

AUTORIDADES ACADÉMICAS

Rector: *Dr. Guillermo R. Tamarit*
Vicerrectora: *Mg. Danya V. Tavela*
Secretario General: *Abog. Pablo G. Petraglia*
Secretario de Investigación, Desarrollo y Transferencia: *Dr. Jerónimo E. Ainchil*
Secretaria Académica: *Abog. Ma. Florencia Castro*
Secretario de Extensión Universitaria: *Lic. Juan P. Itoiz*
Secretaria de Asuntos Económico-Financieros: *Cdora. Mariela E. García*
Secretario Legal y Técnico: *Abog. Carlos D. Pérez*
Directora de Instituto de Posgrado: *Prof. Ma. Rosa Depetris*
Directora Centro de Edición y Diseño: *DCV Ma. de las Mercedes Filpe*

Guardasellos: Ing. Luis J. Lima

DIRECTOR DE LA REVISTA
Dr. Ángel L. Plastino

SUMARIO

#1 CIENCIA PARA LA VIDA

**PÁG. 4 EL PLANETA TIERRA:
SU ESTRUCTURA Y SU
BALANCE ENERGÉTICO**
*MIGUEL A. BLESA Y
DANIEL S. CICERONE*

**PÁG. 34 DE LAS LEYES
DE NEWTON
A LA GUERRA
DE TROYA**
ÁNGEL R. PLASTINO

**PÁG. 50 EL MEJORAMIENTO
GENÉTICO
DE ESPECIES
FORRAJERAS**
ADRIANA ANDRÉS

**PÁG. 17 PREVENCIÓN PRIMARIA
DE DIABETES TIPO 2**
JUAN J. GAGLIARDINO

**PÁG. 40 HECHOS E IDEAS PARA
PENSAR LA EDUCACIÓN**
GUILLERMO JAIM ETCHEVERRY

Edita

CEDi Centro de Edición y Diseño. UNNOBA
DCV Ma. de las Mercedes Filpe

Libertad 555, CP.6000 Junín / Tel 54 236 4407750
Monteagudo 2772, CP.2700 Pergamino / Tel 54 2477 409500
Buenos Aires, Argentina
Callao 289 3.º piso, CP.1022 Ciudad Autónoma de Buenos Aires /
54 11 53531520, Argentina

Diseño y diagramación

CEDi Centro de Edición y Diseño
Coordinador: DCV Cristian Rava
DCV Ma. de las Mercedes Ortín, Adolfo Antonini,
DCV Bernabé Díaz

Corrector de estilo: Mariángel Mauri
Fotografía: Nicolás Acuña

Impresión
Integraltech S.A.

Año 1 N.º 1

Noviembre de 2014
Tirada 500 ejemplares
ISSN 2408-4492
Queda hecho el depósito que marca la ley 11.723

*Se invita a potenciales colaboradores a remitir sus trabajos
al CEDi (cedi@unnoba.edu.ar)*

www.unnoba.edu.ar

EDITORIAL

¿Por qué ofrece la UNNOBA una revista de divulgación científica? Existe un cierto retraso en el desarrollo de la divulgación de la ciencia en relación con los vertiginosos avances científicos que se registran desde la segunda mitad del siglo XX y, en especial, durante los primeros años del actual siglo. Esto ocasiona una suerte de desfase entre la sociedad y sus científicos. Por ello resulta interesante e importante intentar llevar aspectos de la ciencia al público. Esto constituye a la vez un desafío y una necesidad social. Para satisfacerla, científicos, docentes, periodistas y escritores tratan a menudo de ayudar a los ciudadanos a valorar la Ciencia y superar posibles temores con relación a ella. En este contexto se enmarca la UNNOBA a través de su publicación *NÚCLEOS*. Pretendemos que nuestros autores acerquen a los lectores una visión actualizada de recientes desarrollos científicos, en particular aquellos que se originan en el país.

En tal intento podemos hablar tal vez de “alfabetización científica”, o bien de “popularización de la ciencia”. Salvando pequeñas diferencias semánticas, nos interesa realmente ayudar a gentes de cierto nivel cultural a compenetrarse y entender la relevancia de la Ciencia, acercándola en forma directa. Así atenderíamos 1) a un elemental requerimiento de información científica y 2) a superar temores que algunos puedan albergar sobre el quehacer de los científicos. Aquí hablamos de la inquietud que provoca lo desconocido, lo incomprensible, lo extraño y lo misterioso, que acompaña cierta imagen de la ciencia como derivada bien del desconocimiento, bien de la incomprensión. Es natural que se pueda llegar a sentir algún miedo a los cambios revolucionarios que la ciencia y la tecnología introducen en nuestra sociedad, sobre todo a partir de la segunda mitad del siglo XX, vía fantásticas innovaciones y grandes sorpresas que brindan apasionantes conjuntos de disciplinas científicas. Hay enormes consecuencias tecnológicas y humanas, con avances considerables en las telecomunicaciones y la informática, descubrimientos grandiosos en la biología, etc.

El problema mayor de la divulgación científica (DC) en el mundo es, como decimos arriba, el atraso que sufre, si se la compara con los avances gigantescos de la ciencia y la tecnología, con su influencia creciente y decisiva en el individuo y en los grupos sociales de nuestra época. En verdad, no se ha sido aún capaz, en nuestro medio, de establecer un diálogo fecundo entre ciencia y sociedad. Parece obvia la necesidad, para el desarrollo cultural de un pueblo, de que cierto tipo de investigaciones, hallazgos, descubrimientos, experimentos y preocupaciones de los científicos puedan ser transmitidos al público, que forma parte de la Sociedad de la Información pero que, en general, conoce muy poco sobre ciencia y tecnología, a pesar de que estas estén cambiando al mundo, transformando de modo radical la vida cotidiana. Nuestra propuesta es intentar, de forma modesta pero eficaz, que más allá de divulgar información, se acerquen al público elementos esenciales del desarrollo del conocimiento científico, contribuyendo con nuestro granito de arena a satisfacer la mencionada necesidad de divulgar la ciencia como instrumento de igualación cultural y de acceso generalizado al principal motor de transformación del Mundo. Cierta grado de compenetración con lo científico es esencial para toda actividad profesional, en una era de crecientes exigencias de calidad y de especialización. Debería verse a la divulgación como un proceso de desarrollo e integración de múltiples disciplinas y oficios, capaz de crear una atmósfera de estímulo a la curiosidad por la ciencia y su método, ayudando a despertar la imaginación, cultivando el espíritu de investigación, y desarrollando la capacidad de observación, la claridad de pensamiento y la creatividad. Se contribuiría así a descubrir vocaciones científicas, propiciando una relación más estrecha con los científicos.

Esto ayudaría a erradicar mitos y podría abrir caminos hacia la participación en el desarrollo cultural universal. Es casi unánime la convicción de que avances, hallazgos, experimentos, investigaciones y preocupaciones científicas se deban presentar al público y se constituyan en parte fundamental de su cultura. *NÚCLEOS* pretende desarrollar una modesta función complementaria de la enseñanza. La divulgación científica no sustituye a la educación, pero puede llenar vacíos en la enseñanza moderna, contribuir al desarrollo de la educación permanente y ayudar a adoptar una determinada actitud ante la ciencia. Se combatiría así cierta falta de interés. Mucha gente entiende bien aspectos de la política relacionada con la guerra, el orden público, la sanidad, la educación y el medio ambiente, pero la base de muchas de estas políticas sectoriales es la I+D asociada a la Ciencia, que permite la innovación y sobre la que, mayoritariamente, se ignora casi todo. Pretendemos comunicar ciertos avances de las grandes disciplinas de nuestro tiempo: astronomía, cosmología, origen de la vida, biología, conocimiento del universo (micromundo y macromundo) y del propio ser humano. En otras palabras, ayudar a la gente a comprenderse a sí misma y a comprender su entorno, tanto el visible como el invisible.

Terminamos esta exposición con palabras de Albert Einstein. Nada menos que para este genio tuvo la divulgación aspectos muy positivos. Nos dice lo siguiente: “Tuve asimismo la buena fortuna de conocer los resultados y métodos esenciales de toda la ciencia natural a través de una excelente exposición de carácter divulgador que se limitaba casi exclusivamente a lo cualitativo (los libros de divulgación científica de Bernstein, una obra en cinco o seis tomos), obra que leí con un interés que me robaba el aliento” [Albert Einstein, *Notas autobiográficas*, Alianza Editorial, 1984].

El lector juzgará por sí mismo si, en algún mínimo grado, la lectura de *NÚCLEOS* responde a estas disquisiciones editoriales.

Dr. Ángel Luis Plastino, Director.

EL MEJORAMIENTO GENÉTICO DE ESPECIES FORRAJERAS

ADRIANA ANDRÉS

Se estima que la superficie de pasturas cultivadas a nivel mundial duplica la de los cultivos de grano. Las pasturas son el pilar fundamental de la ganadería, pero también proveen de alimento a la fauna silvestre. Además, desempeñan un rol destacado en la conservación y la recuperación de los suelos, puesto que los ciclos de rotación cultivo-pastura son necesarios para asegurar la sustentabilidad de los agroecosistemas. Asimismo, son estratégicas para las economías nacionales, pues pueden ser cultivadas en tierras menos aptas para cultivos de grano.

En Argentina, las pasturas cultivadas constituyen uno de los componentes principales en la alimentación de la ganadería, la que en los últimos años fue reordenada en ambientes de menor potencial productivo por efecto de la expansión agrícola. La densidad ganadera del país es de 0,17 cab/ha, es decir, una carga animal de casi 6 has/cabeza; las mayores concentraciones de hacienda se registran en las provincias de Buenos Aires, Corrientes, Entre Ríos y Santa Fe. Estas mayores concentraciones de hacienda se corresponden en las provincias donde la producción y calidad de los recursos forrajeros deben sostener una alta carga animal para alcanzar niveles de rentabilidad competitivos con la producción agrícola.

En el NOA la principal actividad productiva es la cría y recría extensiva de bovinos sobre pastizales naturales de crecimiento estival con escasa incorporación de pasturas cultivadas. A pesar de que existe un manejo deficiente de los recursos forrajeros —además de la fragilidad de los ecosistemas y la limitada disponibilidad de agua para bebida animal—, el número de cabezas creció en los últimos años.

En el NEA la ganadería se basa en la utilización de pastizales naturales con nula, escasa o abundante presencia de montes naturales e implantados, lo que da origen a diferentes categorías de sistemas silvopastoriles. Las pasturas cultivadas con forrajeras perennes representan una parte mínima de la superficie dedicada a esta actividad y el mal manejo, la falta de agua de bebida, los problemas sanitarios y la sequía de los últimos años ha producido un importante descenso del stock ganadero.

Como consecuencia de la gran expansión agrícola en todo el territorio argentino, se han definido nuevos escenarios productivos para la ganadería, que exigen, por un lado, la intensificación en el uso de los recursos forrajeros y, por el otro, la necesidad de ofrecer tecnologías específicas para la producción de pasturas en condiciones marginales. La genética es una de las herramientas para mejorar la productividad y adaptabilidad de las pasturas a los escenarios ambientales variables.

EL MEJORAMIENTO GENÉTICO

El mejoramiento genético de las especies forrajeras es relativamente reciente: se sistematizó solo a comienzos del siglo XX, período en el cual muchos cultivares de especies forrajeras fueron desarrollados y liberados al mercado sobre la base de investigaciones desarrolladas en genética, pero también por la mejora de plantas recolectadas por el mundo, probablemente, de ambientes pastoriles reales. Los cultivares liberados en el siglo XX se caracterizan por su mejor valor nutritivo, mejor rendimiento y una mayor persistencia.

Si bien el aporte realizado por el mejoramiento genético de numerosos cultivos en el incremento de la producción agrícola de los últimos cincuenta años oscila entre el 30% y el 50%, en el caso de las especies forrajeras, la tasa promedio de ganancia genética ha sido sustancialmente inferior (4% década⁻¹ vs. 13,5% década⁻¹).

Algunas de las causas que ocasionaron esta situación son producto, entre otros motivos, de (i) la aplicación de ciclos largos de selección debido a que la mayoría de las especies forrajeras son perennes; (ii) los escasos avances en el índice de cosecha logrado debido a que en las pasturas se cosecha en su totalidad la parte aérea (hojas y tallos), compitiendo por los recursos fotosintéticos que la planta destina al crecimiento de las raíces; (iii) la escasa explotación genética que se realiza sobre la heterosis en la aplicación de los métodos de mejoramiento y (iv) la importancia de otros caracteres además del rendimiento total de materia seca de los cultivos forrajeros.

Es importante considerar que las estrategias utilizadas para lograr los incrementos productivos de los cultivos han estado sustentadas sobre métodos tradicionales de mejoramiento genético, dependientes de la variabilidad que ocurre naturalmente en ecotipos adaptados, en poblaciones naturalizadas y en cultivares viejos. Algunos de estos métodos comprenden la colecta de plantas, la evaluación de los recursos genéticos, diversos esquemas de apareamiento, la selección basada sobre el fenotipo conjuntamente con algunas pruebas de progenies y, finalmente, la regeneración por semilla o propagación vegetativa. También se han utilizado algunas técnicas más modernas, como la poliploidía y la mutagénesis.

En la actualidad, las herramientas biotecnológicas, como los marcadores moleculares, la selección asistida, la regulación de la expresión génica y las transgénesis, han permitido aumentar la variabilidad genética y la eficiencia de selección en algunos caracteres específicos. Estos métodos indudablemente aportarán al progreso del mejoramiento genético, pero dependerán de las bases fundamentales de los métodos tradicionales para comprobar su verdadero potencial.

ALGUNOS OBJETIVOS DE LOS PROGRAMAS DE MEJORAMIENTO

En términos generales, los objetivos primarios de la mayoría de los programas de mejoramiento de especies forrajeras han sido el incremento de la productividad, ya sea en términos de producción total y/o distribución estacional o de su persistencia. Más recientemente, se han dedicado mayores esfuerzos al mejoramiento de la calidad del forraje y a la resistencia a factores bióticos y abióticos. En el futuro es probable que estos últimos aspectos reciban aún mayor atención, pero adicionalmente existirá una demanda para generar cultivares forrajeros como fuente de nuevos productos y procesos.

EL RENDIMIENTO DEL FORRAJE

El rendimiento del forraje, expresado a través del peso total de la materia seca, es una medida de todos los factores ambientales que afectan el crecimiento de las plantas. Es un carácter controlado por muchos genes, altamente afectado por el ambiente y su heredabilidad es baja, por lo que el progreso por selección es lento. Entre los componentes del rendimiento del forraje en festuca alta, la tasa de intercambio de carbono, la tasa de expansión de la hoja y la tasa de respiración en oscuridad son caracteres fisiológicos que han demostrado potencial para ser seleccionados. En Argentina los progresos logrados por selección en especies como festuca alta, agropiro alargado, alfalfa, pasto ovido, cebadilla criolla y raigrás anual han demostrado una elevada varianza genética, afectada por la localidad y el ambiente de uso. En algunas especies, el germoplasma adaptado a determinadas regiones agroecológicas ha superado en productividad a los cultivares introducidos de otras latitudes.

Si bien el rendimiento de forraje es un carácter de mucha importancia, según la especie y el ambiente a seleccionar, otros caracteres particulares pueden tener mayor impacto. Por lo tanto, considerar solo el avance genético a través del mejoramiento de la materia seca puede subestimar seriamente el progreso global del programa de selección. Otros aspectos, como la perennidad de muchos cultivos forrajeros, les confiere el valor de proveer una cobertura de suelo que prevenga la erosión y proteja el agua del suelo contra la contaminación, como también la excesiva evaporación, que ocasiona problemas de salinidad. En este contexto, el alto rendimiento de forraje puede ser de importancia secundaria.

LA DISTRIBUCIÓN DEL RENDIMIENTO

El rendimiento de forraje debe ser considerado en relación con los requerimientos animales. La distribución del rendimiento dentro del año es más relevante en la determinación del número de animales que puede soportar el sistema pastoril que el rendimiento total anual. A menudo el éxito en el mejoramiento depende de la identificación correcta de los factores limitantes que deben ser superados para mejorar la productividad estacional.

La determinación de las curvas de producción de materia seca de diversas especies, como festuca alta, pasto ovido, agropiro alargado, alfalfa, raigrás anual y cebadilla criolla, permitió aplicar criterios de selección

que optimizaron el rendimiento total de forraje de los cultivares obtenidos. Dependiendo de la especie en consideración, se han mejorado caracteres como la relación hoja-tallo, la densidad de macollos, el diámetro de la planta, el ancho de las hojas. Sin embargo, en algunas de estas especies ha resultado infructuoso mejorar la productividad otoño-invernal debido a una marcada estacionalidad difícil de superar a través de la selección.

Existen otros factores que afectan la distribución del rendimiento. Por ejemplo, la falta de persistencia debido a una baja tolerancia a diversas condiciones de estrés, tales como la sequía, el frío, las enfermedades y aun el pastoreo, que condicionan el mejoramiento de la productividad estacional. La identificación de estos parámetros permite determinar las prioridades de mejoramiento o construir índices de selección.

LA TOLERANCIA A LOS ESTRESSES ABIÓTICOS Y BIÓTICOS

Los estreses abióticos, como la salinidad y la sequía, afectan negativamente el crecimiento, la producción de biomasa y, por ende, el rendimiento de los cultivos forrajeros. Son considerados agentes estresantes de gran impacto en los cultivos y se manifiestan a través del cambio climático, la degradación de los suelos y la disminución de la calidad de las aguas. En agricultura, el término *sequía* se refiere a una condición en la cual la cantidad de agua disponible a través de la lluvia y/o el riego es insuficiente para satisfacer las necesidades de transpiración del cultivo. La *salinidad* es una condición del suelo que se caracteriza por la presencia de altos niveles de sales solubles en su perfil. De esta manera, los suelos se clasifican en salinos, cuando la conductividad eléctrica del extracto de saturación es igual o superior a 4 dS/m (mmhos/cm), lo que equivale aproximadamente a 40 mM de cloruro de sodio (NaCl). La mayoría de las investigaciones para realizar selección utilizan esta sal con el fin de evaluar la respuesta de las plantas frente al estrés salino y seleccionar individuos tolerantes.

Existen diversas estrategias tendientes a reducir el impacto de los estreses abióticos sobre la producción agrícola-ganadera. Estas involucran tanto acciones sobre los suelos como esfuerzos para lograr variedades más tolerantes. Esta última estrategia se considera más sustentable y viable económicamente. El mejoramiento genético convencional se basa fundamentalmente en la identificación y explotación de la variación natural intra- o interespecífica, mediante la selección de genotipos con caracteres asociados a tolerancia.

En Argentina los esfuerzos realizados en la selección por tolerancia a estrés salino se han concentrado en especies templadas, como alfalfa, *Lotus tenuis*, agropiro alargado, festuca alta y en especies megatérmicas, como *Chloris gayana* y *Cenchrus ciliaris*. En algunas de estas especies se han identificado genes responsables de la tolerancia a la salinidad. Pese a los avances obtenidos por mejoramiento genético, el progreso en la obtención de cultivares tolerantes ha sido lento y el éxito, limitado. Una de las razones más importantes es que la tolerancia a los estreses abióticos es un carácter cuantitativo complejo que es influenciado por un gran número de interacciones genéticas y ambientales.

Debido a que, dentro de determinadas especies, existe una amplia variabilidad genética, es posible seleccionar sobre poblaciones adaptadas un nicho ecológico particular, más que intentar cambios en la adaptabilidad del germoplasma a través de la selección. Algunas investigaciones realizadas en agropiro alargado y en raigrás anual determinaron que el rendimiento de forraje de poblaciones naturalizadas en suelos alcalinosódicos fueron superiores a los rendimientos de cultivares mejorados. Se atribuyó estos resultados al impacto de la selección natural para adaptabilidad y rendimiento.

La tolerancia al estrés causada por factores bióticos, como las enfermedades y las plagas, ha recibido relativamente poca atención en el mejoramiento de especies forrajeras. Entre las enfermedades más frecuentes en gramíneas se destacan las que afectan el área foliar y producen disminución del rendimiento y de la calidad del forraje. La importancia económica y el tipo de patógeno varían con la especie, el ambiente y la utilización del forraje. En pasto ovillo la estría parda de la hoja, causada por *Scolecotrichum graminis*, es la enfermedad de más frecuente aparición y más amplia difusión. Provoca pérdidas en el rendimiento y la calidad del forraje diferido de otoño. Los síntomas son manchas alargadas, debidas a la necrosis del parénquima, sobre las que se observan puntuaciones negras que son la fructificación del hongo. A través de la selección realizada sobre poblaciones naturalizadas de pasto ovillo recolectadas en la provincia de Buenos Aires, se logró obtener cultivares moderadamente resistentes a la enfermedad, sin afectar la digestibilidad del forraje.

En el caso de las royas, se ha demostrado que infecciones del orden del 20% de la roya de la corona (*Puccinia coronata*) sobre cultivares de raigrás anual provocan una reducción de 3,4 unidades en el contenido de los carbohidratos solubles durante el otoño y una reducción importante en el rendimiento de la materia verde. En términos de producción de leche y/o carne, se han evidenciado pérdidas importantes y disminución del consumo debido al rechazo por parte de los animales. En Argentina, se han desarrollado escalas de resistencia a roya de la corona en raigrás anual y, genéticamente, se ha comprobado que la resistencia es un carácter controlado por pocos

genes, altamente heredable y poco afectado por el ambiente. La aplicación de estos conceptos en la selección por resistencia a roya en raigrás anual ha permitido liberar al mercado nuevos cultivares adaptados a las condiciones de uso propias de los sistemas de producción de la pampa húmeda argentina.

La roya del tallo (*Puccinia graminis* Pers.) es otra de las enfermedades que afecta la productividad forrajera y el rendimiento de semillas de festuca alta. A través de la selección realizada sobre poblaciones naturalizadas argentinas con tolerancia a la enfermedad, se han liberado al mercado cultivares de mejor comportamiento sanitario.

LA PRODUCCIÓN ANIMAL Y LA CALIDAD DEL FORRAJE

La medida final del éxito del mejoramiento de especies forrajeras debe ser expresada en términos de cantidad y calidad de leche y carne. La producción animal puede relacionarse con diferencias en la digestibilidad del forraje en cuanto a los requerimientos de energía metabolizable (EM). Una diferencia del 13% en la digestibilidad de la materia seca orgánica de las gramíneas puede producir una diferencia de 2 MJ EM kg⁻¹. Se estima que esto puede ocasionar una diferencia de hasta 9 kg (45%) en el rendimiento de leche diaria, 0,5 kg (67%) en la ganancia diaria de carne vacuna y 100 g (50%) en la ganancia diaria de corderos.

Si bien la digestibilidad es de importancia central, no es el único factor de calidad que gobierna el producto animal. El valor nutritivo del forraje depende de sus constituyentes químicos y la implementación de estrategias de selección para mejorar la calidad solo se logra si se comprende el rol de cada constituyente celular en la nutrición animal. Existen numerosas evidencias que indican que hay suficiente variación genética como para realizar progresos significativos utilizando técnicas convencionales o moleculares de mejoramiento genético. La modificación de la fecha de floración, la modificación de la relación hoja-tallo, la alteración de las tasas de digestión de la pared celular, el incremento del flujo de proteína pasante y el mejoramiento del balance de aminoácidos para maximizar la síntesis de proteína bacteriana son algunos de los ejemplos del potencial genético para lograr dicho objetivo.

En el caso del contenido de los carbohidratos solubles, se ha determinado que se trata de un factor que confiere una ventaja nutritiva en la calidad de los raigrases tetraploides, lo que ha dado como resultado una producción animal superior y un incremento notable de la popularidad de estos cultivares. Algunos programas de mejoramiento han logrado también mejorar el aumento del contenido de minerales del forraje y remover factores de anticalidad, tales como alcaloides en falaris. Estos objetivos son importantes para mejorar la salud y el bienestar animal y, consecuentemente, la productividad.

LOS BENEFICIOS NUTRICIONALES DE LA LECHE Y LA CARNE

La importancia de los ácidos grasos conjugados (CLA) en la calidad de la carne producida bajo pastoreo ha cobrado reciente interés debido a sus efectos sobre la salud humana, de tipo anticancerígenos, antidiabéticos y antiteratogénicos, y su importancia en la reducción de la deposición de grasa corporal y la estimulación del sistema inmune. El forraje fresco presenta concentraciones marcadamente superiores de ácido linolénico, principal precursor de los CLA, respecto a otros alimentos. Por lo tanto, se han detectado altas concentraciones de CLA en animales bajo pastoreo en relación con los alimentados con dietas basadas en forrajes conservados o en concentrados. Aunque las proporciones en las que los diferentes ácidos grasos se encuentran presentes en gramíneas pueden estar genéticamente determinadas, no existen antecedentes de progresos logrados por selección.

LA PRODUCCIÓN DE SEMILLA

La liberación de cultivares con elevada producción de semilla y a precios competitivos para los productores es crítica para el éxito de los programas de mejoramiento genético.

Existen numerosos ejemplos de fracasos comerciales en la producción de cultivares con mala producción de semilla, independientemente de la producción y calidad del forraje. Este requerimiento económico de la producción de semilla ha impactado en especies forrajeras con bajos rendimientos de semilla y en mercados relativamente pequeños. Algunos países no tienen una industria semillera competitiva debido a razones climáticas o geográficas y son altamente dependientes de la producción de otros países.

El rendimiento de semilla es definido por diversos factores, entre ellos la fecha de floración, la fecha de cosecha, la resistencia a roya, la respuesta a fungicidas y la respuesta a reguladores de crecimiento. Tanto los

aspectos genéticos como el manejo del cultivo deben ser factores de alta importancia para asegurar el éxito en la producción de semillas. En Argentina, mejorar el rendimiento ha sido un objetivo central de los programas de selección y los avances han sido notorios.

LA APLICACIÓN DE LA BIOTECNOLOGÍA EN EL MEJORAMIENTO

El mejoramiento genético convencional de cultivos agronómicos se basa en la utilización de la variabilidad genética natural presente en diferentes ecotipos o creada a través de la recombinación sexual. En forma complementaria, la biotecnología aplicada a los cultivos permite un empleo más eficiente de la variabilidad genética existente, por medio de la identificación de los materiales más apropiados para integrar programas de mejoramiento genético convencional. Asimismo, existen herramientas biotecnológicas que posibilitan la generación de nueva variabilidad: identifican genes responsables de caracteres deseados y amplían, hasta otras especies, la fuente de genes disponibles para el desarrollo de nuevos cultivares, al atravesar los límites que presenta el cruzamiento sexual.

Diferentes herramientas biotecnológicas pueden contribuir a la generación de nuevos cultivares de especies forrajeras. Sin embargo, cabe mencionar que estas herramientas cobran importancia no solo en el desarrollo de productos comerciales, sino también en una iterativa construcción de conocimiento.

Entre estas técnicas de laboratorio se encuentran:

a) El cultivo *in vitro*

La regeneración de plantas a partir del cultivo *in vitro* de células, tejidos u órganos es posible para numerosas especies forrajeras de importancia económica, entre las que podemos mencionar festuca alta, raigrás, agropiro, cebadilla y alfalfa. Este grupo de técnicas brinda la posibilidad de efectuar propagaciones clonales, conservar germoplasma *in vitro* e inducir la expresión de variabilidad genética. Además, estos sistemas de regeneración de plantas representan una base experimental adecuada para llevar a cabo manipulaciones genéticas a nivel celular facilitando procedimientos como, por ejemplo, la producción de plantas transgénicas, la cual basa su metodología en la regeneración de un planta genéticamente homogénea a partir de una única célula ingenierizada.

b) Los marcadores moleculares

La naturaleza alógama de la mayoría de las especies forrajeras más importantes limita los análisis necesarios para determinar el nivel de variabilidad dentro de y entre poblaciones naturales y sintéticas. Debido a que los cultivares forrajeros son poblaciones sintéticas que muestran una alta heterogeneidad genética, la posibilidad de distinguir dos poblaciones depende de la comparación de variabilidad entre las poblaciones y dentro de ellas. Para esto, a la observación fenotípica de los caracteres y el empleo de métodos enzimáticos, se han sumado, en los últimos años, análisis sobre las secuencias del DNA, como los polimorfismos amplificados al azar (RAPD), en fragmentos de restricción (RFLP), en el largo de los fragmentos amplificados (AFLP) y en las secuencias simples repetidas (SSRP); técnicas más directas y predictivas que contribuyen sensiblemente a la caracterización de las variedades.

El desarrollo y la aplicación de varios sistemas de marcadores y la construcción de mapas de recombinación detallados permiten avanzar en el conocimiento del control genético de caracteres fenotípicos y en la identificación de individuos superiores. También hacen posible aumentar la eficiencia de la selección, el entendimiento y la obtención de heterosis, avanzar en el conocimiento de la interacción genotipo-ambiente, llevar a cabo programas de mejoramiento asistidos por marcadores y complementar la identificación de cultivares, entre otros beneficios.

Recientemente, estos métodos se han extendido al análisis de las poblaciones de hongos endofíticos presentes en festuca y *Lolium* con el objeto de identificar aislamientos que, conservando su aporte benéfico al cultivo hospedador, no produzcan las toxinas que afectan a los animales que los consumen y a las leguminosas consociadas.

c) La genómica

Este conjunto de tecnologías moleculares persigue la obtención de información estructural y funcional de genomas y transcriptomas completos, con el propósito de construir una visión amplia de los procesos biológicos. Así, permite la identificación de genes y el conocimiento de sus funciones y regulaciones. La construcción de este conocimiento en el área vegetal permite su ulterior transferencia hacia la creación de nuevos germo-

plasmas a través de diferentes estrategias. Esto puede suceder por el empleo de nuevos genes o de secuencias regulatorias identificados por medio de transformación genética con el objeto de crear nueva variabilidad no disponible naturalmente. Asimismo, la información recogida puede colaborar en un diseño racional de variedades por el empleo dirigido de marcadores funcionales de DNA generados para monitorear y explotar la variabilidad genética preexistente.

Los proyectos genómicos requieren de una importante inversión económica, por lo cual son, generalmente, el producto de un esfuerzo concertado entre varias instituciones, las que suelen abrir la información generada a la comunidad científica internacional vía Internet.

Recientemente, se han descifrado en forma completa los genomas de *Arabidopsis thaliana* y arroz, y mucha de la información producida se convierte en insumo para el mejoramiento de otros cultivos. Además, se ha avanzado en proyectos equivalentes en plantas modelo para las forrajeras leguminosas, como lo son *Lotus japonicus* y *Medicago truncatula*.

d) La transgénesis

La ausencia de suficiente variabilidad genética natural en un cultivo, que permita responder, por medio del mejoramiento convencional, a las necesidades de los sistemas productivos, hace pertinente la introducción en su genoma de genes heterólogos, perfectamente caracterizados, cuya expresión puede colaborar en la adquisición de esa característica agronómica deseada. La disponibilidad de protocolos de cultivo *in vitro*, así como la puesta a punto de metodologías de transformación genética en algunas especies forrajeras, hace factible aplicar esta estrategia a este tipo de cultivos. Asimismo, las técnicas más utilizadas para incorporar el o los transgenes en la célula receptora son la transformación genética mediada por la bacteria *Agrobacterium tumefaciens*, para el caso de las leguminosas, y el bombardeo con microproyectiles cubiertos de DNA, para el caso de las gramíneas. Entre los caracteres que se busca incorporar a través de esta tecnología pueden mencionarse la resistencia a herbicidas, la resistencia a enfermedades o plagas y la calidad.

Es esperable que las biotecnologías mencionadas produzcan un impacto cualitativo en el mejoramiento de los cultivos forrajeros. Cabe señalar, sin embargo, la naturaleza complementaria de estas técnicas que, solo sumadas a los esfuerzos de mejoradores, fitopatólogos y especialistas en animales, conformarán el accionar multidisciplinario que se necesita para acelerar los desarrollos de variedades forrajeras competitivas.

ESCENARIO COMERCIAL EN PASTURAS TRANSGÉNICAS

Es notorio que, hasta el presente, se hayan liberado muy pocos cultivares comerciales transgénicos de especies forrajeras en el mundo. Recientemente, la Agencia Norteamericana de Protección Ambiental (EPA) concedió el estatus de *desregulado* a dos eventos de alfalfa con resistencia al herbicida glifosato, desarrollados en forma conjunta por las firmas Monsanto y Forage Genetics de Estados Unidos. Esta situación permite prever la llegada de este material a los mercados en forma inminente. Otro desarrollo técnicamente exitoso de una pastura obtenida por transgénesis, como el caso del *creeping bentgrass* (*Agrostis stolonifera*) con resistencia al glifosato por parte de Monsanto, enfrenta cuestionamientos regulatorios referidos al alcance de la dispersión del polen y su impacto sobre poblaciones naturales vecinas de esa especie.

Este escenario contrasta con el caso de los cultivos de cosecha, cuyo primer producto comercial transgénico data del año 1996. De un modo amplio, existen varias razones para explicar el retraso mencionado en el acceso al mercado de especies forrajeras transgénicas. Entre esas razones se pueden mencionar:

i) Tecnologías especie-específicas. El desarrollo de protocolos eficientes de transformación genética requiere de una optimización para cada especie en particular. Por ello, la tecnología se desarrolló primero para cultivos de cosecha, ya que los mercados de semilla de especies forrajeras son relativamente pequeños, lo cual los hace menos atractivos para el sector privado y dificulta el acceso a tecnologías costosas.

ii) Mejoramiento genético complejo. Debe considerarse que el germoplasma transgénico es posteriormente incorporado al proceso de mejoramiento genético convencional. En este contexto, el hecho de que los cultivares de forrajeras con frecuencia sean genéticamente heterogéneos constituye una dificultad adicional, dado que es necesario seleccionar, durante el proceso de síntesis del cultivar, la progenie que contiene los transgenes.

iii) Percepción subvaluada. A diferencia de lo que ocurre con los cultivos de cosecha, existe una percepción generalizada de que las plantas forrajeras constituyen un insumo relativamente menor de un sistema productivo más complejo. De igual forma, cabe señalar la existencia de nichos comerciales con tanta potencialidad

comercial como el forraje, como el caso de las gramíneas para césped, que constituyen, por ejemplo, el segundo mercado de semillas de Estados Unidos.

iv) *Manejo complejo*. El uso de pasturas consociadas puede añadirle una complejidad mayor al sistema de producción. Este aspecto es fácilmente visualizable si consideramos el caso de una forrajera con un transgén que le confiere resistencia específica a un herbicida, el cual puede afectar a la especie acompañante.

BIOTECNOLOGÍA DE PASTURAS EN LA ARGENTINA

En general, la biotecnología aplicada a los cultivos ha mostrado ser una poderosa herramienta para la adquisición de conocimiento sobre los aspectos básicos de la genética, los mecanismos regulatorios de la expresión génica y sobre la relación, estructura y función de numerosos genes de interés. Asimismo, la información básica generada se convierte en un insumo crítico para el desarrollo de proyectos aplicados a la obtención de germoplasma de interés comercial, que permiten enfrentar problemas de difícil resolución por medio del mejoramiento convencional. Cabe destacar que la aplicación de esta tecnología a nivel nacional puede dar respuesta, además, a limitaciones propias de nuestros sistemas productivos que, por cuestiones estratégicas o de escala, pueden no ser adecuadamente atendidas por empresas con intereses internacionales. A modo de ejemplo, el importante incremento de las áreas de nuestro país sembradas con soja crea un nuevo escenario cuya consecuencia es el desplazamiento de la ganadería a zonas marginales. Este fenómeno implica un fuerte requerimiento de mejoramiento genético de especies forrajeras orientado hacia este objetivo. Del mismo modo, en zonas agrícolas es necesario disponer de pasturas más productivas que puedan competir económicamente con cultivos de cosecha. Frente a estas necesidades, las herramientas biotecnológicas ya muestran un estado de madurez en nuestro país como para comenzar a hacer su aporte.

En relación con la producción de plantas transgénicas, sin embargo, cabe mencionar que, resuelto el plano técnico, otros aspectos no menos gravitantes deben ser considerados en la planificación de cualquier proyecto de desarrollo que involucre esta tecnología. Entre ellos, la naturaleza apropiable de sus productos impone un escenario de limitaciones y oportunidades que debe ser abordado con un exhaustivo análisis de propiedad intelectual nacional y/o internacional por parte de especialistas en la materia.

En el plano económico, el análisis de factibilidad de este tipo de proyectos debe contener elementos que no son habituales en los análisis *ex ante* de desarrollo de cultivares por métodos convencionales. Así, no puede soslayarse el componente referido a estudios de bioseguridad del material obtenido que las normativas regulatorias les imponen para acceder a los mercados. Estos análisis requieren de una inversión considerable que puede, en algunos casos, superar toda la efectuada para la obtención del material.

Finalmente, un aspecto que merece ser atendido es el de la percepción pública. Si bien los productores agrícolas de nuestro país han adoptado aceleradamente los materiales de base biotecnológica que el mercado les ofreció y, en general, el consumidor no se mostró refractario a sus productos, la irrupción de toda nueva tecnología de alto impacto debe estar acompañada de una tarea de comunicación que permita una decisión informada por parte de los usuarios y consumidores. En esta tarea no pueden quedar exceptuadas las instituciones del Estado de manera que se asegure la divulgación de información objetiva.

LOS NUEVOS DESAFÍOS

A nivel mundial, el futuro requerirá del desarrollo de cultivares forrajeros para superar los siguientes aspectos globales: (i) un clima muy inestable e impredecible; (ii) una creciente población mundial que requiere una dieta enriquecida en productos animales; (iii) un aumento de las actividades humanas con impacto ambiental negativo. Estas tendencias ofrecen desafíos y oportunidades a los genetistas y mejoradores para desarrollar cultivares que sean productivos, muestren resiliencia al cambio climático y tengan un efecto positivo en el ambiente. La interdisciplinariedad y las acciones interinstitucionales serán aspectos centrales para avanzar en estos objetivos.

Adriana Andrés es ingeniera agrónoma por la UNLP; MSc en Genética Vegetal por la UNR y PhD por Reading University, Reino Unido. Es directora de la Escuela de Ciencias Agrarias Naturales y Ambientales de la UNNOBA, profesora titular de Mejoramiento Genético de las carreras de Ingeniería Agronómica y Licenciatura en Genética de la UNNOBA. Es también coordinadora nacional del Proyecto Específico "Desarrollo de cultivares superiores de especies forrajeras para sistemas ganaderos y agrícola-ganaderos de la Argentina" del INTA.