

Selección de híbridos de maíz con alto potencial productivo para el Chaco Boliviano

Selection of maize hybrids with high productive potential for Bolivian Chaco

Tito Claure ^{1*}, Carlos Marino ¹, Pablo Ramos ¹.

¹ Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAF)
Calle 10 de noviembre entre Avaroa 1 y Avaroa 2, Yacuiba.

* Email para correspondencia: telaure@hotmail.com

Resumen

El Programa Maíz del INIAF, ha orientado esta investigación con el objetivo de identificar híbridos avanzados introducidos del germoplasma del CIMMYT. Durante la gestión del 2011, se ha introducido 18 híbridos con el código 11TTWCLY, de los cuales dos híbridos simples fueron promisorios y posteriormente el 2012 y 2013, se evaluó la adaptación de los mismos frente a otros trece híbridos también introducidos del CIMMYT, demostrando su estabilidad agronómica y aceptación por parte de los productores del Chaco hacia los híbridos INIAF H1 e INIAF HQ2 los cuales actualmente cuentan con el debido certificado de registro de variedades. El estudio de adaptación muestra rendimientos superiores en las condiciones del Chaco de Tarija y Chuquisaca y con menor productividad en las condiciones del Trópico de Santa Cruz. De acuerdo a los análisis de regresión, el cambio en las condiciones ambientales afecta por igual al comportamiento de los híbridos, no se evidenció la interacción genotipo × ambiente. Actualmente la semilla genética de estos híbridos es producida por el INIAF y la semilla certificada a través de alianzas con productores asociados, las sub gobernaciones, la Empresa Nacional de Semillas, entre otras, cubriendo con la producción de mayor volumen de semilla híbrida a precios más accesibles para los productores.

Palabras clave: híbridos, estabilidad, semilla genética.

Abstract

The INIAF Maize Program has guided this research with the objective of identifying advanced hybrids introduced from germplasm of CIMMYT. During the 2011 season, 18 hybrids with the code 11TTWCLY were introduced, from this set two simple hybrids were promising and later in 2012 and 2013, the adaptation of the same was evaluated against other 13 hybrids also introduced from CIMMYT, showing their agronomical stability and acceptance by Chaco region growers of the hybrids INIAF H1 and INIAF HQ2, these have its own certificate of registration. The adaptation performance shows higher yields in the conditions of the Chaco in Tarija and Chuquisaca and lower productivity in the tropical conditions of Santa Cruz. According to the regression analysis, the change in environmental conditions affects the response of the hybrids equally, we found any genotype × environment interaction. Currently, the genetic seed is produced by INIAF and certified seed through alliances with associated producers, sub-governors, the National Seed Company, among others, fulfilling the production of greater volume of hybrid seed at prices more accessible to producers.

Key words: hybrids, stability, genetic seed.

Introducción

En las zonas productoras de maíz como la región del Chaco y el Trópico en Bolivia, la semilla híbrida tiene un costo elevado de 160 dólares la bolsa de 20 kg que proveen las empresas privadas y que anualmente importan alrededor de 3000 t de semilla de países vecinos como la Argentina y el Brasil (Claire *et al.*, 2015a; Claire *et al.*, 2015b; Claire, 2011). El productor de bajos ingresos tiene poco acceso a estos híbridos, por lo que actualmente siembra variedades mejoradas donde el rendimiento no supera las 4 kg ha⁻¹ y no se cuenta con híbridos a nivel nacional a precios más accesibles al productor; por esta razón, el Programa Maíz del INIAF, ha orientado la investigación con el objetivo de identificar híbridos tomando como base la introducción de ensayos internacionales del CIMMYT (1995), metodología utilizada por Quispe y Marza (2014) en trigo que permite identificar líneas superiores, y en maíz en un plazo relativamente corto, se pueda disponer de semilla híbrida a precios más bajos comparados con las empresas internacionales, y pueda competir con estos híbridos introducidos (INIAF, 2010), además de determinar la estabilidad y grado de adaptación de los híbridos a las condiciones del Chaco y el

Trópico boliviano. Según Vera y Argote (2015), una variedad puede ser estable, pero inconsistente y/o puede responder mejor en ambientes desfavorables, pero no tiene consistencia.

Materiales y Métodos

El Programa Maíz del INIAF, en el ciclo de verano del 2010, introdujo ocho ensayos internacionales provenientes del CIMMYT que corresponden al código 11TTWCLY formado por 18 híbridos (INIAF, 2011), que fueron preliminarmente evaluados en el Chaco y Trópico, donde sobresalieron dos híbridos simples como los más promisorios para dichas condiciones ecológicas de Bolivia (Figura 1), en base a esta información, posteriormente se introdujo cuatro ensayos con trece híbridos y dos híbridos testigos comerciales importados y muy difundidos en el Trópico de Santa Cruz, el ensayo de 15 híbridos corresponde a la sigla 2010 CHTTY Sitio 35. Posteriormente, los dos mejores híbridos experimentales del CIMMYT fueron evaluados y validados con pequeños y medianos productores con el fin de determinar su aceptación y estabilidad durante el ciclo agrícola 2013 y 2014, para luego producir la semilla de dichos híbridos.



Figura 1. Características de grano por color, textura y número de hileras en dos híbridos promisorios para el Chaco.

Se evaluaron 15 híbridos, mediante dos ensayos en Santa Cruz (San Julián y Sagrado Corazón) y dos ensayos en el Chaco Tarijeño (Algarrobal y Muyupampa).

Los ensayos se sembraron con una densidad de 65000 plantas por hectárea, correspondiente a un distanciamiento de siembra de 0.75 x 0.20 m, a una planta por sitio. Se cumplieron todas las labores culturales recomendadas para el cultivo de maíz en la región (INIAF, 2011).

Para el análisis estadístico se utilizó al análisis de varianza combinado mediante el código PROC GLM del programa SAS. Para establecer las diferencias entre medias se utilizó la prueba de Tukey ($P=0.05$). La variable rendimiento de grano se utilizó en los análisis de varianza (ANVA) individuales por localidad y combinando localidades.

Se realizó el análisis de estabilidad para el carácter rendimiento, con la finalidad de comprobar la adaptación de las variedades tanto a ambientes favorables como a los ambientes desfavorables, para lo cual se calculó el coeficiente de regresión (b_i) y la desviación de regresión (S^2_d) para todos los híbridos (Eberhart y Russell, 1966).

Resultados y discusión

Análisis de varianza combinado

Se han evaluado resultados de rendimiento de grano en las localidades de Algarrobal y Muyupampa en la región del Chaco y dos localidades de San Julián y Sagrado Corazón en el Trópico de Santa Cruz, a continuación, se presenta el análisis combinado de las cuatro localidades.

Tabla 1. ANVA combinado del rendimiento de grano en las localidades de Algarrobal y Muyupampa en la región del Chaco y dos localidades de San Julián y Sagrado Corazón en el Trópico de Santa Cruz.

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	F _{calc}	Prob>F
Localidad	3	172368288.2	57456096.1	23.39	0.0054
REP (localidad)	4	9827168.0	2456792.0	5.24	0.0012
Variación	14	25311071.2	1807933.7	3.86	0.0001
Variación x Localidad	42	20761760.7	494327.6	1.05	0.4216
Error	56	26245440.5	468668.6		
C.V. 12.8%.					

A partir de éste análisis, se puede observar que no existe interacción de genotipo×ambiente, lo cual nos muestra que el comportamiento de los 15 híbridos fue similar en los cuatro ambientes. En este sentido, se procedió a calcular las pruebas de rango múltiple, empleando el método de Tukey, tanto para los híbridos como para las localidades, tal como se describe en la Tabla 2.

Tabla 2. Promedio del rendimiento (kg ha⁻¹) de los híbridos en cuatro localidades y comparación de medias según Tukey.

Entrada	Genealogía	Rendimiento kg ha ⁻¹	Tukey ($P=0,05$)
15	DAS 710 Testigo 2	6332.3	a
14	Agricom. 104 Testigo 1	6017.6	ab
1	INIAF H1	5818.1	abc
4	CLYN201/CL02450	5711.9	abc
7	CLYN204/CL02450	5657.1	abc
12	INIAF HQ2	5469.2	abc
8	CLYN205/CL02450	5327.4	abc
10	CL-RCY018/CML451	5247.4	abc
5	CLYN202/CL02450	5212.6	abc
11	CL-RCY031/CML451	5036.1	bc
3	(CML161/CML451)-B (CML164xCML437)-B / CML165	5030.9	bc
2	CML161/CLSW002	4992.3	bc
9	CLRCY047/CML451	4884.6	bc
13	CML161/CL02450	4773.1	c
6	CLYN203/CL02450	4727.8	c

Según la Tabla 2, se puede apreciar que los dos testigos (14 y 15) son los que presentan los rendimientos más altos, aunque no son

estadísticamente diferentes de los híbridos 1, 4, 7, 12, 8, 10 y 5. Los híbridos 13 y 6 son los de menores rendimientos, seguidos del 11, 3, 2 y 9.

Tabla 3. Promedio de rendimiento (kg ha⁻¹) en cuatro localidades.

Localidades	Genealogía	Rendimiento
Algarrobal	CLYN201/CL02450	6706.4 a
Muyupampa	INIAF H1	6332.3 a
San Julián	B/(CML164xCML437) -B/CML165	5030.9 b
Sagrado Corazón	CML161/CLSW002	4092.3 b

En la Tabla 3, se observa que las localidades de Algarrobal y Muyupampa son las que presentan los mejores rendimientos, y las localidades de San Julián y Sagrado Corazón son las de rendimientos más bajos. Estos últimos resultados pueden deberse a que en Santa Cruz las condiciones de alta precipitación y suelos de baja fertilidad impactaron negativamente los rendimientos, esto concuerda

con los resultados encontrados por Alarcón *et al.* (2015), donde afirma que los híbridos comerciales de las empresas privadas rinden mejor en condiciones favorables como corresponde a la región del Chaco. Contrariamente, los rendimientos más bajos se presentan en zonas con mucha precipitación como sucede normalmente en el Trópico de Santa Cruz.

Tabla 4. Parámetros de estabilidad fenotípica para rendimiento de quince híbridos de maíz evaluados en cuatro localidades.

Híbridos	Media (μ)	Coef. Reg (bi)	dif = 1-bi	Signif.
15	6332	0.960	0.040	n.s.
14	6017	128.857	-0.288	n.s.
1	5818	123.803	-0.238	n.s.
4	5712	0.915	0.085	n.s.
7	5657	138.476	-0.385	n.s.
12	5469	118.318	-0.185	n.s.
8	5327	107.297	-0.073	n.s.
10	5247	125.112	-0.251	n.s.
5	5213	0.802	0.197	n.s.
11	5036	0.665	0.335	n.s.
3	5031	145.805	-0.458	n.s.
2	4992	0.601	0.39	n.s.
9	4885	0.958	0.042	n.s.
13	4773	0.624	0.376	n.s.
6	4728	0.598	0.402	n.s.

Análisis de estabilidad fenotípica

De acuerdo a los resultados del Tabla 4, para que un genotipo (híbrido) sea considerado estable debe tener un coeficiente de regresión $b=1$ y una desviación de regresión $S^2_{d=0}$ (Eberhart y Russell, 1966); de esta manera se puede inferir que los que menos se desvían de 1 son los híbridos 15, 9, 8 y 4 con diferencias menores al 0.1 con respecto a la unidad.

Con base a este resultado y considerando el anterior análisis de varianza y comparación de medias por Tukey, se puede afirmar que el híbrido 4 (Testigo DAS 710), es el que presenta un rendimiento alto y es uno de las más estables.

Según la Tabla 4, las pendientes de las líneas de regresión de rendimientos por índices ajustados mediante sus coeficientes, los genotipos estables (bi) o que tienden a la estabilidad presentan una

tendencia lineal con una pendiente de 45° (cuya tangente es la unidad) en relación al origen. Vera y Argote (2015) coinciden con los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que los híbridos 15, 14, 1, 4, 7 y 12 son casi paralelas entre sí y cumplen dicho requisito; es decir, que el cambio en las condiciones ambientales afecta por igual al comportamiento de los híbridos, caracterizándose la ausencia de interacción, comprobándose que no hay interacción genotipo ambiente, tal como se mostró en el análisis de varianza combinado (Tabla 1).

Validación de dos híbridos promisorios en campos de productores

En base a la identificación de dos híbridos en la región del Chaco Boliviano por sus altos rendimientos y para difundir dichos híbridos, se establecieron parcelas de validación en cinco localidades (Tabla 5). Dichos materiales mostraron nuevamente ser más productivos, en base a esta respuesta, se solicitaron las líneas progenitoras

al CIMMYT para su incremento respectivo y la regeneración de las cruzas para disponer de semilla suficiente.

Por las características y la coloración del grano, el híbrido INIAF H1 fue el mejor evaluado de acuerdo al criterio de los productores; sin embargo, el híbrido INIAF HQ2, dado su elevado contenido de proteína y su calidad en contenidos de lisina, metionina y triptófano, también es muy recomendable para la alimentación humana y de ganado, específicamente para porcinos.

En la Tabla 5 se muestra el comportamiento de los dos nuevos híbridos liberados por el PN-Maíz del INIAF y algunos híbridos comerciales de las empresas privadas que en promedio, no fueron significativamente diferentes, con excepción del DAS 710, que fue el híbrido con mayor productividad.

Tabla 5. Rendimiento (kg ha⁻¹) de cinco híbridos de maíz en cinco localidades del Chaco, gestión 2014.

Híbridos	Huacareta	Iboperenda	Yaguacua	Algarrobal	Villa Montes	Promedio
INIAH H1	5704	6440	3450	5755	7950	5788
INIAF HQ2	6670	5704	3910	8280	6900	6293
DAS 710	8004	7590	5060	8740	7820	7121
DEKALB 834	5750	6072	0	0	0	5911
SW 5130	5980	5750	0	0	0	5865

Lanzamiento de híbridos de maíz

Se procedió a la inscripción de los dos híbridos INIAF H1 e INIAF HQ2 identificados como promisorios los que cuentan con el Registro Nacional de Variedades (RV- MA-1107-13). La fecha de emisión del Certificado de Registro fue dado en La Paz, el 21 de mayo del 2013,

por la Dirección Nacional de Semillas del INIAF.

El lanzamiento o la presentación de los híbridos fue realizado por el PN- Maíz del INIAF en la Estación Experimental de Algarrobal, Yacuiba (Figura 2), en un acto especial con presencia de autoridades, instituciones y productores (Claure, 2014).



Figura 2. Lanzamiento de los híbridos INIAF H1 e INIAF HQ2 en Yacuiba, junio de 2013.

Comercialización de la semilla híbrida

Con el objetivo de que el PN-Maíz del INIAF produzca solamente las líneas parentales, a partir de la gestión 2014 se comercializó semilla de parentales de los híbridos INIAF H1 e INIAF HQ2 a la Empresa Productora de Semillas (EPS), posteriormente el 2015 se vendió parentales a la subgobernación de Carapari y de Villa Montes, para entregar a productores seleccionados mediante convenio suscrito entre INIAF y la Subgobernación y bajo el asesoramiento del PN-Maíz y el 2016 se vendió semilla de parentales tanto a la subgobernación de Carapari, Villa Montes y a la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho en Yacuiba, bajo un convenio entre dichas instituciones y el INIAF y con el compromiso de seguimiento y capacitación a productores y técnicos de parte del INIAF; esta estrategia de alianza inter institucional entre el sector público y privado, ha permitido aumentar el volumen de producción de semilla híbrida para atender la demanda del sector productivo a un costo aproximadamente menor al 50% respecto comercializado por las empresas privadas.

Proyecciones de producción de semilla y utilidad económica

De acuerdo a los costos de producción de semilla por hectárea, a pesar de su elevado costo, por la venta de semilla certificada por hectárea, se tiene una utilidad de 21000 Bs neto cuando la bolsa de 20 kg se vende a 690 Bs, precio que aun tiende a bajar por la gran demanda de los híbridos producidos en el Chaco. El PN-Maíz del INIAF produce la semilla genética y los productores en campo la semilla certificada. Por otra parte, el PN-Maíz del INIAF ha registrado tres nuevos híbridos altamente productivos y con adaptación al Chaco y Trópico, los que cuentan con Certificados de Registro y el probable lanzamiento está previsto para los próximos meses.

Conclusiones

Se ha identificado dos híbridos con alto potencial productivo para la región del Chaco boliviano, INIAF H1 de grano normal e INIAF HQ2 con alta calidad proteínica en el grano, ambos con certificado de registro.

El estudio de adaptación muestra rendimientos superiores en las condiciones del Chaco de Tarija y Chuquisaca y con menor rendimiento en las condiciones del Trópico de Santa Cruz.

El análisis de estabilidad fenotípica muestra que el híbrido 4 (con testigo comercial DAS 710) es el que presenta el mayor rendimiento y es uno de los más estables, seguido de los híbridos 15, 9 y 8.

De acuerdo a los análisis de regresión, el cambio en las condiciones ambientales afecta por igual al comportamiento de los híbridos, caracterizándose la ausencia de interacción genotipo×ambiente.

La semilla genética de los híbridos promisorios identificados por los productores, es producida por el INIAF y la semilla certificada por los aliados de las asociaciones como ASOMAIZ, ALA, IPATI de IVO, SEDAG, Empresa Estratégica de Semillas (ESP), Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

Actualmente el PN-Maíz del INIAF, dispone de tres nuevos híbridos altamente productivos con adaptación al Chaco y Trópico y cuentan con Certificado de Registro, cuyo lanzamiento está previsto para los próxima campaña agrícola.

Referencias

- Alarcón, D., Zambrano, E., Cerón, O., Villavicencio, P., Caicedo, M., Zambrano, J.L., Saltos, E., Eguez, J., Pintado, P., Yanez, C., Carrillo, R., y Motato N. (2015). Generación de un híbrido simple de maíz para el Trópico seco del litoral ecuatoriano. XXI Reunión Latinoamericana de Maíz. Octubre, Santa Cruz, Bolivia. p 29-31.
- CIMMYT (1995). Manejo de los ensayos e informe de los datos para el Programa de Ensayos Internacionales de Maíz del CIMMYT. México. D.F. p 21.
- Claure, I. T., (2011). Manual sobre metodologías de selección para la formación de híbridos en maíz. Gobierno Autónomo de Chuquisaca. Secretaría Departamental de Desarrollo Productivo. Trabajo realizado como Consultor del CIITAI.
- Claure, T., Narro. L. y San Vicente F. (2015a). Avances en el mejoramiento genético del maíz presentado para su publicación en el Manual del cultivo de maíz y sorgo por Pura Paz, PROYECTAGRO. Santa Cruz
- Claure T, Ramos P, Marino C, Saldaño D, y Arandía W. (2015b). Avances de investigación y proyecciones del Programa Nacional de Maíz del INIAEXXI RLM. Programa Nacional de Maíz, Yacuiba, Bolivia. Pp. 13.
- Claure T. (2014). Nuevos híbridos de maíz. Un aporte del INIAF a la seguridad y soberanía alimentaria del país. In Seed New. La revista internacional de semillas. Año XIX No3. ISSN 1415-0385. p 26-28 <http://store.seednews.inf.br>
- Eberhart, S.A. y Russell, W.A. (1996). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Sciences*. 6:36-40 p.
- INIAF (Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal) (2011). Informe de Gestión 2015. Programa Nacional de Maíz. Yacuiba, Bolivia.