

CULTIVOS



La mejora del arroz

El arroz en la Comunitat Valenciana es un cultivo emblemático de importancia tanto económica como sociológica y cultural. Su extensión alcanza aproximadamente 15.000 hectáreas, la mayor parte localizadas en el Parc Natural de l'Albufera, un espacio natural protegido donde el cultivo contribuye al mantenimiento de su hábitat. La producción de arroz en la Comunitat Valenciana asciende a 91.000 t (arroz cáscara) y mantiene una industria amplia que contribuye de manera positiva a la economía. El tipo de variedades que se cultivan está condicionado por el clima. En nuestro caso, el clima templado, con días largos en verano, determina el uso de variedades de tipo *japonica*. Adicionalmente, el arraigo cultural de los platos de arroz tradicionales define el tipo de grano que se consume y, por lo tanto, se cultiva, siendo este de tamaño medio y perlado.

Tanto el cultivo como el sector del arroz están sujetos a riesgos y factores fluctuantes que exigen cambios constantes.

En València, el clima suave mediterráneo, con veranos de días largos y calurosos, proporciona unas condiciones agroclimáticas excelentes para el cultivo del arroz. Además, las variedades que se cultivan poseen unas cualidades agronómicas buenas gracias, mayormente, a los programas de mejora desarrollados desde principios del siglo pasado. No obstante, tanto el cultivo como el sector asociado, incluidos los agricultores, están sujetos a riesgos y factores fluctuantes que exigen cambios constantes. Entre otros, el cultivo está expuesto a enfermedades y, además, tiene que adaptarse a futuras condiciones adversas previstas por el cambio climático. Asimismo, teniendo en cuenta los objetivos para los próximos años planteados por la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible relacionados con los desafíos ambientales, políticos y económicos, así como el Pacto Verde Europeo, el cultivo del arroz tiene que evolucionar hacia un sistema eficiente, rentable y sostenible con el medioambiente. Se trata de mantener un cultivo competitivo en un mercado globalizado para conseguir una mejora en el nivel de vida del agricultor, y mantener una agricultura sostenida que aumente el valor nutritivo de las plantas y esté en armonía con el medio ambiente.

Un agricultor replanta arroz en un campo de L'Albufera de València (foto: V. L. / Fundació Assut).

EL ESTADO ACTUAL DE LA INVESTIGACIÓN PARA LA MEJORA DE VARIEDADES

La mejora de variedades es una disciplina eficiente en términos del retorno de inversión, atiende a las demandas del sector y sus resultados son aplicables a medio plazo.



Arriba, ensayos con diferentes variedades de arroz (foto: IVIA).

Derecha, en la Comunitat Valenciana, el cultivo del arroz tiene implicaciones sociales y culturales más allá de su importancia económica (foto: V. L. / Fundació Assut).

La mejora de variedades es una disciplina eficiente en términos del retorno de inversión, atiende a las demandas del sector y sus resultados son aplicables a medio plazo. Para entender los programas de mejora de arroz hay que tener en cuenta la propia naturaleza de la planta y su adaptación a la zona de cultivo. El arroz se domesticó en una zona de clima tropical en Asia y, durante su expansión hacia el norte, hasta alcanzar regiones de clima templado, se originaron grupos varietales adaptados a las diferentes condiciones agroclimáticas, entre las que destaca el fotoperiodo específico de cada latitud. Es precisamente la sensibilidad al fotoperiodo una de las diferencias principales entre los dos grupos varietales de arroz más extendidos, *japonica* e *indica*, entre los cuales existe una gran divergencia genética y fisiológica. Las variedades de ambos grupos presentan un crecimiento pobre fuera de su entorno, y en algunos casos no alcanzan la floración. Desde el punto de vista de la mejora de variedades, la incorporación de variantes genéticas desde un subgrupo al otro, mediante cruzamientos, viene acompañada asimismo de la incorporación de características no deseadas y con poco interés para la zona. Además, en estos casos, la falta de sincronización de la floración dificulta enormemente los cruzamientos. Por otro lado, debido a la divergencia genética de ambos grupos, el desarrollo de marcadores moleculares asociados a caracteres agronómicos solamente es válido dentro de cada subgrupo. Por todos estos motivos, los programas de mejora suelen realizarse de manera local utilizando parentales adaptados a la zona.

Dada la importancia del arroz en la alimentación a escala mundial y las previsiones de crecimiento poblacional, sobre todo en países asiáticos, la inversión en investigación en arroz en el mundo, a todos los niveles, es inmensa. La secuencia del genoma, junto al desarrollo de técnicas genómicas e informáticas, ha permitido sacar a la luz factores genéticos responsables de caracteres agronómicos y han cambiado la manera de trabajar de los mejoradores. Hoy en día conocemos los genes responsables de los principales caracteres agronómicos de interés; entre ellos, los de resistencia a piricularia, las variantes de genes que confieren tolerancia a salinidad, y aquellos que perfilan la arquitectura de la planta, como la altura o el número de granos de las panículas.





Hoy en día conocemos los genes responsables de los principales caracteres agronómicos de interés: resistencia a piricularia, tolerancia a salinidad y sequía, arquitectura de la planta...

Arriba, la tradición gastronómica determina el tipo de arroz que se cultiva en la Comunitat Valenciana, habitualmente de grano perlado y de tamaño medio (foto: IVIA).

También podemos saber qué variedades los portan. La ultrasecuenciación del ADN, los tratamientos estadísticos y el uso de herramientas de manejo de datos masivos de genotipado y fenotipado, así como tecnologías ómicas, permiten analizar las bases genéticas de las características fisiológicas y morfológicas de las plantas, la identificación de variantes (alelos) de genes asociados a ella, y proveer de marcadores moleculares que facilitan la incorporación de las variantes de interés. Además, la caracterización de la diversidad genética del arroz con las herramientas genómicas desarrolladas recientemente ha permitido la generación de bases de datos con millones de variaciones en el genoma que permiten caracterizar genéticamente cualquier tipo de arroz existente. Todo ello facilita la identificación de parentales adecuados para la incorporación de alelos deseables en variedades élite mediante programas de cruzamientos de manera rápida y dirigida. Además, hace abordable la mejora de caracteres complejos.

Los recursos genéticos disponibles para la mejora de variedades son amplios. Existe una gran diversidad genética natural, con cientos de variedades diferentes. El cultivo se extiende por una gran parte del planeta, y la adaptación de las plantas a las condiciones agroclimáticas tan diferentes de los más de cien países donde se cultivan ha originado una gama amplia de variaciones en distintos aspectos de las plantas, tanto morfológicos como fisiológicos, así como en su interacción con patógenos o en su respuesta a estreses abióticos, como la sequía o la salinidad. Hoy en día es habitual el rastreo de los bancos de germoplasma en busca de parentales portadores de alelos naturales de genes responsables de caracteres de interés, aunque no estén adaptados a la zona de cultivo. Por otro lado, es posible generar nuevos recursos genéticos, tales como colecciones de mutantes o líneas de recombinación mediante cruzamientos entre dos o más parentales. Las poblaciones MAGIC —acrónimo del inglés Multi-parent Advanced Generation Inter-Cross populations— provienen del cruce de hasta 16 parentales y están constituidas por líneas recombinantes en las que se han producido combinaciones de tantos alelos como parentales y, por lo tanto, presentan una gran variación genotípica. Esta recombinación alta contrasta con las líneas derivadas de cruzamientos entre dos parentales, que solo pueden aportar dos alelos por gen. Las poblaciones MAGIC tienen un doble propósito: constituyen poblaciones para el estudio genético de caracteres agronómicos y, también, para el desarrollo directo e indirecto de variedades. Estas poblaciones se desarrollan de acuerdo con las necesidades de los programas de mejora particulares, al poder seleccionar los parentales según las características deseadas. También son mencionables las técnicas de edición genómica mediante el sistema CRISPR/Cas, recientemente desarrolladas, que permiten generar mutaciones de manera dirigida en el genoma de las plantas teniendo como diana los genes relacionados con caracteres de interés agronómico.

LA APORTACIÓN A LOS PROBLEMAS ACTUALES DEL CULTIVO

Las consecuencias del cambio climático auguran cambios desfavorables en las condiciones ambientales del cultivo. El ascenso del nivel del mar afectará a las zonas costeras, donde aumentará la salinidad del suelo y el peligro de intrusión de agua marina.

Las variedades deben adaptarse a las condiciones agroclimáticas cambiantes, que exigen nuevos tipos de plantas y marcan las pautas de los programas de mejora. Las previsiones del cambio climático auguran cambios muy desfavorables en las condiciones ambientales del cultivo. El ascenso del nivel del mar afectará a las zonas costeras aumentando la salinidad del suelo y el peligro de intrusión de agua marina. En España se prevén sequías que agravarán el problema al conllevar restricciones de agua. Los suelos de la zona de cultivo de arroz de la Comunitat Valenciana son salinos y con pH elevados. Esto se ve compensado por una calidad buena del agua de riego, que se realiza por inundación durante todo el cultivo. Por lo tanto, estas previsibles restricciones en el agua provocarán problemas de salinidad. Así, a escala mundial, como medida para hacer frente a la escasez de los recursos hídricos, se está implementando el cultivo con siembra en seco y riego intermitente por inundación. Esta práctica conlleva un considerable ahorro de agua, pero, máxime en terrenos salinos, exige la adaptación de las variedades a las condiciones de salinidad. En cierta medida, la mejora puede hacer frente a este problema mediante la generación de nuevas variedades tolerantes a la salinidad.

En cuanto a enfermedades, en la Comunitat Valenciana el patógeno más temido es el hongo *Magnaporthe oryzae*, también conocido como piricularia, que puede devastar campos en pocos días. Combatir la piriculariosis es una tarea difícil por tratarse de un carácter complejo y por la alta tasa de mutación del hongo, que burla fácilmente las defensas de la planta. Actualmente, se realizan tratamientos preventivos con fungicidas. La generación de plantas resistentes a piricularia es una demanda constante del sector, y constituye una prioridad en los programas de mejora tanto para prevenir la enfermedad como para reducir el uso de fitosanitarios, especialmente en parajes de ambiente protegido como las inmediaciones de L'Albufera.

El conocimiento actual sobre el arroz y la aplicación de las técnicas genómicas recientemente desarrolladas ofrecen la posibilidad de realizar programas de mejora orientados de una manera racional y dirigida hacia variedades más productivas y resistentes a enfermedades y condiciones adversas. Se trata de modernizar las variedades actuales y adaptarlas a las necesidades actuales del cultivo.

La mejora de variedades es una de las líneas de trabajo principales del Departamento del Arroz del IVIA. La variedad JSendra, en la imagen, es la más cultivada actualmente en España (foto: IVIA).



LAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN EN EL IVIA



El Departamento del Arroz del IVIA (Institut Valencià d'Investigacions Agràries) cuenta con más de un siglo de historia dedicado principalmente a la mejora de variedades de arroz, una de las líneas prioritarias del instituto. En todo este tiempo, en él se han desarrollado variedades emblemáticas como Bahía, Senia y JSendra, siendo esta última la más cultivada en la actualidad en toda España. Más recientes, las variedades Argila y Garbell presentan un rendimiento alto con una aportación moderada de abono nitrogenado. También, dentro del grupo de variedades con un contenido alto en amilosa y, por lo tanto, con una calidad culinaria especial, destacan las variedades Albufera y Regina, esta última con un grano grande y vistoso y la ventaja de tener una buena retrogradación tras la cocción y, por lo tanto, un buen reposo. Esta es una cualidad apreciada en la restauración y en la confección de platos preparados basados en el arroz. Como variedades con características especiales, Lluent y Lanceta presentan grano largo y aromático. Los objetivos de la mejora en el Departamento del Arroz vienen marcados por las necesidades del sector arrocero de la Comunitat Valenciana y por las condiciones de protección ambiental del entorno de los arrozales, así como por las consecuencias del cambio climático. El cultivo del arroz tiene que evolucionar hacia un sistema eficiente, rentable y sostenible con el medioambiente. El propósito es generar nuevas variedades de arroz que sean productivas, tanto en condiciones favorables como adversas, y permitan un cultivo más sostenible.

Actualmente, en el Departamento realizamos mejora genética dirigida mediante un diseño racional de la planta de arroz, incorporando las características adecuadas para que la planta muestre su máximo potencial en las condiciones agroclimáticas de la Comunitat Valenciana. Para ello partimos de variedades locales, ya adaptadas, que requieren una mejora en características específicas según la necesidad del momento. De esta manera, incorporamos variantes de genes de rendimiento alto, de tolerancia a salinidad y de genes de resistencia a piricularia efectivos en la Comunitat Valenciana. También llevamos a cabo un programa de mutaciones dirigidas mediante edición genómica utilizando el sistema CRISPR-Cas, que permite producir mutaciones en genes diana relacionados con un mayor rendimiento, resistencia a piricularia y tolerancia a sequía.

Para identificar los parentales que aporten ventajas añadidas a nuestras variedades locales, hacemos uso de la diversidad genética del arroz, estudiando a nivel fisiológico y genético variedades de diferentes países de clima templado, similar al de Europa. Disponemos de una colección de más de doscientas variedades que hemos caracterizado genéticamente, identificando qué variaciones favorables se presentan en los genes relacionados con los caracteres agronómicos de interés y facilitando así la elección de parentales para los nuevos cruzamientos. También disponemos de una población MAGIC que hemos desarrollado según los objetivos de mejora en la Comunitat Valenciana al seleccionar los parentales de acuerdo a las características de la calidad del grano, el rendimiento, la tolerancia a salinidad y sequía y la resistencia a piricularia. La caracterización morfológica y fisiológica de estas líneas, junto a sus perfiles genéticos, nos permite identificar los genes responsables de estos caracteres. Finalmente, disponemos de líneas de mejora avanzada que presentan mayor rendimiento que la variedad parental con mayor resistencia a piricularia, y líneas que han sido seleccionadas en campos salinizados y que en estos momentos están en la fase de experimentación para comprobar su capacidad productiva frente a concentraciones altas de sal, sin que ello altere otros aspectos, como la calidad del grano.

OBJETIVOS DEL DEPARTAMENTO DEL ARROZ DEL IVIA



- AUMENTAR EL RENDIMIENTO DE LAS PLANTAS.
- AUMENTAR LA RESISTENCIA A PIRICULARIA.
- REDUCIR EL USO DE FITOSANITARIOS.
- DISMINUIR LA NECESIDAD DE FERTILIZANTES.
- HACER FRENTE A ESTRESSES ABIÓTICOS PROVOCADOS POR EL CAMBIO CLIMÁTICO: SALINIDAD Y SEQUÍA.

>Autoras del artículo

Concha Domingo y Julia García Romeral
Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA). Unidad del Arroz.
Centro de Genómica.
domingo_concar@gva.es