

HISTORIA Y PERSPECTIVAS DEL MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL MAÍZ FORRAJERO EN LA ARGENTINA



HISTORY AND PROSPECTS OF FODDER CORN BREEDING IN ARGENTINA

Rimieri P.

¹Ex Investigador INTA (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria) Argentina; Asesor científico en fitomejoramiento y obtentor de cultivares

Corresponding author:
Pedro Rimieri
primieri730@gmail.com

 ORCID 0000-0002-6291-8998

Cite this article as:
Rimieri P. 2023. HISTORY AND PROSPECTS OF FODDER CORN BREEDING IN ARGENTINA. BAG. Journal of Basic and Applied Genetics XXXIV (1): 31-39.

Received: 06/09/2023

Accepted: 06/30/2023

General Editor: Elsa Camadro

DOI: 10.35407/bag.2023.34.01.02

ISSN online version: 1852-6233

ABSTRACT

Corn is used to massively produce food for humans and domestic animals with grains of various taxonomic entities or races. For domestic ruminants, the whole plant is also used as forage. In Argentina, both corn grain and whole-plant silage are used for beef and dairy cattle production. This paper aimed to develop the history and perspectives of corn grown for grain and silage, focusing on plant breeding. The importance of corn fodder in its two variants (grain and whole-plant silage) has varied over time. We emphasize herein the importance of the specific genetic breeding of corn used for whole-plant silage to achieve higher yield potential and nutritional value than grain hybrids. The four population genetic structures used over time as cultivars, which determined the evolution of the technological process of selection and breeding, were analyzed. Based on the research carried out, seed companies have incorporated our protocols into their development and breeding programs. The contribution of selection and breeding in Argentina was effective in transforming the corn plant into ruminant feed, and this will increase with the development of specific silage hybrids.

Key words: cultivars, corn fodder, plant breeding.

RESUMEN

El maíz se utiliza masivamente para producir alimentos para el hombre y los animales domésticos con granos de varias entidades taxonómicas o razas. Para los rumiantes domésticos también se utiliza la planta entera como forraje. En Argentina se utiliza el grano forrajero y el silaje de planta entera para el ganado vacuno de carne y leche. El objetivo de este trabajo fue desarrollar la historia y las perspectivas del maíz para grano y ensilaje, centrados en la selección y el mejoramiento genético. El maíz forrajero en sus dos variantes (grano forrajero y planta entera como silaje) tuvo distinta importancia a través del tiempo. Remarcamos la importancia del mejoramiento genético específico del maíz para silaje de planta entera para alcanzar un potencial de rendimiento y valor nutritivo superior a la de los híbridos graníferos. Se analizaron las cuatro estructuras genéticas poblacionales utilizadas en el tiempo como cultivares, que determinaron la evolución del proceso tecnológico de selección y mejoramiento genético. Con las investigaciones efectuadas, las empresas semilleras incorporaron nuestros protocolos a sus programas de desarrollo y de mejoramiento genético. La contribución de la selección y del mejoramiento genético en Argentina fue efectiva para transformar la planta de maíz en alimento para rumiantes y esto se incrementará con la obtención de híbridos específicos para silaje.

Palabras clave: cultivares, maíz forrajero, mejoramiento genético.

INTRODUCCIÓN

El maíz, como planta cultivada, es una de las tres especies más importantes en el mundo junto al arroz y al trigo. Produce masivamente, alimentos para el hombre y los animales domésticos, con la mazorca y con el grano de varias entidades taxonómicas o razas. Para los rumiantes domésticos también se utiliza la planta entera como forraje, picada como ensilaje.

Es una de las especies más eficientes en el uso del agua (kg MS ha^{-1}). Ha sido y es una de las especies más estudiadas genéticamente y con más posibilidades para desarrollar innovaciones biotecnológicas. Los criterios de selección se centraron históricamente en la producción de grano, tanto para el grano forrajero como para el maíz dulce hortícola. Con el pisingallo y el industrial ceroso, forman los cuatro tipos comerciales más importantes en Argentina. El grano forrajero deriva de germoplasma de las subespecies *indurata* e *indentata*, el hortícola de la subesp. *saccharata*, el pisingallo de la subesp. *evarta* y el ceroso de la subesp. *ceratina*.

Si bien el maíz es un *commodity* exportable, el 75% del consumo interno del grano de maíz cosechado en Argentina es para la producción animal como grano forrajero: de ese 75% (más de 12×10^6 tn), el ganado vacuno de carne y leche consume el 52%, las aves (carne y huevos) el 36% y los cerdos el 12% (BCR, 2020). Esto demuestra la importancia del maíz en nuestro país para la producción animal, que será aún mayor en el futuro en cualquiera de las tres especies animales mencionadas, y en especial para los rumiantes (Figura 1). A esa utilización del grano de maíz para la producción

animal, hay que sumarle alrededor de $1,3 \times 10^6$ ha de maíz picado y ensilado para vacunos de carne y leche (Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros (CACF), 2023), que estimativamente contendrían $8,7 \times 10^6$ tn de grano.

El 25% restante de grano de maíz para consumo interno es para la industria. La molienda seca se realiza para polenta y derivados y la molienda húmeda, para fructosa, almidones y *gluten feed*. El *gluten feed* es, además, utilizado mayoritariamente para producción animal como concentrado proteico (Bolsa de Comercio de Rosario, 2020).

Desarrollaremos, en esta entrega, lo relacionado al maíz forrajero en particular: a) como grano forrajero y b) como ensilaje. Nos concentraremos en los objetivos, criterios y métodos de selección utilizados en el mejoramiento genético. Históricamente, las variables agronómicas principales consideraron el aumento de rendimiento de grano, la adaptación, la estabilidad y el perfil sanitario. Ese largo proceso se inició con la selección de poblaciones hasta diseñar y obtener los cultivares híbridos de la segunda mitad del siglo XX. La etapa más reciente del mejoramiento se complementó con tecnologías biotecnológicas (trans y cis) en los cultivares híbridos más modernos. Expondremos y compararemos los métodos de selección asociados a las estructuras genéticas involucradas, que en general son similares en los cuatro tipos comerciales mencionados. Abarcaremos el desarrollo y la evolución del maíz forrajero, desde 1889 hasta la actualidad, centrados en el germoplasma del género *Zea* y en el avance genético por selección.



Figura 1. Consumo animal del grano de maíz en cuatro especies domésticas. Bolsa de Cereales de Rosario, Argentina (BCR, 2020).

LA ESPECIE

Planta de la familia de las Gramíneas (Poaceae) que evolucionó con el hombre, desde una estructura común al resto de la familia, pero sin dejar rastros de sus ancestros, hasta llegar a una planta con el órgano femenino monstruoso, botánicamente llamado mazorca o espiga. Lo más notable de ese cambio se dio en el raquis de la espiga, llamado marlo y en la cariósida, muy desarrollada por fuera de las glumas (formas «desnudas»), al evolucionar del carácter lignificado y duro de las mismas en sus ancestros. Las glumelas, tanto en la panoja como en la espiga, son hialinas y muy reducidas.

Taxonomía:

Clase: Monocotyledonae

Orden: Cyperales

Familia: Poaceae

Nombre científico: *Zea mays*

Nombre común: Maíz

Características morfológicas

Planta anual de 1,5-3 m de alto. Tallos gruesos (>15 mm), macizos. Hojas anchas (2-10 cm), con nervio central marcado. Es una planta diclino-monoica. La inflorescencia masculina es una panoja laxa y apical, mientras que la inflorescencia femenina, es una espiga compuesta y axilar, cubierta por brácteas foliáceas conocidas comúnmente como chala. Las espiguillas de la panoja están formadas por dos glumas papiráceas que encierran dos antecios. Las flores femeninas se disponen de a dos por espiguilla (una de ellas estéril), lemma y pálea muy reducidas; espiguillas sentadas sobre el marlo, glumas reducidas. Los estilos son de gran longitud, expuestos, por fuera de la parte apical de la mazorca, formando la cabellera. El fruto es una cariósida (Parodi y Dimitri, 1964; Dimitri y Parodi, 1988).

PRODUCCIÓN Y UTILIZACIÓN

El maíz acompañó a la ganadería argentina desde fines del siglo XIX. Al grano de maíz se lo denomina grano forrajero. El maíz forrajero en sus dos variantes (grano forrajero y planta entera como silaje) tuvo distinta importancia a través de los últimos 100 años, con una política ganadera de carne y leche variable y poco tecnificada en la mayor parte de ese período.

En la Argentina, desde el siglo XIX, La Martona, en Vicente Casares, Bs. As., disponía de 52 tambos con silos aéreos de material, para ensilar pasturas y maíz (Figura 2). La Martona, fundada por Vicente Casares en 1889, precursora de la industria lechera en la Argentina, tenía modernos equipos adquiridos en la Exposición Universal de París de esa época. El ensilaje como se realizaba en La



Figura 2. Silo aéreo de ladrillos (1889), La Martona, Vicente Casares, Buenos Aires (www.infocanuelas.com)

Martona tuvo su origen en Francia en donde M. Auguste Goffart lo implementó. Sus informes fueron utilizados para introducir el proceso en Estados Unidos alrededor de 1875 y en Argentina en 1889 (Dilkes, 1953a, 1953b, 1953c).

El proceso del ensilaje tiene un inicio incierto. Fue el profesor John Symonds de la Universidad de Cambridge, en 1786, quien refirió en los anales de la Universidad de Agricultura de Young, que en Italia se usaban hojas almacenadas en barriles o en fosas para alimentar el ganado en invierno, donde se comprimían fuertemente y cubrían con paja, arena y arcilla. Por consiguiente, la práctica de ensilar forrajes sería originaria de Italia, donde habían entendido los principios de la conservación de los forrajes en silos (Breitigniere y Kahtchadourian, 1962).

El *ensilado* es un proceso de conservación del forraje basado en una fermentación láctica del pasto que produce ácido láctico y una disminución del pH por debajo de 5. Ensilar (sin. ensilaje, ensilado): se refiere al proceso de picar una planta entera, transportarla hasta el silo, compactar y tapar o cerrar. El agregado suplementario de inoculantes, granos, o cualquier otro producto en el

proceso, deberá ser considerado como parte del mismo. El término *ensilado*, además de asociarse al proceso también se lo utiliza como adjetivo. Ejemplo: maíz ensilado.

El *silaje* es el producto (el forraje fermentado listo para suministrar a los rumiantes) que se ha hecho fermentar en un recipiente (silo) que mantuvo la anaerobiosis. Frecuentemente se lo denomina también ensilaje o ensilado y es aceptada esa denominación si se está haciendo referencia al producto (forraje fermentado). El proceso de ensilado se aplica tanto a las gramíneas forrajeras como al maíz y, eventualmente, a subproductos alimenticios como la pulpa de remolacha, los bagazos de cerveza, etc. El maíz, por sus granos y sus tallos prominentes para una gramínea, tiene la combinación perfecta de fibras y azúcares para la fermentación con calidad y excelente conservación.

El *silo* es el recipiente que contiene a la planta picada y compactada en condiciones anaeróbicas. Puede ser un silo aéreo de material, como se utilizaban a principios del siglo XX y que aún persisten, como los de La Martona (ya descripto), un silo puente semipermanente, con piso y paredes laterales o, el más reciente, el silo bolsa, un sistema de almacenamiento temporario, potencialmente hermético, o simplemente, un tubo de polietileno coextruido multicapa de 152 a 427 cm de diámetro y de varios metros de largo.

El silaje es la forma más segura de conservar forraje por largo tiempo con un bajo costo financiero. Ya que el silaje requiere gran cantidad de energía fósil convencional para picarlo, trasladarlo, compactarlo y distribuirlo, el objetivo será siempre obtener la mayor cantidad de materia seca (MS) posible con la mayor calidad posible. En maíz, considerando a la planta entera como forraje, una mayor producción de mayor calidad dará como resultado mayor cantidad de MS digestible por unidad de superficie y el costo energético mencionado se diluirá por kg de MS o de MS digestible. De ahí la importancia del mejoramiento genético específico del maíz para silaje de planta entera para alcanzar un potencial de rendimiento y calidad superior al logrado con híbridos graníferos, aun en suelos agrícolas (Rimieri, 2008). Como veremos más adelante, ese mejoramiento específico considerando a la planta entera y a la estructura y digestibilidad del tallo, no prosperó ni en Argentina ni en otros países, excepto en Europa, principalmente en Francia y Holanda, abarcando desde el germoplasma hasta la obtención de híbridos con proyectos público-privados (Gallais y Pollacsek, 1975; Deinum y Bakker, 1981; Rimieri, 1990). Hay dos razones por las que esa selección específica está postergada: 1) el maíz en general es la especie mejor adaptada para el silaje, independientemente del tipo comercial; 2) los cultivares desarrollados para producir grano forrajero, han tenido una ganancia genética muy elevada para rendimiento por selección y superior a la de otros cereales. La planta entera, en general, por el vigor

híbrido y por la estructura y fisiología para sostener, acumular y translocar fotosintatos, acompañó esa ganancia en rendimiento.

Desde el siglo XIX y durante todo el siglo XX, en nuestro país dominaban los sistemas pastoriles extensivos que normalmente utilizaban al grano forrajero en suplementación estacional y sin un manejo ganadero integral. Al grano de maíz, históricamente y mayoritariamente, se lo utilizó como suplemento en épocas de sequías e inundaciones, pero también para cubrir las deficiencias en el manejo de los pastizales y de las pasturas cultivadas.

En los tambos, en la segunda mitad del siglo XX, comenzaron a reutilizarse los silajes de maíz de planta entera picada, como en La Martona en 1889. Esos silajes se realizaban en los llamados silos puente, al principio bajo la denominación de reservas forrajeras. Debido a los avances en el picado y en la compactación, los forrajes conservados como silaje crecieron y se difundieron desde el Río Colorado hasta el norte. Actualmente el silo es de dos tipos: 1) el silo puente y 2) el silo bolsa.

Ese forraje conservado como silaje, es un alimento energético insustituible que tiene una digestibilidad potencial del 68% para rumiantes y, además, es más equilibrado, ya que garantiza un medio ruminal más apto para la fermentación (Figura 3) (Rimieri, 2011). En la dieta de un rumiante, la falta de fibra con exceso de grano produce acidosis ruminal que afecta al bienestar animal y a la eficiencia y sustentabilidad del sistema productivo. Y por ello, el silaje es imprescindible e insustituible.

HISTORIA DEL MEJORAMIENTO EN LA ARGENTINA

El grano forrajero de maíz, desde los inicios en 1889, provenía de las poblaciones coloradas tradicionales introducidas por los colonos europeos y de las variedades locales. Muchas de esas poblaciones en el estado original o cruzadas con los maíces que ya existían en la Argentina, incluidos los de las razas del NOA y del NEA, son las que actualmente denominamos *landraces* o variedades locales o criollas. El desarrollo para producir variedades cultivadas fue iniciado por el Ing. Agr. Enrique Klein, fundador del Criadero Klein, que había llegado de Alemania al Uruguay en 1913, bajo contrato para trabajar en la Estación Experimental La Estanzuela, y que tres años después se estableció en la Argentina. Aquí instaló su propio criadero de semillas y logró obtener en 1923 cuatro variedades de maíz de polinización libre. Con el tiempo, “Colorado Klein” fue la variedad comercial referente de los maíces “colorados duros” (o *Flint*) de polinización libre o abierta. Todavía no se había desarrollado la tecnología para aprovechar el vigor híbrido mediante híbridos F_1 por cruzamiento

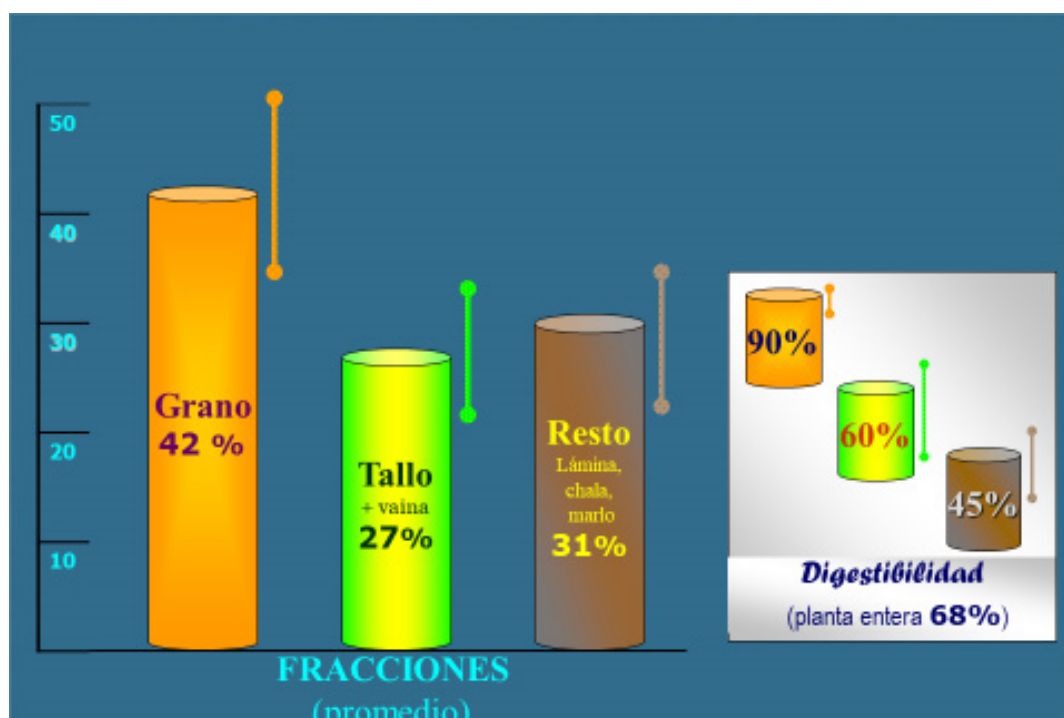


Figura 3. Proporción y digestibilidad de las tres fracciones morfológicas principales del maíz para silaje (Rimieri, 2011).

controlado de líneas endocriadas, que describiremos en el siguiente párrafo.

CULTIVARES

Como mencionamos en el párrafo anterior, Colorado Klein fue la variedad comercial referente de los maíces colorados duro de polinización libre o abierta. Posteriormente, otras variedades como Colorado Manfredi MAG, Colorado La Holandesa, Leales 25, Pitagua INTA, Morocho INTA, Don Faustino INTA, Amarillo Precoz De Simoni, entre otras, estuvieron en el mercado aun con la difusión de los primeros híbridos dobles. Lentamente fueron reemplazadas por los híbridos. Actualmente, algunas variedades derivadas de las mencionadas están presentes con menor participación y en nichos especiales del mercado. No presentaremos un listado de los cultivares inscriptos, que se puede consultar en el Catálogo Nacional de Cultivares actualizado (INASE, 2023).

Con respecto a los híbridos, ya sea en el proceso de generar líneas endocriadas y aprovechar el fenómeno de la heterosis, como en el de desarrollar híbridos, nos tenemos que remontar a la década de 1930 en el Instituto Fitotécnico de Santa Catalina (IFSC). Allí, el doctor Salomón Horovitz comenzaba a desarrollar la genética y la fitotecnia y a trabajar en los procesos de hibridación de maíz, obteniendo las primeras líneas

endocriadas (Mazoti y Hunziker, 1976; Calvelo, 2000; Vessuri, 2003). Recién en 1945 Antonio Marino y Tomás Luna lograron los primeros híbridos de maíz en la Estación Experimental Ángel Gallardo, en Santa Fe. Eran discípulos de Horovitz, al igual que Luis B. Mazoti y Juan Carlos Rossi, genetista y mejorador de maíz respectivamente, que iniciaron en forma aventurera la generación de invierno de maíz en Formosa desde el actual Centro de Investigación en Ciencias Veterinarias y Agronómicas (CICVyA), de Castelar, en ese entonces del Ministerio de Agricultura y Ganadería de la Nación. En 1951, en la Estación Agronómica Central de Pergamino, Raúl Abalo y Juan Etchecopar obtuvieron los cultivares Pergamino N° 1 MAG y Pergamino N° 2 MAG. Este último alcanzó una gran difusión por su rendimiento y buena calidad de grano, tipo piamontés. Los cultivares Santa Fe 3 y Pergamino N° 2 MAG fueron los primeros híbridos comerciales difundidos. Al poco tiempo se instalaron Cargill, Morgan y Dekalb, en ese momento las compañías más importantes en producción de maíz híbrido. En Francia, recién en la segunda postguerra se inició el desarrollo de híbridos de maíz. El Instituto Nacional de la Investigación Agronómica (INRA), en 1957, inscribió en el registro de variedades el primer híbrido, INRA 200, y al año siguiente INRA 258, ambos híbridos súper precoces comparados con los denominados ciclo completo sembrados en el centro y norte de Argentina. Es de hacer notar que en Francia los híbridos se desarrollaron después que los nuestros de las Estaciones

Ángel Gallardo y Pergamino. En 1960 y 1961, Juan Carlos Rossi y Fulvio Petri registraron los híbridos Pergamino Pitá S.A.G. y Pergamino Guazú S.A.G., respectivamente. Y en 1963, el híbrido Abatí INTA 1, de buen rendimiento, colorado duro, valorado comercialmente (Calvelo, 2000; Gallo Candolo, 2022). En esa época había un reemplazo lento de las variedades de polinización libre por los híbridos dobles F_1 (combinación de cuatro líneas endocriadas paternas en dos híbridos simples, uno ♀ y otro ♂ o polinizador, que por hibridación generan en el híbrido ♀ la F_1 comercial). Al mismo tiempo se fueron instalando las otras empresas semilleras que desarrollaban híbridos de maíz y al final de ese largo período que hemos descripto, se obtuvieron los híbridos de tres líneas endocriadas (o triples, por la combinación de un híbrido simple ♀ con una línea ♂) que se sumaron a los dobles en la oferta comercial. Gradualmente, ambos tipos de híbridos fueron reemplazados por los híbridos simples (cruzamiento entre 2 líneas endocriadas que generan la F_1), que actualmente dominan la oferta varietal comercial en maíz. Comercialmente, desde las primeras variedades desarrolladas, se sembraron cuatro estructuras genéticas poblacionales definidas: 1) poblaciones de selección masal sin control de la polinización o variedades de polinización libre; 2) híbridos dobles de cuatro líneas endocriadas cruzando dos híbridos simples para aumentar y abaratar el costo de la semilla híbrida (F_1 o cultivar híbrido); 3) híbridos de tres líneas, población más homogénea con un híbrido simple ♀ como en el híbrido doble para abaratar costos de la semilla; 4) híbrido simple, como en otras especies, ej. tomate, producto del cruzamiento de dos líneas endocriadas vigorosas, en especial la línea ♀ para lograr mayor potencial de rendimiento y un cultivo más homogéneo.

Todo lo mencionado y descripto hasta aquí como evolución del proceso tecnológico de selección y mejoramiento genético, estuvo referido al “maíz grano” (grano forrajero).

A continuación, se desarrollará el maíz forrajero, como planta entera para silaje para los sistemas ganaderos de Argentina.

MAÍZ PARA SILAJE EN GANADERÍA

La planta de maíz ha sido estudiada y mejorada atendiendo preferentemente su productividad en grano (Barrière *et al.*, 2006). La escasa información bibliográfica disponible demuestra que la fracción vegetativa (caña y hojas) fue considerada sólo como un medio para maximizar el rendimiento de grano sin poner énfasis en su calidad nutricional (Dhillon *et al.*, 1990; Pedersen, 1996; Barrière *et al.*, 2006). De este modo, se incrementó el contenido energético del ensilaje, ya

que la espiga constituye el principal aporte al total de nutrientes digestibles del maíz. Por esta razón, por un extenso período de tiempo se consideró al mejor híbrido granífero como el mejor híbrido forrajero. Los criterios de selección de maíz para silaje, siempre giraron alrededor del contenido de grano y del rendimiento y calidad del silaje obtenido (Bunting, 1975; Pinter, 1986; Carrete *et al.*, 2000; Alessandro, 2002).

En la década del '90 del siglo pasado, en Argentina, los forrajes conservados, particularmente los silajes, fueron creciendo en cantidad y calidad. Principalmente, el silaje de maíz se convirtió en el suplemento del pastoreo nutricionalmente energético más importante para la producción ganadera y también de las dietas para vacas lecheras y novillos para carne con engorde a corral. El maíz como planta forrajera para rumiantes, en los 100 años previos, consistió en la utilización generalizada de los rastrojos del cultivo después de cosechado y el maíz diferido en pie sin cosechar, mientras que la planta entera para silaje de algún granífero comercial estuvo circunscripta a algunos tambos, especialmente bajo la asistencia técnica a productores tamberos. A 100 años del emprendimiento de La Martona, en Vicente Casares (Bs. As.), en Luján-Gral. Rodríguez (Bs. As.) se fue ensayando un proyecto privado de desarrollo rural para productores tamberos, a cargo de Luis Marcenaro y César Fraga, que fue implementado desde el año 1978 por la empresa Mastellone Hnos. (Universidad Nacional de La Plata, 2014).

Las diferencias observadas entre híbridos comerciales tanto en la calidad nutricional y la proporción de los distintos componentes morfológicos, como en sus cualidades agronómicas, determinaron la necesidad de identificar a los híbridos graníferos locales de mejor comportamiento, hasta tanto no hubiera selección de germoplasma específico. Para la obtención de líneas endocriadas para híbridos específicos para ensilaje, en Europa, vieron tempranamente las posibilidades de seleccionar al maíz como planta forrajera (Gallais y Pollacsek, 1975). En Argentina, las investigaciones y desarrollos que involucraran diferentes aspectos del germoplasma, del ensilado y del silaje de maíz, fueron desarrolladas en el ámbito de la Universidad Nacional de Lomas de Zamora (UNLZ), con el grupo del Prof. Ing. Agr. Dr. Luis Bertoia y en la EEA Pergamino INTA con el grupo del autor de este artículo. Ambos grupos, desarrollaron las investigaciones, los protocolos y las evaluaciones que fueron incorporando las empresas obtentoras de híbridos a sus programas de desarrollo y de mejoramiento genético. Esta identificación, evaluación y utilización de esos híbridos permitió, desde 1990, que se ensilaran paulatinamente los híbridos graníferos de mayor producción y calidad de MS aportada por los componentes morfológicos de la planta entera. Se desarrolló una estrategia complementaria entre la UNLZ y el INTA Pergamino, basada en el

germoplasma, sus líneas derivadas y los genotipos experimentales (híbridos), para evaluar y estructurar la variabilidad entre poblaciones y probadores (*Top cross*) complementarios, para la producción de forraje de planta entera, considerando los objetivos y los criterios de selección para el germoplasma local. Esas diferentes estructuras genéticas fueron evaluadas considerando: 1) distintas densidades de plantas y manejo del cultivo; 2) las características fisiológicas en acumulación y translocación de fotosintatos en líneas endocriadas e híbridos; 3) los protocolos en el proceso de picado, confección del silo y fermentación anaeróbica de los componentes morfológicos, mediante microsilos y 4) el valor nutritivo *in vitro* e *in situ* de los componentes morfológicos de poblaciones, líneas endocriadas e híbridos experimentales y comerciales. (Rimieri, 1990; Reynoso y Rimieri, 1994; Reynoso, 1996; Scheneiter *et al.*, 1996; Rojas, 1999; Bertoia *et al.*, 2000; Alessandro, 2002; García Stepien, 2012; Scheneiter *et al.*, 2011; Ferrand *et al.*, 2012; Bertoia, 2012; Incognito, 2019; Rimieri, 2021). Este proceso y la estrategia utilizada es un buen ejemplo de aplicación de los criterios de selección *a posteriori* para los híbridos experimentales y comerciales y *a priori* para las poblaciones y líneas endocriadas del germoplasma base de selección.

Mientras se desarrollaban las investigaciones mencionadas en el párrafo anterior, el criadero Morgan inscribió el híbrido Morgan 369 o M 369, con germoplasma de origen sudafricano, de ciclo vegetativo, estructura de la planta y partición de la MS diferente a los híbridos colorados que dominaban el mercado. Era un maíz blanco, con una estructura de planta por que la empresa obtentora lo difundió al mercado como híbrido silero. Al poco tiempo de ofrecerlo en el mercado, se observaron características morfofisiológicas de producción y de calidad de mejor comportamiento para ensilar. Se mantuvo en el mercado durante 20 años (inscripto en 1991 y retirado del mercado en 2011). En ese mismo período se inscribieron varios híbridos graníferos con alguna característica relacionada al silaje, con palabras y prefijos en sus nombres haciendo mención al silaje o al forraje (S, tambero, sil, energía, forrajero, etc). La mayoría de esos híbridos respondían más al *marketing* de la empresa semillera que a características sileras comprobables, como en M369. Sólo unos pocos híbridos comerciales, con mejor aptitud para silaje, acompañaron el avance genético del mejoramiento para grano. Se detectaron híbridos graníferos mejor adaptados para silaje de planta entera (Rimieri, 2011). Mientras no se generaban híbridos específicos para ensilaje, una alternativa se basó en mejorar la calidad forrajera mediante el gen *bm3*, que disminuye el contenido de lignina del tallo de maíz y lo hace más digestible. Las plantas de maíz con el gen *bm3*, gen recesivo de una mutación natural encontrada en

1924 en Minnesota, tienen hojas con nervadura central parda. El efecto drástico en la cantidad y calidad de la lignina asociado a este gen fue determinado 40 años después de su descubrimiento (Barrière y Argillier, 1993). Los híbridos comerciales con este mutante aún no tienen una gran difusión por los efectos deletéreos del gen *bm3* observados en los primeros cultivares. Comercialmente, a los cultivares con este gen se los conoce como BMR (por *Brown Mid Rib*) o nervadura parda o nervadura marrón. Los genes *bm1*, *bm2*, *bm3* y *bm4* tienen expresión diferencial de fenilpropanoide en relación con la biosíntesis de lignina (Guillaumie *et al.*, 2007).

La Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros (CACF) se formó para lograr la disponibilidad de maquinaria y tecnología para el picado del maíz y la confección del silo en tiempo y forma en los campos de productores de carne y leche, generando información de los campos de productores, complementaria a la generada en la UNLZ y en INTA Pergamino. Con la CACF se logró, desde 2003, que los ensilados de forrajes llegaran gradualmente a todos los sectores de la producción ganadera del país, logrando una capacidad de picado y confección para más de 2×10^6 ha de forrajes anuales, de las cuales $1,3 \times 10^6$ ha, como ya se mencionó, corresponden a maíz para ensilado (CACF, 2023).

Así como ya describimos la evolución del proceso tecnológico del mejoramiento genético, que estuvo referido al maíz para grano, sería deseable que, en este siglo, se consolide lo mencionado sobre los avances y logros desde el INTA, la Universidad y la CACF y se plasme en un compromiso concreto de los criaderos y semilleros de maíz para desarrollar híbridos específicos para silaje. La Asociación MAIZAR, que representa a la cadena del maíz en Argentina, debería sumarse en este aspecto. Actualmente se dispone de tecnologías del mejoramiento genético con criterios de selección complejos y específicos para silaje, está definido el tipo ideal de maíz para silaje y sólo resta que se plasme en la generación de nuevos híbridos específicos (Figura 4) (Rimieri, 2011).

Sintetizando, esta reseña histórica de más de 100 años de selección y evolución del mejoramiento genético del maíz forrajero se inspiró en un libro concerniente a la agronomía y mejoramiento genético de plantas, realizado en Francia para 50 especies vegetales (Doré y Varoquaux, 2006). Se expuso en esta entrega el aporte de la selección y del mejoramiento genético de maíz, cultivo multifacético, eficiente y de gran importancia nacional y global, en la transformación de la planta en alimento para animales domésticos, más específicamente para rumiantes. Por otra parte, en el mismo período, también el mejoramiento genético animal aumentó la eficiencia de transformación del alimento en carne, leche y huevos.

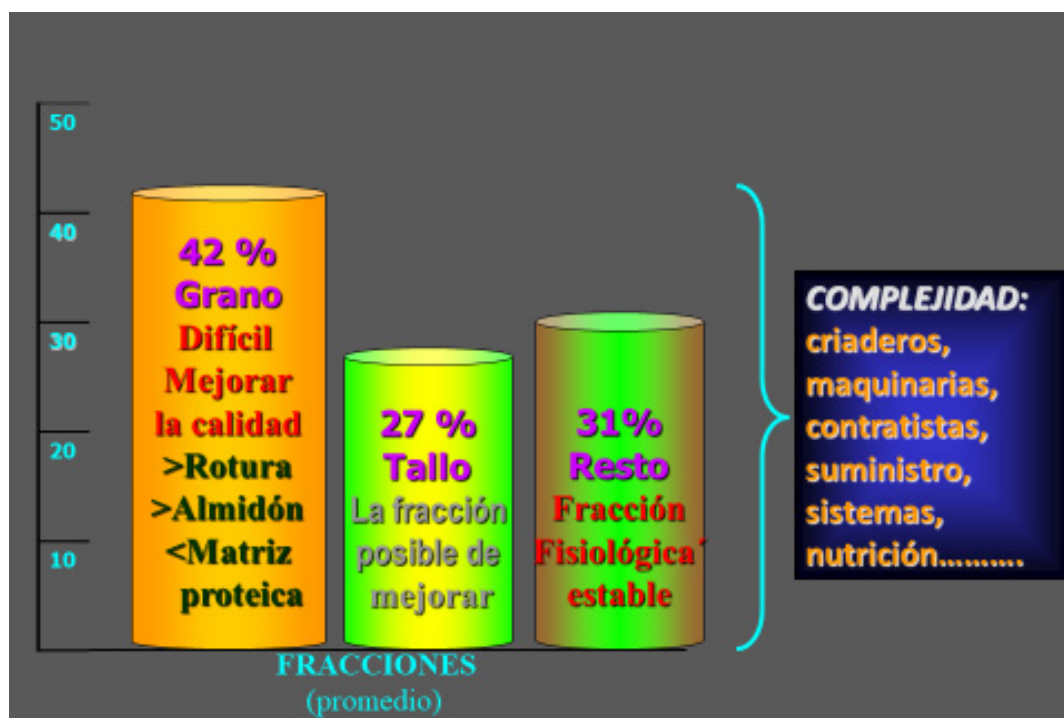


Figura 4. Criterios de selección y tendencias en la generación y utilización del maíz para silaje (Rimieri, 2011).

BIBLIOGRAFÍA

- Alessandro M.S. (2002) Variabilidad y parámetros genéticos en caracteres morfofisiológicos de maíz (*Zea mays* L.) para silaje. Tesis de Postgrado. Curso de Postgrado en Mejoramiento Genético Vegetal. Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
- Barrière Y., Argillier O. (1993) Brown-midrib genes of maize: a review. *Agronomie*, 13(10): 865-876.
- Barrière Y., Alber D., Dolstra O., Lapiere C., Motto M., Ordas A., van Waes J., Vlaswinkel L., Welcker C., Monod J.P. (2006) Past and prospects of forage maize breeding in Europe. II. History, germplasm evolution and correlative agronomic changes. *Maydica*, 51: 435-449.
- Bolsa de Comercio de Rosario (2020) Aproximaciones al consumo de maíz en Argentina. <https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/aproximaciones>. (acceso: 3 de mayo de 2023)
- Bertoia L.M. (2012) Análisis de la interacción genotipo-ambiental de la aptitud forrajera en maíz (*Zea mays* L.). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, La Plata.
- Bertoia L.M., Arturi M.J., Cantet R.J.C. (2000) Evaluación de la aptitud forrajera de probadores graníferos mediante compuestos de maíz (*Zea mays* L.) con distintos niveles de selección. Tesis de *Magister Scientiae*, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- Bretigniere L., Khatchadourian L. (1962) Ensilado de forraje verde. Editorial Aguilar, Madrid, España.
- Bunting E. (1975) The question of grain content and forage quality in maize: Comparisons between isogenic fertile and sterile plants. *The Journal of Agricultural Science*, 85(3): 455-463.
- Cámara Argentina de Contratistas Forrajeros (2023) Estadísticas. <https://www.ensiladores.com.ar/> (acceso: 30 mayo de 2023)
- Calvelo A.J. (2000) La Fitotecnia en la Argentina, Disertación. Academia nacional de Agronomía y Veterinaria. 54: 255-273
- Carrete J.R., Scheneiter J.O., Ceconi I. (2000) Producción y calidad de la planta entera y calidad del silaje de híbridos comerciales y experimentales de maíz. 23º Congreso Argentino de Producción animal. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 20(1): 129-130.
- Deinum B., Bakker J.J. (1981) Genetic differences in digestibility of forage maize hybrids. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, 29(2): 93-98.
- Dilkes S.L. (1953a) We need more silage—1. Looking backward. *Journal of the Department of Agriculture, Western Australia, Series 3*, 2(4): 49-54.
- Dilkes S.L. (1953b) We need more silage—2. Principles and processes involved. *Journal of the Department of Agriculture, Western Australia, Series 3*, 2(5): 30-31.
- Dilkes S.L. (1953c) We need more silage—3. Nutritive qualities. *Journal of the Department of Agriculture, Western Australia, Series 3*, 2(6): 28-30.
- Dimitri M.J., Parodi L.R. (1988) Enciclopedia Argentina de agricultura y jardinería. 3ra Edición, Editorial Acme SACI, Buenos Aires, Argentina.
- Dhillon B.S., Paul C., Zimmer E., Gurrath P.A., Klein D., Pollmer W.G. (1990) Variation and covariation in stover digestibility traits in diallel crosses of maize. *Crop Science*, 30(4): 931-936.
- Doré C., Varoquaux F. (2006) Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Editions Quae, Versailles, Francia.
- Ferrand L., Roig J., Velazco J.G., Rimieri P. (2012) Variabilidad genotípica en líneas de maíz para caracteres relacionados con la calidad forrajera. Comunicaciones Libres XV Congreso Latinoamericano de Genética, XLI Congreso Argentino de Genética, XLV Congreso Chileno de Genética y II Reunión SAG Litoral, 28-31 octubre 2012, Rosario, Santa Fé.
- Gallais A., Pollacsek M. (1975) Possibilités de sélection du maïs en tant que plante

- fourragère. Proceedings VIII Eucarpia Congress, pp. 68–76.
- Gallo Candolo G. (2022) El ADN de la soja y del maíz híbrido en la Argentina: aportes a la historia de la investigación y los primeros cultivos en la Argentina. Asociación Bonaerense de Periodistas Agropecuarios, Buenos Aires.
- García Stepien L.E. (2012) Distribución vertical del rendimiento y la calidad forrajera en el componente vegetativo de la planta de maíz (*Zea mays* L.). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, Buenos Aires.
- Guillaumie S., Pichon M., Martinant J.P., Bosio M., Goffner D., Barrière Y. (2007) Differential expression of phenylpropanoid and related genes in brown-midrib *bm1*, *bm2*, *bm3*, and *bm4* young near-isogenic maize plants. *Planta*, 226: 235-250.
- INASE (2023) <https://gestion.inase.gob.ar/consultaGestion/gestiones>. (acceso: 23 febrero 2023)
- Incognito S.J.P. (2019) Tolerancia al estrés por alta densidad en maíz (*Zea mays* L.): efecto del mejoramiento y bases genéticas determinantes de caracteres arquitecturales asociados. Tesis Doctoral, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires.
- La Martona (2008) Infocañuelas. <https://www.infocañuelas.com/turismo/la-martona-cuna-de-la-industria-lechera-nacional>
- Mazoti L.B., Hunziker J.H. (1976) Los precursores e iniciadores de la Genética en la Argentina. En: Mazoti L.B. y Hunziker J.H. (Eds.) Evolución de las Ciencias en la República Argentina (1923-1972). Tomo 4: Genética. Sociedad Científica Argentina, Buenos Aires, pp. 5-12.
- Parodi L.R., Dimitri M.J. (1964) Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería: El cultivo de las plantas útiles. Editorial ACME S.A.C.I., Buenos Aires, Argentina.
- Pedersen J.F. (1996) Breeding Sorghum And Pearl Millet For Forage And Fuel. *Agronomy & Horticulture - Faculty Publications*. 946. <https://digitalcommons.unl.edu/agronomyfacpub/946> (acceso: 23 febrero 2023).
- Pinter L. (1986) Ideal type of forage maize hybrid (*Zea mays* L.). Breeding of silage maize. Proceedings of the 13th Congress of the Maize and Sorghum Section of EUCARPIA, 9-12 September 1986, Wageningen, Netherlands, pp. 123-130.
- Reynoso L., Rimieri P. (1994) Variabilidad genética para pastoreo en poblaciones de maíz macolladoras. *Revista Argentina de Producción Animal (RAPA)*, 14(1).
- Reynoso L.R. (1996) Variabilidad genética para macollamiento y rebrote en el género *Zea*. Tesis de Postgrado. VI Curso de Postgrado en Mejoramiento Genético Vegetal. UNR-EEA INTA Pergamino.
- Rimieri P. (1990) Organisation de la variabilité genetique de 991 populations de maïs et interet pour l'amélioration du maïs fourrage. Doctoral dissertation, Univ. Paris 11. Orsay. Francia.
- Rimieri, P. (2008) Producción máxima de forrajes en suelos agrícolas. Potencial de producción de la planta entera de maíz para silaje. Reunión Anual sobre Forrajes, 21 noviembre 2008, Pergamino, Argentina.
- Rimieri P. (2011) Tendencias y criterios de selección en maíz para silaje. XIII Reunión Anual sobre forrajes, 1 diciembre 2011, INTA-UNNOBA, Pergamino, Argentina.
- Rimieri P. (2021) Aspectos agronómicos de relevancia en poblaciones utilizadas como base para el mejoramiento genético vegetal. *BAG. Journal of basic and applied genetics*, 32(2): 71-74.
- Rojas C.A. (1999) Evaluación de criterios de selección en maíces adaptados a la región maicera central. Efecto del macollamiento. Estrategias de translocación de fotosintatos. Tesis de Grado, Universidad Nacional de Misiones, Misiones.
- Scheneiter J., Carrete J., Rimieri P., Devito C. (1996) Producción y calidad de maíz para silaje. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, 1(2): 63-66.
- Scheneiter J.O., Rimieri P., Carrete J.R., Camarasa J.N., Peña J., Velazco J.G. (2011) 1995-2010. Progresos en la tecnología del maíz para silaje. Reunión Anual sobre Forrajes, 1 diciembre 2011, Pergamino, Argentina.
- Universidad Nacional de La Plata (2014) https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/55360/mod_resource/content/1/Disertaci%C3%B3n%20Marcenaro-Fraga%20Experiencia%20del%20DATP%20de%20La%20Serenisima.pdf (acceso: 2 agosto 2022)
- Vessuri H. (2003) El hombre del maíz de la Argentina: Salomón Horovitz y la tecnología de la investigación en la fitotecnia sudamericana. https://repositorio.esocite.la/146/1/2003_Q_Maiz.pdf. (acceso: 5 junio de 2018)