

## 26. Energía

### **Efectos genéticos en caracteres asociados a la producción de biocombustibles de primera y segunda generación a partir de maíz**

Farace, María Luján; Percibaldi Mabel, Eyhérbide Guillermo  
marialujanfarace@gmail.com; mlfarace@comunidad.unnoba.edu.ar

Escuela de Ciencias Agrarias y Naturales

Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires

---

#### **Resumen**

Los biocombustibles son obtenidos a partir de material orgánico, que pueden provenir de cultivos con aptitud energética como el maíz mediante la fermentación alcohólica de la fracción amilácea del grano (biocombustibles de primera generación) y de la fracción celulósica de su biomasa (biocombustibles de segunda generación). Nuestro objetivo fue determinar la influencia de parámetros de calidad de grano y del rendimiento de bioetanol a partir de grano y de biomasa sobre la producción potencial de bioetanol en la zona maicera núcleo de Argentina, y los efectos genéticos preponderantes en cada caso. Se condujeron experimentos de DBCA con 2 repeticiones, en 3 ambientes del norte de la provincia de Buenos Aires. El material genético consistió en 5 líneas endocriadas de maíz desarrolladas por INTA Pergamino LP2542, LP661, LP29, LP923 y LP214 y sus diez cruzamientos posibles. Se obtuvieron muestras de grano y biomasa, y se determinaron las siguientes variables: Contenido de almidón y de proteína; Relación de molienda; Rendimiento de etanol a partir de grano y de biomasa; Rendimiento de grano y biomasa; Producción de etanol a partir de grano y biomasa; y el índice de cosecha. Se empleó un diseño Dialélico de Griffing, método IV de efectos fijos. Las líneas LP2542 y LP29 presentaron características de calidad deseable para la producción de etanol amiláceo con efectos de ACG altos y positivos. El híbrido constituido por LP 923 y LP2542 concilió los objetivos de alta producción de etanol ( $L \cdot Ha^{-1}$ ) para los combustibles de primera y segunda generación, preponderando efectos de acción génica de tipo aditivo.

**Palabras clave:** Rendimiento de bioetanol, Aptitud combinatoria general y específica, Diseño dialélico.

#### **Introducción**

Argentina es uno de los países comprometidos con el Acuerdo Climático de París (22 de abril, 2016) que busca limitar las emisiones de gases de efecto invernadero (*United Nations Framework Convention on Climate Change, 2017*). El principal recurso utilizado para satisfacer la demanda energética es el destilado de petróleo crudo, siendo este el mayor contaminante.

Actualmente existe un interés en el reemplazo de este recurso natural no renovable por otros combustibles alternativos que provengan de recursos renovables (biocombustibles). La industria del etanol encontró un rol significativo en relación a cuestiones del cambio climático (Monteiro Salles-Filho *et al.*, 2016).

Los biocombustibles son obtenidos a partir de material orgánico, que puede provenir de cultivos con aptitud energética (maíz, sorgo y caña de azúcar), de residuos de cultivos (rastrojo y mazorcas de maíz, paja de arroz, cáscara de arroz) y de residuos agroindustriales (Bajpai, 2013).

El maíz surge como una alternativa factible para la obtención de bioetanol mediante la fermentación alcohólica a partir de la fracción amilácea del grano (Maisch, 1987) y de la fracción celulósica de su biomasa, (Himmel *et al.*, 2007).

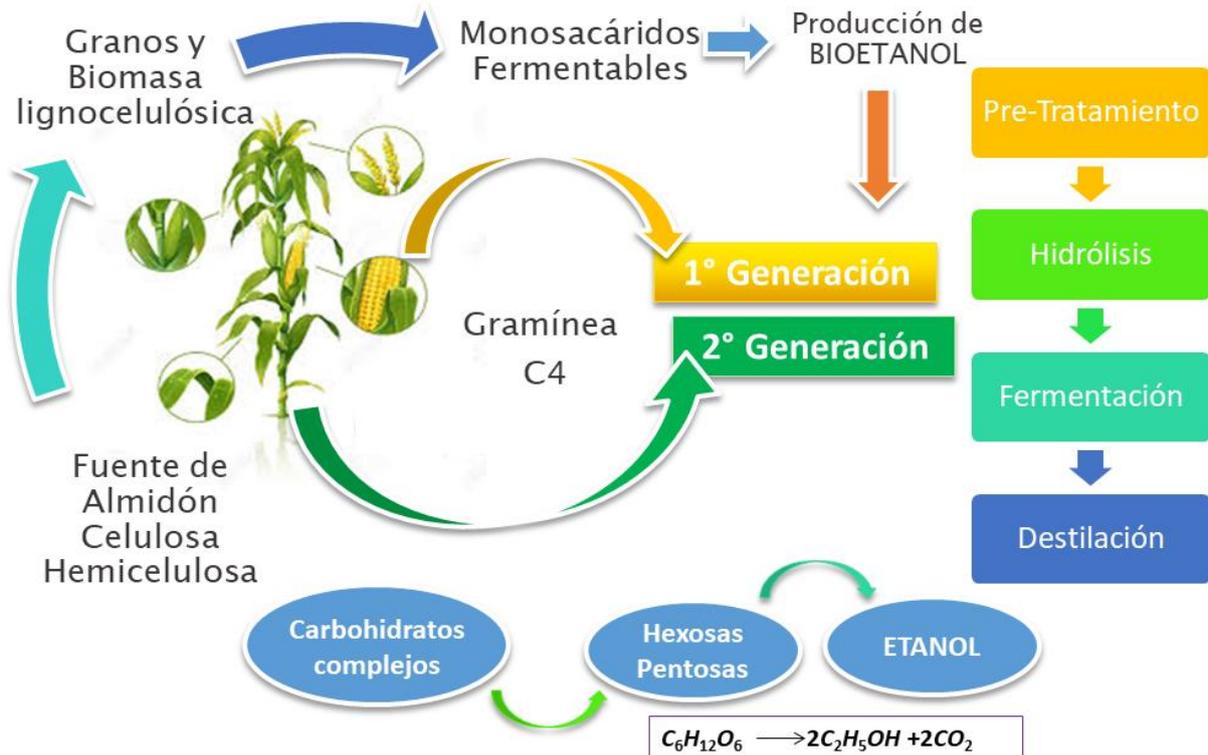
Una de las ventajas del empleo de la biomasa para la obtención de biocombustibles radica en que ésta no

compite con la producción de alimentos (Lewis *et al.*, 2010; Martinov *et al.*, 2011) y se los denomina biocombustibles de segunda generación para diferenciarlos de los de primera generación, provenientes de granos de cultivos agrícolas destinados a la alimentación humana y animal.

Independientemente de la tecnología de procesamiento utilizado o del tipo de biocombustible producido, el proceso consiste en las siguientes etapas: (I) pretratamiento (mecánico y/o termoquímico), (II) hidrólisis de los carbohidratos complejos a azúcares simples, (III) fermentación de los monómeros fermentables (hexosas y pentosas) obtenidos a etanol y (IV) destilación y deshidratación del etanol (Bothast *et al.*, 2014), Figura 1.

Los híbridos de maíz empleados actualmente por la industria alcoholera para biocombustible de primera generación fueron seleccionados por presentar alto rendimiento de grano. En cambio, los empleados para obtener biocombustibles de segunda generación, son aquellos que fueron desarrollados para ensilaje, por su bajo contenido de lignina. Por este motivo, resultaría interesante abordar un enfoque holístico para dilucidar si es posible conciliar altos rendimientos de bioetanol amiláceo y celulósico en un mismo material genético.

**Figura 1.** Obtención de biocombustibles de primera generación y segunda generación a partir de Maíz



Para plantear un plan de desarrollo de cultivares destinado primariamente a la industria de biocombustibles, resulta relevante conocer la matriz de correlaciones fenotípicas y estimar los efectos genéticos que gobiernan las características de calidad de grano, el rendimiento de bioetanol a partir de grano (bioetanol amiláceo) y de biomasa (bioetanol celulósico) en la determinación de producción potencial de litros de alcohol por hectárea por tonelada de materia seca.

Los diseños dialécticos de Griffing (1956) permiten estimar la aptitud combinatoria general (ACG), asociada a los efectos aditivos de los genes y la Aptitud combinatoria específica (ACE) asociada a los efectos no aditivos.

### Objetivos

Determinar la influencia de parámetros de calidad de grano y del rendimiento de bioetanol a partir de grano y de biomasa sobre la producción potencial de bioetanol en la zona maicera núcleo de Argentina, y los efectos genéticos preponderantes en cada caso.

### Materiales y Métodos

Se condujeron experimentos de bloques completos aleatorizados con dos repeticiones, en tres ambientes del norte de la provincia de Buenos Aires. En la campaña 2015-16 se implantaron experimentos en Colón (campo experimental de DOW *Agrosciences* CLL), Junín (campo experimental de la UNNOBA) y Pergamino (EEA INTA Pergamino).

La configuración de la parcela fue de cuatro surcos de 5 m de largo distantes a

0,7 m entre sí, a excepción de Colón que fue de 0.5 m. El manejo agronómico del cultivo fue el predominante de la región.

El material genético consistió en cinco líneas endocriadas de maíz desarrolladas por INTA Pergamino LP2542 (L<sub>1</sub>); LP661 (L<sub>2</sub>), LP29 (L<sub>3</sub>), LP923 (L<sub>4</sub>) y LP214 (L<sub>5</sub>); pertenecientes a distintos grupos de heterosis y de diferentes características de grano, y sus diez cruzamientos posibles.

Las muestras de grano de cada unidad experimental se obtuvieron mediante polinizaciones controladas para evitar efectos de xenia.

En lo que respecta a las muestras de biomasa (tallo y hoja), la cosecha se realizó manualmente con machete en madurez fisiológica, a razón de 10 plantas en competencia completa por parcela a una altura entre 10 y 15 cm del suelo. El secado del material se realizó en un invernáculo hasta peso constante simulando un secado en estufa con ventilación forzada a una temperatura promedio de 60° C, considerándose un remanente del 8,3 % de humedad.

Se midieron las siguientes variables en cada fracción:

#### Granos:

I) Contenido de almidón (AL, en porcentaje, mediante polarimetría); II) Contenido de proteína (P, en porcentaje, mediante NIRs); III) Relación de molienda (RM, en g.g<sup>-1</sup>), IV) Rendimiento de etanol

a partir de grano (REG, en L de etanol.Mg<sup>-1</sup> de grano, por NIRs); V) Rendimiento de grano (RG, en Mg.Ha<sup>-1</sup>); y VI) Producción de etanol a partir de grano (PEG, en L.Ha<sup>-1</sup>, a partir de RE x RG).

#### Biomasa:

VII) Contenido de Hemicelulosa, (HC, en porcentaje, mediante NIRs), VIII) Contenido de celulosa (C, en porcentaje, mediante NIRs), IX) Rendimiento de etanol a partir de biomasa (REB, en L de etanol.Mg<sup>-1</sup> de materia seca), según Cardona *et al.*, 2012, como:

$$\frac{((HC^{*1,11} \cdot V_{xe} \cdot M_{etOH}) / M_{xil}) + ((C^{*1,11} \cdot V_{Ge} \cdot M_{etOH}) / M_G) \cdot 1000}{\rho_{etOH}}$$

Donde, HC y C son la fracción de hemicelulosa y celulosa respectivamente en 100 g de material seco estimada mediante NIRs; 1,11: es la relación entre el peso molecular de la celulosa y la celobiosa; V<sub>xe</sub> y V<sub>Ge</sub> son los factores estequiométricos de la conversión de xilosa y glucosa en etanol respectivamente; M<sub>etOH</sub>, M<sub>xil</sub>, M<sub>G</sub> son los pesos moleculares del etanol, de la xilosa y de la glucosa; 10000: es el factor de conversión de 100 g a Mg, ρ<sub>etOH</sub>: densidad del etanol (g/L)

X) Rendimiento de biomasa (RB en Mg.Ha<sup>-1</sup>); XI) Producción de etanol a partir de biomasa (PEB, en L.Ha<sup>-1</sup>, a partir de REB x RB); XII) Índice de cosecha (IC): dividiendo el peso seco de grano por peso seco total de la planta (0 g.kg<sup>-1</sup> de contenido de agua) (Karlen *et al.*, 2015).

### Análisis estadístico:

Se calcularon las correlaciones fenotípicas de Pearson simples y se efectuaron análisis de varianzas combinados a través de ambientes, con Infostat (Di Rienzo, *et al.*, 2017). El análisis de comparación de medias se realizó mediante un test de comparaciones múltiples DGC con un  $p$ -valor  $< 0,05$ .

Se estimó asociación del comportamiento promedio de las líneas parentales con el comportamiento de los híbridos mediante las correlaciones de Pearson y el análisis de regresión para REG y REB.

Se empleó un diseño Dialéctico de Griffing, método IV, para determinar los efectos fijos de aptitud combinatoria general (ACG) y específica (ACE) a través de localidades, mediante el software AGD-R (2015) Versión 2.0. Con el fin de tener un valor aproximado de la heredabilidad se estimó el índice de Baker, (Baker, 1978) como:

$$IB: [2*CM_{ACG}/(2*CM_{ACG}+CM_{ACE})]$$

Donde, IB: Índice de Baker,  $CM_{ACG}$ : es el cuadrado medio de ACG, y  $CM_{ACE}$ : es el cuadrado medio de ACE.

### **Resultados y Discusión**

La matriz con las correlaciones de Pearson se muestran en la Tabla 1. No se encontró una asociación entre el REG y el

**Tabla1.** Asociación entre las variables de grano y de biomasa mediante el análisis de correlación de Pearson

REB, pero sí entre sus producciones, seguramente por la correlación existente entre el RG y RB.

Se observó una marcada asociación positiva del REG con el AL, a diferencia de P y RM que mostraron asociaciones negativas. La RM mostró una correlación negativa con AI y positiva con P y C. La RM es un indicador de la dureza de grano, cuanto mayor sea su valor, los granos son de naturaleza más dura (Robutti, 2004). Se puede inferir que granos con tendencia más suave, de textura harinosa, están asociados a un mayor REG por su alto contenido de AL y bajos porcentajes de P, consistente con lo informado en la literatura (Eyhétabide, 2014; Gerde *et al.*, 2017; Alegre *et al.*, 2018). En lo que respecta a la biomasa se observó que granos más duros provienen de genotipos con mayor C en su biomasa, mostrando la falta de congruencia en ese aspecto para obtener altos rendimiento de etanol a partir de grano y de biomasa al mismo tiempo.

Por el método de estimación de REB son esperables las altas correlaciones observadas entre REB con el HC y C, pero resulta interesante la correlación alta y negativa encontrada entre HC y los rendimientos de biomasa y grano, influyendo negativamente en las producciones de etanol por hectárea.

	AL	P	RM	HC	C	RG	RB	REG	REB	PEG	PEB	PET	RT	IC
AL	1.00													
P	<b>-0.62</b>	1.00												
RM	<b>-0.46</b>	<b>0.74</b>	1.00											
HC	-0.03	-0.15	0.01	1.00										
C	-0.07	0.17	<b>0.33</b>	0.24	1.00									
RG	-0.18	<b>0.35</b>	0.12	<b>-0.43</b>	<b>0.25</b>	1.00								
RB	0.09	<b>0.33</b>	<b>0.29</b>	<b>-0.59</b>	0.09	<b>0.58</b>	1.00							
REG	<b>0.65</b>	<b>-0.78</b>	<b>-0.65</b>	-0.08	-0.12	-0.14	-0.08	1.00						
REB	-0.06	0.03	0.23	<b>0.74</b>	<b>0.83</b>	-0.07	<b>-0.28</b>	-0.12	1.00					
PEG	-0.13	<b>0.30</b>	0.08	<b>-0.44</b>	0.25	<b>1.00</b>	<b>0.58</b>	-0.06	-0.08	1.00				
PEB	0.09	<b>0.34</b>	<b>0.33</b>	<b>-0.51</b>	0.20	<b>0.59</b>	<b>0.99</b>	-0.09	-0.24	<b>0.53</b>	1.00			
PET	-0.02	<b>0.36</b>	<b>0.23</b>	<b>-0.53</b>	0.25	<b>0.89</b>	<b>0.99</b>	-0.10	-0.16	<b>0.59</b>	<b>1.00</b>	1.00		
RT	-0.04	<b>0.38</b>	0.24	<b>-0.58</b>	0.19	<b>0.87</b>	<b>0.90</b>	-0.12	-0.20	<b>0.89</b>	<b>0.89</b>	<b>1.00</b>	1.00	
IC	<b>-0.25</b>	-0.06	-0.24	<b>0.33</b>	0.13	0.19	<b>-0.68</b>	-0.06	<b>0.28</b>	0.18	<b>-0.68</b>	<b>-0.27</b>	<b>-0.30</b>	1.00

*Coefficientes de correlación de Pearson en negrita significativos a un p-valor < 0,05; AL: Contenido de Almidón; P: contenido de proteína; RM: relación de molienda; HC: contenido de hemicelulosa; C: contenido de celulosa; RG: Rendimiento de grano; RB: rendimiento de biomasa; REG: rendimiento de etanol a partir de grano; REB: rendimiento de etanol a partir de biomasa; PEG: producción de etanol a partir de grano; PEB: producción de etanol a partir de biomasa; PET: Producción de etanol total; RT: rendimiento total de materia seca; IC: Índice de cosecha.*

Los análisis de regresión del comportamiento de los híbridos respecto del promedio de sus parentales para REG y REC no mostraron una asociación significativa, por lo que existen efectos tantos aditivos como no aditivos involucrados en el control genético de estos caracteres.

Las medias para cada genotipo y variable a través de ambientes se muestran en la tabla 2. Se detectaron diferencias significativas entre genotipos para AL, P, RM, RB y PEB, y para la interacción genotipo por ambiente en REG, RG, PEG e IC. (Tabla 3). El análisis de comparación de medias permitió identificar a H<sub>4x1</sub> como el genotipo con mayor RG, RB, REG, PEG y PEB, y a H<sub>4x3</sub> sin diferencia significativa con respecto a H<sub>4x1</sub> para RB y con mayor REB. El genotipo con mejores

características de calidad deseables para el REG, fue H<sub>3x1</sub>.

Estos valores pueden explicarse mediante la contribución de los efectos de ACG y ACE para cada carácter y genotipo obtenidos en el diseño dialélico de Griffing (Tabla 4). Los efectos de ACG y ACE positivos contribuyen a la media de los híbridos para el carácter en estudio. Contrariamente los efectos de ACG y ACE negativos disminuyen su valor promedio.

Las líneas L<sub>1</sub> y L<sub>3</sub> presentaron los mayores valores positivos de ACG para AL y REG, y valores negativos para el P y RM, identificándolas como líneas interesantes para el desarrollo de híbridos de alta calidad de grano para bioetanol amiláceo. Resulta importante destacar los efectos de ACG (altos y positivos) para la PEG Y PEB de las líneas L<sub>4</sub> y L<sub>1</sub>, conciliando los

**Tabla 2.** Valores promedios de cada variable por genotipo y media general para líneas e híbridos

Universidad Nacional de Cuyo   Mendoza   Argentina										17, 18 y 19 de octubre de 2018				
Genotipo	AL	P	RM	HC	C	RG	REG	PEG	RB	REB	PEB	RT	PET	IC
L <sub>1</sub>	68.13	9.57	3.33	38.32	32.58	-	465.73	-	-	509.7	-	-	-	-
L <sub>2</sub>	64.72	12.72	6.4	37.31	30.35	-	443.33	-	-	486.42	-	-	-	-
L <sub>3</sub>	71.67	10.53	4.27	37.18	30.3	-	472.7	-	-	485.15	-	-	-	-
L <sub>4</sub>	65.22	12.73	5.88	34.82	26.97	-	456.82	-	-	444.22	-	-	-	-
L <sub>5</sub>	62.62	12.75	5.58	36.66	34.81	-	443.02	-	-	513.76	-	-	-	-
$\bar{X}$ Líneas	66.47	11.66	5.09	38.86	31.02	-	456.32	-	-	487.85	-	-	-	-
H <sub>3x2</sub>	70.18	9.95	4.2	36.4	33.61	9.67	471.53	4555	8.03	503.34	4032.93	16.25	8587.93	0.52
H <sub>3x1</sub>	71.78	7.98	2.2	35.82	33.25	8.96	482.05	4312.37	7.38	496.57	3647.19	14.99	7959.57	0.51
H <sub>4x3</sub>	71.73	9.37	3.53	35.66	33.25	10.3	477.58	4909.99	9.24	495.38	4559.39	17.99	9469.37	0.49
H <sub>5x3</sub>	70.82	9.08	3.48	36.59	35.08	10.11	478.07	4835.73	5.85	515.24	3006.74	14.44	7842.47	0.6
H <sub>5x2</sub>	68.12	9.82	4.18	36.85	35.58	10.25	465.22	4752.55	6.43	520.7	3338.84	15.14	8091.4	0.57
H <sub>5x1</sub>	69.03	8.53	3.05	36.29	35.04	10.72	481.63	5160.6	6.03	512.77	3090.97	15.14	8251.57	0.6
H <sub>5x4</sub>	67.42	10.27	4.42	36.03	34.66	10.25	462.7	4748.11	6.08	508.19	3072.87	14.79	7820.99	0.59
H <sub>4x2</sub>	67.88	10.32	5.38	37.06	33.79	9.34	461.73	4307.75	8.23	509.38	4189	16.18	8496.75	0.49
H <sub>4x1</sub>	70.73	8.72	3.27	36.04	33.36	12.25	480.47	5872.14	8.39	498.92	4192.02	18.8	10064.16	0.55
H <sub>2x1</sub>	70.67	8.98	3.28	36.44	34.1	9.91	477.83	4728.73	8.16	507.12	4156	16.59	8884.73	0.51
$\bar{X}$ Híbridos	69.84	9.3	3.7	36.32	34.17	10.18	473.88	48183	7.38	506.76	3728.6	16.03	8546.89	0.54

$\bar{X}$ : Media; H<sub>ij</sub> es la cruce de la línea L<sub>i</sub> por la línea L<sub>j</sub>, siendo L<sub>1</sub> (LP2542), L<sub>2</sub> (LP661), L<sub>3</sub> (LP29), L<sub>4</sub> (LP923) y L<sub>5</sub> (LP214); AL: Contenido de Almidón; P: contenido de proteína; RM: relación de molienda; HC: contenido de hemicelulosa; C: contenido de celulosa; RG: Rendimiento de grano; RB: rendimiento de biomasa; REG: rendimiento de etanol a partir de grano; REB: rendimiento de etanol a partir de biomasa; PEG: producción de etanol a partir de grano; PEB: producción de etanol a partir de biomasa; PET: Producción de etanol total; IC: índice de cosecha.

**Tabla 3.** Análisis de varianza a través de localidades, siguiendo un Diseño Dialélico de Griffing, método IV de efectos fijos y estimación del índice de Baker (1978)

Variables	AL	P	RM	REG	RG	PEG	C	HC	REB	RB	PEB	IC	
FV	GL	Cuadrados medios											
Amb	2	20.13	9.30	3.85	324.72	112.2	2.39E+07	21.47	25.80	204.75	107.14	2.72E+07	0.025
Rep(Amb)	3	1.21 <sup>ns</sup>	0.20 <sup>ns</sup>	0.08 <sup>ns</sup>	191.16	0.89 <sup>ns</sup>	1.36E+05 <sup>ns</sup>	0.57 <sup>ns</sup>	1.76 <sup>ns</sup>	201.90 <sup>ns</sup>	1.64 <sup>ns</sup>	2.81E+06 <sup>ns</sup>	0.001 <sup>ns</sup>
Gen	9	15.50	3.65	4.63	380.14	4.76 <sup>ns</sup>	1.23E+06 <sup>ns</sup>	4.41 <sup>ns</sup>	1.18 <sup>ns</sup>	411.86 <sup>ns</sup>	8.68	1.94E+06	0.010
ACG	4	29.70	7.73	9.66	744.77	4.44 <sup>ns</sup>	1.15E+06 <sup>ns</sup>	9.70	1.89 <sup>ns</sup>	856.16 <sup>ns</sup>	17.59	3.89E+06	0.020
ACE	5	4.12	0.38 <sup>ns</sup>	0.60	88.44	5.03 <sup>ns</sup>	1.28E+06 <sup>ns</sup>	0.18 <sup>ns</sup>	0.62 <sup>ns</sup>	56.42 <sup>ns</sup>	1.54 <sup>ns</sup>	3.80E+05 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>
Amb:Gen	18	0.78 <sup>ns</sup>	0.29 <sup>ns</sup>	0.17 <sup>ns</sup>	32.78	4.13	9.36E+05	2014 <sup>ns</sup>	1.35 <sup>ns</sup>	327.68 <sup>ns</sup>	1.11 <sup>ns</sup>	2.55E+06 <sup>ns</sup>	0.003
Amb:ACG	8	1.02 <sup>ns</sup>	0.33 <sup>ns</sup>	0.27	49.17 <sup>ns</sup>	3.10 <sup>ns</sup>	7.40E+05 <sup>ns</sup>	3.11 <sup>ns</sup>	2.03 <sup>ns</sup>	496.37 <sup>ns</sup>	1.63 <sup>ns</sup>	3.50E+05 <sup>ns</sup>	0.003 <sup>ns</sup>
Amb:ACE	10	0.58 <sup>ns</sup>	0.26 <sup>ns</sup>	0.09 <sup>ns</sup>	19.68 <sup>ns</sup>	4.96	1.09E+06	1.37 <sup>ns</sup>	0.81 <sup>ns</sup>	192.74 <sup>ns</sup>	0.71 <sup>ns</sup>	1.79E+05 <sup>ns</sup>	0.003
Residuo	27	0.81	0.29	0.27	15.34	1.29 <sup>ns</sup>	2.91E+05	2.51	1.57	376.54 <sup>ns</sup>	0.93	2.63E+05	0.001
IB	-	0.94	0.98	0.97	0.94	0.64	0.64	0.99	0.86	0.97	0.96	0.95	0.94

No significativo (ns); Significativo al 5% (\*); Significativo al 1% (\*\*); GL: Grados de libertad; CM: Cuadrados medios; FV: Fuente de variación; Amb: Ambiente; Rep: Repetición; Gen: Genotipo; ACG: Aptitud combinatoria general; ACE: Aptitud combinatoria específica; IB: índice de Baker como  $[2 \cdot \text{CMACG} / (2 \cdot \text{CMACG} + \text{CMACE})]$ ; AL: Contenido de Almidón; P: contenido de proteína; RM: relación de molienda; HC: contenido de hemicelulosa; C: contenido de celulosa; RG: Rendimiento de grano; RB: rendimiento de biomasa; REG: rendimiento de etanol a partir de grano; REB: rendimiento de etanol a partir de biomasa; PEG: producción de etanol a partir de grano; PEB: producción de etanol a partir de biomasa; IC: índice de cosecha.

objetivos productivos para las dos industrias de bioetanol.

Los efectos de ACE fueron significativos para RB y PEB en la cruce H<sub>5x4</sub>, pero en el análisis de comparación de medias,

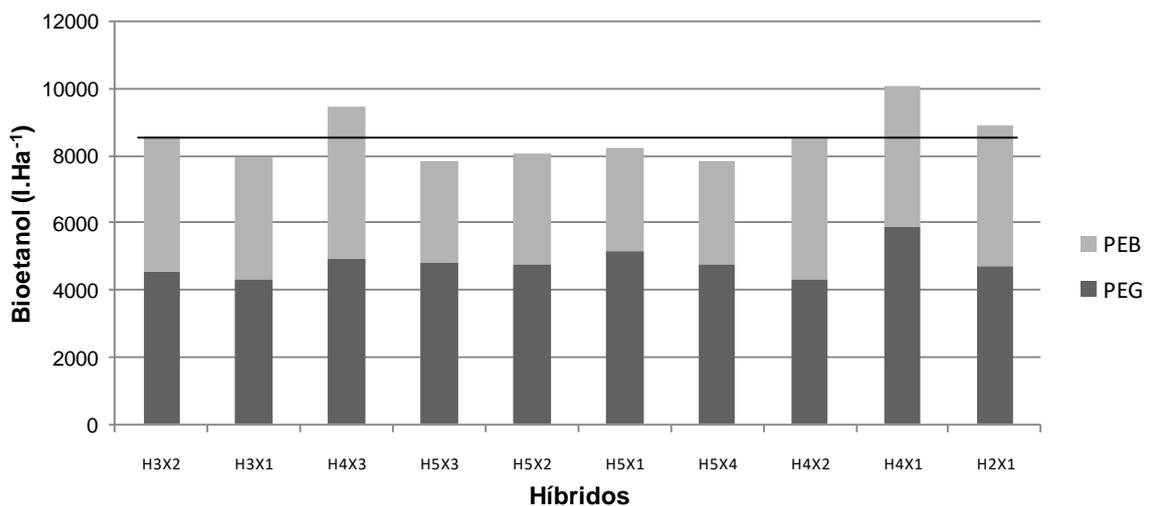
este híbrido presentó valores bajos para estas variables, seguramente por el aporte negativo de los efectos de ACG de la línea parental L<sub>5</sub> que lo conforma.

**Tabla 4.** Efectos de aptitud combinatoria general y específica para las líneas en estudio y sus respectivos híbridos simples a través de un diseño dialelo de Griffing Metodo IV de efectos fijos.

	AL	P	RM	REG	RG	PEG	C	HC	REB	RB	PEB	IC
<b>Efectos de ACG</b>												
L <sub>1</sub>	0,96 **	-1,00 **	-1,00 **	8,82 **	0,38 ns	266,89 *	-0,32 ns	-0,23 ns	-3,89 ns	0,14 ns	57,26 ns	-0,001 ns
L <sub>2</sub>	-0,83 **	0,62 **	0,75 **	-6,40 **	-0,51 *	-309,72 **	0,13 ns	0,49 *	4,50 ns	0,44 *	267,46 **	-0,027 **
L <sub>3</sub>	1,72 **	-0,27 **	-0,46 **	4,57 **	-0,56 *	-220,03 *	-0,45 ns	-0,27 ns	-5,50 ns	0,33 ns	110,62 ns	-0,018 **
L <sub>4</sub>	-0,52 **	0,49 **	0,60 **	-4,35 **	0,48 *	188,27 *	-0,54 ns	-0,16 ns	-5,06 ns	0,81 **	366,30 **	-0,017 **
L <sub>5</sub>	-1,32 **	0,16 ns	0,11 ns	-2,64 **	0,21 ns	74,60 ns	1,22 **	0,16 ns	9,95 **	-1,71 **	-801,65 **	0,060 **
<b>Efectos de ACE</b>												
H <sub>2x1</sub>	-0,44 nt	0,06 ns	0,24 ns	1,57 ns	-0,05 mt	0,82 ns	-0,05 na	0,04 ns	-0,06 ns	0,22 ns	106,76 ns	-0,010 ns
H <sub>3x1</sub>	0,43 nt	-0,27 ns	-0,38 *	0,38 ns	0,37 mt	169,37 ns	0,05 na	-0,12 ns	-0,51 ns	0,32 ns	144,44 ns	-0,006 ns
H <sub>4x1</sub>	0,57 *	-0,11 ns	0,13 ns	2,25 ns	0,29 mt	162,86 ns	0,18 na	0,38 ns	4,03 ns	-0,15 ns	-30,83 ns	0,013 ns
H <sub>5x1</sub>	-0,57 nt	0,31 ns	0,01 ns	-4,19 **	-0,61 mt	-333,05 ns	-0,19 na	-0,29 ns	-3,46 ns	-0,39 ns	-220,37 ns	0,004 ns
H <sub>3x2</sub>	0,71 *	0,06 ns	-0,17 ns	1,54 ns	-0,13 ns	-46,73 ns	0,11 na	-0,15 ns	-0,25 ns	0,19 ns	102,67 ns	-0,003 ns
H <sub>4x2</sub>	-0,73 *	-0,05 ns	-0,04 ns	-5,22 **	-1,04 **	-552,77 **	-0,11 na	0,00 ns	-0,80 ns	-0,47 ns	-249,29 ns	-0,010 ns
H <sub>5x2</sub>	0,47 nt	-0,07 ns	0,33 *	2,11 ns	1,22 **	598069 **	0,04 na	0,00 ns	-2,42 ns	0,06 ns	39,86 ns	0,030 ns
H <sub>4x3</sub>	-0,54 nt	0,30 ns	0,21 ns	-0,51 ns	0,56 ns	266,46 ns	-0,19 na	-0,14 ns	1,11 ns	-0,11 ns	-73,75 ns	0,020 *
H <sub>5x3</sub>	-0,59 *	-0,09 ns	-0,03 ns	-1,40 ns	-0,80 *	-389,10 *	0,03 na	0,41 ns	3,18 ns	-0,39 ns	-173,36 ns	-0,001 ns
H <sub>5x4</sub>	0,70 *	-0,14 ns	-0,31 ns	3,48 *	0,20 ns	123,46 ns	0,12 na	-0,23 ns	-0,82 ns	0,73 *	353,87 *	-0,020 ns

No significativo (ns); Significativo al 5% (\*); Significativo al 1% (\*\*); ACG: Aptitud combinatoria general; ACE: Aptitud combinatoria específica; H<sub>i x j</sub> es la cruce de la línea L<sub>i</sub> por la línea L<sub>j</sub>, siendo L<sub>1</sub> (LP2542), L<sub>2</sub> (LP661), L<sub>3</sub> (LP29), L<sub>4</sub> (LP923) y L<sub>5</sub> (LP214)

**Gráfico 1.** Producción de bioetanol de la fracción amilácea (PEG) y celulósica (PEB) para todos los híbridos simples.



Línea recta horizontal: Media general para la producción de etanol total; H<sub>i x j</sub> es la cruce de la línea L<sub>i</sub> por la línea L<sub>j</sub>, siendo L<sub>1</sub> (LP2542), L<sub>2</sub> (LP661), L<sub>3</sub> (LP29), L<sub>4</sub> (LP923) y L<sub>5</sub> (LP214)

Con respecto a la producción de etanol total, no se detectaron diferencias significativas en la interacción genotipo por ambiente. Los genotipos agrupados como los mayores productores de biocombustibles teniendo en cuenta tanto la fracción amilácea como celulósica fueron H<sub>4x1</sub> y H<sub>4x3</sub>. Sus valores promedios fueron 10064,16 y 9469,37 de L.Ha<sup>-1</sup> respectivamente con un EE ± 374,63 L.Ha<sup>-1</sup>. El aporte promedio de cada tipo de producción (REG y REB) en relación a la PET para cada híbrido puede observarse en el Grafico 1

### Conclusiones

Los resultados permitieron identificar los efectos genéticos más preponderantes para el rendimiento de bioetanol. Con lo que respecta al rendimiento de etanol amiláceo (REG) se pudieron identificar dos líneas con características deseables para maximizar los rendimientos de bioetanol a partir de grano que contribuían en mayor medida con efectos aditivos al contenido de almidón, incrementando el contenido de polisacárido fermentable. Estas líneas fueron LP2542 y LP29. Se caracterizaron por granos de naturaleza harinosa por su bajo índice de relación de molienda y con un menor contenido de proteína.

Con lo que respecta al rendimiento de etanol celulósico (REB), se identificó al híbrido LP923XLP29 con el mayor rendimiento de bioetanol y de biomasa por

consecuente también su producción por hectárea.

Los efectos de ACG (altos y positivos) de las líneas LP923 y LP 2542 para PEG y PEB fueron muy interesantes. El híbrido formado por estos parentales resultó prometedor para conciliar los objetivos productivos de ambas industrias en conjunto con el híbrido LP923XLP29.

### Bibliografía

Alegre M., (2018) Evaluación de calidad en cereales para la producción de bioetanol. Actas MAIZAR, Buenos Aires 22 de Mayo de 2018.

Bajpai P., (2013). Advances in bioethanol. New Dehli, India. SpringerBriefs in Applied Science and Technology Springer Science and business media.

Baker R.J., (1978). Issues in diallel analysis. Crop science, 18(4), 533-536.

Bothast R.J. and Schlicher M.A., (2014). "Biotechnological processes for conversion of corn into ethanol. Applied Microbiology and Biotechnology 67(1): 19–25.

Cardona E.M., Rios, L.A., y Peña, J.D., (2012). Disponibilidad de Variedades de Pastos y Forrajes como Potenciales Materiales Lignocelulósicos para la Producción de Bioetanol en Colombia. Información tecnológica, 23(6), 87-96

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de

- Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Eyhérabide G.H., (2014). Genética y mejoramiento aplicados al desarrollo de maíz para bioetanol. Actas X Congreso Nacional de Maíz. AIANBA. Rosario, 3 al 5 de septiembre de 2014
- Francisco R.; Alvarado G.; Pacheco A.; Crossa J.; Burgueño j., (2015). AGD-R (Analysis of Genetic Designs with R for Windows). Version 2.0", <http://hdl.handle.net/11529/10202>
- International Maize and Wheat Improvement Center
- Gerde J.A., Spinozzi J.I., and Borrás, L., (2017). Maize Kernel Hardness, Endosperm Zein Profiles, and Ethanol Production. *BioEnergy Research*, 10(3), 760-771.
- Griffing B., (1956, b). Concept of general and specific combining ability in relation to diallel crossing systems. *Aust. J. Biology Science.*, 9, 463-93
- Himmel, M.E., (2007). Biomass recalcitrance: Engineering plants and enzymes for biofuels production (Vol 315, pg 804 ). *Science* 316:982.
- Karlen D.L., Kovar J.L., and Birrell S. J., (2015). Corn stover nutrient removal estimates for central Iowa, USA. *Sustainability*, 7(7), 8621-8634.
- Lewis M.F., Lorenzana R.E., Jung H.J., Bernardo R., (2010). Potential for simultaneous improvement of corn grain yield and stover quality for cellulosic ethanol. *Crop Science*. 50:516-523.
- Maisch W., (1987). Fermentation. In: *Corn: chemistry and technology*. S.A. Watson and P.E. Ramstad, eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA
- Martinov M., Veselinov B., Bojić S., and Datkov D., (2011). Investigation of maize cobs crushing: Preparation for use as a fuel. *Thermal Science*, 15(1), 235-243
- Monteiro Salles-Filho S.L., Barbosa Cortez L.A., Ferreira Jardim da Silveira J.M., Trindade S.C. and Derengowski, Fonseca M.G., (2016). *Global bioethanol: Evolution, risks, and uncertainties*. London, United Kingdom. Academic Press.
- Robutti J.L., (2004). Calidad y Usos del Maíz. *Revista de Información sobre Investigación y Desarrollo Agropecuario (INTA) IDIA XXI: N°6*.
- United Nations Framework Convention on Climate Change, (2016). La convención del cambio climático (en línea). Disponible en: [http://unfccc.int/portal\\_espanol/informacion\\_basica/la\\_convencion/items/6196.php](http://unfccc.int/portal_espanol/informacion_basica/la_convencion/items/6196.php). Consultado: octubre de 2016.

### Agradecimientos

Al personal de apoyo técnico de la ECANA-UNNOBA, del departamento de mejoramiento de maíz, y del laboratorio de calidad de alimentos y agua de INTA, EEA Pergamino.

### Financiamiento

El presente proyecto es en conjunto con la Asociación Civil Cluster de la Semilla y cuenta con el subsidio PDTS 494 CIN-CONICET.