

## EVOLUCIÓN DE LA APTITUD FORRAJERA EN HÍBRIDOS DE MAÍZ (*Zea mays L.*): SU RELACIÓN CON LA PRODUCCIÓN DE ETANOL

---

Manosalva J. A.<sup>\*1</sup>; Aulicino M. B.<sup>2,3</sup> y Bertoia L. M.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto de Ingeniería Rural (CIA – INTA) Av. Pedro Díaz 1798 (1686) Hurlingham, Buenos Aires – Argentina.

<sup>2</sup> Facultad de Ciencias Agrarias (UNLZ).

<sup>3</sup> Instituto Fitotécnico de Santa Catalina (FACyF – UNLP).

\* manosalva.jonatan@inta.gob.ar

---

## EVOLUTION OF FORAGE APTITUDE IN MAIZE HYBRIDS: RELATIONSHIP WITH ETHANOL PRODUCTION

There is a close relationship between forage maize quality and ethanol production. Forage quality assays used in ruminant's feeding could be used as indicators of ability to convert biofeedstock into bioethanol. There is little information about maize vegetative component: stalk + leaves (S + L). The objective was to evaluate the relationship between S + L maize yield (DMY), forage quality and its potential bioethanol production. Two types of assays were carried out: experimental plots (EP) and production conditions fields (PF) from 1999 to 2014. DMY, *in vitro* digestibility (IVD), neutral detergent fiber (NDF), acid detergent fiber and acid detergent lignin were determined. Besides the potential ethanol yield (EY) was calculated. According to the variables behavior four years clusters were identified for each data set (EP and PF). There were differences between clusters due to data distribution. Last three years showed the highest DMY, IVD, NDF and EY average. These could be due to an improvement in techniques cultivation applied and / or improvement developed for programs selection to obtain S + L maize with higher quality. The IVD, NDF and DMY higher values would have a positive impact on bioethanol production.

### Palabras Clave

Aptitud forrajera, Maíz, Etanol, Calidad.

### Key Words

Forrage aptitude, Maize, Ethanol, Quality.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años el uso del maíz (*Zea mays*) se ha diversificado según su destino, alimentación animal, humana o energética. El ensilaje de maíz se ha convertido en una importante herramienta para la producción láctea y cárnica. Aumentar el rendimiento y la calidad de la planta entera es fundamental para utilizar al cultivo como alimento forrajero (ensilaje) y energético (producción de etanol a partir de la lignocelulosa). Existe una estrecha relación entre la calidad de maíz forrajero y la producción de etanol (Lorenz *et al.*, 2009). Para digerir la pared celular, los organismos del rumen generan reacciones similares a la sacarificación y fermentación simultánea que se producen en la obtención de bioetanol. Por lo tanto, los ensayos de calidad de forraje utilizados en la alimentación de rumiantes podrían ser utilizados como indicadores de la aptitud de conversión de

la materia prima en bioetanol (Lorenz *et al.*, 2009). El uso de rastrojo de maíz para la producción de combustibles líquidos es análogo al uso de forrajes para la nutrición de rumiantes. Existe poca información referida exclusivamente a la calidad y rendimiento del componente vegetativo: caña + hojas (C+H). Una buena aptitud para la producción de etanol lignocelulósico podría provenir de una alta calidad forrajera. Ruiz (1993) no encontró diferencias significativas en el contenido promedio de digestibilidad *in vitro* (DIV), porcentaje de fibra detergente ácida (FDA) y otras variables, entre hojas verdes y secas de maíz. Por lo tanto, el presente trabajo plantea como objetivo evaluar la relación entre el rendimiento del componente vegetativo y la calidad forrajera en genotipos de maíz, y su producción potencial de bioetanol.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Se ensayaron diversos híbridos entre las campañas 1999/00 y 2014/15. Bajo condiciones controladas en parcelas experimentales (PE) y en lotes de productores (LP). Las PE se ubicaron en Monte Grande, Ezeiza, Vicente Casares y Virrey del Pino, Prov. de Bs. As. Se evaluaron entre 30 a 60 híbridos por campaña, según el año. En LP variaron de 5 a 6 localidades por campaña, de un total de 24 localidades en la misma Provincia, de 91 a 198 híbridos por campaña. La cosecha se realizó cuando el 50% de las plantas alcanzaron entre un 30 a 40% de materia seca de la planta completa. Sobre el componente C+H se determinó el rendimiento de materia seca (RMS) y mediante NIRS: DIV, fibra detergente neutro (FDN), FDA y lignina detergente ácido (LDA). Se calculó el rendimiento potencial de etanol (RE) a través del contenido de celulosa y hemicelulosa de acuerdo a Zhao *et al.* (2009). El análisis multivariado permitió agrupar años a través de las variables. Se aplicó un análisis de clúster utilizando matrices con el formato: año  $\times$  variables. Los datos fueron estandarizados a media cero y desviaciones estándar igual a

1. Se construyeron distintas matrices de similitud utilizando varios coeficientes de distancia. Se aplicó el procedimiento de varianza mínima de Ward para agrupar años. Se eligieron los fenogramas de mayor coeficiente de correlación cofenética (CCC). Se calculó el ANOVA multivariado utilizando un modelo lineal mixto y se seleccionó el modelo con mejor ajuste, según el criterio de AIC y BIC, y se corroboró estadísticamente con la prueba del cociente de verosimilitud. Con las medias ajustadas se probó las diferencias entre clústers mediante el test de diferencia mínima significativa de Fisher ( $\alpha= 0,05$ ) para cada variable. Todos los análisis se realizaron con el programa InfoSTAT® (Di Rienzo *et al.*, 2012).

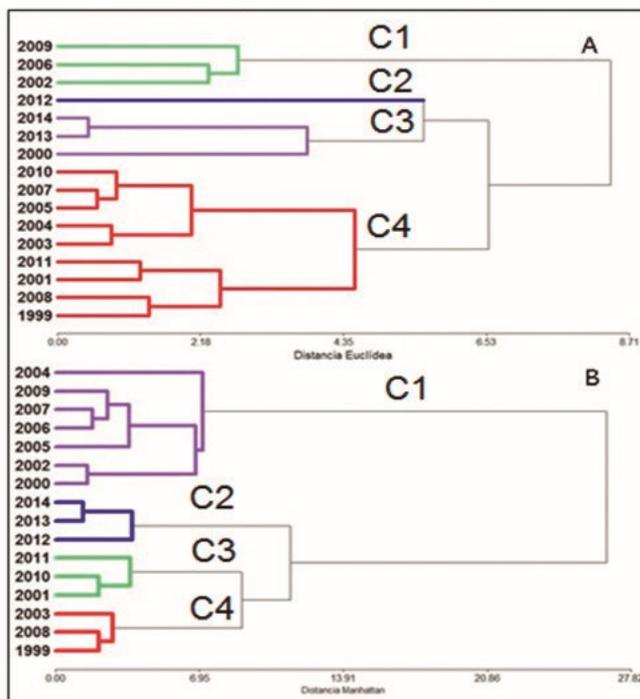
## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para datos de PE, el clúster 1 presentó el menor valor promedio de DIV y los mayores valores de FDA y LDA (tabla 1). El clúster 2 se distinguió por presentar el menor valor promedio de FDN y medias más altas para RMS (junto al clúster 3), DIV y LDA (junto al clúster 1). El clúster 3 presentó los valores más altos de RMS (no existiendo diferencias con el clúster 2), FDN y RE. Por último, el clúster 4 presentó valores bajos para la mayoría de las variables, específicamente con promedios más bajos para RMS, FDA y RE. Considerando los resultados de LP, el clúster 1 presentó el valor promedio más bajo de DIV; y los más altos de FDA y LDA. El clúster 2 agrupó los últimos 3 años, separándose del resto por presentar altos valores en la mayoría de las variables, como RMS (no existiendo diferencias con el clúster 3), DIV, FDN y RE. El clúster 3 presentó un alto valor medio de RMS y bajos en FDN, FDA y LDA. Y por su parte, el clúster 4 se diferenció por presentar los valores promedios más bajos para RMS, FDN (junto al clúster 3) y RE (tabla 2).

Estas diferencias entre clústers se deben a la amplia distribución que presentaron los datos, consecuencia de la variabilidad climáti-

ca interanual que existe al considerar un largo período de evaluación. Como así también al evaluar distintos tipos y números de híbridos por campaña y a la amplia heterogeneidad agroecológica involucrada en los ensayos. La clasificación de las campañas mostró que los años 2012, 2013 y 2014 de LP (Figura 1-B) se agruparon en un clúster, al igual que los años 2000, 2013 y 2014 de PE (Figura 1-A), ambos compartieron los mayores RMS (Tablas 1 y 2). El año 2012 de PE (C2) también alcanzó alto RMS, no mostrando diferencias significativas con el clúster 3 (tabla 1). Estos resultados confirmaron que en ambos tipos de ensayos (PE y LP) los tres últimos años evaluados compartieron altos valores para RMS, DIV y FDN, y como consecuencia alto RE, lo cual demuestra la asociación positiva entre una mayor calidad y rendimiento con un mayor porcentaje de fibra, a través del período analizado.

Se evidencia una similitud en los resultados obtenidos y los citados en la bibliografía. En particular, para valores de DIV en Pergamino (Carrete, 2000) y valores medios ( $n=368$ ) de DIV, FDN y FDA medido en tallo en madurez fisiológica (Hongwu *et al.*, 2016), momento fenológico posterior al evaluado en este



**Figura 1.** Fenogramas clasificando los años utilizando las variables RMS, DIV, FDN, FDA y LDA para: A- datos de PE construido con distancia euclídea y método de agrupamiento distancia mínima de Ward. CCC: 0,69. B- datos de LP construido con distancia.

trabajo. Hansey *et al.* (2010) encontraron un valor medio de FDN ( $n=23$ ) ligeramente mayor evaluando también en madurez fisiológica en los Estados Unidos. Otros estudios han in-

formado tasas de aumento de RMS. En C+H igual a  $0,048 \text{ Mg. ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  en USA (Lauer *et al.* 2001). Y en Argentina, en planta completa, igual a  $382,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  (Velazco, 2014).

Variables	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4
<b>RMS (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	8.978,42 B ± 137,76	10.487,52 A ± 237,67	10.757,32 A ± 265,32	7.143,31 C ± 91,47
<b>DIV (%)</b>	41,17 D ± 0,37	51,03 A ± 0,36	49,99 B ± 0,32	45,62 C ± 0,18
<b>FDN (%)</b>	63,48 B ± 0,28	47,74 D ± 0,70	65,26 A ± 0,28	62,06 C ± 0,15
<b>FDA (%)</b>	38,13 A ± 0,19	35,20 B ± 0,26	34,11 C ± 0,15	33,63 D ± 0,12
<b>LDA (%)</b>	6,71 A ± 0,05	6,68 A ± 0,05	5,31 B ± 0,06	5,10 C ± 0,04
<b>RE (l ha<sup>-1</sup>)</b>	2.624,91 B ± 35,42	2.221,51 C ± 55,52	3.307,92 A ± 69,37	2.098,81 D ± 25,49

**Tabla 1.** Comparaciones entre medias ( $\pm$  error estándar) de los clústers de la figura 1-A para las variables: RMS (kg ha<sup>-1</sup>), DIV (%), FDN (%), FDA (%), LDA (%) y RE (l ha<sup>-1</sup>). LSD ( $p<0,05$ ). Letras distintas indican diferencias significativas entre clústers.

El RE fue estimado a través de un cálculo que presenta una asociación directa con el contenido de celulosa, hemicelulosa y RMS de C+H (Zhao *et al.*, 2009). En función de estas relaciones es posible explicar los promedios de RE obtenidos. Particularmente, altos RE se deben a altos RMS y/o a altos porcentajes de FDN, como lo observado en los clústers 3 de PE y 2 de LP. El RE depende tanto de la cantidad de rastrojo cosechable, como de la concentración y convertibilidad de los

carbohidratos de la fibra (Hansey *et al.*, 2010). Zhao *et al.* (2009) concluyeron que los tallos son los componentes más importantes para la producción de bioetanol. También Hansey *et al.*, 2010 demostraron que el tallo aporta la mayor cantidad de biomasa en madurez fisiológica, y la hoja en segundo lugar. Para maíz dulce se han informado RE igual a  $2.500 \text{ l ha}^{-1}$  a partir de biomasa lignocelulósica (Barron-Rios *et al.*, 2015).

Variables	Clúster 1	Clúster 2	Clúster 3	Clúster 4
<b>RMS (kg ha<sup>-1</sup>)</b>	8.413,56 B ± 76,45	10.702,11 A ± 131,11	10.603,52 A ± 161,76	7.510,26 C ± 115,67
<b>DIV (%)</b>	41,26 D ± 0,12	50,42 A ± 0,23	49,23 B ± 0,34	46,42 C ± 0,21
<b>FDN (%)</b>	61,79 B ± 0,22	67,05 A ± 0,27	59,20 C ± 0,29	59,13 C ± 0,28
<b>FDA (%)</b>	36,81 A ± 0,10	35,00 B ± 0,17	30,77 D ± 0,28	33,18 C ± 0,16
<b>LDA (%)</b>	6,37 A ± 0,03	5,05 C ± 0,05	4,55 D ± 0,07	5,37 B ± 0,04
<b>RE (l ha<sup>-1</sup>)</b>	2.410,41 C ± 23,10	3.412,30 A ± 39,90	2.995,35 B ± 47,74	2.063,18 D ± 29,57

**Tabla 2.** Comparaciones entre medias ( $\pm$  error estándar) de los clusters de la figura 1-B para las variables: RMS (kg ha<sup>-1</sup>), DIV (%), FDN (%), FDA (%), LDA (%) y RE (l ha<sup>-1</sup>). LSD ( $p<0,05$ ). Letras distintas indican diferencias significativas entre clusters.

## CONCLUSIÓN

Los mayores valores encontrados para DIV, FDN, RMS y RE en los últimos años podrían ser explicados por una mejora en las técnicas de cultivo aplicadas y/o al mejoramiento desarrollado en programas de selección para la obtención de maíces con mayor calidad de C+H, especialmente destinados a ensilaje. Existe una importante variabilidad para los caracteres analizados, lo que permitiría desarrollar trabajos de mejoramiento tendientes a aumentar la aptitud forrajera. Indirectamente se beneficiaría la producción de bioetanol a partir del rastrojo o de la planta completa. Así, tomaría importancia también el componente vegetativo, además del rendimiento de grano. La estimación de RE es una evaluación de la aptitud adicional que podría adquirir el cultivo de maíz mediante la utilización del residuo postcosecha. Si bien

en el país aún no está implementada la tecnología para la conversión de biomasa lignocelulósica, los mayores valores de DIV, FDN y RMS encontrados en los últimos años, repercutirían positivamente en la producción de bioetanol.

### Referencias

CARRETE J. 2000. *Maíz para silaje. Sitio Argentino de Producción Animal*. [http://www.produccion-animal.com.ar/produccion\\_y\\_manejo\\_reservas/reservas\\_silos/13-maiz\\_para\\_silaje.pdf](http://www.produccion-animal.com.ar/produccion_y_manejo_reservas/reservas_silos/13-maiz_para_silaje.pdf)

HANSEY C.N.; A.J. Lorenz & N. de Leon. 2010. *Erratum to: Cell Wall Composition and Ruminant Digestibility of Various Maize Tissues Across Development*. *Bioenerg. Res.* 3:295-304. DOI 10.1007/s12155-010-9100-8.

HONGWU W.; L. Kun; H. Xiaojiao; L. Zhifang; W. Yujin & H. Changling. 2016. *Genome-wide association analysis of forage quality in maize mature stalk*. *BMC Plant Biology*.

LAUER J.G.; J.G. Coors & P.J. Flannery. 2001. *Forage Yield and Quality of Corn Cultivars Developed in Different Eras*. *Crop Science* 41:1449–1455.

LORENZ A.J.; J.G. Coors; N. de León; E.J. Wolfrum; B.R. Hames; A.D. Sluiter & P.J. Weimer. 2009 a. *Characterization, genetic variation, and combining ability of maize traits relevant to the production of cellulosic ethanol*. *Crop Science*. 49:85–98.

RUIZ I.N. 1993. *Características nutritivas de hojas verdes y secas de maíz destinado a ensilaje*. *Agricultura técnica Chile*. 53(4): 356-358.

VELAZCO J.G. y J.N. Camarasa. 2014. *Cambios en el desempeño del maíz para ensilaje a través de 18 años de evaluaciones en Pergamino*. *Actas X Congreso Nacional de maíz*.

ZHAO Y.L.; A. Dolat; Y. Steinberger; X. Wang; A. Osman & G.H. Xie. 2009. *Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel*. *Field Crops Research* 111. 55-64.