

Nuevas orientaciones en los programas de **mejoramiento genético de cultivos y forrajeras** de INIA



Fernando Ortega K.
Ingeniero Agrónomo, Ph.D.
Coordinador de los Programas Nacionales de Cultivos y RRG INIA



María Teresa Pino Q.
Ingeniera Agrónoma, Ph.D.
Coordinadora del Programa Nacional Alimentos y Alimentación INIA



Luis Inostroza F.
Ingeniero Agrónomo, Dr.
Investigador INIA Quilamapu



El cambio climático requiere adecuaciones metodológicas, obligando a acelerar los procesos de selección y liberación de variedades mejor adaptadas a crecer y producir en los nuevos escenarios ambientales.

En las últimas cuatro décadas, los sistemas productivos de Chile han tenido importantes cambios, provocando un aumento considerable en los rendimientos promedio y calidad industrial, tema no menor cuando un 50% de los avances logrados en rendimiento son atribuidos al mejoramiento genético. En este contexto, los aportes de INIA son cuantiosos, generando más de 270 variedades de cultivos y forrajeras en su historia. No obstante, los sistemas productivos agropecuarios están enfrentando nuevos desafíos producto del cambio climático, lo que releva aún más la importancia del mejoramiento genético nacional, debiendo reorientar sus objetivos y metodologías de trabajo. Importante es mencionar que, dada la naturaleza del mejoramiento genético, los cambios de objetivos y metodologías que se tomen hoy, tendrán efecto aplicado (generación de nuevas variedades) en un horizonte mínimo de 10 años, lo que da mayor urgencia a la reorientación.

El cambio climático incide en la producción agrícola, alterando factores abióticos (humedad disponible, temperatura, radiación, concentración de CO₂, daño directo por fenómenos

climáticos como nieve, granizo y viento, entre otros) y bióticos (mayor presión de plagas y enfermedades). Estos factores determinan el ambiente de crecimiento de las especies cultivadas, lo que incide directamente sobre los procesos de crecimiento, desarrollo y, finalmente, productividad. En Chile, el cambio climático ha sido asociado a una mayor ocurrencia de eventos que afectan en forma negativa la producción agrícola, como eventos de sequía que restringen la productividad de cultivos y forrajeras. Sin embargo, el cambio climático también ofrece oportunidades para desarrollar cultivos nuevos en el país o en zonas geográficas donde antes no se podía (por ejemplo, el desplazamiento de la producción frutícola hacia el sur de Chile y del cultivo de trigo candeal más al sur).

Desde 2008, el Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) ha desarrollado estrategias

de adaptación y mitigación de los sistemas productivos al cambio climático. Éstas se han ejecutado con un enfoque integral, considerando adecuaciones de manejo agronómico (cambio en fechas de siembra, estrategias de riego, fertilización, uso de microorganismos endófitos, sistemas de alerta para enfermedades, entre otros) y mejoramiento genético para crear variedades con mayor tolerancia a estrés abiótico (principalmente hídrico y térmico) y biótico (resistencia a enfermedades y virus).

Los programas de mejoramiento genético utilizan distintas metodologías, de acuerdo a la naturaleza genética de la(s) característica(s) a mejorar (monogénica¹ o poligénica², heredabilidad); a la biología reproductiva de la especie (autógama³, alógama⁴, clonal⁵) y a la disponibilidad de variabilidad

¹ Monogénica: determinada por un único gen.

² Poligénica: carácter que se expresa por la acción de muchos genes.

³ Autógama: en botánica, modo de reproducción sexual consistente en la fusión de gametos femeninos y masculinos producidos por el mismo individuo.

⁴ Alógama: tipo de reproducción sexual en plantas consistente en la polinización cruzada y fecundación entre individuos diferentes.

⁵ Clonal: reproducido en forma vegetativa, para dar copias idénticas genéticamente.

genética para las características. Sin embargo, todos los programas tienen en común que deben caracterizar un alto número de poblaciones e individuos en varias generaciones. El factor tiempo es relevante, dado que liberar una nueva variedad puede tomar entre 10 a 15 años. El cambio climático requiere adecuaciones metodológicas; obliga a acelerar los procesos de selección y liberación de nuevas variedades adaptadas a crecer y producir en los nuevos escenarios ambientales.

Para esto, los programas de mejoramiento genético del INIA han debido complementar los métodos de mejoramiento genético convencional con técnicas de fenómica⁶ y genómica⁷, que permiten incrementar la eficiencia de los procesos de selección y lograr en un menor plazo llegar al objetivo final, que es poner a disposición de los agricultores las nuevas variedades con atributos deseados (FIGURA 1).

Las plantas responden al estrés abiótico mediante cambios en una serie de mecanismos de tipo molecular, fisiológico y morfológico, regulados por un alto número de genes (caracteres cuantitativos). La integración de la genética molecular con la fisiología, a través de herramientas que permiten caracterizar de forma más eficiente el material genético (mayor número de individuos en menor tiempo) está conduciendo a la identificación de regiones del genoma que controlan la expresión de la tolerancia a sequía o temperaturas. En las últimas décadas, el desarrollo de cultivares tolerantes a estrés abiótico, ya sea para sequía o temperaturas extremas, se ha abordado principalmente con tres estrategias:

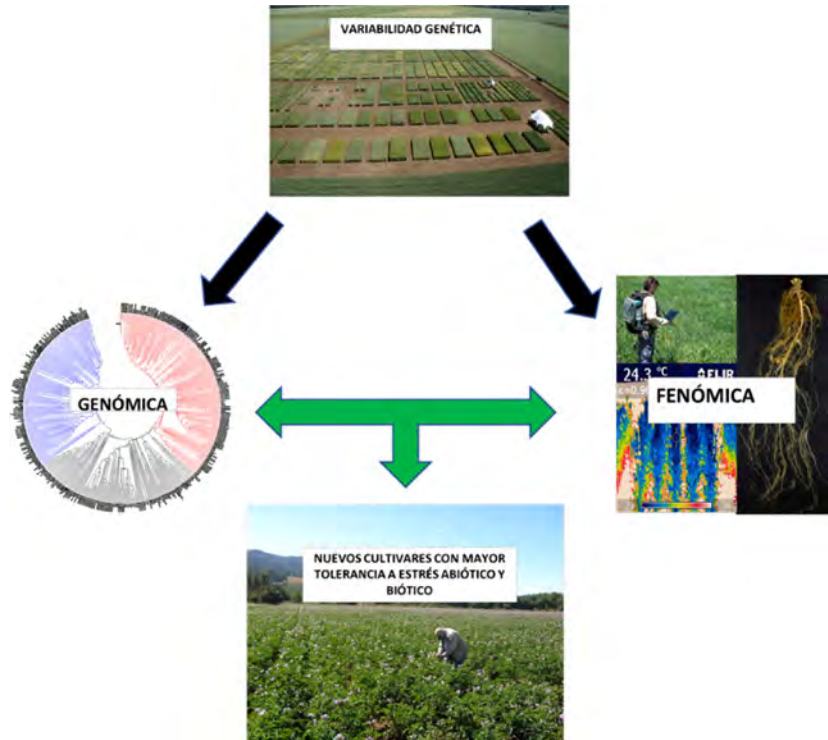


Figura 1. Esquema simplificado de mejoramiento genético que integra herramientas de genómica y fenómica (las imágenes son aporte conjunto de INIA Quilamapu, Universidad de Talca e INIA Uruguay).

- Identificación de los caracteres fenológicos⁸, morfológicos⁹ o fisiológicos¹⁰ que debido a su asociación con el rendimiento bajo condiciones de estrés, pueden ser utilizados como criterios de selección.
- La implementación de la selección asistida por marcadores moleculares, basada en la asociación entre caracteres fenotípicos que confieren tolerancia a estrés y las regiones del genoma que gobiernan la expresión de estos caracteres.
- El conocimiento de la función de genes mayores permite el

diseño de estrategias modernas de introgresión de genes al germoplasma elite. Por ejemplo, mediante técnicas de edición de genoma, hoy es posible introducir genes que controlan la pérdida de agua de la planta.

Las metodologías de caracterización fenotípica han evolucionado considerablemente en el último tiempo, gracias a una serie de innovaciones en cuanto a equipos nuevos más eficientes para evaluaciones fisiológicas, uso de imágenes multispectrales para analizar algunas características,

⁶ Fenómica: implica la medición, observación y análisis sistemático de todos los rasgos cualitativos y cuantitativos de interés de un organismo.

⁷ Genómica: rama de la Genética que se ocupa del mapeo, secuenciación y análisis de las funciones de genomas completos.

⁸ Fenología: estudio de las fechas en que comienzan las diferentes fases o estados del desarrollo de las plantas en función del ambiente y genotipo, como emergencia, floración, maduración y otros.

⁹ Caracteres morfológicos: aquellos que están relacionados con la estructura externa y forma de las plantas, es decir, los órganos que componen el cuerpo de la planta (hojas, tallos, raíces, etc.).

¹⁰ Caracteres fisiológicos son aquellos que consideran las funciones que realizan los organismos para vivir.

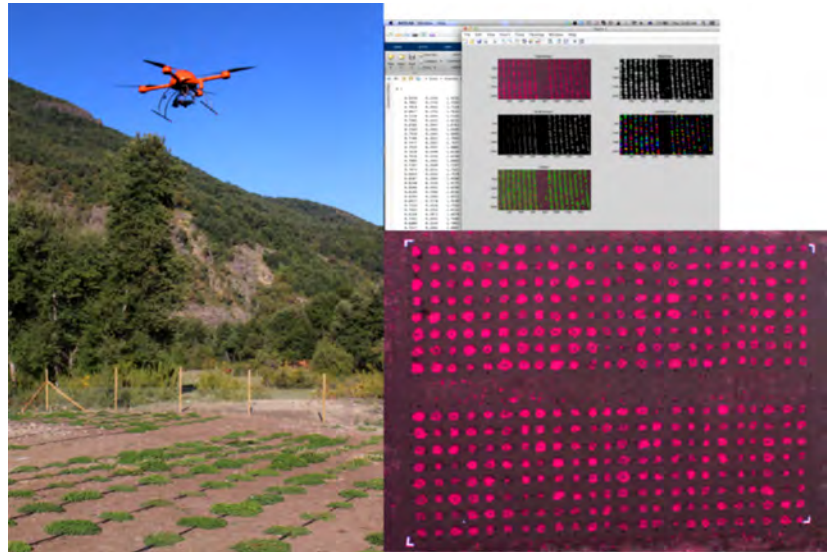
desarrollo de sensores para monitorear condiciones ambientales y desarrollo informático. El fenotipo moderno de alta eficiencia (*“High-throughput phenotyping”*) combina todas estas innovaciones para caracterizar un alto número de individuos en forma rápida y precisa. Por otro lado, la genómica avanza a pasos agigantados y considera distintas herramientas que van desde la identificación de genes candidatos, la secuenciación, tecnologías ómicas¹¹, hasta la edición génica. El mejoramiento moderno suma al mejoramiento convencional herramientas de la fenómica y genómica (FIGURA 1).

Desarrollo en INIA

Dado los nuevos escenarios, la mayor parte de los programas de mejoramiento de cultivos de INIA consideran distintas técnicas de fenotipo y genotipo para estrés abiótico y biótico. El fenotipo para adaptación a estrés hídrico se realiza en localidades contrastantes o en un sitio o ambiente controlado (cámara de crecimiento), pero generando condiciones contrastantes. En estos ensayos se evalúa el comportamiento agronómico, parámetros fisiológicos y morfología de raíces para buscar caracteres asociados a la adaptación a estrés hídrico.

Un ejemplo del uso de imágenes para fenotipar disponibilidad de forraje en un set de 2.000 plantas individuales de trébol blanco se muestra en la FIGURA 2. Una vez que el sistema fue optimizado, en cinco minutos de vuelo de un dron con cámara multiespectral y posterior interpretación se evaluó lo que por métodos convencionales toma días.

Gracias a un proyecto de FONTAGRO, el programa de mejoramiento de trigo realizó un importante trabajo entre 2010-2014, donde evaluó la tolerancia a sequía



➤ **Figura 2.** Fenotipo para estimar disponibilidad de forraje en trébol blanco utilizando imágenes (Fuente: INIA).

de 384 accesiones en ambientes contrastantes (riego versus seco). Con herramientas fisiológicas y genéticas se seleccionó germoplasma tolerante a sequía y, producto de ello, tres líneas genéticas están siendo actualmente evaluadas en distintas localidades para liberar un nuevo cultivar.

El cultivo de arroz en Chile tiene dos grandes desafíos en mejoramiento genético. Primero, es el cultivo con mayor requerimiento de agua, por lo que se está trabajando en los últimos años en el manejo agronómico y la selección de materiales que muestren buena capacidad productiva con menor cantidad de agua. Por otro lado, el área de cultivo de arroz en Chile es la más al sur del mundo, lo que determina que el período de crecimiento con temperaturas apropiadas sea inferior al de otros países. Por esto, se está seleccionando para acortar el período vegetativo (sin disminuir rendimiento) y para obtener materiales con mayor tolerancia a frío en la etapa de establecimiento y floración.

En papa, desde el año 2010 se ha trabajado con selección en función de índices de tolerancia a sequía y a líneas parentales con tolerancia a temperaturas extremas. Se ha utilizado un enfoque integrando evaluaciones fisiológicas, morfológicas e identificando genes asociados a tolerancia a estrés abiótico para aplicaciones moleculares. El trabajo desarrollado en ambientes contrastantes permitió seleccionar dos variedades con mayor tolerancia a estrés hídrico que están en proceso de escalamiento para ponerlas a disposición de los agricultores.

Por otro lado, el cambio climático ha potenciado la ocurrencia de virosis en cultivos —muy especialmente en papas—, determinada por la mayor presencia de vectores como áfidos y por el desarrollo de nuevas razas del virus. El uso de técnicas moleculares para detectar la presencia de genes de resistencia en los materiales de mejoramiento ha sido fundamental (FIGURA 3), sumado a estudios de la relación áfido-virus-planta.

Finalmente, en forrajeras INIA está trabajando con distintas especies buscando tolerancia a estrés abiótico. Tal es el caso del Bromo, gramínea nativa que permitió desarrollar las dos

¹¹ Las “ómicas” son las ciencias que permiten estudiar un gran número de moléculas, implicadas en el funcionamiento de un organismo.

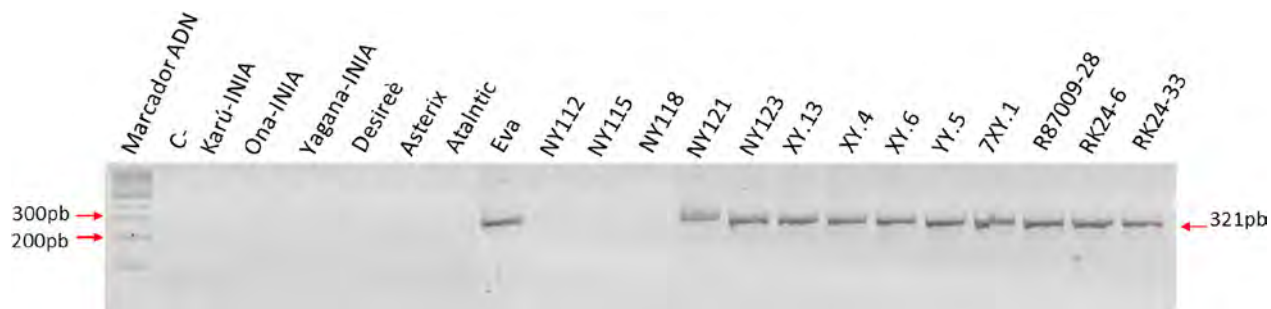


Figura 3. Marcador molecular Ry SC3 (321 pb), para identificación del gen Ryadg de resistencia al virus PVY en variedades y líneas experimentales de papa. (Fuente: INIA).

El cambio climático incide en la producción agrícola, alterando factores abióticos (humedad disponible, temperatura, radiación, concentración de CO₂, daño directo por fenómenos climáticos como nieve, granizo y viento, entre otros) y bióticos (mayor presión de plagas y enfermedades).

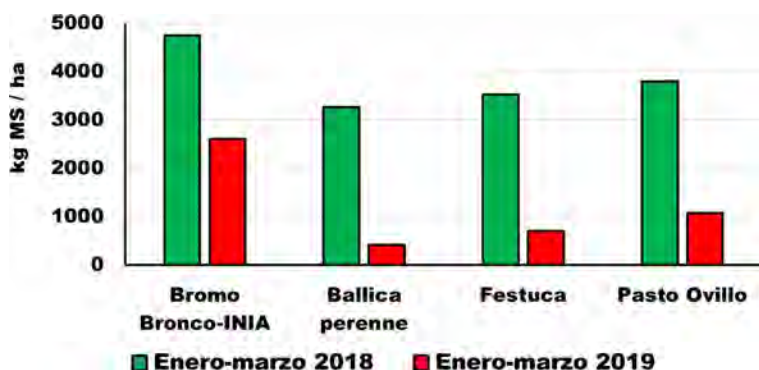


Figura 4. Rendimiento de Bromo y otras graminéas forrajeras manejadas sin riego en dos veranos secos y con altas temperaturas (INIA Carillanca, Vilcún). (Fuente: INIA).

primeras variedades: Bronco-INIA y Bromino-INIA. Éstas se comercializan en mezcla bajo el nombre de Póker INIA, caracterizada por su elevado potencial de rendimiento de forraje y persistencia productiva, junto con su mayor resistencia a estrés hídrico en comparación a otras graminéas (FIGURA 4). Otro ejemplo importante es alfalfa, especie leguminosa de amplia adaptación en Chile y con muy buena tolerancia a estrés hídrico. En esta especie se ha trabajado en la colecta e introducción de germoplasma desde ambientes áridos de Chile y del mundo. Hoy se evalúa con herramientas de fenotipo de alto rendimiento 70 poblaciones de alfalfas establecidas en condiciones de secano (Cauquenes, región del Maule). Adicionalmente, se han desarrollado poblaciones para la identificación de regiones del genoma que controlan la tolerancia a sequía.

En todos los trabajos ejecutados por INIA es importante destacar la colaboración científica que ocurre a escala nacional e internacional con otros centros de investigación y universidades. TA