

# Avance genético y estabilidad de cultivares de maíz (*Zea mays* L.) obtenidos por el método de los híbridos crípticos

Canteros, F. H. y Caro, R. F.

DOI: 10.31047/1668.298x.v39.n1.33696

## RESUMEN

El cultivo de maíz es importante en el subtrópico argentino. Los programas de mejoramiento apuntan a lograr métodos eficientes. El objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial del método de híbridos crípticos. En el Experimento 1 se determinaron las ganancias genéticas logradas ( $G_{s_1}$ ) en híbridos de primer ciclo ( $HC_1$ ) para rendimiento (REND), prolificidad (PRO), peso de mil semillas (P1000), porcentaje quebrado de tallos (QUE%), porcentaje acame de plantas (AC%), intervalo anthesis-emisión de estigmas (IAEE), altura inserción de espiga (AE) y altura de planta (AP). En el Experimento 2, se evaluó la estabilidad de los  $HC_1$  más los testigos, a través del gráfico GGE biplot. Para ello, se evaluaron los  $HC_1$  en cuatro ambientes: campo experimental de INTA en Leales, Tucumán (LE); en Finca "El Manantial" de la Facultad de Agronomía y Zootecnia, Universidad Nacional de Tucumán (MA); en Los Altos, Catamarca (LA); y en El Palomar, Santiago del Estero (PA). Los análisis se realizaron con Info-Gen. La  $G_{s_1}$  fue elevada para REND 1841,3 kg.ha<sup>-1</sup> y QUE% (-18,28%). En el Experimento 2, el híbrido  $HC_{1,16}$  sobresalió por REND y estabilidad. Esta metodología tiene un buen potencial para mejorar el REND y otros caracteres de interés.

**Palabras clave:** subtrópico, mejoramiento, ganancias genéticas

Canteros, F. H. and Caro, R. F. (2022). Genetic advance and stability of maize (*Zea mays* L.) cultivars obtained by the cryptic hybrid method. *Agriscentia* 39: 49-58

## SUMMARY

Maize cultivation is important in the Argentinian subtropics. Breeding programs aim at attaining efficient methods. The objective of this work was to evaluate the potential of the cryptic hybrids method. In Experiment 1, the genetic gains achieved ( $G_{s_1}$ ) in first-cycle hybrids ( $HC_1$ ) were determined for yield (YD), prolificity (PRO), weight of thousand seeds (W1000), stalk broken (SB%), stalk lodging (SL%), anthesis-silking interval (ASI), ear height (EH) and plant height (PH). In Experiment 2, the stability of the  $HC_1$  and control hybrids was evaluated through the GGE biplot graph. For this purpose, the  $HC_1$  were evaluated in four environments: in Leales, the experimental field of INTA, in Tucumán (LE), in Finca

"El Manantial" of the Faculty of Agronomy and Zootechnics, National University of Tucumán (MA), in Los Altos, Catamarca (LA) and in El Palomar, Santiago del Estero (PA). The analyses were carried out with the statistical package Info-Gen. The  $G_{S_1}$  was high for YD, 1841.3 kg.ha<sup>-1</sup>, SB% (-15.28%). In Experiment 2, the hybrid HC<sub>16</sub> achieved the best YD and stability. It was found that this methodology has good potential to improve the YD and other characters.

**Keywords:** subtropics, breeding, genetic gains

*Canteros, F. H. (ORCID: 0000-0003-1584-0048): Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Agencia de Extensión Rural, Monteros, Ruta 38 Km 758. Tucumán, Argentina, CP 4142. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Finca "El Manantial", Florentino Ameghino S/N. El Manantial, Tucumán, Argentina, CP 4105. Caro, R. F. (ORCID: 0000-0002-8495-3700): Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía y Zootecnia, Finca "El Manantial", Florentino Ameghino S/N. El Manantial, Tucumán, Argentina, CP 4105.*

Correspondencia a: canteros.francisco@inta.gob.ar

## INTRODUCCIÓN

El objetivo final que persigue un programa de mejoramiento es el aumento de los rendimientos, lo que lleva a los mejoradores a replantearse continuamente los métodos utilizados y, sobre todo, la eficiencia de estos a la hora de evaluar los costos y los resultados obtenidos.

Los híbridos (F<sub>1</sub>) son la primera generación de un cruzamiento entre plantas de diferentes genotipos. La heterosis –o vigor híbrido– es el fenómeno por el cual se produce un incremento de tamaño, vigor o productividad de un híbrido, en comparación con el valor promedio, o media, de sus progenitores.

El objetivo principal de un programa de mejoramiento de maíz es la búsqueda de las mejores combinaciones de líneas con alta heterosis para la producción de híbridos. Para ello, los programas buscan tener, al menos, dos poblaciones que constituyan patrones o grupos heteróticos distintos que, al cruzarse, generen F<sub>1</sub> que manifiesten vigor híbrido. El método tradicional se lleva a cabo a partir de dos variedades adaptadas de polinización libre, o de variedades sintéticas, que tengan heterosis al intercruzarlas.

El método de los híbridos crípticos fue propuesto por Villena (1965), Hallauer (1967), y Lonquist y Williams (1967), como una metodología para la obtención de híbridos superiores. Villena (1965) explica que esta metodología permite identificar, de forma temprana, las líneas cuyos genotipos en cruces específicas expresan un alto grado de heterosis, y delinear métodos para su uso en un programa de mejoramiento genético.

Para seleccionar híbridos de esta forma, se necesitan poblaciones prolíficas, ya que el cruzamiento se realiza en simultáneo para obtener el híbrido, y la autofecundación para obtener líneas S<sub>1</sub>. Las líneas S<sub>1</sub> tienen la mitad de la endogamia posible, y es todavía factible aprovechar la segregación que ocurre en cada una de ellas para llevar a cabo una selección intralíneas S<sub>1</sub> mediante la misma técnica. Haber hecho la autofecundación en las dos plantas de cada cruce planta a planta, permite que los híbridos obtenidos de esa manera, puedan ser reproducidos posteriormente ya que, teóricamente, las frecuencias génicas de las poblaciones derivadas de las mazorcas autofecundadas deben ser similares (Marquéz Sánchez, 1988). Por lo tanto, el cruzamiento de plantas entre poblaciones derivadas de las mazorcas autofecundadas deberá ser similar al comportamiento de las cruces originales planta a planta (Marquéz Sánchez, 1988).

Este método se basa en el aumento de la frecuencia de genes complementarios y la obtención de líneas con buena aptitud combinatoria específica (ACE) (Gomes Lopes et al., 2005; Botega Alves et al., 2012), que constituye el efecto más explotado en el mejoramiento para el rendimiento de maíz (Santos et al, 2007b) y permite la selección temprana de híbridos (Villena, 1965). Por otro lado, la prolificidad contribuye a la estabilidad de las poblaciones de maíz, y es una característica deseable en ambientes subóptimos (Prior y Russell, 1975), como los ambientes que caracterizan al subtrópico.

El objetivo de este trabajo fue evaluar el

potencial del método de los híbridos crípticos, a través de la determinación del avance genético logrado de los híbridos desarrollados mediante el análisis del rendimiento, junto a otros caracteres de interés, y evaluar la estabilidad de los híbridos de primer ciclo de selección en cuatro ambientes.

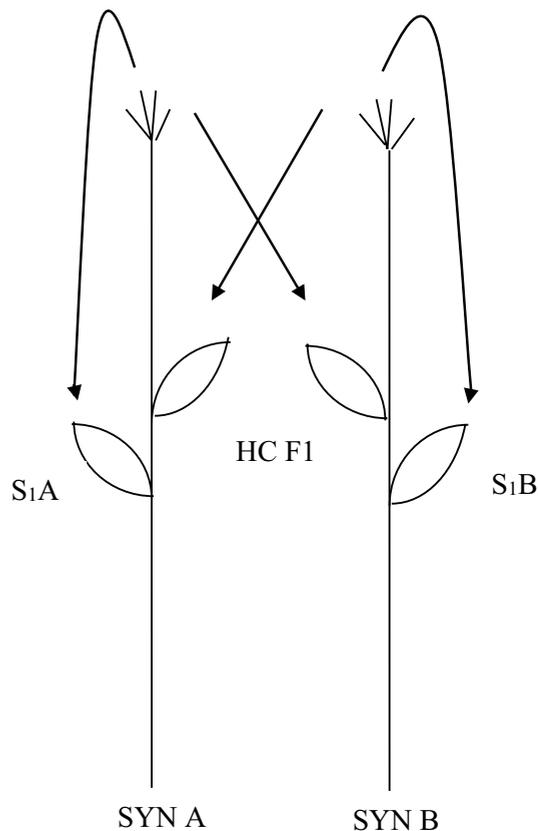
## MATERIALES Y MÉTODOS

Los grupos heteróticos denominados A y B se originaron de manera separada por el inter cruzamiento de líneas parentales de diversos híbridos del Programa de Mejoramiento de Maíces Subtropicales (PMMS) del Instituto de Investigación Animal del Chaco Semiárido (IIACS), del Centro de Investigaciones Agropecuarias (CIAP) y del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Previamente, estas líneas fueron convertidas a QPM (por el término en inglés *Quality Protein Maize*), a través del método de retrocruza. Se utilizaron, como padres donantes, las líneas de CIMMYT, CML 161 y CML 165 para cada grupo, respectivamente. Luego, a cada uno de los grupos, se incorporó resistencia a las imidazolinonas (RI). La selección para RI, se realizó usando un herbicida en doble dosis a base de imidazolinona, sobre las plantas de los dos grupos heteróticos.

Las líneas de cada grupo convertidas a RI, se usaron como macho balanceado (mezcla de cantidades iguales de semillas de cada una de las líneas). En la campaña 2013-2014, las semillas de  $F_1$  se sembraron en lotes de inter cruzamientos aislados. En la campaña 2014-2015, las semillas  $F_2$  (semillas de plantas  $F_1$ ) se sembraron en dos lotes aislados. En cada uno de los lotes, se seleccionaron plantas de dos espigas usando la metodología de selección masal estratificada, descripta por Gardner (1961).

Las poblaciones formadas, denominadas variedad sintética A ciclo 0 ( $SYN_0A$ ) y variedad sintética B ciclo 0 ( $SYN_0B$ ), se sembraron en la campaña 2015-2016 en surcos alternados de ambas poblaciones y se aplicó el método de los híbridos crípticos, autofecundando y cruzando las plantas selectas (Figura 1). A partir de ello, se formaron los híbridos de ciclo 0 ( $HC_0$ ), las  $S_1$  del grupo heterótico A ( $S_{1A}$ ) y  $S_1$  del grupo heterótico B ( $S_{1B}$ ). Las  $S_1$  fueron identificadas y guardadas en cámara de frío.

La realización de este trabajo se llevó a cabo mediante dos experimentos. El Experimento 1, en el IIACS (CIAP, INTA). Los materiales seleccionados para la evaluación de los híbridos del ciclo 0 ( $HC_0$ ) fueron producto del cruzamiento de plantas



**Figura 1.** Esquema de la técnica descripta para el método de los híbridos crípticos

individuales y prolíficas (Figura 1) de las  $SYN_0A$  y  $SYN_0B$ . Se obtuvieron 42  $HC_0$  y 84  $S_1$  (Tabla 1), que fueron sembrados en un ensayo comparativo de rendimiento (ECR) el 21 de diciembre de 2016 (campaña 2016-2017). El primer año, se seleccionaron las 15 familias de mejor desempeño, a partir de los resultados de la prueba de límite de significancia estadística de Fisher (LSD). Esto representó una presión de selección del 35,71%. En el ciclo de invierno de 2017 en invernáculo, los 22 híbridos de ciclo 1 ( $HC_1$ ) (Tabla 2) se formaron con las familias selectas.

En el Experimento 1, para el estudio de la ganancia genética lograda ( $Gs_L$ ), se compararon los resultados de las variables bajo estudio de los  $HC_0$  (campaña 2016-2017) y  $HC_1$  (campañas 2017-2018), sin considerar los testigos. Los ECR se llevaron a cabo en el campo experimental del IIACS, del CIAP, INTA (27° 03' S, 64° 15' O; 330 m s. n. m.), cuyas características edafoclimáticas se muestran en la Tabla 3.

El avance genético logrado ( $Gs_L$ ) fue

**Tabla 1.** Códigos e híbridos HC<sub>0</sub> utilizados en el ensayo, campaña 2016-2017, en IIACS – INTA

Código	Híbrido	Código	Híbridos	Código	Híbrido	Código	Híbrido
<b>HC<sub>0</sub>1</b>	1-3 * 114-6	<b>HC<sub>0</sub>13*</b>	73-2*185-10	<b>HC<sub>0</sub>25</b>	133-1*164-5	<b>HC<sub>0</sub>37*</b>	206*207
<b>HC<sub>0</sub>2</b>	2-3 * 1-7	<b>HC<sub>0</sub>14</b>	79-1*186-1	<b>HC<sub>0</sub>26</b>	143-3*144-3	<b>HC<sub>0</sub>38*</b>	168-1*183-1
<b>HC<sub>0</sub>3*</b>	6-3*7-3	<b>HC<sub>0</sub>15</b>	80-2*185-4	<b>HC<sub>0</sub>27</b>	155-2*157-2	<b>HC<sub>0</sub>39</b>	13-3*14-7
<b>HC<sub>0</sub>4*</b>	8-2*9-3	<b>HC<sub>0</sub>16*</b>	81-4*82-4	<b>HC<sub>0</sub>28</b>	155-4*157-4	<b>HC<sub>0</sub>40</b>	14-6*15-7
<b>HC<sub>0</sub>5</b>	17-2*18-2	<b>HC<sub>0</sub>17</b>	85-2*192-1	<b>HC<sub>0</sub>29</b>	159-1*164-6	<b>HC<sub>0</sub>41</b>	168-3*169-1
<b>HC<sub>0</sub>6</b>	19-1*22-1	<b>HC<sub>0</sub>18*</b>	112-7*117-6	<b>HC<sub>0</sub>30*</b>	159-2*164-7	<b>HC<sub>0</sub>42*</b>	177-1*178-1
<b>HC<sub>0</sub>7</b>	25-5*139-4	<b>HC<sub>0</sub>19*</b>	115-4*114-7	<b>HC<sub>0</sub>31</b>	159-8*160-8	<b>T1</b>	DM 2771 VT3P
<b>HC<sub>0</sub>8</b>	27*135-1	<b>HC<sub>0</sub>20*</b>	115-5*116-1	<b>HC<sub>0</sub>32*</b>	163-2*164-4	<b>T2</b>	SYN 126
<b>HC<sub>0</sub>9</b>	27-5*135-2	<b>HC<sub>0</sub>21*</b>	118-1*139-2	<b>HC<sub>0</sub>33*</b>	164-8*165-2	<b>T3</b>	Viptera 3
<b>HC<sub>0</sub>10</b>	31-1*33-3	<b>HC<sub>0</sub>22</b>	125-1*127-2	<b>HC<sub>0</sub>34</b>	169-3*173-3	<b>T4</b>	B 510 PWU
<b>HC<sub>0</sub>11*</b>	36-2*37-2	<b>HC<sub>0</sub>23</b>	127-1*128-1	<b>HC<sub>0</sub>35</b>	179-1*180-2	<b>T5</b>	INTA 2012
<b>HC<sub>0</sub>12</b>	60-1*63-1	<b>HC<sub>0</sub>24</b>	132-1*133-2	<b>HC<sub>0</sub>36</b>	204*205	<b>T6</b>	H 45
							SYN 139
							Viptera 3

\*HC<sub>0</sub> selectos, cuyas líneas se usaron para formar los HC<sub>1</sub>, con los que se hicieron los ECR en el segundo año (2017-18) en cuatro localidades.

**Tabla 2.** Códigos e híbridos HC<sub>1</sub> utilizados en el ensayo, campaña 2017-18 en IIACS – INTA

Código	Híbrido	Código	Híbrido	Código	Híbrido
<b>HC<sub>1</sub>1</b>	37-2-1*36-2-1	<b>HC<sub>1</sub>11</b>	165-2-1*164-4-1	<b>HC<sub>1</sub>21</b>	81-4-3*82-4-3
<b>HC<sub>1</sub>2</b>	183-1-1*168-1-1	<b>HC<sub>1</sub>12</b>	73-2-1*185-10-1	<b>HC<sub>1</sub>22</b>	139-2-1*118-1-1
<b>HC<sub>1</sub>3</b>	117-6-2*112-7-2	<b>HC<sub>1</sub>13</b>	73-2-2*185-10-2	<b>T1</b>	DM 2771VT3P
<b>HC<sub>1</sub>4</b>	207-1*206-1	<b>HC<sub>1</sub>14</b>	73-2-3*185-10-3	<b>T2</b>	SYN 126 Viptera 3
<b>HC<sub>1</sub>5</b>	115-4-1*114-7-1	<b>HC<sub>1</sub>15</b>	9-3-1*8-2-1	<b>T3</b>	B 510 PWU
<b>HC<sub>1</sub>6</b>	115-4-2*114-7-2	<b>HC<sub>1</sub>16</b>	7-3-1*6-3-1	<b>T4</b>	INTA 2012
<b>HC<sub>1</sub>7</b>	115-5-1*116-1-1	<b>HC<sub>1</sub>17</b>	7-3-2*6-3-2	<b>T5</b>	H 45
<b>HC<sub>1</sub>8</b>	115-5-2*116-1-2	<b>HC<sub>1</sub>18</b>	63-2-1*164-4-1	<b>T6</b>	SYN 139 Viptera 3
<b>HC<sub>1</sub>9</b>	115-5-4*116-1-4	<b>HC<sub>1</sub>19</b>	177-1-1*178-1-1		
<b>HC<sub>1</sub>10</b>	159-2-2*164-7-2	<b>HC<sub>1</sub>20</b>	177-1-2*178-1-2		

**Tabla 3.** Localidad, provincia, región agroecológica, msnm, latitud y longitud, suelo, temperatura, clima y precipitación de los sitios donde se realizaron los ensayos de los híbridos HC<sub>1</sub>

Localidad	Provincia	Región Agroecológica	MSNM	Latitud y Longitud	Suelo		T° media anual (°C)	Clima	Precipitación media anual (mm)
					Tipo	Textura			
<b>Chañar Pozo – Leales (LE)</b>	Tucumán	Llanura Deprimida Salina, subregión de la llanura deprimida salina seca subhúmeda	330	27° 03' S; 64° 15' O	Hapludol cumúlico-fase salino sódica	Franco limosa	19,5	Subtropical subhúmedo con estación seca	850
<b>El Manantial-Lules (MA)</b>	Tucumán	Pedemonte, subregión perhúmedo	435	26° 49'59" S; 65° 16'33" O	Argiudol típico	Franco a franco limosas	19,0	Húmedo y perhúmedo cálido	1000
<b>Los Altos -Santa Rosa (LA)</b>	Catamarca	Llanura Chaco Pampeana, subregión seca subhúmeda no salina	477	28° 05'29" S; 65° 27'52" O	Haplustol fluventico	Franco limosa	19,0	Seco subhúmedo cálido	650 -750
<b>El Mollar-Jiménez (PA)</b>	Santiago del Estero	Llanura Chaco Pampeana, subregión semiárida	318	26° 56'36" S; 64° 38'34" O	Haplustol entico	Franco limosa	19,0	Semiárido cálido	500-600

Fuente: Zuccardi y Fadda, (1985).

determinado mediante la fórmula:  $G_{SL} = (\bar{X}_{HC1} - \bar{X}_{HC0})$ , que es la diferencia de media de los híbridos  $HC_1$  de la temporada 2017-2018 ( $\bar{X}_{HC1}$ ) y los híbridos  $HC_0$  de la temporada 2016-2017 ( $\bar{X}_{HC0}$ ), a partir de lo propuesto por Vencovsky y Barriga (1992). La ganancia lograda en porcentaje ( $G_{SL}\%$ ) fue calculada mediante la fórmula:  $(G_{SL} / \bar{X}_{HC0\text{Gral}}) \cdot 100$ . Los datos para el cálculo de  $G_{SL}$  y  $G_{SL}\%$  se muestran en la Tabla 4.

En el Experimento 2 se analizó la estabilidad de comportamiento de los  $HC_1$  en diferentes localidades. Para ello, se realizaron ECR de los 22  $HC_1$  más los seis testigos (Tabla 2), llevados a cabo en la campaña 2017-2018, que fueron sembrados el 2 de enero de 2018 en el campo experimental del IIACS (CIAP-INTA) en Leales, provincia de Tucumán (27° 03' S, 64° 15' O; 330 m s. n. m.) (LE); el 4 de enero de 2018 en Finca "El Manantial" FAZ-UNT en Lules, provincia de Tucumán (26° 49' 59" S, 65° 16' 33" O; 435 m s. n. m.) (MA); el 10 de enero de 2018 en Los Altos, Santa Rosa, provincia de Catamarca (28° 05' 29" S, 65° 27' 52" O; 477 m s. n. m.) (LA); y el 16 de enero de 2018 en El Mollar Jiménez, provincia de Santiago del Estero (26° 56' 36" S, 64° 38' 34" O; 318 m s. n. m.) (PA). Las características edafoclimáticas de las localidades se describen en la Tabla 3. La parcela experimental para LE y MA fue de un surco de 5 m de longitud, espaciados a 0,70 m (3,5 m<sup>2</sup>), con 20 plantas distanciadas a 0,25 m, con una densidad de plantas ideal de 5,7 pl.m<sup>2</sup>. En tanto, en LA y PA,

la parcela experimental fue de un surco de 5 m de longitud, espaciados a 0,52 m (2,6 m<sup>2</sup>), con 15 plantas distanciadas a 0,33 m, lo que da una densidad ideal de 5,7 pl.m<sup>2</sup>. La siembra, en todos los casos, se realizó con bastón sembrador, 3 semillas por golpe y luego, se raleó a una planta en estado fenológico V2-V3 (Ritchie y Hanway, 1982). Los ECR se dispusieron en un diseño de bloque completo al azar (DBCA) con dos repeticiones. Se fertilizó con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de fosfato di amónico (18-46-0) en la siembra, y con 200 kg.ha<sup>-1</sup> de urea (46% N) en el estado fenológico de V6 (Ritchie y Hanway, 1982). Se usaron como testigos seis híbridos comerciales, que se repitieron en las dos campañas. Cuatro de ellos son híbridos simples de semilleros comerciales, recomendados para el noroeste argentino (NOA), DM 2771 VT3P, OGM (Don Mario Semillas), SYN126 Viptera 3 y SYN 139 Viptera 3, tropicales, OGM's (Syngenta Argentina), B510 PWU, OGM (Brevant Semillas), y dos del PMMS, H45 e INTA 2012, tropicales convencionales, sin manipulación genética.

Las malezas fueron controladas con aplicaciones de herbicida total (2 l.ha<sup>-1</sup> de glifosato 48%) previo a la siembra y un herbicida pre-emergente (3 l.ha<sup>-1</sup> de atrazina), y carpidas manuales durante el resto del ciclo del cultivo. Los insectos (cogollero) fueron controlados según los niveles de infestación (dos aplicaciones de deltametrina en dosis de 75 cm<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>). Los ECR fueron conducidos en seco.

**Tabla 4.** Valores del promedio general de los híbridos y de ganancia genética

	REND (kg.ha <sup>-1</sup> )	PRO	P1000 (gr.)	QUE%	AC%	IAEE (días)	AE (m)	AP (m)
$\bar{X}_{HC0\text{Gral}}$	7226,36	1,23	308,05	15,82	5,43	0,61	1,38	2,84
$\sigma_{HC0\text{Gral}}$	1931,21	0,17	31,24	13,34	10,01	0,99	0,15	0,17
$\bar{X}_{HC0\text{Sel}}$	8512,78	1,29	309,49	14,30	3,05	0,63	1,41	2,89
$\sigma_{HC0\text{Sel}}$	1432,35	0,18	30,07	12,42	4,37	1,00	0,15	0,16
$\bar{X}_{HC1}$	9067,66	1,31	267,92	0,54	7,52	0,39	1,25	2,81
$\sigma_{HC1}$	2233,97	0,31	69,94	2,09	12,61	1,15	0,14	0,67
$\bar{X}_{T2016-17}$	7414,29	0,98	307,10	2,59	2,22	0,75	1,32	2,87
$\sigma_{T2016-17}$	2191,86	0,04	54,15	4,70	3,63	1,22	0,25	0,16
$\bar{X}_{T2017-18}$	10821,57	1,15	335,10	0,98	6,13	1,08	1,17	2,71
$\sigma_{T2017-18}$	2359,80	0,21	67,89	2,29	17,68	0,90	0,15	0,18
$G_{SL}$	1841,30 <sup>§</sup>	0,08	-40,13	-15,28	2,09	-0,22	-0,13 <sup>§</sup>	-0,03 <sup>§</sup>
$G_{SL}\%$	25,48	6,50	-13,03	----	----	-36,07	-9,42	-1,06

<sup>§</sup> cm

Valores del promedio general de los híbridos del ciclo 0 corregidos ( $\bar{X}_{HC0\text{Gral}}$ ); valor promedio de los híbridos del ciclo 0 selectos corregidos ( $\bar{X}_{HC0\text{Sel}}$ ) en la campaña 2016-2017; híbridos del ciclo 1 ( $\bar{X}_{HC1}$ ); testigos en la campaña 2016-2017 ( $\bar{X}_{T2016-17}$ ) y 2017-2018 ( $\bar{X}_{T2017-18}$ ); desvío estándar de los híbridos del ciclo 0 ( $\sigma_{HC0\text{Gral}}$ ); desvío estándar híbridos del ciclo 0 selectos ( $\sigma_{HC0\text{Sel}}$ ); desvío estándar híbridos del ciclo 1 ( $\sigma_{HC1}$ ). Valores de ganancia genética lograda ( $G_{SL}$ ) y ganancia lograda en porcentaje ( $G_{SL}\%$ ) para REND; prolificidad (PRO); peso de semillas (P1000); porcentaje de quebrado de tallos (QUE%); porcentaje da acame de plantas (AC%); intervalo entre antesis y emisión de estigmas (IAEE); altura de inserción de espiga (AE); altura de planta (AP); y desvíos estándar ( $\sigma$ ).

En el Experimento 1 se determinó:

-Rendimiento ajustado a 14,5% de humedad del grano (REND). Se obtuvo cosechando a mano la parcela y luego, se procedió a la trilla de las espigas con máquina estacionaria. Se pesó en balanza electrónica (Kretz, origen Argentina). Se midió dos veces la humedad de los granos de cada parcela con humidímetro (DIKEY-John MULTI-GRAIN, origen EE. UU.), se promediaron los valores y se llevaron todas las muestras a 14,5% de humedad, por último, se transformaron a  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ .

-Prolificidad (PRO): el número de espigas por planta se determinó en cosecha, dividiendo el número espigas cosechadas por el número de plantas de la parcela útil.

-El peso de 1000 semillas (P1000), se determinó a partir de alícuotas de 500 granos, extraídas de cada una de las muestras cosechadas, secadas hasta peso constante en estufa a  $65\text{ }^{\circ}\text{C}$  y pesadas en balanza electrónica (modelo Adventure, marca OHAUS, origen EE. UU.), con una capacidad máxima de 3100 gr, precisión 0,01 gr.

-Porcentaje de quebrado de tallos (QUE%): se contó el número de plantas que presentaban quebrado de tallo por debajo de la espiga principal. Los datos se tomaron dos semanas antes de la cosecha y fue evaluada en porcentaje, con respecto al total de plantas de la parcela.

-Porcentaje de acame de plantas (AC%): se contó el número de plantas que presentaban una inclinación mayor de  $30^{\circ}$  con respecto a la vertical por parcela. Los datos se tomaron dos semanas antes de la cosecha y fue evaluada en porcentaje, con respecto al total de plantas de la parcela.

-Intervalo anthesis, emisión de estigmas (IAEE): en 10 plantas marcadas de cada parcela, se determinó la cantidad de días desde la siembra a 50% de plantas, con panojas emitiendo polen (VT), y espigas con estigmas visibles (R1), de acuerdo a la clave de Ritchie y Hanway (1982). Luego, se sacó la diferencia de días mediante la fórmula  $\text{IAEE} = \text{R1} - \text{VT}$ .

-Altura de inserción de espiga (AE): en cinco plantas de cada parcela, se midió la distancia en m, desde la base de la planta hasta el nudo de inserción de la espiga principal y se sacó el promedio.

-Altura de planta (AP): en cinco plantas de cada parcela, se midió la distancia en m, desde la base de la planta hasta el extremo superior de la panoja y se sacó el promedio.

Debido a que los datos de REND, PRO y P1000 de los  $\text{HC}_1$  de la campaña 2017-2018, fueron superiores en un 31,51%, 14,78% y 8,36%

respecto a los de la campaña 2016-2017, para la determinación del avance genético logrado ( $\text{Gs}_L$ ), estas variables fueron corregidas sobre la base de la diferencia de los valores promedios de los testigos en ambas campañas. Esto es similar a lo reportado por Hallauer (1967).

En el Experimento 2, solo se determinó REND, como se describe arriba.

Los análisis de ANOVA, LSD de Fisher y análisis de estabilidad y comportamiento de los híbridos a través del gráfico GGE biplot (Figura 2), se hicieron con el paquete estadístico Info-Gen (Balzarini y Di Rienzo, 2004).

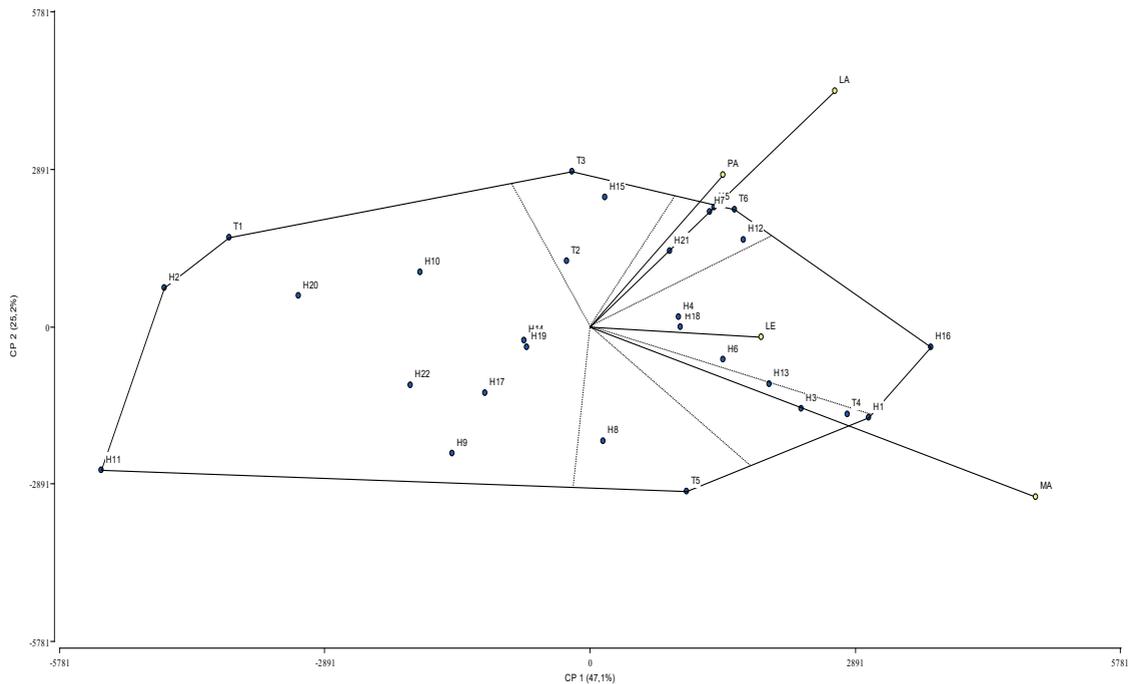
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de los datos del Experimento 1, la  $\text{Gs}_L$  para REND fue de  $1841,30\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$  y la  $\text{Gs}_L\%$  25,48% (Tabla 4), valor mucho mayor a la reportada por otros autores que usaron la misma metodología, como es el caso de Coors (1999), quien reportó valores de entre 4,5% y 6,2%.ciclo<sup>-1</sup>. Por su parte, Raposo et al. (2004) y Reis et al. (2009) reportaron valores de 7,9% y 5,7%, respectivamente. Eyherabide y Hallauer (1991) reportaron ganancias por ciclo de 6,5% en poblaciones templadas. Keeratinijakal y Lamkey (1993<sup>a</sup>) reportaron 6,5%.ciclo<sup>-1</sup>, mientras que Santos et al. (2007b) obtuvieron un promedio de 7,2%.ciclo<sup>-1</sup>.

Para la PRO, la  $\text{Gs}_L$  fue de 0,08 y  $\text{Gs}_L\%$  de 6,5% (Tabla 4). Este valor fue más bajo que el reportado por Souza Jr. y Pinto (2000) que fue de 11,8%, pero mayor que el 2,62% reportado por Santos et al. (2007a). Como se muestra en la Tabla 4, el promedio para este carácter en los  $\text{HC}_0$  es de 1,23 espigas.planta<sup>-1</sup>, que es alto y se encuentra fijado en las poblaciones que forman los grupos heteróticos, que dieron origen a los híbridos evaluados en este trabajo.

En P1000 la  $\text{Gs}_L$  fue de -40,13 y  $\text{Gs}_L\%$  -13,03 (Tabla 4), esto representa una disminución de 40,13 gr, y es contrario a lo reportado por da Cunha et al. (2012), quienes reportaron un incremento de 0,58.

La  $\text{Gs}_L$  del QUE% fue de -15,28 (Tabla 4), es decir, muy por debajo del -1,64% reportado por Schnicker y Lamkey (1993), del -1,04% obtenido por Keeratinijakal y Lamkey (1993<sup>b</sup>), del -7,6% por Menz Rademacher et al. (1999), del -1,65% en condiciones de sequía y -1,17% en condiciones de secano, informado por Badu-Apraku et al. (2018). Esta gran diferencia en los resultados, con respecto a los reportados por otros autores, puede deberse a la presión de selección aplicada en los  $\text{HC}_0$ , que pasaron al próximo ciclo ( $\text{HC}_1$ ) sobre este carácter.



**Figura 2.** GGE biplot. Identificación de los mejores híbridos en cada localidad. Los puntos amarillos representan localidades, los azules los híbridos HC<sub>1</sub>.

La  $G_{L_1}$  para AC%, fue de +5,66% (Tabla 4). Esta difiere de lo reportado por Schnicker y Lamkey (1993), -0,23%, y Menz Radermacher et al. (1999), -11,0%, también de lo reportado por Badu-Apraku et al. (2018), en condiciones de sequía y en condiciones de secano, que encontraron valores de -1,05 y -1,09%, respectivamente.

El IAAE tuvo una  $G_{L_1}$  de -0,22 días y  $G_{L_1}$  % de -36,07% (Tabla 4). El valor encontrado es superior al reportado por Badu-Apraku et al. (2018) para dos condiciones ambientales diferentes, que fue de -0,52% en condiciones de sequía y -0,45% en secano. Este resultado es positivo ya que la reducción de este carácter le confiere mayor tolerancia al estrés por sequía a los cultivares (Bolaños y Edmeades, 1996)

La AE tuvo una  $G_{L_1}$  de -0,13 cm y  $G_{L_1}$  % de -9,42% (Tabla 4). La disminución de AE fue mucho mayor que la reportada por Santos et al. (2007a), que fue de -3,17%.

Para AP la  $G_{L_1}$  de -0,03 cm y  $G_{L_1}$  % -1,06% (Tabla 4). Este valor de  $G_{L_1}$  % fue similar al reportado por Santos et al. (2007a), de -1,81%.

El ANOVA para REND, conjunto de los híbridos HC<sub>1</sub>, en las cuatro localidades del Experimento 2 se puede ver en la Tabla 5. Se observa que hubo significancia entre los G (Híbridos), E (Localidades),

pero no así en la interacción genotipo ambiente (GEI). Esto es similar a lo reportado por Oyervides et al. (1993), Biasutti et al. (2004) y Alcocer et al. (2005), quienes trabajando con pasturas en nuestra región tampoco encontraron GEI.

Al no existir interacción GEI, puede inferirse que las diferencias entre los híbridos se mantienen en los diferentes ambientes, o que dichos ambientes no son discriminantes para estas variables. Es por ello que se realizó un análisis de LSD (Tabla 6), como fue sugerido por Mariotti (1994).

El análisis LSD conjunto de todos los híbridos en las cuatro localidades (Tabla 6) muestra al híbrido HC<sub>1</sub>,16 como el de mayor REND, superando a los testigos T4 y T6. En tanto, HC<sub>1</sub>,12, HC<sub>1</sub>,13, HC<sub>1</sub>,5, HC<sub>1</sub>,1, HC<sub>1</sub>,7 superan al testigo T3 y HC<sub>1</sub>,3, HC<sub>1</sub>,21 y HC<sub>1</sub>,18, HC<sub>1</sub>,4, HC<sub>1</sub>,15, HC<sub>1</sub>,6 superan a los testigos T2 y T5. Todos estos se encuentran por encima del promedio, por lo cual 12 de los 22 HC<sub>0</sub> superan, al menos, a dos testigos y se encuentran por encima del promedio.

Del ANOVA (Tabla 5), se desprende que los E constituyen la fuente de variación más importante, en relación a la contribución de los G y GEI sobre la variabilidad total. Por ello, Cornelius et al. (1996), Crossa y Cornelius (1997) y Crossa, Cornelius y Yan (2002), proponen el modelo regresión por sitio

**Tabla 5.** Análisis de la varianza para REND en cuatro localidades

FV	G.L.	S.C.	C.M.	F
Modelo	111	1217897372	10972048,4	2,67**
G (Híbridos)	27	252835758	9364287,34	2,28**
E (Localidades)	3	614128247	204709416,00	49,75**
GEI	81	350933367	4332510,71	1,05 <sup>ns</sup>
Error	112	460869035	4114902,1	
Total	223	1678766408	10972048,4	
CV%	23,86			

\*\* significativo al 1%; <sup>ns</sup> no significativo.

**Tabla 6.** Prueba de LSD, Alfa 0,05 para REND de los híbridos HC<sub>1</sub>

Híbridos	Medias REND (kg.ha <sup>-1</sup> )	
HC <sub>1</sub> 16	10199,81	A
T6 (SYN 139Viptera 3)	9747,61	AB
T4 (INTA 2012)	9635,44	ABC
HC <sub>1</sub> 12	9499,36	ABCD
HC <sub>1</sub> 13	9336,71	ABCD
HC <sub>1</sub> 5	9279,42	ABCD
HC <sub>1</sub> 1	9223,16	ABCDE
HC <sub>1</sub> 7	9204,49	ABCDE
T3 (B 510PWU)	9143,64	ABCDEF
HC <sub>1</sub> 3	9107,09	ABCDEF
HC <sub>1</sub> 21	9091,17	ABCDEF
HC <sub>1</sub> 18	9046,67	ABCDEF
HC <sub>1</sub> 4	8997,63	ABCDEF
HC <sub>1</sub> 15	8861,86	ABCDEF
HC <sub>1</sub> 6	8829,35	ABCDEF
T2 (SYN 126Viptera 3)	8701,59	ABCDEF
T5 (H45)	8696,70	ABCDEF
HC <sub>1</sub> 8	8530,49	ABCDEF
HC <sub>1</sub> 19	8168,37	BCDEFG
HC <sub>1</sub> 14	8055,70	BCDEFG
HC <sub>1</sub> 17	7839,44	BCDEFG
HC <sub>1</sub> 9	7723,93	CDEFG
HC <sub>1</sub> 10	7579,56	DEFG
HC <sub>1</sub> 20	7281,45	EFGH
HC <sub>1</sub> 22	7219,98	FGH
T1(DM 2771 VT3P)	7211,33	FGH
HC <sub>1</sub> 2	6374,98	GH
HC <sub>1</sub> 11	5491,23	H
Promedio	8502,79	

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)  
DMS=1951,74409.

(SREG).

En el gráfico GGE biplot (Figura 2), se observa que los componentes principales CP1 explican (47,1%) y CP2 (25,2%) y, en conjunto, explican 72,3% de la variabilidad total G y G + E.

Según la propuesta de interpretación de Yan y Hunt (2002), se puede observar en la Figura 2 que se diferencian tres mega ambientes formados por MA, LE, y el tercer ambiente formado por las localidades de LA y PA. El ambiente MA resultó el más discriminante.

En tanto el híbrido HC<sub>1</sub>16, se encuentra en el vértice del polígono, y presenta el mejor valor en el eje CP1. Además de un valor cercano a cero en el eje CP2, lo que indica que este híbrido es el más productivo, con una buena adaptación y estabilidad para REND en los ambientes bajo evaluación. Por otro lado, se encontraron híbridos sitio-específicos para REND: HC<sub>1</sub>1, HC<sub>1</sub>16, HC<sub>1</sub>3 y HC<sub>1</sub>6 para MA; HC<sub>1</sub>13 y HC<sub>1</sub>18 para LE; HC<sub>1</sub>7, HC<sub>1</sub>15, HC<sub>1</sub>5 y HC<sub>1</sub>21 para LA; HC<sub>1</sub>5, HC<sub>1</sub>12 y HC<sub>1</sub>7, para PA.

## CONCLUSIONES

En cuanto a las G<sub>s<sub>L</sub></sub> para REND, fue relativamente alta, comparada con lo reportado por otros autores que usaron la misma metodología. Esto puede deberse a que estamos en el primer ciclo de selección y es de esperar que la G<sub>s<sub>L</sub></sub> para REND disminuya con el avance de los ciclos. Además, se trabajó con poblaciones mejoradas a priori para REND. Por otro lado, se cumplió con la finalidad de esta metodología, que es la selección temprana de las familias con heterosis.

En cuanto a PRO, la G<sub>s<sub>L</sub></sub> fue baja. Esto puede deberse al hecho de que las poblaciones que dan origen a las líneas progenitoras de híbridos tienen este carácter fijado, ya que para aplicar esta metodología son necesarias las plantas prolíficas.

El QUE% tuvo un decrecimiento de la G<sub>s<sub>L</sub></sub>, lo que representa una tendencia positiva, en tanto para AC% tuvo un leve aumento. Esto último, aunque indeseable, no es tan relevante, ya que la espiga no cae al suelo y, por lo tanto, no se genera una pérdida de REND.

Se consiguió una disminución de AE y AP, que

es lo que se busca en los híbridos modernos.

Pudo identificarse el híbrido HC<sub>1</sub>16, de amplia adaptación y estabilidad de REND, además de híbridos con adaptación sitio-específico. También, cinco híbridos, HC<sub>1</sub>12, HC<sub>1</sub>13, HC<sub>1</sub>5, HC<sub>1</sub>1 y HC<sub>1</sub>7, tuvieron rendimientos superiores a cuatro de los seis testigos en el análisis conjunto de REND. Por otra parte, se identificaron tres mega ambientes, MA, LE, y un tercero formado por las localidades de LA y PA.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcocer, G., Pérez, P. G., García Posse, F. R. y Devani, M. R. (2005). Determinación de estabilidad de la producción varietal de *Chloris gayana* Kunth en Tucumán y zonas de influencia. *Revista Industrial y Agrícola de Tucumán*, 82(1-2), 55-58. [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-30182005000100007&script=sci\\_arttext&lng=pt](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-30182005000100007&script=sci_arttext&lng=pt)
- Balzarini, M. y Di Rienzo, J. (2004). Info-Gen (versión 2004) [Software]. Córdoba, Argentina: Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba. <https://www.info-gen.com.ar/>
- Badu-Apraku, B., Talabi, A. O., Ifie, B. E., Chabi, Y. C., Obeng-Antwi, K., Haruna, A. y Asiedu, R. (2018). Gains in grain yield of extra-early maize during three breeding periods under drought and rainfed conditions. *Crop Science*, 58(6), 2399-2412. <https://doi.org/10.2135/cropsci2018.03.0168>
- Biasutti, C. A., Peiretti, D. A., Nazar, M. C. y Alemanno, G. A. (2004). Respuesta a la selección masal por prolificidad en maíz en diferentes ambientes. *Agriscientia*, 21(2). <https://doi.org/10.31047/1668.298x.v21.n2.2666>
- Bolaños, J. y Edmeades, G. O. (1996). The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize. *Field Crops Research*, 48(1), 65-80. [https://doi:10.1016/0378-4290\(96\)00036-6](https://doi:10.1016/0378-4290(96)00036-6)
- Botega Alves, N., Pereira Nascimento J., Pereira C.H., Van Rooijen, M., Rui, M. C. y Souza, J. C. (26 - 30 de agosto de 2012). *Avaliação de híbridos crípticos de milho*. Documento presentado en XXIX Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Águas de Liondóia, São Paulo, Brasil.
- Coors, J. G. (1999). Selection methodology and heterosis. En James G. Coors y Shivaji Pandey (Eds.), *The Genetics and Exploitation of Heterosis In Crops* (225-245). The American Society of Agronomy, Inc. y Crop Science Society of America, Inc. <https://doi.org/10.2134/1999.geneticsandexploitation.c21>
- Cornelius, P. L., Crossa, J. y Seyedsadr, M. S. (1996). Statistical tests and estimators of multiplicative models for genotype-by-environment interaction. *Genotype by Environment Interaction* (No. 631.523 KAN. CIMMYT.).
- Crossa, J. y Cornelius, P. L. (1997). Sites regression and shifted multiplicative model clustering of cultivar trial sites under heterogeneity of error variances. *Crop Science*, 37(2), 406-415. <https://doi.org/10.2135/cropsci1997.0011183X003700020017x>
- Crossa, J., Cornelius, P. L. y Yan, W. (2002). Biplots of linear bilinear models for studying crossover genotypex environment interaction. *Crop Science*, 42(2), 619-633. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.6190>
- da Cunha, K. S., Pereira, M. G., Gonçalves, L. S. A., Berilli, A. P. C. G., de Oliveira, E. D., Ramos, H. C. C. y do Amaral Júnior, A. T. (2012). Full-sib reciprocal recurrent selection in the maize populations cimmyt and piranão. *Genetics and Molecular Research*, 11(3), 3398-3408. <http://dx.doi.org/10.4238/2012.September.25.8>
- Eyherabide G. H. y Hallauer A. R. (1991). Reciprocal full-sib recurrent selection in maize: I direct and indirect responses. *Crop Science*, 31(4), 952-959. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100040023x>
- Gardner C. O. (1961). An evaluation of effects of mass selection and seed irradiation with thermal neutrons on yield of corn. *Crop Science*, 1(4), 241-245. <https://doi.org/10.2135/cropsci1961.0011183X000100040004x>
- Gomes Lopes, M. T., Soriano Viana, J. M. y Lopes, R. (2005). Capacidade produtiva de híbridos de famílias endogâmicas de milho (*Zea mays* L.) obtido pelo método dos híbridos crípticos. *Revista Ceres*, 52(303), 613-632. Universidad Federal de Viçosa. Minas Gerais. Brasil. <https://locus.ufv.br/handle/123456789/13082>
- Hallauer, A. R. (1967). Development of single cross hybrids from two eared maize populations 1. *Crop Science*, 7(3), 192-195. <https://doi.org/10.2135/cropsci1967.0011183X000700030007x>
- Keeratinijakal, V. y Lamkey, K. R. (1993<sup>a</sup>). Responses to reciprocal recurrent selection in BSS and BCSB1 maize populations. *Crop Science*, 33(1), 73-77. <https://doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300010012x>
- Keeratinijakal, V. y Lamkey, K. R. (1993<sup>b</sup>). Genetic Effects Associated with reciprocal Recurrent Selection in BSSS and BSCB1 Maize Populations. *Crop Science*, 33(1), 78-82. <https://doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300010013x>
- Lonnquist, J. H. y Williams, N. E. (1967). Development of maize hybrids through selection among full-sib families 1. *Crop Science*, 7(4), 369-370. <https://doi.org/10.2135/cropsci1967.0011183X000700040028x>
- Mariotti, J. (1994). La interacción genotipo-ambiente, su significado e importancia en el mejoramiento genético

- y en la ecuación de cultivares. *Serie Monográfica N° 1*. INTA-CRTS.
- Marquéz Sánchez, F. (1988). *Genotecnia Vegetal. Métodos, Teoría, Resultados. Tomo II*. AGT Editor.
- Menz Rademacher, M. A., Hallauer, A. R. y Russell, W. A. (1999). Comparative response of two reciprocal recurrent selection methods in BS21 and BS22 maize populations. *Crop Science*, 39(1), 89-97. <https://doi.org/10.2135/cropsci1999.0011183X00390001014x>
- Oyervides, A., Mariaca, J., De Leon, H. y Reyes, M. (1993). Estimación de parámetros genéticos en una población de maíz tropical. *Agronomía mesoamericana*, 4(1), 30-35. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5542800>
- Prior, C. L. y Russell, W. A. (1975). Yield performance of nonprolific and prolific maize hybrids at six plant densities 1. *Crop Science*, 15(4), 482-486. <https://doi.org/10.2135/cropsci1975.0011183X001500040010x>
- Raposo, F. V., Patto Ramalho, M. A. P. y Ribeiro, P. H. E. (2004). Alterations in heterosis of maize populations derived from single-cross hybrids after reciprocal recurrent selection. *Crop Breeding an Applied Biotechnology*, 4(1), 74-80. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/487790>
- Reis, M. C. D., Souza, J. C. D., Ramalho, M. A. P., Guedes, F. L. y Santos, P. H. A. D. (2009). Progreso genético com a seleção recorrente recíproca para híbridos interpopulacionais de milho. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 44, 1667-1672. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2009001200016>
- Ritchie, S. W. y Hanway, J. J. (1982). *How a Corn Plant Develops* (Special Report N° 48). Iowa State University of Science and Technology, Cooperative Extension Service.
- Santos, F. S., Amaral Junior, A. T., Freitas Junior, S. P., Rangel, R. M. y Pereira, M. G. (2007a). Predição de ganhos genético por índices de seleção na população de milho-pipoca UNB-2U sob seleção recorrente. *Bragantia*, 66(3), 389-396. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052007000300004>
- Santos, M. F., Câmara, T. M. M., Moro, G. V., Costa, E. F. N. y De Souza, C. L. (2007b). Responses to selection and changes in combining ability after three cycles of a modified reciprocal recurrent selection in maize. *Euphytica*, 157(1), 185-194. <https://doi.org/10.1007/s10681-007-9410-x>
- Schnicker, B. J. y Lamkey, K. R. (1993). Interpopulation genetic variance after reciprocal recurrent selection in BSSS and BSCB1 maize populations. *Crop Science*, 33(1), 90-95. <https://doi.org/10.2135/cropsci1993.0011183X003300010016x>
- Souza Jr., C. L. y Pinto, R. M. C. (2000). Response to a short-term reciprocal recurrent selection procedure in maize. *Maydica*, 45(1), 21-28.
- Vencovsky, R. y Barriga, P. (1992). Genética biométrica aplicada ao fitomelhoramento. *Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Genética*, p. 469.
- Villena, W. (1965). Selección de líneas para habilidad combinatoria general y específica en el primer ciclo de selección recorrente recíproca en poblaciones de Eto Blanco y Colima 14. En *Proc. 11 Reunión Anual PCCMCA*, 31-34. Ciudad de Panamá, Panamá.
- Yan, W. y Hunt, L. A. (2002). Biplot analysis of diallel data. *Crop science*, 42(1), 21-30. <https://doi.org/10.2135/cropsci2002.2100a>
- Zuccardi, R. B. y Fadda, G. S. (1985). Bosquejo agroecológico de la provincia de Tucumán. *Misceláneas° 86*. Universidad Nacional de Tucumán, Facultad de Agronomía y Zootecnia: San Miguel de Tucumán, Argentina.