

DESARROLLO DE GERMOPLASMA DE MAIZ PARA SUELOS ACIDOS¹

PROGRAMA SURAMERICANO DE MAIZ CIMMYT

J.C. Perez, C. De Leon, L. Narro, F. Salazar y Ma. del Pilar Arias²

RESUMEN

La baja fertilidad de los suelos es el problema más importante en la reducción de los rendimientos de maíz en los Trópicos y la acidez del suelo es el principal causante de esta baja fertilidad, siendo la toxicidad de aluminio la principal causa. Actualmente se siembran entre 8 y 20 millones de hectáreas de maíz en suelos ácidos con bajo pH, alta concentración de aluminio (Al) y deficiencia de Ca, Mg, y P. En los suelos ácidos se inhibe el crecimiento radicular que finalmente se manifiesta en una disminución del rendimiento. El CIMMYT, en colaboración con los Programas Nacionales, está aprovechando la gran variabilidad en el maíz para generar cultivares que puedan crecer bajo el estres provocado por la acidez del suelo y que su cultivo sea una actividad económicamente viable y que no interfiera con la sostenibilidad del ambiente. Estudios realizados en Colombia y en otros lugares indican que la selección recurrente recíproca, basada en el comportamiento de genotipos a través de un rango de ambientes será efectiva en el desarrollo de variedades e híbridos tolerantes. La capacidad de rendimiento en suelos ácidos esta correlacionada positivamente con el comportamiento en suelos fértiles no ácidos. Por esta razón, los cultivares de maíz tolerantes a la acidez pueden crecer y producir bien tanto en suelos ácidos como en no ácidos. Como resultado de este proyecto colaborativo se han liberado dos cultivares de maíz: Sikuaní ICA V110-Colombia y Antasena en Indonesia, actualmente en evaluación en diferentes países. Estudios agronómicos indican la superioridad de los cultivares tolerantes con relación a los susceptibles o comerciales en un rango de suelos ácidos y no ácidos. El proyecto continuará para mejorar poblaciones, desarrollar líneas superiores, híbridos y variedades, realizar estudios fisiológicos y moleculares e investigación en sistemas para desarrollar opciones sostenibles y económicas para los agricultores que cultiven maíz en suelos ácidos.

INTRODUCCION



Después del arroz y trigo el maíz es el tercer cultivo más importante del mundo tanto en área como en producción.

En los países en desarrollo, se calculan 82 millones de hectáreas (ha) con una producción aproximada de 183 Millones de toneladas. El maíz proporciona 15 % de los requerimientos de proteína en el

mundo y 19 % de las calorías, siendo el alimento básico de varios de cientos de millones de gentes en América Latina, Asia y África.

La baja fertilidad de los suelos es el problema más importante en la reducción de los rendimientos del maíz en los Trópicos y la acidez de los suelos es la principal causante de esta baja fertilidad, siendo la toxicidad de aluminio la principal causa. Actualmente se siembran entre ocho y 20 millones de hectáreas

de maíz en suelos ácidos con bajo pH, alta concentración de aluminio (Al) y deficientes en Ca, Mg y P.

El CIMMYT, en colaboración con los Programas Nacionales, esta aprovechando la gran variabilidad existente en maíz para generar cultivares que puedan crecer bajo el estres provocado por la acidez del suelo y que su cultivo sea una actividad económicamente viable y no interfiera con la sostenibilidad del ambiente.

¹ Trabajo presentado en el Taller de Agrociencia y Tecnología Siglo XXI, Villavicencio, Meta, Colombia. 13-15 Noviembre, 1996
² CIMMYT/c/o CIAT, A.A. 6713, Cali, Colombia.

DONDE ESTAN LOS SUELOS ACIDOS EN EL MUNDO?

Los suelos ácidos cubren una parte significativa de 48 países en desarrollo involucrando 1660 millones de ha. Aproximadamente el 43% de los suelos Tropicales del mundo se clasifican como ácidos. Cerca del 64% en las zonas Tropicales de América del Sur, 38% de Asia, 27% en Africa y 10% de Centro América, Caribe y México se consideran que tienen suelos ácidos. Se estima que el maíz se siembra en aproximadamente 8 Millones de ha de suelos ácidos incluyendo 3 Millones de ha en América del Sur, 2.5 Millones en Asia, 1.5 Millones de ha en Africa y 1 Millon de ha en Centro América, México y Caribe. Sin embargo, estimativos de la FAO, consideran en 20 Millones de hectáreas el área sembrada con maíz en suelos ácidos en el mundo.

QUE PASA AL MAIZ EN SUELOS ACIDOS?

En los suelos ácidos existe toxicidad de Al y Mn y deficiencias de Ca, Mg y P. El exceso de Aluminio interfiere en la división celular de los ápices radiculares y las raíces laterales, aumenta la rigidez de la pared celular, reduce la replicación del DNA, induce a que el fósforo sea fijado disminuyendo su disponibilidad tanto en el suelo como en la superficie de las raíces, disminuye la respiración celular e interfiere en la toma, transporte y uso de elementos esenciales. Los efectos acumulativos de esta interferencia es la ineficiencia de las raíces para absorber agua y nutrientes, aún cuando la zona radicular tenga humedad disponible.

PORQUE EL DESARROLLO DE MAIZ TOLERANTE A SUELOS ACIDOS?

La productividad del maíz se puede aumentar en suelos fértiles utilizan-

do tecnologías adecuadas. La producción también se puede incrementar aumentando el área cultivada. Sin embargo, cualquier expansión en superficie es solo posible en ambientes menos favorables y a menudo más frágiles, que se encuentran en los Trópicos húmedos (1500 Millones de ha) y las Sabanas ácidas (300 Millones de ha).

El uso del encalado tuvo éxito para corregir suelos moderadamente ácidos en los Estados Unidos y otros lugares donde la cal, el fertilizante y el combustible eran baratos. Para los agricultores de bajos ingresos y aquellos en áreas remotas, el encalado de los suelos es una operación muy costosa; además, el encalar profundo a más de 30 cm es muy difícil y puesto que esta práctica se debe repetir cada tres o cuatro años, no suministra una solución permanente al problema.

El desarrollo de variedades de maíz genéticamente tolerantes a la acidez ofrece una solución ecológicamente limpia al problema, conservadora de energía, costeable y barata para el uso de los agricultores pobres. El desarrollo de variedades tolerantes es un medio relativamente barato para aumentar los rendimientos de maíz y la eficiencia de la producción en suelos ácidos, bajo sistemas sostenibles y apropiados de producción.

INVESTIGACION COLABORATIVA DE CIMMYT CON LOS PNI PARA EL DESARROLLO DE CULTIVARES TOLERANTES A SUELOS ACIDOS

El CIMMYT, en colaboración con los Programas Nacionales de Investigación (PNI), ha optado por la ruta genética para dar solución al problema de suelos ácidos y ofrecer más opciones a los agricultores que cultivan maíz en estos suelos ácidos.

Desarrollo de germoplasma

El desarrollo de germoplasma de maíz tolerante a suelos ácidos, por el CIMMYT, fue iniciado en Santander de Quilichao bajo dos saturaciones de aluminio (45 y 75%) y de 6 - 7 ppm. de fósforo en el año de 1977, con las evaluaciones de materiales de diverso origen provenientes de CIMMYT - México, materiales braquíticos del CIAT, híbridos y compuestos del ICA, variedades Peruanas, variedades Bolivianas y Suwan 1. De estos materiales se seleccionaron 70 mazorcas de libre polinización, bajo dos saturaciones de Al y 45 materiales que presentaron un buen desarrollo de planta pero con un bajos rendimientos.

La población así formada y conocida como población tolerante a suelos ácidos (SA3), fue mejorada durante 15 ciclos de selección por el método de mazorca por surco modificado en la localidad de Santander de Quilichao (Dpto del Cauca) bajo los mismos niveles de estrés (45 y 75 % de saturación de Al y 6 -7 ppm de P). En 1981 se incluyen 14 colecciones de la raza Cateto de Brasil a fin de incrementar la tolerancia a acidez de la población. En 1988 se formó la población SA8 con base en los segregantes blancos derivados de la población SA3. La recombinación de las mejores familias del cuarto ciclo dio origen a la variedad Sikuaní ICA V110 la cual fue liberada en el año de 1994, recomendada para niveles de saturación de Al menores del 60% y 10 ppm de fósforo.

En 1986, se vio la necesidad de aumentar las poblaciones bajo estudio y se decide formar nuevas poblaciones tolerantes a suelos ácidos, dos poblaciones blancas (SA6 y SA7) y dos poblaciones amarillas (SA4 y SA5). Se obtuvo germoplasma de los Programas Nacionales que tenían materiales con tolerancia a suelos ácidos y materiales de

CIMMYT de buen comportamiento en América Latina, Asia y África. En 1986 A, se autofecundaron y polinizaron 36 materiales en Cali, Colombia; y se generaron 613 líneas S1 amarillas y 618 blancas. Entre 1987 y 1988 los 36 materiales fueron evaluados en ensayos de suelos ácidos en Colombia, Indonesia y Filipinas para determinar si alguno de ellos podrían ser de utilidad inmediatamente para los colaboradores y para tener una mejor idea de sus características.

Se formaron cuatro topcrosses con las 613 líneas S1 amarillas que se cruzaron con dos líneas amarillas heteróticas (L239 y L240) del Programa Nacional Colombiano y con las 618 líneas blancas que se cruzaron con líneas heteróticas (L235 y L236) del mismo programa.

Las líneas fueron evaluadas «per se» bajo condiciones normales y de suelos ácidos en varias localidades

de Brasil, Colombia (S.de Quilichao y Carimagua), Filipinas, Indonesia, y Perú. Las mejores 250 topcrosses amarillos y los 250 blancos se evaluaron en S. de Quilichao y CIAT-Palmira. Con base en estas evaluaciones, de las 613 líneas amarillas, 25 fueron seleccionados para formar la población SA4 y 31 para formar la SA5. De los 618 blancos 16 formaron la población SA6 y 13 la SA7 (Tabla 1 y 2).

Tabla 1. Familias incluídas en las dos Poblaciones amarillas

MATERIAL	N1 de familias contribuidas a	
	Pob SA4	Pob SA5
Mezcla amarilla	2	0
CM-36	0	5
CM-30	1	0
CIMMYT Sel Tol AI	7	1
Marginal 28	0	3
MB 123 C3	3	0
Across 7926	1	3
Suwan 8027	1	3
Pichilingue 7928	0	1
Across 7928	2	12
Sete Lagoas 7931	0	1
Pichilingue 7931	0	1
Across 7936	4	0
Across 8136	3	1
Suwan La Posta am.	1	0
Total	25	31

Tabla 2. Familias incluídas en las dos Poblaciones blancas

GERMOPLASMA	N1 de familias contribuidas a	
	Pob SA7	Pob SA8
Tuxpeño sel sequía	2	1
Tuxpeño C 15	1	0
Poza Rica 7822	1	0
La Máquina 8022	2	2
Across 8023	1	3
Across 7930	0	1
ETO Blanco C5	0	4
Poza Rica 7843	2	0
La Máquina 7843	2	0
Across 8043	4	2
Suwan La Posta BI	1	0
Total	16	13

En 1993, obedeciendo la demanda de los PNI en América Latina, se inició la formación de dos poblaciones precoces tolerantes a suelos ácidos. Para lo anterior evaluamos y seleccionamos germoplasma precoz de nuestras poblaciones y materiales precoces provenientes de Tailandia y México.

Mejoramiento de germoplasma

Resultados publicados de estudios en invernadero donde plantas de maíz fueron evaluadas en solu-

ciones nutritivas, indicaban que la tolerancia al Al era controlada por uno o pocos genes con modificadores. Sin embargo, nuestras observaciones preliminares sugerían que la tolerancia a la acidez en el campo era de naturaleza cuantitativa con genes mostrando pequeños efectos y contribución variable en diversos ambientes.

Con base en estas observaciones, hemos adoptado el esquema de selección recurrente para mejorar la tolerancia a suelos ácidos de nuestras poblaciones. Miles de familias de

hermanos completos (HC) o líneas S1 se avalúan anualmente en un rango de ambientes de suelos ácidos y normales en Colombia (Tabla 3).

Además cuando es posible, estas familias se evalúan en Brasil, Perú, Venezuela, Indonesia, Filipinas, Tailandia y Vietnam. Cruzamientos entre los genotipos más tolerantes, evaluación de los cruzamientos y selección de las progenies superiores para la próxima recombinación han ayudado a mejorar significativamente los niveles de tolerancia de nuestras poblaciones a los suelos ácidos.

Sitio	pH	M.O.	P Brayll	Al	Ca	Mg	K	Sat Al
	(H2O 1:1)	%	ppm	—meq/100g—				%
Carimagua	4.73	3.74	1.53	2.70	0.17	0.07	0.06	90
La libertad	4.90	2.70	2.57	1.97	0.38	0.12	0.10	75.8
S. Quilicao	4.30	7.50	5.50	4.44	0.63	0.23	0.09	82.2

Clasificación: Carimagua: Typic Haplustox, fino, caolínico, isohipertérmico.
 La libertad: Tropectic Haploorthox, fino, caolínico, isohipertérmico.
 Quilicao: Plinthidic kandiodox, muy fino, caolínico, isohipertérmico.

En 1995 como resultado de algunos estudios, se decidió fusionar las poblaciones SA5 con la SA3, puesto que estas mostraban poca heterosis entre sí, pero sí con la población SA4. De esta fusión se formó una nueva población SA3 con los mejores genotipos de las poblaciones SA3 C5 y SA5 C3. La nueva población SA4 se formó con las mejores líneas de la población SA4. En el caso de las poblaciones blancas se fusionaron las poblaciones SA7 y SA8 que no mostraron ser heteróticas entre sí, pero sí con la población SA6, de esta fusión se formó la nueva población SA7 con los mejores genotipos de las poblaciones fusionadas. La población SA6 con las mejores líneas de la población SA6.

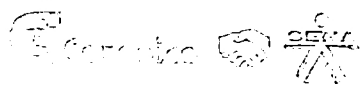
Desde 1992, estamos desarrollando líneas endogámicas tolerantes a suelos ácidos, las cuales estamos utilizando en la formación de variedades sintéticas, híbridos y algunos grupos de líneas contrastantes en estudios genéticos, moleculares y fisiológicos para generar conocimiento e incrementar la eficiencia de nuestro programa de mejoramiento de la tolerancia del maíz a suelos ácidos.

Herencia de la tolerancia del maíz a suelos ácidos

Paralelo al mejoramiento poblacional, hemos conducido diferentes estudios tendientes a determinar la naturaleza de la herencia del ren-

dimiento en suelos ácidos. Resultados de estos estudios han sido publicados en Crop Science y Maydica.

En un estudio usando Diseño I en la población SA3, se registró un mayor valor de variancia aditiva dominante para rendimiento (0.15 vs 0.12), altura de planta (48.0 vs 6.8) y prolificidad (0.010 vs 0.00) a través de tres ambientes de suelos ácidos. La heredabilidad promedio estimada, usando familias de medios hermanos, fue de 36% para rendimiento, 31% para días a la floración, 52% para altura de planta y 40% para prolificidad. La interacción variancia aditiva x ambiente fue el componente más importante de la variancia genética para todas las característi-



cas estudiadas. De este estudio se concluyó que la forma más eficiente de mejorar el rendimiento era seleccionando por este carácter. Además, la correlación genotípica entre rendimiento en suelos ácidos y normales promedió 0.297, indicando que el alto rendimiento en suelos ácidos no es a expensas de una disminución en condiciones favorables.

En un cruzamiento varietal, entre seis cultivares tolerantes y dos susceptibles de maíz, se obtuvo diferencias altamente significativas para el cuadrado medio padres vs cruzamientos, indicando heterosis y efectos no aditivos para rendimiento. Los cruzamientos entre padres tolerantes fueron más altos (3.0 t/ha), que entre padres tolerantes x susceptibles (2.40 t/ha) o entre susceptibles (2.01 t/ha), indicando que este carácter se hereda en forma poligénica.

En un estudio utilizando el Diseño II en la población SA4 la variancia de dominancia fue mayor que la variancia genética aditiva (0.22 vs 0.09).

Para determinar si los efectos maternos influían en los rendimientos en suelos ácidos, se realizó un estudio dialélico involucrando cruza recíprocas entre ocho padres, encontrándose ausencia de diferencias recíprocas para rendimiento, días a

floración, altura de mazorcas, mazorcas por planta y pudrición de mazorca, indicando que la tolerancia a suelos ácidos es controlada por genes nucleares que también pueden controlar la actividad citoplasmática.

En resumen, todos los trabajos realizados para estudiar el comportamiento del maíz en suelos ácidos demuestran que los efectos aditivos y de dominancia son importantes en el rendimiento en suelos ácidos. El rendimiento es el carácter más importante para seleccionar y la selección de otros caracteres reduce la ganancia en rendimiento.

Ganancia en selección

La ganancia se midió en la población SA3 después de 14 ciclos utilizando el sistema de selección de medios hermanos (MH) y dos ciclos de hermanos completos (HC). MH y HC combinados mejoraron el rendimiento en 40 (1.99%) y 310 kg/ha/ciclo (13.96%), respectivamente, en seis ambientes con suelos ácidos. Usando Mh y HC en cinco ambientes con suelos normales, el rendimiento mejoró en 50 (1.10%) y 150 kg/ha/ciclo (3.31%), respectivamente. En seis ambientes con suelos ácidos y cinco con suelos normales, usando MH y HC, el rendimiento se mejoró en 40 kg/ha/ciclo (1.49%) y 250 kg/ha/ciclo (8.10%), respectivamente.

Después de 2 ciclos de selección recurrente usando HC, se midió la ganancia de selección en cinco poblaciones de maíz tropical en tres localidades, una con suelo normal y dos con diferentes estrés edáficos. El mejoramiento del rendimiento en todas las poblaciones fue de 4.72%/ciclo a través de localidades, 4.90%/ciclo en los ambientes de suelos ácidos (ASA) y 4.21%/ciclo en ambientes de suelo no ácido (SNA). El rendimiento en SNA mostró correlación positiva con el rendimiento en ASA, sugiriendo la posibilidad de mejorar las poblaciones simultáneamente tanto para ASA y SNA.

En otro estudio, durante 1994-95, evaluamos diferentes ciclos de selección de las poblaciones SA3, SA4, SA5, SA6, SA7 y SA8 en cinco ambientes de suelos ácidos (ASA), dos suelos no ácidos de baja fertilidad (SNA-BF) y un ambiente fértil no ácido (FNA) (Tablas 4,5 y 6). En los cinco ASA las ganancias de rendimiento variaron entre 0.47 y 8.43 % con una media de 4.75%/ciclo. En los SNA-BF la ganancia varió entre 0.18 y 9.43%, con una media de 2.99%/ciclo. En el FNA, las ganancias variaron entre -7.53 a 7.10% con una media de 1.85%/ciclo. La ganancia en ASA de 4.75%/ciclo es superior a la ganancia de 3.50%/ciclo indicada en la literatura para ambientes fértiles sin estrés.

Tabla 4. Ganancia de rendimiento de grano de seis poblaciones de maíz seleccionadas por tolerancia a suelos ácidos. Ensayos conducidos en cinco ambientes con suelo ácido, durante 1994-1995.

Poblaciones	No Ciclos	C0			Ganancia/ciclo %
		C1/C2	C2/C3/C4	—t/ha—	
SA-3	3	2.17	2.37	2.51	3.95**
SA-4	3	1.94	2.04	2.15	3.40
SA-5	3	1.88	1.84	2.31	8.43**
SA-6	3	1.86	2.09	2.18	5.24
SA-7	3	1.66	1.78	2.01	6.86**
SA-8	3	2.23	2.23	2.25	0.47*
Promedio		1.96	2.06	2.24	4.75*
Tuxpeño				1.28	
Sikuani				2.08	

Tabla 5. Ganancia de rendimiento de grano de seis poblaciones de maíz seleccionadas por tolerancia a suelos ácidos. Ensayos conducidos en un ambiente con suelo fértil, durante 1995.

Poblaciones	No Ciclos	C0	C1/C2	C2/C3/C4	Ganancia/ciclo
		—t/ha—		%	
SA-3	3	5.05	5.03	5.64	2.93
SA-4	3	5.75	6.49	4.72	-7.35**
A-5	3	5.66	6.36	5.40	-2.53
SA-6	3	6.14	6.24	7.27	6.43**
SA-7	3	5.19	5.58	6.30	7.10**
SA-8	3	5.01	5.29	5.50	4.89
Promedio		5.47	5.83	5.80	1.85
Tuxpeño				4.37	
Sikuani				4.84	

Tabla 6. Ganancia de rendimiento de grano de seis poblaciones de maíz seleccionadas por tolerancia a suelos ácidos. Ensayos conducidos en dos ambientes con baja fertilidad del suelo, durante 1995.

Poblaciones	No Ciclos	C0	C1/C2	C2/C3/C4	Ganancia/ciclo
		—t/ha—			
SA-3	3	2.64	2.88	3.14	4.77*
SA-4	3	2.84	3.28	3.00	0.94
SA-5	3	3.00	3.24	3.23	2.25
SA-6	3	3.10	3.38	3.38	2.59
SA-7	3	3.17	3.60	3.24	-0.18
SA-8	3	2.67	3.02	3.17	9.43*
Promedio	2.90	3.23	3.19	2.99	
Tuxpeño			2.89		
Sikuani			2.92		

Evaluación de variedades experimentales

En cada ciclo de selección, desarrollamos variedades experimentales las cuales evaluamos en colaboración de PNI.

Durante 1992-1993, en ensayos sembrados en 20 localidades con suelos ácidos, la variedad tolerante CIMCALI 91SA3 rindió 48% más que los mejores testigos (2.95 vs 2.00 t/ha). Solamente en dos de estas 20 localidades con suelo ácido, la variedad tolerante tuvo rendimiento más bajo.

Además, la superioridad de CIMCALI 91SA3 fue mayor conforme el nivel de acidez aumentó. El

mismo ensayo se sembró en cinco localidades con suelo no ácido donde la variedad tolerante tuvo un rendimiento mayor 11% (7.14 vs 6.45 t/ha) en todas las localidades, superando a los testigos.

En 1994-95 seis variedades experimentales tolerantes a suelos ácidos, Tuxpeño Sequía C8 y tres testigos locales fueron evaluados en 16 ambientes de suelos ácidos y tres ambientes no-ácidos en varios países del mundo. En todos los ambientes ácidos, la mejor variedad tolerante rindió 3.11 t/ha comparado con 2.86 t/ha de los mejores testigos. En los tres ambientes normales CIMCALI 93SA6 rindió 6.85 t/ha comparado con 6.70 t/ha de los mejores testi-

gos y 5.32 t/ha de Tuxpeño Sequía C8, indicando que las variedades continúan siendo un germoplasma útil disponible para los PNI.

Investigación en Agronomía

Diferentes ensayos han sido conducidos por CIMMYT en apoyo con ICA y CORPOICA en los dos últimos años, en los Llanos Orientales de Colombia, Santander de Quilichao (Departamento del Cauca). También se realizan algunos ensayos en campos de agricultores en Perú y Ecuador. El objetivo es investigar el manejo agronómico de las variedades experimentales generadas por CIMMYT y su integración a diferentes sistemas de producción.

A continuación se presentan los resultados de algunos de estos ensayos realizados en el C.I. Carimagua (Pto. Gaitán, Meta), en el semestre B de 1995.

1. Respuesta de la variedad Sikuaní ICA V-110 a cuatro métodos de aplicación de dos enmiendas en un suelo ácido de los Llanos Orientales de Colombia.

1.1 Objetivos

Evaluar, en un suelo ácido de los Llanos Orientales, con una saturación de Al superior al 55%, el efecto que sobre el rendimiento de la variedad de maíz Sikuaní ICA V 110, tiene el método y el tiempo de aplicación de Cal dolomítica y el sulfato de calcio y magnesio (sulcamag).

1.2 Antecedentes

En un Oxisol del CNI Carimagua, lote A, con pH de 4.7, 1.8 ppm de P, 0.04 me/100g de K y 86.74 % de saturación de aluminio se estableció, en 1995B, un ensayo para evaluar las respuestas de la variedad Sikuaní ICA V 110 a las aplicaciones en el sitio, al voleo, en banda y al voleo banda de las enmiendas cal dolomítica y sulfato de calcio y magnesio (Sulcamag), cuando se hacen para reducir la saturación de aluminio intercambiable del suelo al 55%. Las aplicaciones al voleo se hicieron un mes antes de la siembra y las aplicaciones en sitio o en banda al momento de la siembra. Se aplicaron 1.034 t/ha de cal dolomítica y 1.3 t/ha de sulcamag. Al momento de la siembra se añadieron uniformemente 60 kg de N como urea, 80 kg/ha de P como SFT y 80 kg/ha de K, como KCL. Cuando el maíz tenía unos 50 cm de altura

se aplicaron otros 60 kg de N. Las enmiendas se aplicaron así: Al voleo e incorporadas, en el sitio de siembra en un hueco donde luego se cubrió con suelo y encima se colocaron las semillas; en banda en el centro del surco y luego de tapada se hicieron los huecos para colocar las semillas. Las parcelas voleo-banda se hicieron con la aplicación de la mitad de la dosis de cal o sulcamag 30 días antes de la siembra y el resto añadido en banda al momento de la siembra.

1.3 Resultados y discusión

El análisis de variancia muestra diferencias ($P < 0.01$) entre tratamientos para las variables estudiadas, debido a un mayor efecto del sulcamag, con un rendimiento promedio superior en 116% con relación a la cal dolomítica (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis de variancia para rendimiento, altura de planta y mazorca de dos materiales encalantes y cuatro métodos de aplicación. Carimagua 1995B.

Fuente de variación	GI	Cuadrados medios		
		Rendimiento	Altura planta	Altura mazorca
Repetición	2	0.339	47.500	142.500
Tratamiento	9	2.626**	859.352**	444.815**
Cal	3	0.516	230.556	97.222
Sulcamag	3	0.319	25.306	268.75
Cal vs Sulcamag	1	0.683**	5859.375**	2301.042**
Mezclas (Cal + Sul)	1	0.072	0	104.042
Enc. solos vs mezclas	1	0.370	1110.208**	500.208
Error	18	0.394	104.97	90.648
CV(%)		24.3	5.01	11.07

** Significancia al 0.01 de probabilidad.

Indudablemente el sulfato de Ca y Mg resultó ser más efectivo que la cal dolomítica en cuanto al rendimiento del maíz, cuando se aplicaron cantidades suficientes de estas dos enmiendas para reducir el aluminio intercambiable del suelo a una saturación del 55%. En promedio la cal dolomítica, aplicada en cualquiera de las cuatro formas dio un rendimiento prome-

dio de 1.598 t/ha, mientras que en promedio el sulcamag produjo 3.455 t/ha. de maíz.

Cuando se aplicó la cal dolomítica no se presentaron diferencias significativas entre los métodos de aplicación, pero el rendimiento más alto se consiguió con la aplicación de la mitad de la dosis al voleo antes de la siem-

bra y la otra mitad en banda al momento de la siembra. La aplicación de cal dolomítica resultó mejor al voleo que en banda o en el sitio. Definitivamente, el contacto íntimo del suelo con la dolomítica y el tiempo de contacto son indispensables para que se produzca un buen resultado en los cambios en las propiedades químicas del suelo (Tabla 8).

Tabla 8. Rendimiento (t/ha) de Sikuni ICA V 110 a la aplicación de dos tipos de enmienda y cuatro métodos de aplicación. Carimagua 1995B.

Método de aplicación	Materiales	
	Cal dolomítica	Sulcamag
Sitio	1.20	3.43
Banda	1.36	3.00
Voleo	1.68	3.67
Banda + Voleo	2.14	3.71
Promedio	1.59	3.45
DMS 0.05 entre cal vs sulcamag = 0.538 t/ha		
DMS 0.05 entre métodos de aplicación = 1.076 t/ha		

El sulcamag resultó bueno en cualquiera de los métodos, no siendo significativamente diferentes en rendimiento ninguno de ellos. El rendimiento más alto se consiguió con la mitad de la dosis al voleo 30 días antes de la siembra y la otra mitad al momento de la siembra, pero aplicado en el sitio o en banda, resulta ser una buena alternativa si se quiere ahorrar tiempo, no siendo necesaria la preparación anticipada del terreno. Estos dos métodos pueden ser una buena alternativa cuando se hacen en los Llanos siembras directas de maíz con labranza mínima.

2 Respuesta de tres variedades y un híbrido del CIMMYT a las

aplicaciones de fósforo y potasio en un Oxisol de Carimagua.

2.1 Antecedentes

En un Oxisol del CI carimagua, con pH de 4.7, 1.8 ppm de P, 0.04 me/100g de K y 86.74% de saturación de Aluminio, se estableció en 1995B un ensayo para observar la respuesta de tres variedades y un híbrido de maíz del CIMMYT (Sikuni ICA V 110, CIMCALI 93 SA3, CIMCALI 93 SA6 e Híbrido Exp 1), a tres dosis de P (40, 80 y 120 Kg/ha) y tres dosis de K (40, 80 y 120 kg/ha). Para reducir la saturación de Al se aplicaron 1.034 t/ha de cal dolomítica un mes an-

tes de la siembra. Uniformemente se aplicaron 120 k/ha de N repetido en dos dosis de 60 kg/ha.

2.2 Resultados y discusión

El análisis de variancia (Tabla 9) muestra diferencias entre niveles de P y niveles de K para las variables estudiadas. Para el rendimiento entre genotipos no presentaron diferencias significativas. Además, ninguno de los materiales ensayados presentó respuestas a las adiciones de K cuando no se añadió P al suelo y por el contrario las dosis altas de K hicieron bajar la producción, aunque no significativamente (Tabla 10).

Tabla 9. Análisis de variancia para rendimiento, altura de planta y mazorca de la evaluación de la interacción V x P x K en un suelo ácido de los Llanos Orientales. CIMMYT 1995B.

F. de variación	Gl	Cuadrados medios		
		Rendimiento	Altura mazorca	Altura Planta
Repetición	2	0.188	454.818	3323.568
Niv. de P error	3	91.237**	12260.764**	25947.222**
Niv. de K error	6	0.340	362.457	1046.832
Niv. de P x K error	3	2.620**	645.139**	1296.875**
P x K error	9	1.466**	164.699	413.310
Variedad error	24	0.412	115.929	180.946
P x V error	3	1.199	1535.764**	1102.083**
P x V error	9	0.499	118.287	273.611
K x V error	9	0.726*	102.199	247.801
P x K x V error	27	0.269	62.346	73.958
error	96	0.306	88.542	158.116
CV (%)		16.96	15.11	7.11

*, ** Significancia al 0.05 y 0.01 de probabilidad, respectivamente.

Tabla 10. Rendimiento en t/ha de tres variedades y un híbrido de maíz, con tres dosis de P y tres de K, en un Oxisol de Carimagua.

Genotipo Kg/ha	Dosis P 0.0	Dosis de K kg/ha				Promedio
		0.0	40	80	120	
Sikuani	0.0	1.517	1.659	1.600	1.111	1.472
	40	2.840	3.703	2.833	2.616	2.998
	80	3.546	4.680	3.998	3.760	3.996
	120	3.904	3.991	3.397	3.979	4.068
Promedios		2.952	3.508	3.207	2.866	3.133
CIMCALI 93SA3	0.0	1.581	1.572	1.098	1.133	1.346
	40	2.638	3.263	3.306	3.127	3.084
	80	3.044	4.314	3.729	4.118	3.801
	120	3.924	4.340	5.164	4.714	4.542
Promedios		2.797	3.372	3.324	3.280	3.193
CIMCALI 93SA6	0.0	1.376	1.240	0.812	1.144	1.143
	40	2.773	2.323	3.312	3.870	3.070
	80	3.337	4.225	4.294	5.148	4.251
	120	3.896	3.972	5.601	4.434	4.476
Promedios		2.846	2.940	3.505	3.649	3.235
Hib. Exp H1	0.0	1.604	1.693	1.580	1.427	1.576
	40	3.228	3.120	3.438	3.011	3.199
	80	3.889	4.648	4.698	5.300	4.634
	120	3.612	4.498	5.101	5.036	4.559
Promedios		3.083	3.487	3.704	3.693	3.492

DMS para comparar medias entre niveles de P: 0.291 t/ha
 DMS para comparar medias entre niveles de K: 0.270 t/ha
 DMS para comparar medias entre variedades : 0.233 t/ha

Las respuestas al P fueron claras para todas las variedades y para el híbrido, con o sin adiciones de K, casi siempre los mas altos rendimientos se lograron con las dosis de P más altas, pero dosis de 80 kg/ha de P aún dieron altos rendimientos. Las diferencias más altas se lograron entre cero P y la primera dosis de P (40 kg/ha). Además, estos resultados sugieren que las dosis óptimas estén entre 40 y 80 kg/ha de P. Cuando no se añadió P al suelo, el híbrido dio los mejores rendimientos, indicando su capacidad para tomar el P del suelo con una mayor eficiencia que las tres variedades estudiadas, entre las que no se observan mayores diferencias en rendimiento.

3. Niveles críticos de Saturación de AL y fósforo disponible en suelos ácidos para variedades tolerantes desarrolladas por CIMMYT

Diferentes variedades tolerantes a suelos ácidos, han sido evaluadas bajo diferentes niveles de Ca y P. La variedad Sikuani ICA V 110 ha sido comparada con la variedad susceptible Tuxpeño Sequía. Con saturaciones de Al del 31% y 0 k/ha de P, Sikuani rindió 3.98 t/ha comparada con 3.57 t/ha en la variedad Tuxpeño Sequía (11% superior). Al mismo nivel de saturación del 31% y 90 k/ha de P, Sikuani rindió 5.77 t/ha y Tuxpeño Sequía 4.80 t/ha (20% superior). A 64% de saturación de Al y 0 ppm de fósforo, Sikuani rindió 3.05 t/ha y Tuxpeño Sequía 1.70 t/ha (79 % superior).

Al mismo nivel de saturación y 90 k/ha de fósforo, Sikuani fue 31 superior a Tuxpeño Sequía (4.19 vs 3.20, respectivamente). Los resultados anteriores muestran la superioridad de Sikuani bajo un rango de ambientes de acidez.

ACTIVIDADES FUTURAS

- Se continuará mejorando las cuatro poblaciones heteróticas siguiendo un esquema de selección recíproca recurrente.

- Se reconoce que en los próximos años, las variedades de libre polinización seguirán teniendo mayor importancia que los híbridos en áreas con suelos ácidos. Esto establecerá el balance en las actividades de investigación del programa.

ma en el desarrollo de híbridos y variedades de libre polinización.

- En colaboración con los PNIs se ha iniciado un proyecto para evaluar el germoplasma tolerante local disponible sembrado en sabanas y otras áreas con suelos ácidos. Esta selección ayudará a los PNIs a desarrollar prácticas apropiadas de manejo sostenible para diferentes sistemas de producción.

- Se aumentará eficiencia en la metodología de selección de germoplasma tolerante a suelos ácidos reduciendo el efecto de la variabilidad en el campo en el comportamiento de los genotipos. Se pondrá énfasis en el manejo de los campos experimentales y técnicas estadísticas y de invernadero más eficientes para la evaluación precisa de los genotipos.

- En colaboración con Universidades e Instituciones líderes de investigación se continuará con los estudios fisiológicos, genéticos y

bioquímicos, que ayuden a incrementar la eficiencia del programa.

- Se prevé que los materiales con niveles de tolerancia comprobada a suelos ácidos deberá imponerse un proceso de selección contra otros factores bióticos y abióticos, principalmente para acumular niveles de resistencia a gusano cogollero, enfermedades virósicas y sequía, problemas limitantes en la producción de maíz en muchas regiones.

BIBLIOGRAFIA

1. Borrero, J.C., S. Pandey, H. Ceballos, R. Magnavaca, and A.F.C. Bahia Filho. 1985. Genetic variances for tolerance to soil acidity in tropical maize population. *Maydica* 40:283-288.
2. Granados, G., S. Pandey, H. Ceballos, J. Duque, L.A. Leon, J.E. Vargas, G. Torres, A Navas 1995. ICA Sikuaní V-110 Primera variedad de maíz en Colombia tolerante a suelos ácidos. pp. 195-217.
3. Narro, L., S. Pandey, J.C., Y F. Salazar. 1995. Compendio de mejoramiento de maíz para s u e l o s

ácidos realizados por CIMMYT. pp47-65. Proc. III Reunión Latinoamericana y XVI Reunión de la zona Andina de Investigadores de maíz. 20-24 Nov. Cochabamba Bolivia.

4. Narro, L., S. Pandey, L.A. Leon, J.C. Pérez, y F. Salazar. 1995 Investigaciones de maíz para suelos ácidos realizada por el CIMMYT. IV Taller Agropastoril para suelos ácidos de las sabanas y Taller Metodológico Agropastoril, 25-29 Sep. 1995. Santa Cruz, Bolivia.
5. Pandey, S., H. Ceballos, and G. Granados. 1985. Registration of four tropical maize population with acid tolerance: SA4, SA5, SA6 and SA7. *Crop Sci.* 35:1230-123.
6. Salazar, F.S., S. Pandey, L. Narro, J.C. Pérez, H. Ceballos, S.N. Parentoni, and A.F.C. Bahia Filho. 1985. Lack of reciprocal differences for tolerance to soil acidity in tropical maize.
7. Urrea Gomez, R., H. Ceballos, S. Pandey, A.F.C. Bahia Filho, and L.A. Leon. 1995. Greenhouse screening technique for soil-acidity tolerance in maize (*Zea mays* L.) *Agron. J.* (In press).



Centro de Investigaciones La Libertad
Km. 22 vía Puerto López (Meta)