

AGR
0082
1991

ANALISIS DE ADAPTACION DE LINEAS DE SORGO (Sorghum
bicolor (L) Moench) TOLERANTES AL ALUMINIO
EN EL DEPARTAMENTO DEL META

LUIS JUSTINO AMADOR HERRERA

VILLAVICENCIO

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE LOS LLANOS ORIENTALES
FACULTAD DE INGENIERIA AGONOMICA

1991

ANALISIS DE ADAPTACION DE LINEAS DE SORGO (Sorghum
bicolor (L) Moench) TOLERANTES AL ALUMINIO
EN EL DEPARTAMENTO DEL META

LUIS JUSTINO AMADOR HERRERA

Trabajo de Grado presentado
como requisito para optar al
título de Ingeniero Agrónomo.

Director: GUILLERMO MUÑOZ A.
I.A. Ph. D.

VILLAVICENCIO

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS LLANOS ORIENTALES

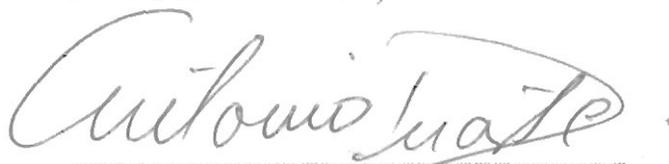
FACULTAD DE INGENIERÍA AGRONÓMICA

1991

Nota de Aceptación

.....
.....
.....

.....
Director del Proyecto



.....
Dr. ANTONIO DUARTE.
Jurado



.....
Dr. MARIO RIOS
Jurado

Villavicencio, Marzo de 1991

DIRECTOR

Dr. GUILLERMO MUÑOZ A. I.A., Ph. D.

Director para América Latina del Programa Sorgo y Millo,
International Program the sorghum and millet,
Mississippi State University, Centro Internacional de
Agricultura Tropical.

CODIRECTOR

Dr. EDUARDO GRANADOS.

Estadístico M. Sc. del Area de Biometría del Centro
Internacional de Agricultura Tropical, Palmira
(Colombia).



COLABORADORES

ROSALBA LOPEZ.

Departamento de Biometría, Centro Internacional de
Agricultura Tropical (CIAT), Palmira.

LUIS GUILLERMO TORRES ARIAS, I. A.

División Cultivos Anuales Sección Algodón, Instituto
Colombiano Agropecuario (ICA), La Libertad.

AGRADECIMIENTOS

El autor expresa sus agradecimientos:

- A GUILLERMO MURDOZ A., Ph.D. En fitomejoramiento, Director para Latinoamérica del Programa Internacional para el sorgo y Millo, por haberme permitido explorar el área de la investigación en la Agronomía.
- A LOS FUNCIONARIOS del Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) Palmira, por su colaboración para llevar a feliz término esta investigación.
- A LA FACULTAD DE AGRONOMIA, de la Universidad Tecnológica de los Llanos Orientales.
- A LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS LLANOS ORIENTALES.
- A Todas aquellas personas que en una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo.

DEDICATORIA

Con mucho amor dedico mi trabajo de grado:

A mis padres, MARIA LIRIA y LUIS FRANCISCO

A mi hermana, VILMA y JORGE ELIECER, su esposo

A ROCIO QUEVEDO SANTANA.

Porque siempre me han acompañado con su paciencia, apoyo y por el ánimo que me han infundido para seguir adelante, durante todo este tiempo.

También a la memoria de mis abuelos y a DIOS nuestro padre, por su buena voluntad y sabiduría sin las cuales no hubiera sido posible llevar a feliz término este proyecto.

"CONCEDEME QUE YO LLEGUE A SER TODO AQUELLO QUE TIENES PLANEADO QUE YO SEA".

LUIS J.

DIRECTIVAS UNIVERSIDAD

MAURICIO GONZALEZ MEDINA

Rector

HECTOR ANTONIO TORRES RONCANCIO

Vice-Rector Académico

NEREYDA OLIVA ZAPARAN LEON

Secretaria General

ARISTOBULO SALCEDO MURILLO

Director Administrativo

LAZARO HUGO LEMUS

Decano

JORGE ENRIQUE MUÑOZ AGUILERA

Director Centro de Investigaciones

La Universidad Tecnológica de los Llanos Orientales, La
Faculta de Agronomía, Los Directores y Jurados, no se
hacen responsables por los conceptos emitidos en el
presente trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
0. INTRODUCCION	1
1. REVISION DE LITERATURA	6
1.1. ASPECTOS GENERALES SOBRE SORGO	6
1.1.1. Tipos de Sorgo	6
1.2. HIBRIDOS Y VARIEDADES	7
1.3. ESTABILIDAD FENOTIPICA	8
1.3.1. Estabilidad y los componentes del rendimiento	14
1.3.2. Estabilidad del rendimiento según fecha de siembra	19
1.3.3. Análisis de estabilidad	21
1.4. TOXICIDAD DEL ALUMINIO EN SUELOS TROPICALES	36
1.5. TOLERANCIA DIFERENCIAL DE LAS PLANTAS AL ALUMINIO	38
1.6. EFECTOS DEL ALUMINIO SOBRE EL SORGO	40
1.6.1. Efectos morfológicos	41
1.6.2. Efectos fisiológicos	42
1.6.2.1. Efectos a nivel radicular	42
1.7. METODOS PARA DISMINUIR LA TOXICIDAD DE ALUMINIO	47
1.7.1. Relación amonio-nitrato	48
1.7.2. Absorción y translocación del aluminio	48
1.7.3. Nutrición de calcio	49

1.7.4.	Nutrición de fósforo	49
1.7.5.	Complejo orgánico de aluminio en plantas	50
1.7.6.	Absorción del hierro, magnesio, potasio y otros elementos minerales	50
1.7.7.	Mecanismos desintoxicantes por quelatos	51
1.7.8.	Acumulación de calcio	51
1.8.	HISTORIA DE LOS GENOTIPOS	52
2.	MATERIALES Y METODOS	55
2.1.	GERMOPLASMA	55
2.2.	LOCALIZACION	57
2.3.	DISENO EXPERIMENTAL	58
2.3.1.	Análisis de datos	58
3.	RESULTADOS Y CONCLUSIONES	62
	BIBLIOGRAFIA	93

LISTA DE CUADROS

	pág.
CUADRO 1. Distribución de oxisoles y ultisoles por País en América Latina.	37
CUADRO 2. Genotipos y Grado de tolerancia	55
CUADRO 3. Saturación de aluminio por ambiente de prueba.	57
CUADRO 4. Niveles de saturación de aluminio.	58
CUADRO 5. Caracteres Agronómicos promedios de los Genotipos	74

LISTA DE TABLAS

	pág.
TABLA 1. Adaptación de 19 genotipos de Sorgo tolerante al aluminio, presenta rendimiento, sensibilidad varietal número de ambientes de prueba, grados de libertad del error, t de sensibilidad y probabilidad de t por variedad.	66
TABLA 2. Porcentaje de prueba según efecto del ambiente.	78
TABLA 3. Sensibilidad varietal (Parámetros estimados).	82
TABLA 4. Estimación y error del efecto ambiental (Ambientes desfavorables).	84
TABLA 5. Estimación y error del efecto ambiental (Ambientes favorables).	85

LISTA DE FIGURAS

FIGURA No. 1.	Comparaciones de estabilidad entre los genotipos IS-2765, IS-8575, IS-8933, IS-9042, 5 DX, Sorghica Real 40 y 60.	67
FIGURA No. 2.	Comparaciones de estabilidad entre los genotipos IS-8931, IS-3071, IS-9084, 3 DX, Sorghica Real 40 y 60.	68
FIGURA No. 3.	Comparaciones de estabilidad entre los genotipos IS-7151, IS-6944, PPQ-2, Sorghica Real 40 y 60.	69
FIGURA No. 4.	Comparaciones de estabilidad entre los genotipos IS-3522, IS-10336, IS-9636, IS-9945, ICA-NATAIMA, Sorghica Real 40 y 60.	70
FIGURA No. 5.	Sorghica Real 60 Vs. Sorghica Real 40 Saturación de aluminio.	72
FIGURA No. 6.	Sorghica Real 60 Vs. Sorghica Real 40 Estabilidad	73
FIGURA No. 7.	Porcentaje de prueba según efecto del ambiente IS-7151, IS-3522, IS-3071, IS-8931, IS-8577, IS-6944, IS-10336, 3DX y Sorghica Real 60	79
FIGURA No. 8.	Porcentaje de prueba según efecto del ambiente IS-9945, IS-8933, IS-9042, IS-9636, PPQ-2, 5 DX, IS-9084, IS-2765, ICA-NATAIMA y Sorghica Real 40.	80
FIGURA No. 9.	Sensibilidad varietal	83
FIGURA No. 10.	Semestres de siembra	86
FIGURA No. 11.	Comparación genotipos con saturación de aluminio IS-8931, IS-3071, IS-9084, 3 DX, Sorghica Real 40 y 60.	87

FIGURA No. 12. Comparación genotipos con saturación de aluminio IS-2765, IS-8577, IS-8933, IS-9042, 5 DX, Sorghica Real 40 y 60.	88
FIGURA No. 13. Comparación genotipos con saturación de aluminio IS-7151, IS-6944, IS-8577, PPQ-2, Sorghica Real 40 y 60.	89
FIGURA No. 14. Comparación genotipos con saturación de aluminio IS-3522, IS-10336, IS-9636, IS-9945, ICA-NATAIMA, Sorghica Real 40 y 60.	90
FIGURA No. 15. Tolerancia diferencial al aluminio.	91
FIGURA No. 16. Aspecto económico.	92

LISTA DE APENDICES

	pág.
APENDICE 1. Rendimientos observados, estimados e índice ambiental por variedad y sitio.	97
APENDICE 2. Precipitación en mm promedio por sitio (ambientes de prueba).	115
APENDICE 3. Figuras de estabilidad genotípica y comportamiento con la saturación de aluminio de todos los genotipos.	122
FIGURA No. 1. Estabilidad del genotipo IS-8931	123
FIGURA No. 2. Estabilidad del genotipo IS-3071	124
FIGURA No. 3. Estabilidad del genotipo IS-9084	125
FIGURA No. 4. Estabilidad del genotipo MN-4508 (Real 60)	126
FIGURA No. 5. Estabilidad del genotipo 3 DX	127
FIGURA No. 6. Estabilidad del genotipo IS-2765	128
FIGURA No. 7. Estabilidad del genotipo IS-8577	129
FIGURA No. 8. Estabilidad del genotipo IS-8933	130
FIGURA No. 9. Estabilidad del genotipo SERERE-1 (Real 40)	131
FIGURA No. 10. Estabilidad del genotipo 5 DX	132
FIGURA No. 11. Estabilidad del genotipo IS-9042	133
FIGURA No. 12. Estabilidad del genotipo IS-7151	134
FIGURA No. 13. Estabilidad del genotipo IS-6944	135

FIGURA No. 14. Estabilidad del genotipo PPQ-2	136
FIGURA No. 15. Estabilidad del genotipo IS-3522	137
FIGURA No. 16. Estabilidad del genotipo IS-10336	138
FIGURA No. 17. Estabilidad del genotipo IS-9636	139
FIGURA No. 18. Estabilidad del genotipo IS-9945	140
FIGURA No. 19. Estabilidad del genotipo ICA-NATAIMA	141
FIGURA No. 20. Comportamiento del genotipo IS-8931	142
FIGURA No. 21. Comportamiento del genotipo IS-3071	143
FIGURA No. 22. Comportamiento del genotipo IS-9084	144
FIGURA No. 23. Comportamiento del genotipo MN-4508 (Real 60)	145
FIGURA No. 24. Comportamiento del genotipo 3 DX	146
FIGURA No. 25. Comportamiento del genotipo IS-2765	147
FIGURA No. 26. Comportamiento del genotipo IS-8577	148
FIGURA No. 27. Comportamiento del genotipo IS-8933	149
FIGURA No. 28. Comportamiento del genotipo SERERE-1 (Real 40)	150
FIGURA No. 29. Comportamiento del genotipo 5 DX	151
FIGURA No. 30. Comportamiento del genotipo IS-9042	152
FIGURA No. 31. Comportamiento del genotipo IS-7151	153
FIGURA No. 32. Comportamiento del genotipo IS-6944	154
FIGURA No. 33. Comportamiento del genotipo PPQ-2	155
FIGURA No. 34. Comportamiento del genotipo IS-3522	156
FIGURA No. 35. Comportamiento del genotipo IS-10336	157
FIGURA No. 36. Comportamiento del genotipo IS-9636	158
FIGURA No. 37. Comportamiento del genotipo IS-9945	159
FIGURA No. 38. Comportamiento del genotipo ICA-NATAIMA	160

O. INTRODUCCION

América Latina enfrenta como subcontinente un nuevo reto que dependerá en gran medida de la capacidad de desarrollar y adaptar nuevas tecnologías, al deber cambiar economías de autoconsumo agrícola, en economías exportadoras con capacidad de competir en el mercado mundial.

Las barreras educativas se presentan en la mayoría de los países latinoamericanos, pero cada día es menor la población analfabeta, en nuestro continente. Lo que nos permitirá adoptar tecnologías más sofisticadas y adaptadas a las necesidades que cada ecosistema imponga para el desarrollo agrícola.

El hecho de tener al mayor número de habitantes en las ciudades (cerca del 80%) y sólo un 20% en los campos, implica el desarrollo de nuevas tecnologías con la consecuente mecanización agrícola, como base del sistema de producción, que deberá suplir las necesidades del gran número de personas que viven en las ciudades.

Las sabanas ácidas de los países del área, en vías de explotación, se constituyen en una alternativa de producción indispensable de incorporar en la agricultura del futuro; sin embargo presentan limitantes para la producción, especialmente de índole químico.

Entre los limitantes para la producción en ecosistemas de sabana encontramos:

- Niveles tóxicos, producto de altas saturaciones de aluminio.
- Los bajos pH que interfieren la disponibilidad de elementos menores y mayores.
- La baja capacidad de intercambio catiónico.
- Los altos índices de fijación de fósforo.

Las limitantes anteriormente citadas, hacen que este ecosistema se constituya en un medio difícil de manejar.

Dado que la mayoría de los llanos orientales son áreas con poca pendiente será un ecosistema fácil de mecanizar; pero con posibles problemas de erosión eólica por lo que deberán de formarse paquetes tecnológicos que garanticen

una agricultura de sostenimiento de cara hacia el futuro. Con el fin de incorporar a la producción agrícola estas nuevas regiones, se hará necesario empezar manejando los cultivos sin grandes riesgos en la producción.

Dado la estabilidad relativa de las variedades en comparación con los híbridos, debido principalmente a su amplio rango de adaptación, reflejado en los rendimientos al ser sembrados en muchos ambientes y climas, estas serán las llamadas a colonizar las zonas marginales.

El departamento del Meta cuenta con 77.193 km² (Owen y Sánchez) (1), constituido por piedemonte y altillanura plana, presenta suelos de baja fertilidad y altos porcentajes de saturación de aluminio.

Las variedades e híbridos comerciales de sorgo sólo se cultivan en suelos de vega que ocupan un 10% del total del área (Owen y Sánchez) (2), con excelentes condiciones físicas y alta fertilidad. Sin embargo, las siembras no se realizan todo el año. En el primer semestre por altas precipitaciones, principalmente dadas en épocas cercanas

(1) OWEN, E. J. y SANCHEZ, L. F. Uso y manejo de los suelos de parte plana del Departamento del Meta. Bogotá: ICA, 1979. p. 40.

(2) Ibid., p. 40.

a cosecha, hacen que la proliferación de enfermedades sea excesiva. Por esto, el sorgo sólo se ha sembrado en el Meta en el segundo semestre.

Algunos de los genotipos del Instituto para sorgo y millo (INTSORMIL), se pueden cultivar en los dos semestres porque son tolerantes a hongos en la panoja y a porcentajes de saturación de aluminio hasta del 65%. Estos genotipos traerán enormes beneficios al ser sembrados en muchos ambientes, en condiciones variables de clima, si presentan estabilidad en el rendimiento y buena adaptación al ecosistema, sin ocasionar cambios negativos al mismo.

El objetivo general del presente trabajo fue el de establecer la interacción genotipo-ambiente para 19 genotipos de sorgo (Sorghum bicolor (L.) Moench).

Los objetivos específicos fueron:

- Determinar la estabilidad fenotípica para producción de 19 genotipos de sorgo en el departamento del Meta.

- Sugerir recomendaciones por genotipo y ambiente con base en los resultados obtenidos.

- Evaluar la tolerancia al aluminio, de cada uno de los genotipos de sorgo evaluados.

- Seleccionar materiales promisorios que presenten buen grado de adaptación edafoclimáticas en la zona.

1. REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. ASPECTOS GENERALES SOBRE SORGO

Su centro de origen es África y subcentro India. El ICRISAT en la India mantiene la colección mundial con cerca de 26.000 entradas.

Es una especie autógama diploide, normalmente con un 10% o menos de polinización cruzada.

Presenta un número cromosómico de $2n = 20$.

1.1.1. Tipos de sorgo.

Grano: Para alimentación humana y animal.

Ensilaje: Fermentado para almacenamiento.

Sudán: Forraje y corte.

Syrup: Melaza, sirope y alcohol.

Azucarero: Azúcar y alcohol.

Escobera: Escobas.

Halapense: Pasto Johnson-Maleza.

1.2. HIBRIDOS Y VARIEDADES

Ha sido tradicional, cada vez que una zona es incorporada en la producción de un cereal, el empezar con la tecnología más sencilla, lo que permite aprender a manejar el cultivo sin grandes riesgos en la producción, dado la estabilidad relativa de las variedades debido principalmente a su alto rango de adaptación. Otro factor en favor de las variedades es que el agricultor puede guardar semilla de un semestre a otro, práctica que bien manejada permite conservar las mismas características genéticas que el material original. Por tanto, en zonas marginales con problemas de aluminio tóxico, como los Llanos Orientales, parecería lógico empezar por las variedades y luego incrementar los híbridos. (CIAT INTSORMIL) (3).

Híbridos

Variedades

- | | |
|--|---|
| - La semilla es cara. | - La semilla es barata. |
| - El agricultor no puede guardar la semilla. | - El agricultor puede guardar la semilla. |

(3) CIAT, PROGRAMA INTSORMIL, Informe de actividades de investigación realizados en Colombia en el cultivo de Sorgo. Palmira: CIAT, 1990.

- Necesita tecnologías de altos insumos.
- Se adapta a tecnologías de bajos insumos.

- Son de alta producción
- Se caracteriza por su estabilidad en producción.

1.3. ESTABILIDAD FENOTIPICA.

Becker (4) define el medio ambiente como un conjunto de condiciones exteriores e influenciadas que afectan la vida y desarrollo de un organismo. El medio natural es dinámico y cambia constantemente la intensidad de sus factores.

Encuentra que el valor de adaptabilidad de una planta está determinado por muchos factores entre los que

(4) BECKER, H. C. Correlations among statistical measures of phenotypic stability. In : Euphytica, Vol. 30. (1981). p. 835.

figuran: El vigor somático, período vegetativo, el número de semillas que producen y la eficacia de su mecanismo polinizante.

Autores como Allard (5) y Elliot (6), representan el valor fenotípico de un carácter cuantitativo mediante el siguiente modelo lineal:

$$y = u + G + A + (G \cdot A)$$

Donde:

y = Valor numérico del fenotipo

u = Valor promedio de la población

G = Valor del efecto directo del genotipo

A = Valor del efecto del ambiente

$(G \cdot A)$ = Valor del efecto de la interacción del genotipo con el ambiente.

Dichos autores afirman que el modelo se hace más perfecto cuando la media poblacional presenta todos los



UNIVERSIDAD DE LOS LLANOS

SISTEMA DE BIBLIOTECAS

HEMEROTECA

Villavicencio - Meta

(5) ALLARD, R. W. Roles of genotype and environment in continuous variation. In: *Principles of plant breeding*. N.Y. : John Wiley, 1960. pp. 89-98.

(6) ELLIOT, F. C. *Fitogenética y mejoramiento de las plantas*. México : Continental, 1964.

genotipos y ambientes existentes y cuando la interacción genotipo por ambiente tiene un valor igual a cero, al comportarse todos los genotipos de igual manera en todos los diferentes ambientes. Igualmente, si se logran identificar los efectos particulares de los factores que conforman el conjunto ambiental, estos factores pueden agruparse como localidades y años, o más detalladamente en repeticiones, localidades y años.

Cuando un carácter es controlado por unos pocos genes (herencia cualitativa), la interacción genotipo por ambiente no es una fuente de varianza, importante. Sin embargo, cuando un carácter está gobernado por varios loci, mostrando varianzas aditivas, dominantes y epistáticas (herencia cuantitativa) dicha interacción adquiere mayor importancia. Se sabe que varios tipos de efectos de los genes actúan con el ambiente para expresar su fenotipo (Pandey, S y Vargas, J. E. (7)).

La interacción genotipo por ambiente desempeña un papel importante en los estudios de genética cuantitativa y en diversos problemas de mejoramiento, cuando la

(7) PANDEY S. y VARGAS, J. E. La interacción genotipo-medio ambiente y su importancia en el mejoramiento intrapoblacional de las plantas cultivadas. I Congreso Colombiano y VII Latinoamericano de Agronomía. (1985)

interacción tiene un valor de cero, se considera inútil probar los genotipos en ambientes diferentes; de otra parte, el avance genético por selección se retarda cuando la magnitud de esta interacción es grande. (Comstock and Moll (8)).

Existen varios conceptos de estabilidad, por mucho tiempo los fitomejoradores han usado el término estabilidad para designar un genotipo que siempre produce un rendimiento constante en cualquier ambiente en donde se siembre. Por lo tanto buscan las variedades que tengan varianza mínima sobre un gran conjunto de condiciones ambientales. Por otra parte, el objetivo es también una variedad o híbrido que muestre el rendimiento esperado al nivel de productividad del ambiente donde se cultive, medidos en términos del rendimiento promedio de todas las variedades en tal ambiente; es decir, una variedad que no muestre interacción genotipo por ambiente y que produzca bien (Martínez, O. (9)).

(8) COMSTOCK, R. E. and MOLL, R. H. Genotype environment interactions In : Nat. Acad. Sci. Nat. Res. Coun. Pub. No. 982. (1963). pp. 164-196.

(9) MARTINEZ, O. Interacción genotipo por ambiente y métodos para su estimación. Conferencias del curso de genética cuantitativa (mimeografiado) (1989).

Moll y Stuber (10), consideran que las interacciones genotipo por ambiente no son siempre indeseables y si son amplias y consistentes pueden ser muy útiles, cuando se buscan genotipos para ambientes predecibles. En estos casos la interacción genotipo por ambiente puede usarse para aumentar el rendimiento de la cosecha. Indican además que para el fitomejorador la significancia de las interacciones genotipo por ambiente depende de sus objetivos, ya que si se desean variedades que presenten un buen comportamiento bajo un amplio rango de ambientes, su programa se verá favorecido por interacciones pequeñas de este tipo y/o variedades estables.

Allar y Bradshaw (11), también sugieren que una interacción genotipo por ambiente grande debida a factores ambientales predecibles puede ser usada ventajosamente para desarrollar genotipos para cada uno de los ambientes especiales. El desarrollo de los cultivos con actuaciones buenas y estables para

(10) MOLL, R. H. and STUBER, C. S. Quantitative genetics-empirical result relevant to plant breeding. In : Adv. Agron. No. 26. (1974). pp. 277-313.

(11) ALLAR, R. W. and BRADSHAW, A. D. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. In : Crop. Sci. No. 4. (1964). pp. 503-507.

condiciones ambientales predecibles es un objeto útil y requiere genotipos con poca interacción genotipo por ambiente.

Finlay y Wilkinson (12), argumentan que sería útil una amplia adaptabilidad o sea una pequeña interacción genotipo por ambiente, aún cuando los genotipos se necesiten para ambientes de poca variabilidad puesto que los factores climáticos no pueden predecirse razonablemente bien, para años o ciclos diferentes en los mismos sitios.

El método de Eberhart y Russell, es el mejor entre los disponibles hoy, para el estudio de estabilidad de los genotipos, citados por Pandey y Vargas (13). Aquí el coeficiente de regresión lineal (β_1) mide la respuesta lineal de genotipos a los ambientes y el cuadrado de las desviaciones de la regresión (s^2_d), la estabilidad o consistencia de esta respuesta, medida adicional que no cumple Finlay y Wilkinson (14).

(12) FINLAY, K.W. and WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. In : Aust. J. Agric. Res. No. 14. (1963). p. 742-754.

(13) PANDEY and VARGAS. Op. cit. 1985.

(14) FINLAY and WILKINSON. Op cit. pp. 742-754.

De acuerdo con las recomendaciones de Martínez O. (15), la estimación de los parámetros propuestos por Eberhart y Russell (16) está condicionada a que el análisis combinado de varianzas, sobre los ambientes de prueba, la interacción genotipo por ambiente, sea significativa.

1.3.1. Estabilidad y los componentes del rendimiento.

Grafius (1956), citado por Heinrich *et al.* (17), define el rendimiento como un producto de varios componentes de rendimiento (espigas/unidad de área, número de semillas/espiga y peso de semillas). Al igual que otros investigadores observó que estas reducciones en un componente de rendimiento pueden ser compensadas, variando de grados, por incremento en otro componente, y dependiendo del desarrollo temporal de éstos componentes, ésto es una tendencia para estabilizar el rendimiento.

(15) MARTINEZ, O. Interacción genotipo por ambiente y métodos para su estimación. Conferencias del curso de genética (Mimeografiado) 1989).

(16) EBERHART, S. A. and RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. In : Crop. Sci. No. 6. (1966). pp. 36-40.

(17) HEINRICH, G. M. *et al.* Stability of grain sorghum yield components across diverse environments. In : Crop. Science. Vol. 23. No. 2. (1983). pp. 209-212.

Heinrich et al (18), definen la estabilidad de rendimiento, como la habilidad del genotipo para evitar fluctuaciones sustanciales en el rendimiento sobre un rango de condiciones ambientales, y consideran que es un objetivo difícil de lograr reproducir, las causas de la estabilidad en el rendimiento a menudo son confusas, pero desde los puntos de vista fisiológico, morfológico y fenológico, los mecanismos que dan estabilidad de rendimiento se dividen en cuatro categorías generales:

- Heterogeneidad genética
- *Compensación* de los componentes del rendimiento
- Tolerancia al estrés
- Capacidad de recuperación del estrés

Sostienen dichos autores que el rendimiento es un producto de sus componentes, y estos generalmente son el producto del proceso sucesivo del desarrollo; la regulación de los diferentes tipos de estrés críticos puede ser específica para examinar las funciones de los componentes del rendimiento. La susceptibilidad al estrés pudo ser indicada por reducciones en el componente de rendimiento, en vías de desarrollo durante el período de estrés y tolerante por reducciones menores

(18) Ibid., pp. 209-212

en éste componente de rendimiento o compensación por un componente no estresado de rendimiento.

Heinrich et al (19), sugieren que se deben evaluar los siguientes componentes del rendimiento en cereales: Plantas/m², espigas/m², macollas/planta, semillas/m², semillas/espiga y peso de cien semillas.

Según el estudio realizado por dichos autores, al evaluar tres genotipos estables y tres inestables de sorgo a través de 14 ambientes, se encontró un promedio de seis híbridos en su rendimiento entre 5.410 y 9.840 kg/ha. Aunque todos los híbridos tuvieron un potencial de rendimiento comparable en medios favorables, los tipos estables fueron de alto rendimiento en medios pobres. De esta manera, los tres genotipos estables demostraron un alto potencial de rendimiento en ambientes favorables y estabilidad en producción, no siendo mutuamente excluyente estas dos características. En todos los genotipos, los componentes espigas/m² y semillas/espiga aumentaron en ambientes favorables, y semillas/m² está estrechamente correlacionado con el rendimiento/ha.

(19) Ibid., pp. 209-212

Heinrich et al (20), encontraron que la proporción de la compensación entre los componentes de rendimiento, peso de semillas y número de semillas, fue de tres a seis veces más alta en los genotipos estables que en los inestables. Los primeros tuvieron un 40% más semillas/m² que los híbridos inestables. Esto explica parcialmente su ventaja en rendimiento del 70% : El balance fue considerado por medio del tamaño de las semillas. Sugieren que mejorar para obtener más semilla/espiga y un mayor peso de semillas, podría ser útil según esta evidencia. Consecuentemente, el más alto peso de las semillas de los tipos estables pareció que contribuyó al rendimiento y a la adaptabilidad.

De acuerdo con Saeed y Francis (21), se requieren de pruebas extensivas para identificar genotipos que muestren una interacción mínima con el ambiente, o posean gran estabilidad de rendimiento. Entre estos materiales genéticos en un grupo probado, un cultivar ideal puede ser adaptado a un amplio rango de condiciones de cultivo en un área de producción dada.

(20) Ibid., pp. 209-212.

(21) SAEED, M. and FRANCIS, C. A. Yield stability in relation to maturity in grain sorghum. In : Crop. Science. Vol. 23. No. 4. (1983). pp. 685-687.

Majisu y Dogget, citados por Saeed y Francis (22), indican que son altamente heterogéneos y estables los híbridos que pueden demostrar gran ventaja en el rendimiento sobre cultivos igualmente estables. Poca evidencia es disponible en estabilidad de genotipos con un rango amplio de madurez.

En un estudio realizado por Saeed y Francis (23), se intentó determinar la estabilidad del rendimiento de genotipos de sorgo en relación a la madurez; además se buscó la relación entre la estabilidad del rendimiento y la de sus componentes al inicio de la madurez, en el punto de madurez fisiológica y posterior a éste. Se encontró significancia para las interacciones genotipo por ambiente y genotipo por ambiente (lineal) en rendimiento de número y peso de semillas/m². Más de la mitad de la variación de las respuestas lineales de los genotipos hacia los ambientes fue atribuible a las amplias diferencias en la madurez entre genotipos.

Dichos autores encontraron que el análisis de estabilidad de todos los genotipos, ignorando la madurez de los grupos, demostró una relación lineal

(22) *Ibid.*, pp. 685-687.

(23) *Ibid.*, pp. 685-687.

significativa y una relación cuadrática, entre días a floración y los parámetros de estabilidad (coeficiente de regresión y desviación de la regresión) respectivamente, y sugieren que las diferencias en la estabilidad de rendimiento entre los genotipos estuvo en función de la madurez relativa. La estabilidad para el rendimiento y sus componentes, como número de semillas y peso de cien semillas pueden ser considerados cuando se haga mejoramiento para estabilidad del rendimiento en sorgo granífero.

1.3.2. Estabilidad del rendimiento según fecha de siembra. La estabilidad del rendimiento según Francis *et al* (24), es un fenómeno complejo. La respuesta del genotipo hacia los ambientes puede depender de la duración del crecimiento de la planta y la variación de las condiciones ambientales cerca de la etapa crítica de desarrollo de la planta. Por tanto, es cuestionable, si los genotipos presentan rendimientos estables a sembrarlos temprano o tardíamente en ambientes determinados.

(24) FRANCIS, C. A. *et al*. Yield stability of sorghum hybrids and random-mating populations in early and late planting dates. In : Crop. Science. Vol. 24, No. 6. (1984). pp. 1.009-1.112.

En el trabajo efectuado por los mismos autores, se estudió el efecto de siembras tempranas y tardías sobre la estabilidad del rendimiento en 16 híbridos de sorgo, y se encontró que los rendimientos de los genotipos mostraron baja interacción con los ambientes cuando se compara siembra tardía con siembra temprana, quizás debido al más rápido desarrollo y baja exposición las condiciones del estrés. Cuando los promedios de los genotipos fueron relacionados con los promedios de los ambientes, las magnitudes de las interacciones genotipo por ambiente fueron halladas en gran parte debido a respuestas no lineales de los genotipos hacia los ambientes.

En dicho estudio hubo pocos híbridos que parecieron igualmente estables y deseables en las siembras tempranas y tardías. No siendo estables algunos híbridos en las siembras tempranas y calificados como tal en las tardías y viceversa. Los híbridos y poblaciones fueron relativamente más estables en siembras tardías que en siembras tempranas. La influencia de la fecha de siembra no puede ser ignorada en la evaluación de la estabilidad del rendimiento en sorgo granífero, y una buena pauta podría ser sembrarlos todos al mismo tiempo que las siembras comerciales de cada área.

Francis et al (25), aseguran que la identificación de la estabilidad de un cultivar en diferentes fechas de siembra es importante porque ello proporciona una alternativa de escoger los cultivares estables sembrados con diferentes tiempos de duración de la época de crecimiento.

1.3.3. **Análisis de estabilidad.** Según Lin et al (26), los estadísticos de estabilidad se dividen en tres grupos dependiendo de si ellos están basados en la desviación de los promedios de los genotipos o del término genotipo por ambiente (GA).

Estos grupos de estadísticos de estabilidad demuestran estar relacionados con tres conceptos: un genotipo puede ser considerado estable si:

- Su varianza entre ambientes es pequeña.
- Su respuesta en ambientes es paralela al promedio de la respuesta de todos los genotipos.
- El promedio residual al cuadrado de un modelo de regresión en una prueba ambiente es pequeño.

(25) *Ibid.*, pp. 1009 - 1112.

(26) LIN, C. S., et al. Stability analysis: Where do we stand? In: Crop Science, Vol. 26, No. 5, (1986), pp. 894 - 900.

Infortunadamente estos tres conceptos representan diferentes aspectos de estabilidad y no siempre proporcionan un completo cuadro de respuestas.

Los autores mencionados anteriormente aseguran que bajo la alternativa de acercamiento de análisis de grupos, las medidas similares definen la completa similitud en tres vías diferentes:

- Respuesta igual de genotipos a través de sitios.
- Igualdad de todos dentro de las relaciones del lugar.

De acuerdo con Lin *et al* (27), en una prueba se examinaron nueve parámetros estadísticos actualmente en uso, y de ellos tres son de importancia:

- La varianza de un genotipo a través de ambientes puede ser una medida de estabilidad (si 2).
- El coeficiente de variación de cada genotipo puede ser una medida de estabilidad.
- El parámetro de Eberhart y Russell (a_2), en donde el promedio residual al cuadrado (MS) de la desviación de

(27) *Ibid.*, pp. 894 - 900.

la regresión definida por dichos autores, es la medida de estabilidad para cada genotipo.

Francis et al (28), aseguran que un cuarto parámetro, R² (coeficiente de determinación), mide la proporción de la variación en rendimiento de un genotipo a través de los ambientes considerados por medio de la variación del índice ambiental, suministrando una buena conveniencia del modelo.

Saeed y Francis (29), agregan que Eberhart y Russell propusieron el coeficiente de regresión lineal y la desviación de ésta, como parámetros para estimar estabilidad. Los últimos definen un genotipo estable como aquel que tenga el coeficiente de regresión cercano a la unidad y con desviación de la regresión tan pequeña como sea posible. Además de tener el promedio de rendimiento más alto que todos los genotipos de la prueba.

Muñoz (30), sostiene que reciente el interés para medir

(28) FRANCIS et al, pp. 1009 - 1112.

(29) SAEED and FRANCIS, Op. Cit., pp. 685-687.

(30) MUNOZ A. G. Efecto de tres dosis de nitrógeno sobre los descriptores varietales del arroz. Bogotá, 1983. Tesis. (Magister Scientiae). Programa de estudios para graduados en ciencias agrarias. U.N. - ICA. pp. 12-16.

la estabilidad de cultivares se ha dirigido hacia el análisis de regresión. Esta propuesta fue originalmente hecha por Yates y Cochran (30), y fué más tarde modificada por Finlay y Wilkinson (31), Eberhart y Russell (32).

El modelo propuesto por Eberhart y Russell (33), es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu_i + B_i I_j + S_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} = Media varietal de la i -ésima variedad en el j -ésimo ambiente. ($i = 1, 2, \dots \vee j = 1, 2, \dots, n$).

μ_i = Media de la i -ésima variedad a través de todos los ambientes.

B_i = Coeficiente de regresión que mide la respuesta de la i -ésima variedad al variar los ambientes.

I_j = Índice ambiental obtenido como la media de todas

(30) YATES, F. and COCHRAN, W. C. The analysis of groups of experiments. In : Journal of agricultural Science, Cambridge, No. 28. (1933). pp. 556-580.

(31) FINLAY and WILKINSON, *Op. cit.*, pp. 742-754.

(32) EBERHART and RUSSELL. *Op. cit.* pp. 36-40.

(33) EBERHART and RUSSELL. *Op. cit.* pp. 36-40.

las variedades en el i -ésimo ambiente menos la media general.

S_{ij} = Desviación de regresión de la i -ésima variedad en el j -ésimo ambiente.

Dichos autores señalan que las técnicas de regresión permiten que la interacción genético-ambiental de cada genotipo sea dividida en dos partes:

- La proporción de la interacción (GA) debida a la respuesta en el desempeño de genotipo al ambiente con niveles diferentes de productividad.

- La porción debida a desviaciones inexplicables de regresión.

Caraballo y Márquez (34), interpretan los parámetros de estabilidad de la siguiente forma:

(34) CARABALLO, A. y MARQUEZ, F. Comparación de variedades de maíz de el Bajío y La mesa Central por su rendimiento y estabilidad. En : Agrociencia, Vol. 5 No. 1. (1970) pp. 129-146.

Categoría	Adaptabilidad	Consistencia	Descripción
1	B1 1	s2d 0	Variedad estable (buena respuesta en todos los ambientes y consistente).
2	1	<0	Buena respuesta en todos los ambientes pero de menor consistencia.
3	B1 <1	s2d 0	Responde mejor en ambientes desfavorables. Consistente.
4	<1	>0	Responde mejor en ambientes Desfavorables. Inconsistente.
5	>1	0	Responde mejor en buenos ambientes. Consistente.
6	>1	>0	Responde mejor en buenos ambientes. Inconsistente.

Agregan Faris et al (35), que la técnica de regresión de

(35) FARIS, M. A. et al. Stability of sorghum midge resistance. In : Crop Science. Vol. 19 No. 5. (1979). pp. 577-580.

Eberhart y Russell (36) puede ser considerada como una herramienta valiosa para los mejoradores entomólogos en sus investigaciones de fuentes de resistencia estable a las diferentes plagas.

De acuerdo con Lin et al (37), en forma general todas las fórmulas de los parámetros de estabilidad estudiados están basados en la desviación del efecto promedio del genotipo (DG), $(X_{ij} - \bar{X}_i)$, o en el término interacción GA, $(X_{ij} - \bar{X}_i - \bar{X}_j + X_{...})$. Algunos son sumas de cuadrados (SC), otros son coeficientes de regresión o desviación de la regresión, MS (cuadrado medio). Ellos pueden así ser clasificados dentro de cuatro grupos:

- Grupo A : DG	Sumas de Cuadrados
- Grupo B : GA	Sumas de Cuadrados
- Grupo C : DG o GE	Coficiente de Regresión
- Grupo D : DG o GE	Desviación de Regresión

Según los mismos autores, cuando la variabilidad de los dos componentes, DG y GA pueden ser expresados por un modelo de regresión, es posible usarlos convenientemente como un parámetro de estabilidad. En estas

(36) EBERHART and RUSSELL. op. cit., p. 36 - 40.

(37) LIN et al. Op. cit. pp. 894 -900.

circunstancias los estadísticos del grupo C son preferidos sobre los del grupo B, porque ellos dan la forma de la respuesta igual que su variación. Un adecuado uso de estos dos estadísticos requiere que:

- Una gran parte de la variación total sea considerada por medio de la regresión (R^2 alto, cuando R_i es el coeficiente de la correlación múltiple; y.

- La desviación CM de la regresión es homogénea a través de todos los genotipos. Si R^2 es pequeño, el estadístico b_i no puede ser verdaderamente representativo de la respuesta, mientras si las varianzas son heterogéneas, los estimativos de b_i tendrá precisiones diferentes, haciendo comparaciones entre lo b_i tediosas.

Lin et al (38), definen los siguientes tres conceptos de estabilidad:

- Tipo 1. Un genotipo es considerado estable si su varianza entre éste y el ambiente es pequeña.

- Tipo 2. Un genotipo es considerado estable si su

(38) Ibid., pp. 894 - 9009

ambientes que son favorables para otros genotipos. De esta manera la utilidad del tipo 1 es que la estabilidad depende mucho del alcance de ambientes inferiores que el experimento dirija.

Agregan dichos autores, que el tipo 2 de estabilidad es una medida relativa dependiendo de los genotipos incluidos en la prueba, así el alcance de inferencia sea limitado para el grupo probado, porque el promedio de todos los genotipos es usado como respuesta normal en cada ambiente, sacando una inferencia de éstos tipos de estabilidad que requieren de extremos cuidados, a menos que los genotipos sean una muestra representativa de estos cultivos en el área en cuestión. Un genotipo estable con esta definición es así sólo con respecto a los otros genotipos en la prueba, sin que alguno asegure que él aparecerá estable si se evalúa con otro grupo de genotipos.

De acuerdo con Lin et al (40), la estabilidad tipo 3 es relativamente un concepto nuevo. Desde que Eberhart y Russell (41), sugirieron a_{2i} como un segundo parámetro para medir estabilidad, gran atención se ha concentrado

(40) Ibid., pp. 894 - 900.

(41) EBERHART and RUSSELL. Op. Cit. pp. 36-40.

en él. La variabilidad de algún genotipo con respecto al ambiente puede ser subdividida en una parte predecible correspondiente a la regresión y una parte impredecible correspondiente a la desviación CM. Porque la primera puede ser prevista y para algunos puntos controlada (por selección de genotipos específicos para localidades específicas), ello no es más provechoso para considerar estos componentes en la interacción GA como una medida de estabilidad. Sugieren que el término estabilidad debe estar ahora más bien reservado para describir medidas de irregularidades impredecibles en la respuesta para ambientes, siempre que la desviación provenga de la regresión. Dichos autores afirman, que esencialmente la desviación CM de este modelo no indica más que si el ajuste es bueno o no, pero no tiene relación directa sobre la estabilidad de los genotipos. Sin embargo, hasta que el índice ambiental pueda ser sustituido por factores ambientales actuales, tales como la temperatura o la precipitación, el uso del tipo 3 de estabilidad es difícil de justificar.

Agregan Lin et al (42), que en general, si el científico está interesado en comparar la estabilidad relativa entre los grupos de cultivares incluidos en el

(42) LIN et al. Op. cit., pp. 894 - 900.

representativos del área en que se desea sembrar el cultivo. Por varias razones, ejemplo: Semilla insuficiente, entonces no es posible evaluar todas las variedades en cada sitio. Aunque un número reducido de variedades consideradas como testigos, se presentan en muchos sitios. Por consiguiente en las tablas de resultados de variedad por ambiente, el estimativo de qué variedad actúa, se presenta como incompleta. En el sistema de ensayos, el interés primario está en el funcionamiento varietal, variedad media; y así cualquier análisis es compensado por ambientes de cuál variedad en particular no está presente. El método usual para obtener esa compensación o ajuste, es usado apropiadamente en técnica de constantes, descrito por Pafterson (45), para el modelo:

$$Y_{ij} = t_i + \theta_i + E_{ij} \quad 1$$

Donde:

Y_{ij} = Es el dato de la i th variedad en el j th ambiente.

t_i = Es la media de la i th variedad.

(45) PAFTTERSON, H. D. Routirio least-squares estimation of variety means, in incomplete, tables. In : Journal of the National Institute of Agricultural Botany. No. 14. (1978). pp. 385-400.

experimento, y si el modelo de regresión se ajusta a los datos, los estadísticos del grupo C son los mejores. Cuando el dato no se ajusta, o si la CM residual de la regresión es heterogénea, los estadísticos del grupo B (W_{i2} ó i_2) pueden ser usados. Los parámetros del grupo D (tipo 3) no son recomendados para dichas situaciones.

Según Lin et al (43), la estabilidad del tipo 2 es buena para comparar un grupo específico de genotipos. En contraste, el tipo 1 tiene una amplia base inferencial, porque ella no depende de otros genotipos incluidos en la prueba y de esta manera no es ambigua. Sin embargo, ello no suministra información de la respuesta del modelo en el rango de pruebas ambientales, que es así vital para las recomendaciones de un cultivar.

Digby (44), describe un sistema para ensayos de variedades de cereales con el fin de estimar la permanencia de nuevas variedades y su relativa estabilidad al ser sembradas comercialmente. Los experimentos conducen a un número de sitios

(43) Ibid., pp. 894 - 900.

(44) DIGBY, P. G. N. Modified joint regression analysis for incomplete variety por environment data. In Journal of Agriculture Science. Cambridge. Vol. 93. (1979). pp. 81 - 83.

θ_i = Es el efecto de la j th ambiente.

La $\sum \theta_i = 0$. Y el E_{ij} es un término de error.

Si la i th variedad está presente en el n_i ambiente y el valor de la media de n_i , los valores de Y_i pueden demostrarse por la ecuación normal, que al ajuste de la media es:

$$\hat{t}_i - \bar{Y}_i = (j^* \sum \theta_i) / n \quad 2$$

Donde la sumatoria por encima de j^* es por que ambientes en que la i th variedad estuvo ausente. De este modo cuando una variedad está presente en todos los ambientes, la obliga sobre los θ_i a asegurar que $\hat{t}_i = \bar{Y}_i$

El ajuste se da en 2, es medido en el mismo grado para cada variedad. Esto no es permitido para cada variedad, lo cual no es permitido para diferenciar en la respuesta de las variedades o sensibilidad por efecto ambiental. Si las diferencias se presentan es necesario introducir un parámetro de sensibilidad en i , y hacer el ajuste

$$\hat{t}_i - \bar{Y}_i = B_i (\sum j^* \theta_i) / n_i \quad 3$$

Para seguir el siguiente modelo:

$$Y_{ij} = \mu_i + B_i\theta_j + E_{ij} \quad 4$$

Un número de autores (Yates y Cochran (46), Finlay y Wilkinson (47), Eberthart y Russell (48)), han usado un modelo similar a 4 para unir análisis de regresión, ellos sugieren que un método similar podría ser el más apropiado; aunque un previo análisis para unir regresión para datos completos y la ocurrencia de muchas variedades en cada ambiente.

Cuando los datos son incompletos entonces se usa el modelo lineal aditivo 1, trabajando la técnica de constantes y la regresión existente de los Y_{ij} estimada en los θ_j , obteniendo estimativos para los μ_i . Allí se tendrá un segundo grupo para los μ_i ; sin embargo, ellos no serán iguales a los estimativos iniciales, excepto para variedades que se presentan en muchos ambientes o que tienen $B_i = 1$.

Freeman (49), sugiere un procedimiento similar; primero

(46) YATES and COCHRAN. Op. cit. pp. 556 - 580.

(47) FINLAY and WILKINSON. Op. cit., pp. 742 - 754.

(48) EBERTHART and RUSSELL. Op. cit., pp. 36 - 40.

(49) FREEMAN, G. H. Analysis of interaction in incomplete two-way tables. Applied Statistics. No. 24. (1975). pp. 46-55.

el modelo aditivo 1, pero entonces los usos del modelo para estimar valores faltantes Y_{ij} , antes de hacer la regresión sobre datos completos se incluyen los estimativos para los datos faltantes Y_{ij} , de este modo se uso el modelo 1 para estimar los valores de datos faltantes en orden para un diferente modelo, 4, estos dos tienen dos defectos:

- Los estimativos de t_i después de la regresión son iguales que los obtenidos con la técnica del modelo aditivo; lo que no se ajusta a la forma dada en 3.
- Los estimativos para i serán basados en uno.

1.4. TOXICIDAD DEL ALUMINIO EN SUELOS TROPICALES.

En América Tropical existen 850 millones de hectáreas de suelos ácidos con altos porcentajes de saturación de aluminio (Al^{+3}), clasificados como oxisoles y ultisoles. Esta área cubre el 51% de América Tropical, y está constituida principalmente por sabanas tropicales y la selva amazónica. Estos suelos tienen un pH que puede oscilar entre cuatro y cinco, bajo contenido de fósforo y con niveles tóxicos de aluminio para las plantas.

Las sabanas tropicales abarcan 300 millones de hectáreas y poseen suelos con excelentes condiciones físicas y topografía llana, siendo aptos para la mecanización agrícola; existiendo además amplia disponibilidad de energía solar y abundantes lluvias a lo largo de casi todo el año.

CUADRO 1. Distribución de oxixoles y ultisoles por país en América Latina.

PAIS	1 * 106 Ha	% del Pais
SUR AMERICA		
BRASIL	572.71	68
COLOMBIA	67.45	57
PERU	56.01	44
VENEZUELA	51.64	58
BOLIVIA	39.64	57
GUYANA	12.25	62
SURINAM	11.43	62
PARAGUAY	9.55	24
ECUADOR	8.61	23
GUYANA FRANCESA	8.61	94
CHILE	1.37	2
ARGENTINA	1.28	0.4
TOTAL	840.55	48
CENTRO AMERICA		
MEXICO	4.42	2
PANAMA	3.59	63
HONDURAS	3.13	29
NICARAGUA	2.92	30
GUATEMALA	0.96	9
COSTA RICA	0.70	14
BELICE	0.40	18
TOTAL	16.12	6
CARIBE		
CUBA	2.42	21
HAITI	0.52	19
JAMAICA	0.45	41
TRINIDAD	0.42	84
REP. DOMINICANA	0.42	9
PUERTO RICO	0.16	18
GUADALUPE	0.09	47
MARTINICA	0.05	48
TOTAL	4.53	21

Adaptado de COCHRANE, 1979.

1.5. TOLERANCIA DIFERENCIAL DE LAS PLANTAS AL ALUMINIO.

Foy, citado por Salinas (50), sostiene que parece que la tolerancia al aluminio entre especies y variedades se debe a una adaptación genética como resultado de selección natural en suelos ácidos. La genética de la tolerancia al aluminio está actualmente bajo estudio, pero la naturaleza de la tolerancia diferencial no ha sido esclarecida.

Varios intentos se han hecho para explicar la causa de la tolerancia al aluminio intercambiable por las plantas; básicamente se consideran como cambios diferenciales en la morfología de las plantas, acompañados por cambios en su fisiología y bioquímica.

(50) SALINAS, J. A. Adaptación de plantas a toxicidades de aluminio y manganeso en suelos ácidos. En : Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo, Fertilidad del Suelo, Diagnóstico y Control. Bogotá. (1980). pp. 399 - 416.

Se ha encontrado que la tolerancia diferencial de las especies de las plantas al aluminio está estrechamente relacionado con la habilidad de éstas para tomar y utilizar el fósforo en presencia de exceso de aluminio.

Uno de los caminos para lograr soluciones económicas al problema de la acidez y el 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.

Scharffert *et al.*, citados por Comstock y Moll (51), afirman 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 obtenido buenos progresos para el desarrollo de híbridos tolerantes al aluminio.

Por lo anterior vale 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 costoso. Sería un

(51) COMSTOCK, R. E. and MOLL, R. H. Differential aluminium and manganese tolerance of plant species and varieties in acid soils. In : Ciencia y Cultura. Vol. 28. No. 2. (1976). pp. 150 - 155.

trabajo de equipo a largo plazo que requeriría de la colaboración estrecha entre fitomejoradores, fisiólogos y especialistas en suelos. Traerá logros importantes al trópico.

1.6. EFECTOS DEL ALUMINIO SOBRE EL SORGO.

Las investigaciones han demostrado que el aluminio es el principal componente de la acidez intercambiable del suelo y como tal, es uno de los factores que contribuye al mal desarrollo de las plantas en suelos ácidos (Foy (52); Kamprath (53)).

La toxicidad es particularmente severa a un pH por debajo de 5.0 pero puede ocurrir a valores de pH mas 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

(52) FOY, C. O et al. Differential aluminium tolerance of wheat varieties associated whit planinduced pH chages around their roots, soil science. In: Soc Am. Proc. Vol. 29. No. 1. (1985). pp. 64-67.

(53) KAMPRATH, E. J. Exchangeable aluminium as a criterium for liming leach mineral soil. In : Soil Sci. Soc. Amer. Frov. (1972). pp. 252-254.

concentraciones de otros cationes, aniones y sales totales.

Así mismo, la toxicidad del aluminio es muy seria en subsuelos fuertemente ácidos que son difíciles de encalar, 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 nutrientes del suelo. (Pearson, citado por Sánchez (54)).

1.6.1. **Efectos morfológicos.** La sintomatología del daño por efecto de la toxicidad de aluminio no siempre es fácilmente identificable, ya que estos se pueden confundir con los síntomas de otros elementos en la planta (Foy *et al* (55)).

Los síntomas del sorgo que crece en suelos con altos niveles de aluminio se asemejan a la deficiencia de fósforo, pero se han reportado plantas intoxicadas con aluminio, mostrando deficiencia en otros elementos

(54) SANCHEZ, L. F. Aspectos sobre acidez y encalamiento. Villavicencio : ICA, separata 1981. p. 21.

(55) FOY *et al*. *Op. cit.*, pp. 64 - 67.

(Furlani y Clark, citados por Clark (56))

Es de anotar la dificultad de identificar en la parte aérea de la planta síntomas típicos debido a la implicación de dicho fenómeno con otros efectos de orden fisiológico.

1.6.2. **Efectos fisiológicos.** En general la toxicidad por aluminio causa los siguientes trastornos fisiológicos en las plantas.

1.6.2.1. **Efectos a nivel radicular.** El daño en las raíces es el más importantes y claro síntoma observable de la toxicidad de aluminio en la planta. Las raíces de las plantas que crecen en los suelos con niveles tóxicos de aluminio detienen su crecimiento, carecen de ramificaciones, son quebradizas, las puntas y las raíces laterales se engrosan y se tornan color negro, ya que se interfiere la división celular en éstas, la respiración radical se ve disminuída. Afecta el funcionamiento de ciertas enzimas que gobiernan la acumulación de

(56) CLARK, R. B. Mineral nutrition factors reducing sorghum yields micronutrients and acidity. In : Sorghum in the eighties Proceeding of International Symposium on sorghum, Pantancheru Andra Pradesh, India, ICRISAR. (1982). pp. 188 - 197.

polisacáridos en las paredes celulares, las cuales son las encargadas de darle rigidez a la pared mediante eslabonamiento transversal de las pectinas. Además, el aluminio interfiere con la absorción, transporte y metabolismo de muchos elementos tales como Ca, Mg, P, K y N, ocasionando deficiencias en la planta. Más aún, obstaculiza la absorción de agua por la planta (Foy y Dorison, citados por Foy et al (57)).

Por otra parte, Kamprath y Foy, citados por Foy et al (58), indican que iones metálicos como el Al, forman fuertes complejos y precipitan los ácidos nucleicos.

Cambraia et al (59), sostienen que los efectos del aluminio sobre la composición de los ácidos orgánicos, azúcares y aminoácidos del sistema radicular de híbridos de sorgo, uno tolerante y otro susceptible al aluminio, y afirmaron que los contenidos de estas sustancias orgánicas en las raíces fueron marcadamente afectados por el tratamiento con el aluminio. El contenido de

(57) FOY et al. Op. cit. pp. 64 - 67

(58) Ibid., pp. 64 - 67

(59) CAMBRAIA, J. et al. Effects of aluminium on organic acid, sugar and amino acid composition of the root system of (Sorghum bicolor (L.) Moench). In: Journal of Plant Nutrition. Vol. 6. No. 4. (1983). pp. 313-321.

azúcar soluble en ambos cultivares se incrementó al tratar las plantas con aluminio. Este incremento fué interpretado como un resultado de la reducción de la respiración radicular, la reducción de la fosforilación de hexosas y reducción de la síntesis de polisacáridos de la pared celular. El híbrido tolerante acumuló significativamente mayor cantidad de aminoácidos libres que el híbrido susceptible al aluminio. Esta acumulación de aminoácidos libres en las plantas tratadas, ha sido reportada como el resultado de un efecto no específico del aluminio en el metabolismo de proteínas. Por otra parte, el híbrido tolerante al aluminio acumuló un porcentaje mayor de ácidos orgánicos que el híbrido susceptible. Ellos afirman que este resultado está de acuerdo con otros reportes que proporcionan la hipótesis de un posible papel de los ácidos orgánicos como agentes quelatantes en los mecanismos que tienen que ver con la tolerancia a la toxicidad por el aluminio en las plantas.

Boye-Goni y Marcarian (60), afirman que una solución al problema de la acidez del subsuelo es encalar hasta que mucho del aluminio intercambiable haya sido neutralizado

(60) BOYE-GONI, S. R. and MARCARIAN, V. Dual level analysis of aluminium tolerance in selected lines of gran sorghum. *In: Crop Science* Vol. 25, No. 5, (1985), pp. 749-752.

sin embargo, el encalamiento del subsuelo podría no ser económicamente factible. Aún con dicha práctica, los subsuelos ácidos podrían inhibir la formación de raíces normales y restringir la toma de nutrientes y de agua, resultando en bajos rendimientos.

Muñoz (61), informa que en Brasil se proponen tres alternativas básicas para el uso de suelos de alta saturación de aluminio. Estas son:

- Una modificación directa del ambiente en el suelo con la neutralización de la acidez y aplicación de nutrientes para satisfacer los requerimientos de las plantas. El uso de esta alternativa es altamente cuestionable por sus costos.

- Una adaptación de la planta a las características del suelo por medio de la manipulación genética, usando la ingeniería genética o los métodos tradicionales de mejoramiento de plantas. Esta alternativa ha causado gran interés en varios investigadores y algunos estudios

(61) MUÑOZ A., et al. Inheritance of aluminium tolerance in Sorghum under field conditions in Colombia. A dissertation submitted to the faculty of Mississippi State University in partial fulfillment of the requirements of the Degree of Doctor of Philosophy in department of Agronomy. May, 1988.

han sido publicados.

- Una combinación entre las dos alternativas anteriores, incluyendo una modificación gradual de la acidez del suelo con aplicaciones racionales de fertilizantes y correctivos, en asociación con el desarrollo de cultivares de sorgo que sean más tolerantes al aluminio y asimilen los nutrientes más eficazmente. Es la alternativa más apropiada.

Basados en un ensayo, Boye-Goni y Marcarian (62), afirman que la reacción al aluminio es controlada genéticamente, por lo tanto el mejoramiento para lograr la tolerancia puede ser posible. Diferencias varietales dentro de las especies para la reacción al aluminio se considera dominante, entonces el potencia genético para lograrla es evidentemente valioso en muchos de los cultivares de cereales. Antes de intentar cualquier esfuerzo mayor en el mejoramiento de los cultivos, un conocimiento de la acción de los genes controlando el carácter que se va a aprovechar es deseable, tal información es necesaria para planear un programa efectivo de mejoramiento.

(62) Ibid., pp. 749 - 752.

En dicho experimento los autores mencionados, incluyeron tres genotipos de sorgo tolerantes al aluminio y tres sensibles a este elemento; como identificación directa de una prueba de protección, fue usada para estudiar la herencia de la tolerancia del aluminio en sorgo granífero. Los efectos de la habilidad combinatoria general fueron más importantes que los de la específica, la proporción es de 9 : 1. La característica de la tolerancia al aluminio demostró predominante los efectos genéticos aditivos con algún grado de dominancia. El promedio del grado de dominancia fue parcial. La heredabilidad en un sentido estrecho fue del 78% y en sentido amplio del 99%. La acción aditiva de los genes y la alta heredabilidad para estas características demostró que debe hacer mejoramiento al investigador por *pedigree* o selección recurrente para lograr el desarrollo del sorgo granífero tolerante innato al aluminio.

1.7. METODOS USADOS PARA DISMINUIR LA TOXICIDAD DEL ALUMINIO.

Identificado el aluminio como uno de los factores fundamentales, responsables del pobre crecimiento de las plantas en suelos ácidos, se desarrolló en la década de los 60 el criterio mediante el cual el propósito del

encalamiento debía tener como base la neutralización del aluminio intercambiable y del manganeso, además de suministrar calcio y magnesio como nutrientes (Sánchez) (63).

1.7.1. **Relación amonio-nitrato.** En suelos con fuerte acidez, la nitrificación es inhibida y el amonio (NH_4) se transforma en una fuente importante de nitrógeno para las plantas. La relación entre nitritos y amonio en la solución nutriente determina la velocidad y dirección en los cambios de pH en plantas desarrolladas en presencia o ausencia de aluminio. La tolerancia al aluminio en ciertos cultivares se caracteriza por la habilidad de usar el nitrato eficientemente en presencia de amonio y al incrementarse el pH del medio de desarrollo (Foy et al) (64).

1.7.2. **Absorción y translocación del aluminio.** Existen tres grupos de plantas con respecto a la concentración de aluminio en las hojas, de acuerdo a la tolerancia de éstas. En el primer grupo, las concentraciones de aluminio en hoja no son consecuentemente diferentes en plantas sensibles al aluminio, pero las raíces de las

(63) SANCHEZ, Op cit. p. 21.

(64) FOY, et al. Op. cit. pp. 64 - 67.

plantas tolerantes frecuentemente contienen menos aluminio que las plantas sensibles (Foy) (64). En el segundo grupo, la tolerancia al aluminio es asociada con bajos niveles de éste en hojas y excesos del elementos atrapados en raíces (Jones) (65). En el último grupo aparece la protección contra los daños del aluminio, al menos en parte, por atrape de la mayoría del exceso del aluminio.

1.7.3. **Nutrición de calcio.** La tolerancia al aluminio en ciertos cultivares ha sido asociado con la habilidad de resistir la deficiencia de calcio por inducción aluminio o reducción en el transporte de calcio (Guerrier (66); Foy (67)).

1.7.4. **Nutrición de Fósforo.** En muchas plantas la tolerancia al aluminio aparece frecuentemente asociada

(64) FOY, C. O. Differential aluminium and manganese tolerance of plant species and varieties in acid soils. *In*: Ciencia y Cultura, Vol. 28, No. 2, (1976), pp. 150 - 155.

(65) JONES, D. F. Heterosis and homeostasis in evaluation and in applied genetics. *In*: Am. Nat. No. 92 (1958), pp. 321 - 328.

(66) GUERRIER, G. Relation between sorghum root system and aluminium toxicity. *In* : Journal of plant nutrition. Vol. 5, No. 2, (1982), pp. 123 - 136.

(67) FOY, *Op Cit.*, pp. 150 - 155.

con el uso eficiente del fósforo. La tolerancia al aluminio coincide con la habilidad de tolerar bajos niveles de fósforo en las soluciones nutritivas, ambos en presencia o ausencia de aluminio (Comstock y Moll (68)).

1.7.5. Complejo orgánico de aluminio en plantas.

Algunos ácidos orgánicos en raíces de especies tolerantes al aluminio quelatan a dicho elemento y de esta manera puede suceder en pH significativos fisiológicamente (Jones) (69). Las plantas tolerantes a acidez generalmente tienen ácidos fuertes en los sistemas buffer de las células.

1.7.6. Absorción del hierro, magnesio, potasio y otros

elementos minerales. La susceptibilidad a los suelos ácidos en ciertos cultivares de trigo y cebada puede estar asociada con la deficiencia de hierro inducida por aluminio en soluciones nutritivas con pH 4,1. Los síntomas foliares en soya y sorgo en suelos ácidos por toxicidad de aluminio tiene a veces parecidos a la clorosis de la deficiencia de hierro (Foy et al) (70).

(68) COMSTOCK and MOLL. Op. Cit. pp. 150 - 155.

(69) JONES. Op. Cit. pp. 321 - 328.

(70) FOY et al. Op. cit. pp. 64-67.

La mayor tolerancia al aluminio en ciertos cultivares de papa está asociada con la habilidad de las plantas para absorber el potasio y el magnesio.

1.7.7. **Mecanismos desintoxicantes por quelatos.** La concentración de compuestos orgánicos como azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos, incrementan en las raíces de las plantas tratadas con aluminio, en primer lugar en los cultivares tolerantes. Niveles altos de estos ácidos en las plantas tratadas con aluminio pueden ser interpretados como un indicativo de un mecanismo desintoxicante por quelatos de aluminio en estas plantas (Cabraia et al) (71).

1.7.8. **Acumulación de calcio.** Si el aluminio se absorbe por las raíces seminales o las raíces adventicias en sorgo, tiene un fuerte efecto inhibitorio sobre el calcio, independientemente del pH. La marcada sensibilidad de las plantas hacia los iones de Al^{+3} puede ser explicada por la localización del calcio y lípidos que están únicamente un poco unidos a la membrana de las raíces adventicias y por la baja capacidad intracelular quelatizante de ácidos orgánicos

(71) CAMBRAIA et al. Op. cit. pp. 313 - 321.

para el ión trivalente (Guerrier) (72).

Según Guerrier (73), el sorgo tiene la ventaja de poseer dos sistemas radiculares que difieren morfológicamente; uno seminal de origen embrionario, y otro adventicio de origen nodal. El segundo es suficiente para asegurar el crecimiento de la planta.

1.8. HISTORIA DE LOS GENOTIPOS.

En 1983 el programa INTSORMIL en Colombia empezó a evaluar germoplasma de la colección mundial en CIAT, Santander de Quilichao (Cauca) con el fin de encontrar si había tolerancia genética al aluminio en el germoplasma de sorgo.

Para esto se evaluó germoplasma cuyo centro de origen fueran países tropicales africanos donde existieran amplias zonas con suelos meteorizados ácidos.

La primera siembra no permitió encontrar diferencias entre los genotipos evaluados dado que se usó un suelo virgen con saturaciones de aluminio superiores al 90%.

(72) GUERRIER. Op. Cit. pp. 123 - 136.

(73) Ibid., pp. 123 - 136.

Para la segunda siembra se dividió el campo en tres niveles de saturación de aluminio que fue el resultado de aplicar 500, 1.500 y 4.000 kg/ha de cal dolomítica. Los resultados a partir de este momento fueron sorprendentes.

Dos genotipos IS-8577 e IS-7151 superaron las 4,5 ton por hectárea en un suelo de Santander de Quilichao (Cauca) con 63% de saturación a la que se le había aplicado media tonelada de cal. Con el tiempo estos niveles de producción han bajado ostensiblemente estabilizándose alrededor de la 2,5 tn/ha al 63% de saturación de aluminio.

Es interesante recalcar que después de siete años los genotipos IS-2765, IS-7151, IS-8577 e IS-8933 todavía están entre los genotipos más sobresalientes del programa.

A partir de 1983-B se empezó a trabajar informalmente entre los científicos del ICA, La Libertad y los científicos de INTSORMIL. En 1983-B el mejor genotipo fue 3DX, el segundo IS-12666C y MN-4508, 156-P-5 SERERE-1 fue el sexto genotipo en cuanto a producción, en estos primeros ensayos. A partir de entonces se han venido probando los genotipos a través de años y localidades. (CIAT, INTSORMIL) (74).

En 1988 se firmó un memorando de entendimiento formal entre el ICA-CIAT e INTSORMIL, lo que facilitó el trabajo y permitió organizar en una forma sistemática la información y planeación de experimentos en ICA, La Libertad (con sede en Villavicencio) Muñoz) (75).

Según Rendon W. El punto de equilibrio económico para condiciones de sabana nativa (83% de saturación de aluminio en La Libertad y 75% en Arauca) fué de 1740 Kg/Ha.

(74) CIAT, INTSORMIL. Op. Cit.

(75) MUÑOZ. Descriptores varietales. Op. Cit. p. 135.

(76) RENDÓN W. de J. Estudio de adaptación y posibilidad económica de Materiales de sorgo Sorghum bicolor (L) Moench. Tolerantes a la toxicidad de aluminio en un oxisol de los Llanos Orientales. Tesis Universidad Nacional de Palmira (1989).

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. GERMOPLASMA.

El germoplasma objeto de este estudio es proveniente de la colección mundial, de la cual se seleccionaron las 19 líneas con características de tolerancia a la toxicidad del Al³⁺ en suelos ácidos.

CUADRO 2. Genotipos y grado de tolerancia.

Genotipo	Grado de Tolerancia
IS-8577	T*
IS-3071	T
MN-4508 (Sorghica Real 60)	T
SERERE-1 (Sorghica Real 40)	T
IS-3522	T
IS-9084	T
IS-10336	T
ICANATAIMA	S**
IS-7151	T
3 DX	T
PPQ-2	T
IS-2765	T
IS-8931	T
IS-8933	T
5 DX	T
IS-6944	T
IS-9636	T
IS-9042	T
IS-9945	T

*T : Tolerante (Clasificación por el programa INTSORMIL Gourley, 1987).

**S : Susceptible.

FUENTE: Programa INTSORMIL. (Gourley, 1987).

Estos genotipos fueron seleccionados en suelos ácidos de Santander de Quilichao (Cauca) en niveles de saturación de aluminio superiores al 60%. Con esta saturación ninguno de los genotipos supera 180 cms de altura. Este carácter está correlacionado negativamente con el aluminio del suelo, de tal manera que a medida que disminuye la saturación de aluminio en el suelo, la altura del material aumenta.

Comparados con híbridos comerciales, estos materiales son tardíos. Estos genotipos de INTSORMIL se adaptan bastante bien a tecnologías de bajos insumos debido quizás a un sistema radical muy desarrollado. Son más tolerantes a los hongos en la panoja que los híbridos o variedades comerciales que existen actualmente en el mercado colombiano.

La Fertilización para los ensayos en campo de los genotipos objeto de este trabajo, se basó en la tecnología de bajos insumos consistente en:

300 kg de cal dolomita por hectárea

60 kg de nitrógeno por hectárea

60 kg. de P₂O₅ por hectárea

60 kg. de K₂O por hectárea

Aplicando el P₂O₅ en su totalidad a la siembra, el nitrógeno y el potasio fraccionados en dos aplicaciones.

2.3. LOCALIZACION.

Los experimentos se llevaron a cabo en suelos clase III y IV, suelos arroceros y sabanas mejoradas del departamento del Meta. Se localizaron para tal efecto en terrenos pertenecientes a la estación CRI-La Libertad, del ICA, y en fincas de agricultores y ganaderos progresistas de las siguientes localidades y municipios.

CUADRO 4. Saturación de Aluminio

Sitio	Año	Semestre	% Al.
PCOLOMB	88	1	-----
GRANADA	85	2	8.66
LIBERTAD	83	2	30
ESTORIL	89	1	35
YOPAL	84	2	35.55
UNILLANOS	89	2	40
GUAMAL	89	1	45
PCOLOMB	88	2	45
UNILLANOS	89	1	46
LIBERTAD	84	2	46
PARATEB	84	2	56.25
LIBERTAD	84	1	57.30
LIBERTAD	88	1	57.66
SIALL	89	1	58
LIBERTAD	87	1	61
SANMARTIN	87	2	63.23
META	87	2	63.41
SIALL	89	2	65
LOMA	89	2	65
APIAY	88	1	65.50
LIBERTAD	87	2	68.21
LIBERTAD	86	1	68.87
ESTORIL	87	2	71
PLOPEZ	88	1	72
LIBERTAD	85	2	74.40
LIBERTAD	86	2	78.56
LIBERTAD	88	2	80.7

Los trabajos correspondientes a las evaluaciones de pruebas regionales de sorgo realizadas en el departamento del Meta se efectuaron así:

De 1983 a 1986 los datos fueron suministrados por el Programa Sorgo ICA-La Libertad. Y en el lapso correspondiente a 1987-1989 fueron tomados por el autor de este trabajo.

2.2. DISEÑO EXPERIMENTAL.

2.2.1. **Análisis de datos.** Para comparar los genotipos ya mencionados se utilizó un diseño de bloques completos al azar con cuatro replicaciones. El tamaño de parcelas fue 5 x 4 metros, con distancias entre surcos de 0.60 m. y de 0.10 - 0.15 m. entre plantas cosechando los dos surcos centrales en su totalidad.

Se toman por análisis de suelos tres niveles y subniveles de saturación de aluminio: Ya que las condiciones de fertilidad de los suelos fueron diferentes.

CUADRO 4: Niveles de Saturación de Aluminio.

NIVELES AL+3	A	B
Nivel 1	0 - 20%	21 - 35%
Nivel 2	36 - 45%	46 - 60%
Nivel 3	61 - 75%	76 - 95%

Fuente: Programa sorgo CIAT.

Teniendo como referencia el modelo propuesto por Eberhart y Russell (76) ($Y_{ij} = u_i + (B_i \cdot I_j) + S_{ij}$), donde los genotipos estables son considerados por tener coeficientes de regresión cercanos a uno y los inestables por tener valores de B_i (coeficiente de regresión) mayores a uno, se usó el modelo de Digby (77), para datos incompletos, dado que los 19 genotipos no fueron probados en todos los ambientes, así:

$$Y_{ij} = u_i + B_i \cdot I_j + E_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} : Respuesta de genotipo i en el ambiente j .

u_i : Media varietal del genotipo i .

B_i : Sensibilidad varietal del genotipo i a los cambios ambientales o coeficiente de adaptabilidad.

I_j : Medida de ambiente o índice ambiental.

(76) EBERHART and RUSSELL. Op. Cit. pp. 36-40.

(77) DIGBY. Op. Cit. pp. 81 - 83.

E_{ij} : Error específico de la variedad i en el ambiente j .

El índice ambiental no es estimado en la forma convencional de Eberhart y Russell (78), es decir, $I_j = \bar{X}_j - \bar{X}_{...}$). Se hace la siguiente igualdad o restricción:

$$1/k \sum I_j = 0 \quad \text{ó} \quad \sum I_j = 0$$

Donde:

El ambiente medio tendrá $I_j = 0$.

El ambiente favorable tendrá $I_j > 0$

El ambiente desfavorable tendrá $I_j < 0$

El modelo a utilizar no es lineal en los parámetros, es iterativo, debido a que existe el producto entre la sensibilidad varietal B_i y el índice ambiental I_j . Estos dos parámetros, junto con la media varietal μ_i son constantes y desconocidos, que se estimará realizando iteraciones hasta que el nivel de convergencia sea mínimo de acuerdo a los parámetros fijados.

Para realizar este proceso se ajusta este modelo así:

$$\hat{Y}_{ij} = \hat{\mu}_i + \hat{B}_i \cdot \hat{I}_j$$

(78) EBERHART and RUSSELL. Op. Cit., pp. 36-40.

Donde el error específico es = 0

Para estimar uno de los parámetros, los otros dos permanecen constantes.

Se plantearon las respectivas hipótesis nula y alternativa así:

$H_0 : B_i = 1$

$H_1 : B_i \neq 1$

Para rechazar la hipótesis nula se estimó una prueba de significancia (t) con un nivel de confianza del 95%, para los coeficientes de sensibilidad B_i , así mismo se estimó la significancia para rechazar la hipótesis nula mediante probabilidad. El término (t) se calculó así:

$$t = \frac{\hat{B}_i - 1}{S_{\hat{B}_i}}$$

3. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Antes de liberar un material para un fitomejorador es necesario conocer la interacción genético-ambiental de los materiales que está considerando liberar. En los trópicos por la inmensa variabilidad que se observa tanto en condiciones de clima como de suelo estos factores, se hacen aún más importantes.

La respuesta en rendimiento que observa un material depende de como un determinado genotipo reaccione ante los cambios ambientales, entendiéndose por cambios ambientales todas las variaciones ocurridas por factores como precipitación, suelo, humedad relativa, en un determinado ecosistema.

Actualmente el concepto de estabilidad que está de moda fue el propuesto por EBERHART y RUSSELL que parte del concepto de una ecuación de regresión, con pendiente igual a 1 (uno) $B_i = 1$; es decir, que un genotipo cambia proporcionalmente al promedio de producción de los genotipos evaluados. Esta ha sido la hipótesis nula

planteada en este trabajo; y de acuerdo a esta consideración se hará la discusión, sin embargo, en condiciones de suelos marginales como los de los Llanos Orientales, es donde los mismos no tienen caracteres homogéneos y las condiciones de stress cambian constantemente, es posible que el concepto de estabilidad de $R_i < 1$ sea más apropiado; siempre y cuando el promedio de potencial de rendimiento esté por encima del punto de equilibrio económico.

En este estudio se evaluaron 19 genotipos en múltiples ambientes y nos encontramos desde el principio con la limitante de que no todos los genotipos fueron evaluados en todos los ambientes, es decir que no hubo una línea de investigación definida desde el principio, anotó esto porque es tradicional en los programas de investigación nacionales no ser consecuentes a corto, mediano y largo plazo. Sino lo que siembra depende de si hay o no semilla disponible, de si hay o no tierra disponible, de si se preparó o no a tiempo, de si una persona dispuso o no lo que se había de sembrar. No hubiera sido posible estudiar la estabilidad materiales por el método tradicional de regresión originalmente propuesto.

Sin embargo el método propuesto por DIGBY, permite analizar datos incompletos a través del tiempo y del espacio, partiendo de fijar mínimos de errores aceptables de acuerdo al modelo propuesto por él, lo cual nos permite llegar a una regresión estimada que se ajusta con base en datos observados partiendo de un modelo no lineal por darse un producto entre $B_i * I_i$.

Cuando se analizaron los 19 materiales se encontró que:

El coeficiente de regresión o adaptabilidad (B_i) de todos los genotipos, no difiere significativamente de uno cuando se utiliza un $\alpha = 0.05$ lo que indica, que todos los genotipos se pueden considerar como adaptables (véase Tabla 1).

Se puede afirmar también que la interacción genotipo por ambiente ($G \times A$) es igual a uno, lo que demuestra que:

· Para este caso el modelo de Digby de análisis de regresión conjunto modificado para datos incompletos de variedad por ambiente, mostró un excelente ajuste.

- Todos los genotipos se comportan en forma similar, al variar los ambientes de prueba, expresado en su potencial genético individual de rendimiento.

Esto es explicable debido no solo a la gran diversidad de ambientes, sino también a la gran diversidad de épocas de siembra que se usaron a través del tiempo, donde los genotipos reaccionan muy diferente a los diferentes niveles de concentración de aluminio, a diferentes condiciones de stress por sequía, a diferentes épocas de cosecha, por ejemplo IS-8577 es el genotipo que mejor tolera las altas saturaciones de aluminio, cuando se siembra en un período con suficiente humedad, sin embargo si se siembra tarde y por lo tanto ocurren disminuciones en la producción por stress de sequía, la producción no llega a superar 1.5 tn/ha, siendo incluso superado por genotipos susceptibles como ICA-Nataima, como lo demuestra el apéndice No. 1 donde en el Estoril 87-B ICA-Nataima produjo 1.538 kg/ha contra 1.411 kg/ha de IS-8577 con un 71% de saturación de aluminio (Cuadro 4).

La Tabla 1 nos demuestra la producción, sensibilidad varietal y número de ambientes en que fué evaluado cada genotipo. Si usamos un 6% de probabilidad, en lugar del 5%, MN-4508 sería el único material cuyo coeficiente de adaptabilidad difiere significativamente de 1 (uno). Esto es muy importante si se considera que el genotipo mencionado es "ideal" para los suelos con alta saturación de aluminio como los de los Llanos

Orientales, es a su vez un material con un alto promedio de producción y con un Bi lo más cercano a 0 (cero) posible, dado esto garantizaría a los agricultores un ingreso medio promedio.

TABLA 1. Adaptación de 19 genotipos de sorgo.

Genotipo	Kg/Ha.	Sensi- bilidad (Bi)	Numero de ambientes	Grados Libertad error	t sensi- bilidad	Probabi- lidad de t
IS-8931	1.929.5	1.03088	6	4	0.5495	0.611889
IS-3071	1.898.8	1.04862	9	7	0.4674	0.656249
IS-9084	1.828.5	1.00814	14	12	1.3333	0.207196
MN-4508	1.809.2	0.89077	19	17	-1.9859	0.063411
3 DX	1.804.4	1.12503	10	8	0.8885	0.400198
IS-2765	1.793.6	1.05879	11	9	0.7848	0.452750
IS-8577	1.792.8	0.97048	19	17	-0.4138	0.684161
IS-8933	1.789.8	0.92277	11	9	-1.5184	0.163240
SERERE-1	1.889.3	0.99361	22	20	-0.0724	0.942964
5 DX	1.750.9	1.06955	18	16	0.8531	0.406173
IS-9042	1.732.5	1.00982	5	3	0.1222	0.910495
IS-7151	1.674.3	1.07147	17	15	1.0035	0.331542
IS-6944	1.671.8	1.03991	7	5	0.3694	0.726946
FPQ-2	1.634.9	0.86440	12	10	-0.9025	0.387991
IS-3522	1.512.4	0.87899	16	14	-1.1207	0.281284
IS-10336	1.472.3	1.37999	6	4	1.6261	0.179259
IS-9636	1.418.3	0.86169	7	5	-1.5579	0.179988
IS-9945	1.434.4	1.14052	5	3	1.2228	0.208692
I-NATAIMA	1.116.2	0.74421	13	11	-1.4293	0.180709

Fuente: Propia

FIGURA 2.

COMPARACIONES DE ESTABILIDAD

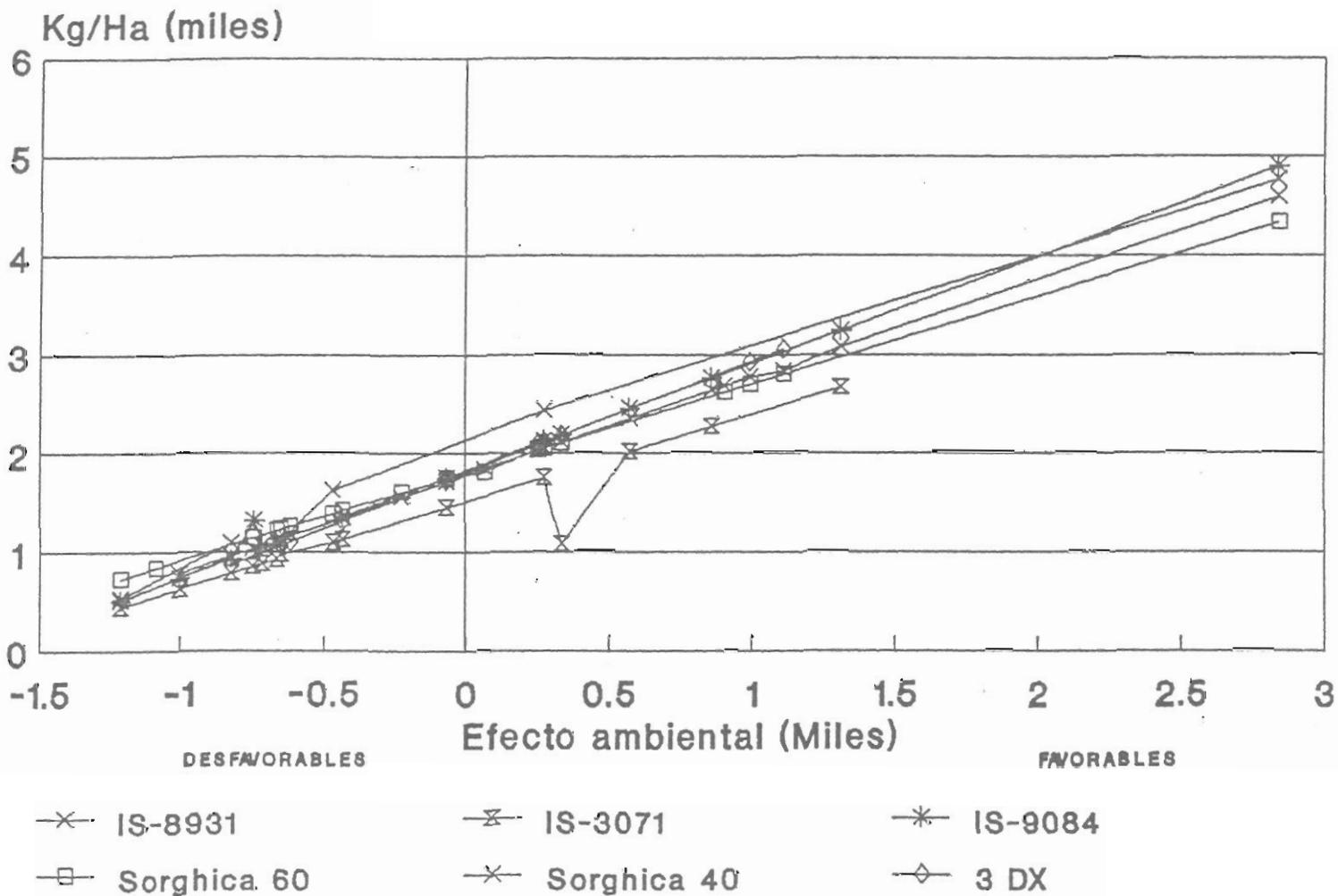


FIGURA 3.

COMPARACIONES DE ESTABILIDAD

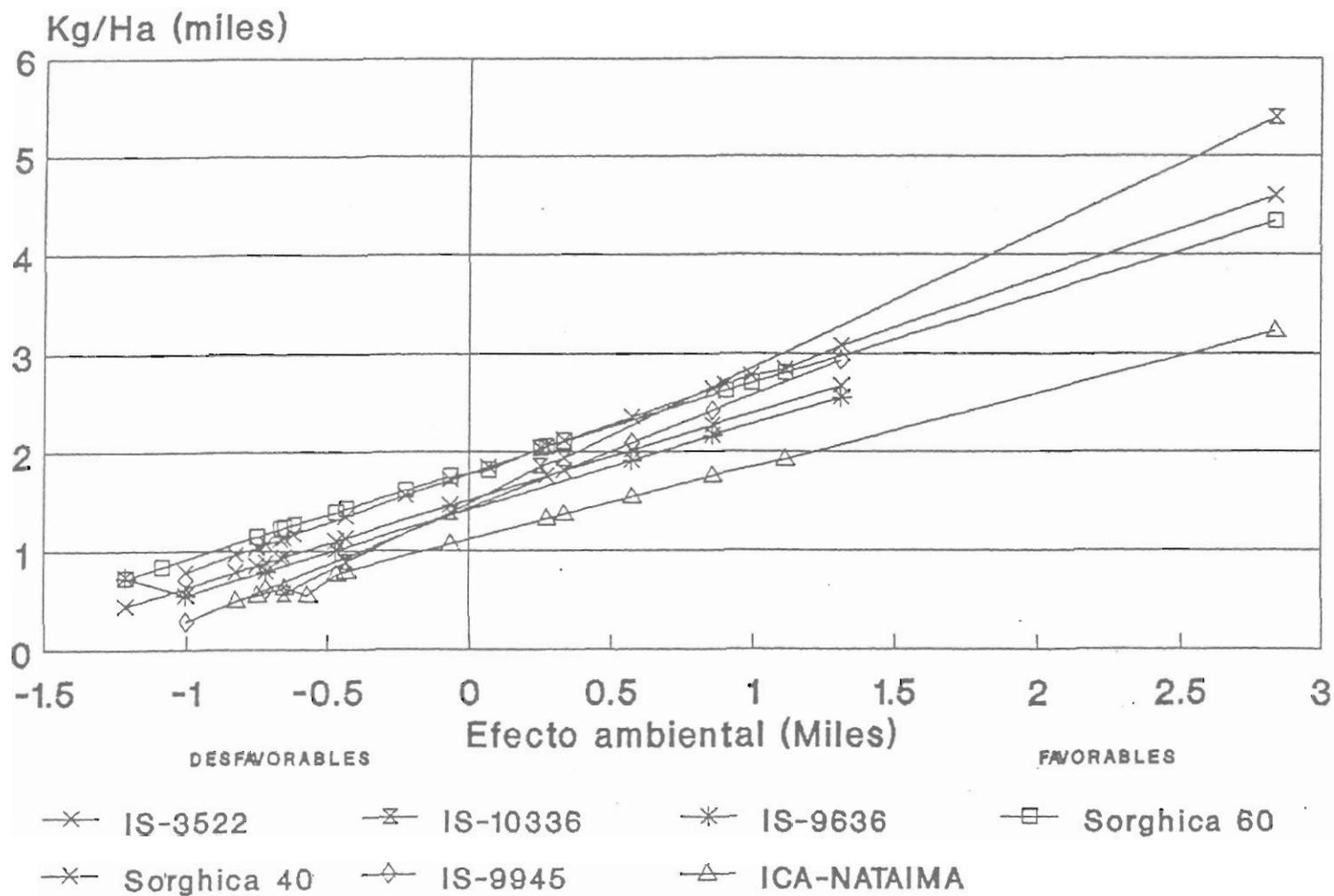
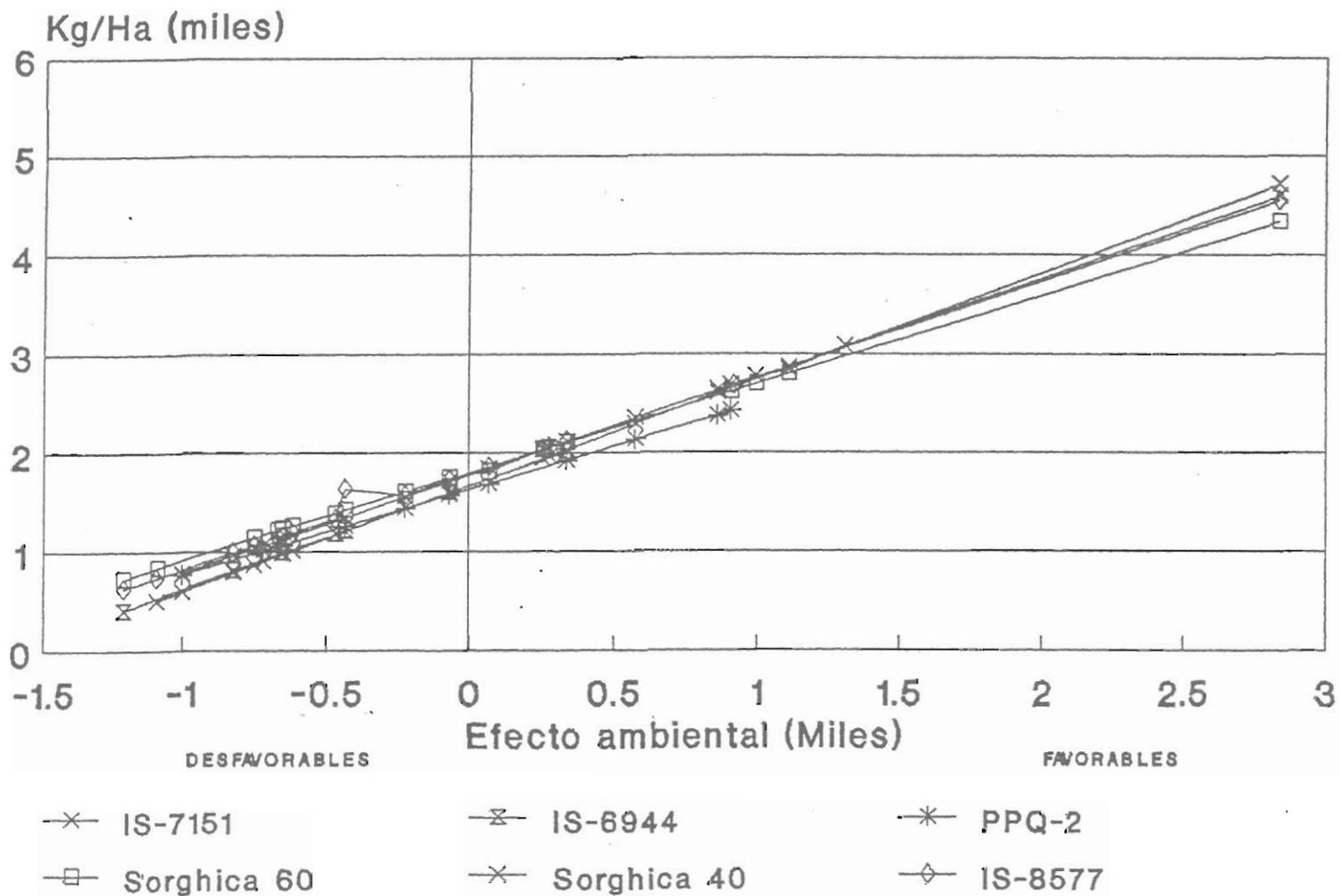


FIGURA 4. COMPARACIONES DE ESTABILIDAD



Para condiciones de Vega o Vegón si considero apropiado el concepto tradicional propuesto por EBERHART y RUSSELL de un $B_i = 1$ dado que la variedad tendría posibilidad de reaccionar proporcionalmente a los cambios ambientales, bajo condiciones de excelentes características agronómicas. Se podría pensar en evaluar un material partiendo del concepto de $B_i > 1$, tal como sería el caso de las vegas del Rio Ariari.

De acuerdo a lo anterior he decidido dividir los genotipos de acuerdo a su coeficiente de sensibilidad (B_i) independientemente de su capacidad de producción. Variedades con $B_i < 1$ MN-4508, PPQ-2, IS-3522, IS-9636 e ICA-Nataima (Testigo ICA) respondieron mejor bajo condiciones de stress, tal como mencionó anteriormente desde el punto de vista estadístico sólo MN-4508 fue diferente de 1 (uno) significativamente. Esta variedad fue evaluada en 19 ambientes y presentó además uno de los promedios más altos de producción (1828 kg/ha) y fue liberada por el ICA para niveles de saturación de aluminio hasta del 60%. Si consideramos los valores expuestos fue una acertada decisión el haber escogido este material para estas condiciones, sin embargo otros genotipos como PPQ-2 con excelentes características agronómicas podría ser evaluado dado que aunque tiene una producción ligeramente menor debida principalmente a su bajo peso de grano adolece de algunos defectos como

FIGURA 5.

COMPARACION DE GENOTIPOS

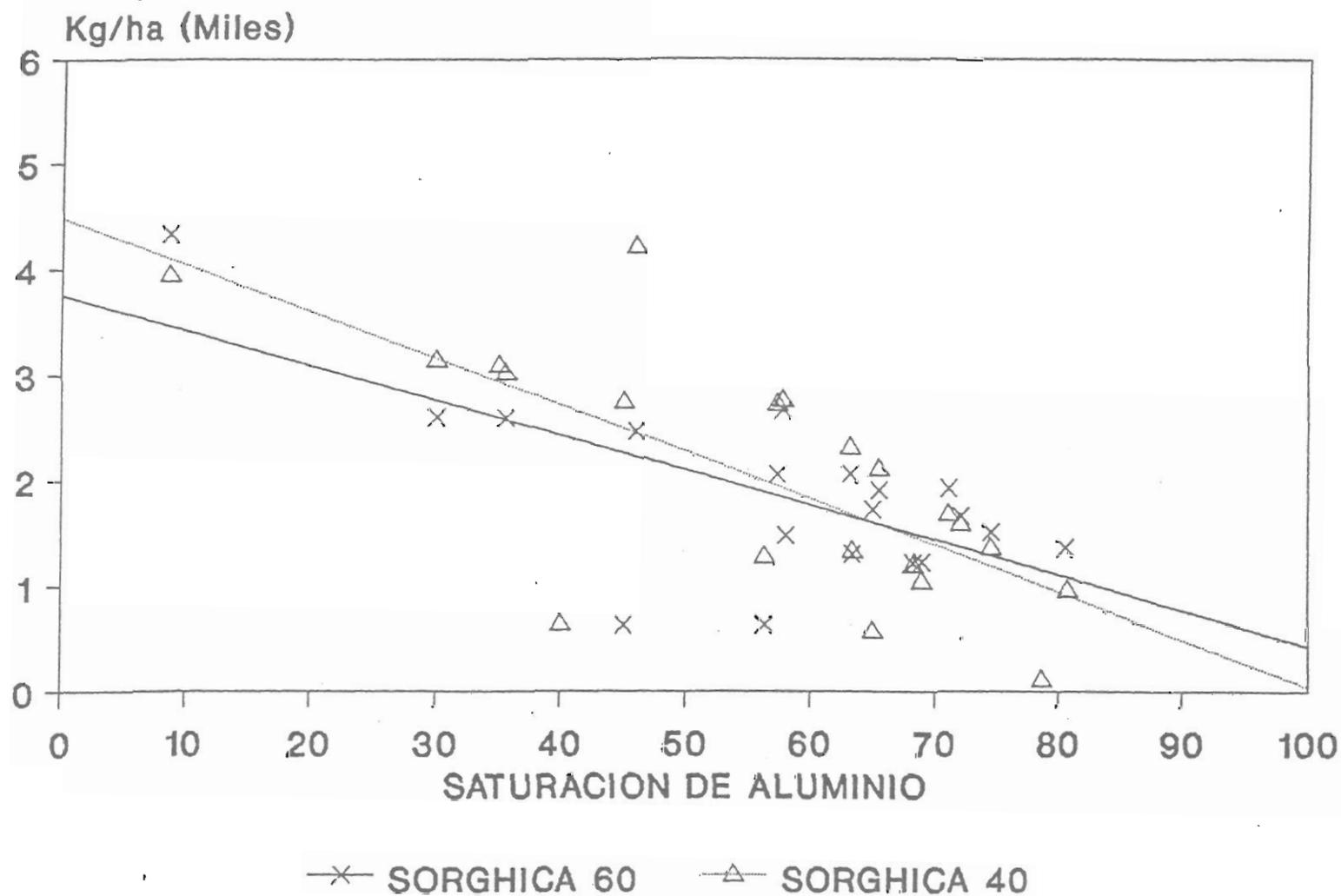
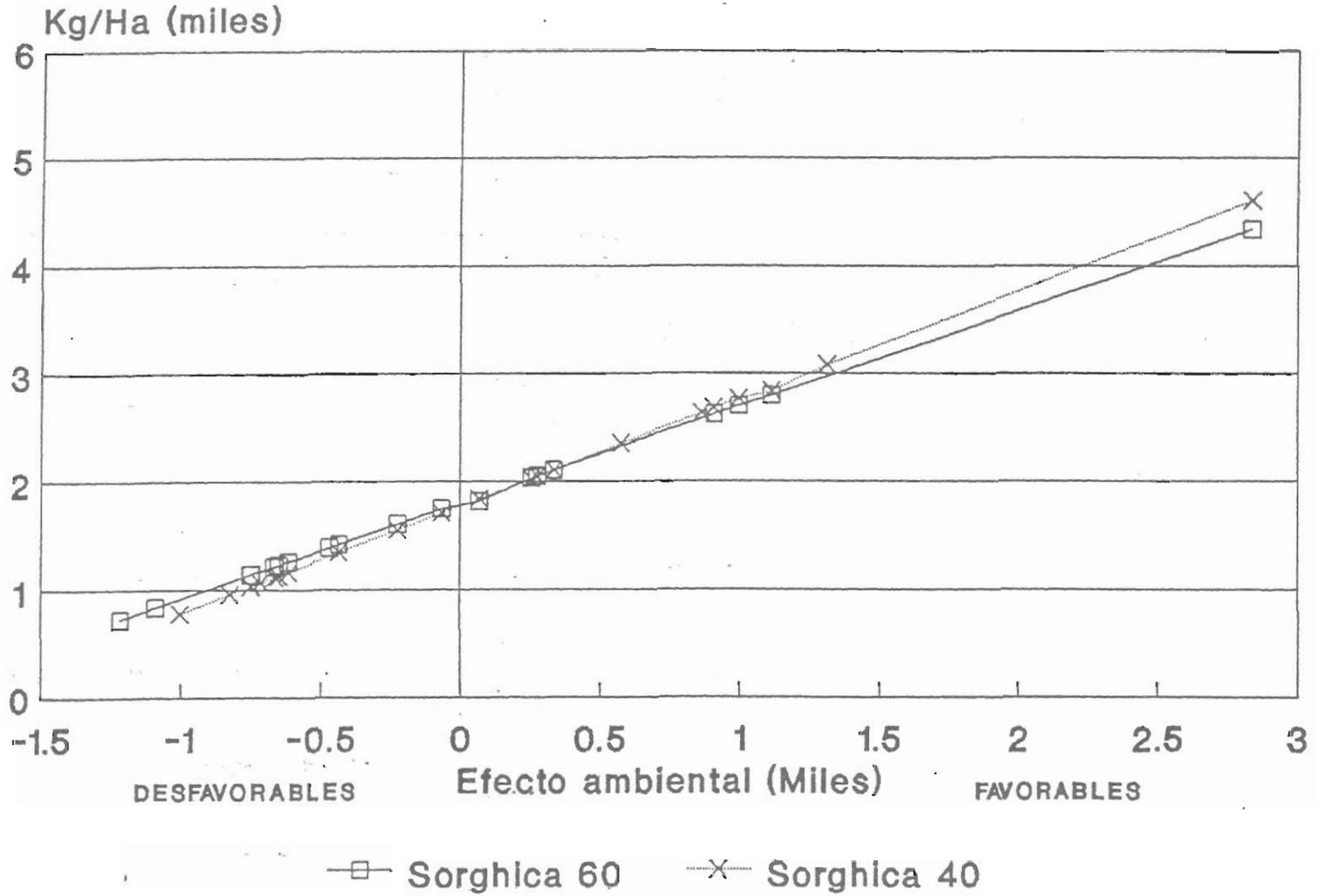


FIGURA 6.

COMPARACIONES DE ESTABILIDAD



altura de planta y días a floración que son negativos a MN-4508 (Informe INTSORMIL 1989). (Cuadro 5).

Para un futuro debe considerarse adecuado en las pruebas regionales (Base para el presente estudio) el evaluar genotipos con $B_i < 1$ en suelos con altas saturaciones de aluminio.

CUADRO 5. Caracteres agronómicos promedio de los genotipos

Genotipo	Altura (cms)	Días a floración
Ica Nataima	113	58
IS-9636	146	65
IS-9945	158	63
IS-9084	161	63
FPQ-2	166	58
MN-4508 (Sorghica Real 60)	200	65
IS-8931	188	65
IS-10336	169	59
3DX	174	60
IS-8577	177	58
SERERE-1 (Sorghica Real 40)	168	56
5DX	197	65
IS-2765	201	60
IS-8933	207	60
IS-3522	212	63
IS-7151	212	59
IS-9042	215	58
IS-3071	222	60
IS-6944	229	60

Informe de las actividades de investigación INTSORMIL 1989. Cali Colombia. CIAT.

Genotipos con $B_i = 1$

Nueve (9) variedades presentan valores de $B_i < 1.1$, desde el punto de vista tradicional. Estas variedades son ideales para suelos de vega, entonces el factor que se debe considerar es la variedad que tiene el promedio de producción más alto.

En este estudio IS-8931 presentó el promedio de producción más alto superando en promedio en más de 200 kg/ha a SERERE-1 (Sorghica real 40), sin embargo este último fue probado en 22 ambientes, mientras que IS-8931 sólo en 6 ambientes. Dado que SERERE-1 tiene menor altura de planta y menos días a floración puede considerarse también que fue correcta la decisión de liberarla, para suelos con bajas saturaciones de aluminio.

En estas condiciones debe procurarse que el nivel de saturación de aluminio no limite la expresión máxima del potencial de producción de cada genotipo, dado que la variedad responderá proporcionalmente a los ambientes positivos, fertilización adecuada será también un importante factor a tener en cuenta por que buenas características agronómicas son un requisito indispensable para los genotipos evaluados a estas condiciones.

Genotipos con $B_i > 1$

Aunque en este estudio ninguna variedad fue significativamente diferente de 1 (uno) sólo como ejemplo utilizaré 3 (tres) genotipos que presentaron un $B_i > 1.10$ son 30X, IS-10336 e IS-9945, estos materiales evaluados responden bien a ambientes favorables, deben ser por tanto genotipos con altísima capacidad de producción, es requisito para lograr esto que los genotipos evaluados respondan bien a altos niveles de fertilización con suelos con bajas saturaciones de aluminio, por tanto es fundamental que estos materiales posean buenas características agronómicas con el fin de evitar volcamiento o exceso de altura de planta debido a fertilización nitrogenada.

Con base en los datos de mi estudio ninguno de los genotipos responde en forma adecuada en este subgrupo.

SELECCION DE AMBIENTES DE PRUEBA

No existe una definición clara de dónde, cuándo y cómo hacer las pruebas regionales, especialmente en ambientes como los de los Llanos Orientales, las localidades donde se realizan las pruebas son asignadas al azar, sin siquiera tener por adelantado en la mayoría de los casos el análisis de suelos, tampoco los genotipos que entran

a pruebas regionales tienen claramente definido su rango de adaptación dado que los viveros de mejoramiento se mueven indiscriminadamente entre los diferentes niveles de saturación de aluminio.

Con base en este estudio he podido comprobar que existen variedades que han sido evaluadas principalmente en ambientes malos o desfavorables como IS-6944 que se evaluó en un 85% en dichos lugares. Otros en cambio como SERERE-1 (Sorghica real 40) se evaluaron proporcionalmente (50% y 50%) ambientes favorables y desfavorables. También es citable que otros materiales como IS-8933 se evaluó en un 63% en ambientes favorables (Tabla 2).

Otros materiales como IS-6944 e IS-8577 fueron castigados al presentar evaluaciones, del 85.7% y 63% en ambientes desfavorables; es decir se puede esperar mas en términos de rendimiento, en ambientes de menor stress.

Sugiero por tanto que para el futuro, el hecho que desde la etapa de materiales segregantes se tenga muy claro con qué objetivo de mejoramiento y para qué nivel de saturación de aluminio se está mejorando.

Un procedimiento podría ser, si llega material segregante dividir este en tres (3) partes y segregarlas

independientemente para cada nivel de saturación de aluminio, manteniendo los viveros independientes y efectuando las pruebas regionales de acuerdo a los objetivos de mejoramiento para cada nivel de saturación, por ejemplo:

Para el nivel 1 de saturación de aluminio, deben evaluarse los genotipos especialmente en vegas y zonas altamente mercanzadas, donde sea posible usar técnicas adecuadas de manejo con objetivos de producción superiores a las 3.5 tn/ha, con eso sí buenas características agronómicas con lo que es posible usar tecnologías de altos insumos.

Para el nivel 2 de saturación de aluminio debe usarse tecnologías de bajos insumos y el principal limitante agronómico a mejorar debe ser altura de planta, dado que es en este nivel donde se presenta la máxima interacción genética ambiental para este carácter. Por lo tanto los genotipos evaluados deben ser muy estables y preferiblemente tener 2 genes para enanismo, así mismo los objetivos de producción deben estar orientados a un $R_i = 1$ y las producciones deben ser superiores a la 3 tn/ha tratando de minimizar los costos de producción.

En el Nivel 3 de saturación de aluminio debe procurarse el máximo de adaptabilidad de la planta al medio por presentarse el stress máximo, los riesgos de producción son máximos también, por tanto tecnología de bajos

FIGURA 7.

Porcentaje de Prueba segun efecto del ambiente

GENOTIPOS

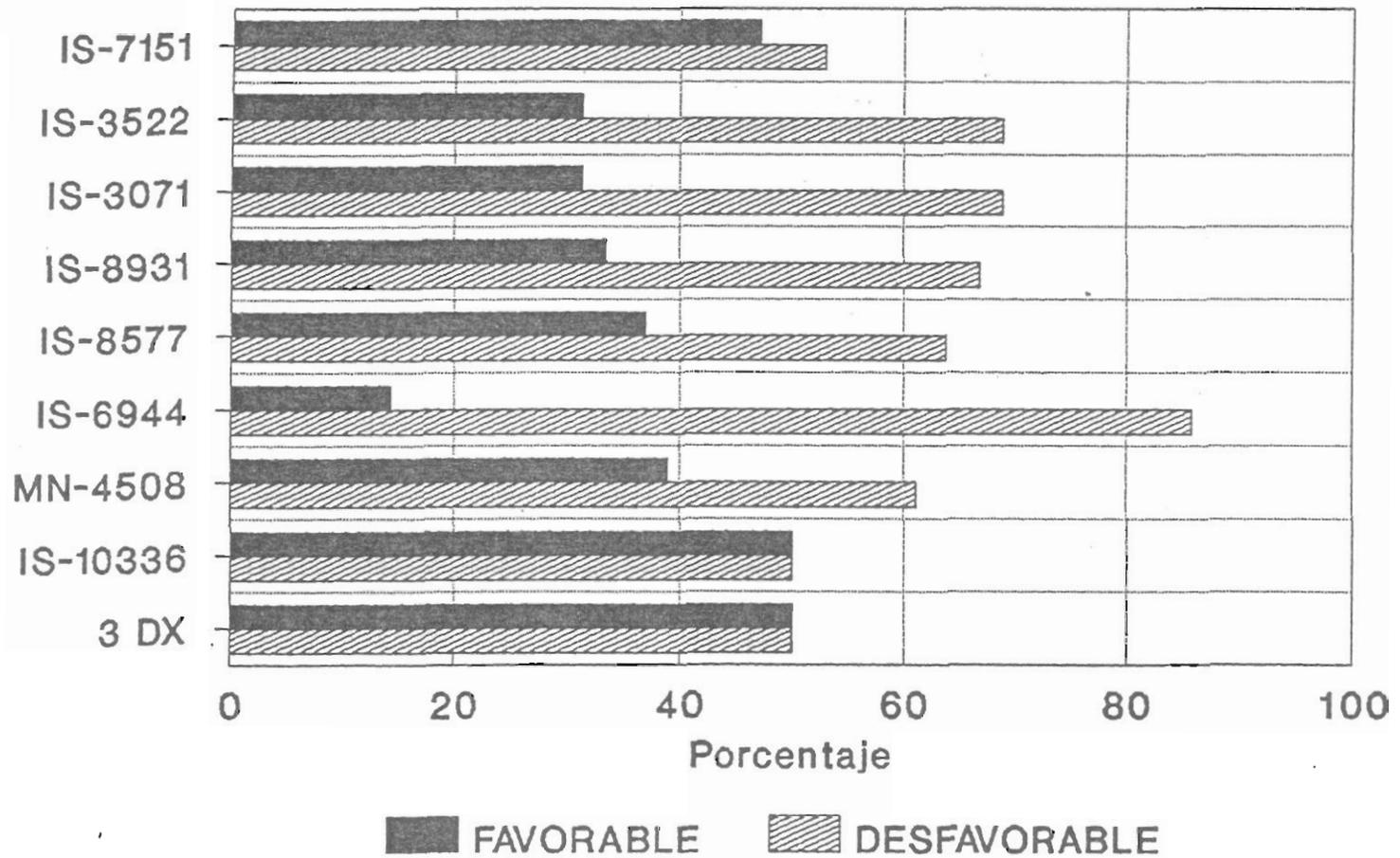
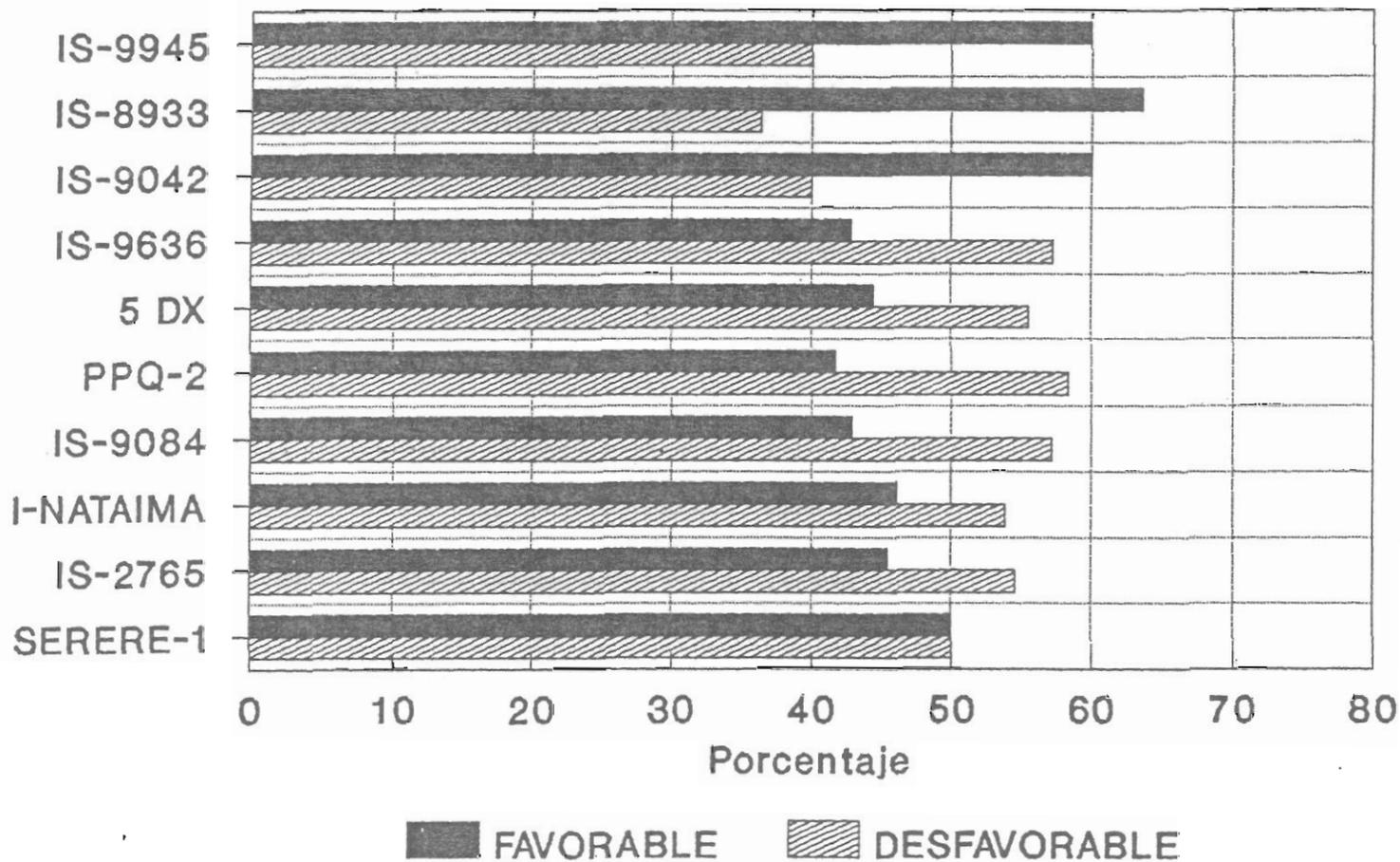


FIGURA 8.

Porcentaje de Prueba segun efecto del ambiente

GENOTIPOS



insumos debe ser un requerimiento fundamental, para minimizar los riesgos económicos.

TABLA 2. Porcentaje de prueba según efecto del ambiente.

Genotipo	Ambiente Favorable %	Ambiente Desfavorable %
IS-9945	60,00	40,00
IS-8933	63,63	36,37
IS-9042	60,00	40,00
IS-9636	42,80	57,20
5 DX	44,44	55,56
PPQ-2	41,66	58,34
IS-9084	42,86	57,14
ICA-NATAIMA	46,15	53,85
IS-2765	45,45	54,55
SERERE-1	50,00	50,00
IS-7151	47,05	52,94
IS-3522	31,25	68,75
IS-3071	31,25	68,75
IS-8931	33,33	66,67
IS-8577	36,84	63,16
IS-6944	14,29	85,71
MN-4508	38,88	61,11
IS-10336	50,00	50,00
3 DX	50,00	50,00

Fuente: Propia

TABLA 3. Sensibilidad varietal (Parámetros estimados)

Genotipo	Rendimiento kg/ha	Sensibilidad Bi Coeficiente de regresion
IS-8931	1.929,45	1.03088
IS-3071	1.898,80	1.04862
IS-9084	1.828,45	1.08148
MN-4508	1.809,19	0.89077
3 DX	1.804,41	1.12503
IS-2765	1.793,62	1.05879
IS-8577	1.792,80	0.97048
IS-8933	1.789,84	0.92277
SERERE-1	1.778,31	0.99361
5 DX	1.750,99	1.06955
IS-9042	1.723,48	1.00982
IS-7151	1.674,28	1.07147
IS-6944	1.671,76	1.03991
PPQ-2	1.634,99	0.86440
IS-3522	1.512,38	0.87899
IS-10336	1.472,29	1.37999
IS-9945	1.434,40	1.14052
IS-9636	1.418,32	0.86169
ICA-NATAIMA	1.116,24	0.86169

Fuente: Propia

FIGURA 9. SENSIBILIDAD VARIETAL

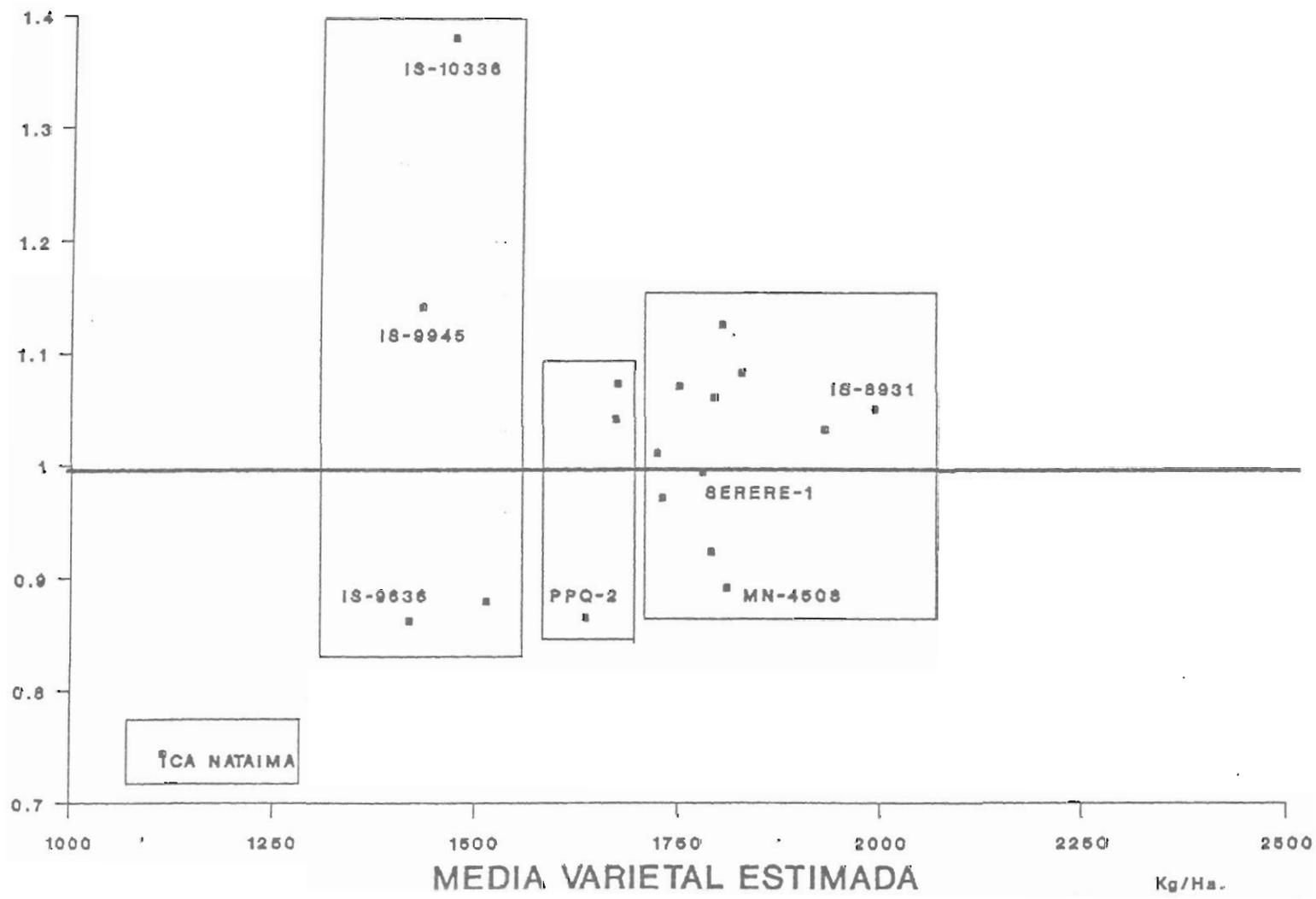


TABLA 4. Estimación y error del efecto ambiental (AMBIENTES DESFAVORABLES)

Ambientes	Semestre año	Indice Ambiental Ij	STD	t	Proba- bilidad de t	GL
SIALL	89 B	-1.214.8	109.151	-11.129	0.000000	182
Pto. Colombia	88 B	-1.090.2	193.970	-5.620	0.000000	182
Loma	89 B	-1.001.6	143.830	-6.964	0.000000	182
Pto. Colombia	88 A	-929.9	375.437	-2.477	0.014167	182
Libertad	86 B	-823.9	94.927	-8.680	0.000000	182
Libertad	85 B	-752.3	131.478	-5.722	0.000000	182
Libertad	86 A	-748.0	181.992	-4.110	0.000060	182
Unillanos	89 B	-719.3	105.505	-6.817	0.000000	182
Libertad	88 B	-667.6	131.727	-5.068	0.000001	182
Libertad	87 B	-653.1	93.639	-6.974	0.000000	182
Paratebueno	84 B	-620.2	117.050	-5.298	0.000000	182
SIALL	89 A	-473.0	106.309	-4.449	0.000015	182
Meta	87 B	-473.6	97.806	-4.474	0.000013	182
Pto.Lopez	88 A	-227.0	177.135	-1.282	0.201631	182
Estoril	87 B	- 69.8	93.639	-0.745	0.457288	182

Fuente: Propia

TABLA 5. Estimación y error del efecto ambiental (AMBIENTES FAVORABLES)

Ambientes	Semestre año	Indice Ambiental Ij	STD	t	Proba- bilidad de t	GL
Granada	85 B	+2.838.3	106.314	26.910	0.000000	182
Estoril	89 A	+1.309.2	109.373	11.971	0.000000	182
Yopal	84 B	+1.112.1	113.475	9.801	0.000000	182
Libertad	83 B	+994.5	162.769	6.110	0.000000	182
Libertad	87 A	+917.3	338.118	2.713	0.007310	182
Libertad	88 A	+905.6	207.751	4.359	0.000022	182
Guamal	89 A	+859.5	102.915	8.352	0.000000	182
Unillanos	89 A	+572.1	102.915	5.559	0.000000	182
San Martin	87 B	+331.8	93.639	3.543	0.000502	182
Libertad	84 B	+272.1	90.078	3.021	0.002885	182
Libertad	84 A	+250.4	125.298	1.999	0.047117	182
Apiay	88 A	+ 65.1	177.135	0.368	0.713624	182

Fuente: Propia

Como se había mencionado anteriormente, estos materiales se pueden cultivar en los dos semestres del año; pero según mi estudio son mas favorables las condiciones ambientales en el semestre A (Ver figura No. 10).

FIGURA 10. SEMESTRES DE SIEMBRA

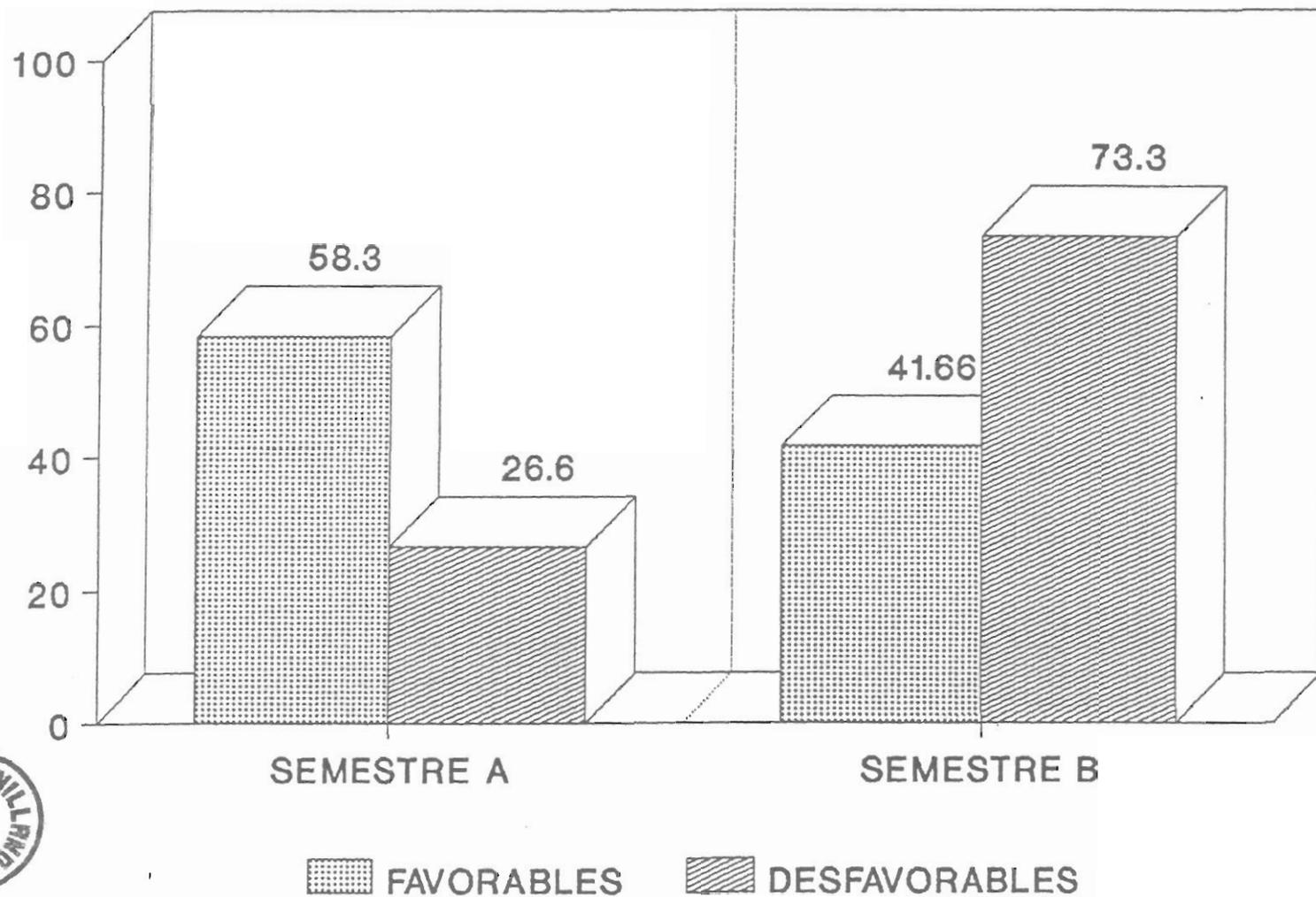
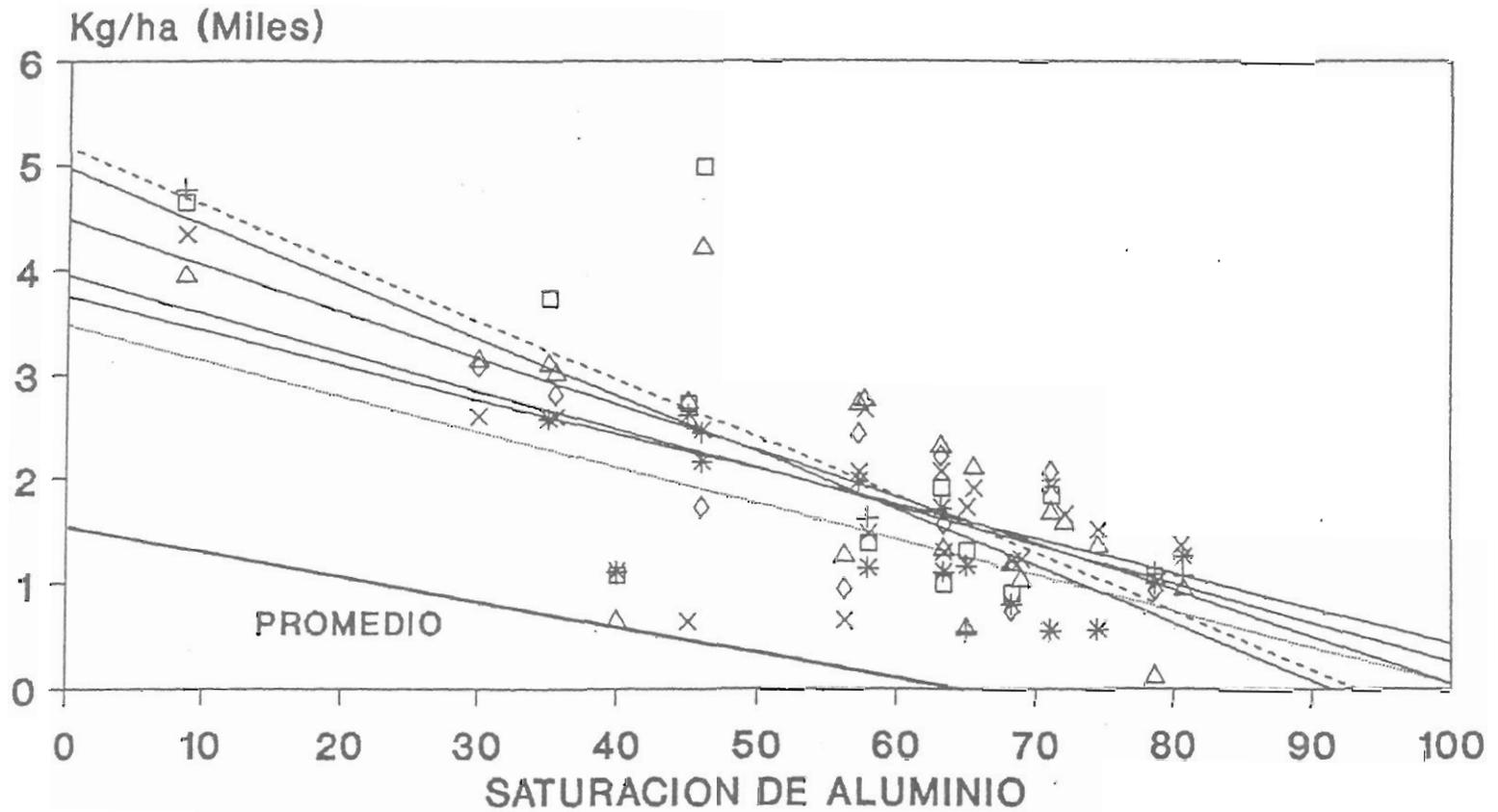


FIGURA 11.

COMPARACION DE GENOTIPOS



+ IS-8931

* IS-3071

-□- IS-9084

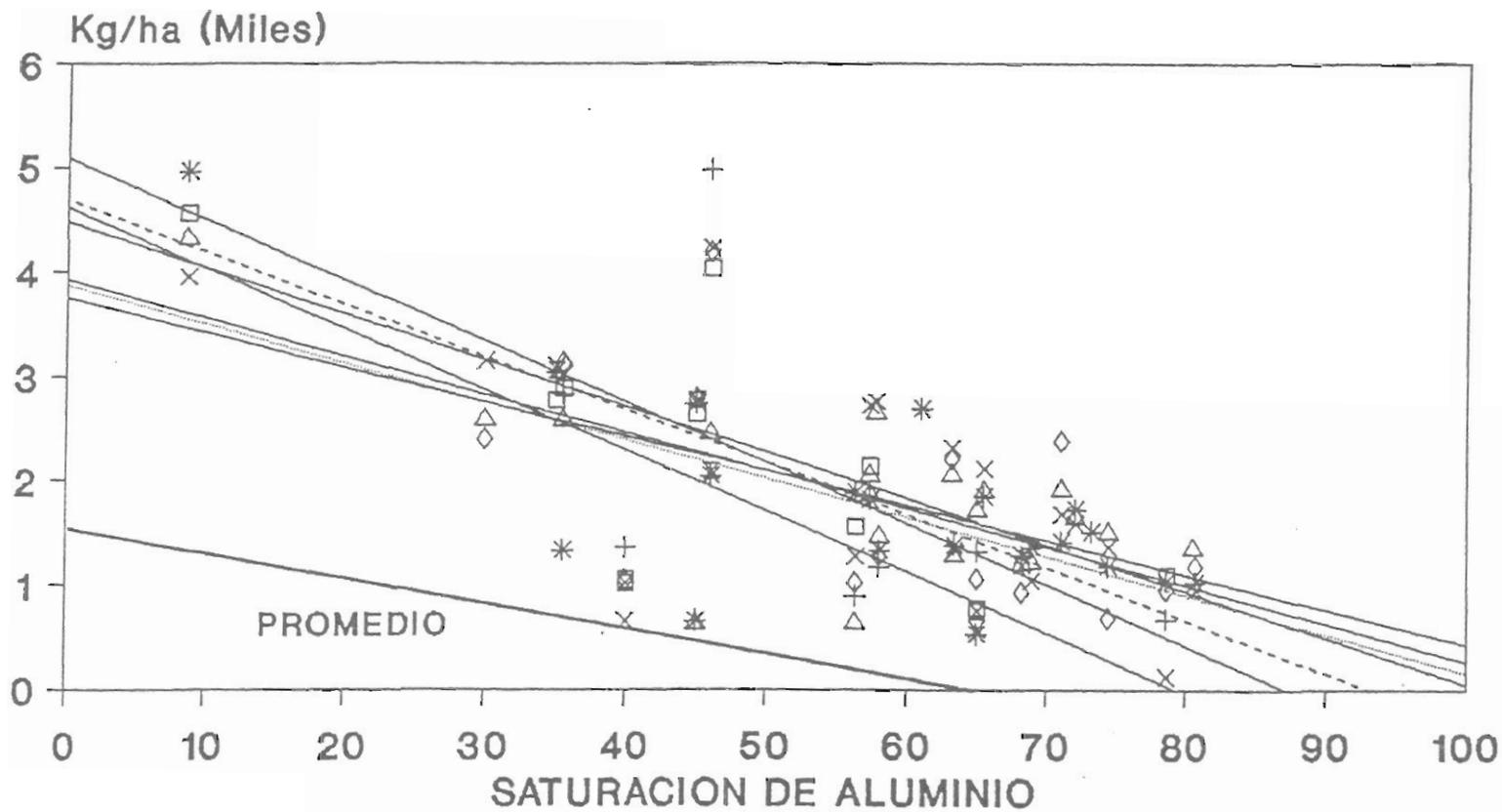
× SORGHICA 60

◇ 3 DX

-△- SORGHICA 40

FIGURA 12.

COMPARACION DE GENOTIPOS



- | | | | |
|-------------|-----------------|-------------|-----------------|
| —+— IS-2765 | —*— IS-8577 | —□— IS-8933 | —x— SORGHICA 40 |
| —◇— 5 DX | —△— SORGHICA 60 | —⊠— IS-9042 | |

FIGURA 13.

COMPARACION DE GENOTIPOS

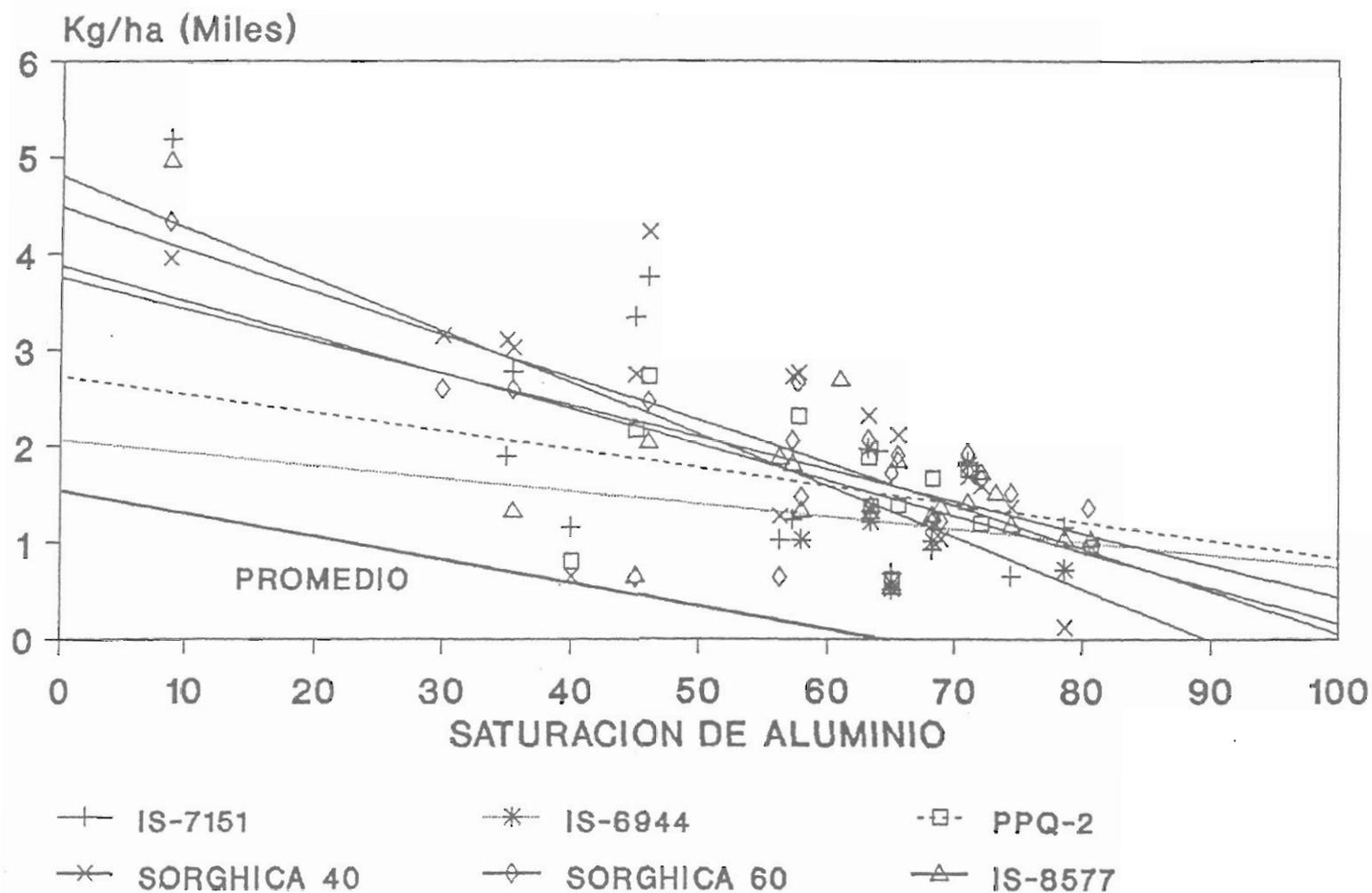
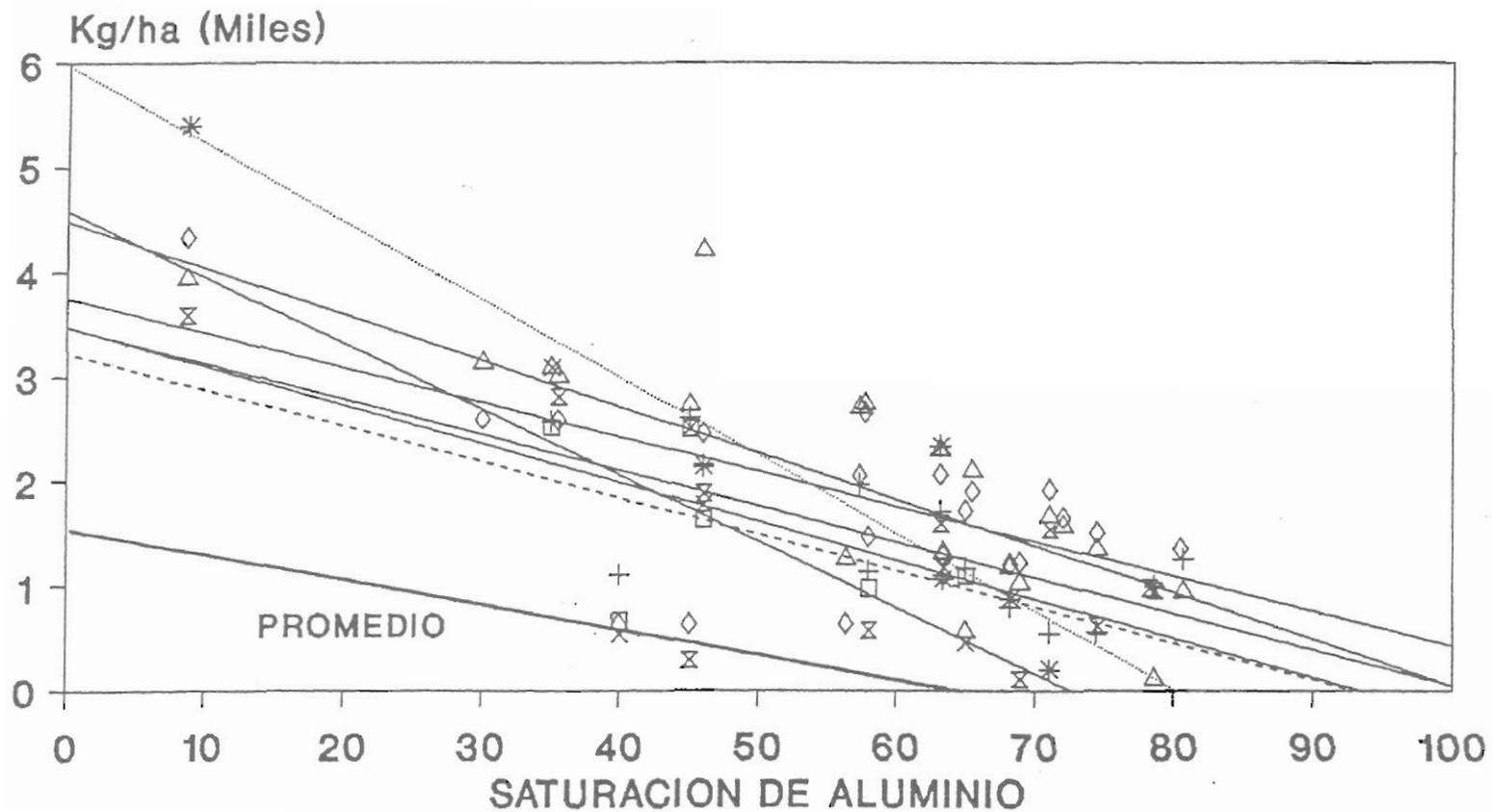


FIGURA 14. COMPARACION DE GENOTIPOS



+ IS-3522	* IS-10336	-□- IS-9636	-x- IS-9945
◇ SORGHICA 60	△ SORGHICA 40	-x- ICA NATAIMA	

GENOTIPOS

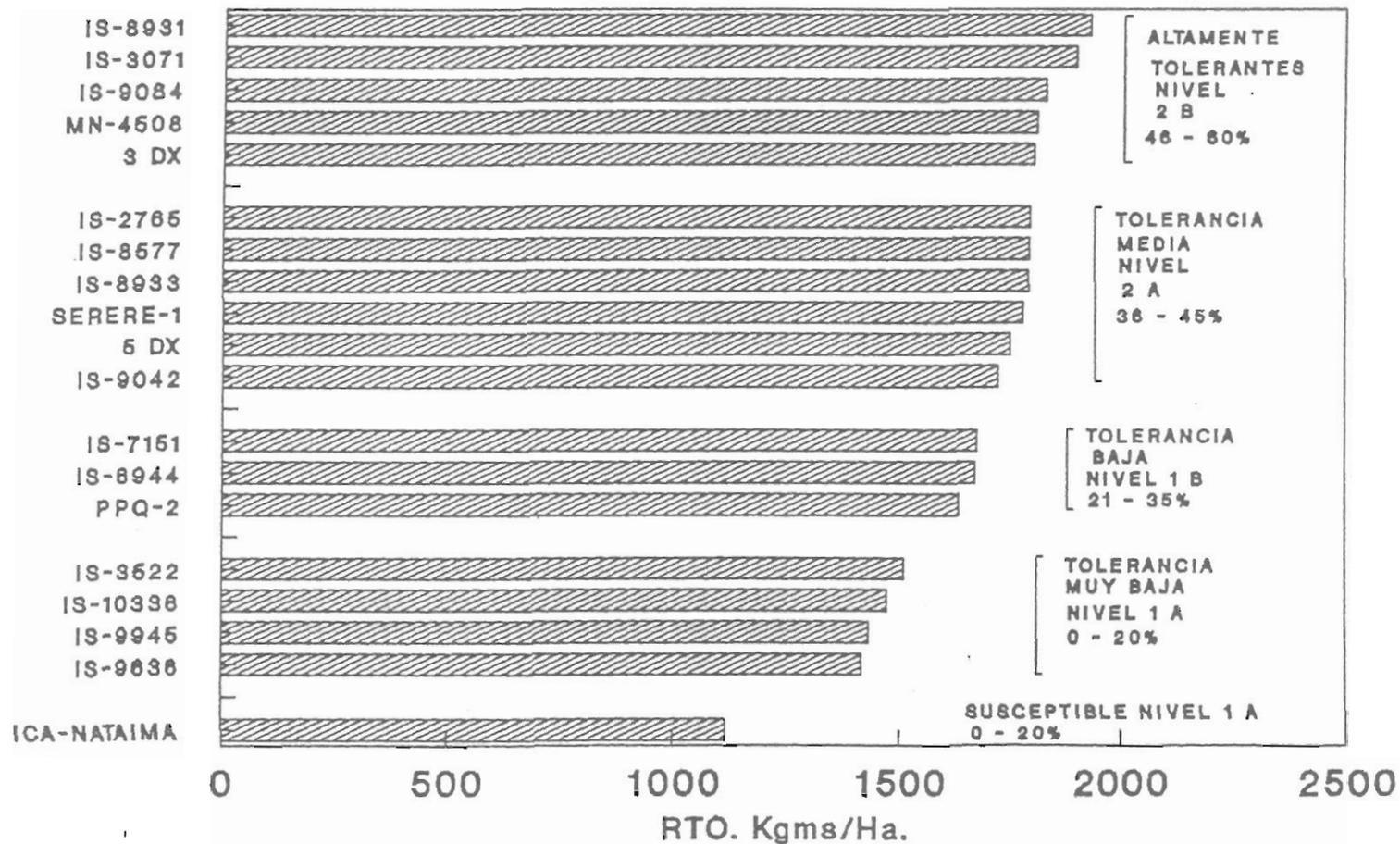
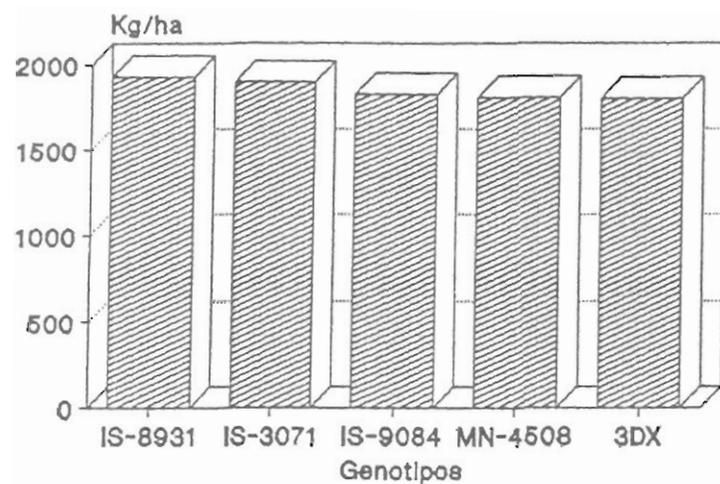
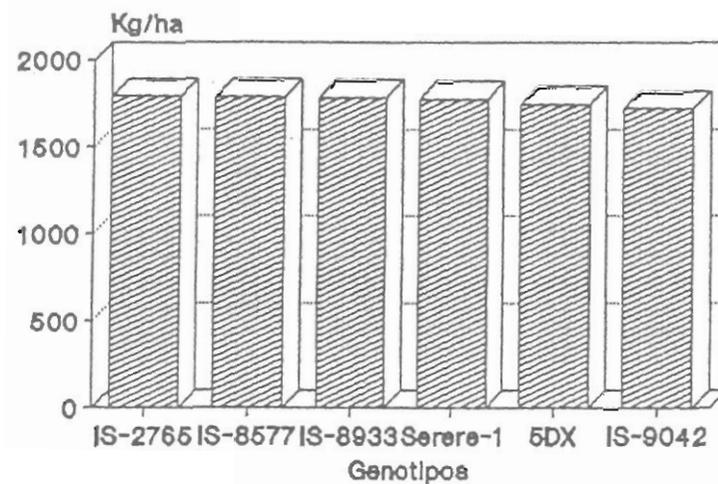


FIGURA No. 15 Tolerancia diferencial con una saturación media de 56.05% de Aluminio en todos los ensayos

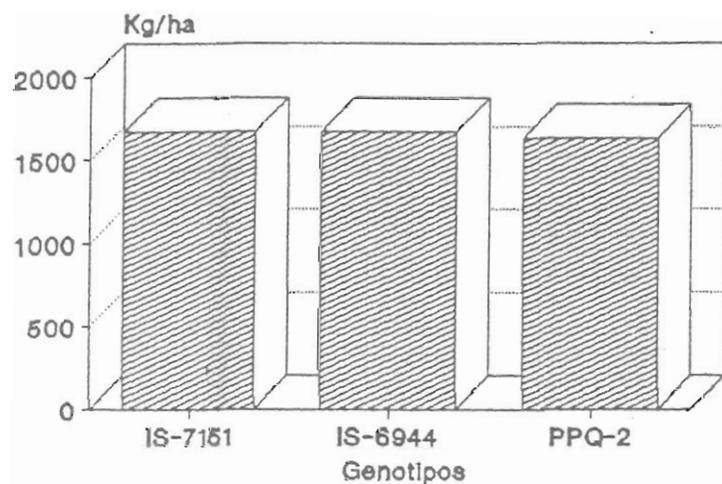
FIGURA 16. Aspecto económico.



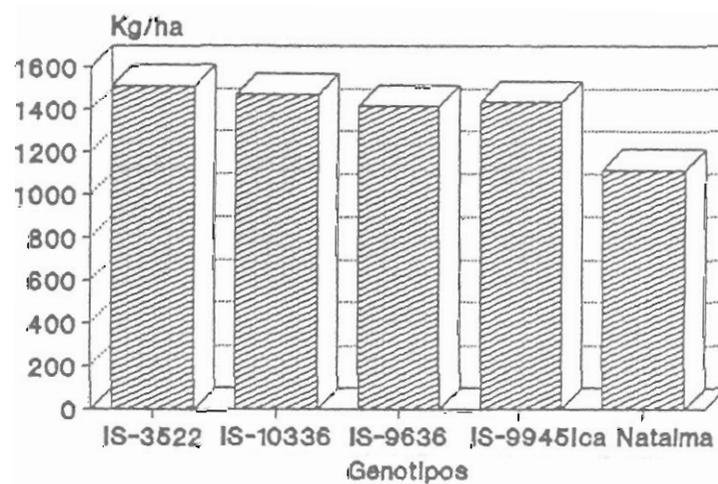
Equilibrio Económico



Equilibrio económico



Cercanas al equilibrio económico



Cercanas al equilibrio económico

BIBLIOGRAFIA

- ALLARD, R. W. Roles of genotype and environment in continuous variation. In : Principles of plant Breeding. N.Y. : John Wiley, 1960. pp. 89-98.
- ALLARD, R. W. and BRADSHAW, A. D. Implications of genotype environment interactions in applied plant breeding. In : Crop. Sci. No. 4. (1964). pp. 503-507.
- BECKER, H. C. Correlations among statistical measures of phenotypic stability. In : Euphytica. No. 30. (1981). p. 835.
- BOYE-GONI, S. R. and MARCARIAN, V. Duallel analysis of aluminium tolerance in selected lines of gran sorghum. In: Crops Science Vol. 25. No. 5. (1985). pp. 749-752.
- CAMBRAIA, J. et al. Effects of aluminium on organic acid, sugar and amino acid composition of the root system of (Sorghum bicolor (L) Moench). In: Journal of Plant Nutrition. Vol. 6. No. 4. (1983). pp. 313-321.
- . The physiology of metal toxicity in plants. In : Annual Review of plant Physiology. No. 29. (1987). pp. 511-566.
- CARABALLO, A. y MARQUEZ, F. Comparación de variedades de maiz de el Bajío y La mesa Central por su rendimiento y estabilidad. En : Agrociencia. Vol. 5 No. 1. (1970) pp. 129-146.
- CLARK, R. B. Mineral nutrition factors reducing sorghum yields micronutrients and acidity. In : Sorghum in the eighties Proceeding if International Symposium on sorghum. Pantancheru Andra Pradesh. India, ICRISAT. (1982). pp. 188 - 197.
- COMSTOCK, R. E. and MOLL, R. H. Genotype environment interactions In : Nat. Acad. Sci. Nat. Res. Coun. Pub. No. 982. (1963). pp. 164-196.
- . Differential aliminium and manganese tolerance of plant species and varieties in acid soils. In : Ciencia y Cultura. Vol. 28. No. 2. (1976). pp. 150 - 155.

- DIGBY, F. G. N. Modified joint regression analysis for incomplete variety per environment data. In : Journal of Agriculture Science, Cambridge, Vol. 93. (1979). pp. 81 - 83.
- EBERHART, S. A. and RUSSELL, W. A. Stability parameters for comparing varieties. In : Crop. Sci. No. 6. (1966). pp. 36-40.
- ELIOT, F. C. *Fitogenética y mejoramiento de las plantas*. México : Continental, 1964.
- FARIS, M. A. et al. Stability of sorghum midge resistance. In : Crop Science. Vol. 19 No. 5. (1979). pp. 577-580.
- FINLAY, K.W. and WILKINSON, G. N. The analysis of adaptation in a plant-breeding programme. In : Aust. J. Agric. Res. No. 14. (1963). p. 742-754.
- FOY, C. D et al. Differential aluminium tolerance of wheat varieties associated with plant-induced pH changes around their roots, soil science. In: Soc Am. Proc. Vol. 29. No. 1. (1985). pp. 64-67.
- FOY, C. D. Differential aluminium and manganese tolerance of plant species and varieties in acid soils. In: Ciencia y Cultura. Vol. 28. No. 2. (1976). pp. 150 - 155.
- FREEMAN, G. H. Analysis of interaction in incomplete two-way tables. Applied Statistics. No. 24. (1975). pp. 46-55.
- FRANCIS, C. A. et al. Yield stability of sorghum hybrids and random-mating populations in early and late planting dates. In : Crop. Science. Vol. 24. No. 6. (1984). pp. 1.009-1.112.
- GOMEZ, et al. Aluminium effects on uptake and translocation of plant nutrition in Sorghum bicolor L. Moench. Vol. 8 No. 6. (1985). pp. 457-465.
- GRAFIUS, J. E. Components of yield in oats : A geometric interpretation. In : Agron. J. No. 48. (1956). pp. 419-423.
- GOURLEY, L. M. Finding and utilizing exocytic al-tolerant sorghum germoplasm. In : Sorghum for acid soils. International Center for Tropical Agriculture (CIAT) Cali-Colombia. (1987). pp. 293-302.
- GUERRIER, G. Relation between sorghum root system and aluminium toxicity. In : Journal of plant nutrition.

Vol. 5. No. 2. (1982). pp. 123 - 136.

HEINRICH, G. M. et al. Stability of grain sorghum yield components across diverse environments. In ; Crop. Science. Vol. 23. No. 2. (1983). pp. 209-212.

-----, Inheritance of aluminium tolerance in sorghum under field conditions in Colombia. Tesis. (Doctor of Philosophy). Departament of Agronomy, Faculty of Mississippi State University. 1988. pp. 2-3; 5-9.

JONES, D. F. Heterosis and homeostasis in evaluation and in applied genetics. In: Am. Nat. No. 92 (1958). pp. 321 - 328.

KAMPRATH, E. J. Exchangeable aluminium as a criterium for liming leach mineral soil. In : Soil Sci. Soc. Amer. Prov. (1972). pp. 252-254.

LIN, C. S., et al. Stability analysis : Where do we Stand?. In : Crop. Science. Vol. 26. No. 5. (1986). pp. 894 - 900.

MARTINEZ, O. Interacción genotipo por ambiente y métodos para su estimación. Conferencias del curso de genética cuantitativa (mimeografiado). Bogotá : Universidad Nacional, Facultad de Agronomía, 1989. p. 6.

MOLL, R. H. and STUBER, C. S. Quantitative genetics-empirical result relevant to plant breeding. In : Adv. Agron. No. 26. (1974). pp. 277-313.

MUÑOZ A. G., Guillermo. Efecto de tres dosis de nitrógeno sobre los descriptores varietales del arroz. Bogotá, 1983. Tesis. (Magister Scientiae). Programa de estudios para graduados en ciencias agrarias. U.N. - ICA. pp. 12-16.

MUÑOZ A. G. et al. Descriptores varietales : Arroz, Frijol, maíz y sorgo. Cali : CIAT, 1990. pp. 135.

OWEN, E. J. y SANCHEZ, L. F. Uso y manejo de los suelos de parte plana del Departamento del Meta. Bogotá: ICA, 1979. p. 40.

PANDEY S. y VARGAS, J. E. La interacción genotipo-medio ambiente y su importancia en el mejoramiento intrapoblacional de las plantas cultivadas. I Congreso Colombiano y VII Latinoamericano de Agronomía. (1985).

- PAFTTERSON, H. D. Routine least-squares estimation of variety means, in incomplete, tables. In : Journal of the National Institute of Agricultural Botany. No. 14. (1978). pp. 385-400.
- RENDON W. de J. Estudio de adaptación y posibilidad económica de Materiales de Sorgo Sorghum bicolor (L) Moench. Tolerantes a la toxicidad de aluminio en un oxisol de los Llanos Orientales. Tesis Universidad Nacional de Palmira. (1989)
- SAEED, Mohammad and FRANCIS, C. A. Yield stability in relation to maturity in grain sorghum. In : Crop. Science. Vol. 23. No. 4. (1983). pp. 685-687.
- SALINAS, J. A. Adaptación de plantas a toxicidades de aluminio y manganeso en suelos ácidos. En : Sociedad Colombiana de la ciencia del suelo, Fertilidad del Suelo, Diagnóstico y Control. Bogotá. (1980). pp. 399 - 416.
- SANCHEZ, L. F. Aspectos sobre acidez y enclamiento. Villavicencio : ICA, 1981. p. 21.
- YATES, F. and COCHRAN, W. C. The analysis of groups of experiments. In : Journal of agricultural Science, Cambridge. No. 28. (1983). pp. 556-580.

APENDICE 1

1. IS-9945

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	89A	3081,46	2927,62	1309,2
Guamal	89A	2503,33	2414,73	859,5
Unillanos	89A	1770,84	2086,89	572,1
Unillanos	89B	532,50	614,05	-719,3
Loma	89B	447,25	292,08	-1001,6

2. IS-8933

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	89A	2764,31	2997,97	1309,2
Granada	85B	4560,00	4408,97	2838,3
Libertad	84A	2122,00	2020,94	250,4
Libertad	84B	1983,67	2040,93	272,1
Libertad	86B	1086,00	1029,52	-823,9
Paratebuena	84B	1553,00	1217,57	-620,2
Yopal	84B	2877,00	2816,07	1112,1
Guamal	89A	2639,05	2583,00	859,5
Unillanos	89A	2038,43	2317,76	572,1
Unillanos	89B	1037,25	1126,11	-719,3
Loma	89B	763,75	865,62	-1001,6

3. IS-9042

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	89A	3054,05	3045,58	1309,2
Guamal	89A	2765,38	2591,46	859,5
Unillanos	89A	2081,76	2301,20	572,1
Unillanos	89B	1004,50	997,13	-719,3
Loma	89B	741,75	712,06	-1001,6

4. IS-9636

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	89A	2510,76	2546,48	1309,2
Guamal	89A	2492,91	2158,98	859,5
Unillanos	89A	1626,36	1911,29	572,1
Unillanos	89B	663,25	789,59	-719,3
Stall	89A	967,30	1010,74	-473,0
Stall	89B	509,50	371,55	-1214,8
Loma	89B	582,75	555,27	-1001,6

5. 5DX

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	87B	2373,00	1676,38	-69,8
Estoril	89B	3122,44	3151,29	1309,2
Libertad	83B	2393,33	2814,59	994,5
Libertad	84A	1853,00	2018,85	250,4
Libertad	84B	1576,00	2042,01	272,1
Libertad	85B	675,00	946,36	-752,3
Libertad	86B	945,00	869,73	-823,9
Libertad	87B	925,00	1052,50	-653,1
Libertad	88B	1174,00	1036,99	-667,6
Paratebueno	84B	1012,00	1087,69	-620,2
San Martin	87B	2201,00	2105,83	331,8
Yopal	84B	3127,00	2940,45	1112,1
Guamal	89A	2777,96	2670,31	859,5
Unillanos	89A	2611,20	2362,87	572,1
Unillanos	89B	1039,25	981,69	-719,3
Siall	89A	1274,26	1245,09	-473,0
Siall	89B	463,00	451,72	-1214,8
Loma	89B	591,75	679,75	-1001,6

6. FPQ-2

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Apray	88A	1380,00	1691,27	65,1
Estoril	87B	1743,00	1574,70	-69,8
Libertad	87B	1653,00	1070,47	-653,1
Libertad	88A	2300,00	2417,79	905,6
Libertad	88B	950,57	1057,94	-667,6
Meta	87B	1367,00	1256,71	-437,6
Lopez	88A	1192,00	1438,76	-227,0
San Martin	87B	1863,00	1921,78	331,8
Guamal	89A	2155,89	2377,98	859,5
Unillanos	89A	2710,92	2129,51	572,1
Unillanos	89B	795,00	1013,24	-719,3
Loma	89B	609,00	769,22	-1001,6

7. IS-9084

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	87B	1830,00	1753,01	-69,8
Estoril	89A	3719,12	3244,37	1309,2
Granada	85B	4636,00	4898,04	2838,3
Libertad	84B	2421,00	2122,72	272,1
Libertad	86B	1064,00	937,37	-823,9
Libertad	87B	893,00	1122,17	-653,1
Meta	87B	986,25	1355,17	-437,6
San Martin	87B	1899,00	2187,25	331,8
Guamal	89A	2710,06	2758,02	859,5
Unillanos	89A	2552,23	2447,16	572,1
Unillanos	89B	1069,00	1050,57	-719,3
Siall	89A	1369,06	1316,91	-473,0
Siall	89B	522,25	514,69	-1214,8
Loma	89B	781,75	745,27	-1001,6

8. ICA-Nataima

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	87B	1538,00	1064,33	-69,8
Granada	85B	3581,00	3228,54	2838,3
Libertad	84B	689,00	1318,74	272,1
Libertad	85B	605,75	556,37	-572,3
Libertad	86A	100,00	559,59	-748,0
Libertad	86B	947,00	503,05	-823,9
Libertad	87B	968,00	630,22	-653,1
Meta	87B	1168,50	790,56	-437,6
San Martin	87B	1590,00	1363,15	331,8
Yopal	84B	2800,00	1914,89	1112,1
Guamal	89A	281,67	1755,92	859,5
Unillanos	89A	1184,78	1542,00	572,1
Siall	89A	566,88	764,23	-473,0

9. IS-2765

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	89A	3037,92	3179,84	1309,2
Libertad	84B	2388,00	2081,72	272,1
Libertad	86B	665,00	921,23	-823,9
Paratebueno	84B	887,00	1136,99	-620,2
Yopal	84B	2832,00	2971,12	1112,1
Guamal	89A	2734,46	2703,70	859,5
Unillanos	89A	2588,98	2399,35	572,1
Unillanos	89B	1354,00	1032,06	572,1
Siall	89A	1165,04	1192,82	-473,0
Siall	89B	536,75	507,42	-1214,8
Loma	89B	778,25	773,16	-1001,6

10. SERERE-1

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Apiay	88A	2100,00	1843,00	65,1
Estoril	87B	1672,00	1709,00	-69,8
Estoril	89A	3094,46	3079,18	1309,2
Granada	85B	3946,00	4598,50	2838,3
Libertad	83B	3141,50	2766,48	994,5
Libertad	84A	2712,00	2027,15	250,4
Libertad	84B	1380,50	2048,67	272,1
Libertad	85B	1353,50	1030,81	-752,3
Libertad	86A	1033,00	1035,11	-748,0
Libertad	86B	117,00	959,62	-823,9
Libertad	87B	1179,41	1129,25	-653,1
Libertad	88A	2750,00	2678,12	905,6
Libertad	88B	949,89	1115,00	-667,6
Meta	87B	1324,75	1343,49	-437,6
Paratebuena	84B	1265,00	1162,75	-620,2
Lopez	88A	1583,00	1552,75	-227,0
San Martin	87B	2304,00	2107,96	331,8
Yopal	84B	3015,00	2883,32	1112,1
Guamal	89A	2738,06	2632,36	859,5
Unillanos	89A	2839,63	2346,75	572,1
Unillanos	89B	645,00	1063,63	-719,3
Loma	89B	572,00	783,14	-1001,6

11. IS-7151

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	87B	1827,00	1599,54	-69,8
Estoril	89A	2890,12	3077,10	1309,2
Granada	85B	5182,00	4715,47	2838,3
Libertad	84A	1234,00	1942,63	250,4
Libertad	84B	1789,00	1965,83	272,1
Libertad	85B	643,00	868,21	-752,3
Libertad	86B	1159,00	791,44	-823,9
Libertad	87B	924,50	974,54	-653,1
Meta	87B	1245,75	1205,39	-437,6
Pcol.	88B	756,00	506,16	-1090,2
Paratebueno	84B	1020,00	1009,79	-620,2
San Martin	87B	1941,00	2029,77	331,8
Yopal	84B	2772,00	2865,89	1112,1
Guamal	89A	2755,45	2595,26	859,5
Unillanos	89A	1964,68	2287,27	572,1
Unillanos	89B	1156,00	903,60	-719,3
Loma	89B	679,50	601,12	-1001,6

12. IS-3522

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	87B	550,00	1451,07	-69,8
Estoril	89A	2566,86	2663,19	1309,2
Libertad	84A	1963,00	1751,55	272,1
Libertad	85B	558,00	851,11	-752,3
Libertad	86B	991,00	788,14	-823,9
Libertad	87B	794,50	938,34	-653,1
Libertad	88B	1247,00	925,60	-667,6
Meta	87B	1098,25	1127,72	-437,6
P Colombia	88A	695,00	695,00	-929,9
San Martin	87B	1709,00	1804,01	331,8
Guamal	89A	2609,75	2267,91	859,5
Unillanos	89A	2156,94	2015,25	572,1
Unillanos	89B	1103,00	880,15	-719,3
Siall	89A	1133,74	1096,62	-473,0
Siall	89B	565,00	444,60	-1214,8
Loma	89B	591,25	632,01	-1001,6

13. IS-3071

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	87B	550,00	1451,07	-69,8
Estoril	89A	2566,86	2663,19	1309,2
Libertad	84A	1963,00	1751,55	272,1
Libertad	85B	558,00	851,11	-752,3
Libertad	86B	991,00	788,14	-823,9
Libertad	87B	794,50	938,34	-653,1
Libertad	88B	1247,00	925,60	-667,6
Meta	87B	1098,25	1127,72	-437,6
F Colombia	88A	659,00	659,00	-929,9
San Martin	87B	1709,00	1804,01	331,8
Guamal	89A	2609,75	2267,91	859,5
Unillanos	89A	2156,94	2015,25	572,1
Unillanos	89B	1103,00	880,15	-719,3
Siall	89A	1133,74	1096,62	-473,0
Siall	89B	565,00	444,60	-1214,8
Loma	89B	591,25	632,01	-1001,6

14. IS-8931

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Granada	85B	4765,00	4855,41	2838,3
Libertad	84B	2430,00	2209,95	272,1
Libertad	86B	1086,00	1080,06	-823,9
Libertad	88B	1067,00	1241,27	-667,6
Siall	89A	1620,19	1441,85	-473,0
Siall	89B	537,50	667,16	-1214,8

15. IS-8577

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Apiay	88A	1840,00	1855,99	65,1
Estoril	87B	1411,00	1725,11	-69,8
Granada	85B	4959,00	4547,34	2838,3
Libertad	84A	1805,00	2035,86	250,4
Libertad	84B	2036,33	2056,87	272,1
Libertad	85B	1174,50	1062,70	-752,3
Libertad	86A	1353,50	1066,90	-748,0
Libertad	86B	1030,00	993,10	-823,9
Libertad	87A	2683,00	2683,00	917,3
Libertad	87B	1279,00	1159,01	-653,1
Libertad	88B	1026,00	1144,94	-667,6
Meta	87B	1379,00	1638,10	-437,6
P Colombia	88B	649,00	734,78	-1090,6
Pto. Bueno	84B	1872,00	1190,94	-620,2
Pto. Lopez	88A	1720,00	1572,50	-227,0
San Martin	87B	1505,00	2114,78	331,8
Yopal	89A	1325,19	1333,77	-473,0
Siall	89A	1325,19	1333,77	-473,0
Siall	89B	521,25	613,88	-1214,8

16. IS-6944

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estóvil	87B	1798,00	1599,22	-69,8
Libertad	86B	711,00	814,93	-823,9
Libertad	87B	1009,00	992,63	-653,1
Meta	87B	1211,50	1216,68	-437,6
San Martín	87B	1969,00	2016,78	331,8
Siall	89A	1020,45	1179,89	-473,0
Siall	89B	509,67	408,49	-1214,8

17. MN-4508

				X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Apiay	88A	1900,00	1817,19	65,1
Estoril	87B	1916,00	1747,06	-69,8
Granada	85B	4335,00	4337,50	2838,3
Libertad	83B	2593,00	2695,10	994,5
Libertad	84A	2047,00	2032,29	250,4
Libertad	84B	2459,00	2051,57	272,1
Libertad	85B	1502,00	1139,06	-752,3
Libertad	86A	1217,00	1142,91	-748,0
Libertad	87B	1206,00	1227,46	-653,1
Libertad	88A	2650,00	2615,88	905,6
Libertad	88B	1352,50	1214,54	-667,6
Meta	87B	1287,51	1419,37	-437,6
P Colombia	88B	631,00	838,07	-1090,2
Pto. Bueno	84B	635,00	1256,76	-620,2
Pto. Lopez	88A	1652,00	1606,98	-227,0
San Martin	87B	2055,00	2104,73	331,8
Yopal	84B	2587,00	2799,84	1112,1
Siall	89A	1469,26	1387,86	-473,0
Siall	89B	717,00	727,10	-1214,8

19. 3 DX

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	87B	2053,00	1725,94	-69,8
Libertad	83B	3073,50	2923,29	994,5
Libertad	84A	2418,00	2086,17	250,4
Libertad	84B	1723,50	2110,53	272,1
Libertad	86B	929,00	877,44	-823,9
Libertad	87B	736,50	1069,69	-653,1
Meta	87B	1560,08	1312,08	-437,6
Pto. Bueno	84B	943,00	1106,70	-620,2
San Martin	87B	2206,00	2177,67	331,8
Yopal	84B	2802,00	3055,58	1112,1

17. IS-10336

		Y		X
		Observado	Estimado	Efecto ambiental
Estoril	87B	202,00	1376,04	-69,8
Granada	85B	5386,00	5389,16	2838,3
Libertad	84B	2128,00	1847,79	250,4
Libertad	87B	873,00	571,06	-653,1
Meta	87B	1062,00	886,38	-437,6
San Martin	87B	2331,00	1930,04	331,8


 APENDICE 2

PUERTO LOPEZ	-	88A	
			ABRIL
			127
			MAYO
			443
			JUNIO
			448
			JULIO
			479
YOPAL	-	84B	No Datos.
UNILLANOS	-	89A	
			ABRIL
			336
			MAYO
			531
			JUNIO
			367
			JULIO
			219
UNILLANOS	-	89B	
			SEPTIEMBRE
			288
			OCTUBRE
			440
			NOVIEMBRE
			345
			DICIEMBRE
			119

249	JULIO		
336	JUNIO		
455	MAYO		
297	ABRIL		
		88A -	APIAY

92	DICIEMBRE		
192	NOVIEMBRE		
212	OCTUBRE		
188	SEPTIEMBRE		
		88B -	LIBERTAD

92	DICIEMBRE		
192	NOVIEMBRE		
212	OCTUBRE		
188	SEPTIEMBRE		
		89B -	SIALL

249	JULIO		
336	JUNIO		
455	MAYO		
292	ABRIL		
		89A -	SIALL

META	- 87B		
		SEPTIEMBRE	323
		OCTUBRE	565
		NOVIEMBRE	452
		DICIEMBRE	121
PTO. COLOMBIA - 88A			
		ABRIL	297
		MAYO	455
		JUNIO	336
		JULIO	249
PTO. COLOMBIA - 88B			
		SEPTIEMBRE	188
		OCTUBRE	212
		NOVIEMBRE	192
		DICIEMBRE	92
LIBERTAD	- 86A		
		ABRIL	290
		MAYO	376
		JUNIO	524
		JULIO	359

LIBERTAD - 86B

SEPTIEMBRE	227
OCTUBRE	431
NOVIEMBRE	281
DICIEMBRE	55

LIBERTAD - 87A

ABRIL	443
MAYO	265
JUNIO	285
JULIO	443

LIBERTAD - 87B

SEPTIEMBRE	297
OCTUBRE	349
NOVIEMBRE	248
DICIEMBRE	40

LIBERTAD - 88A

ABRIL	297
MAYO	455
JUNIO	336
JULIO	249

GUAMAL	-	89A		
			ABRIL	336
			MAYO	841
			JUNIO	543
			JULIO	304
LIBERTAD	-	83B		
			SEPTIEMBRE	371
			OCTUBRE	416
			NOVIEMBRE	257
			DICIEMBRE	247
LIBERTAD	-	84A		
			ABRIL	350
			MAYO	245
			JUNIO	566
			JULIO	293
LIBERTAD	-	84B		
			SEPTIEMBRE	401
			OCTUBRE	329
			NOVIEMBRE	208
			DICIEMBRE	273

LIBERTAD - 85B

SEPTIEMBRE	551
OCTUBRE	398
NOVIEMBRE	188
DICIEMBRE	54

PARATEBUENO - 84B

SEPTIEMBRE	377,8
OCTUBRE	403,0
NOVIEMBRE	297,7
DICIEMBRE	31,0

SAN MARTIN - 87B

SEPTIEMBRE	514,4
OCTUBRE	441,5
NOVIEMBRE	188,5
DICIEMBRE	0

GRANADA - 85B

SEPTIEMBRE	359,9
OCTUBRE	210,2
NOVIEMBRE	212,2
DICIEMBRE	40,7

ESTORIL - 87B

SEPTIEMBRE	406
OCTUBRE	161
NOVIEMBRE	187
DICIEMBRE	0

ESTORIL - 89A

ABRIL	267
MAYO	498
JUNIO	298
JULIO	153

APENDICE 3

Figuras de estabilidad genotípica y comportamiento con la saturación de aluminio de todos los genotipos

FIGURA 1 DEL APENDICE 3

Estabilidad del genotipo IS-8931

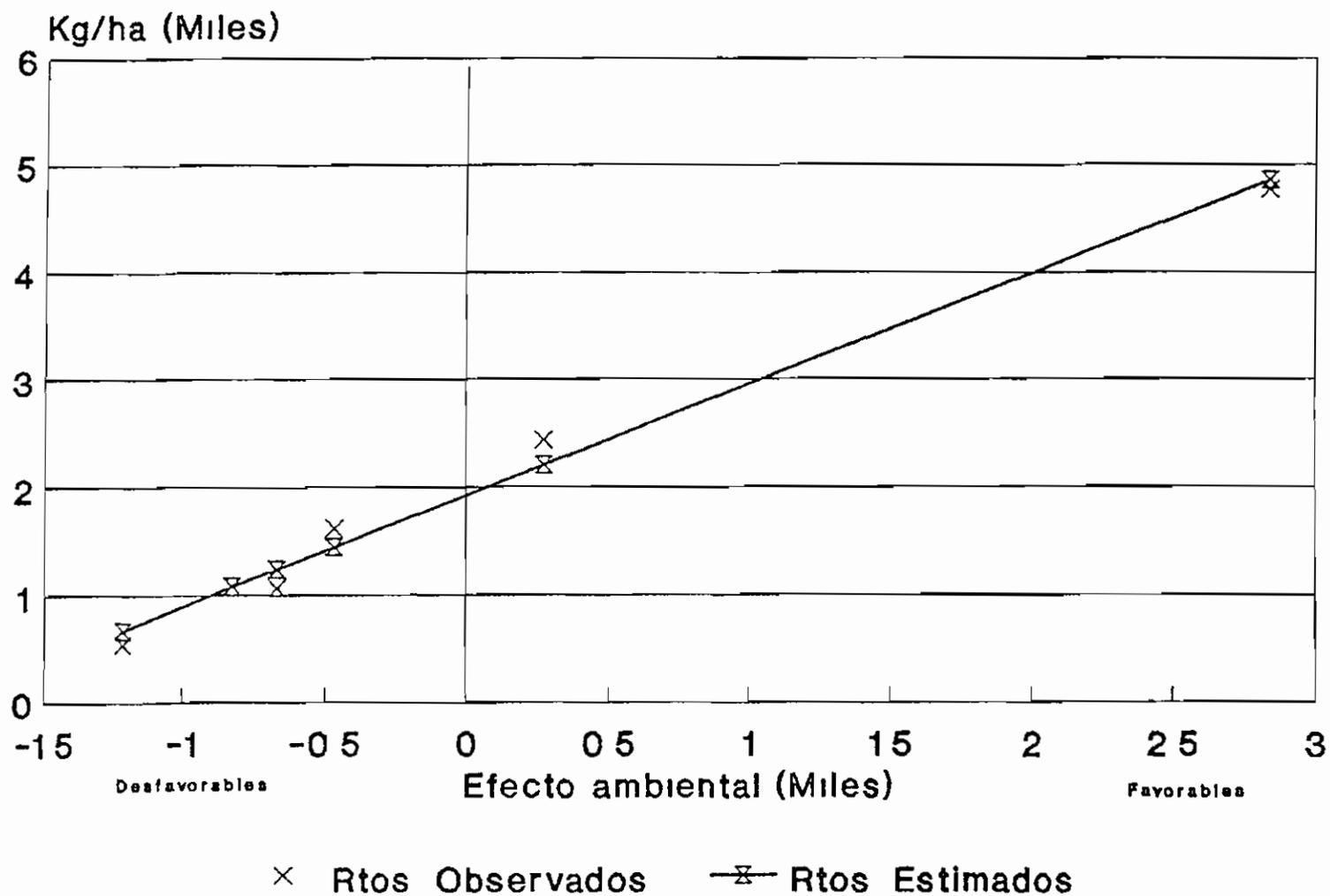


FIGURA 2 DEL APENDICE 3 Estabilidad del genotipo IS-3071

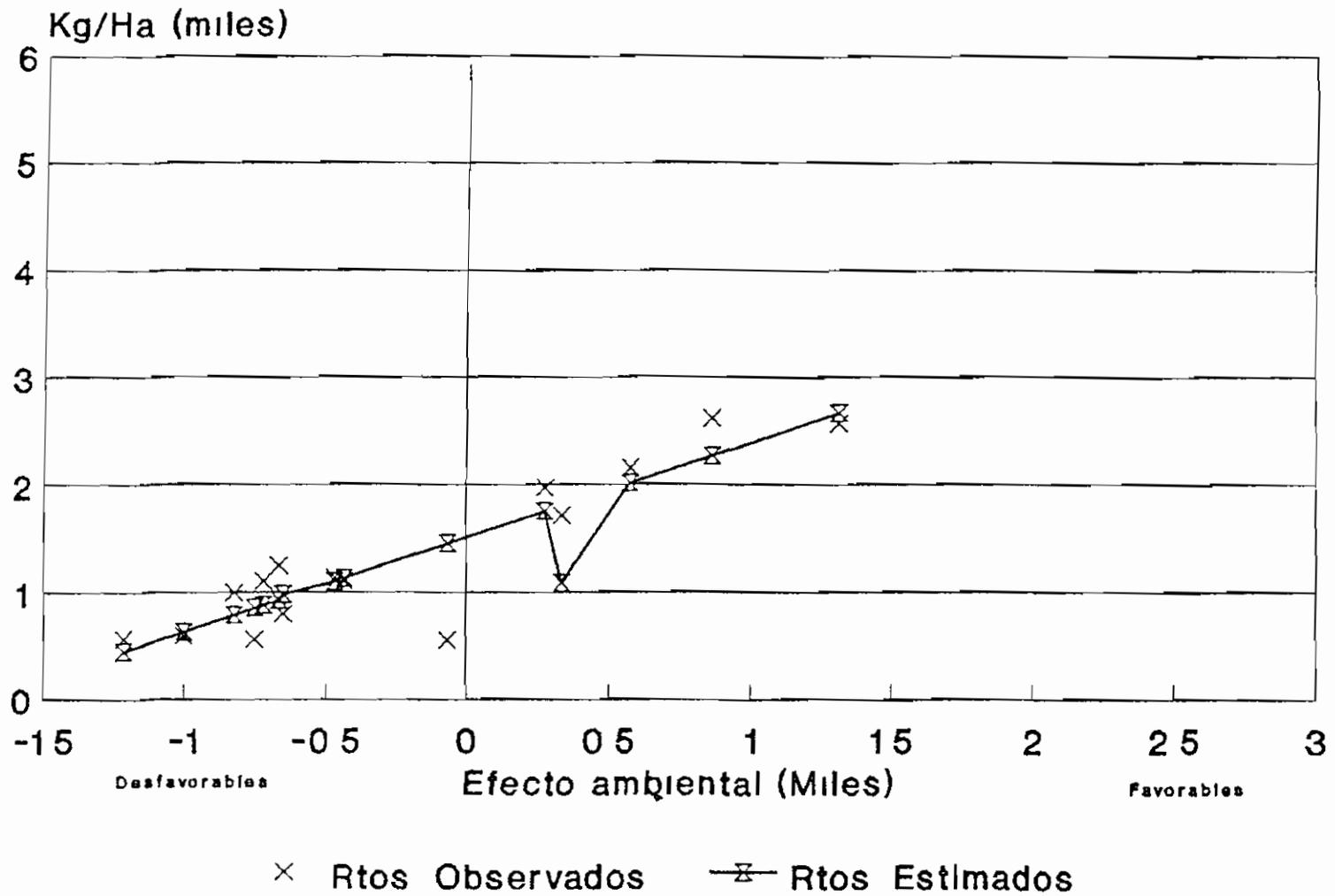


FIGURA 3 DEL APENDICE 3 **Estabilidad del genotipo IS-9084**

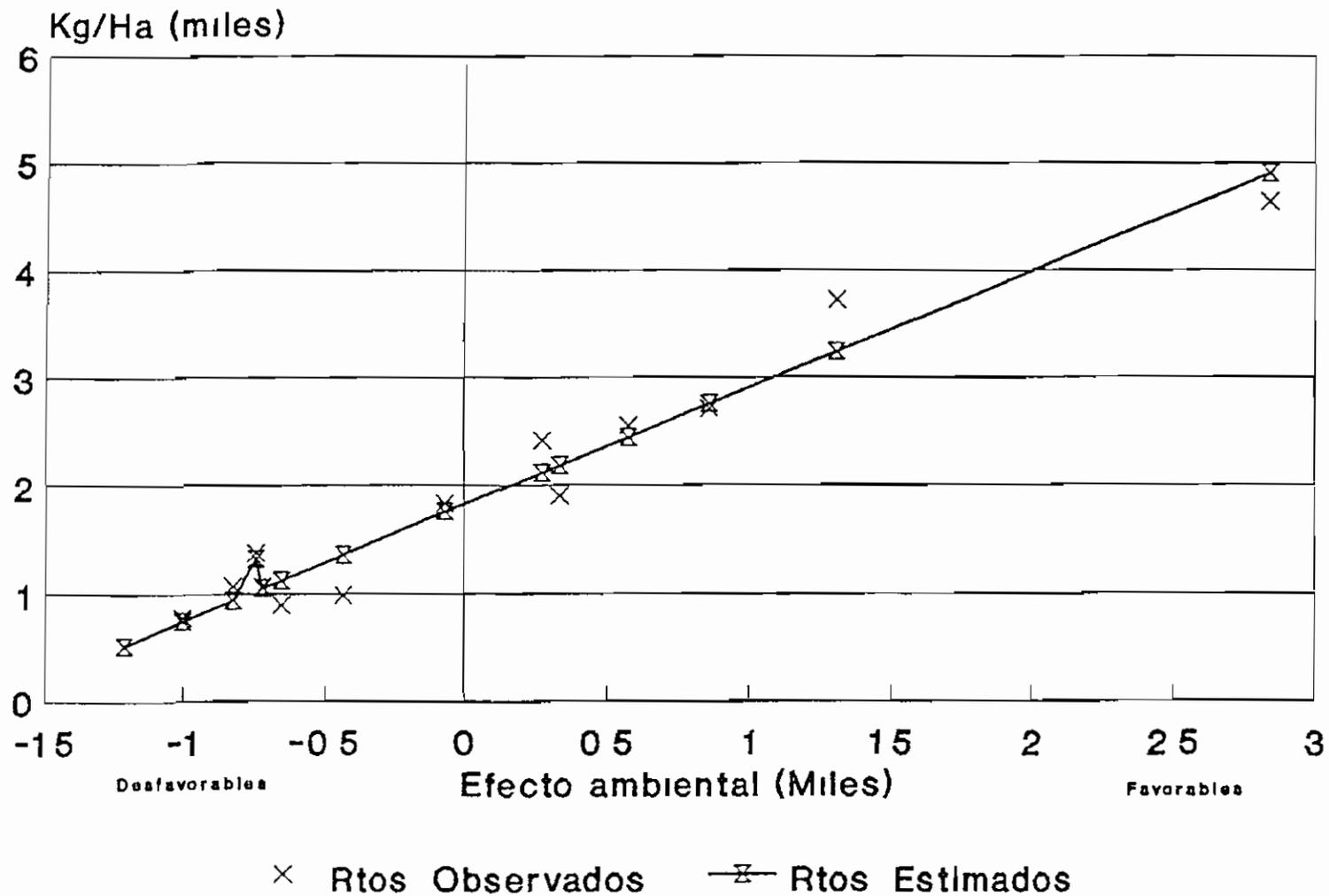


FIGURA 4 DEL APENDICE 3 **Estabilidad del genotipo MN-4508**
Sorghica Real 60

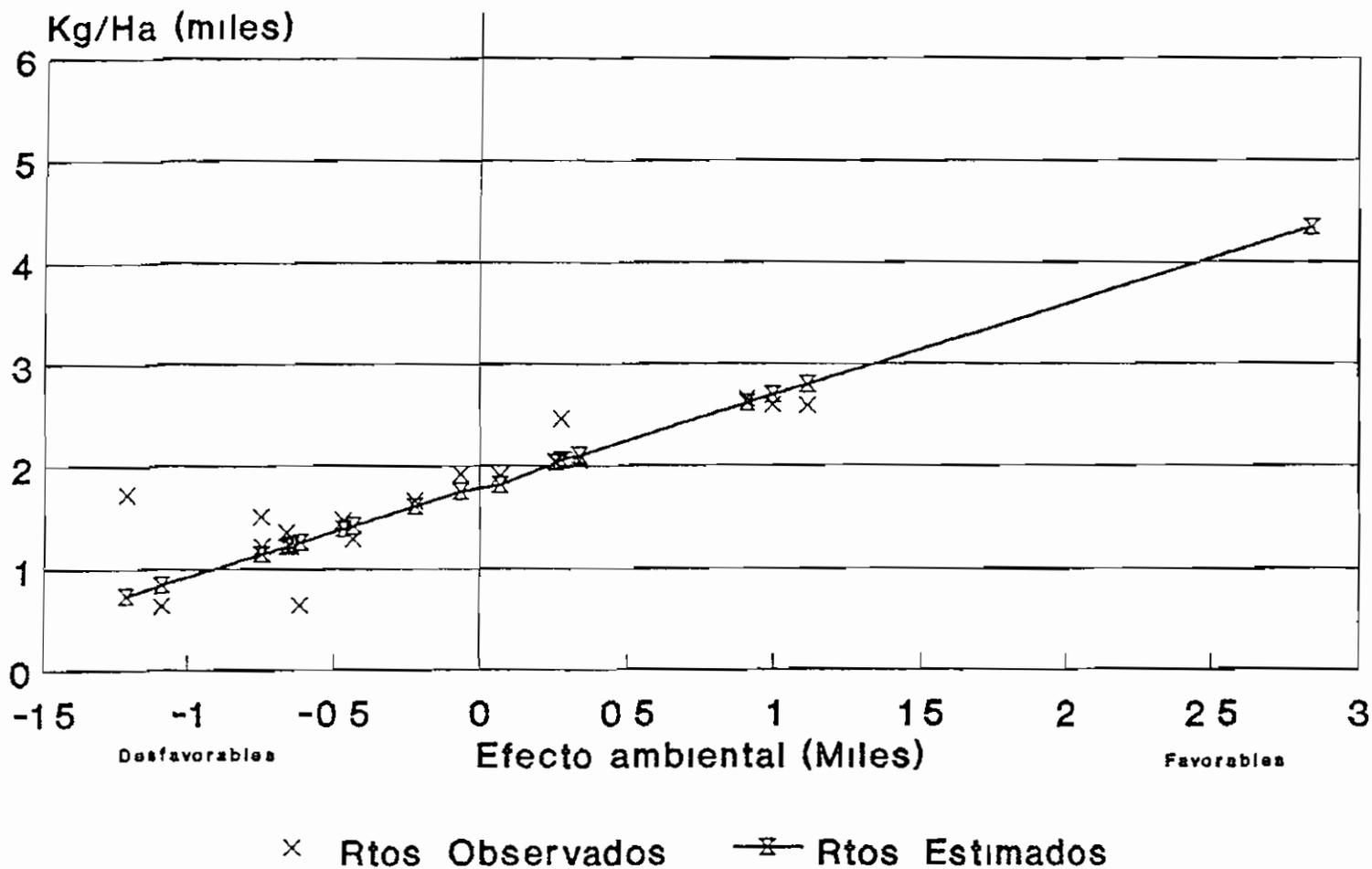


FIGURA 5 DEL APENDICE 3 **Estabilidad del genotipo 3 DX**

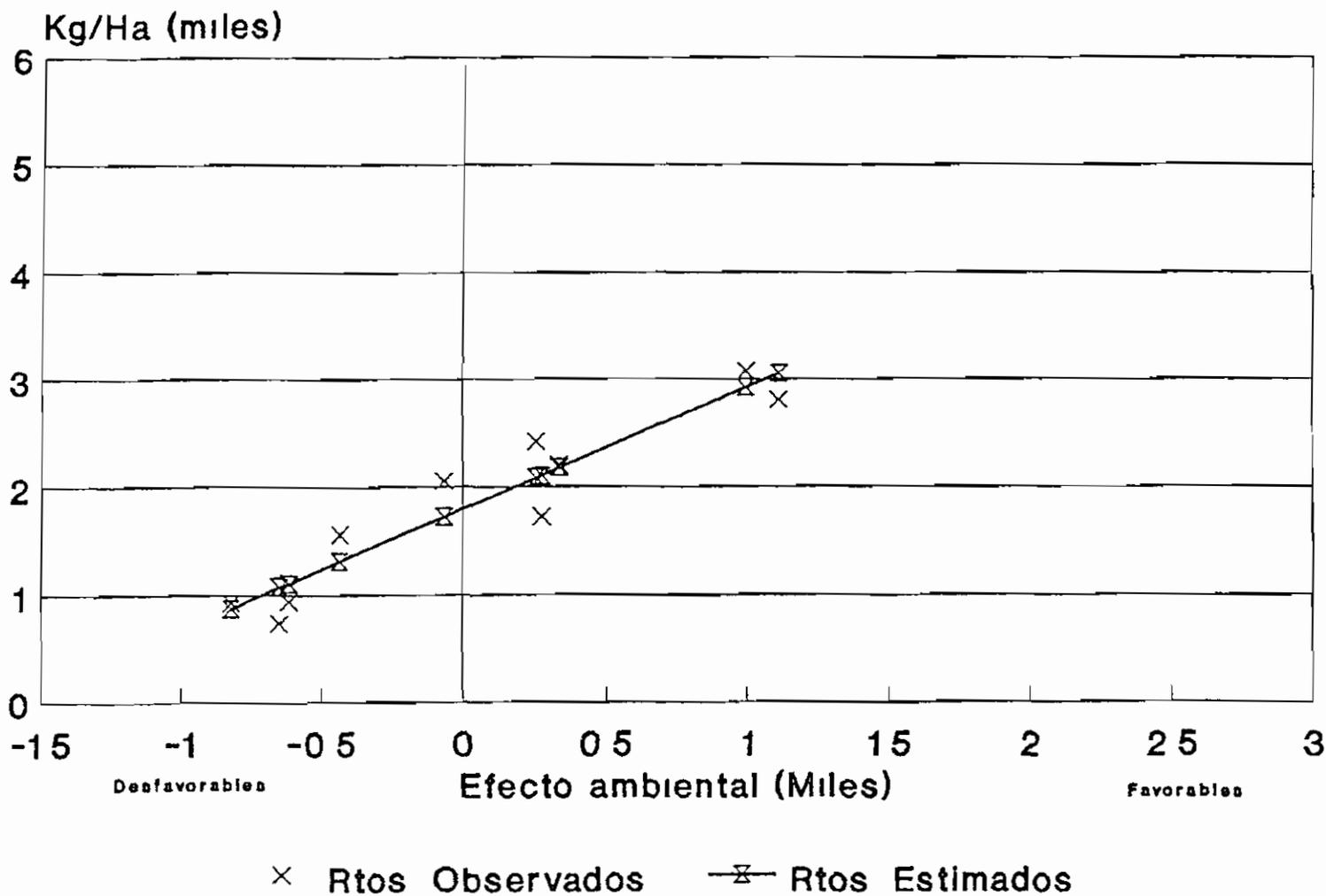


FIGURA 6 DEL APENDICE 3. Estabilidad del genotipo IS-2765

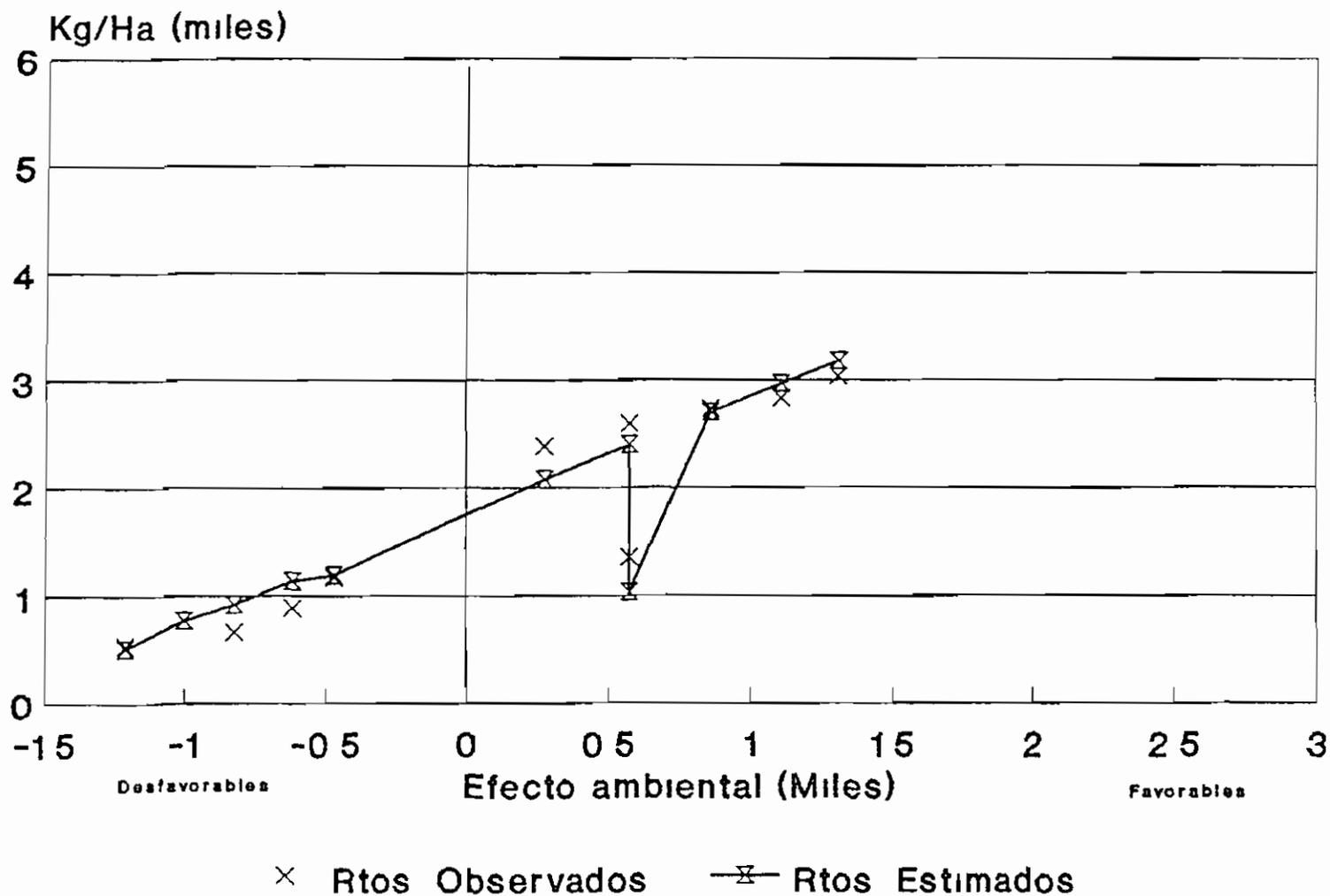


FIGURA 7 DEL APENDICE 3

Estabilidad del genotipo IS-8577

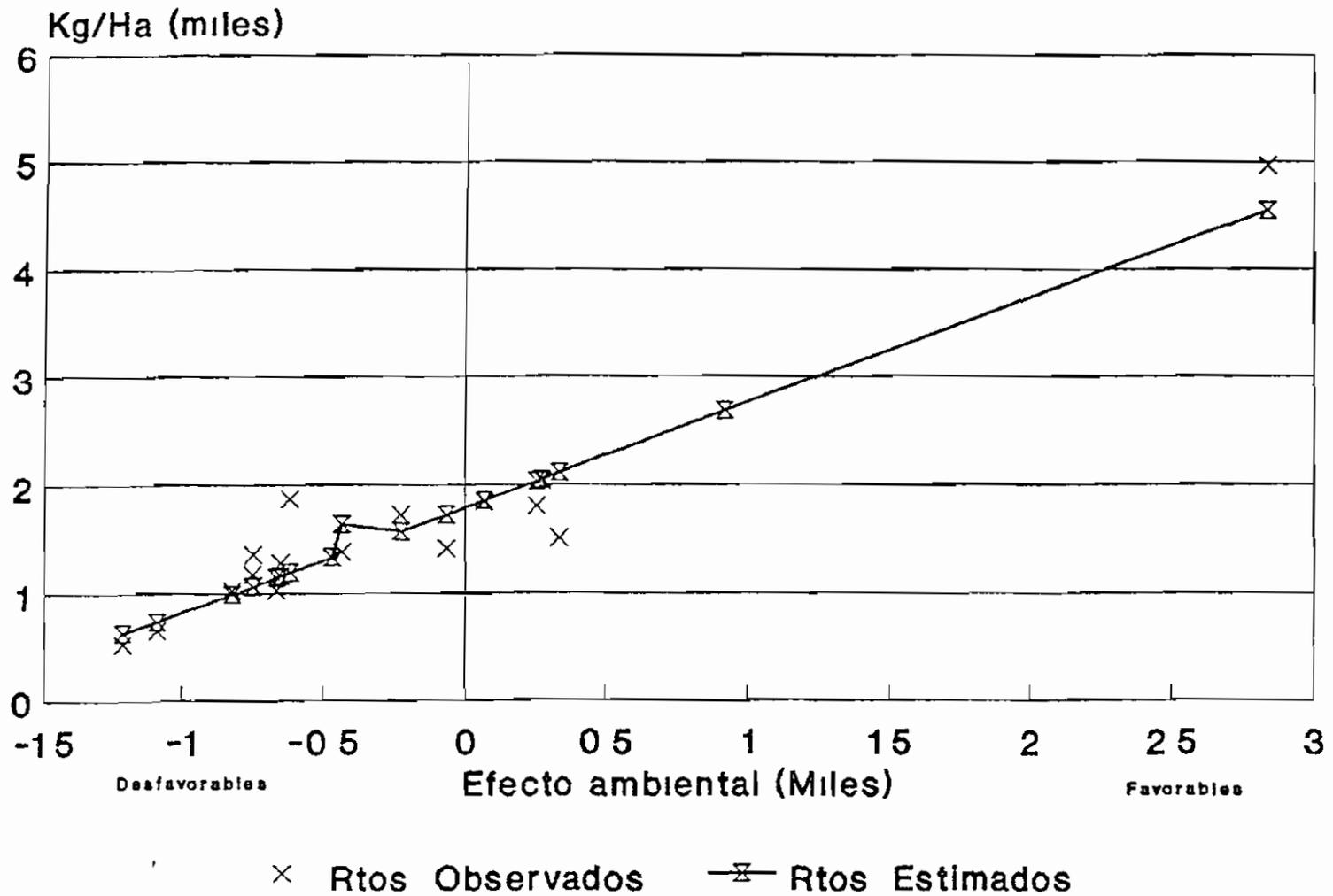


FIGURA 8 DEL APENDICE 3

Estabilidad del genotipo IS-8933

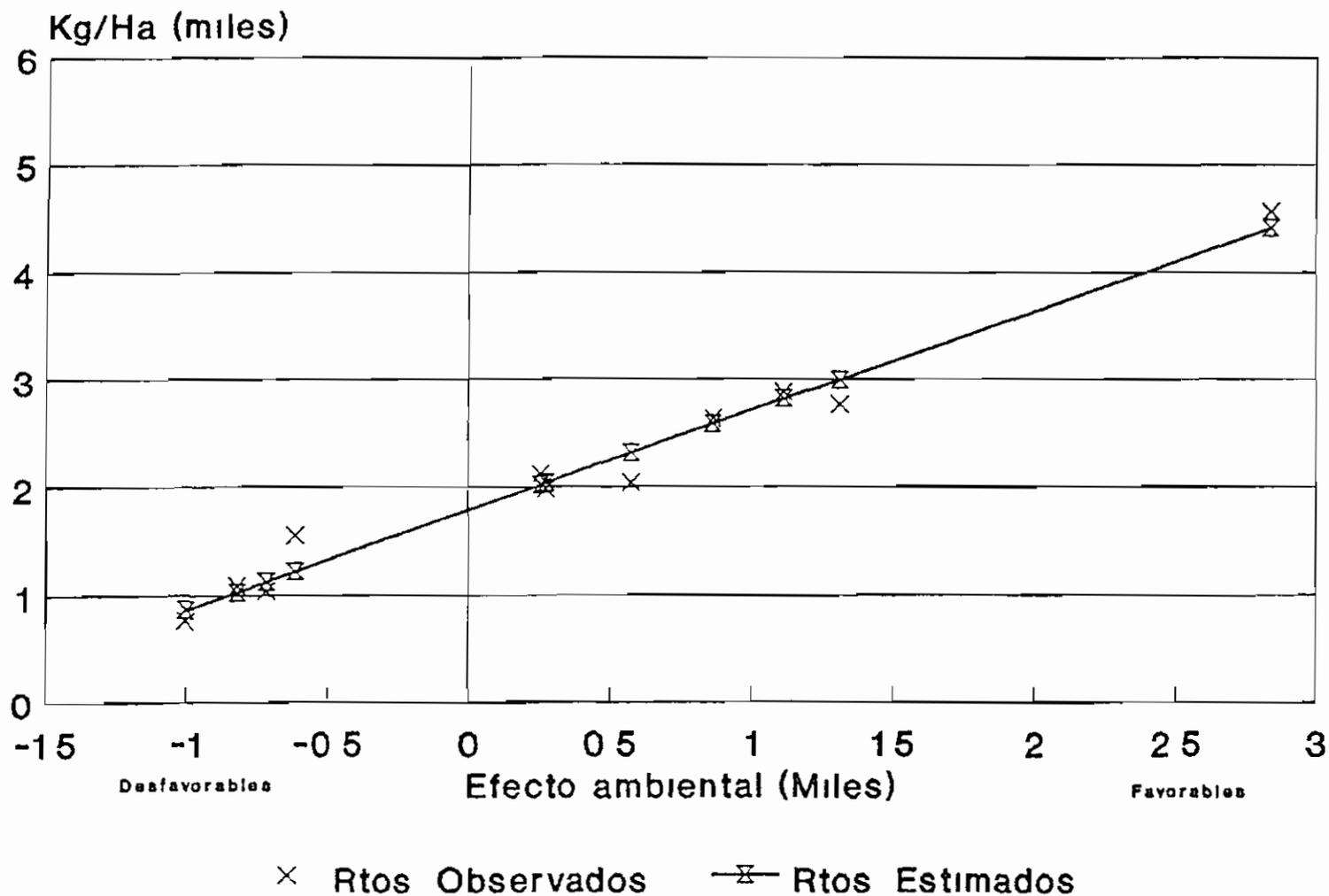
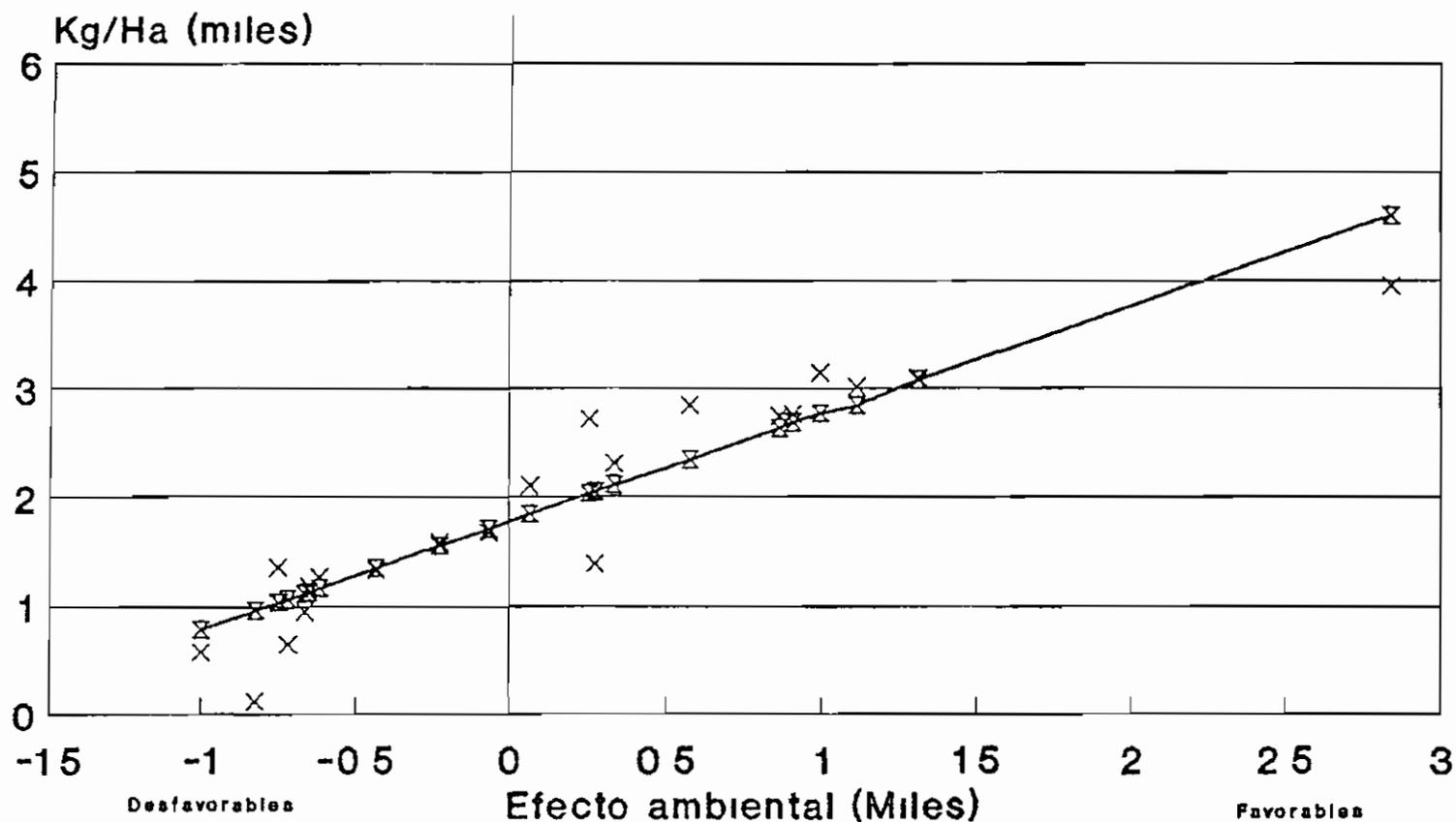


FIGURA 9 DEL APENDICE 3 **Estabilidad del genotipo SERERE 1**
Sorghica Real 40



x Rtos Observados —x— Rtos Estimados



FIGURA 10 DEL APENDICE 3

Estabilidad del genotipo 5 DX

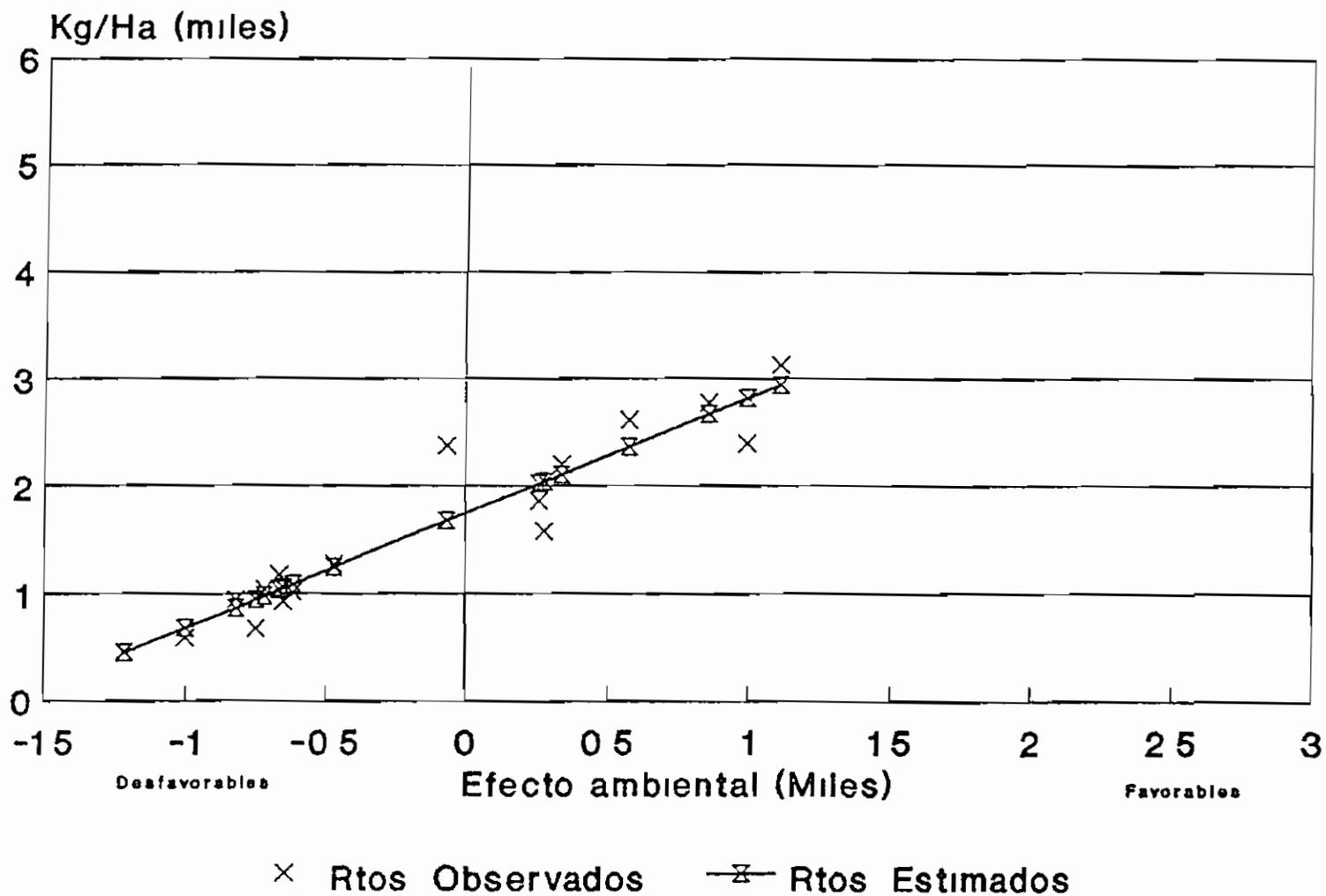


FIGURA 11 DEL APENDICE 3 **Estabilidad del genotipo IS-9042**

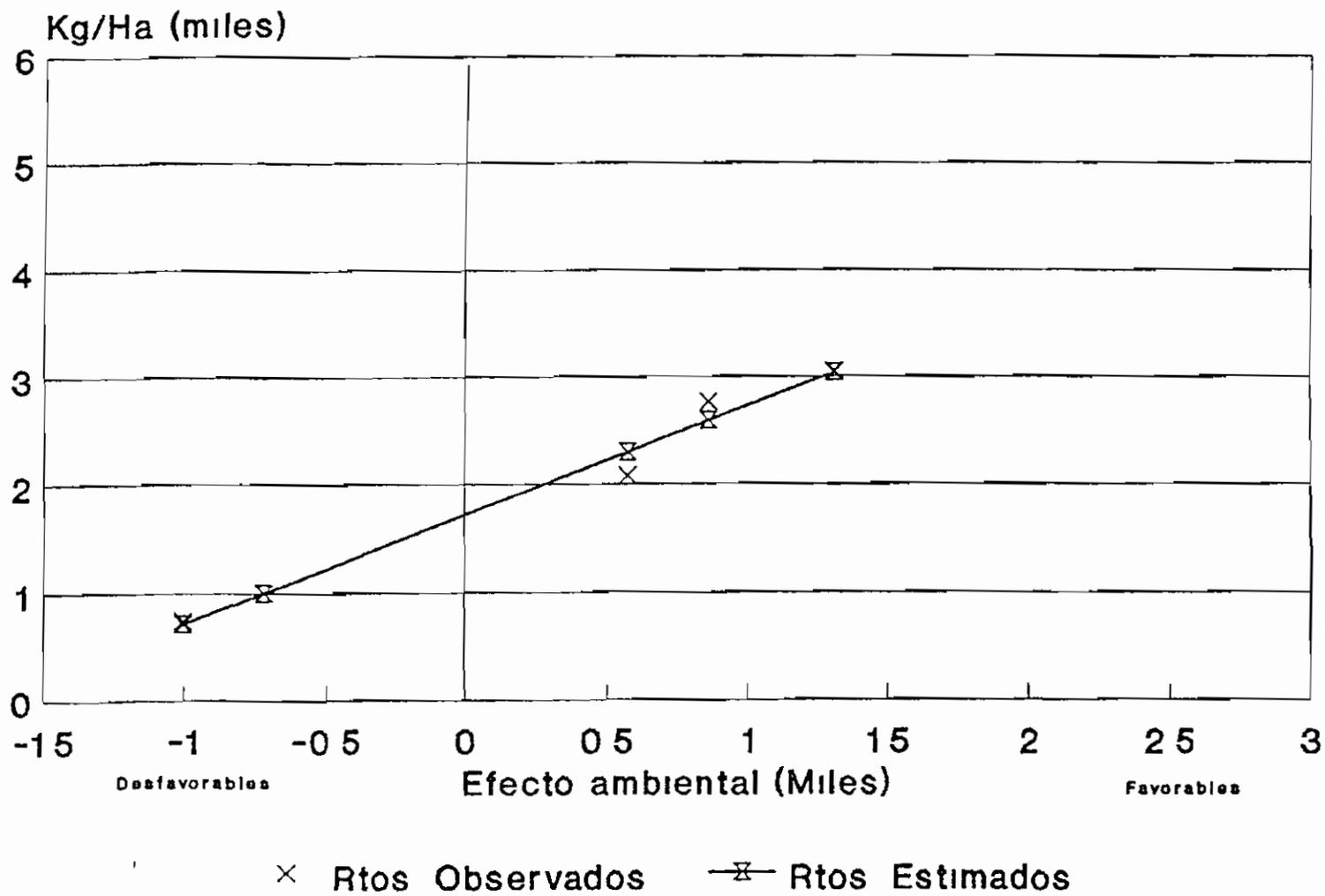


FIGURA 12 DEL APENDICE 3 **Estabilidad del genotipo IS-7151**

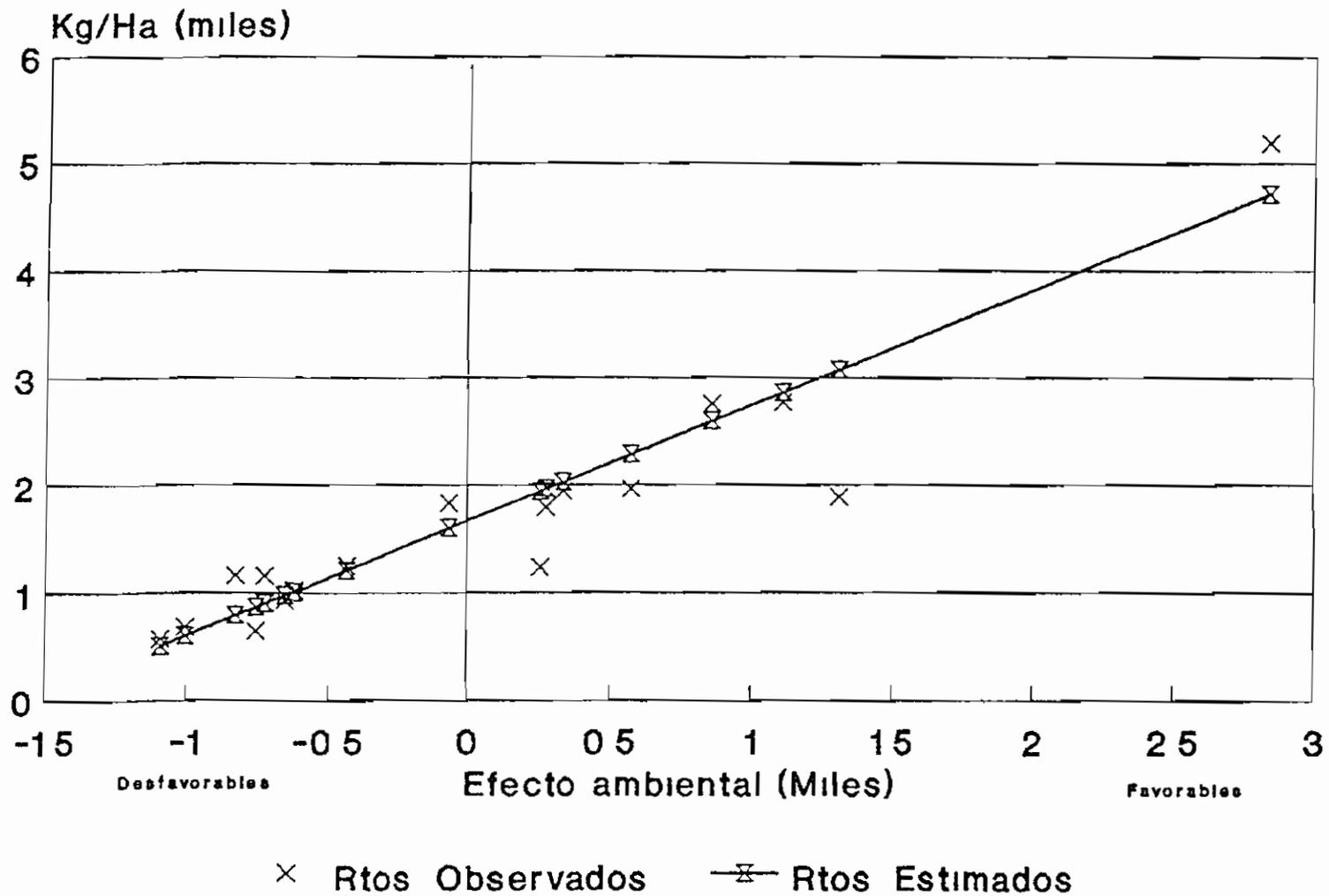


FIGURA 13 DEL APENDICE 3 **Estabilidad del genotipo IS-6944**

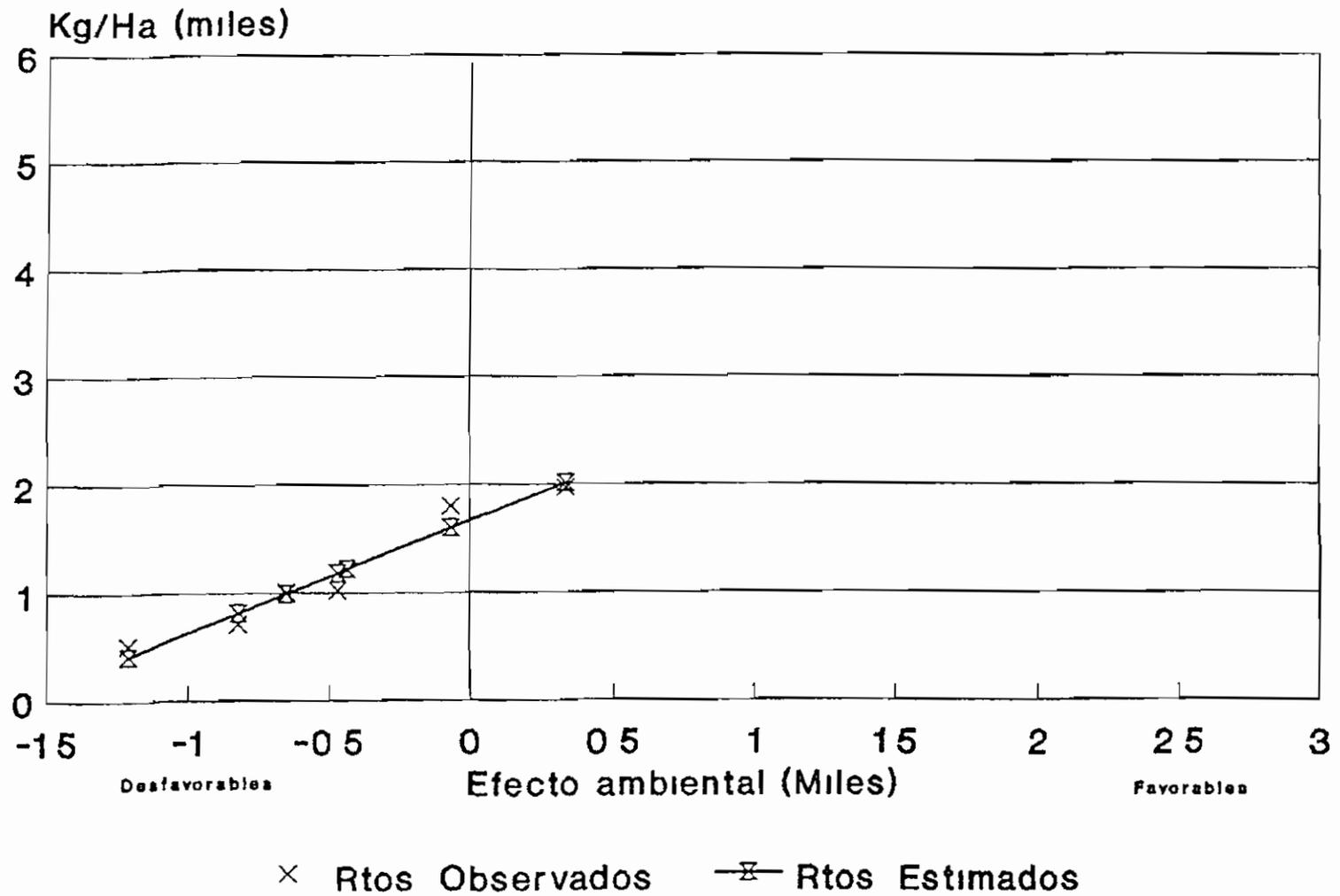


FIGURA 14 DEL APENDICE 3

Estabilidad del genotipo PPQ-2

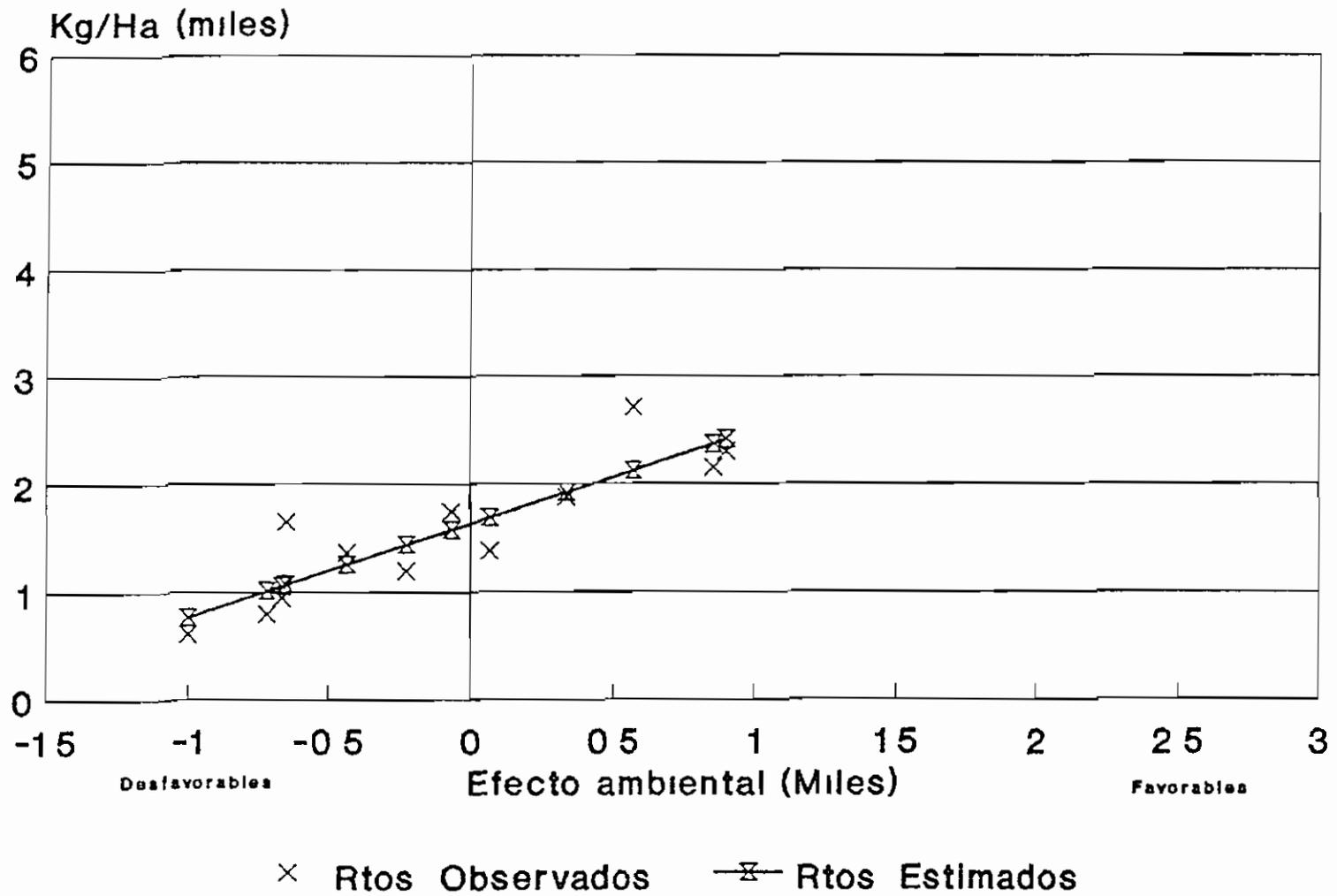


FIGURA 15 DEL APENDICE 3 **Estabilidad del genotipo IS-3522**

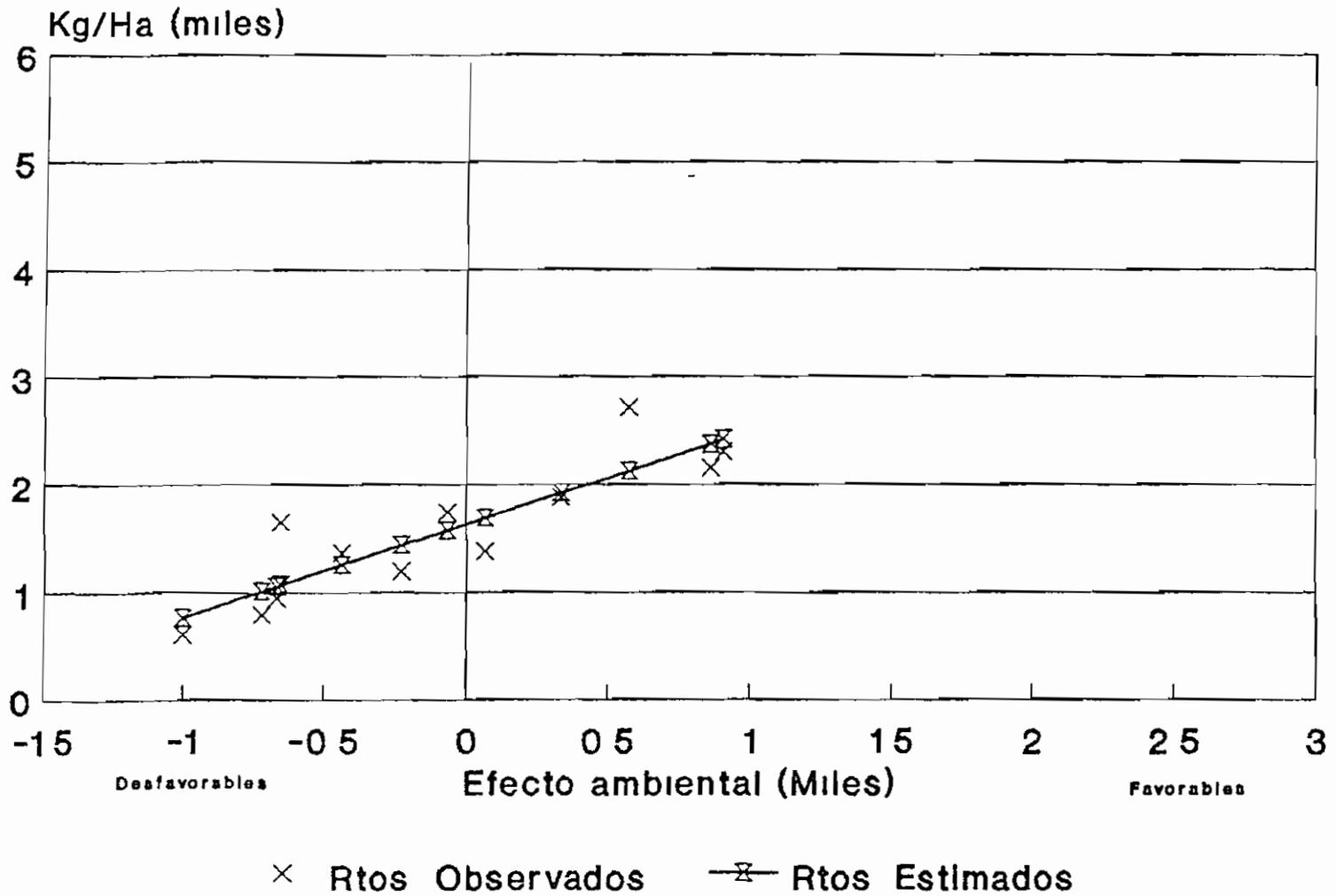


FIGURA 16 DEL APENDICE 3 **Estabilidad del genotipo IS-10336**

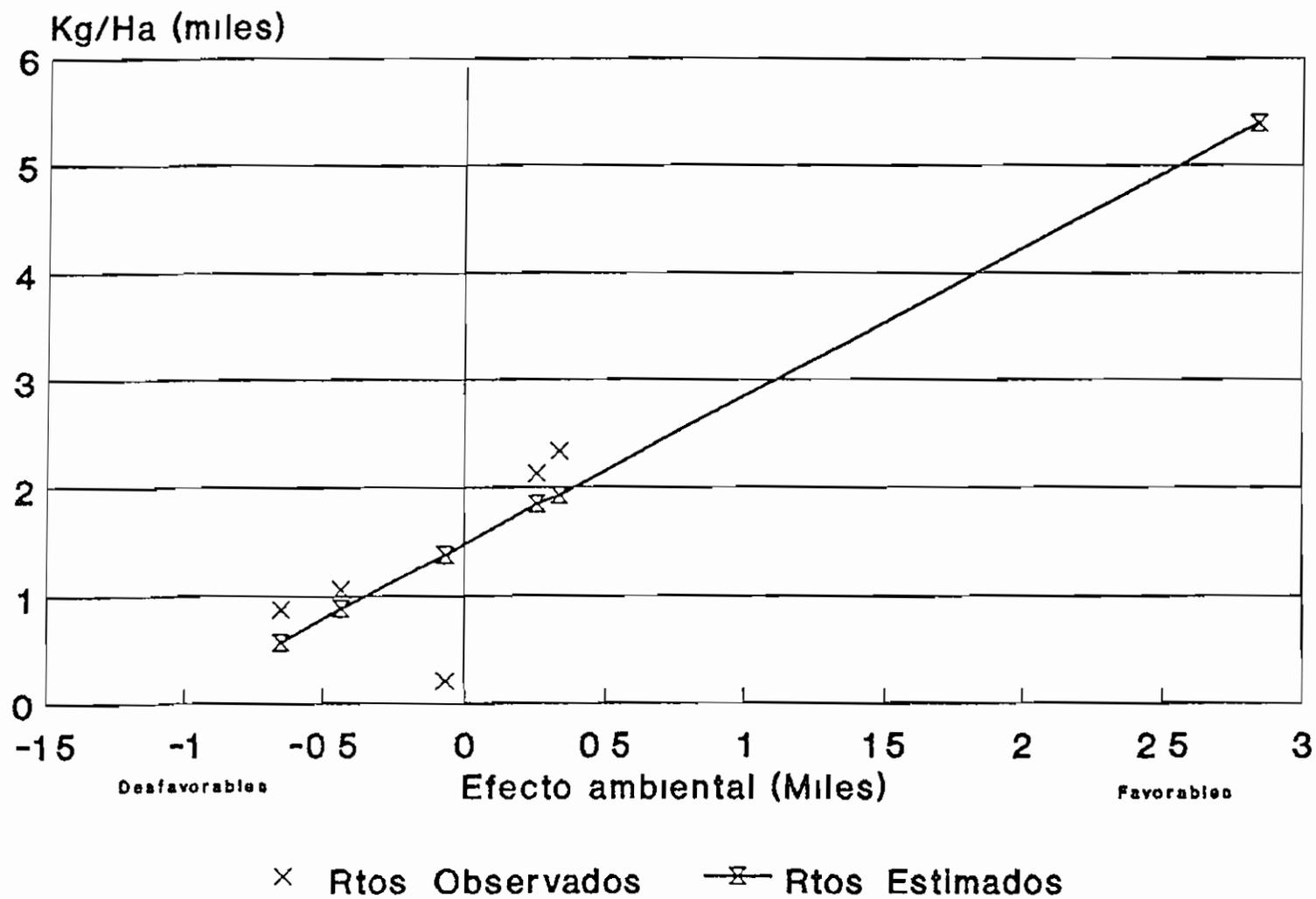


FIGURA 17 DEL APENDICE 3 Estabilidad del genotipo IS-9636

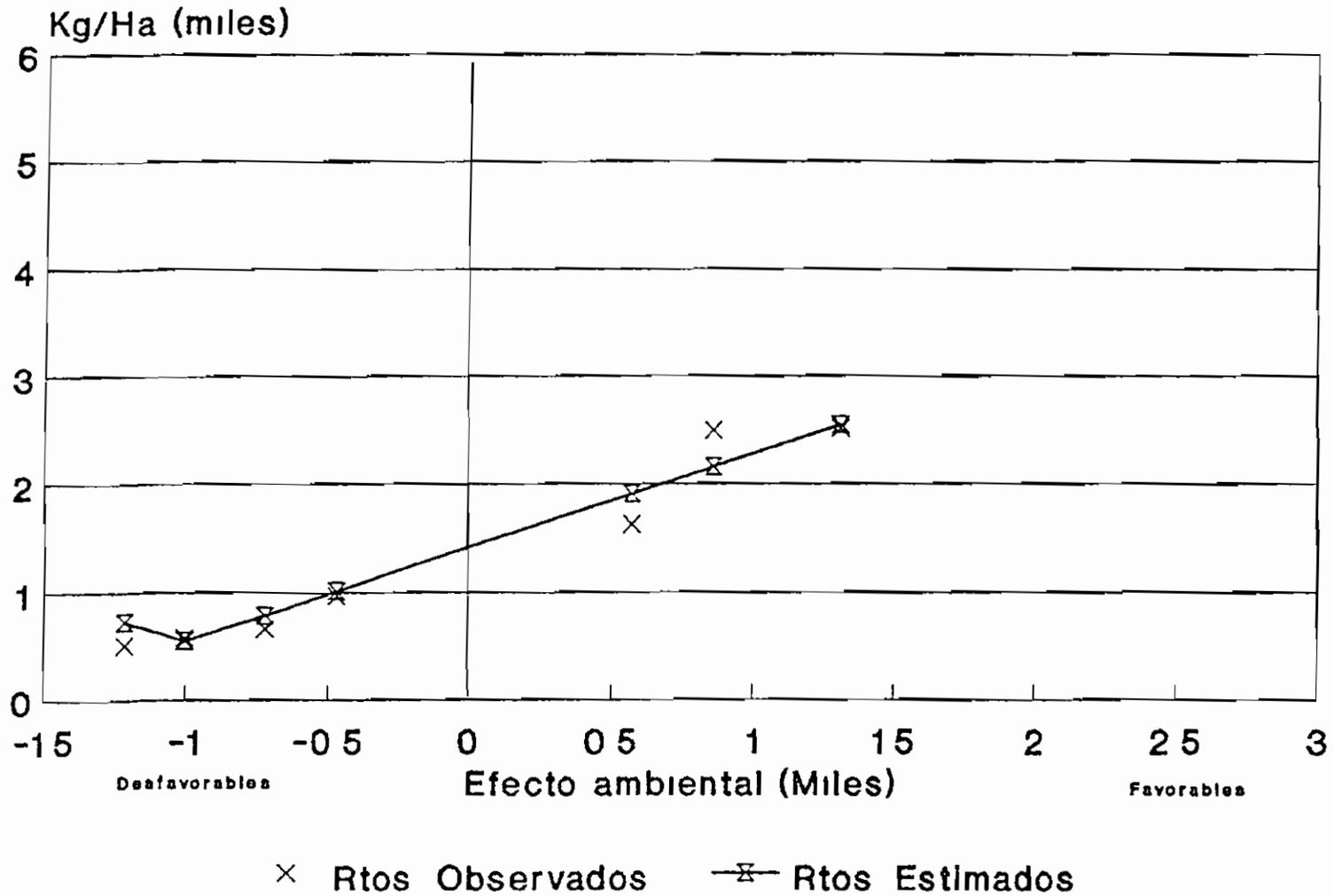


FIGURA 18 DEL APENDICE 3 **Estabilidad del genotipo IS-9945**

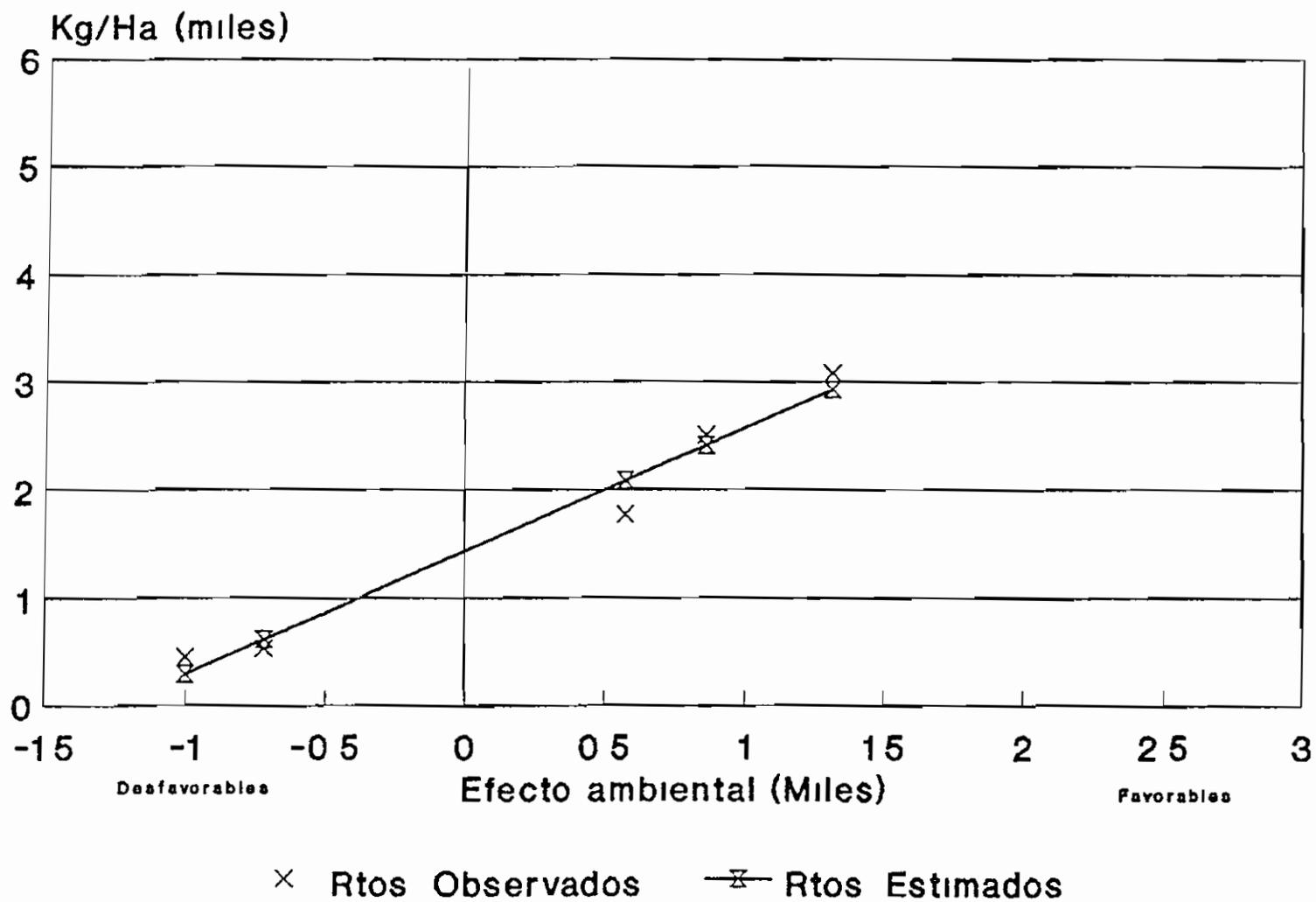
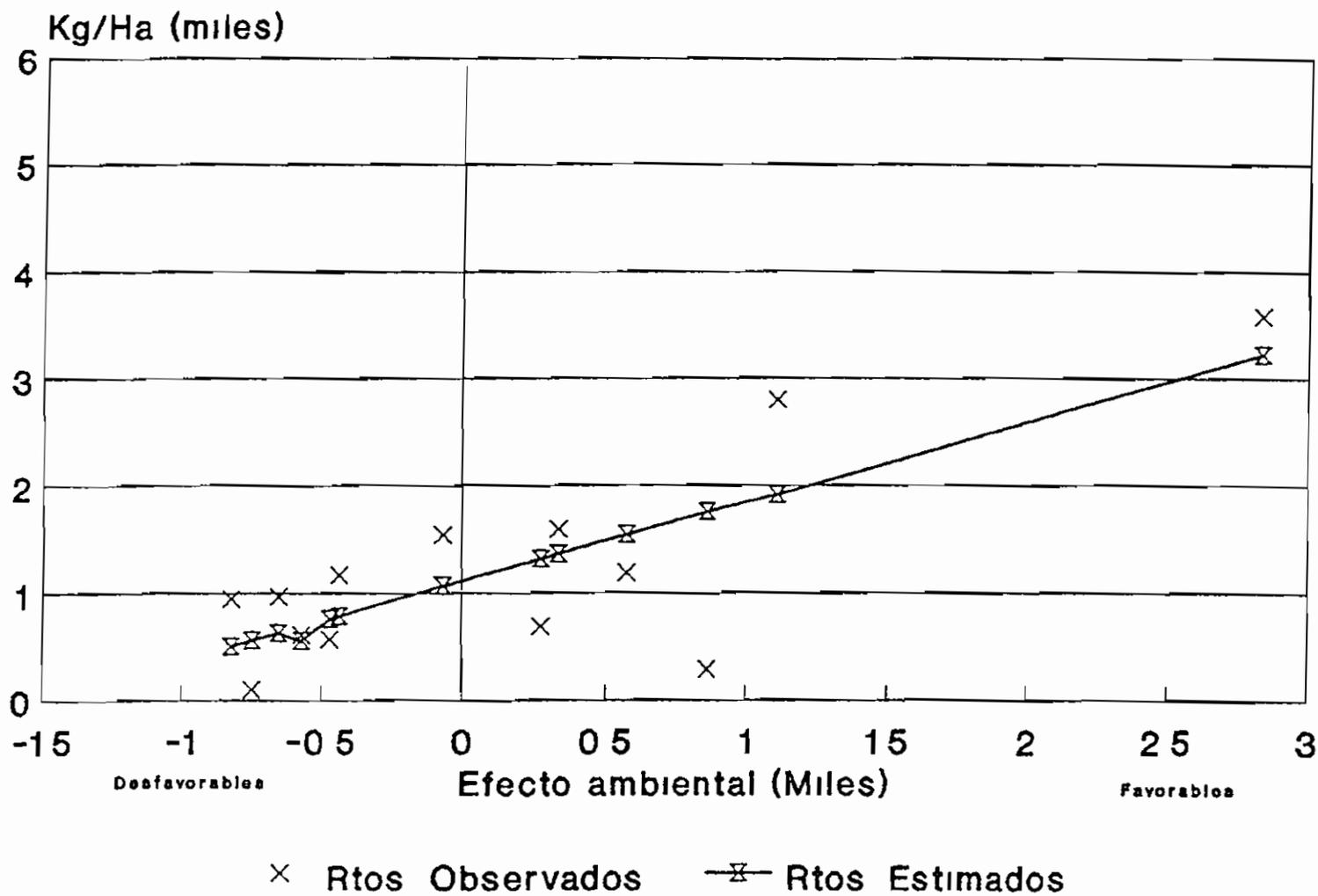
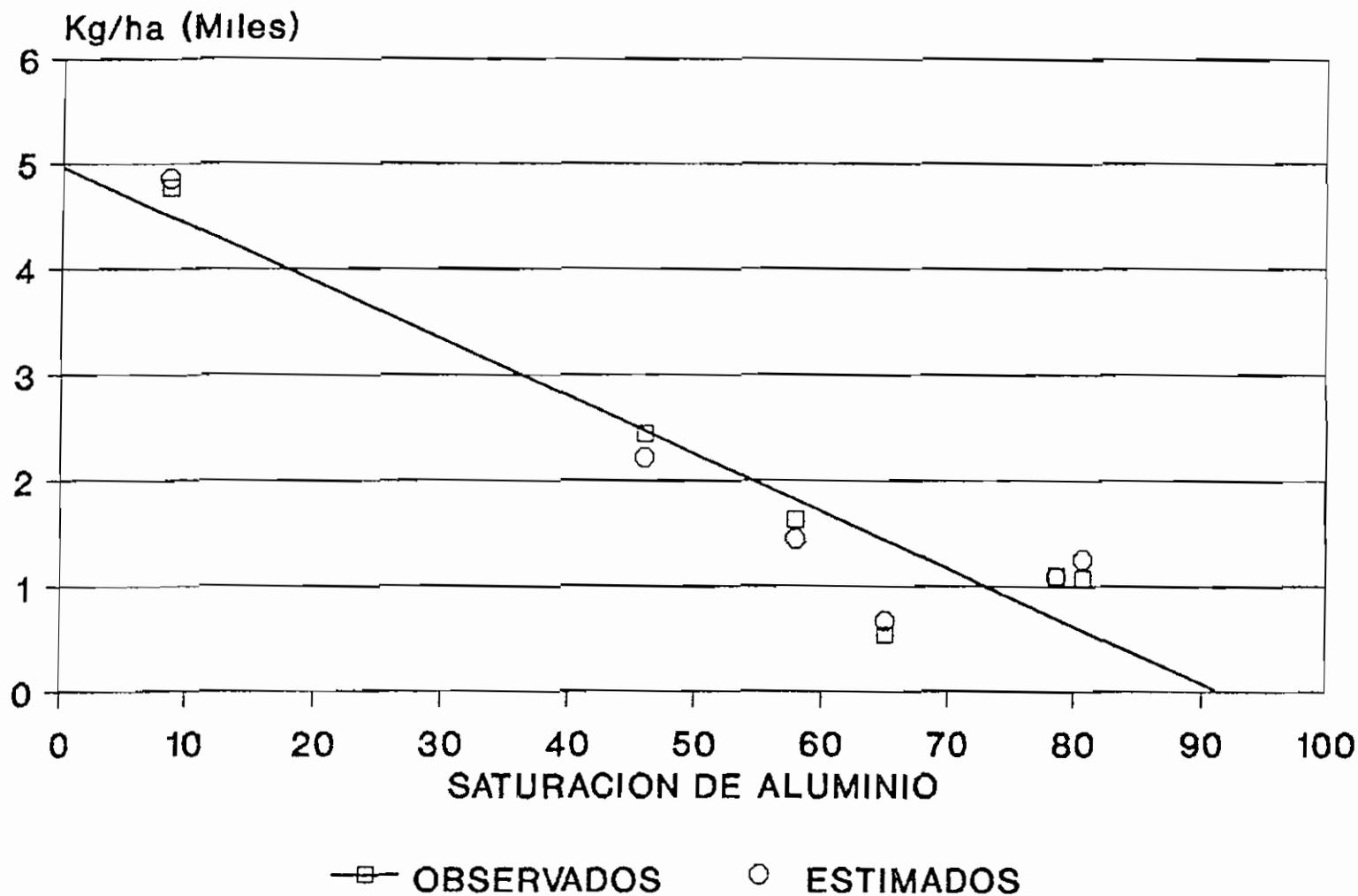


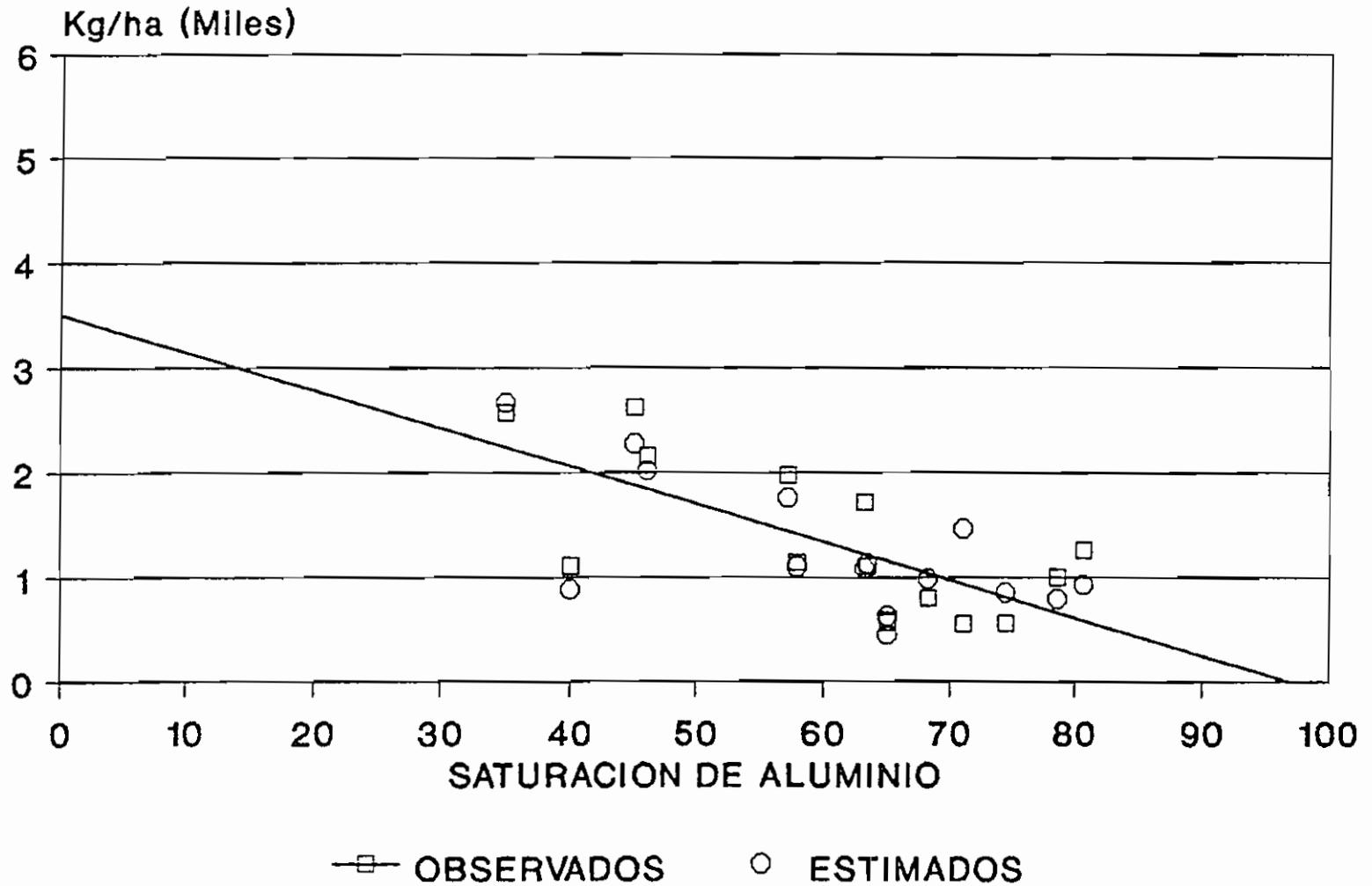
FIGURA 19 DEL APENDICE 3. Estabilidad del genotipo ICA-NATAIMA



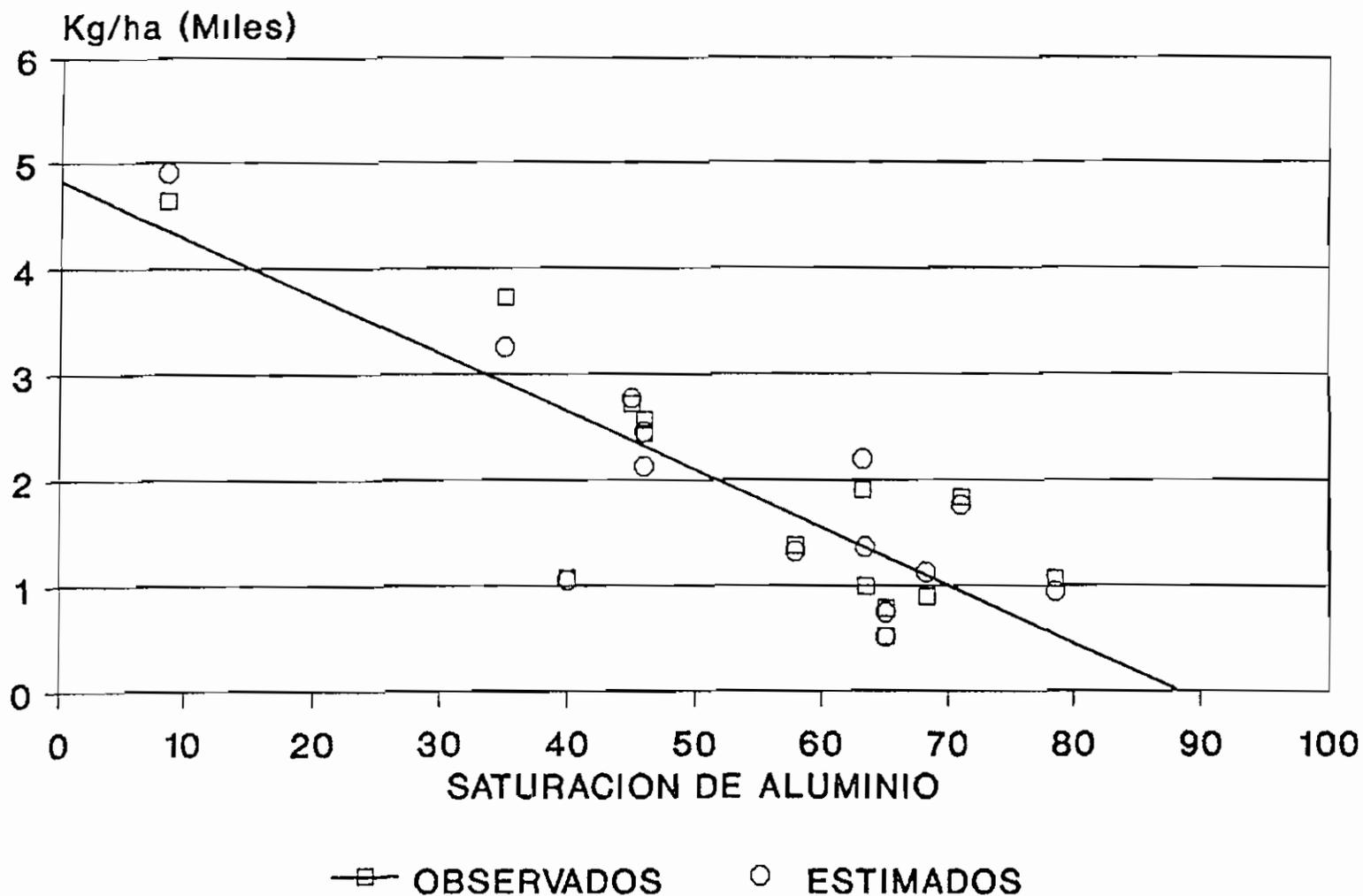
COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-8931



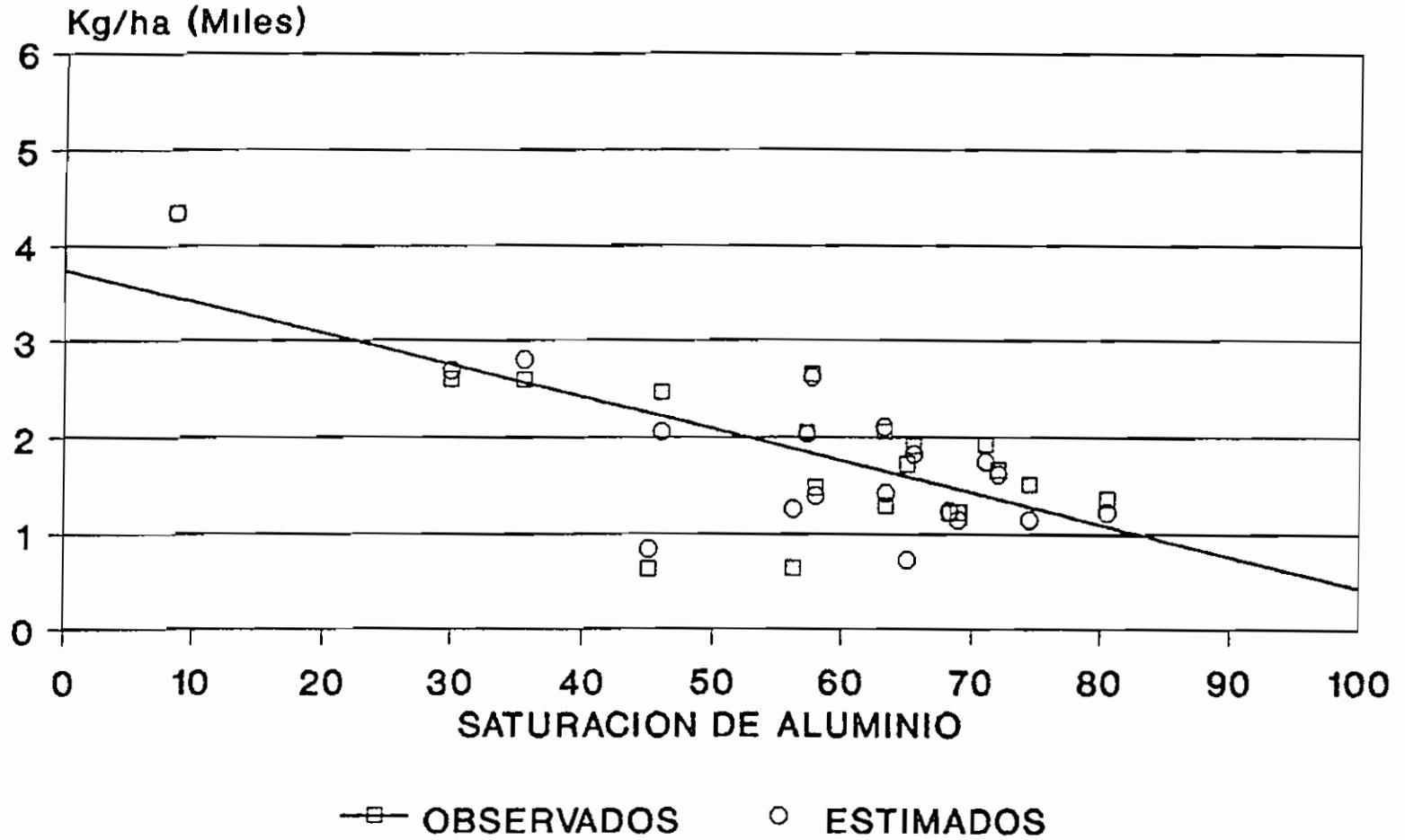
COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-3071



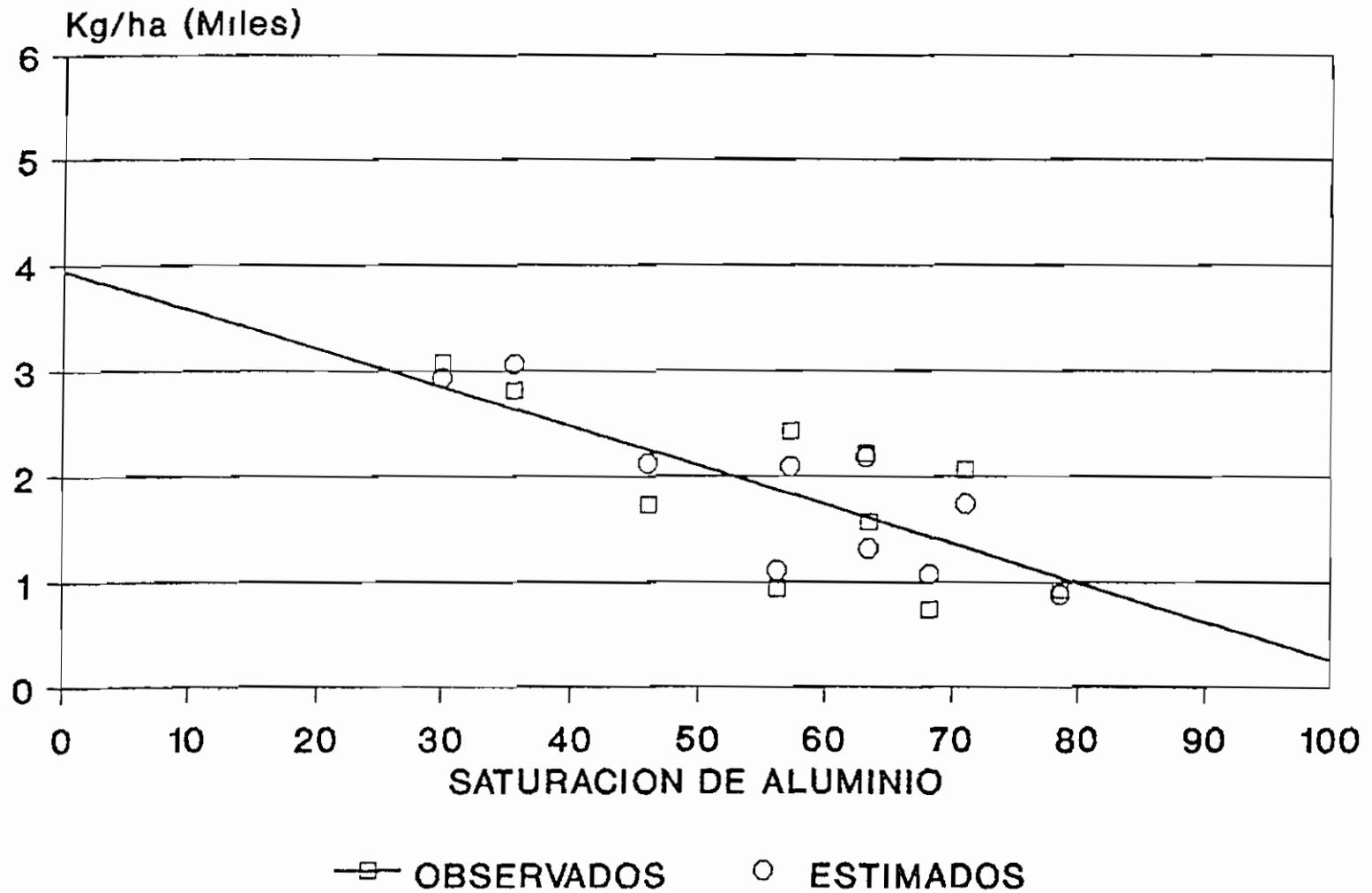
COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-9084



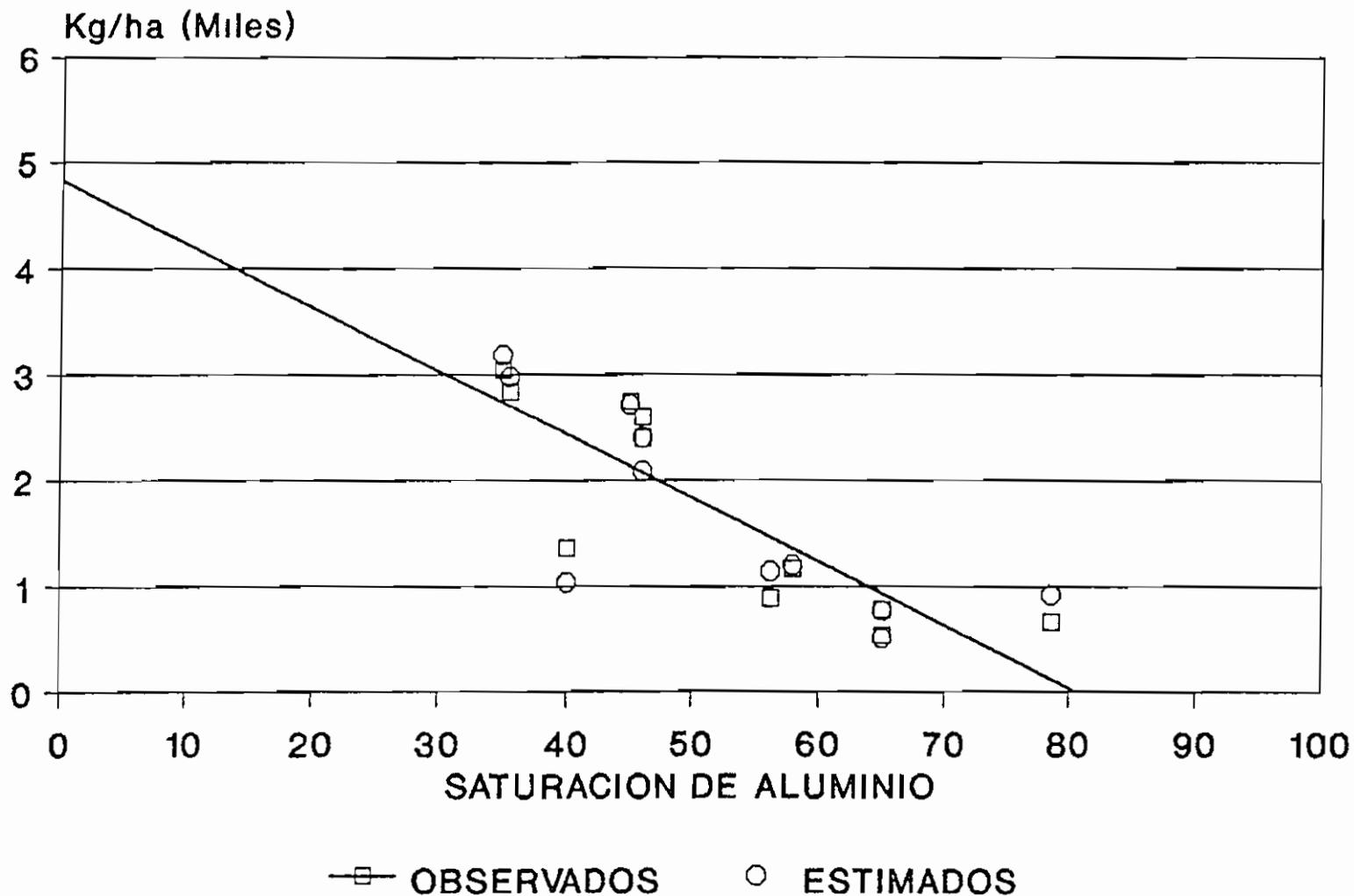
COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO MN-4508 (Sorghica Real 60)



COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO 3 DX



COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-2765



COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-8577

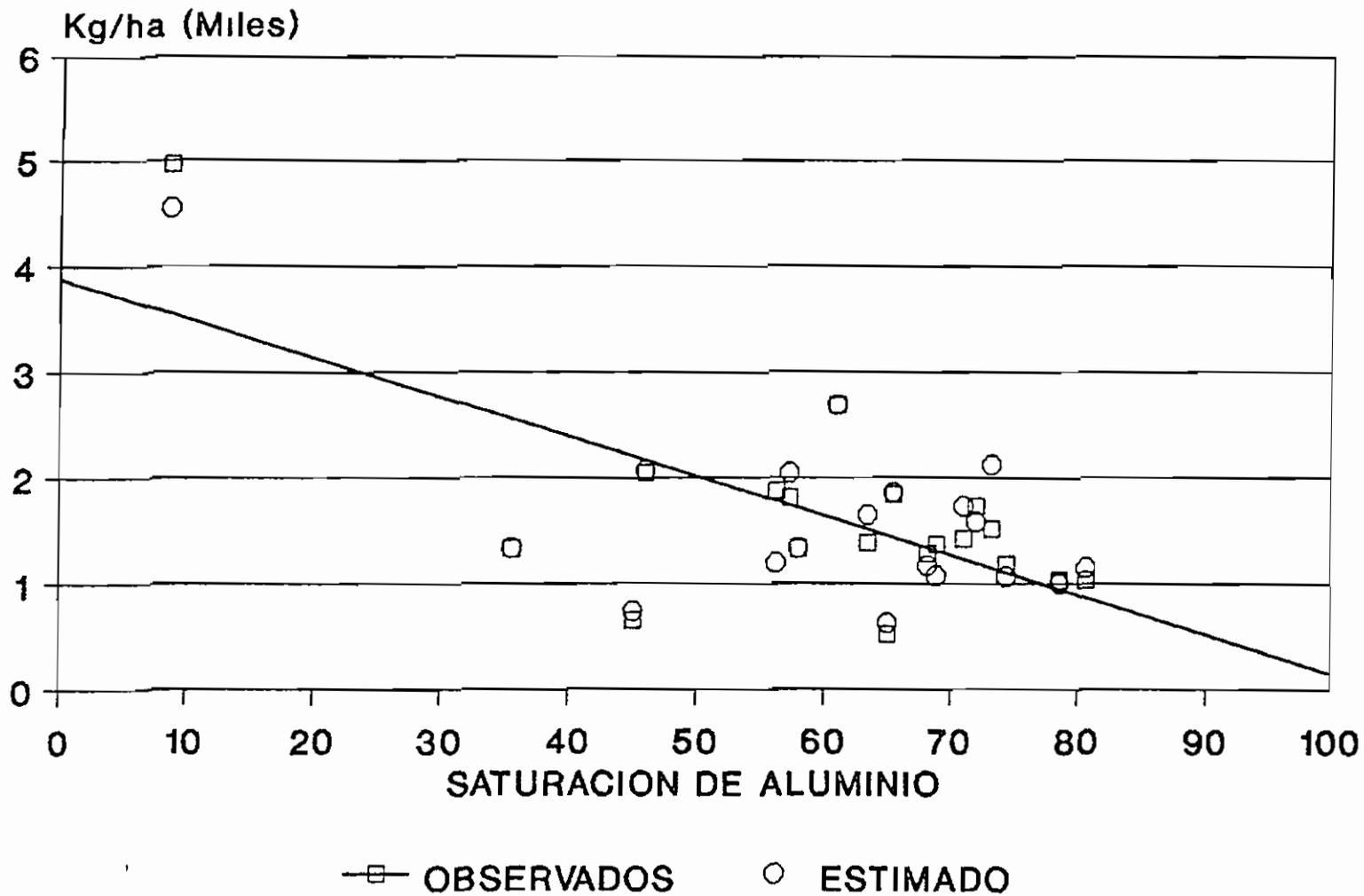
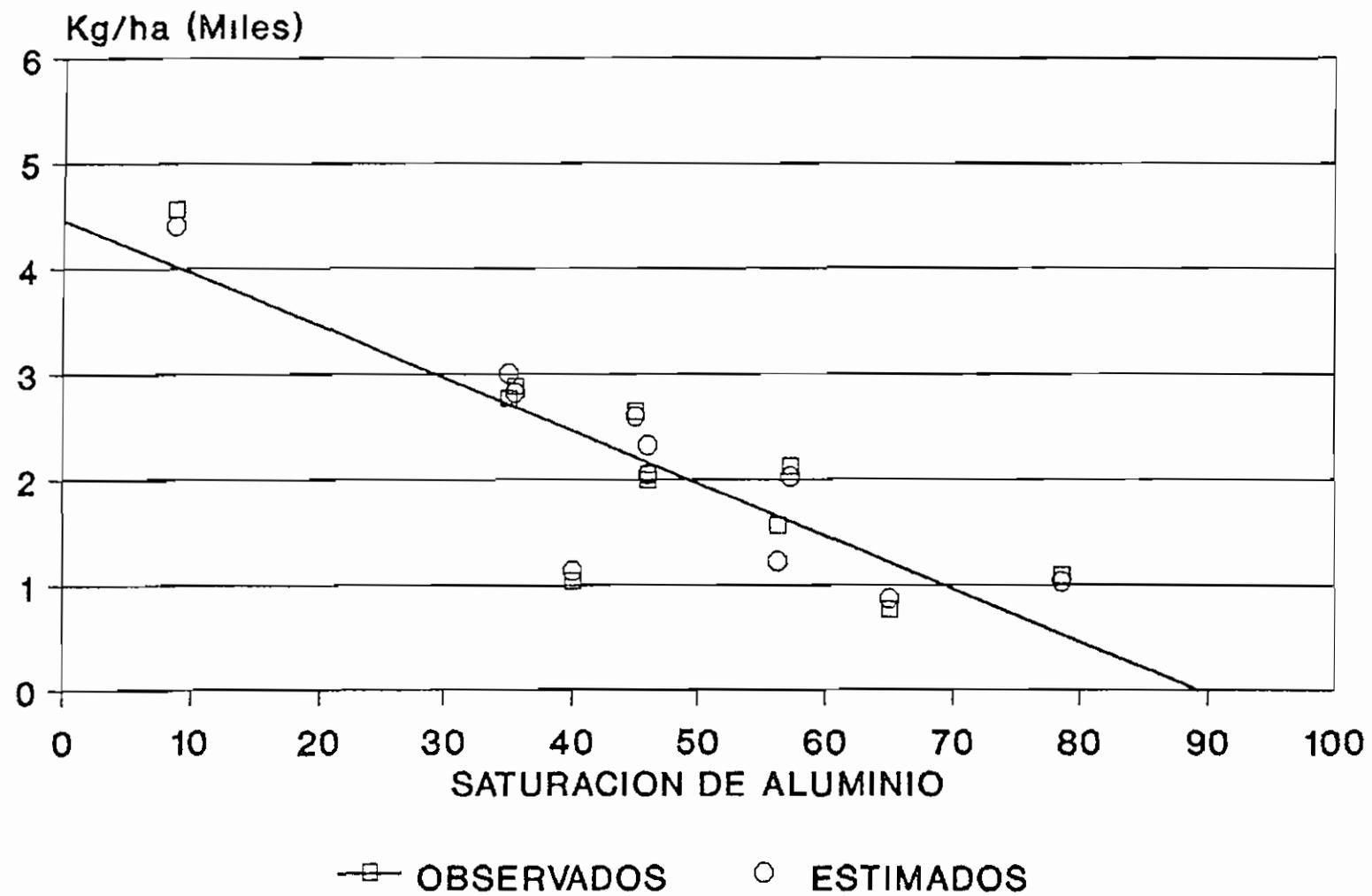
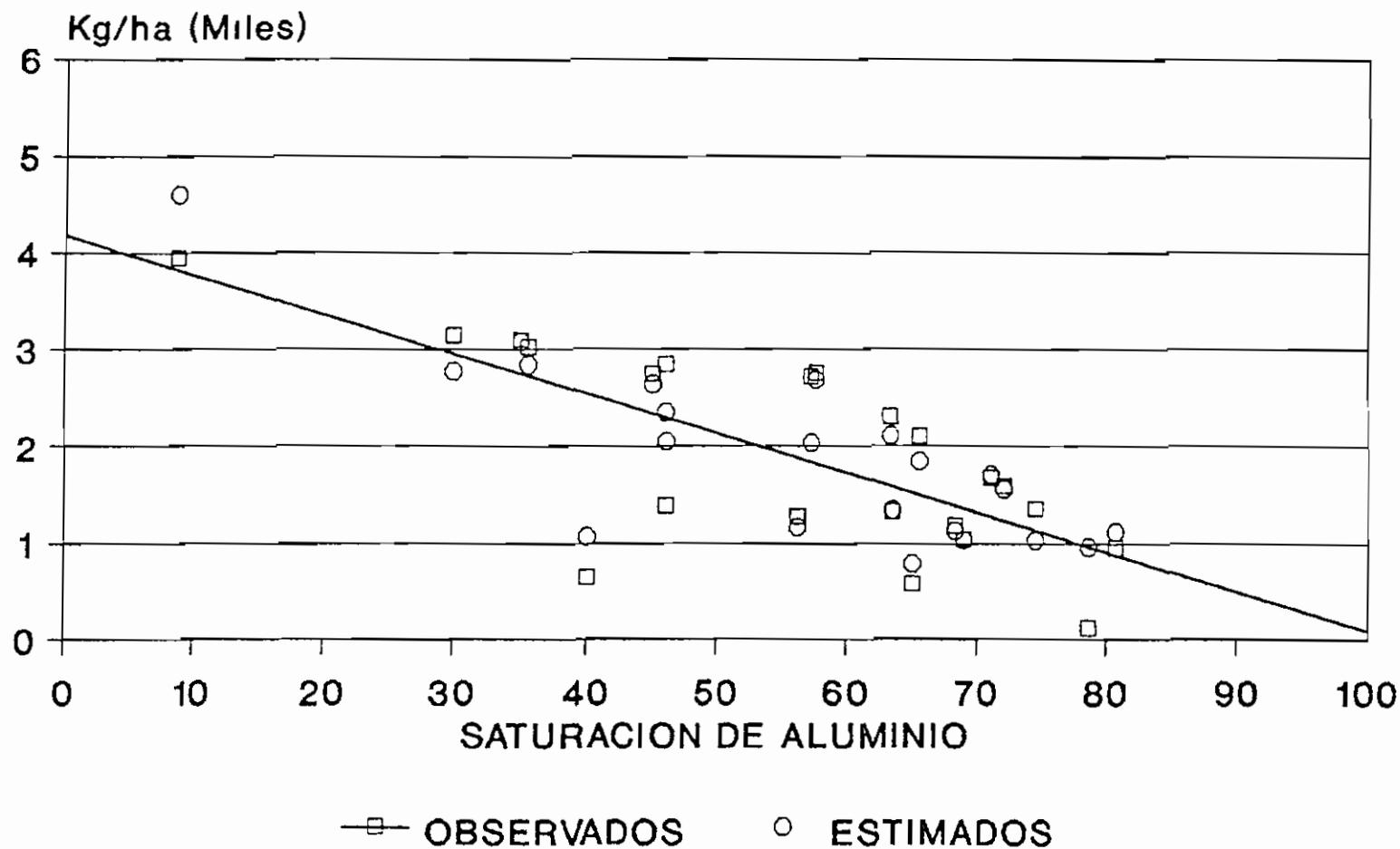


FIGURA 27 DEL APENDICE 3

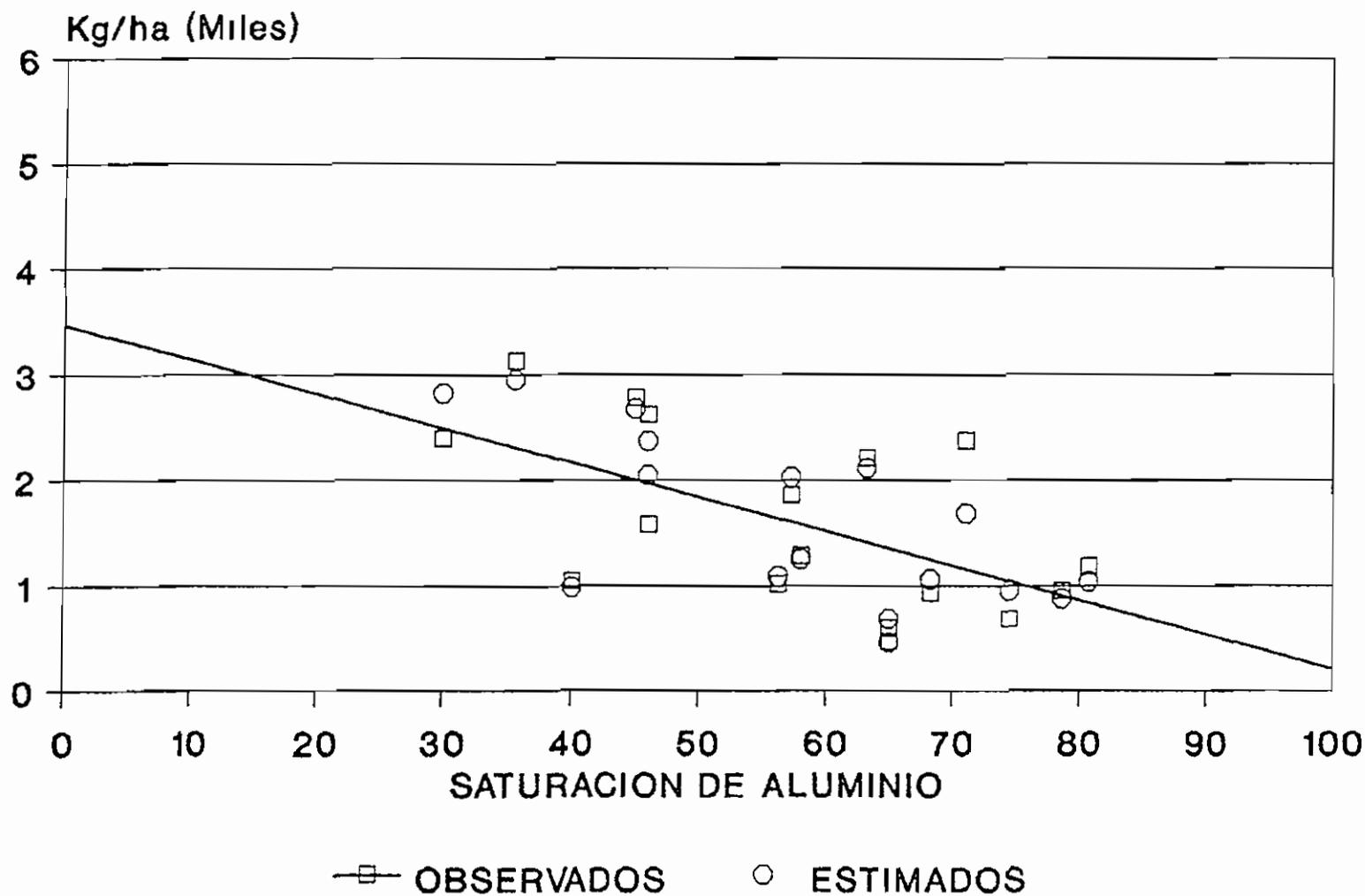
COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-8933



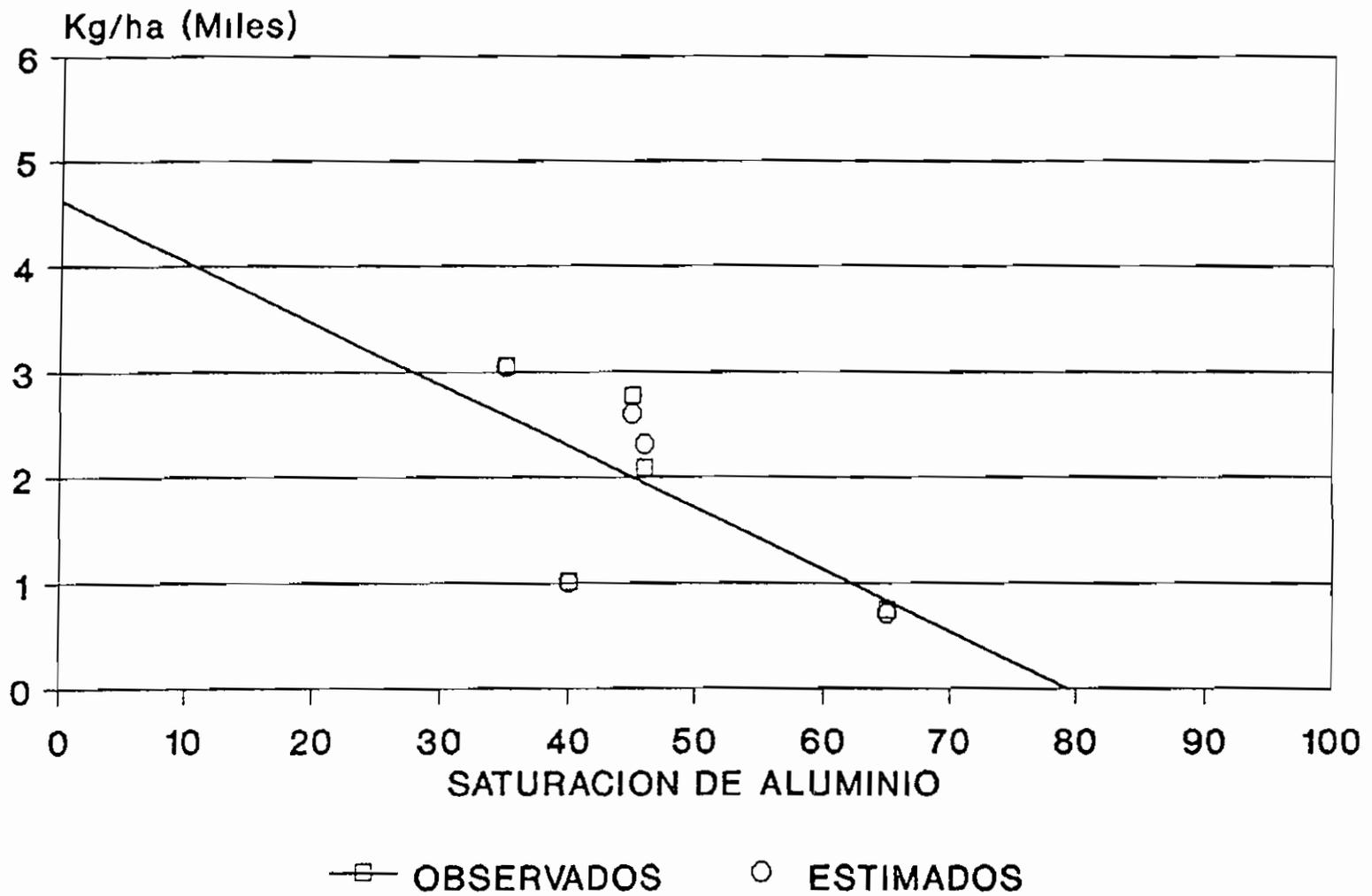
COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO SERERE-1 (Sorghica Real 40)



COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO 5 DX



COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-9042



COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-7151

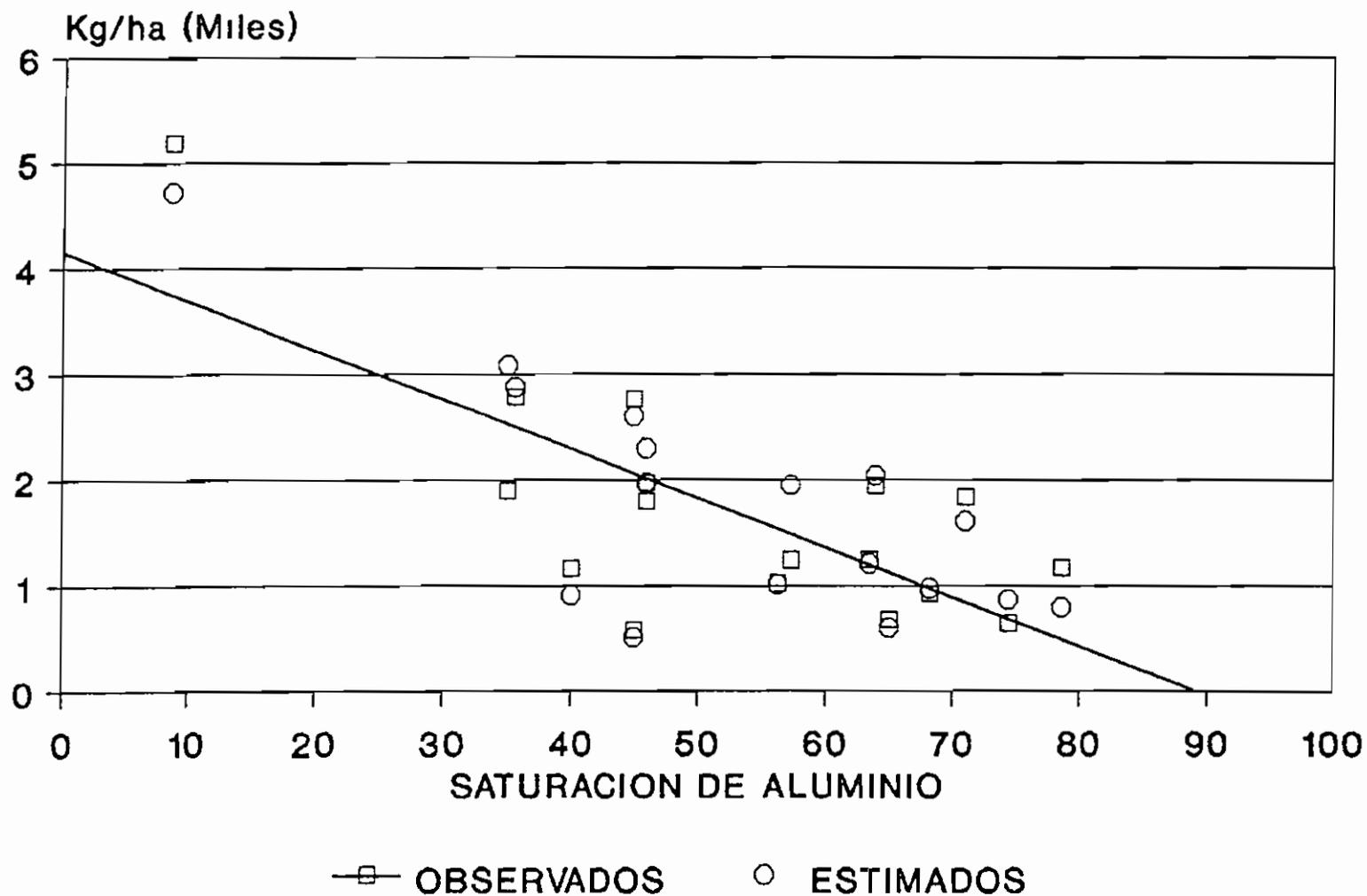


FIGURA 32 DEL APENDICE 3 **COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-6944**

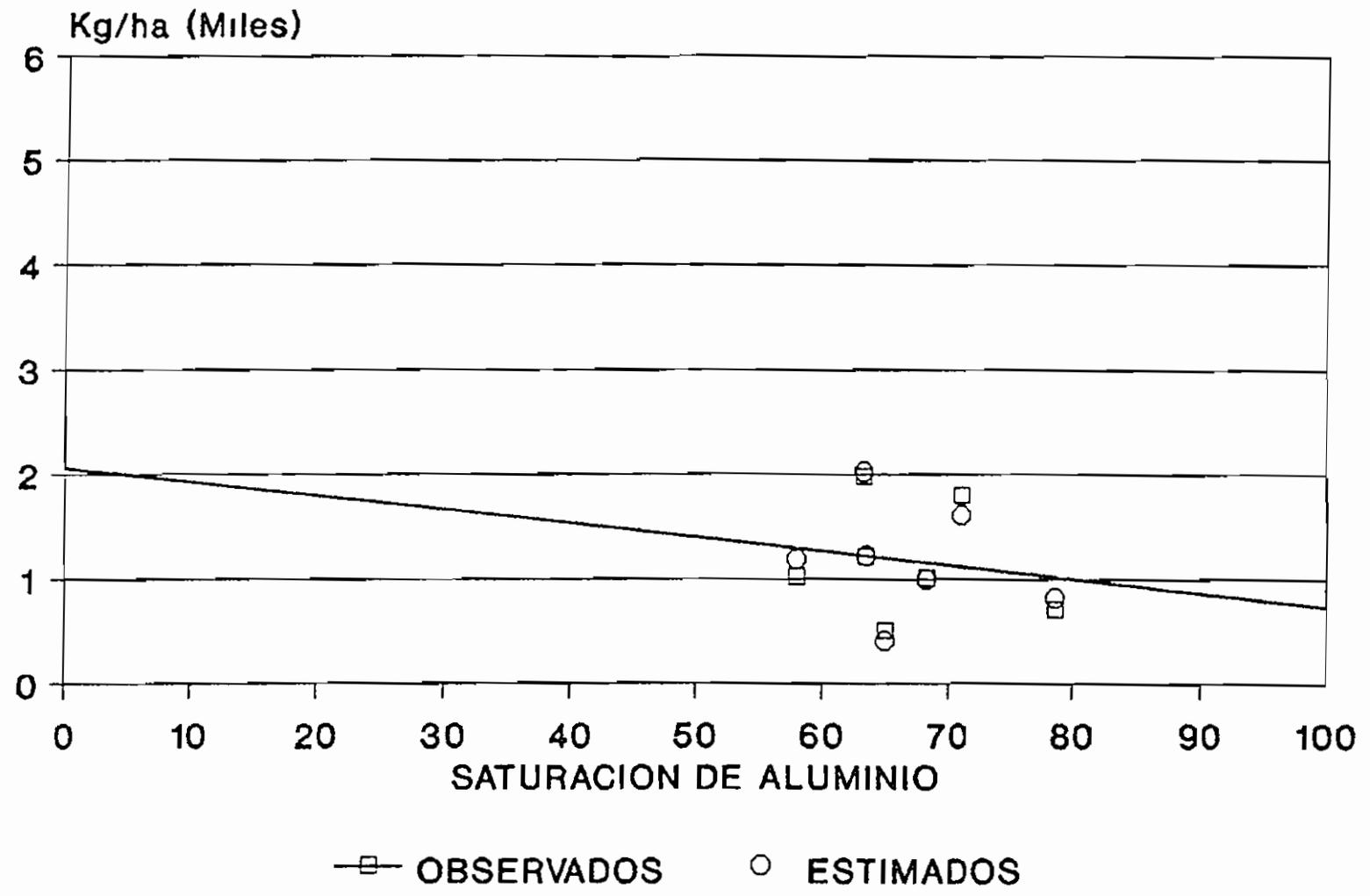
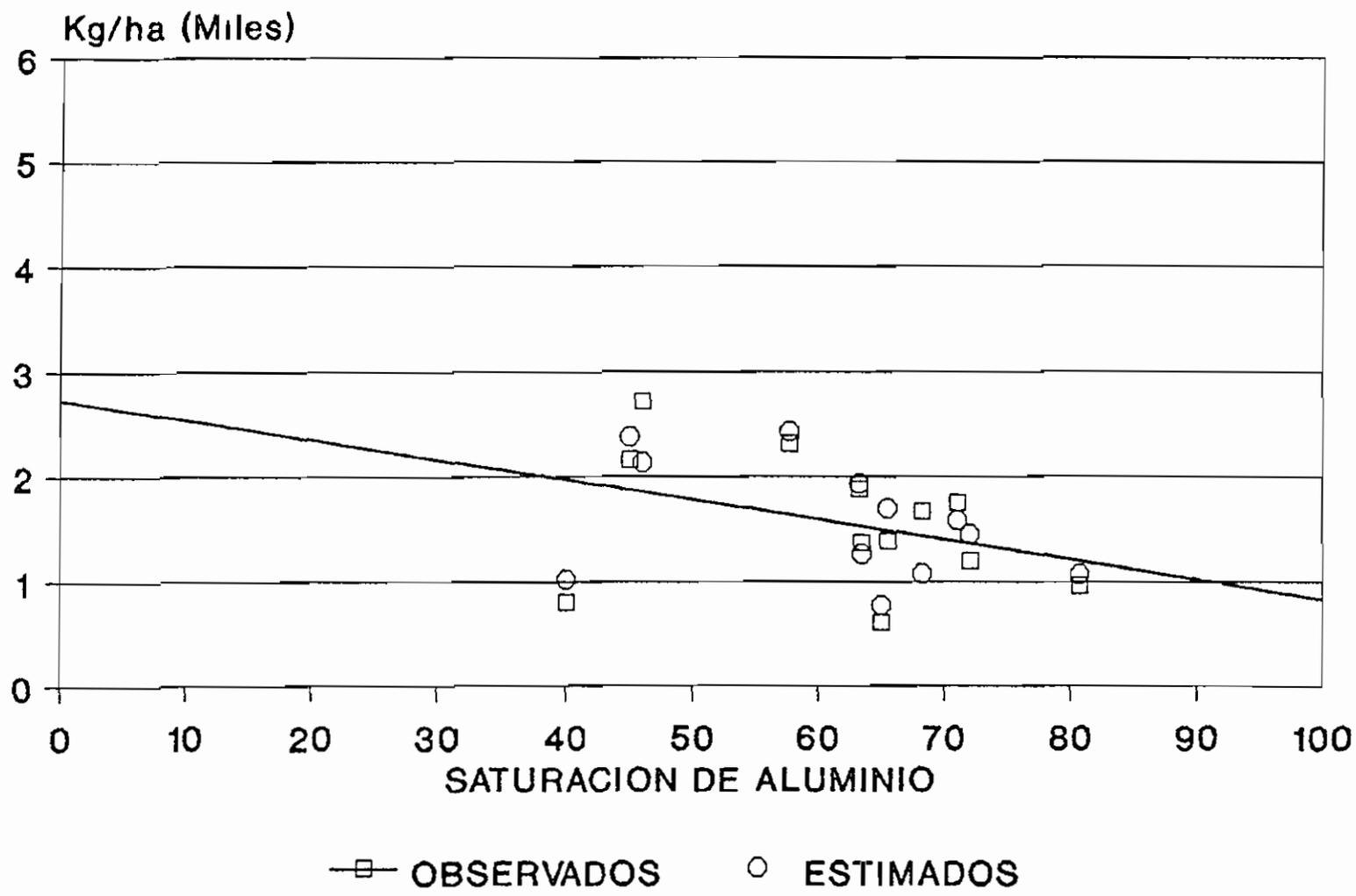
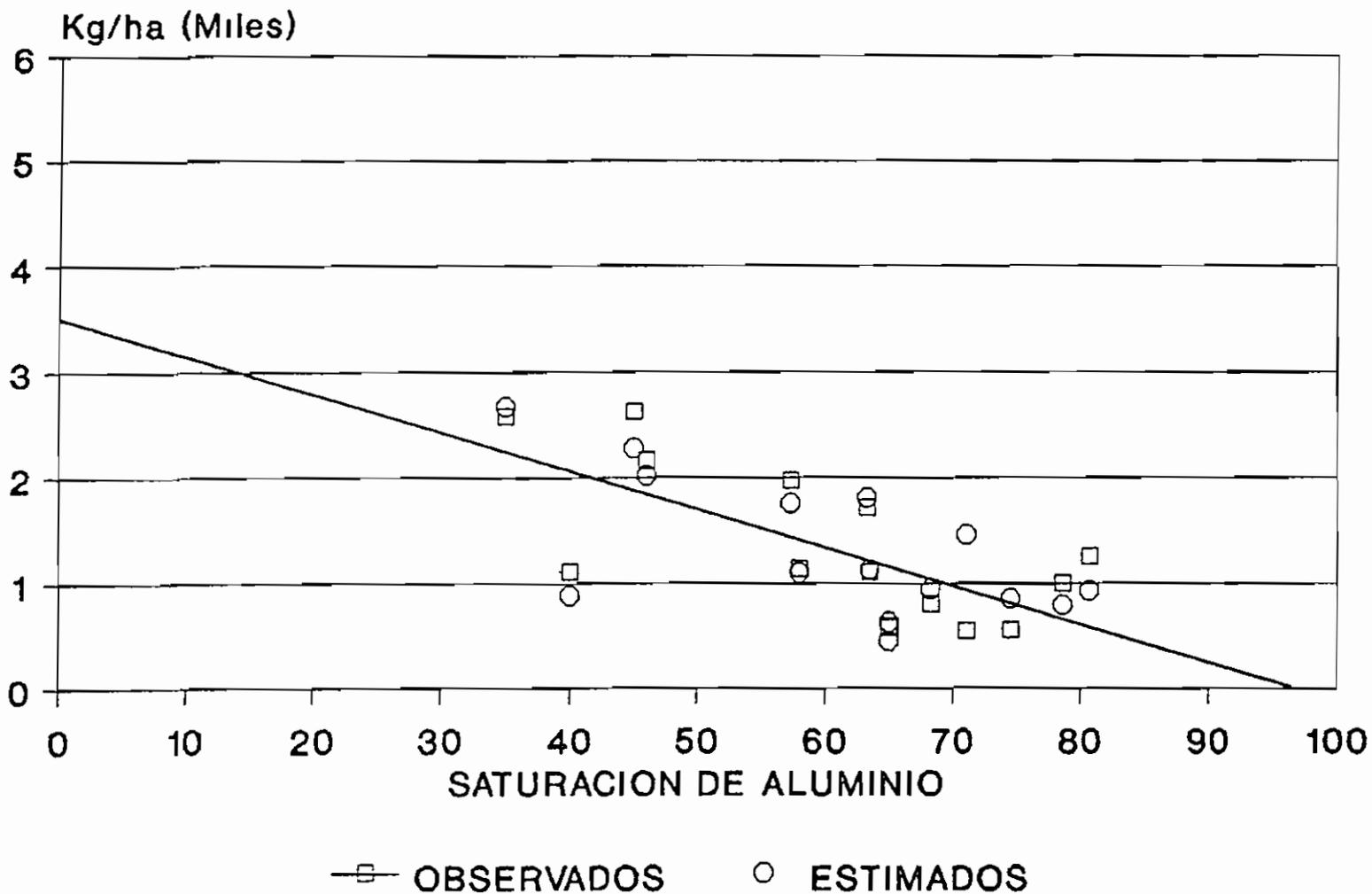


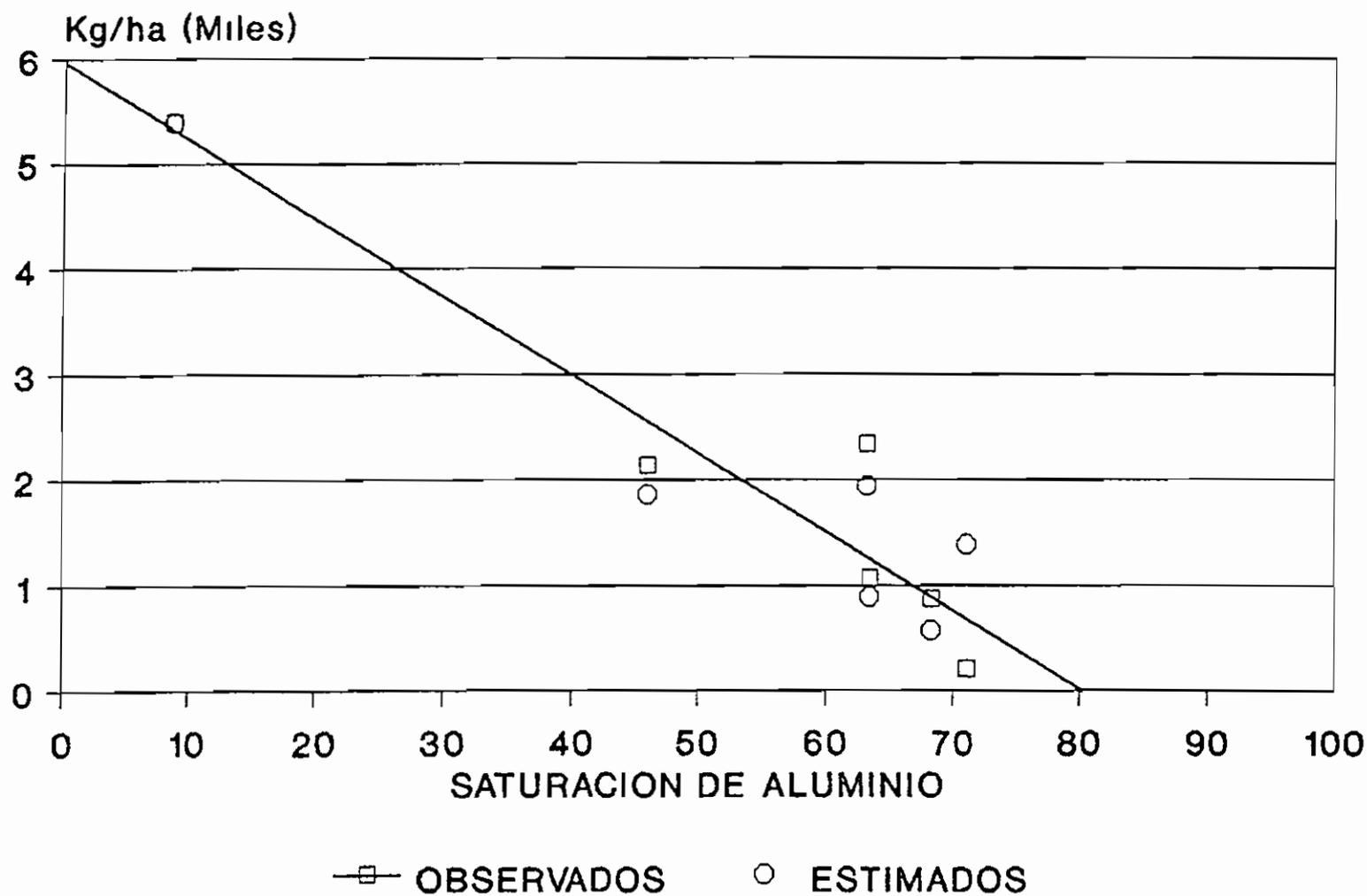
FIGURA 33 DEL APENDICE 3. COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO PPQ-2



COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-3522



COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-10336



COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-9636

FIGURA 36 DEL APENDICE 3

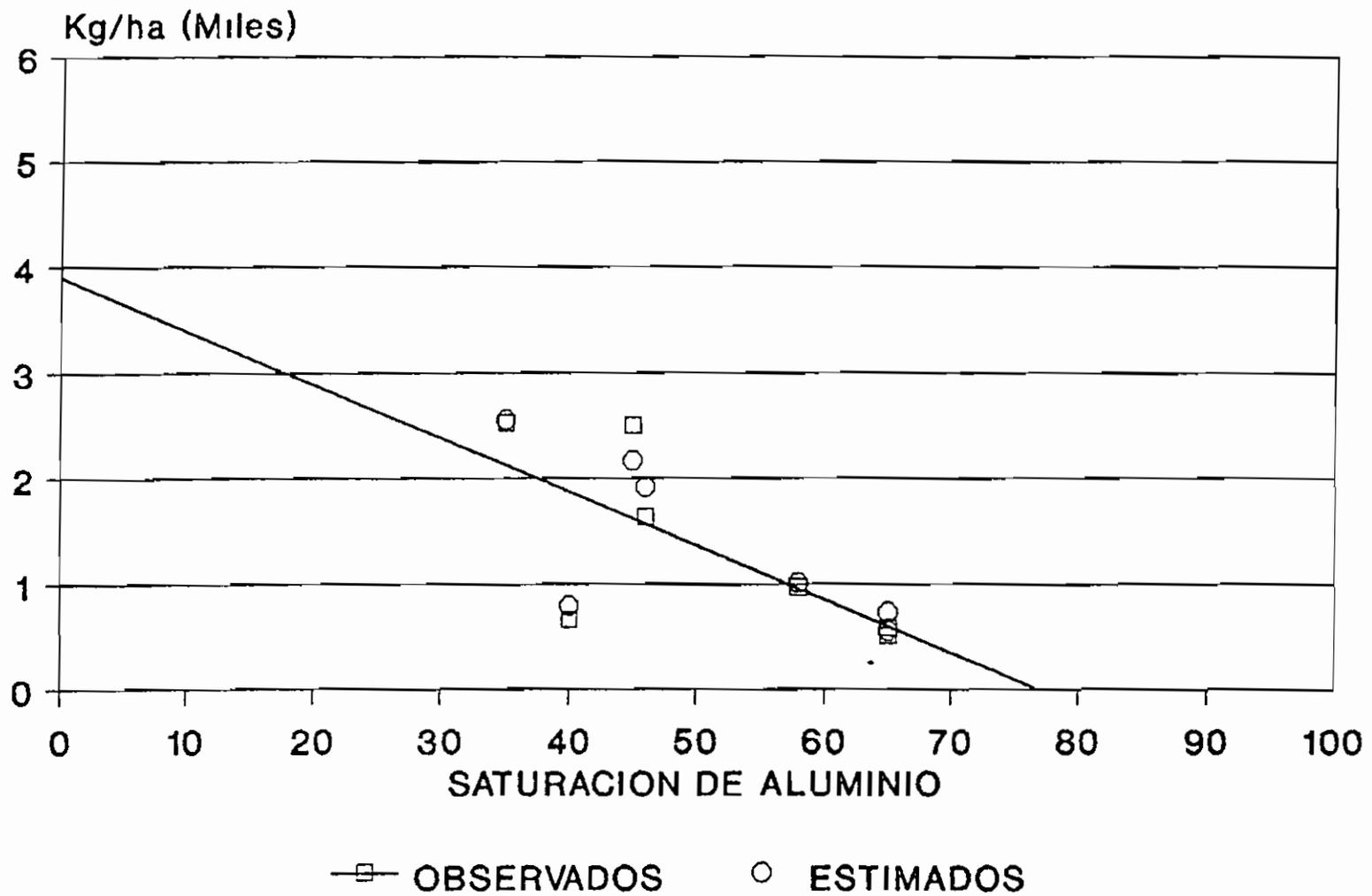
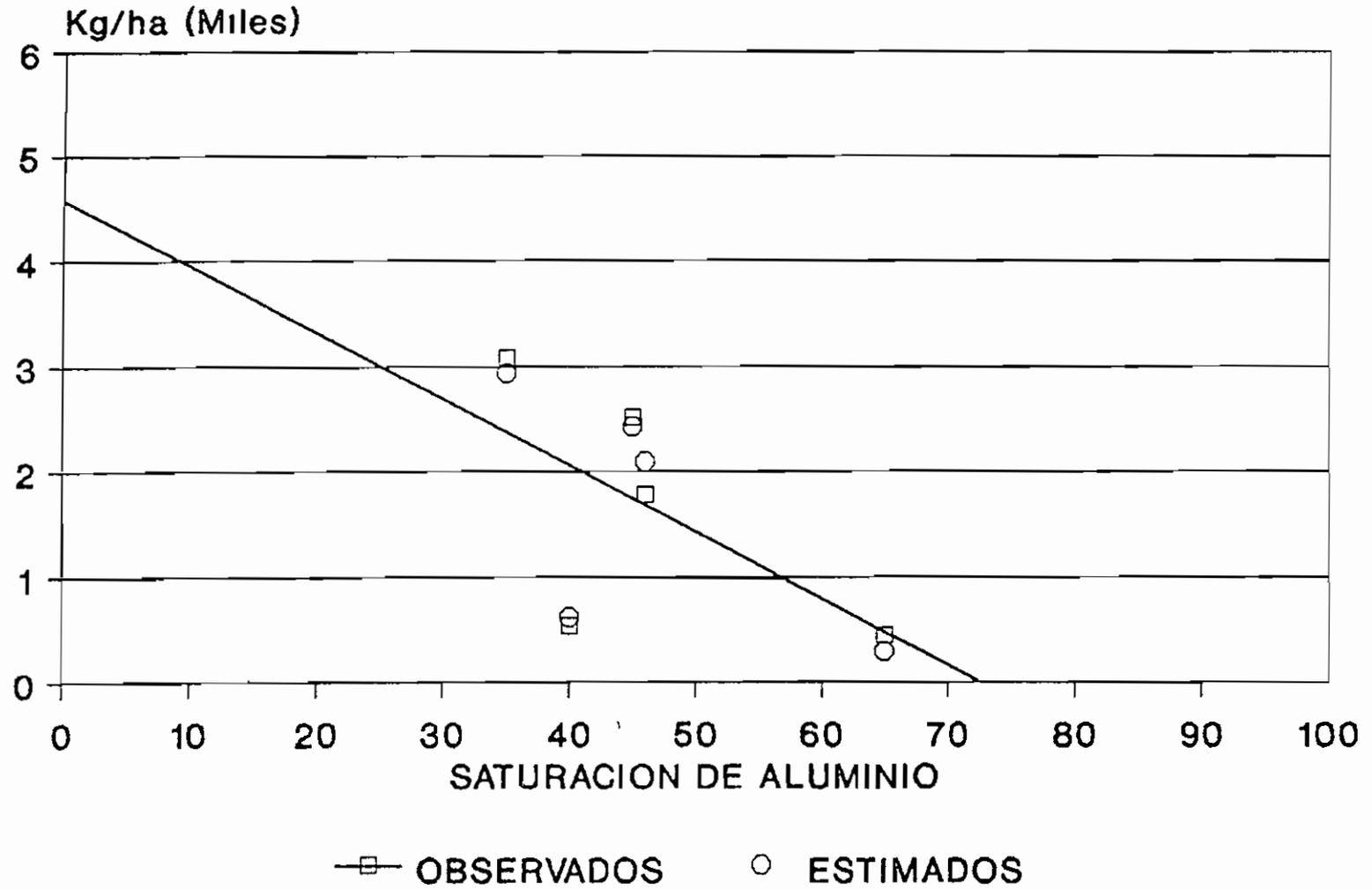


FIGURA 37 DEL APENDICE 3 **COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO IS-9945**



COMPORTAMIENTO DEL GENOTIPO ICA-NATAIMA

