

ORIGEN Y CARACTERÍSTICAS DE LA DIVERSIDAD GENÉTICA DEL ARROZ EN MÉXICO

ORIGIN AND CHARACTERISTICS OF THE GENETIC DIVERSITY OF RICE IN MEXICO

Leonardo Hernández-Aragón¹, Leticia Tavitas-Fuentes^{1*}, Juan Carlos Álvarez-Hernández² y Micaela de la O-Olán³

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), Campo Experimental Zacatepec, Zacatepec, Morelos, México. ²INIFAP, Campo Experimental Valle de Apatzingán, Antúnez, Parácuaro, Michoacán, México. ³INIFAP, Campo Experimental Valle de México, Coatlínchán, Texcoco, Estado de México, México.

*Autora de correspondencia (tavitas.leticia@inifap.gob.mx)

RESUMEN

El género *Oryza* cuenta con 21 especies identificadas, de las cuales 19 son silvestres y sólo dos son cultivadas: el arroz asiático (*Oryza sativa* L.) y el arroz africano (*Oryza glaberrima* Steud.). De acuerdo con las regiones y climas donde *O. sativa* se domesticó, esta especie se diferenció en tres subespecies o razas geográficas: *indica*, que es el arroz tropical, cuyas plantas originales eran altas y su grano es largo y cristalino; *japonica* es el arroz de las áreas templadas, con plantas de altura intermedia, granos cortos, redondos y glutinosos, y *javanica*, a la cual pertenecen los arroces de tipo intermedio, tanto por el tipo de planta como por la forma, tamaño y textura del grano; a esta raza también se le considera como una transición entre *indica* y *japonica*. La especie *O. sativa* actualmente se cultiva con un gran número de variedades en casi todo el mundo, de ahí el requerimiento de su resguardo para la conservación de la diversidad genética con fines de utilización en el desarrollo de nuevas variedades con alto rendimiento, resistencia a plagas y enfermedades, con buena calidad del grano, y que coadyuven a contrarrestar los efectos del cambio climático. El objetivo del presente documento es realizar una descripción del acervo genético que alberga el banco nacional de germoplasma de arroz (BNGA), el cual fue establecido en 1993 por el INIFAP y discutir la dinámica de este valioso recurso fitogenético. Este banco cuenta en la actualidad con 2940 accesiones, de las cuales se han proporcionado 2525 genotipos al programa de mejora genética del arroz y de otras áreas de investigación sobre el arroz del INIFAP, donde se ha generado la mayoría de las variedades que los productores mexicanos cultivan desde la década de los 1990s del siglo pasado y hasta la fecha; además, el BNGA proporciona germoplasma de calidad a otras instituciones de investigación y de enseñanza superior, tanto de México como de otros países.

Palabras clave: acervo y utilización, arroz, colectas, germoplasma.

SUMMARY

The genus *Oryza* has 21 identified species, of which 19 are wild and only two are cultivated: Asian rice (*Oryza sativa* L.) and African rice (*Oryza glaberrima* Steud.). According to the regions and climates where *O. sativa* L. was domesticated, it was differentiated into three subspecies or geographic races: *indica*, which is tropical rice, whose original plants were tall and its grain is long and crystalline; *japonica* is the rice of the temperate areas with plants of intermediate height, short, round and glutinous grains, and *javanica*, to which the rice of intermediate type belong, both for the type of plant and for the shape, size and texture of the grain; this race is also considered a transition between *indica* and *japonica*. The species *O. sativa* L. is currently cultivated

with a large number of varieties in almost all the world, hence the requirement of its protection for the conservation of genetic diversity for use in the development of new varieties with high yield, resistance to pests and diseases, with good grain quality, that help to counteract the effects of climate change. The objective of this document is to describe the gene pool that harbors the national rice germplasm bank (NRGB), which was established in 1993 by INIFAP, and to discuss the dynamics of this valuable plant genetic resource. This bank currently holds 2940 accessions, of which 2525 genotypes have been provided to the genetic improvement program of rice and other areas of research of INIFAP, where most of the varieties grown by Mexican producers have been generated since the 1990s to date; in addition, NRGB provides quality germplasm to other research and higher education institutions, both from Mexico and other countries.

Index words: accessions, collection and utilization, germplasm, rice.

INTRODUCCIÓN

El grano de arroz es el alimento básico de más de la mitad de la población del mundo. A nivel global, con respecto a superficie cosechada, este cultivo ocupa el segundo lugar después del trigo. En México, este cereal constituye uno de los cuatro granos básicos de la alimentación.

El propósito de disponer de fuentes valiosas de genes que coadyuven a la solución de los problemas actuales y futuros que limitan la producción, justifica el acopio y enriquecimiento de los bancos de germoplasma con la meta de lograr la soberanía alimentaria nacional (Tavitas, 2016). Así, desde 1993 en que fue establecido el banco nacional de germoplasma de arroz (BNGA) del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) a la fecha, éste se ha consolidado como una institución con actividades específicas de investigación sobre los recursos genéticos del arroz, las cuales en forma ortodoxa se ajustan a los lineamientos internacionales sobre la materia, que incluye el acopio, caracterización, conservación, documentación, intercambio y distribución de germoplasma.

El BNGA es un importante centro de apoyo a los programas de mejora genética que realiza el INIFAP; además, mediante acuerdos de intercambio y distribución de germoplasma con otros programas de investigación sobre arroz en otras partes del mundo, las funciones de esta unidad cumplen con los objetivos y metas previamente delineadas, que consisten en el abastecimiento de germoplasma con caracteres valiosos de interés agrícola e industrial para su uso en la constante generación de nuevos cultivares (Tavitas, 2016).

El acervo del BNGA es de 2940 accesiones, de las cuales, desde su creación el BNGA ha proporcionado 2525 accesiones a los programas de mejora genética y de otras disciplinas de investigación sobre el arroz del INIFAP, así como a otras instituciones de investigación o enseñanza superior de México. También se distribuyen variedades mejoradas que el INIFAP ha generado desde 1950, así como líneas uniformes desarrolladas por el programa de la mejora genética del INIFAP y por otras instituciones internacionales, incluyendo el Instituto Internacional de Investigaciones de Arroz (IRRI) de Filipinas, Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR).

Origen y domesticación

El género *Oryza* es el único importante de otros 14 grupos que se derivaron de la tribu de las Oriceas. Al género *Oryza* pertenecen 21 especies hasta ahora identificadas (Khush, 2000), de las cuales 19 son silvestres y sólo dos son cultivadas: el arroz asiático (*Oryza sativa* L.) y el arroz africano (*Oryza glaberrima* Steud.). La primera especie mencionada es descendiente directa de las especies silvestres *O. rufipogon* Griff y *O. nivara* Sharma et Shastry, que son de hábito perenne y anual, respectivamente.

Antes de la domesticación del arroz, hace unos siete mil años, ocurrió una hibridación introgresiva con otro zacate anual de la especie *O. spontanea* (Acevedo et al., 2006). A *O. sativa* L. pertenecen las variedades cultivadas en Asia, Europa y América. La segunda especie, *O. glaberrima* Steud., es una especie descendiente indirectamente de *O. longistaminata* Chev. y Roer, que es una especie perenne y descendiente directa de *O. barthii*. Ambas especies son silvestres, aunque la primera es perenne y la segunda anual, y antes de su domesticación también se efectuó una hibridación introgresiva con otro zacate anual de la especie *O. stapffi* Roschev.

A *O. glaberrima*, que es menos conocida, pertenecen algunas de las variedades cultivadas en África Tropical Occidental (Khush, 2000). De acuerdo con las regiones y climas donde *O. sativa* L. fue domesticada, ésta se diferenció

a su vez en tres subespecies o razas geográficas: *indica*, que es el arroz tropical, cuyas plantas fueron originalmente altas mientras que su grano es largo y cristalino; *japonica*, que es el arroz de las áreas templadas, con plantas de altura intermedia, granos cortos, redondos y glutinosos, y *javanica*, a la cual pertenecen los arroces de tipo intermedio (*indica-japonica*), tanto en tipo de planta como en forma, tamaño y textura del grano (Londo et al., 2006). La raza *javanica* también es considerada por muchos autores como una transición entre *indica* y *japonica*; mediante el análisis de la constitución alélica del locus de la izoenzima 15, se encontró que las variedades Javánicas y Japónicas pertenecen al mismo grupo varietal (Wang et al., 2013), razón por la cual actualmente a las variedades *javanica* también se les conoce como *japonicas* tropicales (Paredes et al., 2021).

Mejoramiento de germoplasma de arroz en México

El Campo Experimental Zacatepec del INIFAP, desde el año 1940, antes de la creación del BNGA, generó variedades de arroz para cultivos de riego por trasplante, como Jojutla Mejorado, Morelos A70, Morelos A92, Morelos A98, Morelos A2010 y Morelos A16; con excepción de las dos primeras, las cuatro restantes se caracterizan porque poseen los genes de semi-enanismo *sd-1* y *sd-2* para altura intermedia. Los rendimientos de las cinco últimas variedades son altos, ya que producen de 10 a 12 t ha⁻¹, mientras que sus granos se caracterizan por presentar longitudes mayores de 7.6 mm y una anchura de 2.2 mm, clasificándose como extra-largos y oblongos con 20 % de 'panza blanca' y por sus características culinarias a Morelos A92, Morelos A98 y Morelos A2010, que en 2012 se les otorgó la denominación de origen, considerándoseles como "el mejor arroz del mundo".

En el año 1963 el Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA) estableció el programa de mejora genética por cruzamientos en el Campo Experimental Valle de Culiacán, Sinaloa, donde se modificaron las características morfológicas y genéticas de las plantas para la obtención de líneas homocigóticas a través de la incorporación de los genes de paja corta *d37* y *d45*, habiéndose obtenido las primeras variedades resistentes al acame para riego por siembra directa en el trópico seco (Calderón y Frías, 2020), entre éstas, Sinaloa A68 y Navolato A71 (Aguirre et al., 2013). Posteriormente, entre 1973 y 1980, se estableció un programa colaborativo de fitomejoramiento entre el INIA y el Colegio Superior de Agricultura Tropical (CSAT) de H. Cárdenas, Tabasco, a través del cual se efectuaron diversas cruces para generar variedades de arroz de temporal, para ello fueron introducidos los genes *Pib* y *Pita* para resistencia a la 'quema del arroz' (*Pyricularia oryzae* Cav.). Este programa fructificó en la generación

de las primeras variedades temporales Campeche A80 y Cárdenas A80, resistentes a este patógeno (Hernández *et al.*, 2015). El INIFAP, a través de la mejora genética del arroz ha utilizado germoplasma local e internacional para combinar alto rendimiento, resistencia a enfermedades y buena calidad industrial del grano. Cabe mencionar que las primeras variedades obtenidas de arroz no cuentan con Título de Obtentor ante el SNICS (ejemplo: Campeche A80).

El objetivo del presente documento fue realizar una descripción del acervo genético que alberga el banco nacional de germoplasma de arroz (BNGA), con el fin de impulsar su utilización y discutir la dinámica de este valioso recurso fitogenético en México.

MATERIALES Y MÉTODOS

Con el propósito de coadyuvar en la conservación y utilización de los recursos genéticos de arroz, el INIFAP a través del Campo Experimental Zacatepec, en el año 1993 estableció el BNGA con la finalidad de integrar una gran diversidad de genes para que, a través de su aprovechamiento racional, se generaran nuevos cultivares con aceptables características de interés agrícola e industrial, e incluso con tolerancia a los efectos del cambio climático, los cuales están descritos en el presente documento con base en una revisión exhaustiva de los archivos históricos del BNGA y de literatura relacionada, que incluye los productos hasta ahora obtenidos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características de los grupos de germoplasma representados en el banco

Los trabajos de selección en estaciones experimentales han incrementado considerablemente la riqueza varietal. Generalmente, los métodos utilizados han sido la selección por línea pura, que ha permitido obtener cultivares superiores, mientras que la hibridación y posterior selección de líneas formadas a partir de poblaciones segregantes constituye el método moderno más usado para obtener nuevas variedades (León, 2000).

En la actualidad, el acervo del BNGA es de 2940 accesiones (Cuadro 1) todos con datos de pasaporte y caracterización morfológica. El acervo está integrado principalmente por materiales pertenecientes a la especie *O. sativa*, tanto Indicas como Japónicas, así como algunos genotipos generados por cruza interespecíficas entre *O. sativa* L. y *O. glaberrima* Steud., y dos accesiones de la especie silvestre *O. latifolia* Desv.

La descripción de los grupos del Cuadro 1, con sus características principales, se presenta a continuación:

Grupo de criollos de *O. sativa* L.

La mayoría fueron colectados en algunas áreas del sureste de México, donde se les ha cultivado en condiciones de temporal a través del sistema de roza, tumba y quema; se incluyen dos criollos llamados 'Macancillo' del estado de Guerrero, con glumas negras, uno con endospermo morado y el otro con endospermo blanco. Complementan este grupo algunas colectas de 'arroz Meco' efectuadas en el año 1945 en el estado de Morelos que dieron origen a la variedad Jojutla Mejorado, y en 1965 se realizaron otras colectas, de donde se obtuvieron las variedades Morelos A70 y Zapata A70, así como dos accesiones identificadas como IP-II-17-15-61-3-59 e IP-1-17-15-65-6-2, que fueron usadas en los primeros trabajos de la mejora genética del arroz en el Campo Experimental Zacatepec, Morelos. Además, en 1994 se efectuaron las colectas *in situ* de plantas de la variedad Morelos A70 en lotes de productores en diferentes municipios de la misma entidad, siendo ese año el último en que los productores morelenses la cultivaron (Tavitas y Hernández, 2004).

Variedades y líneas uniformes para riego por trasplante

Este grupo lo conforman los cultivares Jojutla Mejorado y Morelos A70, cuyas plantas son altas, susceptibles al acame, pero su grano es considerado como 'arroz de la mejor calidad' (Barrón, 2011; Reyna *et al.*, 2016). Las variedades Morelos A83, Morelos A88, Morelos A92 (Título de Obtentor 85) y Morelos A98, poseen moderada resistencia al acame, ya que se les incorporaron los genes de semi-enanismo *sd-1* y *sd-2*, y son resistentes al 'avanamiento del grano' causado por el hongo *Pyricularia oryzae* Cav. (Salcedo, 2006). El grano de la variedad Morelos A83 tiene una longitud de 6.6 mm y de 3.1 mm ancho, clasificándose como largo delgado cristalino tipo Sinaloa, mientras que las otras tres tienen granos extralargos, oblongos con 'panza blanca' grande. Con respecto a los granos de las variedades Morelos A06 (Título de Obtentor 647) y Morelos A08 (Título de Obtentor 853), en la primera es más oblongo y corto parecido, al arroz 'Risotto Italiano', y la segunda posee grano aromático; ambas variedades son de alto potencial y resistentes a *P. oryzae* Cav. Por su parte, Morelos A2010 (Título de Obtentor 968) fue generada para paja corta por mutagénesis a partir de Morelos A92, es de alto potencial de rendimiento y el grano y su calidad de la serie Morelos (Salcedo, 2010); y la variedad Morelos A2016 (Título de Obtentor 1744) posee características similares a las variedades de esta serie, pero es una semana más precoz que el resto del grupo (Barrios *et al.*, 2020). Complementan este grupo 60 líneas

Cuadro 1. Grupos representados en el banco de germoplasma de arroz y su número de accesiones.

Grupo de germoplasma del BNGA	No. accesiones
Criollos	141
Variedades y líneas uniformes para riego por trasplante	72
Variedades y líneas uniformes para siembra directa bajo riego	280
Variedades y líneas uniformes para temporal	79
Selecciones de Milagro Filipino	8
Grupo de líneas Miloax y Milver seleccionadas por línea pura	15
Genotipos de la raza <i>indica</i> con nuevo tipo de planta (NTP)	116
Genotipos de la raza <i>japonica</i> con nuevo tipo de planta (NTP) y variedades tradicionales	49
Arroz de grano aromático	53
Variedades con grano de alta calidad industrial internacional	11
Genotipos con tolerancia a frío	137
Arroces flotantes	2
Genotipos tolerantes a la sequía	18
Genotipos con estable nivel de resistencia a <i>Pyricularia oryzae</i> Cav.	10
Genotipos RHS	503
Nuevo Arroz de Temporal (NAT)	467
Genotipos producto de cruzas interespecíficas entre <i>O. sativa</i> y <i>O. glaberrima</i>	21
Genotipos de la especie <i>Oryza latifolia</i>	2
Genotipos del Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR)	494
Otro germoplasma procedente del Filipinas y Vietnam	462
Total	2940

uniformes generadas por diversos cruzamientos.

Variedades y líneas uniformes para siembra directa bajo riego

Se formaron 15 variedades de siembra directa bajo riego y 265 líneas uniformes. Para este sistema de cultivo fueron generadas las siguientes variedades: Sinaloa A68, que fue la pionera en América Latina para paja corta, a la que se le incorporaron los genes *d37* y *d45* para resistencia al acame y cosecha mecánica; le siguieron Navolato A71 y Culiacán A82 que poseen características similares a Sinaloa A68, pero con mejor calidad del grano, planta compacta, resistencia

a mancha café (*Helminthosporium oryzae* Breda de Haan) (Aguirre *et al.*, 2013), así como Juchitán A74 y Joachin A75, ambas con tolerancia a suelos alcalinos; Bamoa A75, Sinaloa A80, Humaya A92, Animas A97 (Título de Obtentor 47), Tomatlán A97, Sauta A 05 y Aztecas (Título de Obtentor 1447), que poseen resistencia a *P. oryzae*, alto potencial de rendimiento y amplia adaptabilidad, y recientemente, fueron generadas las variedades Tres Ríos A06 (Título de Obtentor 1794), Inflar R (Título de Obtentor 1794), Pacífico FL 15 (Título de Obtentor 723) y Golfo FL 16 (Título de Obtentor 1872), las cuatro variedades poseen moderada resistencia a la nueva enfermedad 'manchado del grano' causada por *Helminthosporium oryzae* en asociación con

otros patógenos, y además son resistentes al complejo sogata-VHB (Virus de la Hoja Blanca) transmitido por la chicharrita *Tagosodes orizicolus* Muir. (Hernández *et al.*, 2015; 2016; Tavitas y Hernández, 2004). Complementan este grupo otras 265 líneas uniformes con una amplia variabilidad genética.

Variedades y líneas uniformes para temporal

Estas variedades se usan con el propósito de aprovechar las lluvias que con mayores volúmenes ocurren en el sureste de México; sin embargo, debido a la alta humedad relativa de esa región, se presenta la proliferación de diversas enfermedades, entre éstas la quema del arroz (*Pyricularia oryzae* Cav.).

En la década de los 1970s y principios de los 1980s, fueron generadas por el método de cruas regresivas las variedades Macuspana A75, Campeche A80, Champotón A80 y Cárdenas A80 resistentes a la quema del arroz, para lo cual se usaron como progenitores donadores de resistencia a *P. oryzae* las variedades Tetep (de Vietnam) y Carreón (de Filipinas) portadoras de los genes *Pib* y *Pita*, respectivamente. Les siguieron Chetumal A86, Palizada A86, Huimanguillo A88 y Milagro Filipino Depurado (selección de IR8), las tres primeras fueron desarrolladas por el método de selección por pedigree, y poseen plasticidad de respuesta a la sequía y a suelos inundables y no inundables, y también son resistentes a *P. oryzae*. Posteriormente, en los años 1990s, fueron generadas Sureste A90, Cotaxtla A90, Loma Bonita A92, Sabanero A95, Temporalero A95 (Título de Obtentor 84) y Milagro Filipino Campechano (nueva selección de IR8), las primeras cinco también obtenidas mediante selección por pedigree. Las seis variedades poseen resistencia estable a *P. oryzae* y tolerancia a suelos ácidos, también ha sido generada por selección masal la variedad Choca A05 (Título de Obtentor 1160), con moderada tolerancia a la sequía y con resistencia al complejo sogata (VHB) (Virus de la Hoja Blanca) (*T. orizicolus* Muir.), así como El Silverio, obtenida por selección de línea pura de Milagro Filipino, que es tolerante a la sequía y resistente a *P. oryzae*, y además, el endospermo del grano posee 5 % de panza blanca" (*pbp*). También se generó la variedad Inflar RT (Título de Obtentor 1795) por selección masal estratificada, posee aceptable respuesta tanto en riego como en temporal, y últimamente mediante la combinación de los métodos masivo modificado y selección genealógica, fueron generadas las variedades Orona A17 (Título de Obtentor 2466), con tolerancia a la sequía y al calor, resistente al ácaro del vaneo (*S. spinki*), a la mancha café (*H. oryzae*) y la quema del arroz (*P. oryzae*), Tabasqueña A17 (Título de Obtentor 2613) con moderada tolerancia a la sumersión, resistente al ácaro del vaneo, a la mancha café (*H. oryzae*)

y a la quema del arroz (*P. oryzae*), su grano posee panza blanca pequeña (*pbp*), similar a Milagro Filipino, y se puede cultivar tanto en condiciones de temporal como de riego, y Veracruzana A21 (Título de Obtentor 3199), que también es resistente al ácaro del vaneo, al complejo grano manchado (*H. oryzae* en asociación con otros patógenos) y a la quema del arroz; esta variedad también posee grano con panza blanca pequeña (*pbp*) similar a El Silverio (Título de Obtentor 942), y también se puede cultivar tanto en condiciones de temporal como de riego (Hernández *et al.*, 2015; Tavitas, 2016). Complementan este grupo otras 60 líneas uniformes.

Selecciones de Milagro Filipino

Los genotipos de dicho grupo fueron colectados en algunos sitios de México. está constituido por ocho selecciones realizadas en los estados de Veracruz, Campeche y Morelos; sus plantas son similares a las de la variedad original Milagro Filipino (IR8), pero sus granos tienen el carácter panza blanca pequeña (*pbp*) como consecuencia de un posible cruzamiento espontaneo entre las variedades Milagro Filipino y Morelos A70 ocurrido entre los años 1970s y 1980s en el propio estado de Morelos. La línea IR8 (Original) es una accesión que fue introducida del IRRI al INIA en 1965; su planta es la típica de esta variedad original IR8, cuyo grano es delgado cristalino sin panza blanca (Esqueda, 2003).

Grupo de líneas Miloax y Milver seleccionadas por línea pura

Se integró un sub-grupo de ocho líneas Miloax que fueron seleccionadas en el área tropical del estado de Oaxaca, perteneciente a la Cuenca del Papaloapan, así como otro sub-grupo Milver que está integrado por siete líneas también seleccionadas en la Cuenca del Papaloapan, pero correspondiente al estado de Veracruz.

Ambos grupos se caracterizan por su tolerancia a la sequía y moderada resistencia a la quema del arroz (*P. oryzae*); sus plantas son similares a las de la variedad IR8 (Milagro Filipino) pero sus granos tienen el carácter panza blanca pequeña.

Genotipos de la raza *indica* con nuevo tipo de planta (NTP)

Este grupo está integrado por 116 líneas producto de cruzamientos efectuados en el IRRI entre progenitores selectos pertenecientes a las subespecies *indica* y *javanica*, con el objetivo de cambiar el tipo de planta con máximo de 10 tallos para incrementar el índice de cosecha a 60:40 (60 % de grano y 40 % de paja) en arroz de grano largo

simétrico translúcido con alto porcentaje de amilosa, con amplio espectro de resistencia a plagas y enfermedades y con grano de excelente calidad industrial. Estos genotipos fueron seleccionados por personal del INIFAP en los viveros de mejoramiento varietal de arroz *indica* (IIRBN) del IRRI a través del método de selección por panícula.

Genotipos de la raza *japonica* con nuevo tipo de planta (NTP) y variedades tradicionales

Este otro grupo lo integran 49 líneas producto de cruzamientos en el IRRI entre progenitores selectos pertenecientes a las subespecies *japonica* y *javanica*, también con el objetivo de mejorar el tipo de planta con máximo de 10 tallos para incrementar el índice de cosecha a 60:40 en arroz de grano corto translúcido con alto porcentaje de amilopectina, con aceptable espectro de resistencia a plagas y enfermedades y con grano de excelente calidad industrial. En forma similar, como el caso anterior, fueron seleccionados en los viveros de mejoramiento varietal (IIRBN) del IRRI, también por medio del método de selección por panícula.

Arroz de grano aromático

Este grupo, especial por el agradable aroma de su grano, está integrado por 53 cultivares, algunos provienen de la subespecie *indica* y otros de la *japonica*. Los arroces aromáticos más famosos son los Basmati que pertenecen a la subespecie *indica* y se cultivan entre los límites de India y Pakistán. También se cuenta con la variedad Jazmín procedente de los Estados Unidos y otros genotipos procedentes del IRRI y de Argentina. Entre las características más importantes, además de la fragancia de su grano, se encuentran sus diferentes tipos de planta, que van desde las tradicionales con plantas altas con pocos tallos y panículas largas pero con pocos granos y por eso sus rendimientos son bajos; no obstante, el gran atractivo de éstos consiste en su aroma agradable, similar al del jazmín, tanto de la planta en la fase de floración como del grano durante su cocción, debido a la concentración del compuesto químico 2-acetil etil pirrolina; algunos de estos genotipos como IR66611-6-5-1-5-1 e IR 67015-49-2-6-3, generados por el IRRI, así como H13-4-1-2-1, H13-4-1-2-1 y YERUA procedentes de Argentina, pertenecen a la subespecie *indica*.

Variedades con grano de alta calidad industrial internacional

Este grupo lo integran 11 accesiones, cuyos genotipos poseen buen tipo de planta, sus granos son largos, simétricos y cristalinos y por este carácter tienen gran

demanda en el mercado internacional. De este tipo de grano México importa el 80 % de la demanda nacional. Entre los cultivares de más renombre se tienen los siguientes: Adai, Bengal, Cypress, Milli-E, Palmar y Oryzica 1.

Genotipos con tolerancia a frío

Está integrado por 137 accesiones, de las cuales los cultivares Hongzhaosen, Kungen 4 y Racegycong pertenecen a la subespecie *japonica*, con sus granos cortos; así como Bazoka, Latsi-Ka 1414, Colonia Macías 10 e IR 25976-12-2-2-2-1-1; son de la sub-especie *indica*; sus granos son largos, medianos. Las plantas de ambos tipos poseen moderada tolerancia a bajas temperaturas y proceden de algunos países del norte de Asia, de la Cuenca del Mediterráneo en Europa y de la parte septentrional de América del Sur.

Arroces flotantes

A este grupo pertenecen solamente los siguientes dos genotipos: IR 11141-6-1-4 e IR 42436-266-3-2-3, que proceden de dos mutantes espontáneos detectados en Tailandia, *Banhen 68* y *Banhen 72* y de variedades como RD19 y Le Mue Nang 111. Las plantas se caracterizan por el alargamiento de los entrenudos de sus tallos en condiciones de inundación y tienen la particularidad de permanecer sumergidos durante su desarrollo vegetativo, pero al llegar a la etapa reproductiva las panículas emergen hacia arriba del nivel del agua para llevar a cabo las fases de floración y maduración del grano. Estos materiales fueron colectados *in situ* en la Estación Experimental de Arroz de Bangkok, Tailandia, por personal del INIFAP.

Genotipos tolerantes a la sequía

Grupo compuesto por 18 genotipos colectados por personal del INIFAP del programas de mejoramiento varietal del arroz de secano (IURBN) del IRRI, de los cuales los más importantes son: IR68815-12PMI-15UBN-2-2, IR10781-75-3-2-2-OPz-18Pz e IR2055-481-1Cu-OPz-15Pz), así como por dos genotipos (OS6 e IRAT 112) seleccionados *in situ* en la Estación Experimental de Arroz en Bouaké, Costa de Marfil (África Occidental) dependiente del Instituto para la Investigación Agrícola Tropical (IRAT) de Francia. Ambos grupos fueron seleccionados por su aceptable nivel de tolerancia a la sequía debido a que sus plantas poseen los mecanismos de escape, y tolerancia a sequía durante sus funciones metabólicas, por lo que minimizan los efectos de deficiencias de humedad del suelo y tienen la capacidad de recuperarse cuando ocurre un reabastecimiento de agua en el resto de su ciclo reproductivo.

Genotipos con estable nivel de resistencia a *Pyricularia oryzae* Cav.

Se dispone de 10 nuevos genotipos resistentes a *Pyricularia oryzae* Cav. generados por el IRRI, entre los cuales se encuentran IR68098-8-78-2-2-1-1-3-1 e IR70177-1-1-1-2-1-3. El IRRI, antes de privatizarse, permitió que en el Vivero Internacional de *Pyricularia* (IRBN) investigadores interesados, incluyendo personal del INIFAP, realizaran selecciones de líneas élite con niveles estables de resistencia a *Pyricularia*, a los que durante varios años de investigación se les había incorporado tanto los genes *Pib*, *Pita 1* y *Pita 2*, así como otros genes identificados recientemente, incluyendo *Pik*, *Pikm-1* y *Pikm-2*.

Este germoplasma actualmente se utiliza en los programas de mejoramiento para incorporar resistencia estable a este patógeno en los nuevos cultivares, ya que a través de variedades resistentes es como se ha logrado controlar esta enfermedad en forma eficiente, económica y sin contaminar el ambiente, tanto en México como en otros países arroceros del mundo.

Genotipos RHS

Este grupo está integrado por 503 materiales temporaleros generados por el INIFAP, en los cuales se han recombinado dos caracteres de primordial importancia en el arroz de temporal, resistencia estable a *Pyricularia oryzae* Cav., carácter biótico, y tolerancia a la sequía, carácter abiótico. Entre los genotipos RHS más importantes se encuentran RHS 974-12Za-7Za-A y RHS 928-4Za-3Za-5Za-C, así como otras 501 líneas uniformes identificadas con las siglas RHS.

Nuevo Arroz de Temporal (NAT)

El proyecto Desarrollo del Nuevo Arroz de Temporal (NAT) que recientemente concluyó tuvo el propósito de generar nuevas variedades temporaleras con capacidad de contrarrestar los efectos del cambio climático, que consisten principalmente en temperaturas excesivamente altas o bajas que propician mayor virulencia de las enfermedades existentes, así como períodos de sequía y ondas de calor durante el verano, e inundaciones abruptas en el otoño; por esta razón, el INIFAP realizó diversas cruas múltiples de donde se derivaron varias progenies de las cuales se generaron tres variedades NAT, denominadas Orona A-17, Tabasqueña A-17 y Veracruzana A21. El BNGA conserva los remanentes de este proyecto, consistentes en 464 líneas que reúnen genes con tolerancia a sequía y calor, así como a la sumersión causada por inundaciones abruptas, poseen aceptable nivel de rendimiento y buena calidad del grano de diferentes tipos y tamaños,

predominando granos medianos delgados con panza blanca pequeña y granos largos simétricos con endospermo translúcido; y como caracteres adicionales, estos materiales también poseen resistencia al ácaro del vaneó (*S. spinki* Smiley), a la quema del arroz (*P. oryzae* Cav.), así como a la nueva enfermedad manchado del grano (*H. oryzae* Breda de Haan) en asociación con otros patógenos.

Genotipos producto de cruas interespecíficas entre *O. sativa* L. y *O. glaberrima* Steud.

Como las especies *O. sativa* L. y *O. glaberrima* Steud. pertenecen al mismo Complejo Taxonómico I, fue posible que los fitomejoradores de la Asociación para el Desarrollo del Arroz en África Occidental (WARDA) con sede en Bouaké, Costa de Marfil pudieran cristalizar varios cruzamientos entre una y otra, ya fuera como *O. sativa* × *O. glaberrima*, o en forma recíproca: *O. glaberrima* × *O. sativa*, con el propósito de generar nuevos genotipos con amplio espectro de tolerancia a sequía y calor, en combinación con resistencia a *P. oryzae* Cav. Las plantas son rústicas con raíces largas, tallos gruesos y vigorosos, la altura es intermedia, de 100 cm, se caracterizan por sus diferentes tipos de grano, que varían desde largo color crema a otros con pericarpio rojo, carácter que se debe a *O. glaberrima*. Estos cultivares tienen buen potencial de rendimiento en condiciones de temporal errático. El grupo está integrado por 21 genotipos, y entre los más importantes están WAB 450-24-2-3-P33-HB, WAB 450-11-2-BLI-DR1 y WAB 450-16-2-BL1-DR2, así como otras 18 líneas uniformes.

Genotipos de la especie *Oryza latifolia* Desv.

Los dos genotipos de la especie silvestre *O. latifolia* Desv. fueron colectados en el estado de Veracruz, crecen en forma natural y son perennes. También se les encuentra en los estados de Tabasco, Guerrero y Colima, donde debido a la forma de sus panículas se le conoce como 'pata de gallina'.

Genotipos del Fondo Latinoamericano de Arroz de Riego (FLAR)

Este grupo está constituido por 494 accesiones de grano largo, cuyas principales características de planta y grano son de interés agrícola e industrial para cultivos bajo riego.

Otro germoplasma

Este último grupo está integrado por 441 genotipos, entre variedades y líneas uniformes del IRRI de Filipinas y 21 de Vietnam, cuyas principales características son alto potencial de rendimiento, tolerancia a suelos alcalinos y a

otros factores bióticos o abióticos. Destacan los genotipos IR36, IR56, IR64, KDML 39 y OM 1490.

Dinámica de la diversidad del arroz

Dentro de los grupos o subespecies de arroz se encuentran variedades muy similares en características morfológicas y fisiológicas. Algunos cultivares de una subespecie pueden crecer muy bien en ambientes típicos, pero suele ocurrir lo contrario en otros ambientes. El propósito del mejoramiento de arroz es generar cultivares de alto rendimiento, de producción temprana, con buena respuesta a la fertilización, tolerancia a sequía, al calor e inundación; así como resistencia al acame, al desgrane y a las enfermedades.

Los arroces varían en su porte, desde erectos y compactos con tipos de paja corta y paja intermedia hasta los tipos flotantes, que crecen y producen grano en la superficie el agua. Otro carácter determinante del porte es el ángulo que forman los macollos o brotes basales. Los tipos compactos y de paja corta son recesivos, pero los tipos originales fueron de gran altura, cuyo número de nudos por tallo constituía un carácter dominante y constante. El color de los entrenudos varía mucho entre los diferentes cultivares, desde verde uniforme hasta oscuro, habiendo también tallos lisos o glabros. La forma de la hoja también varía considerablemente, así como la pubescencia, siendo el carácter veloso dominante sobre el glabro. El color de las hojas, así como de otras partes de la planta varían, desde completamente verde claro hasta verde intenso uniforme. El color puede ocurrir en toda la hoja, o sólo en una de sus partes (vainas, cuello, aurícula, lígula o lámina) o en varias de ellas. La distribución del color se debe a la acción independiente o conjunta de varios genes de efecto pleiotrópico (Acevedo *et al.*, 2006; Bioversity International *et al.*, 2011).

La morfología y fenología de las plantas, y la forma, el tamaño y la calidad molinera y culinaria del grano son variables entre las diferentes variedades, y a través de la mejora genética se han generado los tipos de planta y grano acordes con los requerimientos de los productores y de la industria arrocera nacional; así, unos y otros disponen de cultivares de la serie Morelos, que poseen un tipo y calidad del grano especial, son de paja intermedia y de ciclo largo para su cultivo bajo riego en la depresión del Balsas (Morelos, sur del Estado de México y La Montaña de Guerrero) y centro del estado de Jalisco; de cultivares con grano con apariencia del tipo Morelos pero de menor tamaño como El Silverio, Orona A-17, Tabasqueña A-17 y Veracruzana A21, de ciclo intermedio a precoz, de paja corta con amplia respuesta en las áreas de riego y temporal en las vertientes del Pacífico (trópico seco) y del

Golfo (trópico húmedo), así como variedades de grano largo translúcido como Aztecas, Inflar R, Pacífico FL 15 y Golfo FL 16, de ciclo intermedio para cultivarse bajo riego también en las planicies de ambas vertientes de México (Hernández, 2016).

Todos los materiales se encuentran a disposición de los usuarios fitomejoradores. Para la ubicación de cada genotipo los usuarios se apoyan en un banco de datos, a través del cual en forma rápida y sencilla pueden identificar las características de cada uno. Se han distribuido diferentes materiales a varias instituciones de investigación o de enseñanza superior de México y de algunos países de América Latina.

CONCLUSIONES

En la actualidad, el acervo del BNGA es de 2940 accesiones, con amplia diversidad genética, de las cuales se han entregado desde su establecimiento, 2525 genotipos (85.8 %) a programas de investigación de arroz del INIFAP correspondientes a los diferentes sistemas de cultivo que han contribuido al desarrollo y liberación de nuevas variedades de este cereal en México. Este germoplasma se encuentra resguardado en el BNGA y está a disposición de los investigadores para que pueda ser utilizado en los programas de la mejora genética para la generación de variedades que coadyuven a contrarrestar los efectos del cambio climático.

BIBLIOGRAFÍA

- Acevedo A. M., W. Castrillo A. and U. Belmonte C. (2006) Rice origin, evolution and diversity. *Agronomía Tropical* 56:151-170.
- Aguirre A. E., J. J. Wong P., L. Tavitás F. y C. E. Bautista P. (2013) Aztecas, variedad de arroz de grano largo delgado para el sur de Tamaulipas. Folleto técnico No. MX-0-310301-52-03-14-09-31. Campo experimental Las Huastecas, INIFAP. Villa Cuauhtémoc, Tamaulipas, México. 31 p.
- Barrios G. E. J., L. Hernández A., L. Tavitás F., M. Hernández A. y J. Canul K. (2020) Morelos A2016: variedad de arroz de grano grueso. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 9:1547-1552, <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i7.680>
- Barrón C. E. (2011) Programa de Documentación de Casos de Éxito. Innovación para Aumentar la Productividad del Sistema Producto Arroz en Morelos. Unión de Sociedades de Producción Rural "Arroceros Oriente de Morelos". IICA-COFUPRO. México, D. F. 82 p.
- Bioversity International, IRRI y AfricaRice (2011) Descriptores para arroz silvestre e cultivado (*Oryza* spp.). Bioversity International. Roma, Italia; International Rice Research Institute, Los Baños, Filipinas; AfricaRice, Cotonou, Benin. 66 p.
- Calderón G. B. J. y E. Frías S. (2020) Auge y declive de la actividad arrocera en Sinaloa, México: 1960-2010. *Investigaciones Históricas, Época Moderna y Contemporánea* 40:701-732, <https://doi.org/10.24197/ihemc.40.2020.701-732>
- Esqueda E. V. A. (2003) Morfología y crecimiento de cuatro biotipos de arroz rojo y de la variedad Milagro Filipino. *Agricultura Técnica en México* 29:35-47.
- Hernández A. L. (2016) Situación actual del cultivo de arroz en México. In: El Arroz en México. Libro Técnico No. 14. L. Hernández-Aragón y L. Tavitás-Fuentes (eds.). Campo Experimental

- Zacatepec, INIFAP. Zacatepec, Morelos, México. pp:1-5.
- Hernández A. L., L. Tavitas F. y P. Alberto C. (2015)** Paquetes tecnológicos para el cultivo de arroz en México. Folleto Técnico No. 87. Campo Experimental Zacatepec, INIFAP. Zacatepec, Morelos, México. 29 p.
- Khush G. S. (2000)** Taxonomy and origin of rice. *In: Aromatic Rices*. R. K. Singh, U. S. Singh and G. S. Khush (eds.). Oxford & IBH Publishing Co. New Delhi, India. pp:5-13.
- León J. (2000)** Botánica de los Cultivos Tropicales. 3ª edición. Editorial Agroamérica-Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica. 522 p.
- Londo J. P., Y. C. Chiang, K. H. Hung, T. Y. Chiang and B. A. Schaal (2006)** Phylogeography of Asian wild rice, *Oryza rufipogon*, reveals multiple independent domestications of cultivated rice, *Oryza sativa*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103:9578-9583, <https://doi.org/10.1073/pnas.0603152103>
- Paredes C. M., V. Becerra V., P. Gepts y G. Donoso Ñ. (2021)** Origen del arroz. *In: 100 años del Cultivo de arroz en Chile en un Contexto Internacional 1920-2020*. Tomo 1. Libro INIA No. 40. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Chillán, Chile. pp:18-73.
- Reyna T. T. J., M. Vega L. y M. Gordillo O. (2016)** Producción y postproducción de arroz (*Oryza sativa* L.) en México y la importancia en la seguridad alimentaria. *In: Producción, Postproducción y Agrotecnias de Semillas, Hortalizas y Frutas*. Coadyuvantes en la Seguridad Alimentaria en México y Cuba. T. J. Reyna T., M. Vega L. y M. Gordillo O. (coords.). Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México. pp:66-90.
- Salcedo A. J. (2006)** Morelos A98, nueva variedad de arroz para Morelos y otros estados de la República. Folleto Técnico No. 21. Campo Experimental Zacatepec, INIFAP. Zacatepec, Morelos, México. 9 p.
- Salcedo A. J. (2010)** Morelos A2010 variedad de arroz para Morelos y otros estados de la República. Folleto Técnico No. 51. Campo Experimental Zacatepec, INIFAP. Zacatepec, Morelos, México. 7 p.
- Tavitas F. L. (2016)** Los recursos genéticos y su utilización. *In: El Arroz en México*. Libro Técnico No. 14. L. Hernández-Aragón y L. Tavitas-Fuentes (eds.). Campo Experimental Zacatepec, INIFAP. Zacatepec, Morelos, México. pp:28-57.
- Tavitas F. L. y L. Hernández A. (2004)** Los recursos genéticos de arroz y su utilización en México. Publicación Especial No. 40. Campo Experimental Zacatepec, INIFAP. Zacatepec, Morelos, México. 41 p.
- Wang M., Z. Zhu, L. Tan, F. Liu, Y. Fu, C. Sun and H. Cai (2013)** Complexity of *indica-japonica* varietal differentiation in Bangladesh rice landraces revealed by microsatellite markers. *Breeding Science* 63:227-232, <https://doi.org/10.1270/jsbbs.63.227>

