para un programa de obtención de híbridos o variedades de alto rendimiento en suelos clase IV con baja

dosis de cal, se recomienda utilizar como progenitores de tolerancia a aluminio intercambiable los genotipos ICA-II-302, MET-322 y MET-330 y como progenitores de alto rendimiento los genotipos ICA-H-211, MET-319 y Mabatal F₁

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1 BLACK, C A Soil Plant Relationship 1968 p 311-355
- 2 BOLLARD, E G , BUTLER, G W Mineral nutrition of plant
Annual Review of Plant Physiology (EUA) 17 77-112
1966
- 3 CALVO, F A , SPAIN, J M , HOWELER, R H La aplicación de
cal y fósforo para diferentes cultivos en suelos de
los Llanos Orientales de Colombia Cali, CIAT 1974
p 151-159
- 4 CAMPBELL, L G , LAFEVRE, H N Correlation of field and
nutrient culture techniques of screening wheat for alu-
minum tolerance En Wright, M J Proceedings of
workshop on plant adaptation to mineral stress in pro-
blem soils New York, Cornell University 1976
p 277-286
- 5 CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL Avances lo-
grados en 1978 Cali, CIAT, 1979 p 119
- 6 CLARK, R B Nutrient solution growth of sorghum and corn
mineral nutrition studies Journal Series (EUA) Pa-
per No 6754 s p 1981

- 7 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 p 45-70 1980
- 8 COCHRANE, T T , SALINAS, J G , SANCHEZ, P A An equation for liming acid mineral soils to compensate crop aluminum tolerance Cali, CIAT 1978 s p
- 9 EBERHART, S A Maíz En Lutzenberg, S C Guía para cultivos en los Trópicos y Subtrópicos Washinton AID 1974 p 42-46
- 10 FOY, C D Effects of aluminum on plant root En Carson, E W (ed) The plant root its environment Virginia, Univ Station 1974 p 601-642
- 11 _____, BROWN, J C Toxic factors in acid soils, II Differential aluminum tolerance of plant species Soil Sci Soc Amer Proc (EUA) 28, 27-32 1964
- 12 FURLANI, P R , CLARK, R B Screening sorghum for aluminum tolerance in nutrient solutions Agronomy Journal (EUA) 73 587-594 1981

- 13 HACKETT, C Stimulative effects of aluminum on plant growth Nature (EUA) 193 471-472 1962
- 14 LAMPRATH, E J Exchangeable aluminum as a criterion for liming leached mineral soil Soil sci Soc Ame Proc (EUA) 34(2) 252-254 1970
- 15 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 1976 p 311-327
- 16 LEON, L A El uso de las rocas fosfóricas en suelos ácidos del trópico Americano En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo Fertilidad de suelos diagnóstico y control S C C S 1980 p 359
- 17 McCORMICK, L H , BORDEN, F Y Phosphate Fixation by aluminum in plant roots Soil Sci Soc Amer Proc (EUA) 36, 799-802 1972

- 18 MEJIA, L La mineralogía del suelo v sus relaciones con la fertilidad En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo Fertilidad de suelos diagnóstico y control S C S 1980 p 29-49
- 19 MOORE, D P Physiological Effects of pH roots en Carson, E W The plant root and it's environment Univ Press of Virginia 1974 p 311-327
- 20 _____ KRONSTAD W E , METZGER, R J Screening wheat for aluminum tolerance En Wright, M J proceedings of workshop on plant adaptatin to mineral stress in problem soils NEW YORK, Cornell University 1976 p 287-295
- 21 OWEN, E J , SANCHEZ, K F Uso y manejo de los suelos de la parte plana del Departamento del Meta Bogotá, ICA 1979 40 p
- 22 PARKER, F P Aluminum En Chapman, H D Diagnostic criteria for plants and soils University of California 1966 p 3-10

- 23 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 1978 12p
- 24 RANDALL, P J , VOSE, P B Effect of aluminum on uptake and translocation of phosphorus by perennial ryegrass Plant Physiology (EUA) 38 403-409 1965
- 25 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 1976 p 399-416
- 26 SALINAS, J C Adaptación de plantas a toxicidad 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 1980 p 399-416
- 27 SANCHEZ, L F Aspectos sobre acidez y enclamiento Villavicencio, ICA 1981 p 21

- 28 SPAIN, J M El problema de la acidez en los suelos de los suelos de los Llanos Orientales Posibles soluciones En Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo Primer Coloquio de Suelos Acidez y enclamiento en el trópico Medellín, S C C S 1971 n 206-208
29. WRIGHT, K E , DONAHUE, B A Aluminum toxicity studies with radioactive phosphorus Plant Physiol 28 674-680 1953

A P E N D I C E S

Apéndice 1 Rendimiento y promedios en gr/5 plantas de los 19 genotipos de maíz en las cuatro dosis de cal, con cuatro repeticiones

T	GENOTIPO	CAL t/ha	I	II	III	IV	\bar{X}
1	MET - 304	0.5	219	142	173	288	215
2	H - 212	0.5	158	145	241	251	199
3	ICA - V - 106	0.5	217	167	151	269	203
4	MET - 316	0.5	200	240	297	236	243
5	MATALAM F ₁	0.5	210	352	105	249	252
6	MET - 311	0.5	172	236	210	241	216
7	MET - 316	0.5	133	219	257	274	220
8	MET - 328	0.5	189	224	147	103	188
9	ICA - H - 211	0.5	189	323	288	203	273
10	ICA - V - 351	0.5	127	288	206	251	228
11	MET - 332	0.5	95	117	89	289	147
12	MET - 322	0.5	178	289	275	360	275
13	MET - 320	0.5	254	238	260	280	260
14	MABATAL F ₁	0.5	255	226	253	379	278
15	ICA - H - 302	0.5	364	545	327	233	367
16	MET - 325	0.5	172	240	145	370	232
17	MET - 330	0.5	267	205	480	301	337
18	MET - 321	0.5	191	306	250	258	251
19	MET - 309	0.5	267	442	250	173	293
20	MET - 04	1.5	123	233	299	174	207
21	H - 212	1.5	193	219	312	280	252
22	ICA - V - 106	1.5	165	206	212	252	231
23	MET - 318	5	252	345	308	160	266
24	MATALAM F ₁	1.5	180	350	372	305	302

Apéndice 1

2

T	GENOTIPO	CAL t/ha	I	II	III	IV	\bar{X}
25	MET - 311	1 5	63	318	225	306	253
26	MET - 316	1 5	202	301	421	282	301
27	MET - 328	1 5	210	226	321	264	255
28	ICA - H - 211	1 5	226	342	465	328	340
29	ICA - H - 351	1 5	208	353	353	260	295
30	MET - 332	1 5	273	417	130	273	273
31	MET - 322	1 5	146	300	339	241	256
32	MET - 320	1 5	138	403	292	283	279
33	MATABAL F ₁	1 5	304	465	247	449	341
34	TCA - H - 302	1 5	169	251	393	328	285
35	MET - 325	1 5	132	369	321	236	264
36	MET - 330	1 5	250	309	359	269	297
37	MET - 321	1 5	156	351	275	226	252
38	MET - 318	1 5	167	366	421	312	316
39	MET - 304	2 5	59	108	208	298	176
40	H - 212	2 5	06	350	449	383	322
41	ICA - V - 106	2 5	152	308	379	277	279
42	MET - 3 8	2 5	143	314	321	309	272
43	MATAPLAN F ₁	2 5	188	354	302	436	320
44	MET - 311	2 5	263	211	379	347	300
45	MET - 316	2 5	130	107	373	362	265
46	MET - 328	2 5	142	29	277	208	228
47	ICA - H - 211	2 5	214	259	443	330	311
48	ICA - V - 351	2 5	156	243	412	230	260
49	MET - 332	2 5	73	190	93	194	210

Apéndice I
3

T	GENOTIPO	CAL t/h _a	I	II	III	V	\bar{X}
50	MET - 322	2 5	149	275	1	397	297
51	MET - 320	2 5	200	254	404	329	297
52	MABTAL F ₁	2 5	239	223	363	335	290
53	ICA - H - 302	2 5	113	176	268	117	243
54	MET - 325	2 5	118	254	462	303	284
55	MET - 330	2 5	254	285	315	414	324
56	MET - 321	2 5	218	233	365	306	280
57	MET - 313	2 5	291	369	270	307	309
58	MET - 304	4 5	217	154	288	387	276
59	H - 212	4 5	248	360	435	288	333
60	ICA - V - 106	4 5	228	237	519	360	336
61	MET - 318	4 5	301	268	303	368	310
62	MATABALM F ₁	4 5	372	419	370	449	402
63	MET - 311	4 5	380	307	291	323	325
64	MET - 316	4 5	253	203	329	335	280
65	MET - 328	4 5	280	248	268	245	260
66	ICA - H - 211	4 5	260	530	500	480	444
67	ICA - V - 351	4 5	283	226	490	466	366
68	MET - 332	4 5	127	168	362	143	200
69	MET - 322	4 5	156	282	315	284	274
70	MET - 320	4 5	486	325	410	257	369
71	MABTAL F ₁	4 5	419	323	458	358	389
72	ICA - H - 302	4 5	316	285	304	403	364
73	MET - 325	4 5	248	246	108	390	323
74	MET - 330	4 5	410	271	374	400	365
75	MET - 321	4 5	263	31	321	164	348
76	MET - 319	4 5	218	419	505	389	405

Apéndice 2 Análisis de varianza para la variable dependiente rendimiento en g/5 plantas de los genotipos de maíz en el ensayo de campo

FUENTE DE VARIACION	G L	C M	F
Repeticiones	3	190553 289	6 563 *
Dosis de cal	3	106000 289	3 651 N S
Rep x Docal (E _a)	9	29034 509	
Genotipos	18	22772 508	5 146 **
Docal x Genotipos	54	4331 945	0 979 N S
Docal (Rep x Gen) (E _b)	216	4424 630	
T O T A L	303	90 77 629	

C V_D = 23,4

N S = No significativo

~ = Altamente significativo al nivel del 1%

* = Significante al nivel del 5%

Apéndice 3 Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable
rendimiento en g/5 plantas del promedio de cales en
los 19 genotipos de maíz

N	Cal t/ha	Media	Grupo
76	4,5	335	a
76	2 5	277	a
76	1 5	277	a
76	0 5	246	a

=====
Medias seguidas de la misma letra no presentan diferencia significati-
va al 5% GL = 9, Cf 29(34 509

Apéndice 4 Modelo de regresión del rendimiento en g/5 plantas
en función de la dosis de cal para los genotipos de
maíz

PARAMETRO	ESTIMADO	T PARA HO PARAMETRO	0
Intercepto	236 203	25 111	**
Dosis de cal	21 225	6 076	**

$Y = 256\ 203 + 21\ 225 X_1$, donde Y = Rendimiento estimado de maíz y
 $X_1 =$ Dosis de cal

** = Altamente significativo al nivel del 1%

Apéndice 5 Análisis de varianza de la regresión para la variable dependiente rendimiento en g/5 plantas en función de la variable dosis de cal para los genotipos de maíz

FUENTE DE VARIACION	G L	C M	F
Regresión	1	299598,834	36 916 **
Error	302	8115,638	
TOTAL	303		

=====

$$C V = 51.72, \quad R^2 = 0.108$$

** = Altamente significativo al nivel del 1%

Apéndice 6 Prueba de rango múltiple de Duncan para la variable rendimiento en g/ 5 plantas del promedio de genotipos en las cuatro dosis de cal

N	GENOTIPO	MEDIA	GRUPO
16	ICA H - 211	342 0	a
16	MET - 330	331 0	b a
16	MET - 313	328 0	b a
16	MABATAL F ₁	324 0	b a
16	MATALAM F ₁	319 0	b a
16	ICA H - 302	315 0	b a
16	MET - 320	301 0	b a
16	ICA V - 351	287 0	b a
16	MET - 321	283 0	b a
16	MET - 325	276 0	b a
16	H - 212	276 0	b a
16	MET - 322	275 0	b a
16	MET - 318	273 0	b a
16	MET - 311	273 0	b a
16	MET - 310	260 0	b a
16	ICA V - 306	262 0	b a
16	MET - 328	233 0	b a
16	MET - 304	219 0	b a
16	MET - 332	207 0	b

NOTAS: SECUEDAS POR LA MISMA LETRA, NO DIFIEREN ESTADISTICAMENTE AL NIVEL DEL 5

Apendice 7 Coeficientes de correlación entre los parámetros evaluados en el ensayo de campo y los niveles de tolerancia al aluminio de los 19 genotipos de maíz en los métodos de laboratorio

	RAO 5 C ¹	RR/ 0 5 C ²	NTAL MM ³	NTAL 14 D ⁴
RAO 5 C ¹		0 729 N S	0 232 N S	0 422 N S
RR/ 0 5 C ²	0 729 S		0 225 N S	0 210 N S
NTAL MM ³	0 232 N S	0 225 N S		0 647 *
NTAL 14 D ⁴	0 422 N S	0 210 N S	0 647 *	

1 Rendimiento absoluto en g/5 plantas en la dosis de 0.5 t/ha de cal

2 Rendimiento relativo en / en la dosis de 0.5 t/ha de cal

3 Nivel de tolerancia al aluminio en el método de manchado en laboratorio

4 Nivel de tolerancia al aluminio en el método de 14 días en laboratorio

N S No significativo

* Nivel significativo al

Apéndice 8 Caracterización química del suelo después de la cosecha del ensayo de campo

t/ha	Pro: cm	Text	pH	M O /	P p p m	MILIEQUIVALENTES /100g DE SUELO						Sat A ¹	Sat fa
						A ¹	Ca	Mg	K	Na	Cice		
0.5	0 - 20	F Ar	4.6	4.0	10.0	3.2	0.20	0.12	0.17	0.08	3.77	84.9	5.3
0.5	20 - 40	F Ar	4.4	3.0	4.0	3.3	0.10	0.03	0.10	0.07	3.60	91.9	2.5
1.5	0 - 20	F Ar	4.5	4.0	6.0	3.1	0.30	0.10	0.17	0.06	3.71	83.1	8.1
1.5	20 - 40	F Ar	4.5	3.0	4.0	3.3	0.15	0.03	0.10	0.05	3.63	90.9	4.1
2.5	0 - 20	F Ar	4.7	4.0	7.0	3.0	0.87	0.10	0.13	0.05	4.15	72.3	21.0
2.5	20 - 40	F Ar	4.5	3.0	4.0	3.2	0.30	0.04	0.10	0.05	3.63	86.7	8.1
4.5	0 - 20	F Ar	4.9	4.0	7.0	2.0	1.40	0.10	0.20	0.04	5.74	53.5	37.4
4.5	20 - 40	F Ar	4.6	3.0	4.0	2.5	0.45	0.04	0.15	0.06	3.20	78.1	11.1