VARIEDADES Y MEJORA DEL ARROZ
(*Oryza sativa*, L.)

VARIEDADES Y MEJORA DEL ARROZ
(*Oryza sativa*, L.)

Josep Maria Franquet Bernis

Ingeniero Agrónomo, EUR-ING
Ingeniero Técnico en Explotaciones Agropecuarias
Dr. en Ciencias Económicas y Empresariales
Profesor asociado de la Universidad Internacional de Cataluña (UIC)
Profesor-tutor de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED)

Cinta Borràs Pàmies

Ingeniero Técnico Agrícola
Profesora de Enseñanza Secundaria

2004

Primera edición, abril de 2004

Edición realizada con el patrocinio de la Universidad Internacional de Cataluña y la Asociación de Ingenieros Agrónomos de Cataluña.

© Josep Maria Franquet i Bernis

ISBN: 84-930364-1-2

Depósito legal:

Imprime: **Copy*Rapid***, Tortosa.
Tel.: 977 44 33 97

Printed in Spain

La reproducción total o parcial de esta obra mediante cualquier procedimiento, ya sea reprografía o bien tratamiento informático, así como la distribución de ejemplares por medios de alquiler o préstamo, están rigurosamente prohibidos sin la autorización escrita de los autores y serán sometidos a las sanciones establecidas por la ley.

PRÓLOGO

De todos los cereales existentes o conocidos, el arroz (*Oryza sativa* L.) es, sin duda alguna, el que ofrece la posibilidad de llenar más rápidamente un déficit de producción agrícola para la alimentación del hombre y, junto con el trigo y la carne o el pescado, constituye la base de la alimentación humana. La historia nos ha demostrado, en efecto, cuánta consideración los hombres han tenido siempre por el arroz y por sus preciosas cualidades nutritivas.

El arroz es uno de los cultivos más antiguos. Se domesticó hace miles de años en Asia (aunque no hay unanimidad respecto el lugar ni el periodo, pero se han encontrado restos de unos 8.000 años de antigüedad en la China) y en África. Se extendió por China y por toda Asia 3.000 años antes de nuestra era. Europa oyó hablar del arroz a los escritores que acompañaron a Alejandro Magno ("el Grande") en la conquista de la India. A partir del siglo VIII se cultivó en España y Portugal y entre los siglos IX y X también en el sur de Italia.

Durante el último milenio se ha introducido progresivamente en el resto de los continentes. En los Estados Unidos se desarrolló a partir del trabajo de los esclavos negros venidos del oeste de África, que ya lo conocían. Esta circunstancia se produjo alrededor del año 1718. En el *New South Wales* (Australia) las primeras tentativas de cultivo de arroz se efectuaron en el año 1891.

Lo cierto es que cualquiera que fuese su tierra de origen, el arroz conquistó, en poco tiempo, a los hombres y mujeres de casi todos los países del mundo. De hecho, si el trigo se conocía como el alimento básico de la civilización occidental, el arroz se ha considerado del mismo modo de la oriental, aunque hoy en día este calificativo lo podemos extender también a escala mundial.

Como su propio nombre indica, el presente trabajo pretende la presentación razonada de la metodología precisa para la mejora y obtención de nuevas variedades de arroz cuyo cultivo sea de interés, primordialmente,

en el espacio geográfico de las zonas arroceras españolas, aunque también resulte aplicable a otras áreas de características edafoclimáticas similares. Como ejemplo de ellas, nos referiremos al delta del Ebro, lugar donde se han llevado a cabo buena parte de las experiencias que iremos desgranando a lo largo del presente libro. Pese a ello, también se presenta la problemática del arroz en diversas partes del mundo.

Pero ahora mismo se está abriendo todo un gran abanico de posibilidades para el futuro. Sin duda, el descubrimiento del secreto que encierran los genes es uno de los más importantes de la humanidad. Conociendo la secuencia completa del ADN se puede comenzar a estudiar la influencia que tienen los genes y modificar las expresiones génicas indeseables. La obtención del genoma del arroz ha conllevado descifrar toda la información genética de los doce cromosomas de la planta de arroz a principios del año 2001; se trata de un excelente trabajo si se tiene en cuenta que el genoma del arroz cuenta con unos 430 millones de códigos genéticos. Esto significa que, después del genoma humano, el arroz es el siguiente en tamaño que se ha podido descifrar hasta la fecha.

También en el marco limitado de estas reflexiones, queremos rendir tributo sincero de admiración y agradecimiento a los excelentes libros de texto, investigaciones y artículos técnicos, citados en la bibliografía y en los fondos documentales, sobre diversos temas relacionados con la mejora genética y otros aspectos referentes al comercio nacional y mundial del arroz, habiendo sido influidos notablemente, en nuestros estudios, por el brillante trabajo de sus autores.

Llegados, por fin, al ineludible capítulo de agradecimientos, debemos señalar que no olvidamos la formidable deuda de gratitud contraída con los que fueron nuestros guías y maestros, algunos de ellos ya desaparecidos. Nuestro reconocimiento, en fin, a la Universidad Internacional de Cataluña, a la Asociación de Ingenieros agrónomos de Cataluña, al impresor ***Copy-rapid***, a la empresa obtentora y seleccionadora Semillas Certificadas Castells, S.L. y, en general, a todos cuantos se han interesado por la publicación del presente libro, aportando sugerencias y valiosos consejos dirigidos a la mejor consecución de nuestro empeño.

Tortosa, febrero de 2004

LOS AUTORES

CAPÍTULO 1

- ALGUNAS IDEAS PREVIAS -

1. Introducción

En el mundo actual, es bien sabido que uno de los principales problemas es la falta de alimentos, fenómeno éste que ya fue advertido por el economista clásico inglés R. Malthus.

La producción de alimentos es altamente deficitaria en muchos países y será necesario incrementarla si se quieren satisfacer las necesidades mínimas de la creciente población. El hambre y la desnutrición son ya un hecho en las dos terceras partes del mundo y continúan extendiéndose, de manera que la brecha que separa los países desarrollados de los subdesarrollados crece alarmantemente.

En alimentación no sólo cuenta la cantidad, sino que también es fundamental la calidad. Las dietas deficientes de proteínas o con proteínas de mala calidad producen alteraciones irreversibles en los niños. La existencia de productos inhibidores enzimáticos en algunos vegetales comestibles puede producir diferentes enfermedades en el hombre o incluso en los animales domésticos. Estos hechos suceden principalmente en algunas áreas geográficas en las cuales la alimentación está basada en cereales (arroz, trigo, cebada, centeno, maíz, sorgo, mijo) con alto contenido de glúcidos o hidratos de carbono, suplementada ligeramente con proteínas vegetales procedentes de leguminosas (guisantes, vezas, yeros, altramuces, habas, fríjoles, judías, lentejas, garbanzos, etc.) y lípidos o grasas como los aceites de soja, colza o cacahuete.

Para mejorar la nutrición de dicha zona, se debe cultivar una mayor variedad de plantas, particularmente las que contienen importantes cantidades de proteínas y aceites útiles para la nutrición. Al mismo tiempo, un incremento en la producción de forrajes facilitará la cría de ganado para poder cubrir una mayor parte del alimento humano.

Incluso en los países desarrollados debe continuar aumentando la capacidad productiva de su agricultura para contribuir al alimento de toda la humanidad.

Se puede decir que los alimentos de origen orgánico provienen de los vegetales directamente, o bien indirectamente a través de los animales, que actúan como intermediarios del proceso. Por lo tanto, una alternativa válida a la situación actual de la calidad alimentaria y sus efectos sobre la salud humana (contenidos de colesterol y triglicéridos, niveles de ácido úrico, ...) sería la disminución en el abastecimiento de productos animales (prescindir de los intermediarios) y un incremento en la utilización de vegetales (principalmente cereales y leguminosas) con buena calidad alimentaria.

2. Presentación

Como su propio nombre indica, el presente trabajo pretende la presentación razonada de la metodología precisa para la mejora y obtención de nuevas variedades de arroz (*Oryza sativa* L.) cuyo cultivo sea de interés, primordialmente, en el espacio geográfico de las zonas arroceras españolas, aunque también resulte aplicable a otras áreas de características edafoclimáticas similares. Como ejemplo de ellas, realizaremos una descripción del delta del Ebro, lugar donde se han llevado a cabo buena parte de las experiencias que iremos desgranando a lo largo del presente libro. Todo ello se completa también con la descripción morfobotánica de la especie, sus técnicas de cultivo, su importancia económica y comercial a nivel nacional e internacional, la situación de la mejora varietal en los diferentes países productores del mundo, la

producción y certificación de semillas y, al cabo, la legislación más relevante de aplicación al respecto.

3. El origen del arroz

El cultivo del arroz comenzó hace casi 10.000 años, en muchas regiones húmedas de Asia tropical y subtropical. Posiblemente sea la India el país donde se cultivó por primera vez el arroz, debido a que en ella abundaban los arroces silvestres. Pero el desarrollo del cultivo tuvo lugar en China, desde sus tierras bajas a sus tierras altas. Probablemente hubo varias rutas por las cuales se introdujeron los arroces de Asia a otras partes del mundo.

Los últimos hallazgos arqueológicos en yacimientos de China han puesto al descubierto glumas de arroz que podrían datarse entre el 2750 y el 3280 antes de Cristo. Y hasta 3.500 años antes de Cristo en Thailandia. De este modo, la extendida creencia de que el *Oryza sativa* era el origen del arroz (2.500 años antes de Cristo en la India) ha quedado desplazada. En realidad, las últimas investigaciones apuntan a que la planta del arroz parece tener un origen mucho más anterior a lo que se creía hasta la fecha.

Existen dos especies cultivadas, a pesar de que la consideremos una única planta: la variedad asiática y la africana. Ambas han sufrido su propio camino de domesticación.

En la variedad **asiática** se han seleccionado y buscado granos de mayor tamaño hasta obtener la especie *Oryza sativa*, que dio origen a tres razas diferentes: Índica, Japónica y Javánica. Los actuales cultivos de *Oryza sativa* se obtienen a través de cruzamientos y combinaciones interraciales y se distribuyen por todo el mundo. La variedad **africana**, *Oryza glaberrima*, que presenta una menor diversidad, se obtuvo a partir de dos especies silvestres.

4. El delta del Ebro

4.1. Situación y superficie

El delta del Ebro está situado en la costa oriental de España, en el mar Mediterráneo, entre los paralelos 40º38' y 40º48' N y los meridianos 4º16' y 4º34' E. Pertenece a los términos municipales de l'Ampolla, Camarles, Deltebre, Amposta, l'Aldea, Sant Jaume d'Enveja y Sant Carles de la Ràpita, abarcando las comarcas catalanas del *Baix Ebre* y *Montsià*, y todos ellos de la provincia de Tarragona.

Como muestra la figura 1.1, tiene la forma aproximada de un triángulo cuya base, a efectos administrativos, es aproximadamente la Carretera Nacional 340 (Cádiz-Barcelona) y cuyo vértice opuesto, la Isla de Buda, se adentra unos 25 km en el mar. De hecho, las últimas terrazas del Cuaternario disminuyen algo más su superficie, que queda perfectamente delimitada desde el punto de vista visual y geomorfológico. El río Ebro cruza su delta de Oeste a Este, dividiéndolo en dos grandes zonas o hemideltas: el septentrional o izquierdo (Norte) y el meridional o derecho (Sur).

La superficie total del delta del Ebro es de 32.059 Ha, que se distribuyen de la forma siguiente:

Delta Izquierdo.....11.512 Ha
Punta Izquierda..... 410 Ha
Total Delta Izquierdo. ..... 11.922 Ha

Delta Derecho..... 16.199 Ha
Punta Derecha..... 2.447 Ha
Total Delta Derecho..... 18.646 Ha
TOTAL PARCIAL..... 30.568 Ha
Isla de Buda..... 1.231 Ha
Isla de Gracia..... 123 Ha
Isla de S. Antonio. ..... 133 Ha
Isla de S. Diego. ..... 4 Ha
Total Islas. ..... 1.491 Ha

TOTAL DELTA DEL EBRO ..... 32.059 Ha

4.2. Características climatológicas

El clima de esta comarca es benigno. Así, por ejemplo, se observa que en 1965 las temperaturas fueron de 5'0ºC en enero de mínima y 30'4ºC en agosto de máxima, siendo la media anual de 16'9ºC.

Examinando los datos del cuatrienio de una larga serie histórica o cronológica, se ve que la mínima fue de 6'4ºC y la máxima de 35'3ºC, siendo la media aproximada de horas de sol del orden de 1.130 desde los meses de mayo a agosto, ambos inclusive, con la siguiente insolación relativa: mayo (58%), junio (63%), julio (68%) y agosto (66%). Se trata, pues de un clima perfectamente apropiado para el cultivo de la práctica totalidad de hortalizas, forrajeras, pratenses, cereales, frutales tempranos y, en general, toda la extensa gama de cultivos mediterráneos, incluyendo, muy especialmente, el arroz. También resulta adecuado para el establecimiento de piscifactorías extensivas e intensivas.

La pluviometría, por datos observados desde 1930 a 1961, se cifra en una media anual de 506'8 mm (l/m^2), habiéndose registrado la mínima en 1931 con 258 mm y la máxima en 1936 con 903 mm. No obstante, para una serie cronológica suficientemente larga y representativa, la pluviometría media anual resultó ser de 488'1 mm.

A lo largo de un período de 25 años, la presión atmosférica media ha resultado ser de 758'5 mm Hg, con medias anuales extremas de 757'4 y 759'8 mm Hg, media mensual más alta de 761'0 mm Hg en enero, media mensual más baja en abril con 750'0 mm Hg, y valores aislados extremos de 777'5 y 721'4 mm Hg.

Aparte del típico levante, propio de los países mediterráneos, el viento que sopla con mayor intensidad (si bien con menos frecuencia) es el de componente NW ("vent de dalt", “mestral” o cierzo), propio del valle del Ebro.

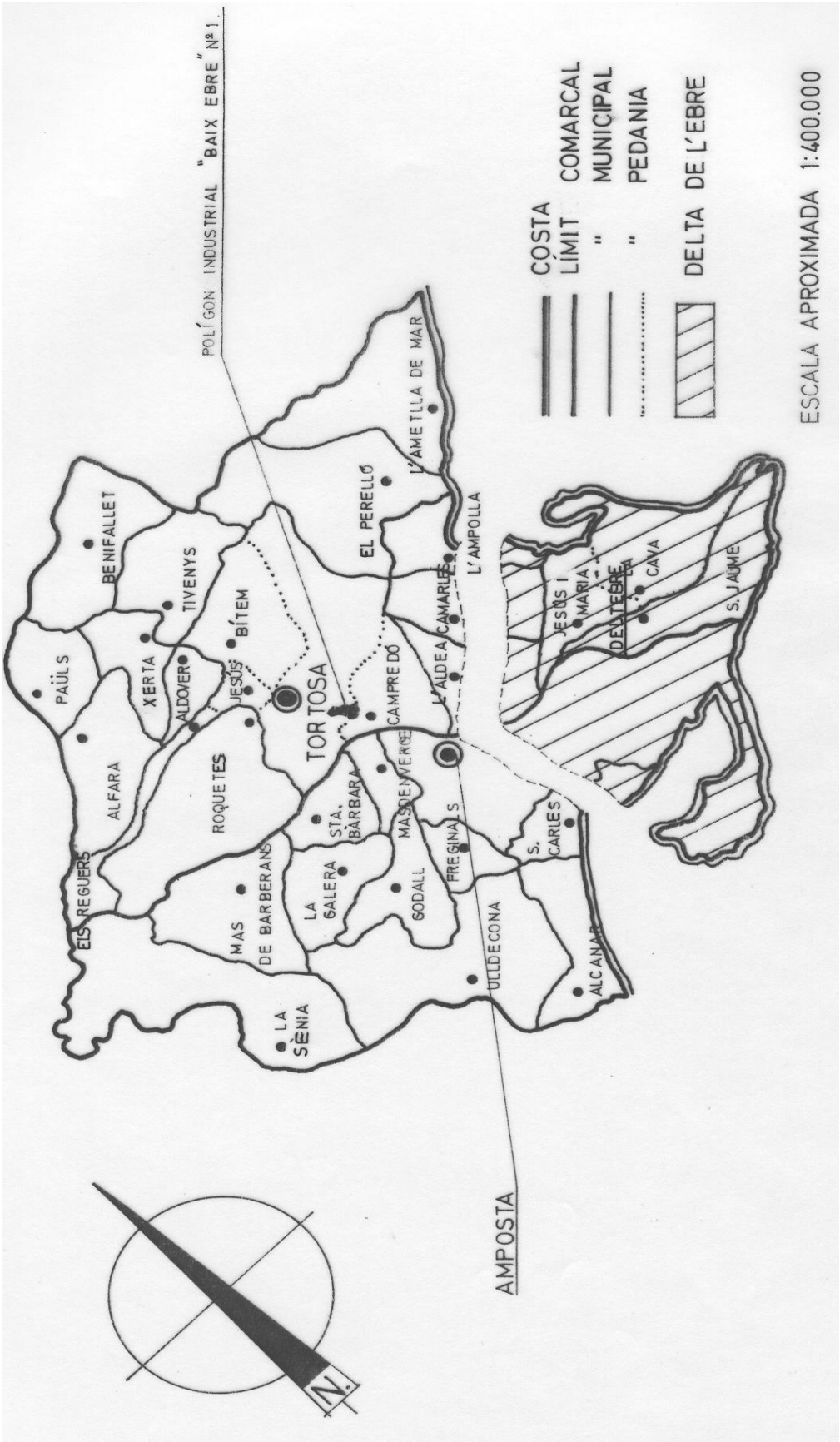


Figura 1.1. Comarcas del "Baix Ebre" y "Montsià"

Para el período anterior, podemos considerar los siguientes valores:

-Velocidad media máxima: 102 km/h
-Recorrido máximo en 24 h: 1.782 km
-Recorrido mínimo en 24 h: 8 km
-Recorrido diverso medio: 359 km
-Meses más ventosos: enero, marzo y diciembre

Las horas en que sopla más el viento suelen ser las de la mañana, con mayor calma alrededor del mediodía.

Otros datos interesantes son los siguientes:

-Nebulosidad media: 3'9.
-Valores anuales extremos (nebulosidad): 3'4 y 4'5.
-Meses más despejados: enero y julio.

En cuanto a la evaporación, podemos consignar los siguientes datos:

-Promedio del período: 4'1 mm/día
-Promedio anual más alto: 4'8 mm/día
-Promedio anual más bajo: 3'5 mm/día,

siendo julio el mes de evaporación máxima y diciembre el de evaporación mínima.

La humedad relativa, por último, alcanzó un valor medio del 69%, con medias anuales extremas del 76% y 61%, siendo septiembre y octubre los meses más húmedos y abril el más seco.

5. Generalidades sobre el arroz y su cultivo

5.1 Morfología y taxonomía

El arroz (*Oryza sativa,* L.*)* es una planta monocotiledónea perteneciente a la familia *Poaceae* de las gramináceas*.* Posee las siguientes características:

-Raíces: las raíces son delgadas, fibrosas y fasciculadas. Tiene dos tipos de raíces: las seminales, que se originan de la radícula y son de naturaleza temporal y las raíces adventicias secundarias, que tienen una libre ramificación y se forman a partir de los nudos inferiores del tallo joven. Estas últimas substituyen a las raíces seminales.

-Tallo: el tallo se forma de nudos y entrenudos alternados, siendo cilíndrico, erguido, nudoso, glabro y de 60-120 cm de longitud.

-Hojas: las hojas son alternas, envainadoras, con el limbo lineal, agudo, largo y plano. En el punto de reunión de la vaina y el limbo se encuentra una lígula membranosa, bífida y erguida que presenta, en el borde inferior, una serie de cirros largos y sedosos.

-Flores: son de color verde blanquecino, dispuestas en espiguillas, cuyo conjunto constituye una panoja grande, terminal, estrecha y colgante después de la floración. Cada espiguilla es uniflora y está provista de una gluma con dos valvas pequeñas, algo cóncavas, aquilladas y lisas; la glumilla tiene igualmente dos valvas aquilladas.

-Inflorescencia: es una panícula determinada que se localiza sobre el vástago terminal, siendo una espiguilla la unidad de la panícula, y consiste en dos lemmas estériles: la raquilla y el flósculo.

-Grano: el grano de arroz es el ovario maduro. El grano con cáscara se conoce como arroz “paddy”; el grano descascarado de arroz (cariópside), con el

pericarpio pardusco, se conoce como arroz-café; el grano de arroz sin cáscara con un pericarpio rojo, es el denominado “arroz rojo”.

5.2. Adaptación del arroz a los suelos inundados

Los suelos inundados ofrecen un ambiente único para el crecimiento y la nutrición del arroz, pues la zona que rodea al sistema radicular, se caracteriza por la falta de oxígeno. Por tanto, para evitar la asfixia radicular, la planta de arroz posee unos tejidos especiales, unos espacios de aire bien desarrollados en la lámina de la hoja, concretamente en la vaina de la misma, así como en el tallo y en las raíces, que forman un sistema muy eficiente para facilitar el paso del aire.

El aire se introduce en la planta a través de los estomas y de las vainas de las hojas, desplazándose hacia la base de la planta. El oxígeno es suministrado a los tejidos junto con el paso del aire, moviéndose hacia el interior de las raíces, donde es utilizado en la respiración. Finalmente, el aire sale de las raíces y se difunde en el suelo que las rodea, creando una interfase de oxidación-reducción.

5.3. Importancia económica y distribución geográfica

Tal como hemos señalado en el Prólogo de la presente obra, el arroz es el alimento básico para más de la mitad de la población mundial, aunque es el más importante del mundo si se considera la extensión de la superficie en que se cultiva y la cantidad de gente que depende de su cosecha. A nivel mundial, el arroz ocupa el segundo lugar después del trigo si se considera la superficie cosechada, pero si se considera su importancia como cultivo alimenticio, el arroz proporciona más calorías por hectárea que cualquier otro cultivo de cereales. Además de su importancia como alimento, el arroz proporciona empleo al mayor sector de la población rural de la mayor parte de Asia, pues es el cereal típico del Asia meridional y oriental, aunque también es ampliamente cultivado en África y en América, y no sólo ampliamente sino intensivamente en

algunos puntos de Europa meridional, sobre todo en las regiones mediterráneas, como España, Italia, Portugal, Francia y Grecia.

Tabla 1.1. Producción y rendimiento del arroz a nivel mundial

Producción y rendimiento del arroz a nivel mundial		
País	Producción (Tm)	Rendimiento (kg/Ha)
Mundo	592.873.253	3.863
China	190.389.160	6.241
India	135.000.000	3.027
Indonesia	51.000.000	4.426
Vietnam	32.000.000	4.183
Bangladesh	29.856.944	2.852
Thailandia	23.402.900	2.340
Myanmar	20.000.000	3.333
Japón	11.750.000	6.528
Brasil	10.940.500	3.010
Filipinas	12.500.000	3.205
U.S.A.	8.692.800	6.963
República de Corea	7.270.500	6.880
Colombia	2.100.000	4.773
Perú	1.664.700	5.549
Venezuela	737.000	4.913

Fuente: FAO, 2001

Entre los países que producen más de un millón de toneladas al año figuran Camboya (3.5 millones), Irán (2.6), Corea del Norte (2.1), Laos (1.6), Madagascar (2.4), Nepal (3.6), Nigeria (3.2), Pakistán (6.5) y Sri Lanka (2.7).

5.4. Comercio

El consumo de arroz y, por tanto, el comercio de dicho cereal de verano, está diferenciado por los tipos de arroz y por la calidad de los mismos. Se consideran los siguientes tipos de arroz:

-De grano largo de perfil índica: éste, a su vez, se clasifica de acuerdo al porcentaje de granos partidos y el hecho de que sean o no aromáticos. Este tipo de arroz representa el 85% del comercio mundial de arroz, incluyendo aproximadamente del 10-15% de arroces aromáticos (tipos jazmín y basmati), 35-40% de arroces de alta calidad (menos del 10% de granos partidos) y del 30-35% de arroces de baja calidad.

-De grano medio/corto de tipo japónica: el comercio de este tipo de arroces representa solamente una cuota del 15%.

El comercio mundial del arroz durante estos 15 años (de 18 millones de toneladas en el 1996 a los 21 millones de toneladas previstas en el 2010), se estima que se incrementará a razón de una tasa anual de 1,11%, tasa de crecimiento significativamente inferior a la actual (8,82%) y refleja el hecho de que el impacto mayor de la liberalización comercial mundial que propugna la OMC (Organización Mundial del Comercio) ya surtió efecto.

5.5. Mercado mundial del arroz

Debido a las características del mercado mundial del arroz, éste contribuye a la volatilidad de los precios. Por tanto, se consideran los siguientes aspectos relevantes en el mercado internacional del arroz: destacan las pequeñas cantidades comercializadas respecto a las cantidades producidas o consumidas; por ello, pequeños cambios en la producción o en el consumo de alguno de los principales productores/consumidores o países compradores o

vendedores, pueden dar lugar a un gran impacto sobre el volumen puesto en el mercado y, por tanto, sobre los precios internacionales.

Otro aspecto a destacar es el alto grado de concentración entre los exportadores de arroz en el mundo, ya que el 85% de la exportación procede de sólo 7-9 países; por tanto, variaciones de las ofertas de las existencias de arroz, debidas a la climatología, por ejemplo, repercuten finalmente sobre los precios.

5.6. Mejora genética

El rendimiento mundial del arroz para 1996 fue de 2,52 Tm/Ha, y se proyecta que para el año 2010 el rendimiento será de 2,87 Tm/Ha, lo que supone un incremento anual acumulativo del 0,93%. Dicho incremento es un poco optimista si consideramos que el incremento en los últimos 6 años fue del 0,68%; así pues, la explicación para ese rendimiento "optimista" proyectado responde básicamente al desarrollo e incremento en el uso de variedades mejoradas. De ahí, en buena medida, la justificación e interés del presente libro.

Las variedades de arroz cultivadas han ido variando en los últimos años, mediante una gradual renovación de las más antiguas, en función de las mejores características y provocando la desaparición de determinadas variedades, pues las nuevas ofrecen mejores rendimientos, una mayor resistencia a las plagas y enfermedades, altura más baja (mayor resistencia al “encamado”), mejor calidad de grano o bien una mayor producción.

Los programas de mejora genética se basan en la producción de plantas de arroz dihaploides, mediante el cultivo de anteras de plantas obtenidas a partir de cruzamientos previos. El empleo de líneas haploides incrementa la eficiencia de selección de caracteres de origen poligénico y facilita la detección de mutaciones recesivas. El cultivo *in vitro* continuado de líneas de cultivo de

anteras origina variaciones génicas, en este caso denominadas “gametoclonales”, que han dado lugar a nuevas variedades de arroz.

5.7. Requerimientos edafoclimáticos

5.7.1. Clima

Se trata de un cultivo tropical y subtropical, aunque la mayor producción a nivel mundial se concentra en los climas húmedos tropicales, pero también se puede cultivar en las regiones húmedas de los subtrópicos y en climas templados y mediterráneos. El cultivo se extiende desde los 49-50º de latitud norte a los 35º de latitud sur. El arroz se cultiva desde el nivel del mar hasta los 2.500 metros de altitud. Las precipitaciones condicionan el sistema y las técnicas de cultivo, sobre todo cuando se cultiva en tierras altas, donde están más influenciadas por la variabilidad de las mismas.

5.7.2. Temperatura

El arroz necesita para germinar un mínimo de 10 a 13 ºC, considerándose su óptimo entre 30 y 35 ºC. Por encima de los 40 ºC no se produce la germinación. El crecimiento del tallo, hojas y raíces tiene un mínimo exigible de 7 ºC, considerándose su óptimo en los 23 ºC. Con temperaturas superiores a ésta, las plantas crecen más rápidamente, pero los tejidos se hacen demasiado blandos e inconsistentes, siendo más susceptibles a los ataques de enfermedades. El espigado está influido por la temperatura y por la disminución de la duración de los días.

La panícula, usualmente llamada “espiga” por el agricultor, comienza a formarse unos treinta días antes del espigado, y siete días después de comenzar su formación alcanza ya unos 2 milímetros. A partir de 15 días antes del espigado se desarrolla la espiga rápidamente y es éste el período más sensible a las condiciones ambientales adversas.

La floración tiene lugar el mismo día del espigado, o al día siguiente durante las últimas horas de la mañana. Las flores abren sus glumillas durante una o dos horas si el tiempo es soleado y las temperaturas altas. Un tiempo lluvioso y con temperaturas bajas perjudica la polinización.

El mínimo de temperatura para florecer se considera de 15 ºC. El óptimo de 30 ºC. Por encima de los 50 ºC no se produce la floración. La respiración alcanza su máxima intensidad cuando la espiga está en zurrón, decreciendo correlativamente después del espigado. Las temperaturas altas de la noche intensifican la respiración de la planta, con lo que el consumo de las reservas acumuladas durante el día por la función clorofílica es mayor. Por esta razón, las temperaturas bajas durante la noche favorecen la maduración de los granos.

La transpiración depende de la humedad y de la temperatura ambiente y, como la respiración, alcanza también su máximo en el momento en que la espiga se encuentra en zurrón para decrecer después del espigado.

5.7.3. Suelo

El cultivo tiene lugar en una amplia gama de suelos, variando la textura desde arenosa a arcillosa. Se suele cultivar en suelos de textura fina y media, propias del proceso de sedimentación en las amplias llanuras inundadas y los deltas de los ríos. Los suelos de textura fina (“pesados” o “fuertes”) dificultan las labores, pero son más fértiles al tener mayor contenido de arcilla, materia orgánica y suministrar más nutrientes. Por tanto, la textura del suelo juega un papel importante en el manejo del riego y de los fertilizantes químicos y orgánicos.

5.7.4. pH

La mayoría de los suelos tienden a cambiar su pH hacia la neutralidad pocas semanas después de la inundación. El pH de los suelos ácidos aumenta con la inundación, mientras que para los suelos alcalinos o básicos ocurre

justamente lo contrario. El pH óptimo para el arroz es 6,6, pues con este valor la liberación microbiana de nitrógeno y fósforo de la materia orgánica, y la disponibilidad de fósforo son altas y, además, las concentraciones de substancias que interfieren la absorción de nutrientes, tales como aluminio, manganeso, hierro, dióxido de carbono y ácidos orgánicos, están por debajo del nivel tóxico.

5.8. Particularidades del cultivo

5.8.1. Preparación del terreno

El laboreo de los suelos arroceros de tierras húmedas o de tierras en seco depende de la técnica de establecimiento del cultivo, de la humedad y de los recursos mecanizados. En los países de Asia tropical, el laboreo de tierras húmedas es un procedimiento habitual. El método tradicional de labranza para el arroz de tierras bajas es el arado y la cementación, siendo este último muy importante, pues permite el fácil trasplante.

En general, el terreno debe nivelarse muy bien, con pendientes que no deben sobrepasar el uno por mil, e incluso es preferible nivelar “a cero”, lo que permite hacer tablas hasta de 15 Ha. Las modernas técnicas de nivelación por rayo láser, a las que nos referiremos posteriormente, simplifican y perfeccionan notablemente esta tarea.

Al final del invierno se realiza la labor de alzar con el arado de vertedera o con cultivador de ganchos. Con el fin de dejar el terreno lo suficientemente disgregado, puede ser necesario dar dos pases dobles cruzados de escarificador. Según algunos agricultores, no conviene dar la labor de “fangueo”, porque en la siembra directa parece que se dificulta la nascencia, aunque se va imponiendo, como más práctico, en la mayoría de los casos, dar un ligero pase de “fangueo”. Este pase se da con tractor provisto de ruedas de jaula metálica, pero sin dar solape entre las pasadas, como se hacía anteriormente.

5.8.2. Siembra

En la siguiente tabla se recogen los distintos métodos de siembra según el tipo de cultivo del arroz, así como la correspondiente altura máxima del agua del arrozal. Así:

Tabla 1.2. Métodos de siembra del arroz según el tipo de cultivo

TIPOS DE CULTIVO DEL ARROZ	MÉTODO DE SIEMBRA	PROFUNDIDAD MÁXIMA DEL AGUA (cm)
Arroz de temporal de tierras bajas	Trasplante	0-50
Arroz de temporal superficial de tierras bajas	Trasplante	5-15
Arroz de temporal de profundidad media de tierras bajas	Trasplante	16-50
Arroz de aguas profundas	A voleo en suelo seco	51-100
Arroz flotante	A voleo en suelo seco	101-600
Arroz de tierras altas	A voleo o en hileras en suelo seco	Sin agua estancada

Fuente: Barker y Herdt

Puede realizarse la siembra a voleo, a mano, con máquina sembradora centrífuga accionada por tractor, o por avión o helicóptero. La siembra debe hacerse cuando el agua se encuentra clara y se hayan depositado los lodos en el fondo. En contadas ocasiones, se realiza la siembra en hileras.

La cantidad de semilla empleada debe dar lugar a un cierto número de tallos/m^2, después del ahijamiento, que sea el óptimo productivo para cada variedad, y que produzcan espigas que maduren lo más uniformemente posible. Para las variedades de panícula corta a densa y tallo más bien grueso, el número de tallos/m^2 más conveniente puede cifrarse en 250-300, mientras que en variedades de panícula larga y abierta, de tallo fino, este número debe estar comprendido entre 300-350 tallos/m^2.

El mayor número de tallos principales produce una mayor sensibilidad al encamado, pero asegura una maduración más homogénea de las espigas. Las variedades de mucho ahijamiento, como por ejemplo la *Bahía*, dan lugar a granos de maduración escalonada. En todo caso, siempre es aconsejable aumentar algo la dosis de semilla, especialmente en siembras tempranas y con variedades de gran ahijamiento.

La dosis media de siembra sería de 140-180 kg de semilla por Ha.

La siembra debe hacerse con el terreno inundado, con unos 5 cm de altura o tirante de agua. Inmediatamente después de la siembra, todavía sin nacer el arroz, se suele aumentar el nivel de la lámina de agua a 10 ó 15 cm, lo que perjudica el desarrollo del *Panicum*. Esta subida del nivel del agua le va mal al arroz, porque al nacer se ahíla, pudiendo incluso perderse parcelas enteras.

En la siembra del arroz, éste no se tapa nada. Las máquinas llevan tubos que pueden ir por encima del nivel del agua. Cuando la siembra se hace con avión o helicóptero, éste no debe volar muy alto, pues en dicho caso penetra demasiado la semilla y no nace correctamente. El avión debe sembrar, por supuesto, cuando no hay viento apreciable, lo cual suele tener lugar a primeras horas de la mañana o bien a últimas horas de la tarde.

5.8.3. Abonado

-GENERALIDADES:

Las necesidades medias de nutrientes/tm de producción de arroz son, como media, de 22 kg de N, 11 kg de P_2O_5 y 15 kg de K_2O. De estos datos podemos deducir que un abonado medio o “standard” (fórmula 6:3:4 = 3:1’5:2), pensando en una producción media de 7.000 kg/Ha. de arroz-cáscara, puede ser del orden de:

150 UF de N

75 UF de P_2O_5

100 UF de K_2O

En los arrozales del Guadalquivir se empleaban tradicionalmente 750 kg/Ha de sulfato amónico del 21%, 500 kg/Ha de superfosfato de cal del 18% y 150 kg/Ha de sulfato potásico del 46%. Es muy frecuente, no obstante, que los cultivadores prescindan del abonado potásico. Otros agricultores, que llevan abonando siempre con superfosfato, limitan su utilización a una vez cada dos años, y no faltan los que siempre emplean nitrogenado. El potasio se debe emplear siempre en forma de sulfato potásico en vez de utilizar cloruro, habida cuenta de las características edafológicas de la mayoría de los terrenos arrozales y del riesgo subsiguiente de salinidad.

Con frecuencia, se añaden abonos foliares complejos (N-P-K) a los herbicidas selectivos, para contrarrestar la depresión que éstos pueden producir en la planta de arroz como consecuencia de su aplicación.

El sulfato de cobre se emplea para evitar la invasión de algas. Lo corriente es aplicarlo poniendo piedras de sulfato de cobre en las piqueras.

La urea (48% de N) se usa hoy tanto como el sulfato amónico. A veces se usa el amoníaco anhidro incorporado en forma de gas mediante equipos inyectores adecuados, así como también el nitrosulfato amónico (26%) y una extensa variedad de abonos complejos.

Cuando el arroz amarillea por falta de N debe realizarse una distribución de nitrato amónico del 33% a razón de 150 kg/Ha. Sin embargo, no es frecuente que esto se haga. Para ello se cierra la entrada de agua en la parcela y, después de un cierto grado de escurrido, se cierra también la salida y, ya sin corriente, se aplica el nitrato, que es absorbido por las plantas en un plazo de 24 horas.

Hay que cuidar las dosis de N a aplicar según las necesidades de cada parcela, para evitar el peligro de encamado, muy frecuente en este cultivo, y que reduce la producción al impedir un correcto acabado del grano, o al menos, encarece sensiblemente la recolección.

El superfosfato y el sulfato potásico se distribuyen sobre el terreno en seco antes de inundar la parcela, incorporándolos con un pase de cultivador o grada de discos. También es posible aplicarlos en la parcela inundada, incorporándolos con un pase de “fangueo”. También se pueden utilizar abonos complejos granulados repartidos con abonadora centrífuga.

Cada vez se están utilizando más los abonos líquidos en suspensión. Aparte de la comodidad de su uso, parece que hay una mayor y mejor absorción de N al principio, lo que prporciona una nascencia más vigorosa y adelanto de unos cuantos días en el cultivo.

La mayor absorción de nitrógeno y potasa coincide con el período de máximo ahijamiento de la planta. La de fósforo, magnesio y calcio, con la fase final del ahijamiento.

La mayor parte de los fertilizantes son absorbidos por las raíces antes de que empiece la fructificación. La absorción de elementos minerales nutritivos es

mayor cuanto mayor es también el desarrollo de las raíces, el cual se ve favorecido por la oxigenación del terreno y por la circulación del agua de riego.

A continuación, pasaremos a tratar separadamente cada uno de los nutrientes fundamentales de este cultivo.

-NITRÓGENO: gran parte del nitrógeno del suelo se encuentra en formas orgánicas, formando parte de la materia orgánica y de los restos de cosechas anteriores, pero la planta de arroz sólo absorbe el nitrógeno de la solución en forma inorgánica. El paso de la forma orgánica del nitrógeno a las formas inorgánicas tiene lugar mediante el conocido proceso de mineralización de la materia orgánica, siendo los productos finales de este proceso distintos según sean también las condiciones del suelo.

En un suelo anaeróbico, la falta de oxígeno hace que la mineralización del nitrógeno se detenga en la forma amónica, que es la forma estable en los suelos con estas condiciones. Esta forma de nitrógeno se encuentra en dos maneras: disuelta en la solución del suelo y absorbida por el complejo arcillo-húmico del mismo, formando ambas la fracción de nitrógeno del suelo fácilmente disponible para el arroz.

El nitrógeno se considera el elemento nutritivo que repercute de forma más directa sobre la producción, pues aumenta el porcentaje de espiguillas rellenas, incrementa la superficie foliar y contribuye además al aumento de la calidad del grano. El arroz necesita el nitrógeno en dos momentos críticos del cultivo, a saber:

1.-En la fase de ahijamiento medio (35-45 días después de la siembra), cuando las plantas están desarrollando la vegetación necesaria para producir arroz.

2.-Desde el comienzo del alargamiento del entrenudo superior hasta que este entrenudo alcanza una longitud de 1,5-2,0 cm.

El nitrógeno se debe aportar en dos fases: la primera como abonado de fondo, y, la segunda, en cobertera, al comienzo del ciclo reproductivo. La dosis necesaria de nitrógeno depende de la variedad, el tipo de suelo, las condiciones climáticas, el manejo de los fertilizantes, etc. En general, la dosis de 150 kg de nitrógeno por hectárea, a la que nos hemos referido con anterioridad, debe ser distribuida en dos veces (75% como abonado de fondo, 25% a la iniciación de la panícula).

En el abonado de fondo conviene utilizar fertilizantes amónicos y enterrarlos a unos 10 cm de profundidad, antes de la inundación de la parcela, con una labor de grada. El abonado de cobertera se aplicará a la iniciación de la panícula, utilizando nitrato amónico (33%). Los abonos nitrogenados utilizados, son generalmente, como ya se ha apuntado, el sulfato amónico, la urea, o bien abonos complejos que contienen además del nitrógeno, otros elementos nutritivos, oligoelementos y microelementos.

-FÓSFORO: también influye de manera positiva sobre la productividad del arroz, aunque sus efectos son menos espectaculares que los del nitrógeno. El fósforo estimula el desarrollo radicular, favorece el ahijamiento, contribuye a la precocidad y uniformidad de la floración y maduración y mejora la calidad del grano.

El arroz necesita encontrar fósforo disponible en las primeras fases o estadios de su desarrollo, por ello es conveniente aportar el abonado fosforado como abonado de fondo. Las cantidades de fósforo a aplicar oscilan desde los 50-100 kg de P_2O_5/Ha. Las primeras cifras se recomiendan para terrenos arcillo- limosos, de granulometría fina, mientras que la última cifra se aplica a terrenos sueltos y ligeros (arenosos, o de textura gruesa).

-POTASIO: el potasio aumenta la resistencia al encamado, a las enfermedades y a las condiciones climáticas desfavorables. La absorción del potasio durante el ciclo de cultivo transcurre de manera similar a la del nitrógeno. Las dosis de potasio a aplicar varían entre 80-120 kg de K_2O/Ha. Las cifras altas se utilizan en suelos sueltos y también cuando se empleen dosis altas de nitrógeno.

5.8.4. Riego

5.8.4.1. Introducción

Una vez implantado el cultivo, las labores a realizar se reducen al riego y a la aplicación de herbicidas y pesticidas, en su caso. En el riego hay que cuidar que el nivel del agua tenga la altura debida en relación con el desarrollo de la planta. En los primeros días, el nivel ha de ser alto, para proteger del frío a la plántula, entorpecer el desarrollo de las malas hierbas, impedir que el movimiento superficial del agua por el viento arranque a las jóvenes plantitas, aún no suficientemente arraigadas, y si se usan determinados herbicidas, impedir su degradación.

Según que la planta vaya creciendo, conviene rebajar estos niveles para permitir un mejor desarrollo y respiración de las hojas, que deben “puntear” por encima del agua.

Una vez implantado el cultivo, se mantiene el nivel de agua con ligeras variaciones, siendo conveniente la renovación de la misma para conseguir la mejor oxigenación y la temperatura adecuada.

Debe resaltarse la tradicional práctica de la “seca”, que tiene notable influencia en los resultados de la cosecha. La operación antedicha consiste en cortar la entrada de agua a la parcela y dejar que el suelo llegue a secarse en mayor o menor grado, lo que se realiza desde finales del ahijado hasta el comienzo de la formación de la panícula, a finales de junio y julio, pues si se hace en el ahijado se disminuye éste.

Los fines perseguidos con la “seca” son el de controlar el desarrollo vegetativo cuando éste es necesario, evitando riesgos de encamado, y preparar la planta para el período de fructificación, así como constituye una forma de defenderse contra las numerosas algas que se crían al amparo de la

planta de arroz, que dificultan la circulación del agua y llegan a molestar a la propia planta.

La “seca” se suele aprovechar para la aplicación de los herbicidas de contacto, que precisan mojar a la planta, ya que al mismo tiempo la “seca” provoca una eclosión de malas hierbas que se encontraban frenadas por la presencia de la lámina de agua.

Los sistemas de riego empleados en los arrozales son diversos, desde los sistemas estáticos, hasta los de recirculación y de recogida de agua. Teniendo en cuenta las ventajas e inconvenientes de cada sistema y de su impacto potencial en la calidad del agua, ello permitirá a los arroceros elegir el sistema más adecuado a sus operaciones de cultivo. A continuación, se describe cada uno de ellos de manera breve y concisa.

5.8.4.2. Sistema de riego por flujo continuo

Es el método más convencional, siendo diseñado para autorregularse: el agua fluye de la parte alta del arrozal a la parte baja, regulándose mediante una caja de madera. El vertido se produce desde la última "caja de desagüe", que se usa para mantener el nivel del agua de la tabla. Entre los inconvenientes de este sistema destacan los vertidos de pesticidas a las aguas públicas, el hecho de que el aporte constante de agua fría por la parte alta de la tabla produce el retraso en la fecha de maduración y perjudica los rendimientos en las zonas cercanas a la entrada de agua y la otra circunstancia de que la introducción de agua en la fecha de aplicación de herbicidas, da lugar precisamente a un menor control de las malas hierbas.

5.8.4.3. Sistema de recuperación del agua de desagüe por recirculación

Este sistema facilita la reutilización del agua de salida y permite que no se viertan residuos de pesticidas a los canales públicos. Tiene la ventaja de proporcionar una flexibilidad máxima, requiriendo un periodo más corto de

retención de agua después de la aplicación de los productos fitosanitarios que los sistemas convencionales. Consiste en elevar el agua de desagüe de la última tabla hasta la tabla de cota más alta mediante una motobomba de poca potencia (debido a la escasa altura manométrica de elevación necesaria) a través de una tubería o de un canal. Los costos derivados de la construcción y uso de un sistema recirculante dependen de la superficie cubierta por dicho sistema, así como del desnivel y la irregularidad del terreno. Tiene el inconveniente derivado del empleo de agua de menor calidad para el riego.

5.8.4.4. Sistema de riego estático

Mantiene las aguas con residuos de pesticidas fuera de los canales públicos y elimina la necesidad de un sistema de bombeo como el empleado en el recirculante; además, se controla de forma independiente la entrada de agua a cada tabla, limitándose la pérdida de agua por evapotranspiración y por percolación a la capa freática más o menos salobre del subsuelo. Este sistema consiste en un canal de drenaje que corre perpendicularmente a los desagües de las tablas. El canal está separado de cada parcela por una serie de válvulas que controlan la profundidad dentro de cada tabla. No resulta adecuado para suelos salinos y además se reduce el terreno cultivable debido a la construcción del canal de drenaje a cielo abierto.

5.8.4.5. Sistema de riego mediante recuperación del agua

La recuperación del agua se realiza mediante tuberías, utilizando el flujo debido a la gravedad para llevar el agua de una tabla a otra, evitando el vertido a los canales públicos de aguas con residuos de pesticidas. Este sistema es muy efectivo y presenta costos reducidos; además durante los periodos de retención del agua, permite una gran flexibilidad en el manejo. Sin embargo, cuando están conectadas varias tablas, debido a la gran superficie, se hace difícil su manejo preciso y eficaz; teniendo en cuenta también que, en los suelos salino-sódicos, la acumulación de sales puede resultar un verdadero problema.

5.8.5. Malas hierbas

La competencia de las malas hierbas en el arroz varía con el tipo de cultivo, el método de siembra, la variedad y las técnicas de cultivo (preparación del terreno, densidad de siembra, abonado, etc.). Esta competencia resulta más importante en las primeras fases de crecimiento del cultivo; por tanto, su control temprano resulta esencial para obtener óptimos rendimientos.

Los suelos inundados favorecen la abundancia de semillas viables de malas hierbas en el arrozal, dando lugar a una flora adventicia específica, de hábito acuático, que requiere métodos adecuados de control. La presencia masiva de malas hierbas puede reducir los rendimientos del arroz hasta un 50%.

Entre los métodos agronómicos para el control de las malas hierbas destacan el laboreo (profundidad y época de realización), riego (control de la capa de agua de inundación según la fase de cultivo), rotaciones y siembra (época, tipo y densidad). La determinación del límite de profundidad del agua es muy importante para maximizar la eliminación de las malas hierbas sin correr riesgos, ya que, por ejemplo, el incremento de la profundidad del agua aumenta la eficacia en el control de ciertas especies como *Echinochloa oryzoides* y *Cyperus difformis*.

Heteranthus limosa es una hierba común del arrozal, que se desarrolla mejor en cultivos densos, pero debido a su poca altura, ejerce escasa competencia en cultivos con densidades normales.

El control químico es el método más eficaz, incluyendo además de las malas hierbas del cultivo, la de los canales de riego y de desagüe, terraplenes, cordones o lomos de separación de las parcelas, etc., al ser éstos una fuente de invasión primaria de malas hierbas y también fuente de inóculo de diversas plagas y enfermedades. El control de las dicotiledóneas anuales se realiza aplicando Bensulfuron 0.08% + Molinato 8%, presentado como gránulo a dosis

de 50-60 kg/Ha. Contra las gramíneas anuales se aplica usualmente Propanil 35%, presentado como concentrado emulsionable a dosis de 8-12 l/Ha. En la siguiente tabla se muestran las materias activas, dosis y presentación de los productos contra las dicotiledóneas:

Tabla 1.3. Materias activas, dosis y presentación de productos para la lucha contra dicotiledóneas

MATERIA ACTIVA	DOSIS	PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO
Bensulfurón 60%	80-100 g/Ha	Microgránulo
Bentazona 48% (sal sódica)	3-5 l/Ha	Concentrado soluble
Bentazona 87%	1,5-2,5 kg/Ha	Granos solubles en agua

En la siguiente tabla se muestran las materias activas, dosis y presentación del producto contra *Ciperáceas*: estos tratamientos se suelen dar tras la desecación del arroz, entre el ahijado y el encañado.

Tabla 1.4. Materias activas, dosis y presentación de productos para la lucha contra *Ciperáceas*

MATERIA ACTIVA	DOSIS	PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO
Azimsulfurón 50%	40-50 g/Ha	Gránulo dispersable en agua
Bensulfurón 0.08% + Molinato 8%	50-60 kg/Ha	Gránulo
Bensulfurón 60%	80-100 g/Ha	Granos solubles en agua
Bentazona 87%	1,5-2,5 kg/Ha	Microgránulo

A continuación, se muestran las materias activas, dosis y presentación de productos contra las hierbas *Alismatáceas*: aplicados en post-emergencia temprana, se recomienda cortar el agua para hacer la aplicación y volver a inundar a las 24-48 horas, manteniendo el nivel que cubra las malas hierbas durante 10-15 días, utilizándose hasta el estado de mala hierba con dos hojas.

Tabla 1.5. Materias activas, dosis y presentación de productos para la lucha contra *Alismatáceas*

MATERIA ACTIVA	DOSIS	PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO
Azimsulfurón 50%	40-50 g/Ha	Gránulo dispersable en agua
Bentazona 40% (sal sódica) + MCPA ácido 6% (sal amina)	3-5 l/Ha	Concentrado soluble
Propanil 35%	8-12 l/Ha	Concentrado emulsionable

Para combatir las malas hierbas acuáticas se emplea Dimepiperato 5% como gránulo a dosis de 50-60 kg/Ha y contra *Herantera* se aplica Oxadiazón 2% como gránulo a dosis de 1-2 l/Ha.

Echinocloa spp. es la mala hierba más importante en el cultivo de arroz, pudiendo afectar considerablemente al rendimiento. Su emergencia es escalonada, precisando de tratamientos repetidos por la escasa persistencia de los productos que la controlan. Los tratamientos se realizan en pre y post-emergencia temprana, antes de la nascencia de esta mala hierba; los tratamientos se pueden realizar en seco, 1-2 días antes de la inundación para efectuar la siembra, o bien después de ésta con el campo ya inundado. Si la

aplicación se realiza en seco, antes de la siembra, el herbicida debe enterrarse con la última labor a una profundidad de 4-5 cm. En la siguiente tabla se muestran las materias activas, dosis y presentación de productos contra *Echinocloa*:

Tabla 1.6. Materias activas, dosis y presentación de productos para la lucha contra *Echinocloa*

MATERIA ACTIVA	DOSIS	PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO
Cicloxidín 10%	2-3 l/Ha	Concentrado emulsionable
Cihalofop-butilo 20%	1,5 l/Ha	Concentrado emulsionable
Dimepiperato 5%	50-60 l/Ha	Gránulo
Molinato 4.5% + Tiobencarb 4.5%	50-60 l/Ha	Gránulo
Molinato 7.5%	55-65 l/Ha	Gránulo
Quinclorac 25%	2,5-4 l/Ha	Suspensión concentrada
Tiobencarb 10%	40-50 l/Ha	Gránulo

5.8.6. Control de algas

En el arrozal inundado están presentes grandes colonias de algas microscópicas y macroscópicas que viven en asociaciones, que varían y evolucionan con mayor o menor rapidez en función de las condiciones ambientales; además las propias técnicas de cultivo determinan variaciones notorias en dichas asociaciones. Los daños producidos por las algas dependen

de las especies, de la importancia de la masa de algas y de la etapa del cultivo; éstas compiten por la luz y el oxígeno, produciendo clorosis y marchitez de las plántulas e incluso su arranque del suelo, dificultando su alimentación y arraigo. Asimismo impiden la realización de tratamientos herbicidas, reduciendo su eficacia, al recubrir la masa de algas también las malas hierbas.

Las especies más perjudiciales pertenecen al grupo de las algas verdes o clorofíceas y corresponden a los géneros *Oedogonium*, *Vaucheria*, *Hydrodictylon*, *Spirogyra* y *Cladophora*. El desarrollo de las algas es tanto más rápido cuanto más alta sea la temperatura del agua y del aire y más elevada también la diferencia de temperaturas entre la superficie y el fondo de la capa de agua. Los métodos actuales para su control son los siguientes: tratamientos químicos a las semillas con fungicidas que contenga efectos alguicidas, la aplicación de productos en las acequias de riego y en las boqueras de entrada del agua y la realización de pulverizaciones en campo. Una de las materias activas que se emplea en la actualidad es el Propanil 35%, presentado como concentrado emulsionable a una dosis de 8-12 l/Ha.

5.8.7. Recolección y selección mecánica de la simiente

El momento óptimo de recolección se produce cuando la panícula del arroz alcanza su madurez fisiológica (esto es, cuando el 95% de los granos tengan el color paja y el resto estén amarillentos) y la humedad del grano sea del 20 al 27%.

En el precio del arroz tiene especial interés el rendimiento en molino o porcentaje de granos enteros sobre el total de los cosechados, pues este valor depende sobre todo de la variedad, pero también varía en función del momento de la recolección, ya que si el arroz se siega muy verde, el periodo de manipulación se incrementa en el secadero, con el resultado de una disminución de dicho porcentaje. Por el contrario, si el arroz se siega muy maduro también el grano poseerá menor porcentaje de humedad, aunque aumentan correlativamente los riesgos de pérdidas del mismo por desgrane.

La recolección se hace con cosechadora automotriz provista de orugas, acompañada de un tractor-tolva en el que vacía la propia máquina en la parcela de cultivo y otros vehículos de transporte hasta el secadero.

Cuando el arroz comienza a granar se suspende el riego. La madurez del arroz se prueba por la dureza del grano al diente, que debe ofrecer resistencia suficiente que impida cortarlo.

El secado puede efectuarse en eras al sol (hoy ya en desuso en la mayoría de las zonas arroceras) o bien mediante secaderos térmicos que queman gas-oil, fuel-oil o gas natural, proceso que tiene lugar, normalmente, en las Cooperativas arroceras.

Una vez finalizadas las operaciones de recolección, limpieza y secado de cada partida destinada a semilla, se llevan a cabo las determinaciones de calidad reglamentarias (impurezas, humedad, granos rojos, verdes y yesosos, germinación, etc.), eliminándose las que no reúnen las debidas condiciones. La selección mecánica tiene por objeto separar aquellas materias o tipos de granos que no interesa conservar junto a la semilla seleccionada, mejorando la calidad de la misma. Esta operación se realiza mediante máquinas limpiadoras y seleccionadoras, que eliminan las materias indeseables (cascarilla, pajas, granos partidos, semillas de malas hierbas o de otros cereales, etc.).

Por último, en el campo, después de la recolección normalmente se realiza la labor de “fangueo”, que consiste en mover el barro con unas ruedas metálicas “de jaula” especiales acopladas al tractor.

5.9. Plagas y enfermedades

5.9.1. Plagas

1.- “GUSANOS” ROJOS Y BLANCOS DEL ARROZ: se trata de las larvas de los dípteros de las especies *Ortocladius* sp. (larvas rojas) y

Cricotopus sp. (larvas blancas parduzcas). Pasan el invierno en estado larvario, pero al inicio de la primavera aparecen los individuos adultos de la primera generación. La hembra realiza la puesta sobre aguas mansas y claras. La puesta es mucilaginosa y cuando el arroz está emergido, las puestas se quedan adheridas a los tallos. Las larvas pasan por cuatro estadios hasta alcanzar los 12-16 mm de longitud, estando caracterizadas por sus diferentes tonalidades.

Las larvas de 3ª y 4ª edad ocasionan fuertes daños en las siembras, alimentándose de las raicillas de las plántulas; además, pueden dar lugar a un encamado precoz, que se produce cuando los tratamientos no alcanzan una eficacia suficiente o bien cuando ha empezado el ataque de la primera generación. Las larvas de color blanco devoran el interior del grano de siembra.

-Control:

-El momento de la aplicación de insecticidas viene determinado por el tiempo transcurrido entre la inundación de la parcela y la siembra.

-Realizar tratamientos tempranos.

-Realizar pulverizaciones o espolvoreos contra los adultos en vuelo.

-Aplicar tratamientos al agua, contra las larvas que se desarrollan en ella, a los pocos días de la siembra, dejando el agua estancada 48 horas.

-Durante las fases primarias tratar con Fenitrotión (1-2 l/Ha), Triclorfón (2-3 l/Ha) y Malatión (2-3 l/Ha) y sobre el gusano con Temefós (0,2 l/Ha). En las aplicaciones dirigidas a las fases primarias se recomienda realizarlas con agua estancada y nivel mínimo.

2.-"GUSANO" DE LOS PLANTELES DEL ARROZ: son larvas de dípteros y hay tres géneros diferenciados: *Chironomus, Ephydra* y *Ortocladius*.

-Control: se da una “seca” a la parcela de cultivo y, cuando se elimina el agua, se pulverizan las plantas, haciendo entrar el agua media hora después, cerrando las boqueras y manteniendo el nivel constante. Para pulverizar se pueden emplear pesticidas como Carbaril, Malatión, etc.

3.- “PUDENTA” O CHINCHE DEL ARROZAL: son los insectos heterópteros denominados *Eusarcoris inconspicuus* y *Eusarcoris perlatus*, que causan graves daños en el arrozal y algunos hasta en el arroz elaborado. Los adultos miden entre 5-6 mm de longitud, siendo su coloración, recién realizada la muda, rosa pálido; al cabo de unas horas y dependiendo de la exposición de la luz, adquieren el color pardo. La hembra realiza la puesta en varias veces sobre las partes aéreas, hojas y espigas de la planta de arroz, o de algunas hierbas adventicias presentes en los arrozales. La “pudenta” o “paulilla” pasa por cinco estados larvarios, todos ellos desprovistos de alas funcionales. Las larvas de primera edad se alimentan de las espigas de arroz, causando graves daños debido a la necesidad de alimentos para completar su desarrollo. Se trata de un insecto migratorio, cuya emigración comienza a finales de septiembre y dura hasta mediados de noviembre, según que el insecto vaya llegando, progresivamente, al estado de adulto.

En primavera se produce el avivamiento escalonado de los insectos invernantes, dirigiéndose a las zonas de cultivo del arrozal; desarrollan su máxima actividad al amanecer y al atardecer, pues en las horas de mayor luminosidad y temperatura, se esconden en las partes bajas de la planta, cerca de la superficie del agua, donde las temperaturas son más suaves. Los daños son causados por las larvas de 4ª y 5ª edad y por los adultos que extraen mediante su estilete los jugos de las partes verdes de la planta, siendo su principal fuente de alimentación los granos de arroz.

Dependiendo del estado del grano en el momento de la succión, aparecerán daños diferentes. Si se produce cuando el grano está en estado lechoso, en la recolección estos granos aparecerán deformes, de menor peso que el resto. Si el ataque se produce en estados avanzados, las deformaciones son más ligeras y casi imperceptibles. En el grano maduro, al igual que en los

casos anteriores, no se aprecia orificio alguno por la picada. En este último caso, una vez elaborado el grano se aprecia una depresión esférica de 0,2-0,3 mm; a veces, dependiendo de la climatología, alrededor de la lesión se desarrollan hongos saprófitos, que originan una coloración parduzca apreciable a simple vista. Por tanto, los daños afectan a la calidad y al rendimiento-porcentaje de granos elaborados susceptibles de comercializar.

-Control:

-Dada la evolución de la plaga, se recomienda realizar un seguimiento parcela por parcela, iniciándose este control siempre por las parcelas más adelantadas. Mientras se observen larvas de primera edad no se debe intervenir. Se aconseja esperar a que sólo aparezcan larvas de 2ª y 3ª edad.

-Destrucción de la vegetación espontánea después de la recolección y en los márgenes que circundan el arrozal.

-Realizar la captura de los adultos mediante manga caza-insectos.

-Debe tenerse en cuenta, en general, que resulta preferible la utilización de los formulados pesticidas granulados a los líquidos debido a que la solubilidad de éstos últimos, en la reanudación del riego, reduce la concentración del producto y aminora sus efectos.

-Los tratamientos se llevan a efecto generalmente mediante espolvoreos o pulverizaciones aéreas masivas con insecticidas de contacto apropiados, excepto en pequeñas parcelas donde el agricultor realiza los tratamientos con máquina de mochila. Si la invasión de los adultos invernantes es intensa, se efectuarán dos aplicaciones: una contra la 1ª generación, a finales de julio o primeros de agosto y una segunda aplicación a primeros de septiembre, sobre la 2ª generación. En la siguiente tabla se muestran las materias activas más comúnmente empleadas. A saber:

Tabla 1.7. Materias activas, dosis y presentación de productos para la lucha contra la "pudenta" o chinche del arrozal

MATERIA ACTIVA	DOSIS	PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO
Carbaril 10%	15-25 kg/Ha	Polvo para espolvoreo
Carbaril 85%	0,10-0,20%	Polvo mojable
Etofenprox 30%	0,50-0,75 l/Ha	Concentrado emulsionable
Fenitrotión 100%	0,75-1,25 l/Ha	Líquido para aplicación en ultra bajo volumen
Malatión 97%	1-2 l/Ha	Líquido para aplicación en ultra bajo volumen
Triclorfón 5%	20-30 kg/Ha	Polvo para espolvoreo

4.- TALADRADOR DEL ARROZ: (*Chilo simplex o supressalis,* Walk), se trata de un lepidóptero originario de los países asiáticos. En la zona de la Albufera de Valencia se le conoce con el nombre de "cucat". Los adultos son pequeñas mariposas de 11-25 mm de longitud, de color blanco amarillento, con un punteado distribuido de manera irregular, que viven entre ocho y diez días, apareándose a los dos días de su transformación en adultos. La puesta se realiza en el envés de las hojas y más raramente en el tallo, siempre a la sombra, protegida de la luz y de los vientos secos. Las larvas se desarrollan totalmente sobre el cultivo y mudan cinco veces, transcurriendo entre cada muda unos cinco o seis días. En el primer estadio, viven en el exterior de la planta, para posteriormente penetrar en ella. Se presentan tres generaciones completas sobre el arrozal, teniendo tres máximos de vuelos de adultos.

Los daños causados por las larvas de la 1ª generación no son muy importantes, pues sólo ocasionan ligeras podredumbres que no afectan al desarrollo posterior de la planta. Especialmente importantes, no obstante, son los daños causados por las larvas de la 2ª generación, ya que al perforar y penetrar en los tallos, destruyendo los tejidos vegetales, llegan a afectar a la granazón.

-Control:

-La lucha química se basa en realizar dos o tres tratamientos aéreos, uno por generación, siendo el primero de ellos de ultra bajo volumen, empleando como productos el Piridafentión, en las zonas más próximas a los humedales y Fenitrotión en el resto; ambos a una dosis de 1,7-1,8 l/Ha.

-En los últimos años, debido al impacto que estos productos pueden tener sobre la fauna y sobre todo en las zonas del arrozal que se encuentran dentro de la delimitación geofísica de los parques naturales, se está trabajando en la lucha biológica. Se pueden utilizar diferentes métodos: la suelta de parásitos naturales de los géneros *Trichogramma* y *Apanteles*; y, a veces, con parásitos ovífagos o bien el empleo de feromonas mediante el trampeo masivo (que elimina los machos mediante su captura en embudos adecuados, de forma que las hembras queden sin fecundar) y el confusionismo sexual (basado en la disrupción del comportamiento sexual de los machos, por la elevada concentración de vapores de feromonas sintéticas en la atmósfera próxima al cultivo).

-Existen medios de lucha indirectos que son muy útiles, como alzar las plantas tras la recolección y amontonarlas y quemarlas. Otra medida indirecta es la de inundar las parcelas durante el invierno, lo que viene favorecido por las ayudas agroambientales comunitarias.

5.- TIJERETAS DEL ARROZAL: se trata de las pupas de los dípteros de la familia *Ephydridae*; dichas pupas se observan en las hojas de las plántulas de arroz en sus primeros estadios. La característica más importante, de la que

deriva su nombre, es la presencia de un apéndice quitinoso bífido, que permanece cuando se fija a la raíz mediante un órgano prensil formado por los tres últimos segmentos. La larva se engrosa, fijándose en el soporte y cambiando de coloración desde gris a amarillento, durando este periodo entre 4-5 días. Las tijeretas perjudican el desarrollo del cultivo sólo cuando se fijan en grandes cantidades al mismo.

-Control:
-Como su ciclo coincide con el de los gusanos rojos, al tratar éstos se eliminan también las tijeretas, no siendo frecuente la realización de tratamientos específicos para su combate.

6.- ROSQUILLA: (*Mythimna*), son lepidópteros de origen americano, con gran distribución geográfica. Sus larvas llegan a alcanzar hasta 4 cm de longitud, completando su desarrollo en 25-30 días; son de color pardo verdoso, con tres líneas dorsales blanquecinas. A principios de julio tiene lugar la puesta sobre el envés de las hojas, alcanzando las larvas su máximo desarrollo a los 25-30 días, formando la crisálida entre el tallo y la vaina de las hojas. Las orugas devoran las hojas desde los márgenes de la parcela o en rodales en los que el arroz está más receptivo para la puesta.

-Control:
-Captura de adultos con lámparas, que ejercen gran atracción.

-Pulverizaciones en las horas crepusculares a las primeras manifestaciones de la plaga.

-Se recomienda la aplicación a dosis de 2 kg/Ha de Triclorfón y 30 litros de caldo mediante aplicación aérea. También se puede utilizar Carbaril.

7.- PULGONES: son insectos hemípteros de la familia *Aphidae*, considerados una plaga esporádica y transitoria en el arrozal. Los daños se manifiestan a partir de la floración, observándose sobre las hojas y espigas. Si

los ataques se producen en el estado lechoso del grano de arroz, se producen deformaciones en las espigas y granos.

-Control:

-Se realizan tratamientos químicos empleando Fenitrotión al 60%, presentado como líquido en ultra bajo volumen, a dosis de 1,25-2 l/Ha. También se puede aplicar Etiofencarb y Malatión.

8.- GORGOJO DEL ARROZ: *Sitophilus oryzae*, que ataca principalmente a los silos y graneros, y no sólo se alimenta de los granos del arroz sino de los de cualquier otro cereal.

-Control:

-Para luchar contra las plagas que pueden aparecer durante el almacenamiento se debe empezar por mantener unas buenas condiciones de limpieza, tanto del grano como de las instalaciones (silos, transportadores de cinta, tornillos helicoidales, elevadores de cangilones, etc.). El grano debe estar y conservarse seco, por lo que previamente al almacenamiento, si el grado de humedad es demasiado alto, deberá pasarse previamente por la secadora. La refrigeración mediante “granifrigor” también resulta una medida adecuada para reducir los daños.

-Los productos químicos comerciales que se aplican en los tratamientos pueden ser en forma de polvos o pulverizados sobre el grano, los envases y las instalaciones. Pueden ser a base de fosfuro de aluminio, fosfuro de magnesio y también Metilpirimifos. El fosfuro de aluminio es extremadamente tóxico por inhalación, por lo que los locales en los que se aplique deben tener un buen sistema de ventilación.

-Otra alternativa, mediante la cual no se aplican gases o productos tóxicos al grano, es la de almacenar el mismo en recipientes herméticos en atmósfera controlada, introduciendo nitrógeno o dióxido de carbono a alta concentración. De esta manera, los insectos mueren por falta de oxígeno. Este último método es popular en China (Mabbet, 1993).

-También se trabaja en el control biológico de las plagas que aparecen durante el almacenamiento, utilizándose con éxito extractos de algunas plantas para controlar ciertas plagas. Como ejemplo de ello, cabe citar que en la India han controlado las poblaciones de *Sitophilus sp*. mediante el uso de extractos de rizoma de *Curcuma longa* y aceite de mostaza.

9.- ROSQUILLA NEGRA: también ataca a veces el cultivo del arroz. Se trata de un Lepidóptero que es conocido ahora por *Spodoptera litoralis* y antes por *Prodenia litura* o *litoralis*. Más que negras son grisáceas o bien de coloración marrón-grisáceas. Producen grandes daños al devorar las hojas.

-Control:
-Se deben combatir las larvas cuando son pequeñas, ya que cuando crecen se vuelven muy resistentes. Se eliminan con pulverizaciones a base de carbaril, fenitrotión, triclorfón y otros productos fitosanitarios.

5.9.2. Enfermedades

1.- *PYRICULARIA ORYZAE:* dentro de las enfermedades que padecen los arrozales, la más temible es, sin duda, la *Pyricularia oryzae*, originada por un hongo microscópico. El micelio del hongo produce una substancia tóxica conocida como piricularina, que inhibe el crecimiento de los tejidos y los desorganiza.

Los factores meteorológicos imperantes condicionan de forma importante la aparición de esta enfermedad. Se puede predecir la aparición del hongo cuando la temperatura registrada oscile entre los 16 y los 28ºC y haya en el aire una humedad relativa del 90% o bien superior durante 14 horas o más. Con estas condiciones ambientales, el hongo esporula sobre las seis de la madrugada en las hojas bajas mojadas, por debajo de la hoja bandera.

Control: como medio de lucha se empleaba tradicionalmente el caldo bordelés, a razón de 1.200 l/Ha (al 0,4% de sulfato de cobre), pero el tratamiento, que debe ser repetido para que sea eficaz, resultaba muy costoso y producía

mermas apreciables en el rendimiento de la cosecha. Actualmente, la lucha contra esta enfermedad criptogámica se lleva a efecto del siguiente modo:

Tabla 1.8. Materias activas, dosis y presentación de productos para la lucha contra el hongo *Pyricularia oryzae*

MATERIA ACTIVA	DOSIS	PRESENTACIÓN DEL PRODUCTO
Procloraz 45%	0,50-1 l/Ha	Emulsión de aceite en agua
Procloraz 46%	0,50-1 l/Ha	Polvo mojable
Tebuconazol 25%	0,04-0,10%	Emulsión de aceite en agua
Triciclazol 75%	0,30 kg/Ha	Polvo mojable
Triflumizol 30%	0,15 kg/Ha	Polvo mojable

Como medidas preventivas pueden citarse las siguientes:

- Empleo de variedades que no sean muy sensibles al ataque del hongo.
- No abusar del abono nitrogenado.
- Utilizar un abono equilibrado con fósforo y potasio.
- Retirada tardía del agua en el período de maduración.

2.- *RHIZOCTONIA SOLANI*: esta enfermedad está considerada como la segunda en importancia económica después de la *Pyricularia*. Este incremento se debe a la intensidad del cultivo, al amplio uso de variedades tempranas o semi-tempranas y al aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados. Las lesiones se producen principalmente en la vaina, siendo éstas en un principio de forma ovoide, de color gris verdoso, con una longitud que varía entre 1 y 3 cm de largo. El centro de la lesión se torna de coloración blanco-grisácea, con un margen marrón. Una característica típica es la presencia de diferentes lesiones que lleguen a unirse, causando la muerte de las hojas o incluso de la planta entera.

La enfermedad, como la mayoría de las criptogámicas, se acentúa en condiciones de elevada humedad y temperatura. La humedad está muy influenciada por la densidad de siembra; por lo tanto, una alta densidad de siembra junto a elevadas dosis de aplicación de fertilizantes, tienden a incrementar el efecto de esta enfermedad. El desarrollo de la enfermedad puede ser vertical u horizontal, siendo esta última más rápida y más grave, sobre todo durante la estación húmeda y en parcelas con un contenido elevado de abonos nitrogenados.

-Control:

-Recolectar las plantas afectadas.

-Manejo adecuado del agua, drenando 5-7 días en el estado de máximo ahijamiento.

-Se recomienda la siembra en línea en vez de la manual o mecánica “a voleo” y la aplicación de superfosfato de calcio.

3.- *HELMINTHOSPORIUM ORYZAE*: es una enfermedad que causa muchos problemas en el cultivo del arroz. Su severidad está frecuentemente relacionada con la variedad y con una nutrición deficiente.

En la hoja, las lesiones iniciales son puntos o manchitas circulares de 0,5 mm de color café; se pueden confundir con lesiones iniciales de *Pyricularia*. La lesión desarrollada alcanza 2 mm de ancho y de 0,5 a 6 mm de largo, es de conformación ovoide con el centro color blanco grisáceo y el borde color café rodeado por un halo amarillento. Las lesiones foliares no son confluyentes y se distribuyen con bastante uniformidad en la lámina foliar. A partir de la etapa de floración, la hoja bandera es la que resulta más afectada.

En las glumas del grano produce manchas ovaladas de color café oscuras que pueden confundirse con lesiones debidas a chinches. Bajo ciertas condiciones, las lesiones se unen, afectan a todo el grano que puede arrugarse y además se llega a cubrir de una capa de estructuras del hongo que le dan una

apariencia aterciopelada. La calidad y el peso del grano son siempre, en mayor o menor grado, afectados por esta enfermedad criptogámica.

-Control:

Constituyen factores importantes para su lucha:

- La selección de suelos con alta fertilidad.

- El uso de semilla certificada.

- La fertilización equilibrada de N, P, K, Mn, Zn.

- El combate eficiente de insectos en la panícula, principalmente chinches.

- El uso de variedades resistentes.

- La protección de la plantación con fungicidas durante la etapa de floración.

Los fungicidas que pueden utilizarse contra esta enfermedad son los siguientes: mancozeb (Dithane 33% F; 3,55 l/Ha, Dithane M-45 80% PM, 2 kg/Ha), propineb (Antracol 70% PM, 2 kg/Ha), metiran (Polyram C 80% PM, 2 kg/Ha), clorotalonil (Daconil 50% F, 2,50 l/Ha).

4.- PODREDUMBRE DEL TALLO: (*Fusarium moliniforme*. *Sarocladium oryzae*). Esta podredumbre se produce en la hoja que envuelve a la panícula. Las manchas pueden llegar a unirse pudiendo cubrir la mayor parte de la superficie de la hoja. Las panículas sólo sufren una podredumbre parcial, aunque puede observarse un polvo blanquecino dentro de la vaina y en la panícula.

-Control:

-Saneamiento del suelo.

-Utilizar altas dosis de potasio y dosis equilibradas de nitrógeno.

-Algunos cultivares mejorados genéticamente son resistentes a la podredumbre del tallo.

-Quemar los rastrojos después de la recolección.

-Desinfección adecuada de la semilla.

5.- MANCHA MARRÓN: (*Cochliobolus miyabeanus*. *Drechslera oryzae*). Esta enfermedad produce manchas de forma oval y de color marrón, con un centro blanquecino o gris. En ocasiones, numerosas manchas en una hoja causan que éstas se tornen de color blanco. Estas manchas, además de aparecer en las hojas, pueden observarse en las glumas, vaina y brácteas de la panícula. Los granos infectados tienen menor peso y, como consecuencia, menor calidad comercial.

-Control:
-Empleo de semilla certificada, pues esta enfermedad se transmite principalmente por las semillas.

-Controlar las condiciones del suelo (drenaje y contenido de nutrientes).

6.- TUNGRO: se trata de una de las enfermedades más destructivas del arroz cuyos síntomas se manifiestan en las hojas, pues éstas se tornan de color amarillo o naranja. Dicha enfermedad está causada por un complejo vírico formado por el virus esférico (RTSV) y el virus baciforme (RTBV), siendo transmitido este complejo vírico por varias especies de homópteros (insectos de alas semejantes). El incremento de esta enfermedad está asociado con el incremento de la población del vector.

-Control:
-La siembra muy temprana o muy tardía está asociada o correlacionada con la ausencia de Tungro.

-Aplicación temprana de insecticidas sistémicos.

-Aplicaciones suplementarias de nitrógeno.

7.- NEMÁTODOS: *Hirschmaniella oryzae*, es un nemátodo muy abundante en los arrozales, pues la inundación del terreno es necesaria para que complete su ciclo. *Ditylenchus angustus* está presente principalmente en arrozales de aguas profundas. *Aphelenchoides besseyi* está presente en todos los ecosistemas de arroz, alimentándose de forma ectoparásita del meristemo apical del tallo; seguidamente, emigra a la panícula en desarrollo, penetrando en las espiguillas antes de la antesis, alimentándose de los ovarios y los estambres. Durante la maduración del grano, los nemátodos entran en estado de anaerobiosis, pudiendo sobrevivir en los granos, incluso hasta más de tres años.

Meloidogyne graminicola, *M. incognita*, *M. javanica* y *M. arenaria*, son las especies más importantes de nemátodos de la raíz. Los síntomas incluyen clorosis, reducción del crecimiento, retraso en la floración y aumento en el número de granos vacíos.

Pratylenchus indicus y *Pratylenchus zeae* causan lesiones en la raíz y son endoparásitos migratorios, que producen necrosis en las raíces, reduciendo, como consecuencia, la altura de las plantas y el número de hijos.

-<u>Control</u>:
-Eliminar los restos de cosechas anteriores.

-Tratar las semillas con agua caliente a 52-57 ºC durante 15 minutos, después de haber remojado las semillas en agua fría durante 3 horas.

-La rotación de cultivos (allí donde pueda llevarse a cabo) puede reducir notoriamente los niveles de población del parásito.

5.10 Efectos de la humedad en la conservación del arroz-cáscara

5.10.1 Introducción

El arroz cáscara se almacena con cierto contenido de humedad (normalmente el 14%) y no totalmente seco; continua la respiración y, con motivo de esto, prosigue y perfecciona la maduración que se completa tanto más cuanto más largo es el período de reposo o de envejecimiento. Mediante la respiración se consumen principalmente oxígeno y azúcares, y se libera CO_2 acompañado de agua en forma de vapor[1].

En los silos de almacenamiento, el arroz se puede alterar o destruir por causas físico-químicas o bien puede ser invadido por parásitos animales y vegetales.

Las causas que pueden favorecer la modificación y deterioro del arroz, como de otros productos alimenticios, se atribuyen esencialmente, y en primer lugar, al exceso de humedad del producto o de los locales en los que se almacena; este factor provoca y aumenta el desarrollo de parásitos, promueve la proliferación y vegetación de hongos y bacterias e inicia alteraciones enzimáticas, hasta entonces latentes.

5.10.2 Transformación físico-química y del valor nutritivo durante el período de almacenamiento

La excesiva humedad puede constituir una importante causa de deterioro de los cereales almacenados o ensilados. En efecto, en un sistema biológico complejo, como es el de una cariópside, constituido por varias substancias, el agua se encuentra presente bajo formas diferentes, a saber:

<<agua libre>>, es la que se encuentra retenida en los espacios intercelulares o intergranulares o en los poros del material.

[1] *Vide* TINARELLI, A. *El arroz*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 1989.

<<agua absorbida>>, se encuentra más estrechamente unida a la materia orgánica absorbente, con una interacción estrecha entre las moléculas de agua y las de la materia orgánica, por lo que las propiedades de la primera influyen sobre la segunda.

<<agua de constitución>>, forma, por el contrario, parte integrante de la molécula orgánica.

En las dos últimas formas el agua está <<fija>>, es decir, retenida por fuerzas superiores a la simple cohesión entre moléculas de agua, probablemente químicamente por enlace iónicos; más allá de tal fuerza de cohesión, el agua es libre. El primer y segundo tipo de agua, con el secado, tienen que alcanzar un nivel mínimo, a fin de que el producto se pueda conservar de forma sana en el almacén. El deterioro de los granos conservados, como consecuencia de la humedad excesiva, puede también suceder aunque el cereal tenga un contenido inferior al límite considerado de seguridad: 12-13% en algunas normas legislativas; 14’5% para otras, como las de la UE.

La alteración puede en efecto producirse cuando se provocan o verifican en el producto almacenado diferencias marcadas de temperatura; la humedad relativa del aire que circula por el arroz almacenado tiende a equilibrarse con la humedad propia del grano; ahora bien, ya que la cantidad de agua presente, en forma de vapor, en el aire, aumenta al crecer la temperatura, en el momento que dicho aire se desplaza de la parte más caliente de la masa a una más fría cede una cierta cantidad de agua a los granos para restablecer el equilibrio de la tensión de vapor: el agua se condensa, de esta forma, sobre los granos y sobre las paredes de los recipientes fríos.

La humedad del ambiente y del arroz cáscara puede aumentar, pues: a) por medio del producto, seco y limpio de forma insuficiente; b) por infiltración a través de las paredes; c) mediante el aire ambiente húmedo, caracterizado por una elevada tensión de vapor, y como consecuencia de caídas rápidas de

temperatura que determinan condensaciones; d) por el metabolismo de los insectos presentes; e) por el metabolismo propio del arroz; f) por el metabolismo de los hongos.

El contenido de agua de la masa del arroz cáscara tiende a estar en equilibrio higroscópico con el aire ambiente a un nivel que es función de la humedad y temperatura del mismo. El equilibrio se alcanza lentamente por la inercia de la masa y está sujeto a variaciones, lentas si las temperaturas son bajas y más rápidas en caso contrario.

El arroz almacenado a granel no es homogéneo; pequeñas o grandes cantidades de la masa son más húmedas; la presencia de materias extrañas de mayor higroscopicidad o con un mayor contenido de agua crean las condiciones más favorables para el desarrollo de parásitos o de fermentaciones. Las mismas diferencias de temperatura de la masa de arroz pueden provocar movimientos de convección de los flujos de aire que aumentan la aparición de puntos, con una humedad más elevada, en la masa de arroz aparentemente uniforme.

La presencia de agua determina la activación de los diversos enzimas: amilolíticos, lipásicos y proteolíticos del arroz cáscara o de los hongos, que actúan sobre el almidón, grasas y elementos nitrogenados de la cariópside; se inicia la descomposición de la materia orgánica con producción de anhídrido carbónico, de productos varios de descomposición y de agua, que cataliza el proceso; la falta de oxígeno o anaerobiosis, que se determina en el ambiente a causa de estos fenómenos, frena el curso de la acción destructiva.

5.10.3 Los índices de deterioro

Para la medida del grado de deterioro del arroz, como de otros cereales, se utilizan algunos índices de carácter físico, químico y biológico. Los índices físicos son: el aspecto, la temperatura, el olor, la presencia de granos dañados y los insectos.

Los índices químicos consisten en: el aumento de los azúcares reductores y la disminución de las vitaminas. Los biológicos son: el aumento de la carga fúngica y la bacteriana, y para el arroz cáscara la reducción de la energía germinativa y la germinabilidad de las semillas.

Por lo que se refiere a los índices físicos, veamos que el aspecto del arroz dañado, al perder el brillo, adquiere un color opaco y pardo-negruzco, síntoma que introduce la sospecha de otro daño más grave. La temperatura elevada, detectada por las sondas termométricas instaladas en el interior de las celdas, es índice de fermentaciones en marcha y síntoma de la presencia de hongos y, bastante probablemente, también de insectos, causa y efectos de humedades altas. Los olores anormales provienen de las fermentaciones de origen fúngico o enzimático; el olor a moho se deriva probablemente de la presencia de hongos Actinomicetos. Por lo tanto, las citadas causas modifican las características de cierto número de granos que, al ser distintas de las normales, hacen posible la clasificación por intensidad y tipo de daño.

En cuanto a los índices químicos, se sabe que el aumento de acidez se deriva del aumento de la concentración de iones hidrógeno, con la simultánea presencia e incremento de: a) ácidos grasos libres; b) fosfatos ácidos; c) aminoácidos. El primero de estos índices es el más marcado y evidente desde las primeras fases del deterioro del arroz, por lo que se utiliza el análisis de la cantidad presente en el producto en mal estado; la acidez de las grasas se define y analiza como el número de mg. de hidróxido de potasio necesarios para neutralizar los ácidos grasos libres (referido a 100 g de arroz seco) extraídos con éter de petróleo o benceno.

Por la acción del enzima invertasa u otros enzimas, los azúcares reductores, presentes en el producto conservado con un contenido alto de humedad, disminuyen transformándose en azúcares no reductores. Las invertasas se producen por la presencia y desarrollo de hongos sobre los granos de arroz y los índices biológicos se derivan de la acción y efecto de la microflora huésped de la masa de arroz.

5.10.4 Los microorganismos

La población microbiana está representada por una bastante amplia y diferenciada serie de hongos y bacterias, comprendidos los actinomicetos, que se encuentran como parásitos y saprofitos en el terreno, la atmósfera, las plantas y los animales. El tipo y cantidad de la microflora presente en el arroz se encuentra en relación directa con el ambiente climático en el que se produjo el cereal, con el que se elaboró y con las condiciones de conservación. Las esporas de los hongos, es decir, los órganos responsables de su propagación, se alojan inevitablemente en cualquier parte; la germinación y el desarrollo vegetativo del micelio se verifica bajo condiciones térmicas y de humedad diferentes para cada especie de hongo; las condiciones medias idóneas para la vegetación de los microorganismos más comunes y perjudiciales son los siguientes: humedad relativa superior al 90% y temperatura comprendida entre los 20 y 40ºC. En su desarrollo, hongos y bacterias consumen, por su actividad enzimática, substancias alimenticias a expensas del arroz y producen agua; por su actividad metabólica aumentan la temperatura de la masa de arroz, originan la aparición de sabores y olores desagradables y producen substancias tóxicas llamadas micotoxinas, entre las cuales las más conocidas y peligrosas son las <<aflatoxinas>> B1, B2, G1 y G2.

Las bacterias se clasifican en 5 órdenes de Schizomycetos; penetran en los tejidos por las aberturas naturales o provocadas por los insectos y producen substancias gomosas.

Las especies fúngicas más tóxicas por la producción de aflatoxinas pertenecen a los géneros : *Aspergillus, Penicillium, Fusarium, Mucor, Rhizopus y Paecilomyces.*

Las aflatoxinas B1-B2-G1-G2, las más conocidas por su gran toxicidad, son producidas principalmente por *Aspergillus flavus*, A. *parasiticus* y *Penicillium puberulum.* Las aflatoxinas pueden provocar alteraciones del hígado y los riñones y, de forma secundaria, también de otros órganos humanos.

En el ámbito de la misma especie fúngica pueden existir variedades capaces de producir las citadas micotoxinas y otras no; además, no todos los hongos metabolizan productos tóxicos, incluso cuando el arroz aparezca alterado.

En cualquier caso, el arroz conservado y mantenido con un máximo del 14’5% de humedad se encuentra absolutamente protegido; en éste no se producen micotoxinas, salvo inmisiones indeseables de agua u otras contaminaciones accidentales.

5.10.5 Protección del arroz almacenado frente a los parásitos

Con referencia a los agentes capaces de alterar el producto, como el exceso de humedad, los parásitos fúngicos o los insectos, durante el período inmediatamente posterior a la recolección, el riesgo de deterioro es solamente el que se deriva del secado insuficiente e inadecuado del arroz-cáscara, o bien de la penetración del agua de lluvia (por la cubierta o las paredes) en el interior de las celdas de los silos metálicos; la humedad puede también iniciar cierta actividad enzimática por causas endógenas o bien con motivo de los hongos saprofitos y parásitos que se encuentran en el interior o exterior de la cascarilla[2].

Habrá que tener especial cuidado y vigilancia del arroz ensilado, dada su proclividad a contraer infestaciones diversas. Los estratos inferiores del producto se hallan comprimidos y expuestos a presiones importantes, al tiempo que se producen acumulaciones de humedad derivadas de la formación de vapor de agua y condensaciones del mismo, que pueden elevar la temperatura y provocar la fermentación del cereal almacenado. Ello exige el control ambiental exhaustivo del interior de las celdas mediante los instrumentos adecuados.

[2] *Vide* TINARELLI, A. *El arroz*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 1989.

Infecciones del arroz conservado en almacén: agentes infectantes encontrados en los granos

Bacterias
Epicoccum spp.
Alternaria spp.
Helminthosporium oryzae (Drechslera o.)
Curvularia spp.
Fusarium spp.
Actinomices spp.
Penicillium spp.
Aspergillus spp.
Mucor spp.
Rhizopus spp.
Gibberella spp.
Macrosporium spp.
Stemphilium spp.
Trichoderma spp.
Trichotthecium spp.
Nigrospora spp.
Fusarium moniliforme
Helminthosporium sigmoideum
Pyricularia oryzae

5.11. La aplicación de nuevas tecnologías

Como en los demás campos, la agricultura está sufriendo una serie de transformaciones consistentes en la informatización de muchas de sus tareas. Como consecuencia de ello, el sector arrocero español posee probablemente el parque de maquinaria más nuevo y tecnológicamente más avanzado que se utiliza en la agricultura extensiva.

Desde hace ya varios años se ha generalizado el uso de equipos de nivelación láser, que permiten a los agricultores manejar el agua de riego, permitiendo un riego más homogéneo y la utilización del agua de forma más racional. El sistema consiste en un emisor de rayo láser montado sobre un trípode que permanece estático y, que de forma continuada, va describiendo un plano virtual con la misma cota del terreno. Mientras tanto, un receptor montado sobre un apero (niveladora-arrobadera) recibe esta señal láser que la transforma y traslada al operador. Éste supervisa en todo momento la información de cota del terreno donde se encuentra y, de forma automática o

manual, puede corregir la altura levantando o bajando el apero. De esta forma, se obtiene la pendiente deseada para la parcela. Con la nivelación mediante láser se consigue controlar mejor los niveles del agua dentro de la parcela, de forma que se facilita la nascencia del cultivo.

Otro medio tecnológico del que se está extendiendo su uso en los últimos tiempos es el G.P.S. (Sistema de Posicionamiento Global), unido al desarrollo de la tecnología espacial, ya que depende de una red de satélites artificiales que giran alrededor de la Tierra e intercambian continuamente información con la misma. El sistema consiste básicamente en un receptor de señal de satélite. Tras recibir la señal de más de tres de ellos, informantes de posiciones conocidas, el aparato receptor calcula su posición mediante operaciones de triangulación y otras de corrección. De esta forma, continuamente podemos conocer nuestra posición con gran exactitud. En el sector arrocero se hace uso de esta tecnología en aquellas labores donde es necesario mantener una línea recta, como es el caso de aplicaciones fitosanitarias o de labores de siembra. Tras montar un receptor de G.P.S. sobre nuestro tractor y con un ordenador de a bordo, el operador está continuamente informado del rumbo que sigue en ese momento y la desviación con respecto a otro predefinido por él. Durante los tratamientos fitosanitarios, una vez definida la anchura de trabajo, la aplicación resulta completamente homogénea, con el ahorro consiguiente de producto fitosanitario que ello conlleva, evitando los solapamientos de tratamiento y la consecuente aparición de fitotoxicidad en el cultivo. Durante la operación de siembra proporciona homogeneidad en el reparto de la semilla. Igualmente, en las labores de preparación del terreno, facilita sobre todo las que se realizan durante la noche o bien en lugares de poca visibilidad. De esta forma, se rentabiliza la maquinaria y se racionalizan los productos agroquímicos y las semillas.

En otro sentido, el campo de las telecomunicaciones se instala también en la agricultura arrocera cuando se hace necesario un intercambio de información rápida y fiable. Concretamente, un servicio de mensajería vía teléfono móvil, el cual permite, a modo de estación de avisos, informar a los agricultores de cualquier incidencia que pudiera producirse durante el

desarrollo del cultivo o cualquier información que el técnico de campo quiera dirigir hacia un agricultor concreto. En algunas zonas, esta tecnología ya fue una realidad durante la campaña arrocera de 2003.

A nivel más bien administrativo, se puede destacar también el Sistema de Información Geográfica (S.I.G.), que se define como aquella base de datos referenciada a objetos que se pueden interpretar y analizar de forma geográfica. Así pues, utilizando los sistemas informáticos adecuados, se puede saber en todo momento dónde se encuentra una parcela, su superficie, sus coordenadas UTM del centro de la imagen, referencias catastrales (provincia, municipio, polígono, parcela y fecha de vuelo), a quién pertenece, qué técnico de campo la supervisa, qué ha ocurrido durante la campaña, etc. De esta forma, se pueden analizar datos de tipo agronómico o administrativo y facilitar, por tanto, el análisis y la gestión de la información. Todo ello repercute en el agricultor a través de los técnicos de campo o bien de los boletines informativos.

De hecho, el SIG es una herramienta computacional que permite integrar información referenciada espacialmente con bases de datos, proporcionando de una forma cómoda información en una plataforma con alto impacto visual y gran capacidad de síntesis informativa. A su vez, el SIG puede crear herramientas desarrolladas específicamente para ciertos subsectores, como es el caso del arroz, destinadas a implementar el riego y el drenaje mediante la integración de variables de recursos naturales, infraestructuras, medio ambiente y otras.

CAPÍTULO 2

- IMPORTANCIA ECONÓMICA DE LA ESPECIE -

1. Importancia económica mundial

1.1. Introducción

De todos los cereales existentes o conocidos, el arroz es, sin duda alguna, el que ofrece la posibilidad de llenar más rápidamente un déficit de producción agrícola para la alimentación del hombre y, junto con el trigo y la carne o el pescado, constituye la base de la alimentación humana. El 75% de la población mundial lo incluye en su dieta alimenticia diaria, pudiendo superar en algunos casos el consumo de otros cereales como el maíz y el trigo. La producción mundial de arroz supera los 500 millones de toneladas, teniendo en cuenta que sólo los países asiáticos obtienen el 90% de la producción. La historia nos ha demostrado, en efecto, cuánta consideración los hombres han tenido siempre por el arroz y por sus preciosas cualidades nutritivas. Miles de años atrás, en China se cultivaba el arroz sólo para la alimentación del Emperador y de los miembros de su familia.

El arroz proporciona entre el 25 y el 80% de las calorías de la dieta diaria a 2,7 mil millones de personas de Asia (donde se produce el 90% de la producción mundial), es decir, a más del 50% de la población mundial, donde se le considera el alimento básico de la civilización oriental. Por este motivo, es el cereal más utilizado en la alimentación humana (básicamente sólo se destina a esa finalidad), aunque su producción todavía no alcanza a la del trigo (considerado como el alimento básico de la civilización occidental).

El arroz en uno de los cultivos más antiguos. Se domesticó hace miles de años en Asia (aunque no hay unanimidad respecto el lugar ni el periodo, pero se han encontrado restos de unos 8.000 años de antigüedad en la China) y en África. Se extendió por China y por toda Asia 3.000 años antes de nuestra era. Europa oyó hablar del arroz a los escritores que acompañaron a Alejandro Magno ("el Grande") en la conquista de la India. A partir del siglo VIII se cultivó en España y Portugal y entre los siglos IX y X también en el sur de Italia.

Durante el último milenio se ha introducido progresivamente en el resto de los continentes. En los Estados Unidos se desarrolló a partir de los esclavos negros venidos del oeste de África, que ya lo conocían. Esta circunstancia se produjo alrededor del año 1718. En el *New South Wales* (Australia) las primeras tentativas de cultivo de arroz se efectuaron en el año 1891.

Si bien se trata de una planta de origen tropical, se encuentra totalmente adaptada desde los desiertos egipcios o australianos hasta alturas de 2.400 metros sobre el nivel del mar en el Nepal o los altiplanos andinos. Se cultiva principalmente en agua mediante el sistema de campos inundados (el 56% del total cultivado: todo el de Europa, de Norte América, de Oceanía y más del 50% del de Asia), pero también puede efectuarse en secano, en lugares bajos donde las lluvias son abundantes (Suramérica, África y en diversas zonas de Asia) o bien en "tierras altas". En la parte baja de los grandes ríos de Asia (Bangladesh, delta del Mekong, etc.) se cultivan los arroces flotantes, capaces de vivir a una cierta profundidad en el agua. De hecho, el agua en el cultivo del arroz actúa más impidiendo por gravedad el ascenso capilar de las sales de las capas freáticas más o menos superficiales que proporcionando sustento líquido para una elevada evapotranspiración de la planta.

En el mundo hay distintas formas de cultivo del arroz, teniendo en cuenta la profundidad del agua de cultivo y el tipo de variedad del arroz, según el porte de la planta. Así pues, el arroz cultivado en secano (a 0 metros de profundidad en el agua) y en aguas someras (con una profundidad del agua de cultivo de 0,50 metros) es del tipo enano y semienano. En las aguas intermedias con una profundidad aproximada de 1 metro se cultivan variedades altas y en las aguas

profundas, de hasta 5 metros de agua de cultivo, se utilizan las variedades de arroz flotantes, mencionadas anteriormente.

Las 25 especies conocidas aproximadamente del género *Oryza* se encuentran distribuidas en las regiones tropicales y subtropicales de Asia, Norte y Sur de Australia y Suramérica. También en África Occidental encontramos el arroz, pues parece que fue introducido por los portugueses desde Asia. En la cuenca del Mediterráneo ya se conocía durante el Imperio Romano. Concretamente, en España fue difundido seis siglos atrás por los árabes y en Italia por los españoles, los cuales, con el descubrimiento del Nuevo Mundo, lo divulgaron luego en Centro y Suramérica, mientras que los portugueses lo llevaron a Brasil.

Con esto demostramos que, cualquiera que fuese su tierra de origen, el arroz conquistó, en poco tiempo, a los hombres y mujeres de casi todos los países del mundo. De hecho, como ya hemos expresado, si el trigo se conocía como el alimento básico de la civilización occidental, el arroz se ha considerado del mismo modo de la oriental, aunque hoy en día este calificativo lo podemos extender también a escala mundial.

Lo que sí es cierto es que el arroz es uno de los productos agrícolas cuyo cultivo y consumo más auge ha experimentado en los últimos años. Es el recurso alimenticio más utilizado por los países pobres en su alimentación y la demanda en los países ricos aumenta cada año. En la UE, el ritmo del incremento de esta demanda, si bien ha decrecido en los últimos años, sigue estando entorno al 2% anual, situándose actualmente entre los 4’5 y 5’0 kilogramos por persona al año. Aliado ecológico en algunos países, en donde los campos de arroz conviven en buena armonía con humedales y ecosistemas protegidos de altísimo valor faunístico y florístico, en otros el cultivo del arroz se convierte en un peligro por la presión que se ejerce sobre los bosques y los intentos de incrementar los rendimientos a través de productos agroquímicos diversos (especialmente abonos y productos fitosanitarios).

En la mayoría de los principales países productores de arroz se produce para el consumo interno. Es precisamente en Asia donde están los seis primeros productores de arroz del mundo: China, India, Indonesia, Vietnam, Bangladesh y Thailandia. Son, además de grandes productores, grandes consumidores de dicho cereal de verano, por lo que pocos de estos países se encuentran entre los más exportadores, como es el caso de China e India que, aunque juntos acaparan el 60% de la producción mundial, sólo exportan el 1% de su propia producción, dedicando el resto al consumo interno. El comercio del arroz es, en cualquier caso, pequeño comparado con el de otros productos agrícolas; así, en la primera mitad de los años 90 del pasado siglo, ha sido del 4% sobre el total de la producción, mientras que en el caso de otros productos como el trigo, el comercio mundial ha representado en el mismo período un 18% con respecto a la producción mundial. A pesar de que algunos de los principales exportadores, como EE.UU. y Thailandia, han aumentado sus ventas, en el año 1996 la comercialización fue de 18 millones de toneladas, 2'7 millones de toneladas menos que en el año 1995.

1.2. Situación actual de los mercados internacionales

Como ya se ha dicho, el comercio internacional del arroz es muy escaso comparado con la producción mundial. Entre 1990 y 1994, la producción mundial de arroz blanco se situó en torno a los 350 millones de toneladas, de las cuales sólo unos 14 ó 15 millones, es decir, el 4% de las mismas fueron objeto de transacciones comerciales internacionales. En cambio, el comercio mundial de trigo, como ya se ha dicho, representa aproximadamente el 18% de la producción. También es de notar que el 87%, aproximadamente, del comercio mundial de arroz, lo constituye la subespecie Índica, frente al sólo 13% de la Japónica.

Este escaso porcentaje de comercialización provoca una mayor facilidad en la variación de los precios internacionales del grano según las diferentes cosechas. Los últimos años de malas cosechas y los incrementos en la demanda han provocado, además de estos vaivenes, el tener que recurrir a las

reservas acumuladas, con lo que éstas han ido decreciendo de año en año. Según los datos de la FAO, las reservas mundiales de arroz blanco, en el año 1994 eran de 63’2 millones de toneladas, en el 95 pasaron a 54 millones de toneladas y en el 96 se estimó que caerían hasta 53’3 millones de toneladas. Las previsiones apuntaban que en el 97 las reservas decrecerían nuevamente hasta los 49’2 millones de toneladas, y lo mismo sucedió en los años sucesivos.

En cuanto a la producción, los últimos datos muestran un incremento de ésta con respecto al 1995 de 4’5 millones de toneladas, situándose actualmente en torno a los 557 millones de toneladas.

Ahora bien, el aumento de la producción ha venido acompañado de un aumento paralelo de la demanda. El consumo de arroz ha ido creciendo en las últimas décadas, provocando en principio una ampliación de la superficie de cultivo y, en los últimos años, una búsqueda algo descontrolada de rendimientos a través de la utilización intensiva de productos agroquímicos diversos (abonos, acaricidas, fungicidas, herbicidas, hormonas, insecticidas, nematocidas, mojantes, etc.). Este incremento de superficie ha sido notorio en nuestro país, lo que ha supuesto incurrir en penalizaciones importantes por parte de la UE en las subvenciones de la PAC para los cultivos herbáceos, que ahora se pretenden corregir mediante la regionalización de las ayudas y producciones.

Así, según la FAO, durante los próximos 15 años, si bien se prevé que el crecimiento de la demanda global de arroz, en el período comprendido entre 1990 y 2030, decrecerá algo con respecto al decenio de 1980, para satisfacer la demanda será necesario aumentar los rendimientos por hectárea, puesto que el incremento de la superficie de cultivo es limitado por las restricciones edafoclimáticas y la disponibilidad de agua de riego. Hasta el año 2010 se prevé un aumento de la superficie sembrada de arroz de 11 millones de hectáreas netas. De ellas, la mayoría serán el resultado de la adición de tierras de regadío, mientras que las tierras altas propensas a la sequía descenderán

en 5 millones de hectáreas y la presión sobre los bosques disminuirá con el aumento de la concienciación medioambiental.

Una segunda característica importante del mercado mundial del arroz es que los principales productores no son, precisamente, los mayores exportadores de esta gramínea. Como ya hemos apuntado, los grandes productores, como China y la India (donde vive más de la tercera parte de la población mundial), que representan juntos el 60% aproximadamente de la producción de nuestro planeta, exportan menos del 1% de su producción: prácticamente todo el arroz que producen lo destinan para el consumo interior y, con frecuencia, no resulta apropiado para la exportación debido a su baja calidad. En cambio, en 1994-1995, la producción conjunta de Thailandia, Estados Unidos, Vietnam y Paquistán, que ascendió únicamente al 11% de la producción mundial, representó el 70% del comercio mundial de esta apreciada gramínea.

Ahora bien, teniendo en cuenta que el comercio internacional es relativamente escaso, las variaciones experimentadas algunos años por la producción influyen considerablemente en las cantidades de arroz disponibles para la exportación y, consecuentemente, en el precio de este producto en el mercado mundial. Por ejemplo, el precio del arroz blanco de grano largo “Thai”, de la subespecie Índica, sin vaporizar (cif Rotterdam en sacos de 100 kg), durante el período comprendido entre 1991 y 1994, osciló entre 181 ecus/Tm (1991) y 376 ecus/Tm (1993); el precio medio durante este período fue de unos 250 ecus/Tm.

Actualmente, los precios del mercado mundial se mantienen firmes ya que, dos grandes productores como China e Indonesia presentan *déficits* internos de 1,5 millones de toneladas cada uno.

Por lo que se refiere a la evolución de la producción, superficies y rendimientos del arroz en los diversos países del orbe, pueden verse las siguientes tablas ilustrativas.

Tabla 2.1. Evolución de la superficie, producción y rendimiento del arroz a nivel mundial (Estadística FAO, 1979, 1989 y 1994)

Países	Año 1979			Año 1989			Año 1994		
	Superficie (Ha x 10^6)	Rendimiento (kg/Ha)	Producción (Tm x 10^6)	Superficie (Ha x 10^6)	Rendimiento (kg/Ha)	Producción (Tm x 10^6)	Superficie (Ha x 10^6)	Rendimiento (kg/Ha)	Producción (Tm x 10^6)
MUNDO	143,7	2.741	393,9	146,5	3.457	506,3	145,5	3.651	534,7
ASIA	128,4	2.790	357,9	131,1	3.539	463,9	130,0	3.731	485,1
China	34,3	4.240	145,5	32,4	5.537	179,4	30,4	5.869	178,3
India	40,1	1.858	74,6	41,5	2.590	107,5	42,0	2.817	118,4
Indonesia	9,1	3.257	29,6	10,3	4.228	43,6	10,6	4.344	46,3
Bangladesh	10,3	1.952	20,1	10,6	2.502	26,6	9,9	2.796	27,5
Thailandia	9,0	1.887	16,9	10,3	2.077	21,3	8,5	2.175	18,5
Vietnam	5,6	2.116	11,8	5,9	3.089	18,1	6,5	3.462	22,5
Birmania	4,7	2.689	12,6	4,8	2.853	13,6	6,5	2.942	19,1
Japón	2,4	5.581	13,3	2,1	6.188	12,9	2,2	6.770	14,9
Filipinas	3,5	2.207	7,7	3,5	2.705	9,5	3,4	3.030	10,2
ÁFRICA	5,0	1.715	8,5	5,5	1.899	10,5	7,2	2.191	15,9
Nigeria	0,5	1.975	1,1	0,7	2.000	1,4	1,7	2.285	3,9
NORTEAMÉRICA	2,1	4.408	9,1	1,8	5.098	9,3	1,9	5.775	10,9
EE.UU.	1,3	5.167	6,9	1,1	6.444	7,1	1,3	6.718	8,9
SUDAMÉRICA	7,3	1.835	13,3	6,9	2.507	17,2	6,2	2.901	18,1
Brasil	5,9	1.436	8,5	5,3	2.283	11,1	4,4	2.380	10,6
EUROPA	0,4	5.133	1,9	0,4	5.138	1,9	0,4	5.591	2,1
OCEANÍA	0,1	5.844	0,7	0,1	6.917	0,8	0,1	7.631	1,1

Tabla 2.2. Producción mundial de arroz por países
(millones de toneladas de arroz-cáscara o "paddy")

Países	93/94	94/95	99/00
China R.P.	177,7 (34,23%)	173,6 (33,29%)	189,8 (31,94%)
India	117,0 (22,53%)	115,5 (22,15%)	128,2 (21,58%)
Indonesia	48,2 (9,28%)	45,8 (8,78%)	51,2 (8,61%)
Bangla Desh	26,8 (5,16%)	27,0 (5,18%)	35,8 (6,00%)
Vietnam	22,8 (4,39%)	22,5 (4,31%)	32,7 (5,50%)
Thailandia	18,5 (3,56%)	20,0 (3,84%)	24,0 (4,04%)
Japón	9,8 (1,89%)	14,7 (2,82%)	-
EE.UU.	7,1 (1,37%)	8,7 (1,67%)	8,7 (1,46%)
UE	2,0 (0,39%)	2,0 (0,38%)	2,5 (0,42%)
Otros	89,3 (17,20%)	91,7 (17,58%)	121,5 (20,45%)
Total mundial	**519,2(100,00%)**	**521,5(100,00%)**	**594,4(100,00%)**

Fuente: Estadística FAO

Tabla 2.3. Producción mundial de arroz por continentes en el año 2000

Continente	Superficie (Ha)	Producción (Tm)	Rendimiento (kg/Ha)
África	7.859.142	17.386.983	2.212
América del Sur	5.596.883	22.738.570	4.063
América del Norte	1.857.406	8.657.810	4.661
Asia	137.936.479	540.147.301	3.916
Europa	594.691	2.501.654	4.207
Oceanía	154.976	1.776.200	11.461
Mundo	153.999.577	593.208.518	3.852

Fuente: Estadística FAO

1.3. Perspectivas del mercado mundial del arroz

Es probable que las perspectivas del mercado mundial del arroz se hallen estrechamente ligadas al desarrollo económico del Extremo Oriente, donde se produce el 92%, aproximadamente, del arroz mundial.

En un estudio realizado por el servicio de investigación económica del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, *United States Department of Agriculture*), se establece una correlación interesante entre el nivel de ingresos y de urbanización y el consumo de trigo y arroz. De acuerdo con este estudio, en los países que son consumidores tradicionales de arroz, el consumo de este

producto, que constituye el alimento básico, disminuye a medida que aumentan los ingresos y el nivel de urbanización, al tiempo que aumenta el consumo de trigo. Se trata, pues, de un bien “inferior” en los términos empleados por la teoría microeconómica, o bien con un coeficiente de elasticidad demanda-renta negativo.

Por otra parte, contrariamente, la demanda del **arroz de calidad** crece a medida que aumenta el nivel de ingresos. Esta situación podría dar lugar a que cantidades importantes de arroz chino de buena calidad salieran al mercado mundial. No obstante, no debe excluirse que, debido al desarrollo económico, en general, la superficie total dedicada a la producción de arroz disminuya.

De acuerdo con los mismos cálculos del Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), cabe esperar que el consumo mundial en los países productores importantes se estabilice en los próximos años.

En 1994 las exportaciones vietnamitas alcanzaron los 2,1 millones de toneladas. Recientemente Birmania se incorporó también al mercado mundial, incrementando sus exportaciones, que pasaron de unas 200.000 toneladas en 1992 y 1993 a 650.000 toneladas en 1994. A partir de 1995, Birmania viene exportando alrededor de 1 millón de toneladas métricas anuales.

Se cree que los requisitos mínimos de acceso establecidos en el acuerdo de la Ronda de Uruguay del GATT y ulteriores afectarán especialmente a las importaciones de Japón, así como los últimos acuerdos de la Organización Mundial del Comercio (OMC). El comercio mundial de las subespecies Japónica podría aumentar significativamente, pasando de unos 1,5 millones de toneladas a 2,5 millones. De acuerdo con los cálculos realizados por el Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos, el comercio internacional de arroz ha aumentado en torno al 5% entre 1995 y el año 2000 y aumentará otro 5% hasta el año 2005. También podría producirse una reorientación de la producción norteamericana hacia subespecies del tipo Japónica, que gozan de mayor demanda en el importante mercado japonés.

Tabla 2.4. Perspectivas de los países productores de arroz más importantes

País	Superficie (millones de Ha)		Producción (millones de Tm)		Consumo (millones de Tm)		Exportaciones netas (millones de Tm)	
	89-91	2000	89-91	2000	89-91	2000	89-91	2000
China	32,79	32,61	138,32	134,28	138,34	135,51	0,11	0,53
India	41,95	44,36	73,05	96,32	72,93	95,00	0,46	0,70
Indonesia	10,39	10,91	29,04	33,97	29,12	33,89	-0,17	0,05
Japón	2,57	2,03	9,24	9,32	9,61	9,32	-0,20	-0,20
Paquistán	2,08	2,13	3,23	3,35	2,15	2,09	1,09	1,27
Filipinas	3,39	3,62	6,04	7,23	6,20	7,59	-0,31	-0.38
Corea Sur	1,24	1,19	5,63	5,36	5,48	5,36	0,01	0,01
Thailandia	9,60	10,49	12,69	15,00	8,52	8,77	4,18	6,23
Vietnam	6,17	6,45	13,02	17,25	11,59	15,20	1,40	2,00
EE.UU.	1,14	1,32	4,90	5,70	2,10	2,40	2,70	3,30
TOTAL	**111,32**	**115,11**	**295,16**	**327,78**	**286,04**	**315,13**	**9,27**	**13,51**

Fuente: Ministerio de Agricultura de los Estados Unidos. Asia: situación y perspectivas, 1993

La producción mundial de arroz durante la campaña 1995-96 fue de 359,3 millones de toneladas, según las estimaciones realizadas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, *United States Department of Agriculture*), lo que demuestra que la cosecha de este cereal creció en 1,1 millones de toneladas con respecto a la anterior campaña 1994-95.

Según informaba la agencia alemana VWD, la producción de Estados Unidos alcanzó en la campaña siguiente las 5,8 millones de toneladas, 0,8 millones de toneladas menos que en la de 1994-95, lo que supone una disminución del 12%. Estas cifras ofrecen una idea aproximada del volumen de producción del gran gigante norteamericano.

2. Importancia económica en el ámbito de la Unión Europea

2.1. Producción

La producción europea del arroz tiene lugar en Italia (Valle del Po), España (Andalucía, Cataluña, Aragón, Extremadura y Valencia), Portugal (Beiera, Estoril), Francia (Camargue) y Grecia (Macedonia, Peloponeso), centrándose mayormente en la subespecie Japónica (del orden del 83%).

Italia es el mayor productor de arroz de la UE con un 67% de la producción total comunitaria de Japónica, y un 46% del Índica, en el periodo que va desde 1991 a 1994.

La producción total de arroz es relativamente estable: la producción de Japónica entre 1991 y 1994 se situó en torno a las 1.060.000 toneladas, con una producción máxima en 1991 de 1.100.000 toneladas, mientras que la más baja fue la de la campaña 93-94 con 1.050.000 toneladas.

La producción de arroz Índica se ha incrementado entre 1988 y 1994 debido a un programa especial de ayuda de la UE, pasando de 78.000 toneladas en los años 1988-89 a 232.000 toneladas en la campaña 1994-95 (con una media de 167.000 toneladas por campaña arrocera).

En España, la producción de Índica se ha visto seriamente recortada por los problemas generados por la sequía que acaeció en 1993 y 1994, especialmente en las zonas productoras de Andalucía (Marismas del Guadalquivir) y Extremadura (Plan Badajoz).

Tabla 2.5. Producción de arroz Japónica[1] (pág. 6 de la Comisión de la UE)

	Superficie (1.000 Ha)			**Rendimiento arroz cáscara (Tm/Ha)**			**Producción arroz cáscara (1.000 Tm)**			**Producción arroz blanco (1.000 Tm)**		
Países	**92-93**	**93-94**	**94-95**	**92-93**	**93-94**	**94-95**	**92-93**	**93-94**	**94-95**	**92-93**	**93-94**	**94-95**
UE	289,93	293,89	306,08	5,99	5,81	5,83	1.679	1.652	1.728	1.025	1.048	1.051
Italia	191,73	203,24	202,33	5,90	5,71	5,74	1.086	1.121	1.121	671	730	698
España	51,30	44,48	52,12	6,35	6,49	6,13	320	280	310	191	169	178
Portugal	17,59	13,06	21,70	6,00	5,59	6,17	104	70	131	61	41	76
Francia	19,70	21,27	18,37	5,47	5,07	5,00	105	106	90	63	63	53
Grecia	9,61	11,84	11,56	7,04	6,61	6,86	65	75	77	39	45	46

Fuente: VI/C/I (Información basada en las comunicaciones de los Estados miembros)

Otras tablas igualmente interesantes, pueden verse a continuación.

[1] A menos que se indique lo contrario, todas las cantidades de arroz se expresan en equivalente de arroz blanco. El factor de conversión del arroz cáscara en arroz blanco varía entre el 0,54 y el 0,65, según rendimientos, dependiendo de la calidad del arroz; la producción comprende la producción total menos la dedicada a las semillas.

Tabla 2.6. Producción de arroz Índica[1] (pág. 6 de la Comisión de la UE)

Países	Superficie (1.000 Ha)			Rendimiento arroz cáscara (Tm/Ha)			Producción arroz cáscara (1.000 Tm)			Producción arroz blanco (1.000 Tm)		
	92-93	93-94	94-95	92-93	93-94	94-95	92-93	93-94	94-95	92-93	93-94	94-95
UE	69,82	41,84	63,22	6,63	6,40	6,37	451	253	385	267	155	232
Italia	24,68	28,51	33,62	6,33	6,00	5,95	150	165	193	93	104	122
España	34,40	3,54	11,00	6,60	6,00	6,00	223	14	59	129	8	32
Portugal	3,53	0,36	1,20	6,70	6,80	6,70	24	2	8	13	1	4
Francia	2,30	2,73	6,13	6,30	6,20	5,50	14	16	32	8	9	18
Grecia	4,91	6,70	11,27	8,52	8,32	8,44	40	56	93	24	33	56

Fuente: VI/C/I (Información basada en las comunicaciones de los Estados miembros)

Tabla 2.7. Producción total de arroz en la UE

Países	Superficie (Ha)			Producción (1.000 Tm)			Rendimiento (kg/Ha)		
	1993	1994	2000	1993	1994	2000	1993	1994	2000
Italia	231.740	236.900	220.348	1.331,1	1.396,0	1.300,0	5.744	5.893	5.900
España	50.223	63.121	115.200	315,5	385,4	797,8	6.282	6.106	6.925
Francia	24.000	26.000	18.565	124,8	135,2	107,4	5.200	5.200	5.785
Grecia	18.847	23.000	19.902	136,6	170,0	147,5	7.248	7.391	7.411
Portugal	13.420	22.900	23.950	75,5	142,0	149,0	5.626	6.200	6.221
Total UE	**338.230**	**371.921**	**397.965**	**1.983,5**	**2.228,6**	**2.501,7**	**5.864**	**5.992**	**6.286**

Fuentes: MAPA y Estadística FAO.

De las dos principales variedades de arroz mencionadas, al sur de la Unión Europea se prefiere por el consumo la variedad Japónica, mientras que en el Norte se prefiere la Índica (para acompañamiento o guarnición de diversos platos, al disponer de menores cantidades de almidón), en función de los hábitos alimentarios. La producción de Japónica ha ido rondando en estos últimos años 1.060.000 toneladas mientras que la máxima producción de Índica sólo llegó a 232.000 toneladas; es por eso que uno de los tipos de ayudas que se conceden por parte de la UE es precisamente a la producción de Índica. Si bien del arroz de las variedades Japónica la UE es exportadora, el déficit en cuanto a la producción de Índica la hace importadora neta.

Atendiendo a los datos del año 1994, como ya se ha expresado, por países es Italia el país que tiene mayor producción y mayor número de hectáreas cultivables. De las 380.000 hectáreas de la UE, en Italia se concentraron 220.000 Ha, el 58% del total, seguido de España con 63.000 Ha (el 17%). Sin embargo, en cuanto a rendimiento, es Grecia el país que ocupó el primer puesto con 6’61 toneladas por Ha, seguido de España con 6’49 Tm/Ha.

Estos rendimientos están incrementándose espectacularmente en los últimos tiempos debido, probablemente, a las mejoras varietales y a los tratamientos fúngicos, especialmente contra los hongos del género *Pyricularia oryzae*.

La superficie cultivada de las dos variedades mayoritarias de arroz, en los distintos países miembros de la Unión Europea, se pueden observar en las siguientes tablas. Como es de prever, la superficie de la variedad Japónica es considerablemente superior a la de Índica. Así:

Tabla 2.8. Superficie europea dedicada al arroz por sus estados miembros y según variedades (en hectáreas, promedio del periodo 1990-1994)

Países/Variedades	Japónica	Índica	Total
Italia	196.798	33.500	230.298
España	52.227	23.827	76.054
Grecia	11.473	11.300	22.773
Francia	19.687	6.100	25.787
Portugal	22.997	1.200	24.197
UE	303.182	75.927	379.109

Fuente: Comisión europea (media 1990/94)

Tabla 2.9. Superficie europea dedicada al arroz por sus estados miembros y según variedades (en hectáreas, campaña 1997-98)

Países/Variedades	Japónica	Índica	Total
Italia	213.445	19.390	232.835
España	66.792	44.500	111.292
Grecia	13.102	16.860	29.962
Francia	18.142	2.053	20.195
Portugal	26.570	1.155	27.725
UE	338.051	83.958	422.009

Fuente: Comisión europea (campaña 1997/98)

La superficie de cultivo de arroz en Italia ocupa algo más del 55% de la superficie total europea dedicado a este cereal, representando del total de la UE el 23% de la superficie dedicada al tipo Índica y el 63% de la superficie dedicada al Japónica.

España, como ya se ha visto, es el segundo productor de la UE con algo más del 26% (111.292 Ha) de la producción total comunitaria, habiendo escalado posiciones en el ranking europeo. De esta superficie, el tipo Índica representa el 53% de la superficie total comunitaria, mientras que el Japónica representa cerca del 20%. Es decir, siendo el estado español el segundo país productor de arroz de la UE, representa el primer país productor, y con diferencia, de arroz del tipo Índica.

La superficie total comunitaria del año 96, alcanzó las 425.011 Ha, estando un 1,65% por debajo de la superficie base. De esta superficie, la variedad Japónica representa el 77,9% (331.117 Ha) mientras que de variedades tipo Índica solamente se siembran 93.894 Ha, lo que representa el 22,1% del total.

En cuanto a la distribución de las plantaciones, se producen diferencias considerables al analizarlo por países dentro de la propia UE. Trasladando este análisis a España, nos topamos con uno de los caballos de batalla de algunas asociaciones de agricultores por la repercusión que en cuestión de ayudas o subvenciones tiene. Relacionando el número de plantaciones de la UE, unas 31.500, y el área máxima de cultivo dentro de la UE, 434.123 Ha, nos encontramos con una media superficial de 13’78 Ha por plantación. Pues bien, frente a estos resultados, conviene remarcar que:

- Estados Unidos es el exportador más importante a la UE y tiene de media unas 81 hectáreas por plantación.

- En Italia y Francia, el 33’8% y el 47’8% respectivamente, poseen más de 30 hectáreas de arrozales por explotación.

- En España, Portugal y Grecia sólo un 6’9%, 9’9% y un 1’1% de los productores, respectivamente, tienen más de 30 hectáreas por explotación. En estos países, del 77% al 85% de los agricultores tienen menos de 10 hectáreas por explotación.

Algunas de las ayudas que concede la UE se refieren al número de hectáreas. Las ayudas del FEOGA-Garantía, creadas para aumentar la renta de los agricultores, concedían 111 ecus por hectárea, con lo que los grandes terratenientes acaparaban la mayoría de estas ayudas. Concretamente, según publicaba la revista *Tiempo*, en algunas zonas de España donde estas ayudas suponen el 30 y el 50% de la renta agrarias, las ayudas se reparten muy desigualmente. Así, en Extremadura sólo diez terratenientes se reparten 800 millones de pesetas, que equivalen a lo acumulado por 15.000 pequeños propietarios, mientras que en Sevilla el 0’5% de las explotaciones concentran el 40% de las ayudas. En esta tesitura, los índices de Gini, Pareto, Lorenz o Williamson, aplicados a la bondad de la distribución de dichas ayudas, ofrecen resultados francamente malos. El resultado es que, si bien España es el tercer receptor de estas ayudas, ocupa el octavo lugar en cuanto a dinero recibido por trabajador agrícola. A pesar de los fines para los que fueron ideadas las ayudas a la renta agraria española en el ámbito de la Política Agraria Comunitaria (PAC), lo cierto es que han disminuido un 11’4 % en los últimos diez años y la población activa agraria ha descendido en 600.000 personas. Es por esto que desde algunos colectivos, para no favorecer a los que más tienen, se pide para estas ayudas un tope por explotación (“modulación”), cuya implantación se prevé inmediata. Otra medida en estudio actualmente, por parte de la UE, consiste en el “desacoplamiento” de las ayudas de la producción, fijándolas por explotación.

Como resumen de lo antes expuesto, podemos afirmar que el sector del arroz se caracteriza por las condiciones singulares, tanto de su rama productora (condiciones agronómicas de cultivo, costes de producción, funciones sociales y medioambientales que desempeña) como de su rama de la transformación y comercialización y formas de consumo, que han justificado que sea objeto de una OCM (“organización común de mercado”) particular, con una ficha financiera propia y suficiente.

En Europa sólo hay 5 países productores de arroz (Italia, España, Grecia, Francia y Portugal) que producen unas 1’5 millones de toneladas de arroz blanco, siendo España, con 104.943 Ha, el 25% de la superficie, el

segundo país de la UE en importancia. Europa tiene, en su conjunto, una superficie Máxima Garantizada de 434.123 Ha.

La Unión Europea es productor deficitario globalmente de arroz, puesto que consume 1’7 millones de toneladas mientras que sólo produce 1’5 millones (hablamos de arroz blanco). Aunque, como ya se ha expuesto, el problema radica en los tipos de arroz que se producen, la producción de arroz de tipo redondo (japónica) resulta excedentaria mientras que la de arroz largo o índica, que se consume más en los estados del Norte de Europa, es deficitaria. La relación puede ser, por campaña media, de un tercio de arroz largo y dos tercios de arroz redondo.

2.2. Consumo

Entre 1988 y 1994, el consumo medio por cápita de arroz en la Unión Europea aumentó en torno al 2% anual, pasándose de unos 3,9 kg a 4,4 kg. No obstante, en este mismo período, el consumo de la subespecie Japónica ha disminuido, pasándose de 2,7 kg a unos 2,5 kg, mientras que el consumo de la subespecie Índica ha aumentado, pasándose de 1,2 kg a 1,8 kg por cápita.

Tal como se indica en la Tabla 2.10, la mayor parte de la subespecie Japónica se consume en los Estados miembros meridionales, mientras que la subespecie Índica se consume en los Estados miembros septentrionales.

La experiencia internacional pone de manifiesto que el mercado del arroz es conservador. El consumidor medio se mantiene fiel a la variedad a la que está acostumbrado. Las características culinarias de una subespecie determinada son básicas a este respecto, de ahí que sea difícil, si no casi imposible, lograr que los consumidores substituyan una subespecie por otra.

Dentro de las subespecies Japónica e Índica, a su vez, se han obtenido diversas variedades con el fin de satisfacer las necesidades de los diversos mercados. *Arborio* y *Carnaroli* son dos variedades de gran calidad de la

subespecie Japónica, muy apreciadas en la Unión Europea, mientras que la variedad *Lido* se destina principalmente a la exportación.

Excepto en el caso de algunas variedades aromáticas (*Basmati* procedente de la India y de Paquistán, y *Jasmine* procedente de Thailandia), destinadas a sectores concretos del mercado, las variedades Índica (*Thaibonnet*) consumidas en el mercado europeo son semejantes, si bien el grado de transformación varía: vaporizado o no, precocinado o no, etc.

Tabla 2.10. Consumo de las subespecies de arroz Japónica e Índica en la UE (1994)
(pág. 7 de la Comisión de la UE)

Países	Japónica			Índica			Total		
	10^3 Tm	Por cápita (kg)	Tendencia kg/año (2)	10^3 Tm	Por cápita (kg)	Tendencia kg/año (2)	10^3 Tm	Por cápita (kg)	Tendencia kg/año (2)
UE	880	2,5	-0,03	636	1,8	0,11	1.516	4,3	0,05
Italia	310	5,4	NS	5	0,1	NS	315	5,5	NS
España	215	5,5	-0,11	10	0,3	NS	225	5,8	-0,07
Portugal	90	9,0	-0,8	55	5,5	0,82	145	14,5	0,02
Francia	103	1,8	NS	170	2,9	0,15	273	4,7	0,16
Grecia	38	3,8	NS	14	1,4	0,04	52	5,2	0,02
Reino Unido	41	0,7	NS	209	3,6	0,31	250	4,3	0,26
Alemania	62	0,8	NS	118	1,5	-0,01	180	2,3	NS
Países Bajos	6	0,4	NS	29	1,9	NS	35	2,3	NS
UEBL	3	0,3	-0,02	15	1,5	0,06	18	1,8	0,04
Dinamarca	11	2,2	0,26	7	1,4	-0,09	18	3,6	0,26
Irlanda	1	0,3	0,05	4	1,2	-0,04	5	1,5	NS

(2) La tendencia se calcula entre 1988 y 1995.
NS: Tendencia no significativa.
Fuente: VI/C/I (información basada en las comunicaciones de los Estados miembros).
Eurostat (cifras de población).

2.3. Balance de abastecimiento de arroz en la Unión Europea

Como ya hemos apuntado, la Unión Europea se autoabastece con creces de la subespecie Japónica; entre 1988 y 1994, el grado de autoabastecimiento fue del 121%.

Entre 1988 y 1994, el grado de autoabastecimiento de la subespecie Índica en la UE pasó del 19% a un máximo del 50% en el bienio 1991-1992, disminuyendo, sin embargo, al 37% en el 1994-1995 (el promedio de todo el periodo fue del 31%).

En resumen puede decirse que la Unión Europea es un exportador neto de la subespecie Japónica y un importador neto de la subespecie Índica. En su conjunto, la Comunidad europea es un importador neto de arroz.

Tabla 2.11. Balance de abastecimiento de la Unión Europea (3)
(1.000 Tm, equivalente de arroz blanco)
(pág. 9 de la Comisión de la UE)

	JAPÓNICA			ÍNDICA			TOTAL		
Campañas	**88-89**	**91-92**	**94-95**	**88-89**	**91-92**	**94-95**	**88-89**	**91-92**	**94-95**
Producción	1.126	1.102	1.051	78	266	232	1.204	1.368	1.284
Existencias iniciales	184	291	102	38	61	46	222	353	148
Importaciones extraordinarias	21	73	12	305	255	430	326	329	442
Exportaciones extraordinarias	267	371	177	0	4	9,7	267	375	187
Utilización interior	929	963	879	420	535	636	1.349	1.497	1.515
Grado de autoabastecimiento	121	114	120	19	50	37	89	91	85

(3) Incluidos los granos partidos.
Fuente: VI/C/I (Información basada en las comunicaciones de los Estados miembros).

2.4. Mercado interno

El mercado intracomunitario entre 1990 y 1994 fue de unas 700.000 toneladas de arroz elaborado, incluyendo en esta cantidad una gran parte de arroz importado (unas 400.000 Tm). Los mayores Estados miembros productores distribuidores a otros países de la UE son Italia (unas 325.000 Tm) y España (89.000 Tm). Los mayores comercializadores de los Estados no productores son Bélgica y Holanda, con unas 89.000 y 70.000 toneladas, despachadas respectivamente a otros estados miembros.

El mayor importador es Alemania con unas 170.000 toneladas (96.000 Tm de Índica), Reino Unido, con unas 152.000 Tm (110.000 de Índica), Francia, con unas 150.000 toneladas (87.000 Tm de Índica), Portugal y Bélgica con unas 65.000 Tm cada uno (años 1990 al 1994).

Las principales salidas al mercado son la siguientes:

- Pequeño comercio y alimentación: 60%
- Servicios de alimentación: 30% (cattering y restaurantes)

- Uso industrial: 10% (comidas precocinadas, cervezas, etc.)

El empaquetamiento y presentación del arroz difiere considerablemente entre los distintos estados miembros. Se ha estimado que la industria -con un porcentaje de 30% de las ventas en pequeños comercios en el norte de Europa- está ocupada por una presentación de bolsas de arroz para ser hervidas de forma directa ("Boil in bag"), un 50% en bolsas de un kilogramo y un 20% de arroz empaquetado en bolsas de 2 kilogramos o más.

2.5. Perspectivas para el arroz

Los cultivadores de arroz tienen que hacer frente a penalizaciones en el importe de la ayuda a este cultivo desde hace años, prácticamente desde que entró en vigor la reforma aprobada en 1995, y de cara al futuro las perspectivas no son buenas porque se espera un aumento de los excedentes en el mercado de la Unión Europea así como un desarme arancelario forzado por los acuerdos del comercio internacional y la globalización económica. Según un informe de la Comisión Europea, los excedentes de arroz han aumentado de forma progresiva desde la campaña 1996/97. En la campaña 1995/96 no había *stocks*, en la 1996/97 se situaron en 90.000 toneladas en toda la UE y en la 1999/2000 alcanzaron las 420.000 toneladas, aunque en la 2000/01 bajaron a 370.000.

Esta evolución se ha registrado a pesar de la disminución de la producción comunitaria, que ha ido acompañada de un incremento de las importaciones. Las exportaciones, por su parte, se han estabilizado en torno a las 200.000 toneladas en las últimas campañas.

Para los próximos años, en fin, las perspectivas no son buenas. La Comisión espera una situación difícil, caracterizada por la persistencia del desequilibrio actual. A corto plazo habrá una ligera disminución de los *stocks*, pero se espera que éstos volverán a incrementarse en el futuro hasta superar las 600.000 toneladas en la campaña 2005/06. Según Bruselas, este deterioro gradual de la situación del mercado tendrá sus efectos perversos sobre los

precios comunitarios, que podrían situarse por debajo del nivel del precio de intervención.

Según la última encuesta sobre estructuras agrarias en la UE, correspondiente a 1997, de las 26.000 explotaciones productoras de arroz de la Unión Europea, el 32% se encuentra en España, otro 32% en Grecia y un 25% en Italia. Los principales productores de arroz a nivel comunitario son España e Italia, como ya se ha visto, que juntos representan el 84% de la superficie total.[2]

3. Importancia económica del arroz en el estado español

3.1. Localización del cultivo de arroz en el estado español

En España existen tres zonas productoras principales con características diferentes. A saber:

- Zona Sur: hay en ella dos subzonas claramente diferenciadas, la situada sobre el estuario ("las marismas") del río Guadalquivir en Sevilla y la de Don Benito en Extremadura (latitud media 37° 30' N). Sevilla es la primera provincia productora española, que junto con Extremadura alcanzan casi un 60% de la producción estatal.

- Cataluña: se encuentran dos subzonas. Una la situada en el término de Pals (Gerona) con latitud media 42º 20' N y donde la producción es muy baja; la otra en el delta del río Ebro, en Tarragona (latitud media 40° 40' N) y su producción, que convive con un importante parque natural, representa un 15% de la total obtenida en el Estado.

- Comunidad Valenciana: comprende los terrenos próximos a la Albufera de Valencia y a la desembocadura del río Júcar (latitud media 39° 25' N). Su producción constituye, igualmente, el 15% de la española, en condiciones y circunstancias bastante parecidas a las del área geográfica anterior.

[2] *Vide*: Agro Cajas - Boletín al servicio de la agricultura, ganadería y pesca de España en el marco de la UE, nº: 199. Septiembre, 2002.

También se cultiva el arroz en zonas concretas de Murcia, Aragón (Albalate de Cinca, Grañén), ambas Castillas, Islas Baleares y en Navarra.

Se estima, en definitiva, que en España la producción alcanza casi el medio millón de toneladas, de los cuales el 60% se produce en las zonas arroceras del Guadalquivir y Extremadura, el 15% en el delta del Ebro, el 15% en la Albufera valenciana y el restante 10% entre, Murcia, Aragón, las dos Castillas, Baleares y Navarra, aunque estos datos pueden variar ligeramente en función de las diversas fuentes empleadas.

3.2. Importancia económica en el estado español

El arroz es un cultivo que a lo largo de estos últimos años ha alcanzado, gracias al avance tecnológico y a la mejora de los medios de producción, un sólido desarrollo y una estable situación de las explotaciones. Desde 1986 y tras la liberalización de su cultivo, el arroz dejó de sufrir persecuciones de carácter legislativo y, con el paso de los años, le ha llevado a una cierta estabilización de la superficie. Este camino, sin embargo, se ha visto perjudicado por otra barrera legislativa, la reforma de la OCM del año 1995, que ha llevado al sector del arroz a sufrir una injusta penalización progresiva, que además reviste el carácter de única entre las existentes en las OCM.

A pesar de los amenazantes cambios legislativos, este sector, con una gran implantación cooperativa -quizás la más importante existente en España- mira con expectación el futuro. A pesar de esta justificada inquietud, las cooperativas mantienen la producción y, con ello, valores añadidos en las comarcas arroceras. Esas iniciativas que en las zonas productoras se están llevando a cabo necesitan, no sólo de la ilusión de quienes al frente de las cooperativas tranquilizan a sus socios e infunden serenidad, sino además, de un reconocimiento de este esfuerzo a realizar por parte de la administración agrícola de la UE, para transmitir confianza en estas zonas rurales por el mantenimiento de humedales, del medio ambiente, del tejido productivo y de la economía local.

En el quinquenio 1980-84, el arroz representó alrededor del 0,28% de la Producción Final Agraria (P.F.A.) de la entonces C.E.E. Dicho porcentaje fue del 1,1% en Italia, el 0,4% en Grecia y prácticamente insignificante en Francia[3].

Pues bien, la comparación de estos datos con los españoles indica la mayor importancia económica del arroz en España que en esos otros países productores europeos. En concreto, la participación en la P.F.A. es el doble en España que en la C.E.E. y resulta el triple en el caso de la Comunidad Valenciana.

En 1989 las ventas en España fueron de 262.357 millones de kilogramos, con un descenso respecto al año anterior del 31%. Los industriales del sector tuvieron que exportar del 10 al 15% de su producto para descongestionar el mercado nacional.

La producción de arroz durante el año 1988 fue de 500.000 kilogramos y en el año 1989 de 319.000. Este descenso tan espectacular fue debido a la gran sequía en Sevilla y al temporal acaecido en la zona levantina. El descenso de la producción fue paliado, no obstante, con importaciones (194.213 Tm), frente a las exportaciones de 170.000 Tm.

Como ya se ha tratado, el cultivo del arroz en España se realiza fundamentalmente en las comunidades autónomas de Andalucía, Aragón, Cataluña, Extremadura, Murcia, Navarra y Valencia. De manera testimonial, también en Castilla-La Mancha, Castilla-León, Baleares y La Rioja. En Andalucía, Cataluña y Valencia se produce el arroz en zonas en las que la composición e impermeabilidad del terreno dificultan la posibilidad de otros cultivos, añadiendo a este condicionante el entorno medioambiental próximo en el que se desarrolla la producción, cuyos valores naturales y paisajísticos merecen una conservación y protección especial, tanto a nivel nacional (parques nacionales y naturales) como internacional (Convenio Ramsar, Directivas marco europeas, etc.).

[3] Fuente: *Rapport 1984 C.E.E.*

En todas las zonas reseñadas el arroz se desarrolla en régimen de regadío, resultando expuesto el cultivo a los condicionantes que las restricciones de agua pueden imponerse en los ciclos de escasez de lluvias. Puede apreciarse lo importante que resultó esta situación en los años 1993, 94 y 95, que supuso un freno importante en el cultivo en las comunidades autónomas de Extremadura y Andalucía.

Tabla 2.12. Superficies cultivadas de arroz (en hectáreas) en las distintas comunidades autónomas del estado español, desde 1991 a 1997

CC.AA./Años	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997
Aragón	6.000	4.645	5.972	7.332	12.644	12.820	14.159
Cataluña	20.512	22.523	21.496	20.512	22.525	21.585	21.330
Valencia	15.758	15.729	15.636	15.758	15.571	15.965	16.495
Extremadura	15.512	20.200	0	15.512	170	21.000	20.200
Andalucía	34.500	20.500	2.910	6.080	1.510	33.401	36.700
Navarra	963	1.476	1.403	963	1.598	1.587	1.753
Murcia	312	323	330	318	329	332	450
Baleares	2	-	-	2	-	-	-
Castilla-La Mancha	160	145	105	160	25	28	125
Rioja	-	-	-	-	80	75	80
Total	**93.719**	**85.541**	**47.852**	**66.637**	**54.452**	**106.793**	**111.292**

Fuente: MAPA (Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación).

Desde entonces, las superficies cultivadas de arroz en nuestro país han ido manteniéndose en los mismos o parecidos niveles, tal como puede comprobarse en el cuadro de la página siguiente. Por lo que se refiere al reparto geográfico de los tipos de arroz, se observa que Extremadura y Andalucía producen la práctica totalidad del arroz “Índica” que en España alcanza, según datos del año 2003, las 484.524 toneladas (55’7%), siendo la producción de arroces del tipo “Japónica”, más solicitado por el mercado interior, de 386.076 toneladas (44’3%), que se distribuyen por las restantes zonas productoras de nuestro país.

Tabla 2.13. Superficies cultivadas de arroz (en hectáreas) en las distintas comunidades autónomas del estado español, desde 1999 al 2002

SUPERFÍCIE PAC ARROZ (Ha)						
COMUNIDAD AUTONOMA	**1999**	**2000**	**2001**	**2002**	**2003**	**Productores 2003**
Aragón	9.657’00	13.830’00	14.009’81	10.469’37	13.234’98	756
Cataluña	20.638’00	20.603’00	20.238’77	21.017’41	20.925’37	2.734
Valencia	13.791’00	14.300’00	14.329’55	14.137’00	14.714’00	3.540
Extremadura	21.914’00	23.440’00	22.640’00	24.374’00	25.246’70	2.076
Andalucía	38.887’00	38.098’00	39.245’00	39.206’09	39.508’04	992
Navarra	1.664’00	1.715’00	1.589’01	1.190’39	1.376’67	95
Murcia	405’00	336’00	407,00	398’89	411’05	115
Baleares	10’00	12’00	17’66	26’00	45’39	37
Castilla-Mancha	248’00	310’00	282’99	333’90	435’06	48
Castilla y León	73’00	11’00	0’00	15’65	0’00	0
Total	**107.287’00**	**112.655’00**	**112.759’79**	**111.168’70**	**115.897’26**	**10.393**

Como puede observarse en la tabla anterior la superficie declarada para la campaña de comercialización 2003/2004 ha resultado ser de 115.897’26 Ha, lo que significa un sobrepasamiento del 10’41% en relación con la superficie de base asignada a España, que es de 104.973’00 Ha. El reglamento comunitario estipula que la penalización a aplicar es el porcentaje de superación multiplicado por 6 cuando sea superior al 5%, como resulta ser en el caso que nos ocupa, por lo que la penalización definitiva será del 62’46% y el importe definitivo del pago compensatorio resultará de sólo 125’51 €/Ha. La ayuda completa, sin penalización, hubiera sido de 334’33 €/Ha.

En la campaña siguiente 2004/2005 desaparece por fin este extraño mecanismo que ocasionaba que las penalizaciones fueran 6 veces superiores al sobrepasamiento de la superficie de base, cuestión ésta que ha sido siempre muy criticada por todo el sector. A partir de entonces, las penalizaciones lo serán en el mismo porcentaje que se produzca el rebasamiento y además se aplicará la regionalización de la ayuda en subsuperficies, que serán las siguientes, para cada comunidad autónoma productora:

Comunidad Autónoma	Superficie (Ha)
Cataluña	20.850
Extremadura	20.486
Valencia	14.350
Aragón	12.017
Baleares	50
Castilla la Mancha	370
Murcia	400
Navarra	1.580
La Rioja	75
Andalucía	34.795
TOTAL	**104.973**

El importe de la ayuda será, a partir de ahora, y hasta tanto se aplique el desacoplamiento previsto en la reforma de la PAC, de 1.123'95 €/Ha y año. A partir de la aplicación de dicha reforma, la ayuda específica para el arroz será de 476'25 €/Ha y año. Estos importes se verán complementados con el cobro de las ayudas derivadas de los denominados "derechos de explotación" generados en el periodo 2000-2001-2002 en el marco del "Régimen de Pago Único" previsto en la reforma de la PAC.

La Confederación de Cooperativas Agrarias de España (C.C.A.E.) estimó en 839.000 Tm la producción total de arroz para la campaña 2001, lo que supone una estabilización de la producción en todo el Estado. De esta cantidad, 367.000 Tm son del tipo Japónica destinado, básicamente, al consumo interno, estimado en 244.000 Tm de equivalente blanco que, en arroz cáscara o "paddy", representa aproximadamente 475.000 Tm. Además del arroz tipo Japónica, se prevé la producción de alrededor de 472.000 Tm de las variedades tipo Índica que, en su gran mayoría, se destinarán a paliar el déficit de este tipo de arroz en la UE, tal como ya hemos puesto de manifiesto.

También se observa una estabilización de la superficie dedicada al arroz durante la campaña 2001, pasando de las 112.655 Ha (PAC) de la anterior a las 114.818 Ha. reales.

Tabla 2.14. Superficie, producción y rendimiento del arroz en España en el año 2001

Comunidad autónoma	Superficie		Producción		Rendimiento	
	Ha	%	Tm	%	kg/Ha	% sobre media
Andalucía	39.318	34,24	323.000	39,07	8.215	114,08
Extremadura	22.640	19,72	157.500	19,05	6.957	96,61
Cataluña	20.557	17,90	125.000	15,12	6.081	84,45
Valencia	15.800	13,76	123.240	14,91	7.800	108,32
Aragón	14.132	12,31	80.555	9,74	5.700	79,16
Navarra	1.629	1,42	9.753	1,18	5.987	83,14
Murcia	719	0,63	7.500	0,91	10.431	144,85
Baleares	23	0,02	200	0,02	8.696	120,76
Total	**114.818**	**100,00**	**826.748**	**100,00**	**7.201**	**100,00**

Fuente: Semillas Certificadas Castells, S.L.

Tabla 2.15. Superficies cultivadas y tipos de arroz producidos en las distintas comunidades autónomas (año 2001)

CC.AA.	Superficie		Producción (Tm)					
	Ha	%	Total	%	Índica	%	Japónica y Semi	%
Andalucía	39.318,00	34,24	345.998	41,25	328.698	69,58	17.300	4,72
Aragón	14.132,42	12,31	80.555	9,60	-		80.555	21,97
Baleares	22,51	0,02	200	0,02	-		200	0,05
Cataluña	20.557,18	17,90	125.000	14,90	-		125.000	34,10
Extremadura	22.640,00	19,72	158.000	18,83	132.720	28,09	25.280	6,90
Murcia	719,44	0,63	7.500	0,89	-		7.500	2,05
Navarra	1.629,29	1,42	10.753	1,28	-		10.753	2,93
Valencia	15.800,00	13,76	111.000	13,23	11.000	2,33	100.000	27,28
Total	114.818,84	100,00	839.006	100,00	472.418	100,00	366.588	100,00

Fuente: Confederación de Cooperativas Agrarias de España (C.C.A.E.)

Otro aspecto importante a considerar es el de las cifras del consumo, que contemplaremos a continuación.

3.3. Consumo de arroz en el estado español

La evolución del consumo de arroz en nuestro país, es la siguiente:

Tabla 2.16. Consumo total de arroz en España

AÑO	Kg
1987	340.447.000
1990	224.336.000
1993	225.564.000

* Subespecie Japónica: 95%.
* Subespecie Índica: 5%.

El consumo de arroz por cápita en España, a lo largo de los años, ha sido el que se indica en la siguiente tabla.

Tabla 2.17. Consumo de arroz por cápita en España (kg)

Consumo de arroz por cápita en España (kg)									
Año	87	88	89	90	91	92	93	94	95
Kg arroz	8,752	6,932	6,687	5,703	5,684	5,628	6,119	6,259	5,683

Dicho consumo se distribuye por las siguientes zonas geográficas:

Tabla 2.18. Consumo de arroz en algunas zonas españolas

Levante	15 kg/habitante y año
Andalucía.	9 kg/habitante y año
Cataluña	7 kg/habitante y año
Resto	3-4 kg/habitante y año
Media estatal	5,8 kg/habitante y año

3.4. Importancia económica del arroz en la Comunidad Valenciana

Durante el quinquenio 1979-83, la media de la producción total de arroz fue de unos 9.300 millones de pesetas, lo que significó el 0,57% de la Producción Final Agraria (P.F.A.) española. En ese mismo período, el valor medio de la producción arrocera de la Comunidad Valenciana fue de 2.600 millones de pesetas, y su contribución media al P.F.A. de esta Comunidad del

1,80%, siendo además el peso de la producción de arroz muy elevado con respecto al total del sector de los cereales, alcanzando valores próximos al 80%, mientras que la media estatal, para el decenio, fue de tan sólo el 7%.

El valor de la producción arrocera para el año 1984, fue de unos 4.240 millones de pesetas en la Comunidad Valenciana y sobre los 17.000 millones en el total del estado español.

Tabla 2.19. Valor de la producción de arroz y su importancia relativa respecto a la producción final agraria

Años	ESPAÑA		COMUNIDAD VALENCIANA		
	Producción de arroz (1) (1)	Contribución a la PFA (%) (%)	Producción arroz (1)	Contribución PFA(%)	% C.V./España
1983	7.672	0,36	3.297	1,70	43
1982	11.244	0,60	3.003	1,80	27
1981	11.264	0,71	2.835	1,90	25
1980	8.841	0,39	2.136	1,60	24
1979	7.673	0,38	2.003	1,80	26

(1) Millones de pesetas corrientes.
Fuente: "El arroz valenciano en la Comunidad Europea", Francisco Astorga Ramírez. Generalitat Valenciana. Tabla realizada con datos del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y del Banco de Datos de los Servicios Territoriales de Valencia.

En el siguiente cuadro se muestran los datos estadísticos de la superficie cultivada de arroz en las tres provincias de la Comunidad Valenciana, así como el total de la comunidad autónoma, durante una serie de años (de 1996 al 2001). Así mismo, se muestran las producciones obtenidas durante este periodo de tiempo.

Tabla 2.20. Superficie de cultivo y producción de arroz en la Comunidad Valenciana (1996-2001)

Año	Alicante		Castellón de la Plana		Valencia		Comunidad Valenciana	
	Superf. (Ha)	Produc. (Tm)	Superf. (Ha)	Produc. (Tm)	Superf. (Ha)	Produc. (Tm)	Superf. (Ha)	Produc. (Tm)
1996	50	250	246	1.476	16.000	126.605	16.296	128.331
1997	250	1.242	201	1.427	16.000	119.216	16.451	121.885
1998	250	1.481	234	1.643	16.000	121.936	16.484	125.060
1999	252	1.260	203	1.425	14.000	90.720	14.455	93.405
2000	251	800	140	994	14.350	107.625	14.741	109.419
2001	250	1.255	140	---	14.300	---	14.690	111.000

Fuente: Conselleria d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Comunitat Valenciana.

El precio comercial del arroz redondo en la comunidad valenciana en 1997 fue de 52 PTA/kg en molino, en 1998 fue de 46/48 PTA/kg también en molino y de 45 PTA/kg en almacén en 1999, siguiendo la tónica descendente propia de estos últimos años.

3.5. Importancia económica del arroz en Cataluña

Después de la publicación del Plan de Modernización y Concentración, a finales de abril, del 2002 y con el objetivo de fortalecer las empresas cooperativas para hacerlas más competitivas en el mercado y garantizar la calidad de sus producciones, las cooperativas arroceras del Delta del Ebro han iniciado interesantes procesos de agrupación.

La mejora de la producción de arroz a lo largo de los años ha sido impulsada, en esta Comunidad Autónoma, gracias a la buena organización de los cultivadores y la dirección técnica. Han ido surgiendo diferentes cooperativas de gran importancia económica y social, a saber: la Cámara Arrocera de Amposta, la Cooperativa de La Cava (Deltebre), la Cooperativa Arrossera Aldeana del Baix Ebre, la Cooperativa de Camarles, la Cooperativa de Jesús y María, la Cooperativa de Sant Jaume d'Enveja y alguna otra más. Gracias a esta circunstancia, han surgido también los préstamos sobre arroz en depósito. En su momento, fueron creados también el Consorcio Nacional Arrocero y la Federación Sindical de Agricultores Arroceros de España que, después de un impulso inicial, han logrado un precio medio suficientemente remunerador para todos los productores. Actualmente, tanto las cooperativas del Delta Derecho del Ebro como las del hemidelta Norte (Delta Izquierdo) se hallan en proceso de fusión al objeto de unificar producciones y crear economías de escala o acumulación con el objetivo de hacer frente a los retos que, en los próximos años, planteará la liberalización progresiva del comercio mundial de los productos agrícolas y, muy especialmente, del arroz. Concretamente, las cooperativas del margen izquierdo se han fusionado en otra de primer grado denominada “Arrosaires del delta de l’Ebre”, con más de dos mil socios y una producción

global media de 44 millones de kilogramos anuales, mientras que, las del margen derecho aspiran a constituir otra con producciones similares.

El proceso de fusión de las Cooperativas del Delta izquierdo, ya mencionado, para el cual se ha previsto una inversión de 11 millones de euros, arrancó de forma conjunta el 1 de septiembre de 2002 y se ha planteado, como principales objetivos, la construcción de una única factoría en el término municipal de Deltebre (Baix Ebre), común a todos, para la recepción, secado, elaboración, empaquetado y distribución del producto, así como la instalación de un molino, oficinas y restantes servicios auxiliares, que entraran en funcionamiento a partir de la campaña 2004.

Tabla 2.21. Precios (PTA/kg) del arroz en cáscara redondo percibidos por el agricultor en Cataluña en el período 1993/2002

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL
93	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	43,0	48,0	58,0	58,0	58,0	50,0
94	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	58,0	56,0	56,0	57,6
95	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	55,0	57,0	57,0	55,4
96	58,3	59,0	59,0	59,0	59,0	62,0	62,0	52,0	55,0	54,0	55,0	55,0	56,3
97	56,0	56,0	57,0	57,0	57,0	57,0	57,0	57,0	53,7	52,0	52,0	52,0	53,0
98	52,0	52,0	52,0	52,0	52,0	51,7	51,0	51,0	52,0	49,0	48,0	47,0	50,4
99	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	45,0	45,0	45,0	45,0	45,8
00	45,0	46,7	48,0	48,0	48,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0	47,0
01	48,0	48,0	48,0	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	47,5	49,0	49,0	47,9
02	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	49,0	--	--	48,3	47,1	47,0	48,6

Fuente: Estadística i Conjuntura Agrària, DARP.

Tabla 2.22. Superficies (Ha) y producciones (Tm) de arroz en cáscara en las provincias catalanas desde el año 1990 al 2001

Provincia	Barcelona		Gerona		Lérida		Tarragona		Total Cataluña	
Año	**Ha**	**Tm**	**Ha**	**Tm**	**Ha**	**Tm**	**Ha**	**Tm**	**Ha**	**Tm**
1990	78	204	295	1.829	73	460	19.636	117.000	20.082	119.493
1991	0	0	350	2.065	78	257	20.557	105.200	20.985	107.522
1992	0	0	350	1.715	15	75	22.158	126.301	22.523	128.091
1993	0	0	309	1.452	15	75	20.583	135.230	20.907	136.757
1994	0	0	745	3.725	82	443	21.200	135.680	22.027	139.848
1995	0	0	463	2.547	102	584	21.960	118.584	22.525	121.715
1996	0	0	435	2.486	100	550	21.060	130.256	21.595	133.292
1997	0	0	567	3.241	178	854	20.800	133.120	21.545	137.215
1998	0	0	670	3.836	157	864	20.911	133.830	21.738	138.530
1999	0	0	706	4.236	140	770	20.749	128.644	21.595	133.650
2000	0	0	772	4.169	132	964	20.291	128.645	21.195	133.778
2001	0	0	653	4.245	131	870	20.346	126.145	21.130	131.260
2002	0	0	741	4.750	136	911	20.458	124.221	21.335	129.882
2003*	0	0	750	4.800	130	860	20.500	128.500	21.380	134.160

Fuente: Estadística i Conjuntura Agrària, DARP 1990 y ss. (*) Cifras provisionales.

Tabla 2.23. Destino de la producción de grano en las explotaciones productoras catalanas. Año 1999

PROVINCIA	Reserva para consumo propio		Venta fuera de las explotaciones	Total semilla Utilizada
	Semilla	Consumo humano		
Barcelona	-	-	-	-
Gerona	120	-	4.116	120
Lérida	-	-	770	26
Tarragona	1.200	1.100	126.344	4.100
Cataluña	**1.320**	**1.100**	**131.230**	**4.246**

En cuanto al precio del arroz blanco *Bahía*, variedad mayoritaria que se cultiva en la zona, en la Lonja de Tortosa (Bajo Ebro), durante los meses de septiembre y octubre de 1995 fue prácticamente constante y de 109 PTA/kg, iniciándose un descenso en los años subsiguientes que, prácticamente, iguala los precios percibidos por el agricultor con los costes de cultivo. En estas condiciones comerciales, que vienen determinadas en buena medida por los precios internacionales de dicha gramínea, el mantenimiento de las subvenciones de la PAC y de las medidas agroambientales resulta absolutamente imprescindible para el futuro del cultivo en Europa y, muy particularmente, en nuestro país.

En la actualidad, la reforma de la PAC aprobada por la Comisión Europea representa cambios importantes por lo que se refiere a la normativa aplicable y, muy concretamente, al rebasamiento de la superficie de cultivo máxima garantizada. Según los últimos datos disponibles, referentes a la campaña del 2003, se ha producido una penalización muy importante, cercana al 64%. En lugar de los 334’33 €/Ha. previstos en la anterior normativa del sector, los productores percibieron este año un importe de sólo 121’09 €/Ha.

La superficie sembrada se situó en 116.129’14 Ha., lo que supuso un rebasamiento del 10’63% respecto al límite con derecho a ayudas establecido en España, que era de 104.973 Ha. El sistema que se utilizaba en este sector para calcular las penalizaciones hacía que ese rebasamiento se multiplicase por seis y, de ahí, las elevadas penalizaciones que tuvo que soportar el sector durante largos años.

A partir de la campaña 2004/2005 entró en vigor la nueva normativa aprobada en junio de 2003. De acuerdo con la misma, existe una ayuda específica para el cultivo y otra incluida en el pago único por explotación, en el marco del mecanismo de desacoplamiento; en caso de que se rebase la superficie máxima con derecho a la primera de estas ayudas, la penalización resulta proporcional a dicho rebasamiento, y no como el sistema anterior.

Por otra parte, la puesta en práctica de los acuerdos con los Países Menos Avanzados y con los Países ACP en materia de importaciones provoca una caída de las rentas de los productores europeos motivada por decisiones políticas ligadas a lo que se ha venido denominando "globalización económica" o "internacionalización de la economía"[4], que les sitúa en absoluta e injusta desventaja frente a los productores tercermundistas que funcionan en régimen de *dumping* fiscal, social y medioambiental. En coherencia, se debería garantizar a los arroceros el mantenimiento de unas rentas dignas por parte de los que han tomado dichas decisiones previas.

El arroz del delta del Ebro es un producto que está calificado con Denominación Geográfica Protegida por el Departamento de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Generalitat de Catalunya. Y además, ratificado con Denominación Específica por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

Las tierras regadas en la desembocadura del Ebro que forman un Delta con características propias y diferentes a las otras zonas arroceras, le confieren una calidad especial a los arroces cultivados en ellas.

El arroz, que puede comercializarse con la Denominación de Calidad "Arròs del delta de l'Ebre", es el procedente de diversas variedades, la principal de las cuales es *Bahía*. El arroz se comercializa con su distintivo y con la marca "Q".

[4] Véase, al respecto el libro de J.M. Franquet "¿Por qué los ricos son más ricos en los países pobres?". Ed. Littera Books, S.L. Barcelona, 2002.

La calificación de Denominación de Calidad fue creada por el decreto 33/1983 del *Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca de la Generalitat de Catalunya*, para garantizar el origen y la calidad de los productos alimentarios.

Se ratifica así el texto del Reglamento de la Denominación Específica "Arroz del delta del Ebro", aprobado por orden de 29 de mayo de 1989, modificada por la de 22 de mayo de 1991 de dicha Consejería autonómica, que figura como anexo a la presente disposición, que el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación asume a sus efectos de su promoción y defensa en el ámbito nacional e internacional.

La producción de arroz tuvo el reconocimiento de IGP y fue registrada como Indicación Geográfica Protegida de conformidad con el Reglamento (CE) nº 1.107/96, de la Comisión, publicado en el Diario Oficial de las Comunidades Europeas nº L 148, de 21-06-1996, p. 1.

3.6. Importancia económica del arroz en Extremadura

Extremadura se ha consolidado, en los últimos años, como la segunda región, a nivel estatal, en el cultivo del arroz, con casi 25.000 hectáreas de extensión muy concentradas en las Vegas Altas del Guadiana. Para conseguir que el valor añadido de esta producción se quede en la propia región, cinco cooperativas de distinto grado han puesto en marcha la Sociedad Cooperativa Extremeña de Arroces en Miajadas, que surge de la necesidad de las cooperativas de la zona por lanzar al mercado un producto procedente de un sector sin desarrollo alguno en Extremadura, como es el caso del arroz. Fue inaugurada el 12 de diciembre del 2002, con capacidad para la elaboración y procesado de 50 millones de kilogramos de arroz.

Ya en 1998 se planteó que las cooperativas ejecutaran un proyecto conjunto de industria transformadora de arroz. En ese momento se estaban produciendo campañas de comercialización muy duras, los márgenes comerciales eran cada vez más estrechos y era necesario buscar un valor

añadido. El sector hallábase muy monopolizado y no dejaba de producirse una disminución de precios que afectaba a la renta de los arroceros. Aunque existían muchos secaderos de arroz en régimen cooperativo era necesario dar un paso más para su elaboración, envasado, expedición y venta.

Extremeña de Arroces agrupa a la mayor parte del sector arrocero de la región y se ha constituido con el objetivo de integrar y coordinar las actividades de almacenamiento, acondicionamiento, transformación y comercialización del arroz de sus socios. Está formada por las cooperativas Acorex y Acopaex de Mérida, Casat de Don Benito, La Encina de Palazuelo y San Juan de Puebla de Alcollarín. Estas cinco sociedades tienen un potencial productivo aproximado de 75.000 toneladas de arroz, siendo la mayoría de la variedad larga *Thaibonnet*, de grano cristalino. La superficie total que engloban las cinco sociedades es, aproximadamente, de 15.000 hectáreas, lo que supone el 80% de la superficie de arroz de Extremadura. En cuanto al número de socios, está próximo a los mil agricultores arroceros de la región.

La industria, que ocupa una extensión de cuatro hectáreas, ha supuesto una inversión total de unos 6 millones de euros, incluyendo una planta de vaporizado, dada la enorme demanda que se está produciendo en nuestro país en cuanto al consumo de este tipo de arroz, todo ello con el objetivo de procesar, como ya se ha dicho, unas 50.000 Tm. de arroz. En sus instalaciones trabajan quince personas y existen dos líneas independientes, una destinada al blanqueo del arroz tradicional y la otra al vaporizado de arroz cáscara con líneas de envasado. Las cooperativas entregan el arroz limpio y seco y en esta planta se descortica y se vaporiza. La idea de sus promotores es venderlo con la marca “La garza blanca” a granel y como marca blanca para la distribución.

3.7. Importancia económica del arroz en Andalucía

El arroz en la Comunidad Andaluza se produce básicamente en Sevilla, y se concentra en las marismas del Guadalquivir, concretamente en los municipios de Isla Mayor, Puebla del Río, Coria del Río, Los Palacios y

Villamanrique de la Condesa. En Isla Mayor, municipio arrocero por excelencia, el arroz es el único cultivo posible y la única fuente de riqueza y empleo junto a la industria auxiliar cangrejera, totalmente vinculada al cultivo del arroz, puesto que de él depende su materia prima.

Sevilla es, con 35.000 hectáreas, la primera provincia española en producción de arroz. En el año 2000 se recolectaron en la marisma de Sevilla 301.435 Tm de arroz (un 38% de la producción española), cifra que se vio incrementada en el 2001 en casi 20.000 toneladas. Un aumento de producción que se alcanza sin necesidad de incrementar la superficie de siembra, ya que ese año volvió a ser del entorno de las 35.000 Ha. El incremento en la producción se debió fundamentalmente a las buenas condiciones climáticas y a la mejora y consolidación de los sistemas de lucha integrada, que permiten tratar las parcelas de forma integrada y tras un seguimiento preciso de la incidencia de las plagas en el cultivo, habiéndose generalizado unas técnicas de cultivo plenamente compatibles con el medio ambiente.

Tabla 2.24. Producción de arroz en Sevilla, Andalucía y España de 1998 a 2001

PRODUCCIÓN DE ARROZ (Tm)	1998	1999	2000	2001
SEVILLA	280.000	317.774	301.435	321.000 *
ANDALUCÍA	299.040	342.551	317.778	350.000 *
ESPAÑA	804.300	845.100	797.800	793.500 *

Fuente: Ministerio de Agricultura, ASAJA-Sevilla y Federación de Arroceros (*: Estimación)

Tabla 2.25. Superficie de cultivo del arroz en Sevilla, Andalucía y España de 1998 a 2001

SUPERFICIE DE ARROZ (Ha)	1998	1999	2000	2001
SEVILLA	36.000	36.000	36.100	36.100*
ANDALUCÍA	37.380	38.700	38.279	39.318
ESPAÑA	110.200	112.100	113.000	113.317 *

Fuente: Ministerio de Agricultura, ASAJA-Sevilla y Federación de Arroceros. (*: Estimación)

En cuanto a la producción realizada durante la campaña 2002 en las 36.603 hectáreas sembradas de arroz en la provincia de Sevilla, fue de 311.947 toneladas, con unos rendimientos medios de 8.527 kilos por hectárea.

La Federación sevillana explicó que la campaña arrocera de ese año había sido irregular debido a la climatología, marcada por una primavera lluviosa, que provocó el retraso en la cosecha y a un verano con temperaturas suaves.

La mayor parte de la producción de la provincia de Sevilla fue de grano largo (91,4%), siendo mayoritarias en superficie cultivada las variedades *Puntal* 82,66% (30.257 hectáreas) y *Thaibonnet* (6,44%), coincidiendo con los mayores rendimientos medios registrados. La variedad *Puntal* registra también el récord en rendimiento máximo con 12.302 kg/Ha y se consolidó gracias a su calidad en producción, en rendimiento industrial y en aceptación del comercio, ya que presta una perfecta sintonía entre el agricultor y la industria, al mismo tiempo que ha penetrado en el comercio sin problemas, según el informe de producción realizado por la Federación de Arroceros de Sevilla.

Como novedad en esta última campaña, veamos que se sembraron 3.153 hectáreas de arroz de grano redondo, las cuales generaron una producción de 25.190 toneladas, con unos rendimientos medios de 7.989 kilos por hectárea. En general, las variedades de grano largo presentan en esta zona un rendimiento medio algo mayor a las de grano redondo (8.573 kg/Ha), a pesar de que hay variedades del tipo Japónica como *Fonsa* que presentaron un rendimiento medio superior a cualquier variedad de grano largo (9.066 kg/Ha).

Los gráficos y tablas que se muestran a continuación han sido cedidos por el Departamento Técnico de la Federación Arrocera de Sevilla y ponen claramente de manifiesto la importancia relativa de las diversas variedades de arroz cultivadas en dicha provincia andaluza, tanto por lo que se refiere a la producción como a las superficies y rendimientos.

Tabla 2.26. Datos generales de la campaña del arroz 2002 en la provincia de Sevilla

Variedades	Superficie total (Ha)	Producción total (Tm)	Rendimientos máximos (kg/Ha)	Rendimientos medios (kg/Ha)	Rendimientos mínimos (kg/Ha)	Registros
Adelio	67,36	480'00	7.126	7.126	7.126	1
Arborio	5,61	42'19	7.755	7.520	6.958	2
Fonsa	428,72	3.886'69	10.976	9.066	7.000	15
Guadiamar	353,05	2.925'00	8.449	8.285	8.000	2
Hispagran	1.261,97	10.044'74	9.862	7.960	6.500	10
Jacinto	768,35	5.265'16	7.716	6.853	6.850	2
Marisma	119,25	900'59	10.860	7.552	5.500	6
Maso	832,31	6.168'86	11.388	7.412	5.000	38
Puebla	41,80	327'35	8.382	7.831	7.800	2
Puntal	30.257,42	261.343'77	12.302	8.637	4.006	927
Thaibonnet	2.356,94	19.667'29	11.000	8.344	4.000	36
Thainato	60,91	493'29	9.329	8.099	8.051	2
Thaiperla	50,11	402'15	9.676	8.025	7.948	2
TOTALES	36.603,80	311.947'08	--	8.522	--	1.045

Figura 2.1. Clasificación de variedades por superficie sembrada en la provincia de Sevilla (año 2002)

Tabla 2.27. Superficie sembrada de distintas variedades de arroz en la provincia de Sevilla (año 2002)

Variedad	Superficie total (Ha)	Porcentaje
Puntal	30.257,42	82,66%
Thaibonnet	2.356,94	6,44%
Hispagran	1.261,97	3,45%
Maso	832,31	2,27%
Jacinto	768,35	2,10%
Fonsa	428,72	1,17%
Guadiamar	353,05	0,96%
Marisma	119,25	0,33%
Adelio	67,36	0,18%
Thainato	60,91	0,17%
Thaiperla	50,11	0,14%
Puebla	41,80	0,11%
Arborio	5,61	0,02%
TOTALES	36.603,80	100,00%

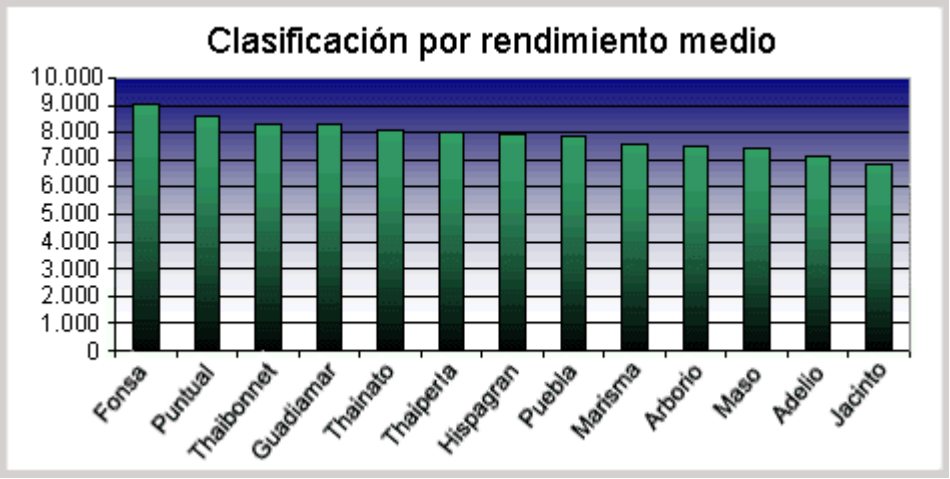


Figura 2.2. Clasificación por rendimiento medio de algunas variedades de arroz en la provincia de Sevilla (año 2002)

Tabla 2.28. Rendimiento medio de algunas variedades de arroz en la provincia de Sevilla (año 2002)

Variedades	Rendimiento medio (kg/Ha)
Fonsa	9.066
Puntal	8.637
Thaibonnet	8.344
Guadiamar	8.285
Thainato	8.099
Thaiperla	8.025
Hispagran	7.960
Puebla	7.831
Marisma	7.552
Arborio	7.520
Maso	7.412
Adeliz	7.126
Jacinto	6.853
MEDIA	8.522

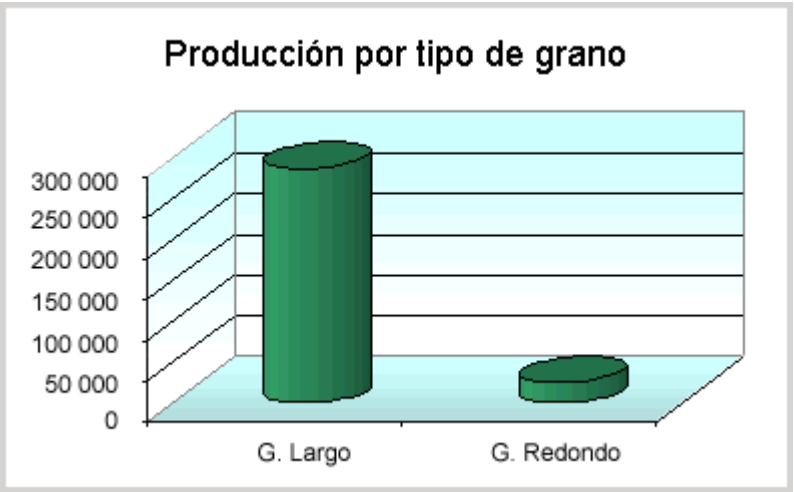


Figura 2.3. Producción por tipo de grano en la provincia de Sevilladurante el año 2002

Tabla 2.29. Datos generales sobre variedades de grano largo del año 2002 en la provincia de Sevilla

Arroces de Grano Largo			
VARIEDAD	Superficie (Ha)	Producción (Tm)	Rendimiento medio (Kg/Ha)
Adelio	67,36	480,00	7.126
Jacinto	768,35	5.265,16	6.853
Puntal	30.257,42	261.343,77	8.637
Thaibonnet	2.356,94	19.667,29	8.344
TOTALES	33.450,07 *	286.756,22	8.573

* 91,4% de la superficie total

Tabla 2.30. Datos generales sobre variedades de grano redondo del año 2002 en la provincia de Sevilla

Arroces de Grano Redondo			
VARIEDAD	Superficie (Ha)	Producción (Tm)	Rendimiento medio (kg/Ha)
Arborio	5,61	42,19	7.520
Fonsa	428,72	3.886,69	9.066
Guadiamar	353,05	2.925,00	8.285
Hispagran	1.261,97	10.044,74	7.960
Marisma	119,25	900,59	7.552
Maso	832,31	6.168,86	7.412
Puebla	41,80	327,35	7.831
Thainato	60,91	493,29	8.099
Thaiperla	50,11	402,15	8.025
TOTALES	3.153,73*	25.190,86	7.988

* 8,6% de la superficie total

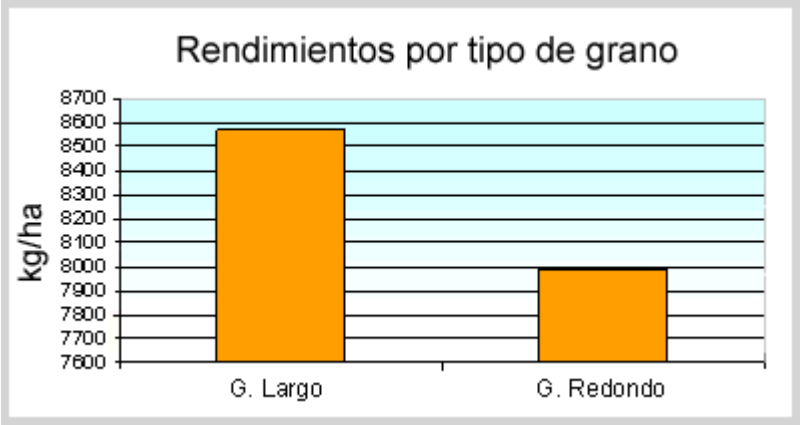


Figura 2.4. Rendimiento según tipo de grano obtenidos en la provincia de Sevilla (año 2002)

4. Problemática medioambiental asociada al cultivo

4.1. Casuística general

El cultivo del arroz es, ecológicamente hablando, uno de los usos agrícolas más compatibles con el medioambiente. Su inundabilidad hace que se convierta en un auténtico “almacén” de especies acuáticas, plantas e invertebrados en general, así como en una exquisita despensa que atrae a distintos tipos de aves. Sin embargo, no sólo se trata de beneficios al medioambiente lo que actualmente produce el arroz. El cultivo en sí apenas produce daños, aunque el uso actual que de él se hace está produciendo algunos. La intensificación de la producción, como consecuencia del incremento de la demanda, ha aumentado el uso de fertilizantes y pesticidas, haciendo del cultivo del arroz uno de los principales contaminantes de algunas zonas agrícolas especialmente sensibles.

Hasta aproximadamente el año 1970, la creciente demanda de arroz se cubrió en gran parte aumentando la superficie sembrada de este cereal de verano. Desde entonces, los cultivos han ido aumentando a través de la intensificación de los mismos. Según la FAO, los problemas que la producción intensiva genera se centran en los siguientes aspectos:

- Problemas causados por la contaminación con productos plaguicidas: consecuencias para las aves, mamíferos, seres humanos y muertes de especies para los que no iban destinados los pesticidas, mientras que algunas plagas que se intenta combatir se inmunizan a medio y largo plazo.

- Desequilibrio y disminución de los nutrientes del suelo, pues no se da tiempo a la regeneración de la tierra e incluso se agrava este exceso con la aplicación desequilibrada de fertilizantes químicos.

- Erosión del suelo, que se produce en las zonas con cultivos en lugares altos, montañosos. Este problema apenas afecta a las tierras bajas de regadío y secano que constituyen el 82’4% de la superficie sembrada de arroz y que producen más del 90% del mismo.

- Salinización de las tierras de regadío.

- Seguridad de los trabajadores agrícolas y acumulación de residuos de plaguicidas en los alimentos.

Se estima que el crecimiento de la demanda será de un 1’8% en el periodo 2001/10, lo que supone un cierto descenso respecto al decenio anterior. Se prevé que aumenten las hectáreas en once millones de arrozales, aunque se disminuirá la presión sobre los bosques en su conversión a arrozales, pues aumentarán principalmente las tierras de regadío.

La importancia de estos ecosistemas se está viendo reflejada en las distintas actuaciones que desde la UE se están fomentando. Las zonas húmedas o humedales -así se designan a los espacios que permanecen cubiertos de agua durante largos períodos de tiempo- son uno de los ecosistemas con mayor productividad biológica del mundo, aunque sean los que menos extensión ocupan en nuestro planeta azul. En el caso de España suponen sólo el 0’4% del territorio.

Esta elevada productividad les hace disponer de gran cantidad de recursos naturales de los que el hombre ha hecho uso y abuso. En España, las transformaciones agrícolas de secano en regadío, la ocupación irrestricta y acelerada del litoral por urbanizaciones de uso turístico y distintas instalaciones industriales y recreativas han amenazado seriamente la subsistencia de estos espacios dentro del territorio nacional.

La importancia de estos ecosistemas y su regresión en las últimas décadas llevó a crear en 1962 una lista de humedales de importancia internacional para posteriormente, en 1971, firmar un convenio a este respecto, fruto de las conversaciones mantenidas en la Conferencia Internacional sobre la Conservación de Zonas Húmedas y Aves Acuáticas en Ramsar (Irán). En él se incluían los humedales españoles. Por tanto, todas las cuestiones que se suscitan en torno a estos ecosistemas y sus usos tienen como fondo el mantenimiento y la mejora de las condiciones ecológicas.

El arroz, aunque fruto de la intervención del hombre, es un cultivo cuyas especiales condiciones permiten su compatibilidad con el equilibrio ecológico que requiere la flora y fauna de los humedales. Es su necesidad de permanecer inundado buena parte del año, lo que convierte al arroz en un aliado ecológico, aunque dicha circunstancia es también lo que encarece su producción. Tras la inundación, comienza la regeneración de las comunidades biológicas acuáticas, la mayoría de ellas adaptadas a los períodos del arroz. Así, pocos días después de introducida el agua en los campos, empiezan a aparecer las primeras plantas y animales invertebrados y se inicia la cadena que culmina con las aves. Éstas deben el 90% de sus recursos alimenticios al arrozal. El ciclo de inundaciones del arroz comienza en el mes de abril, en que se inunda el arrozal para que se sedimente, permanece inundado durante el cultivo hasta finales de agosto para comenzar la siega durante septiembre y luego se mantiene inundado desde noviembre hasta mediados de enero aproximadamente.

4.2. Un caso concreto: el delta del Ebro

El Delta del Ebro[5] es una zona húmeda de categoría internacional. Sus 320 km^2 constituyen el hábitat acuático más importante del Mediterráneo Occidental después de la Camargue francesa y el segundo de España, después del Parque Nacional de Doñana. Su considerable papel biológico contrasta con la profunda humanización de una gran parte de su superficie y con su no menos considerable peso agrícola.

La Generalitat de Cataluña creó, por un Decreto del año 1983, ratificado y ampliado en 1986, un Parque Natural que ocupa parte de su territorio (concretamente 7.736 ha, de las cuales 3.979 ha corresponden a la comarca del Montsià y 3.757 ha a la del Baix Ebre), y que comprende las lagunas de les Olles, el Canal Vell, el Garxal, l'Alfacada, la Platjola, la Tancada y l'Encanyissada, las islas de Buda, Sant Antoni y Sapinya, las penínsulas de la Punta de la Banya y del Fangar, los *ullals* de Baltasar y los yermos de Casablanca. Conviven en él 515 especies vegetales, algunas de ellas exóticas, repartidas en los ambientes de los salobrales o sosares, los cañizares, el bosque de ribera, los arrozales y los arenales. La diversidad de hábitats y el clima húmedo y templado propician la presencia de multitud de invertebrados destacando, de la herpetofauna, las numerosas serpientes de agua. La avifauna es la más característica y su importancia cualitativa y cuantitativa sobrepasa, con mucho, el ámbito estrictamente local, por lo que en diversas convenciones aparece como zona del máximo interés por las colonias de cría de anátidas, limícolas y aves marinas así como por el paso de las aves migratorias hivernantes.

Constituye un conjunto con funcionamiento equilibrado en cuanto al movimiento y manejo de sus aguas, tanto para el riego estacional de los arrozales, como para el mantenimiento de los mismos inundados en invierno, o como para el manejo de las aguas en todas sus redes de desagüe que se hallan conectadas, en un sinfín de puntos, con las lagunas y cañizares del

[5] *Vide* José Ma. Franquet Bernis, "Con el agua al cuello, 55 respuestas al Plan Hidrológico Nacional" Ed. Littera Books, S.L. Barcelona, 2001.

Parque Natural. Con ello se mantiene un control adecuado, tanto de la circulación de las aguas como de los niveles más convenientes para el cultivo agrícola y para el ecosistema de las lagunas, en las que ya se han abierto, en los últimos años, varios puntos de entrada de agua procedente de los canales con un flujo dirigido por compuertas, algunas de ellas en los desagües, de funcionamiento automático. Si bien la dirección y control de las aguas de riego así como las circulantes por la red de desagües está en manos de las Comunidades de Regantes de ambas márgenes (La Comunidad General de Regantes del Canal de la Derecha del Ebro y la Comunidad de Regantes-Sindicato Agrícola del Ebro), deberá existir cada vez más una buena relación de gestión y colaboración entre todas las partes implicadas para beneficiar el delicado equilibrio del ecosistema deltaico, sin perjudicar a ninguno de los legítimos intereses que han de convivir en él.

La “Propuesta Técnica de Plan Hidrológico de la Cuenca del Ebro", en la forma en que está redactada, puede ser lesiva para la economía del Delta y por tanto totalmente negativa para las gentes que en él y de él viven, en la medida en que tiende a la reducción de los caudales que se están utilizando y que son imprescindibles para su supervivencia.

En esta propuesta se hacen detalladas consideraciones, zona por zona y para cada Junta de Explotación, constatando su estado actual y las necesidades de demanda, en base a lo cual se proponen grandes obras de infraestructura, tanto para mejorar lo existente como para establecer miles de ha de nuevos regadíos, en terrenos con altas concentraciones salinas, que en muchos casos, como ya se ha señalado, pueden producir trastornos gravemente perjudiciales para las aguas del río.

Cabe traslucir, incluso, un claro objetivo de reducir, los "excesivos caudales que se consumen en el Delta"; pero es que además, no se refleja la realidad actual en cuanto a los consumos que viene ejerciendo dicho Delta desde muy antiguo. Tampoco puede admitirse que a través del Plan Hidrológico se pretendan imponer ideas teorizantes, totalmente inaceptables para el sensible sistema deltaico, **con el único objetivo de reducir el**

consumo de agua en una zona que tradicionalmente la viene usando de forma racional, y en donde la economía y la vida de sus gentes está basada en la utilización correcta de estas aguas.

Todos los nuevos planes, basados lógicamente en una buena regulación de cada uno de los recursos posibles de la Cuenca, con seguridad podrían perjudicar los intereses del Bajo Ebro, tanto por la derivación de importantes caudales, como por la perniciosidad de los retornos que, con gran concentración de sales, deteriorarán la calidad de las aguas del tramo final.

En efecto, el agua, a través de la red de canales de riego, en primer lugar se distribuye capilarmente a los arrozales, que constituyen el único cultivo posible actualmente, dado el bajo nivel de los terrenos respecto al mar, cuya influencia mantiene un nivel freático alto, con un exceso de sales difíciles de contener sin un tirante de agua conveniente.

Por ello, actualmente ningún otro cultivo que no sea el arroz puede desarrollarse con garantía de continuidad, habida cuenta de su característica específica de cultivo a plena inundación. Y esta permanente inundación del campo arrozal precisa de un caudal continuo entrando en la parcela de cultivo, que es imprescindible se filtre en profundidad hasta el nivel freático para contrarrestar eficazmente la subida de la salinidad; y también resulta imprescindible que se vierta en parte horizontalmente hacia el desagüe, al objeto de producir una necesaria renovación del agua que garantice la sanidad agrícola del cultivo, ya que sería totalmente pernicioso para éste, en el Delta, mantener el arrozal con aguas estancadas sin renovación. Como también se ha comprobado altamente perjudicial e inaceptable que las parcelas del arrozal no tengan una cota superior suficiente sobre la lámina de agua de los desagües para permitir la filtración hacia el subsuelo, cuestión ésta que resulta imprescindible para contrarrestar el alto grado de salinidad del mismo y posibilitar un permanente lavado, lixiviación o saneamiento del horizonte superior de cultivo.

Las experiencias de cultivo arrozal en el Delta vienen ya desde 1850 y a pesar de que, con el paso de los años, se han venido modernizando continuamente las técnicas de cultivo, tanto en las diversas operaciones como en la maquinaria utilizada, en ningún caso ha sido conveniente reducir la dotación de agua, y se tiene muy claro y comprobado que un aumento del volumen del agua circulante en las parcelas mejora los rendimientos unitarios de dicho cereal de verano, considerado como el alimento básico de la civilización oriental, pero también esencial en la nuestra.

5. Tipos de arroz según el proceso industrial del grano

El grano de arroz, tal y como sale del campo, es un grano vestido y se llama *arroz-cáscara* o *paddy*. A continuación, ha de sufrir un proceso de transformación industrial que consiste, básicamente, en las siguientes operaciones: limpieza preliminar y secado, aspiración, descascarado, separación del grano, pulido y abrillantado del grano, almacenaje, clasificación, envasado, etiquetado y expedición.

Según la particularidad del proceso industrial, se pueden obtener diferentes tipos de arroz, a saber:

1. **Arroz cargo**: conocido también como “arroz integral”, es el arroz en que los granos han sido desprovistos de la cáscara (las glumelas) pero todavía conservan el pericarpio y la testa. Es por este motivo que poseen un color obscuro.
2. **Arroz blanco**: en el cual los granos han sido desprovistos del pericarpio y la testa mediante un esmerado proceso de pulido. Éste es el arroz de consumo corriente en casi todo el mundo.
3. **Arroz vaporizado** (*arroz sancochado*): llamado, a veces también, arroz “medio cocido”. Es el arroz que se ha sometido inicialmente a un tratamiento con agua y vapor y a un secado posterior. De esta manera, se facilita la posterior cocción y los granos quedan más sueltos. Además, una parte de las vitaminas y de los minerales de las capas

externas pasan a su interior y no se eliminan en el proceso de pulido. Tiene un color amarillento.

4. **Arroz tratado**: la legislación prevé la posibilidad de elaborar arroces tratados, sometiendo el arroz blanco a procesos especiales de elaboración. Se consideran como arroces tratados: el arroz satinado, el arroz matizado y el arroz enriquecido.

Los arroces blanco y vaporizado se comercializan en diferentes categorías: extra, primera (I) y segunda (II), en función de los contenidos de granos enteros y de granos rotos o partidos presentes en la muestra.

6. Calidades del grano de arroz

Los fragmentos de granos de arroz la longitud de los cuales es igual o inferior a las tres cuartas partes de la longitud media del grano entero, constituyen lo que se conoce con el nombre de *arroz roto o quebrado*.

A continuación, se definen los distintos tipos de grano y las diferentes clases de arroz partido de calidad reprochable que se pueden encontrar:

- Granos enteros: son los que, independientemente de las características propias de cada fase de elaboración, se les ha quitado, como máximo, una parte del diente.
- Granos despuntados: se trata de granos a los que se les ha quitado todo el diente (protuberancia del grano contigua al germen, correspondiente al alojamiento del mismo).
- Granos medianos, partidos o rotos: si se desprenden del grano porciones mayores que el diente. Los partidos comprenden, a su vez:
  - partidos gruesos: fragmentos de grano de longitud igual o superior a la mitad del grano, sin llegar a ser un grano entero.
  - partidos de tamaño medio: fragmentos de arroz de longitud igual o superior al cuarto de la longitud del grano, pero que no llega a tener el tamaño mínimo de los granos partidos gruesos.

- partidos pequeños: fragmentos de granos de longitud inferior a la de un cuarto de grano, pero que no atraviesan un cedazo de 1,4 mm de anchura de malla.
- fragmentos: pequeñas porciones o partículas de un grano que pueden atravesar un cedazo de 1,4 mm de anchura de malla. Se equiparan a los fragmentos los granos partidos por su sección longitudinal.

- Granos verdes: se trata de granos que no han llegado a la plena maduración, por lo que adoptan la expresada coloración externa.
- Granos con deformaciones naturales: se entiende por “deformaciones naturales” las deformaciones de origen hereditario o no, respecto a las características morfológicas típicas de la variedad.
- Granos yesosos: granos de arroz opacos y harinosos, que ofrecen un aspecto de yeso al menos en sus tres cuartas partes.
- Granos veteados de rojo: presentan, en diferentes intensidades y tonalidades, estrías rojas es sentido longitudinal, que son debidas a restos del pericarpio.
- Granos variolados o moteados: presentan un pequeño círculo bien delimitado de color obscuro y de forma más o menor regular. También se incluyen en este apartado los granos que presentan estrías negras superficiales y no en profundidad; las estrías o manchas no han de presentar una aureola amarilla u obscura.[6]
- Granos manchados: presentan en una parte de su superficie un color diferente del normal. Las manchas podrán presentar diferentes coloraciones (negruzcas, rojizas, rosa, marrón, etc.), y además también se consideran manchas las estrías profundas de color negro. Se consideran granos amarillos los que tienen manchas con una intensidad de color (negro, rosa, marrón rojizo) de manera que se percibe inmediatamente y en una medida igual o superior a la mitad de los granos.
- Granos amarillos: se trata de granos que, por un procedimiento que no es el propio del secado, han sufrido una modificación de su color natural,

[6] Son distintos a los denominados, por la legislación española, granos "picados", producidos por la picadura de insectos Pentatómidos (chinche o "pudenta").

en parte o en toda su superficie, y presentan tonos amarillos que van desde el amarillo limón al amarillo anaranjado.

- Granos cobrizos o ambarinos: los que han sufrido una pequeña alteración uniforme y general del color por un procedimiento que no es el secado. Esta alteración hace que el color de los granos se transforme en un color amarillo-ámbar claro.

Otro aspecto importante, a la hora de calificar la calidad del grano de arroz, es su **perlado**. Entre los diferentes mercados europeos, hay unas determinadas preferencias por el aspecto del arroz respecto a su total transparencia o presencia de “perla”. Generalmente, se tiende a considerar la perla como defecto, mientras que en Italia y en el estado español, contrariamente, tiene frecuentemente un valor añadido.

En el comercio internacional se prefieren los tipos de grano estrecho, largo y cristalino. Se ha tendido, engañosamente, a confundir el grano perlado con el “yesado” y por eso normalmente se juzga mal este defecto en las variedades cultivadas en Europa.

En la tabla siguiente, se puede observar una clasificación de las variedades de arroz según la transparencia de su grano, calificándose en este sentido de “cristalino”, “semiperlado” y “perlado”.

Tabla 2.31. Clasificación de variedades de arroz según la transparencia de su grano

Variedades	**de**	**grano**	**Cristalino**	**Variedades de grano semiperlado**	**Variedades de grano perlado**
Betis	*Niara*	*Koral*	*Lemont*	*Tebre*	*Senia*
Italpatna	*Veneria*	*Kido*	*Leda*	*Riva*	*Bahía*
Niva	*Bellemont*	*P. Marchetti*	*Mareny*		*Lomellino*
Ariete	*Gulfmont*	*Ringo*	*Thaibonnet*		*Clot*
Europa	*Newbonnet*	*R. Marcheti*	*Star*		*Thainato*
Giara	*Skybonnet*	*Smeraldo*	*Tabonnet*		
			Alba		

7. El valor nutritivo del arroz

El arroz es pobre en sustancias nitrogenadas, por cuyo motivo no puede ser considerado como un alimento completo. La harina de arroz, por su riqueza en féculas, sirve para elaborar materias alimenticias diversas y se emplea también, en algunos casos, en las fábricas de cerveza con el fin de lograr una suficiente riqueza alcohólica gastando poca malta. Así mismo, la paja de arroz, mezclada con otras materias, se usa como combustible y también para elaborar loza, porcelana y cristal; también se emplea en la fabricación de celulosa y pastos para papel, así como para camas del ganado.

El arroz constituye un alimento básicamente energético ya que su componente más importante son los glúcidos o hidratos de carbono (almidón). Por el contrario, es pobre en sustancias nitrogenadas (composición media: 8%), y el contenido en materia grasa (lípidos) es insignificante, con poco más del 1%.

La variabilidad de la composición y de las características del arroz es muy amplia y depende de la variedad y de las condiciones ambientales en las que se efectúa el cultivo. En el arroz descascarillado el contenido proteico oscila entre el 7% y el 12%, pudiendo variar hasta 6-7 puntos porcentuales, para la misma variedad, según las condiciones ambientales de cultivo. Así mismo, el incremento de la fertilización nitrogenada aumenta el contenido porcentual de algunos aminoácidos, mientras que disminuye o bien no varía para otros.

En el siguiente cuadro comparativo se puede observar el contenido nutricional de los cereales más importantes en la alimentación humana. También se puede ver la diferencia nutritiva entre el arroz pulido (blanco) y el no pulido (integral).

Tabla 2.32. Cuadro comparativo de nutrientes en granos por cada 100 gramos

Parámetros	Arroz pulido	Arroz no pulido	Maíz	Trigo
Humedad (%)	31,1	12,9	12,5	13,2
Hidratos de carbono (g)	73,4	77,8	64,7	61,0
Proteínas (g)	6,8	7,2	8,6	11,7
Lípidos (g)	0,6	2,2	3,8	2,0
Fibra (g)	1,4	2,9	9,2	10,3
Magnesio (mg)	64,0	157,0	120,0	147,0
Calcio (mg)	6,0	23,0	15,0	43,7
Fósforo (mg)	120,0	325,0	256,0	344,4
Hierro (mg)	0,6	2,6	-	3,3
Potasio (mg)	103,0	150,0	330,0	502,5
Sodio (mg)	2,0	9,0	-	-
Cenizas (g)	0,6	1,2	-	-
Valor energético (kJ)	1.454	1.461	1.389	1.310
Valor energético (cal)	342	344	327	309

En cuanto a las vitaminas y minerales, se presentan diferencias significativas entre las diferentes clases de arroz. El arroz integral es rico en algunas vitaminas, principalmente B_1 o tiamina (0,34 mg), B_2 o riboflavina (0,05 mg), niacina o ácido nicotínico (4,7 mg) y PP. En cambio el arroz blanco es pobre en vitaminas (0,09 mg de vitamina B_1, 0,03 mg de vitamina B_2 y 1,4 mg de niacina) y sales minerales, ya que éstas se encuentran mayoritariamente en las capas externas del grano, las cuales se eliminan con el proceso de pulido o “blanqueado”. El arroz “parboiled” es rico en estas vitaminas como consecuencia de su especial proceso de elaboración, si bien en menos cantidad que el arroz integral.

Los procedimientos de cocción, por su parte, pueden reducir también la riqueza en vitaminas y minerales del arroz; en efecto, la cocción se realiza frecuentemente con abundante agua que después se desprecia y gran parte de estos nutrientes se disuelven en el agua de cocción y se eliminan de no utilizarse como “caldo”.

Cabe destacar la gran digestibilidad de este alimento, conocida desde antiguo, por lo que resulta especialmente recomendable en dietas específicas frente a procesos patológicos estomacales e intestinales, así como en la alimentación de ancianos y niños.

8. Gastronomía del arroz

Carnes, verduras, exquisitos mariscos o pescados de roca, inclusive exiguas raspas o la más sencilla de las hortalizas, pueden resultar como el mejor de los manjares cuando son cocinados, con sapiencia y cariño, con un buen arroz, ya sea caldoso, meloso, marinero, en paella, etc.

¿Qué enigmático secreto esconde esta gramínea que, siendo insulsa y aburrida en solitario es, sin embargo, capaz de ensalzar, en las más diversas combinaciones, cualquier otro alimento?. Pues bien, no hay secreto ninguno en estos granos sino es el de cumplir con una modesta pero importantísima función: CONDUCIR EL SABOR de sus compañeros de viaje. El arroz liga y enlaza, cual personaje de conocida tragicomedia, sabores, aromas y texturas para ofrecernos una interminable colección culinaria.

Pero realizar esta afirmación de una forma tan general sería impreciso y podría llevarnos a sonoros fracasos gastronómicos. No todos los arroces son capaces de expresarse de una forma tan especial. Así, por ejemplo, las variedades de arroz largo que, cocinadas en guarnición quedan siempre sueltas y de textura firme y consistente, fracasarían cocinadas en paella, arroz caldoso, marinero, etc. Precisamente por su incapacidad de conducir sabores, encontrándonos con un arroz relativamente insípido (aunque, eso sí, suelto y entero, con una mayor longevidad conservativa). Desengaños similares encontraríamos si utilizáramos arroces vaporizados, glutinosos, integrales, etc., de uso tan en boga en los últimos tiempos. Habrá que recurrir, por ejemplo, al arroz *Bomba* para encontrar un grano que reúna una larga serie de características favorables desde el punto de vista gastronómico y organoléptico.

Entonces, ¿qué variedades debemos utilizar para estos platos?. Hoy por hoy, recomendamos utilizar únicamente tres variedades: *Bahia*, *Senia* y *Bomba*. Cualquiera de esas tres variedades, especialmente la última, cumplirá a la perfección este papel de conductor del sabor. Son arroces de grano redondo, caracterizado por su uniformidad en la cocción, homogeneidad de grano y gran porcentaje de perlado. La perla del arroz es una mancha blanca que se observa en el centro del grano, formada por almidón, y que es responsable de la absorción de los sabores de los ingredientes que lo acompañan.

El arroz *Bomba* ha adquirido un mayor renombre. Se diferencia de las otras dos variedades por ser de grano más corto que cuando cuece no se abre longitudinalmente, como los otros arroces, sino que aparece estratificado o fisurado transversalmente y con un aumento de longitud de dos a tres veces la del grano crudo. Además no se empasta después de cocido, manteniendo la consistencia y sabor agradable de las otras dos variedades aunque con una textura un tanto menos cremosa y una menor expulsión de sólidos solubles durante la cocción.

Aparte de su empleo directo como alimento humano fundamental, el arroz se emplea también para la obtención de bebidas alcohólicas (como el “sake”) y del almidón. Es un ingrediente fundamental en la cocina oriental y en buena parte del recetario de la cocina occidental, fundamentalmente en las recetas de las zonas lacustres del levante español y del norte y mediodía de Italia.

Desprovisto de las capas superficiales oscuras, el arroz se compone de un 75% de fécula, un 7% de almidón, agua y pequeñas cantidades de azúcares y grasas.

Como ya se ha expresado anteriormente, es originario de la India y de la China, donde aparece ligado a antiguas tradiciones que lo hacen regalo de Shiva a la humanidad. El arroz llegó a Occidente europeo con los árabes, cuando ya se había afianzado en Japón, en el delta del Mekong y en las orillas de los grandes ríos chinos. En la actualidad, se encuentra cultivado en todos

los países cálidos del mundo, constituyendo el alimento principal para la mitad de la humanidad. El 90% de la cosecha mundial se obtiene entre India, China y Japón.

En España, el cultivo del arroz se conoce desde la dominación árabe. En la cocina suele presentarse sin cáscara, aunque en ella se conservan los principios vitamínicos que evitan el *beri-beri* y otras enfermedades humanas. Se suele cocinar hervido, como pan de arroz, o bien a la cazuela, ligeramente sofrito. Las fórmulas culinarias occidentales más sabrosas son las recetas marineras del levante español, que han hecho de la tradicional "paella valenciana" un plato archiconocido a nivel mundial. En Italia son famosos y exquisitos los "risottos" a la milanesa. Fermentado, da lugar a la cerveza característica del Japón y al "sake".

Cabe destacar las características químicas que posee la variedad denominada "Bomba", las cuales suponen un comportamiento diferente en la cocción (se pega menos). Esto está respaldado por un análisis químico que demuestra que el *Bomba* tiene normalmente un 23% de amilasa frente a un 18% del *Senia* y otras variedades similares. Se comporta más bien como las variedades largas de tipo índico (más resistentes a la cocción), pero también hay que aclarar que no todas las variedades largas son más resistentes a la cocción: existen algunas de "tipo Índica" que no son tan resistentes a la cocción como el propio *Bomba*.

El *Thaibonnet* (una variedad del "tipo índica") es una variedad de grano largo y talla baja. Si se cuece este arroz se observa que resiste bien la cocción (o sea, se mantiene íntegro: no se deshace ni se "pega"). Éste es el tipo de arroz que se prefiere en los países europeos, porque se consume siempre como guarnición de otros platos o bien como arroz blanco. El *Bomba*, aunque sea un grano más corto incluso que el *Bahía* y tenga perla, se comporta en este sentido más bien como el *Thaibonnet*.

Otro uso interesante de este cereal, por lo que a la gastronomía se refiere, es para la obtención de vinagre. En efecto, los vinagres chinos no

suelen ser resultado de la fermentación acética del vino de uva, dado el escaso número de hectáreas que se dedican, en ese país, al cultivo de la vid. Normalmente, el vinagre que se utiliza como condimento es de arroz, resultado de la fermentación de un vino de arroz de muy baja graduación. Los cocineros lo utilizan para rebajar la potencia de algunos sabores, al tiempo que con él consiguen variar los aromas. Para ello, utilizan vinagres añejos, característicos de la provincia de Shanxi, o bien perfumados, un tipo de vinagre de arroz que se elabora en Zhen jiang. También tiene justa fama el vinagre rosado de arroz de esta misma provincia china.

El arroz, en fin, es uno de los productos básicos de toda cocina y participa como ingrediente de decenas de sustanciosos y sabrosos platos. Se trata de un alimento astringente y de fácil digestión.

Como ya se ha comentado anteriormente, el almidón es uno de los componentes esenciales del arroz que influye en los métodos de cocción. En arroces como el *pilaf*, para no espesar el líquido de cocción, es necesario lavar el arroz antes de la cocción con un chorro de agua fría hasta que salga clara. El arroz cocido normal puede conservarse en el frigorífico 3 ó 4 días y hasta seis meses en el congelador.

El arroz se puede cocer durante 15 – 20 minutos en abundante agua o bien sofreírlo y añadir la cantidad de agua justa para su cocción. También puede hacerse al vapor.

CAPÍTULO 3

- CARACTERÍSTICAS MORFOBOTÁNICAS DE LA *ORYZA SATIVA,* L. -

1. Descripción general botánica del arroz

El arroz, en las especies y variedades conocidas en los países europeos, es una planta herbácea anual que se cultiva en condiciones casi permanentes de inundación. Está formada por tallos rectos dispuestos en macolla, con raíces delgadas, fibrosas, cilíndricas y fasciculadas. La planta, provista de 7-11 hojas durante la fase vegetativa, alcanza una altura variable comprendida entre los 80 y los 150 centímetros, según la variedad y las condiciones ambientales de cultivo (fenotipo).

El tallo es erguido, cilíndrico y glabro, formado por entrenudos de diferente longitud, limitados por nudos; en cada nudo se inserta una vaina foliar que envuelve el entrenudo inmediato superior. En el extremo más alto de la vaina, donde se articula el limbo foliar, se observa: una lígula hialina, generalmente bífida y laciniada, de 5 - 15 milímetros de longitud, y dos aurículas en forma de hoz, más o menos vellosas; éstas son hialinas o, con mayor frecuencia, pigmentadas de color verde, rojo o violeta, en correlación con la coloración de otros órganos. Las hojas son alternas envainadoras, de limbo lineal, agudo, largo y plano, provistas o no de pigmentos antociánicos. Tienen una longitud muy variable, incluso en plantas de la misma variedad; las situadas más abajo, o sea, las formadas en primer lugar, son generalmente más cortas y estrechas. La anchura varía entre 10 y 30 milímetros.

La inflorescencia es una panícula más o menos compacta de 10-25 centímetros de longitud, sostenida por el último entrenudo llamado "cuello"; está formada por el raquis del que parten, con disposición variable, 7-15 raquillas o ramificaciones primarias, de diferente longitud, que forman los racimos. Cuando madura la inflorescencia adopta una posición en arco más o menos péndula, según la variedad. Las flores, de color verde blanquecino y sostenidas por pedúnculos o pedicelos, están dispuestas a lo largo de las raquillas y en la cima de las mismas. Cada raquilla lleva 5-15 flores o más. La flor es una espiguilla unifloral con seis estambres y dos estigmas plumosos. Está formada por dos pequeñas glumas, de pigmentación variable, y por dos grandes glumillas, también diversamente pigmentadas según la variedad, que envuelven la cariópside (fruto). Ambos órganos de revestimiento son muy silíceos, están muy lignificados y son pubescentes o glabros. La glumilla inferior, llamada “lema”, puede estar provista de arista o bien ser mútica; la superior o pálea es más pequeña que su homóloga inferior.

2. Sistemática del arroz

Siguiendo escrupulosamente al profesor Tinarelli, veamos que entre las plantas fanerógamas monocotiledóneas, el arroz, en el orden de las Glumiflorales, pertenece al género *Oryza*, de la tribu de las *Orycea*, en la familia de las *Gramineae*; la tribu de las *Oryzeae* está adscrita actualmente a la subfamilia de las *Poaceae*.

Las diversas especies de *Oryza* han sido objeto de numerosas clasificaciones. Inicialmente, se hizo referencia exclusivamente a criterios morfológicos; más recientemente algunos autores han considerado como elementos diferenciales auxiliares, también, otros criterios: anatómicos, citogenéticos y filogenéticos.

La primera clasificación la realizó el botánico H. Baillon (1894); el género *Oryza* se dividía en 4 secciones con pocas especies. Después, Roschevicz (1931) llevó a cabo un estudio sistemático amplio y esmerado; la clasificación comprendía 19 especies agrupadas en 4 secciones.

En 1963, en las conclusiones del Simposio sobre genética y citogenética del arroz, que tuvo lugar en Los Baños (Filipinas), se incluía una lista de 25 especies; pero a causa de 6 de ellas, su validez resulta dudosa. Recientemente, una clasificación que comprende 22 especies ha sido propuesta por Tateoka (1964) y más tarde por Sharma (Sharma y Shastry, 1965).

Los estudios más recientes reconocen 15 especies, a las que se suman especies adscritas a otros géneros, sinónimos y taxones no comprobados como especies, en número total de 23.

Todas las formas cultivadas de arroz pertenecen a las especies *O. sativa* y *O. glaberrima*.

El centro de diferenciación originario, para la primera de las dos especies, se considera el Sudeste asiático: la India o bien la península de Indochina. Por lo que se refiere a la *Oryza glaberrima*, cultivada casi exclusivamente en África, parece ser originaria del delta central nigeriano [1].

Con motivo de la gran variabilidad expuesta de la *Oryzeae* se ha supuesto, por parte de muchos investigadores, un origen polifilogénico de todas las especies, cultivadas o no. Actualmente, con motivo de la semejanza existente entre *sativa* y *glaberrima* y por la existencia de otras formas intermedias, los taxonomistas se inclinan, para las especies cultivadas, hacia la hipótesis de un origen monofilogénico a partir de una única forma ancestral. Se trata de *O. perennis*, presente también en América del Sur, además de en Asia y África.

Todos los autores reconocen que *O. sativa* ha sufrido una evolución posterior, diferenciando tipos que se han adscrito a la subespecie "japónica" o bien a la "índica". Las barreras de esterilidad que se encuentran para demostrar la variabilidad genética de estos dos grupos, en el caso de cruzamiento entre las subespecies Índica y Japónica, constituyen un razonamiento válido para sustentar la tesis expuesta.

[1] Fuente: SINCAT, Grupo Edison. División de exportación - Milán (623). *¿Están seguros de que el ARROZ que Uds. cosechan les rinde lo máximo?.*

Tabla 3.1 Comparación de las características de los cultivares de arroz (OKA, 1988 y TAKAHASHI, 1984)

Características	Tipo Japónica	Tipo Índica
Grano (longitud/anchura)	Corto	Estrecho
Número de ahijados	Elevado	Elevado
Crecimiento de los ahijados	Erecto	Tendido
Altura de la planta	Baja	Alta
Resistencia a bajas temperaturas	Alta	Baja
Resistencia a la sequía	Baja	Alta
Resistencia al encamado	Alta	Baja
Respuesta al nitrógeno	Alta	Baja
Capacidad competitiva	Baja	Alta
Temperatura mínima para germinar	Baja	Alta
Longevidad de la semilla en almacén	Corta	Larga

Algunos estudios taxonómicos más recientes subdividen la especie *Oryza sativa* en las cuatro subespecies siguientes:

- Sativa (= Índica)
- Japónica.
- Brevindica.
- Brevis.

Las especies del género *Oryza* tienen un número de cromosomas diploide 2n = 24 ó 2n = 48. Las especies cultivadas, *sativa* y *glaberrima*, pertenecen al primer grupo, siendo ambas diploides: 2n = 24. A Baldi (1969) se debe el siguiente esquema de las relaciones filogenéticas existentes entre las especies del grupo “Sativa”. A saber:

Tabla 3.2. Las especies y el número de cromosomas en el género *Oryza* (Chandraratna, 1964)

Especies	Número de cromosomas (2n)	Autor
1. *O. alta* **Swallen**	48	Nezu (1959)
2. *O. Australiensis* **Domin**	24	Sampath y Ramanathan (1949)
3. *O. Brachyantha* **A. Cheval y Roehr**	24	Morinaga y Kuriyama (1954)
4. *O. Breviligulata* **A. Cheval y Roehr**	24	Sampath e Rao (1951)
5. *O. Coarctata* **Roxb**	48	Parthasarathy (1938)
6. *O. Eichingeri* **Peter**	48	Pathak (1940) Sampath y Rao (1951)
7. *O. Glaberrima* **Steud**	24	Ramanujam (1938) Sampath y Rao (1951)
8. *O. Grandiglumis* **(Doell) Prod**.	24	Sampath y Rao (1951)
9. *O. Granulata* **Nees y Aru** *O. Granulata* **Nees y Aru**	48 24	Sampath y Rao (1951) Krishnaswamy et al. (1954)
10. *O. Jeyporensis* **Govindaswami et Krishnamurthy**	24	Govindaswami y Krishnamurthy (1958)
11. *O. Latifolia* **Desv**	48	Goton y Okura (1933), Hayn Sampath y Rao (1951)
12.*O.Malampuzhaensis* **Krishanaswami Chandrasekharan**	48	Krishnaswami y Chandrasekharan (1958)
13. *O. Meyerlana* **(Zoll y Mor.) Baill**	24	Heyn (1936), Sampath y Rao
14. *O. Minuta* **Presl**	48	Nandi (1936), Morinaga (1942)
15. *O. Officinalis* **Wall**	24	Nandi (1936)
16. *O. Perennis* **Moench**	24	Totoh y Okura (1933)
17. *O. Punctata* **Kotschy y Steud**	24	Richaria (1960)
18. *O. Ridleyi* **Hook**	48	Nezu (1959)
19. *O. Rifipogon* **Griff**	24	Heyn (1936), Sampath y Rao
20. *O. Sativa* **L.**	24	Kuwada (1910) Rau (1929) Selin (1930) Morinaga y Fukushima (1931) Sakai (1935) Nabdi (1936) Ramanujam (1936)
21. *O. Satpfii* **Roschev**	48	Darlington y Ammal (1948)
22. *O. Subulata* **Nees**	24	Horowitz y Pogliaga (1934)
23. *O. Ubanghensis* **A. Cheval**	24	Richaria (1960)

3. Variedades de arroz

3.1. Definición y características

La noción de variedad descansa sobre un hecho genético, bien sencillo de expresar: la heredabilidad de los caracteres. Es una variedad o "cultivar" aquella cuya simiente reproduce, para todas las características, plantas iguales a aquellas de las que procede la semilla, e idénticas entre sí. Esto sucede cuando se trata de especies y variedades autógamas (fecundación por la propia flor, autofecundación o hermafroditismo), como es el caso del arroz. Esta

consideración tiene gran importancia porque los métodos de mejora aplicables al grupo de plantas autógamas, en su mayor parte, son diferentes de los aplicables a las especies alógamas. La diferencia más importante entre estos dos grupos es debida a la influencia de la consanguinidad y de la exogamia en la estructura genética de las poblaciones.

Si estas condiciones no se cumplen se llega gradualmente al concepto de población para las formas más heterogéneas.

Para algunos caracteres el problema, para el fin de la individualización y fijación de la variedad, es simple porque -como puede ser la coloración de algunos órganos vegetativos- se trata de conseguir la presencia o ausencia del carácter mismo; para la mayor parte de los caracteres, por el contrario, se observa una fluctuación de una planta a otra o en condiciones distintas de cultivo, producida por las condiciones climáticas propias de cada ambiente, por las distintas situaciones nutritivas, por las prácticas de cultivo y por otros muchos factores; la amplitud de las fluctuaciones depende también de características genéticas de cada variedad individual.

Los caracteres para los que se pueden producir variaciones permanentes de tipo genético, o sea, hereditario, o fluctuaciones fenotípicas, o sea, ocasionales, son muy numerosos; aproximadamente, son 120 los caracteres que, actualmente en mejora genética, se consideran sujetos a variaciones.

Para obtener resultados económico-productivos elevados y uniformes, es necesario el estudio genético y la selección de mejores variedades, con características estables y muy uniformes en el ámbito de la población en cultivo.

3.2. La búsqueda de nuevas variedades

En España se han venido cultivando tradicionalmente diversas variedades de arroz, cuya relación reviste importancia desde el punto de vista de la cultura histórica de dicha gramínea, pero que posiblemente ya no se volverán a mencionar en nuestro estudio, habida cuenta de que han perdido su interés

comercial o agronómico. Se trata, por ejemplo, de las denominadas *Sequial*, *Balilla*, *Sollana*, *Francés*, *Stirpe*, *Matusaka*, *Bombón*, *Bombilla*, *Robino*, *Colusa*, *Nano*, *Sueca*, *Benlloch*, *Insen*, *Tremesino*, etc., y sus diferentes cruzamientos.

La investigación y la búsqueda de nuevas variedades de arroz solamente se puede llevar a cabo por estamentos oficiales o por empresas privadas que hayan realizado una importante inversión para poseer unas modernas instalaciones con la última tecnología y dotación de personal muy especializado.

Encontrar una variedad casi perfecta llevaba mucho tiempo, alrededor de diez o doce años, lo que significa que las variedades que están saliendo al mercado ahora mismo se empezaron a desarrollar hace ya bastantes años. También debe tenerse en cuenta que lo que entonces demandaba el molinero o industrial no es lo mismo que lo que se demanda actualmente. Afortunadamente, la mejora se ha acelerado y en la actualidad existen técnicas modernas que reducen el tiempo que transcurre entre el inicio del proceso de mejora hasta el hallazgo definitivo de la nueva variedad.

Los factores principales que se tienen en cuenta a la hora de obtener nuevas variedades son básicamente: lograr una mayor productividad, un grano sano que no se rompa durante el proceso industrial, una planta de ciclo corto y de una altura más bien baja, que no favorezca el encamado y sí la recolección mecanizada. También se intentan obtener variedades resistentes al abonado y se buscan también determinados tipos de grano (corto, mediano o largo, perlado o cristalino, etc.).

3.3. Clasificaciones de las distintas variedades de arroz

3.3.1. Clasificaciones históricas

Para facilitar el estudio y aprovechamiento de las distintas variedades de arroz cultivadas en el mundo, se ha pretendido clasificarlas adecuadamente. A lo largo de la historia se han realizado diversas clasificaciones, con escaso valor

práctico, basadas casi todas ellas en los caracteres externos del grano. Estas agrupaciones no pueden realizar una buena y clara clasificación del arroz a causa de la gran cantidad de variedades que se originan debido al área de cultivo del cereal y a las particularidades del suelo y del clima (factores edafo-climáticos).

JUMELLE [2] agrupa las variedades, atendiendo a las necesidades de su cultivo, en "acuáticas o de llanura", y de "secano o montaña", que vegetan sin más agua que la que les facilita la lluvia. También señala la agrupación de los arroces en "glutinosos" y "no glutinosos".

BINGHAM COPELAND, en su tratado sobre el arroz, estudia las diversas clasificaciones y señala las dificultades existentes para llegar a una clasificación natural; reúne tales inconvenientes en cinco grupos:

1°: del grandísimo grupo de variedades existentes;
2°: del escaso número proporcional de variedades conocidas y suficientemente estudiadas y descritas;
3°: de las modificaciones que sufren los caracteres en un medio distinto de aquel en el cual se estudió la planta;
4°: de los cambios de los dos factores de mayor importancia en el estudio práctico de las variedades, rendimiento y ciclo vegetativo, que están sujetos a modificaciones fundamentales como consecuencia del clima y del cultivo;
5°: de que la mayor parte de las llamadas variedades no son homogéneas, siendo casi todas ellas verdaderas mezclas.

Recoge en su obra diversas clasificaciones, de las cuales cabe destacar la de GRAHAM, que constituye cinco grupos basados en la conformación de las glumillas, a saber:

Grupo I.- Glumillas superior e inferior ligeramente convexas.
Grupo II.- Glumillas superior e inferior convexas.
Grupo III.- Glumillas superior e inferior muy convexas.
Grupo IV.- Glumilla superior ligeramente convexa, glumilla inferior convexa.
Grupo V.- Glumilla superior ligeramente convexa o recta, glumilla inferior recta o ligeramente cóncava.

[2] Fuente: "El arroz: su cultivo, molinería y comercio", por Rafael Font de Mora. Salvat Editores, 1939.

Las clasificaciones clásicas del arroz son las de DEVAUX[3] y HEUZÉ, y su mayor defecto reside en no dar idea de las exigencias agrícolas de las variedades de cada grupo y conceder importancia fundamental a caracteres no fijos, como la presencia o ausencia de barbas, que en muchas variedades no depende sino de la fertilidad del suelo.

Las cuatro agrupaciones de la clasificación de DEVAUX son las siguientes:

1. ARROCES CON ARISTA Y SEMILLA LARGA (20):

1. Arroz del Piamonte (*Oryza sativa pubescens*).
2. Arroz vulgar (*O. s. comunissima*).
3. Arroz barba roja (*O. s. rufibarbis*).
4. Arroz frajado (*O. s. marginata*).
5. Arroz largo (*O. s. elomgata*).
6. Arroz precoz (*O. s. praecox*).
7. Arroz precoz de la China (*O. s. imperialis*).
8. Arroz vivo (*O. s. sub-perennis*).
9. Arroz oloroso (*O. s. suavis*).
10. Arroz de monte o arroz seco (*O. s. montana*).
11. Arroz glutinoso (*O. s. glutinosa*).
12. Arroz negro (*O. s. aterrina*).
13. Arroz colorado (*O. s. rubra*).
14. Arroz oscuro (*O. s. nigrescens*).
15. Arroz grueso (*O. s. grossa*).
16. Arroz de color (*O. s. sub-colorata*).
17. Arroz amarillo (*O. s. lutescens*).
18. Arroz paloma (*O. s. colombaria*).
19. Arroz variado (*O. s. descolor*).
20. Arroz de Sumatra (*O. s. sumatrensis*).

[3] Fuente: "El arroz: su cultivo, molinería y comercio", por Rafael Font de Mora. Salvat Editores, 1939.

2. ARROCES CON ARISTA Y SEMILLA REDONDEADA (5):

21. Arroz corto (*Oryza sativa brevis*).
22. Arroz minuto (*O. s. minima*).
23. Arroz redondo (*O. s. globosa*).
24. Arroz del Japón (*O. s. japonica*).
25. Arroz perdigón (*O. s. bulbosa*).

3. ARROCES SIN ARISTA Y CON SEMILLA GLOBOSA (2):

26. Arroz mijo (*Oryza sativa milacea*).
27. Arroz sorgo (*O. s. sorghoides*).

4. ARROCES SIN ARISTA Y CON SEMILLA LARGA (3):

28. Arroz sin barbas (*Oryza sativa denudata*).
29. Arroz oscuro (*O. s. sordida*).
30. Arroz de cobre (*O. s. cuprea*).

La clasificación de HEUZÉ agrupa primeramente en cinco las especies del género: *Oryza sativa* o arroz ordinario; *Oryza glutinosa* o arroz glutinoso; *Oryza japonica* o arroz del Japón; *Oryza mutica* o arroz sin arista; *Oryza montana* o arroz de montaña. Las variedades se clasifican en los siguientes grupos:

1. ARROCES CON ARISTA:

a) De grano largo y glumillas amarillas (9):

1. Arroz común o nostrano (*Oryza sativa communissima*).
2. Arroz americano o de la Carolina (*O. s. candida*).
3. Arroz del Piamonte (*O. s. pubescens*).
4. Arroz de Novara (*O. s. lutescens*).
5. Arroz de Mantova (*O. s. striata*).
6. Arroz de grano largo oloroso (*O. s. elongata*).

7. Arroz de grano de oro (*O. s. ochracea*).
8. Arroz filipino (*O. s. villosa*).
9. Arroz de grano grueso (*O. s. maxima*).

b) De grano blanco y glumillas rojizas (3):

10. Arroz de grano ferruginoso (*O. s. ferruginosa*).
11. Arroz de glumillas rosáceas (*O. s. rufiglumis*).
12. Arroz pardo (*O. s. nigrescens*).

c) De grano blanco y glumillas rosáceas (3):

13. Arroz rojo (*O. s. rubra*).
14. Arroz precoz imperial (*O. s. imperialis*).
15. Arroz cárnicus (*O. s. carnea*).

d) De grano escotado (1):

16. Arroz de grano escotado (*O. s. emarginata*).

e) De grano glutinoso (4):

17. Arroz glutinoso blanco (*O. s. glutinosa*).
18. Arroz glutinoso negro (*O. s. nigra*).
19. Arroz glutinoso rojo (*O. s. rubra*).
20. Arroz glutinoso violeta (*O. s. violacea*).

f) De grano pequeño (6):

21. Arroz del Japón (*O. s. japonica*).
22. Arroz redondo (*O. s. japonica globulosa*).
23. Arroz de Sumatra (*O. s. elongata*).
24. Arroz de pie de pichón (*O. s. rostrata*).
25. Arroz oloroso (*O. s. suavis*).
26. Arroz delgado o menudo (*O. s. minima*).

2. ARROCES SIN ARISTA:

a) Con glumillas amarillas (1):

27. Arroz Bertone (*O. s. mutica*).

b) Con glumillas negras (1):

28. Arroz imberbe (*O. s. mutica nigra*).

Mencionadas las dificultades para llegar a una clasificación natural basada en los caracteres botánicos de la planta, que permita conocer sus exigencias agrícolas, rendimiento y calidad del producto, no es de extrañar que se tienda a generalizar las clasificaciones y que tengan un carácter práctico. La agrupación de los arroces elaborados en los Estados Unidos de Norteamérica crea los tipos de arroz de grano largo, corto y redondo, aplicándose también a los arroces descortezados.

La clasificación de las variedades por el número de días necesarios para el completo desarrollo de su ciclo vegetativo, al estilo del maíz, podría dar resultados positivos si a la agrupación se acompañasen los datos de temperatura diurna media, máxima y mínima, con lo que tendría un indudable valor práctico.

Se han intentado otras clasificaciones, según la naturaleza y calidad del producto, como la elaborada en Filipinas por RUNDLES, que reúne arroces de naturaleza vítrea, muy vítrea, ligeramente vítrea y opaca o almidonosa. Se han intentado también otras agrupaciones, en función del volumen de agua que absorben durante su cocción, en forma descascarillada.

Veamos, en fin, que con el estudio de las biometrías de cada variedad de arroz, junto con particularidades botánicas especiales, se puede llegar a conseguir una agrupación de variedades con carácter científico y práctico.

3.3.2. Clasificación moderna

Arroz de grano largo:

Arroz cuyos granos tienen una longitud media superior a 6’0 mm y una razón longitud / anchura superior a 3.

Arroz de grano semilargo o medio:

Arroz cuyos granos tienen una longitud media comprendida entre 5’2 mm y 6’0 mm y una razón longitud/anchura inferior a 3.

Arroz de grano redondo:

Arroz cuyos granos tienen una longitud media inferior o igual a 5’2 mm y una relación longitud/anchura inferior a 2.

4. Morfología y desarrollo de la planta de arroz

4.1. La germinación

La semilla de arroz, sana y perfecta, puesta en condiciones favorables de humedad y temperatura, germina según formas que dependen de la variedad y de las condiciones externas o del medio. Existen algunas variedades con precocidad del ciclo vegetativo o con genotipos que tienen mayor velocidad de germinación, a temperaturas bajas, que otras.

La latencia es una característica genética por la que, en determinadas variedades, la semilla manifiesta su capacidad de germinar sólo cuando ha transcurrido un intervalo de tiempo más o menos largo desde la maduración. Este problema no existe para las variedades cultivadas en España, pero éstas reaccionan de diferente forma, particularmente al variar las condiciones externas, en lo que se refiere a la duración de la germinación y a la rapidez de desarrollo del coleóptilo, del mesocótilo y de la planta embrionaria[4].

[4] Se entiende por planta embrionaria el conjunto formado, en el momento de la germinación, por la semilla, radícula, coleóptilo y, en su caso, el mesocótilo.

Las temperaturas de germinación son:

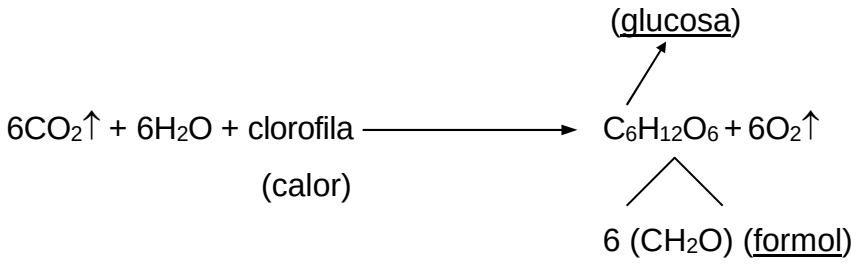
- Mínima: 10 - 12°C
- Óptima: 28 - 30°C
- Máxima: 40 - 45°C

La germinación de la semilla tiene lugar en diversas fases sucesivas, a saber:

a) Hinchamiento de la cariópside.
b) Rotura de la envoltura externa, aparición de la punta del coleóptilo, emergencia del mesocótilo y desarrollo de la primera hoja cilíndrica.
c) Formación de la raíz primaria, de forma simultánea con el crecimiento del coleóptilo, y formación de las raíces secundarias.

En condiciones aerobias se desarrolla más rápidamente el sistema radicular que el aéreo; lo contrario sucede cuando el terreno se encuentra cubierto de agua.

Hasta la formación de la segunda o tercera hoja, la planta embrionaria vive de forma autónoma, mediante los elementos nutritivos que obtiene de las reservas acumuladas en la propia semilla. Después, la planta se desarrolla alimentándose de los nutrientes del terreno, mediante el aparato radicular secundario, y del aire, a través de la fotosíntesis que se realiza en las hojas, como es sabido; de hecho la planta absorbe del aire dos elementos gaseosos: el oxígeno, necesario para la respiración de los tejidos, por el cual se obtiene energía mediante la combustión de diversas substancias, y el dióxido de carbono (anhídrido carbónico), que se emplea en la función clorofílica, mediante la cual, y a través del pigmento verde denominado “clorofila”, el agua y la energía que recibe de la luz solar, elabora la planta por síntesis las substancias hidrocarbonadas, que integran la mayor parte de su organismo, según la siguiente reacción química reducida:



El arroz posee, pues, una nutrición autótrofa, propia de las plantas verdes y de algunas bacterias. Gracias a su capacidad de producir y acumular energía libre (por fotosíntesis o quimiosíntesis) elabora sustancias orgánicas termógenas (almidón, glucógeno) a expensas de alimentos minerales (agua, sales minerales, CO_2) constituyendo el proceso inverso de la respiración.

Por lo que respecta a las diferentes reacciones de las variedades frente a las bajas temperaturas que se pueden producir en el momento de la siembra, se observa que con valores próximos a 0°C, en todas las variedades, la semilla se hincha sin comenzar la formación de los diferentes órganos vegetativos. Si las condiciones térmicas desfavorables se prolongan en el tiempo, la capacidad germinativa de la semilla se diferencia gradualmente entre las variedades, en sus comportamientos posteriores. En efecto, al restablecerse las condiciones térmicas óptimas, una gran parte de la semilla de algunas variedades se marchita rápidamente sin iniciar siquiera la germinación; la semilla de otras, en un porcentaje más o menos elevado, se mantiene largo tiempo activa y viva, y por fin germina. En el litoral mediterráneo español, por ejemplo, son bien conocidas las pérdidas de semilla a causa de las condiciones climatológicas adversas y, muy especialmente, debido a los persistentes temporales de levante en la época de siembra. Al respecto, veamos que la variedad *Balilla* es un ejemplo del primer caso; la *Cripto*, del segundo.

4.2. El sistema vegetativo

4.2.1. Las raíces

La raíz primaria no desempeña una función nutritiva, sino esencialmente de anclaje mecánico en el terreno.

Su configuración aproximada puede apreciarse en el siguiente dibujo:

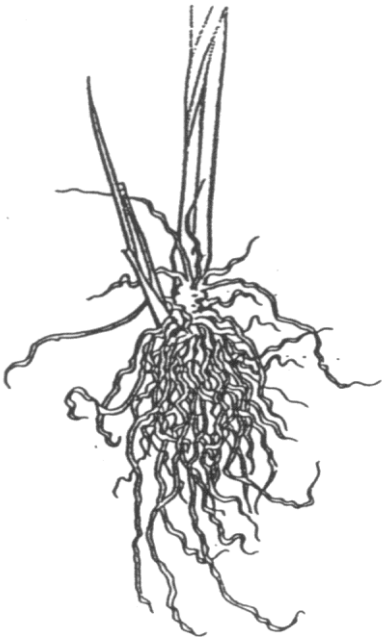


Figura 3.1. La raíz de una planta de arroz

Las raíces embrionales degeneran rápidamente y son substituidas por coronas de raíces que, posteriormente, se forman en cada nudo situado en la base del tallo. Después y progresivamente, las raíces se desarrollan en cada tallo formado durante el ahijamiento y a menudo también en los nudos más elevados, como en el caso del transplante. Tal vez, en circunstancias particulares, también los nudos aéreos emiten raíces, cubiertas por las vainas foliares, principalmente como consecuencia de lesiones ocasionadas por el granizo o por otras causas mecánico-traumáticas.

El desarrollo máximo del sistema radicular se alcanza al término del ahijamiento, paralelamente con el máximo incremento porcentual del peso de la planta y de la absorción de nutrientes.

La extensión y densidad del aparato radicular están estrechamente correlacionadas con la forma de cultivo: aireación del suelo, altura de la capa de agua y sistema de riego, fertilización del suelo, etc. Durante la floración termina la formación y desarrollo de las raíces; la absorción de nutrientes cesa en la fase de maduración láctea, esto es, a los 10-15 días después de la floración.

Durante las primeras fases vegetativas las raíces se desarrollan junto a la superficie del suelo; después, en la fase de ahijamiento, también en profundidad: en función de la variedad y, en igualdad de condiciones, más o menos profundamente según que la modalidad de riego sea por turnos o con inundación continua. *Balilla* y *Ribe*, por ejemplo, extienden el sistema radicular más superficialmente que las variedades "Roma" y "Zenit". Normalmente, las variedades muy resistentes al encamado profundizan mucho más sus raíces que las sensibles.

La anatomía del aparato radicular del arroz, muy distinta de la de otros cereales, como por ejemplo el trigo, demuestra la gran adaptabilidad de la planta a las condiciones del cultivo bajo agua.

Las raíces consumen oxígeno, como las de las plantas cultivadas en suelo seco. Pero en el caso del arroz, el oxígeno no proviene de fuera de las raíces sino que se transporta desde las hojas y los tallos, tal y como pasa con las demás plantas acuáticas. En las raíces, tallos y hojas hay unos espacios intercelulares que se considera que forman un sistema de conducción y almacenaje de aire.

Desde el punto de vista fisiológico, el volumen y calidad de los exudados y desechos de la raíz desempeñan un importante papel, dependiendo de las condiciones de óxido-reducción del entorno, como sustrato para la microflora del terreno. Las raíces desprenden azúcares -glucosa en particular- y aminoácidos, en cantidad equivalente al 50% de aquellos y pequeñas cantidades de ácidos orgánicos; la exudación es mayor cuanto más desarrollada está la planta y, concretamente, las raíces, y más intensa es la respiración.

4.2.2. El ahijamiento y los tallos

Transcurridos 20-30 días desde la siembra, la plántula comienza la diferenciación de los tallos secundarios o de ahijamiento a partir de las yemas laterales, situadas en la base del tallo primario, en la axila de las hojas. El fenómeno se repite en los tallos nuevos, dando lugar a la formación de tallos de tercer orden. Según la variedad de que se trate, el ahijamiento se produce en un solo plano o bien en planos perpendiculares al de los primeros tallos formados.

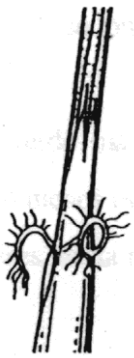


Figura 3.2. El tallo de una planta de arroz

La intensidad y la fecha de inicio del ahijamiento depende de muchos factores relacionados con las características genéticas de la variedad cultivada, con las condiciones climáticas y edáficas del lugar de cultivo y con las técnicas agrícolas empleadas. Pueden formarse hasta 50-60 tallos; en condiciones normales cada planta produce de 2 a 5 tallos fértiles.

Las temperaturas demasiado bajas reducen o inhiben el proceso de ahijamiento, como también la excesiva altura de la capa de agua, el terreno poco fértil, la elevada densidad de siembra, el transplante demasiado profundo o bien el realizado con plantas excesivamente desarrolladas; también lo dificultan las sustancias fitotóxicas acumuladas en el suelo y en el agua o las suministradas por los productos pesticidas, por la escarda química o por otras causas de distinto orden.

El ahijamiento termina simultáneamente con la formación embrional de los primeros esbozos florales. Por efecto de acciones traumáticas de tipo mecánico, de carácter químico o por otras causas no siempre conocidas (como al verificarse condiciones climáticas favorables), el ahijamiento puede reanudarse después del período indicado; en tal caso, en muy pocas ocasiones se emiten tallos fértiles, es decir, que los nuevos tallos no forman la panícula.

Después de la floración, la altura de los tallos formados durante el ahijamiento es similar a la del tallo principal. Los nudos situados en la base de los tallos están muy juntos: aproximadamente a 1 ó 2 mm; progresivamente se distancian de abajo a arriba. Los entrenudos superiores alcanzan longitudes variables según la variedad: de 7-8 a 18-20 cm. La altura de la planta está en función del número de los entrenudos, entre 10 y 15, y de su longitud; 5-7 son epigeos.

Los entrenudos son lisos, de color verde más o menos intenso. A veces tienen pigmentaciones antociánicas con estrías más o menos evidentes; la pigmentación se limita a la epidermis o llega también a los haces vasculares, hasta producir una coloración rojo-vinosa o bien de tonalidad violeta intenso.

La fragilidad del tallo y la de otros órganos vegetativos está controlada por factores genéticos; químicamente se debe a un contenido bajo de alfa-celulosa. Los nudos se caracterizan por el espesor, que es mayor que el de los entrenudos; se ensanchan por la presencia de un engrosamiento: el “pulvínulo”; sobre éste se articula la vaina foliar. El nudo puede tener coloraciones diversas relacionadas con la de otros órganos de la misma planta. Por distintas causas de carácter traumático, climático o simplemente por prácticas agronómicas, sobre cualquier nudo se puede formar, además de raíces adventicias ocasionales, ya citadas en otro lugar de este trabajo, un entrenudo corto en el interior de la vaina foliar, que sostiene una panícula corta, generalmente con pocas flores, que, a veces, por efecto de un proceso de autofecundación cleistógama, producen cariópsides que maduran normalmente.

4.2.3. La hoja

La vaina foliar, que envuelve el entrenudo inmediato superior, se desarrolla en longitud en correlación con la dimensión del entrenudo; lo abraza más o menos ampliamente según las características varietales. La vaina gruesa y corta que circunda todo el entrenudo, también corto, indica una elevada resistencia al encamado.

En el punto de articulación de la vaina con el limbo foliar se diferencia la lígula y las aurículas; a veces se nota la ausencia de la lígula, como expresión genética particular.

Durante las fases vegetativas se forman tantas hojas como entrenudos no hipogeos. A medida que avanza el desarrollo de las plantas, las primeras hojas formadas terminan su función vegetativa y se secan.

Después de la floración cada tallo presenta sólo 4-7 hojas. El limbo foliar es más o menos pubescente, o incluso nada pubescente; tiene un porte más o menos erecto y forma un ángulo con la vaina, variable según su posición en la planta y la variedad de la misma. La longitud y la colocación son igualmente características de la variedad.

La última hoja se llama "bandera" u hoja panicular; a veces permanece erecta durante la floración y se inclina sólo en la maduración completa. Las hojas situadas en la base del tallo, ejercen una acción trófica esencialmente a favor del aparato radicular; la hoja bandera y la penúltima desempeñan, en mayor medida que las otras, un papel muy importante para la formación de la panícula y de los granos.

Las hojas presentan diversas adaptaciones ecológicas, a saber:

1. El número de estomas es mucho más alto que en el caso del trigo y en el del maíz. Esta característica facilita la entrada de aire al sistema

respiratorio de las raíces y, por otra parte, asegura una fotosíntesis eficiente en un ambiente de calor y humedad.

2. Las células del mesófilo son más pequeñas que las del trigo y las del maíz y tienen menos resistencia a la difusión de aire, lo que constituye una ventaja para los ambientes húmedos y calientes.
3. La orientación de las hojas y el hecho de que no se enrollen como las del trigo y la cebada también son ventajas adaptativas para este tipo de hábitats propios de los humedales arrozales.
4. Se trata de una planta C3. La baja resistencia de sus hojas a la entrada de aire, juntamente a un abundante suministro de agua, puede ayudar a la eficiencia de este sistema fotosintético. Por otro lado, los niveles de luz y de temperatura en los ambientes propios del arroz no son suficientemente elevados por ser favorables a la fotosíntesis tipo C4.

4.3. Los órganos de la reproducción

4.3.1. La panícula

El último entrenudo, el que emerge de la vaina de la hoja bandera, tiene una constitución distinta a la de los demás: más que cilíndrico posee nervios abultados y sobresalientes y, en algunas variedades, es sinuoso. Se llama “cuello” o “pedúnculo”.

El cuello se une al raquis de la panícula en el nudo panicular. La distancia que separa este nudo y la articulación vaina-limbo de la última hoja[5] es muy variable entre las diferentes variedades y oscila dentro de las mismas.

El raquis, más o menos flexible, al llegar a la maduración permite que la panícula adopte un porte variable, esto es: semierecto, semipéndulo o colgante. Los tipos de panícula se distinguen por las siguientes características: longitud, distribución verticilada o no de las ramificaciones primarias; ángulo formado entre éstas y el raquis, que indica la forma de la panícula: cerrada, abierta y laxa;

[5] Esta distancia permite justamente medir el grado de emergencia de la panícula.

densidad de la panícula, expresada por la relación existente entre el número total de flores y la longitud de la panícula.

El tipo de panícula, laxa y con raquis y pedúnculos muy finos, también parece ser que constituye una adaptación a los climas húmedos. Así mismo, el hecho de que las hojas, más que la panícula, proporcionen la mayor parte de los asimilados al grano, a diferencia de lo que pasa con el trigo y la cebada cultivados en lugares secos, constituiría también una adaptación ecológica. De hecho, esta característica se ha desarrollado considerablemente gracias a la mejora genética.

4.3.2. La flor o espiguilla

El pedúnculo o pedicelo es la última ramificación de la panícula; puede estar unido a una o más espiguillas, según la base genética que informa tal carácter.

En el punto de unión de la espiguilla, el pedúnculo se extiende en forma de cúpula. De la estructura anatómica y del funcionamiento variable del tejido de conexión, situado entre el pedúnculo y la espiguilla, depende el fenómeno de la tendencia o resistencia al desgrane y la caída del grano en la maduración.

Veamos, al respecto, la figura siguiente:

Figura 3.3. La flor o espiguilla del arroz

La flor está formada por las diferentes partes que se indican a continuación:

a) Dos brácteas externas o inferiores: las glumas. Son pequeñas y de forma diferente. A veces poseen una coloración distinta de las glumillas.
b) Dos brácteas internas o superiores: las glumillas. La insertada más abajo, llamada “lema”, es la más grande y lleva cinco nervios; el dorsal, en el caso de variedades aristadas, se prolonga para formar una arista o raspa, más o menos larga. La glumilla superior, menos desarrollada, se denomina “pálea” y posee tres nervios. Las puntas de los dos nervios dorsales de cada glumilla se disponen juntas para formar un ápice del grano; tiene una forma y una pigmentación distinta, según la variedad; la coloración está frecuentemente correlacionada con la de otros órganos vegetativos. La superficie de las glumillas es reticulada; puede ser glabra o, más o menos intensamente, pelosa. La forma, el espesor, la coloración y la vellosidad de la glumilla están controladas por factores genéticos y constituyen caracteres varietales diferenciales.
c) El periantio: está formado por dos pequeñas lodículas; tienen la función de abrir las glumillas en el momento de la antesis, al principio de la floración.
d) El androceo: consta de dos verticilos de tres estambres cilíndricos cada uno; cada filamento termina en una antera formada por dos lóbulos o “tecas”. En la floración los lóbulos se abren sobre la línea de unión dejando caer el polen.
e) El gineceo: formado por un pistilo de un solo carpelo con ovario ovoide y dos estigmas plumosos, que sobresalen por encima del pistilo. Estos son normalmente blanco-hialinos, pero pueden estar diversamente coloreados.

4.3.3. Formación y desarrollo de la panícula: la floración y la fecundación

La formación embrional de la panícula se inicia 50-70 días después de la germinación de la semilla. El intervalo de tiempo que transcurre entre las dos fases es una característica varietal, pero que depende mucho de la intensidad

luminosa y de la duración del fotoperíodo y, particularmente, de la temperatura o integral térmica registrada.

Las condiciones nutritivas de la planta en esta fase, además de las térmicas y luminosas precedentes, determinan el número de flores de la panícula.

El primordio floral crece desarrollando gradualmente el último entrenudo del tallo, la panícula y las flores. En la fase de espiga en zurrón en estado avanzado, la inflorescencia ha alcanzado ya su dimensión final.

En esta fase la panícula está envuelta por la vaina de la hoja bandera tomando forma de huso o de pequeño tonel y llamándose fase de espiga en zurrón ("preñado" o "ventrellat").

El espigado, o emergencia de la panícula, es simultáneo con la antesis y la floración de las flores situadas en el ápice de la panícula; las dos fases se confunden. En estas fases existe un elevado riesgo de deshidratación por vientos secos del norte, especialmente en el área levantina española y de inicio nocturno, dando lugar al fenómeno vulgarmente conocido como "espigas blancas". La panícula emerge completamente en 8-15 días.

El número de días transcurridos entre la germinación y la floración es un carácter varietal generalmente en correlación positiva con el período de tiempo que separa la floración de la maduración. Es posible, sin embargo, observar frecuentemente, entre variedades de igual ciclo vegetativo, que algunas prolongan la primera fase disminuyendo la segunda; otras, por el contrario, presentan el fenómeno inverso. La duración de estas fases, aún dependiendo de factores genéticos, resulta variable, estando, para cualquier variedad, condicionada por la sensibilidad específica al fotoperíodo y al termoperíodo y por las condiciones de nutrición en las que la planta se cultiva.

La disminución de la temperatura durante las fases de la diferenciación de la inflorescencia y en las sucesivas etapas del desarrollo puede producir malformaciones y ser causa de esterilidad floral. Cuando la panícula ha emergido,

las flores, afectadas con anterioridad por condiciones térmicas negativas, aparecen con las glumillas blancas y no verdes, y son de menores dimensiones. A consecuencia de la esterilidad floral ocasional, algunas variedades, a diferencia de otras, pueden presentar estériles todas las flores situadas en la parte apical (esterilidad o falla apical) de la panícula, o bien en la basal. En el caso de que la esterilidad sea producida por el impacto del granizo, en una zona anular e intermedia de la panícula, se denomina esterilidad o “fallada anular”.

La apertura de las glumillas de la flor se denomina “floración”. El tiempo que la flor permanece abierta depende estrechamente del tipo varietal, aunque está muy condicionado por los factores climáticos, o sea: los valores de la temperatura, humedad del aire e intensidad luminosa.

En algunas variedades de arroz la flor permanece abierta durante 5-10 minutos, en otras hasta 60 minutos o incluso más. Cuando las temperaturas son frías y la luminosidad baja, la flor permanece abierta durante mayor tiempo; lo mismo sucede cuando el aire se encuentra sobresaturado de humedad; generalmente, en las variedades tempranas, la duración de la apertura es menor que en las de ciclo vegetativo largo.

Los días fríos y lluviosos sucesivos, al inicio del espigado, retrasan la floración, mientras que las condiciones climáticas caracterizadas por temperaturas de 25-30°C, humedades relativas del aire en torno al 70-80% y una luminosidad alta, son las óptimas; la floración se verifica más intensamente durante el mediodía, entre las 11 y las 14 horas.

Los estambres, cuyas anteras estaban en contacto con la parte superior interna de la glumillas, al abrirse las flores, emergen fuera rápidamente en posición erecta y después, una vez que ha tenido lugar la dehiscencia de las anteras y tecas, se doblan. El exceso de humedad y la falta de calor y de luz retrasan la dehiscencia de las anteras y la maduración del polen.

En el arroz se realiza normalmente la autopolinización; sin embargo, la polinización cruzada es posible, tanto más cuanto mayor tiempo permanecen las

flores abiertas. El polen, en el momento de la dehiscencia, no se encuentra en condiciones de germinar, mientras que el óvulo ya puede recibir el tubo polínico cuando se abre la flor. El porcentaje de fecundación cruzada es muy variable. La facultad de germinación y fecundación del polen se mantienen buenas durante un tiempo variable entre 10 y 90 minutos, dependiendo fundamentalmente de las condiciones ambientales de humedad y temperatura.

Los granos de polen, una vez depositados sobre los estigmas, emiten el tubo polínico; uno de ellos alcanza el óvulo y lo fecunda. El proceso de la fecundación puede invertir de 1 a 3 horas, desde el comienzo de la antesis. Después de la fecundación, las glumillas se cierran encajando sus bordes; después de 4-5 días, los márgenes de las glumillas se silicifican y se sueldan entre ellos.

4.3.4. La cariópside (fruto) y la espícula (semilla)

La formación del grano se completa en un período de tiempo variable, oscilante entre los 30 y los 60 días después de la floración; sin embargo, el embrión se encuentra ya morfológicamente completo a los 10-15 días. Una vez formado el embrión, el grano de arroz se ensancha en su porción basal, y más tarde se alarga; la última parte en formarse es la central, donde en algunas variedades puede quedar una banda amilácea blanca, que resulta ser un índice o indicador de una maduración imperfecta. Ésta se completa 40-70 días después de la floración. Como consecuencia de ello, y después del transporte de los elementos plásticos acumulados por la planta en sus diversos órganos vegetativos, se forma el fruto llamado comercialmente arroz-cáscara o “paddy”, que consiste en una cariópside envuelta por las glumillas, los vestigios de la flor.

La cariópside se compone de varias partes, a saber:

- de los tegumentos seminales que en su conjunto forman el pericarpio,
- de una capa de aleurona,
- del endospermo o albumen, y
- del embrión, también llamado “germen”.

Todos o parte de los tegumentos de la semilla pueden tener un color distinto del normal, que es blanco-grisáceo. La coloración es variable en una amplia gama y matices de color, como el amarillo, el rojo o el violeta y está controlada por un par de factores genéticos. En ningún caso el endospermo está pigmentado. El endospermo es un tejido parenquimático, con células poligonales que contienen gránulos de almidón, rodeado por células planas de aleurona.

El grano de arroz puede tener un aspecto totalmente translúcido, con estructura compacta y cristalina, o bien puede ser opaco en una zona central o centro-lateral más o menos extensa del grano; esta zona, llamada "perla" y a la que ya nos hemos referido con anterioridad al hablar de las características comerciales del grano, es de color blanco-lácteo; su estructura celular es poco compacta, lagunar; la variabilidad de este elemento característico depende de la variedad y de las condiciones de maduración. A veces la “perla” es muy amplia y llega hasta la parte externa ventral del grano, formando la denominada "panza"[6]; cuando se extiende sobre toda la cariópside da origen a un “grano yesoso”. En estas zonas del grano, la estructura del almidón es amorfa y harinosa, no cristalina.

Ello origina la diferenciación comercial: modernamente, se tiende a la búsqueda de arroces “cristalinos”, esto es, con bajo contenido de hidratos de carbono (almidón).

El embrión de 1,5-2,5 mm de longitud está situado en la parte inferior y lateral, en una cavidad del endospermo y separado de él por una membrana celular: el “escutelo”. Está formado por los primordios de la raíz embrional y por la plúmula o gémula, con los primordios de la primera hoja, que está recubierta por el coleóptilo. El hipocótilo une la radícula con la plúmula.

Distintas causas pueden producir el aborto, al interrumpir la formación de la cariópside o bien impedir la maduración completa; se trata, principalmente, de

[6] En inglés se llama *white belly* y *striscia* en italiano.

infecciones parasitarias producidas por bacterias u hongos, del granizo y de las temperaturas excesivamente bajas.

También se pueden producir granos de arroz deformes, yesosos o no, y de dimensiones diferentes. Ello depende del grado de desarrollo y de maduración alcanzado por la cariópside en el momento en que se verifica el fenómeno negativo en cuestión.

CAPÍTULO 4

- OBJETIVOS DE LA MEJORA -

1. El comienzo de la mejora en España

1.1. Introducción

Una serie de años problemáticos, por las repetidas falladas del grano que culminaron en la gran fallada de 1911, desembocaron en 1913 en la creación por el gobierno, a petición de los agricultores arroceros valencianos, de la Granja Arrocera de Sueca. Se iniciaron así los trabajos de mejora del arroz en España que inicialmente se basaron en la introducción de variedades extranjeras. Las variedades *Originario*, *Benlloch* y *Americano 1600* contribuyeron a paliar el problema existente. El siguiente paso importante fue la introducción en 1939 de la variedad *Balilla*, que aportó un nuevo nivel de producción y que ha sido un progenitor básico para variedades futuras. Es una variedad baja, de grano pequeño, espiga densa, hojas de color verde oscuro y buen ahijamiento, que responde bien a fuertes abonados nitrogenados. Estas características, con un grano mejorado, han pasado a algunos de sus descendientes más destacados como *Bahia*, *Sequial*, *Senia* o *Tebre*.

La primera variedad propia destacada es *Balilla*x*Sollana*, más alta que *Balilla* y con mejor grano, aunque aún pequeño, y que sigue actualmente en cultivo pese a su altura algo excesiva. Debido a que su ciclo es un poco más corto, la hace adecuada para algunas zonas arroceras españolas más frías.

1.2. El auge de las variedades españolas

El cultivo del arroz sufrió a finales de los pasados años sesenta un cambio radical con la introducción de las cosechadoras autopropulsadas y los herbicidas y la sustitución, un poco posterior, del trasplante por la siembra directa. Este cambio potenció la rápida difusión de las nuevas variedades españolas *Bahía* y *Sequial*, que presentaban algunas ventajas importantes en cuanto al tamaño de grano, producción y resistencia al encamado de la planta.

Las razones por las que *Bahía* fue, a la larga, preferida a *Sequial* tienen que ver, en gran parte, con el tipo de grano, más ancho y perlado en el caso de *Bahía*. Esta preferencia del mercado tradicional por el grano ancho y perlado no es compartida por otros países, en los que los programas de mejora tienen entre sus prioridades la eliminación del grano perlado que, según estudios realizados sobre la fragilidad del grano en el molino, es una de las causas principales de las roturas durante el proceso industrial de elaboración. A favor de *Bahía* estaba su buena adaptación a las diversas zonas arroceras y, en contra, su mayor propensión al encamado. El mejor tipo de planta de *Sequial*, de talla más baja con hojas erectas y mejor resistencia al encamado, hizo que se utilizara frecuentemente como progenitor cruzándola, entre otras muchas variedades, con *Bahía*. De este cruzamiento procede la variedad *Senia*, registrada en 1986, junto con la variedad *Tebre* que ha tenido buena aceptación en Cataluña. La variedad *Senia* mejoraba a la *Bahía* en resistencia al encamado, en tamaño de grano y moderadamente en producción. Por otra parte, el grano, aunque mayor, corresponde al mismo tipo comercial (ancho y perlado) que ha predominado en el comercio interior. Con todas estas ventajas, tuvo una difusión inicial muy rápida en la zona de Valencia, siendo actualmente la variedad más cultivada.

2. Objetivos de la mejora

2.1. Introducción

El agricultor que se disponga a la elección de la variedad a cultivar tiene que proceder al examen de aquellas que se encuentran en el mercado, basándose en las exigencias de carácter agronómico, a las que se añaden otras que pueden adquirir incluso mayor importancia según el ambiente particular agronómico en el que el agricultor trabaja, o bien según condiciones de tipo económico-comercial concretas.

Las investigaciones relacionadas con la genética básica, pero que mediante la mejora vegetal tratan de conseguir mejores resultados prácticos, pueden ser realizadas sobre los siguientes caracteres, expresados a continuación de forma resumida en los epígrafes siguientes.

2.2. Aumento de la capacidad productiva

La consecución de este objetivo primario es factible mediante la mejora de los caracteres siguientes:

- Capacidad fotosintética: ligada a la selección de fenotipos que tengan un crecimiento inicial bastante rápido, de forma que la actividad fotosintética sea máxima bastante pronto. En este sentido, veamos que la hoja de porte erecto mejora y alimenta el potencial fotosintético de la planta.

- Máximo número de cariópsides: la selección de genotipos que tengan la panícula con un elevado número de cariópsides y una gran capacidad de ahijamiento para obtener el mayor número de panículas por unidad de superficie cultivada -compatible con la facultad de resistir, en tales condiciones, a las situaciones desfavorables que podrían reducirlas- es la meta perseguida por el seleccionador. La intervención del agricultor mediante la fertilización en el inicio

de la formación embrional de la panícula puede contribuir a exaltar esta facultad en el genotipo idóneo.

- Reducido índice de respiración: la respiración destruye substancias plásticas de reserva acumuladas en la planta, lo que se traduce casi automáticamente en una pérdida energética y en la reducción consiguiente de la producción. No es posible eliminar completamente esta actividad, pero se tiende a que el genotipo ideal la realice en su más mínima expresión. No se conocen hasta la fecha, desgraciadamente, parámetros morfológicos o de otro tipo que estén correlacionados con este índice y que hagan posible la obtención y selección del genotipo buscado.

- Talla baja de la planta: prescindiendo de la resistencia al encamado, con la que está positivamente correlacionada, la menor altura de la planta permite una buena respuesta productiva al incremento del abonado; además, la panícula situada en una posición baja posee mayor resistencia a la esterilidad, producida por ocasionales bajas temperaturas del aire, durante la formación de los gametos polínicos a nivel de microspora.

- Peso medio de 1.000 semillas: es un valor o parámetro de una gran importancia, ya que constituye un factor esencial de productividad o rendimiento del arroz. Para el grano con cáscara, este valor puede oscilar entre 22 y 36 gramos. Cada variedad puede presentar intervalos de hasta el 25% (Tinarelli,1973). Son numerosos los factores que afectan este carácter, a saber: climáticos, edafológicos, agronómicos, etc.

- Capacidad germinativa: el número de semillas germinadas nos indica la capacidad genética de una determinada variedad para iniciar y completar la germinación. Este proceso tiene lugar a una temperatura mínima variable, entre 14 y 18ºC. Según esto, se puede comprender que las circunstancias climatológicas de cada campaña son las que marcarán la capacidad de germinación de cada variedad.

- Ciclo vegetativo: se inicia con la siembra y finaliza en el horizonte temporal definido por el 80% de espigas maduras. Para realizar el control de este parámetro se tienen en cuenta los días naturales y los grados acumulados o integral térmica sobre el cero vegetativo. También se puede dividir el ciclo en dos partes: la primera desde la siembra hasta la floración, y la segunda, desde la floración hasta la maduración de la espiga. Las condiciones de abonado, temperaturas, fotoperíodo, etc., pueden hacer cambiar el ciclo vegetativo del arroz.

- Resistencia al desgrane: la causa de la caída del grano no es más que un proceso de suberificación y lignificación de las células que forman la base de la unión de la cariópside o el pedúnculo. Como regla práctica para determinar este carácter, se adopta la prueba de someter la espiga a una ligera presión manual, de manera que, cerrándola con la mano, se pueden desprender aquellos granos menos adheridos y que constituyen el número de referencia al desgranado.

2.3. Resistencia a las bajas temperaturas

Debe ser considerada en el período de la germinación y desde la formación embrional de la panícula hasta el término de la floración. Esta resistencia durante la primera fase, además de garantizar una mayor germinación o vigor germinativo, permite la siembra anticipada respecto a la época normal. Esto puede resultar conveniente con el fin de escalonar la operación durante un período de tiempo más amplio y, por consiguiente, para disminuir la necesidad punta de agua para la inundación. La resistencia a los bajos niveles térmicos durante la segunda fase mencionada garantiza el logro de mayores producciones, como consecuencia de la menor esterilidad y aborto floral.

La resistencia al frío, junto con una rápida germinación, constituyen la mejor defensa o garantía frente a los agentes criptogámicos, ya sean obligados u ocasionales o facultativos.

2.4. Rápida y adecuada recolección mecanizada

Talla baja, hojas erectas, tallo no demasiado frágil, glumillas múticas (sin aristas) y absolutamente glabras (sin pelillos en el grano), resistencia media al desgrane. Todos estos caracteres, aparentemente poco relacionados entre sí, tienen, conjuntamente, una gran importancia para el logro de una buena producción y para una rápida y adecuada recolección mecanizada. Concretamente, en el delta del Ebro convendría no rebasar el 15 de septiembre para no tenerse que enfrentar a circunstancias climatológicas desfavorables (lluvias y viento).

La estatura baja de la planta disminuye, generalmente, el riesgo del encamado y permite que la máquina cosechadora trabaje con menor cantidad de paja y, consecuentemente, con mayor rendimiento superficial y menor riesgo de averías.

Las hojas con porte erecto permiten, a su vez: mayor resistencia al encamado, por la mayor incidencia de la luz sobre las plantas, particularmente sobre la base del tallo, y el consiguiente aumento de su diámetro; mayor capacidad de producción como consecuencia de una síntesis clorofílica más activa incluso de las hojas con una posición más baja; mayor resistencia a las enfermedades, derivada de la menor humedad, como consecuencia de que el agua meteórica escurre mejor hacia el suelo (o el agua).

La menor fragilidad del tallo impide la rotura excesiva de la paja, permitiendo, consiguientemente, una mayor y más rápida separación del grano en las cribas o tamices y en los sacudidores de la trilla de la cosechadora.

Las glumillas múticas y absolutamente glabras retienen menor cantidad de agua, de rocío y lluvia, sobre el grano; de tal suerte, bajo la acción de fenómenos meteóricos favorables (sol, viento) pierden la humedad con mayor rapidez. De esa manera se puede anticipar la recolección en el comienzo de la jornada y

atrasar su término durante la tarde: se consigue, con ello, un aumento de las horas útiles para realizar los trabajos de recolección, con el pertinente aumento de rendimiento de esta tarea, así como un menor riesgo de infecciones criptogámicas.

La ausencia de pelos y otros restos vegetales favorece la separación en las cribas de la cosechadora y en las limpias; permite, además, un secado más fácil y rápido del producto.

La escasa resistencia al desgrane aumenta las pérdidas de grano antes de la recolección, con el consiguiente quebranto económico. La resistencia excesiva, por el contrario, impide el desgrane absoluto de la panícula y favorece la rotura de las raquillas más que la separación del grano; dificulta, por lo tanto, la separación o trilla y retrasa el secado del arroz-cáscara.

2.5. Maduración simultánea de todas las panículas y uniforme de las cariópsides en cada una de ellas

En algunas variedades -principalmente las de panícula densa y de capacidad productiva superior- los granos situados en la base de la panícula maduran hasta 10-15 días después que los de la parte superior.

Otras variedades -especialmente bajo determinadas condiciones agronómicas- forman los hijuelos lenta y excesivamente distanciados en el tiempo: las distintas panículas maduran las cariópsides de forma escalonada entre sí. Este tipo de situaciones dificultan la elección del momento adecuado para el corte y disminuyen el valor comercial del producto: hay un menor rendimiento de arroz elaborado por exceso de roturas y de granos inmaduros; el producto es menos uniforme. Por otra parte, aumenta también la humedad del grano, con el quebranto económico que suponen los mayores costes de secado del grano (que generalmente debe dejarse a una humedad media del 14%, para su posterior ensilado e industrialización).

2.6. Mejora de las características tecnológicas y comerciales

Entre los factores que aumentan el *rendimiento industrial* del arroz, podemos citar los siguientes:

1) maduración perfecta y uniforme de todas las cariópsides;
2) resistencia intrínseca de la variedad a la rotura durante la elaboración industrial;
3) menor presencia porcentual en peso de algunos subproductos.

En las variedades con cariópsides múticas y glabras, generalmente, el peso de las envolturas florales es menor: el peso en porcentaje del arroz descortezado ("cargo") puede alcanzar valores iguales al 82-86%.

Desde el punto de vista económico-comercial, se prefieren -especialmente para el comercio exterior- las variedades con cariópsides **translúcidas** y entre éstas los tipos de grano largo y estrecho, que, como hemos visto, poseen una relación longitud/anchura superior a 3,0 y una longitud media superior a 6'0 mm. En el comercio interior italiano se prefieren todavía los tipos de arroz más o menos ampliamente perlados.

2.7. Aumento del valor biológico

Este aspecto novedoso de las características cualitativas del arroz es objeto de atención, desde el punto de vista de la investigación genética, sólo recientemente. El aumento del contenido proteico, principalmente de algunas fracciones de aminoácidos esenciales, puede estar correlacionado positivamente con una respuesta superior a las cantidades elevadas de fertilizantes.

A estos objetivos se añaden otros más específicos, como son: la adaptación a los terrenos turbosos, salinos, arenosos o la adaptabilidad al cultivo sin inundación y a la siembra más tardía.

Hay que hacer constar que todos estos objetivos se suman a aquellos que siempre han sido objeto de atención y que, junto con la mayor capacidad productiva de las variedades tempranas, son los siguientes: resistencia a las enfermedades parasitarias, a la podredumbre basal del tallo, a la *Pyricularia oryzae* en la hoja y en el cuello de la espiga y la resistencia al encamado.

La elevada capacidad productiva, junto con una satisfactoria regularidad de las producciones, es el objetivo final principal que lo engloba y resume todo; las producciones altas y constantes, año tras año, junto con unas características cualitativas excelentes, forman parte de un próximo objetivo, todavía más difícil de conseguir.

Estas afirmaciones se pueden ilustrar con unos ejemplos de variedades de arroz, como pueden ser la variedad *Bahía* y la *Senia*, de gran uso en la zona del delta del Ebro y en Valencia, debido al cumplimiento satisfactorio de dos condiciones importantes: la regularidad productiva y su adaptabilidad a las distintas condiciones climatológicas o de cultivo. Del mismo modo, se ha observado el fracaso de la variedad *Italpatna* debido a sus problemas de producción que, gracias a posteriores selecciones, se han paliado en buena parte. En los aspectos puramente agrícolas, se busca una mayor productividad, como en el caso de la variedad *Balilla*, aunque se ha desestimado modernamente su cultivo por su baja calidad comercial. Pero, de manera simultánea, se investiga la resistencia a distintas enfermedades y muy especialmente al temible encamado.

3. Variedades de arroz en la Comunidad Valenciana

3.1. Introducción

Desde hace aproximadamente 30 años, el cultivo del arroz en la Comunidad Valenciana se basa mayoritariamente en las variedades obtenidas por el Departamento del Arroz del Instituto Valenciano de Investigaciones

Agronómicas (IVIA), entonces ubicado en la Estación Arrocera de Sueca. Variedades obtenidas en el Departamento del Arroz como *Balilla*x*Sollana*, *Sequial*, *Bahía* y *Senia* han sido, entre muchas otras, las que en periodos sucesivos alcanzaron mayor utilización. En este momento parece iniciarse el ascenso de *Leda*, una variedad registrada en 1990, y por otra parte se han presentado recientemente, en el Registro de Variedades, tres nuevas variedades de arroz.

3.2. Características de la planta y del grano de algunas variedades de arroz

En la tabla siguiente se recogen características de altura y tipo de grano de algunas de las variedades obtenidas en el mencionado Departamento del Arroz. Otras como *Liso* (que se cultivó en Italia como *Tizinese*), *Betis*, *Júcar*, *Niva* (que aún se cultiva, por ser más temprana) o *Tebre* se han excluido para simplificar la visión de conjunto.

Tabla 4.1. Características de altura y tipo de grano de algunas variedades de arroz

Variedad	Altura planta (cm)	Grano elaborado		
		Longitud (mm)	L/A	% perlado
BalillaxSollana	115	5.02	1.7	98*
Bahía	105	5.32	1.8	92*
Sequial	96	5.45	2.1	24
Senia	98	5.80	1.9	90*
Leda	85	5.90	2.1	20
Albada	97	6.02	2.2	16
Mareny	95	5.71	2.1	22
Clot	95	5.50	2.1	62
Marjal	80	5.89	2.1	30
Ullal	85	5.55	2.0	28
Baixet	72	5.78	2.0	49*

Se puede observar la reducción progresiva de la altura de la planta, expresada en centímetros y medida desde el suelo hasta la punta de las

panículas. Esta reducción en altura no constituye un fin en sí misma, aunque mejora la relación grano-paja, sino un modo de mejorar la resistencia al encamado. En este sentido, variedades como *Marjal* o *Baixet* representan una mejoría apreciable respecto a las anteriores. Por otra parte, aunque se dispone de líneas aún más bajas, este carácter suele ir acompañado de una menor productividad.

Las tres últimas variedades presentadas a Registro, *Marjal*, *Ullal* y *Baixet*, se caracterizan además por un sistema foliar erecto en el que las hojas bandera sobresalen de las panículas: un tipo de planta que los fisiólogos vegetales consideran conveniente para las variedades muy bajas.

En cuanto al grano veamos que hay bastante diversidad, tanto en la longitud, que va del grano corto, como *BalillaxSollana*, al largo A como el *Albada* con predominio del grano medio, como en anchura y perlado. Más adelante consideraremos los problemas de las variedades de grano largo B impropiamente llamadas *Índica* cuando botánicamente no lo son.

En la última columna de la tabla anterior que recoge el porcentaje de granos perlados, se ha señalado con un asterisco (*) aquellas variedades en que la perla es una perla central grande, como es el caso de las variedades *Bahía* o *Senia*. La cuestión del perlado merece un comentario más detenido. Técnicamente no es una buena característica dado que, como se ha dicho antes, está ligada directamente a la fragilidad del grano en el molino. Sin embargo, existe una preferencia tradicional española por este tipo de grano, preferencia (culinaria) que está ligada a un tipo determinado de cocción, distinta de la del arroz largo comercialmente llamado tipo *Índica*. Sin embargo ese tipo de cocción no depende necesariamente de la presencia de la perla. Un factor que dificulta a veces la difusión de una variedad es el que podríamos denominar su “mezclabilidad”, es decir, la mayor o menor facilidad con que, en caso de necesidad, puede almacenarse en el mismo silo que otra variedad. Otro factor a considerar sobre el perlado es que la existencia de un mercado que lo prefiere crea una inercia y, por otra parte, puede ser una defensa frente a la competencia de arroces importados de grano cristalino. Como mejoradores

es más fácil lograr buenos rendimientos industriales en molino con granos no perlados y por tanto debemos considerar, como en la mayoría de los países, la perla como un defecto, aunque existe una realidad comercial con la que hay que contar.

3.3. El ascenso de *Leda*

Dentro del predominio general mediterráneo español del cultivo de *Senia*, parece estar iniciándose un aumento apreciable del cultivo de la variedad *Leda*, incremento que no ha sido mayor, sin duda, por limitaciones en la disponibilidad de semilla. El motivo fundamental se cree que es su mejor rendimiento en granos enteros: en una comparación de 9 años ha superado a la variedad *Senia* en un 14,6% en kg/Ha de granos enteros. Con un grano mayor que el de *Senia* y una producción en cáscara superior en un 5% al de esta variedad, era su rendimiento industrial el que sobre todo marcaba la diferencia. Sobre este tema del rendimiento industrial, se aconseja que las variedades de grano corto y medio se recojan entre el 20 y el 24 por ciento de humedad y las de grano largo entre el 18 y el 21 por ciento[1]. En la zona de la Comunidad Valenciana, los métodos de medición de humedad empleados dan, en ocasiones, lecturas bastante más altas que las que ofrecería el método oficial, evidentemente más lento y engorroso. La repercusión negativa de esas humedades en el precio, junto con el hecho de que el buen rendimiento en granos enteros no siempre resulta compensado económicamente, contribuyen a que el agricultor recolecte con frecuencia el arroz demasiado seco. Esta circunstancia, unida a la preferencia comercial ya expresada por las variedades perladas, hace que el problema de las roturas en el molino revista especial importancia en la zona.

3.4. El arroz largo

Puede parecer desconcertante que el cultivo del arroz largo B, comercialmente llamado tipo *Índica*, que desde hace años se ha venido

[1] *Rice Journal* (revista americana), ejemplar de enero de 1996.

repitiendo que iba a ser prácticamente obligado en un futuro inmediato, tenga tan poca implantación en el arrozal valenciano y, por cierto, tampoco en el catalán. Hay varios factores que dificultan el cultivo, sobre todo la rigidez del sistema de riego del arrozal valenciano y catalán que, con su quita de aguas a fecha fija, hace más arriesgado el empleo de variedades que, por ser de ciclo más largo, puedan padecer de mal acabado por falta de agua en la fase final. También hay en estas variedades una mayor sensibilidad al frío en las fases tempranas del cultivo. Pero todo esto no sería un obstáculo decisivo si se ofreciera por ellas un precio claramente superior al del arroz de tipo tradicional. La variedad *Thaibonnet*, es decir el L 202 californiano, se está cultivando en Italia y Francia en climas más desfavorables que el nuestro y en el Departamento del Arroz se cultiva todos los años como testigo con buenos resultados, a veces excelentes y a veces menos buenos, en especial cuando hay frío al principio del cultivo, pero sin grandes inconvenientes. En cualquier caso, el Departamento del Arroz ha concentrado parte de su trabajo en este tipo de variedades y, en años próximos, se registrará alguna variedad de este tipo de grano y con la calidad de cocción requerida por el mercado europeo.

3.5. Otras variedades extranjeras

Siempre han habido variedades italianas en la zona de Valencia que, en general, se cultivan a instancias de industriales interesados en ellas. Algunas llegaron a alcanzar cierta difusión, como en los casos de *Rubino*, *Venería*, *P.M.*, *Ribe*, *Lido*, etc., pero a la larga estas variedades no han durado demasiado y el interés se ha desplazado a otra novedad. Actualmente, parece que hay cierto interés en la variedad *Elvo* así como también en la *Vialone Nano*, en este caso en relación con un mercado de especialidades en el que la más cotizada es, sin duda alguna, la variedad *Bomba*. Esta última variedad ya se cultivaba en Valencia en el siglo XIX y es, desde luego, el arroz más apreciado para hacer paellas; si pese a su elevada cotización no se cultiva más es porque algunas de sus características, en particular su altura elevada (escasa resistencia al encamado), proclividad a contraer la *Pyricularia Oryzae*,

limitación al abonado nitrogenado y su poca producción, hacen su cultivo poco atractivo para el agricultor.

Debe mencionarse también la variedad californiana M 202, conocida en Europa como *Thainato*, que es productiva y de buen rendimiento en molino, aunque algunas veces muestra una mayor sensibilidad a P*yricularia* y por otra parte tiene un grano medio no perlado que se sale del tipo tradicional en la zona.

3.6. Algunas perspectivas científicas

En el arrozal valenciano el mayor problema de plagas y enfermedades es el causado por el insecto “taladro” o barrenador del tallo, *Chilo suppressalis*, Walk., que obliga a la realización de tratamientos aéreos anuales que plantean problemas de daños a otras especies en relación con la zona protegida de la Albufera. A largo plazo, una solución al problema podría alcanzarse a través de la ingeniería genética, con la creación de plantas resistentes mediante la incorporación a variedades existentes de genes relacionados con las toxinas insecticidas de la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Hay proyectos de investigadores franceses y españoles para trabajar en este tema. Por otra parte, en el I.R.R.I. se trabaja en la creación de un nuevo tipo de planta que, a través de estudios de modelización informática, se espera podría aumentar la producción en un 20%. La idea es que el actual tipo de planta ha llegado a un techo asintótico de productividad y que para superarlo se requiere un nuevo tipo cuyas características principales sean, entre otras, menor ahijamiento con supresión de tallos improductivos y floración más sincronizada, panículas con un número de granos mucho mayor, tallos más gruesos y robustos y un sistema foliar eficiente, erecto, de hojas gruesas de color verde oscuro. Parte de estas características proceden del arroz javánica o bulu de Indonesia, también llamado *Japónica* tropical, y se trata de incorporarlas a los arroces de tipo *Japónica* templado, es decir, a los del tipo que se cultivan en nuestras zonas españolas.

3.7. Conclusiones

La zona valenciana, pionera entre las españolas, cultiva mayoritariamente *Senia*, una variedad del Departamento del Arroz del I.V.I.A cuyas variedades han dominado el cultivo en la zona desde hace 30 años, complementadas por algunas variedades extranjeras, predominantemente italianas. El tipo de grano preferido es el medio perlado y, aunque hay algunos problemas de ciclo y sensibilidad al frío, si el arroz largo no se cultiva más es sobre todo, al menos en nuestra opinión, una cuestión de precio. Si el mercado aconsejara cultivar mayoritariamente arroz largo siempre podría retrasarse unos días, la fecha de quita de aguas. La rigidez del sistema de riego empleado en la zona fomenta el empleo de variedades de ciclo similar a la predominante o ligeramente más corto. El arroz se recoge en ocasiones más seco de lo que técnicamente conviene para optimizar el rendimiento industrial en granos enteros, algo que debería cuidarse en especial con las variedades de grano perlado que predominan. Corregir esto depende de una mejor medición de la humedad, dada su repercusión en el precio que percibe el agricultor, y de primar los buenos rendimientos en enteros. El futuro de las variedades, y en general del arroz en la zona, está amenazado, además de por una posible falta de agua, por la evolución de los precios en el mercado internacional, por las nuevas tendencias de la OMC y por la reforma de la PAC, que sitúa nuestros arroces en competencia desleal frente a los importados. Creemos que hay variedades, propias y extranjeras, que permiten atender cualquier nueva orientación del consumo y, en previsión de posibles cambios, un criterio básico de la mejora en el Departamento del Arroz ha sido la diversificación del tipo de grano. El peligro más grave para los agricultores, no obstante, radica en la posibilidad de que el precio con que el arroz exterior entre en nuestro mercado llegue a ser menor que el precio al que es posible cultivar el arroz en la zona con un beneficio razonable. Se espera que esa situación no llegue a producirse, pese a los riesgos que una mal entendida “globalización” de la economía entrañan para casi todos los sectores productivos.

4. Objetivo específico del Plan de Mejora en el delta del Ebro

Los objetivos perseguidos en esta zona, especialmente, son los siguientes:

- Gran capacidad de ahijamiento.
- Máximo número de cariópsides por panícula.
- Talla baja.
- Panícula caediza al final del ciclo (para quedar protegida por la propia planta de los vientos).
- Glumillas múticas y glabras (secundario).
- Buscar variedades translúcidas.
- Resistencia a la *Pyricularia oryzae* y a *Helmintosphorium* (secundario).
- Valores altos de rendimiento en molino.

5. Experimentaciones diversas

5.1. Obtención de variedades resistentes a la salinidad del suelo

5.1.1. Introducción

Durante la campaña 1995, en el IRTA/EEE (*Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentària*, dependiente del *Departament d'Agricultura, Ramaderia i Pesca* de la *Generalitat de Catalunya*, en su Estación Experimental del Ebro situada en Amposta, Tarragona) se llevó a cabo un interesante estudio con la finalidad de averiguar cuáles son los factores que inciden en el rendimiento del arroz.

Un primer y muy contundente resultado de este estudio fue que la salinidad del suelo era el factor más importante, mientras que otros, como las prácticas agronómicas realizadas por los arroceros o los niveles de infestación de malas hierbas, no tenían prácticamente ningún impacto, con mucha probabilidad debido a la buena práctica de los agricultores de la zona que hizo que, en

general, los campos estuviesen limpios de malas hierbas y raramente presentasen una grave carencia nutricional.

De una manera esquematizada, las reducciones en el rendimiento debido a los niveles de salinidad del suelo fueron las siguientes:

Tabla 4.2. Reducción del rendimiento de la cosecha en función de la salinidad del suelo

kg/Ha	CE (dS/m)	Reducción cosecha (%)
8.913	1.5-2	0
7.662	2-3	14
7.023	3-4	21
5.991	>4	33

Es necesario tener en cuenta que aproximadamente sólo el 50% del delta del Ebro esta constituido por tierras donde no hay ningún impacto por la sal, pero el otro 50% tiene, en mayor o menor grado, un impacto apreciable por la calidad del suelo.

En el mejor de los casos, se podría pensar en una reducción de la cosecha de arroz del orden del 14%; esto representaría aproximadamente 1.250 kg/Ha menos que, multiplicados por las aproximadamente 10.000 Ha de arroz cultivadas en el Delta y a razón de un precio de 0,30 euros/kg (50 PTA/kg), sumarían un total de 3,75 millones de euros (624 millones de las antiguas pesetas).

El elevado grado de salinidad en el suelo del delta del Ebro se debe, en gran parte, a que el terreno de cultivo está prácticamente al mismo nivel del mar y, en las zonas más hundidas, el agua salada llega también por vía subterránea mediante su ascenso capilar desde la capa freática próxima a la superficie del terreno. Hasta ahora, la mejor manera de contrarrestar la salinidad de los terrenos consistía en inundar los campos de agua dulce procedentes de las numerosas acequias de riego que tienen su origen en los canales de ambas márgenes del río Ebro para que aquella, por carga hidrostática y lavado o lixiviación, eliminara o redujera la salinidad. Pero, para reducir verdaderamente la salinización sería necesario un buen sistema de drenaje superficial (acequias a cielo abierto) o

subterráneo (tubos drenantes) que facilitara la renovación del agua que inunda los campos continuamente, así como una aportación abundante de agua dulce y de baja salinidad, circunstancia ésta cada vez más penosa de conseguir debido a la disminución de las aportaciones del propio río y de los canales observada en los últimos tiempos, tanto en cantidad como en calidad. La puesta en marcha, en fin, de los trasvases del Ebro previstos en el PHN podría agravar aún más esta situación en el futuro, hasta el punto de imposibilitar el cultivo del arroz en esta área y perjudicar irreversiblemente los espacios naturales circundantes.

Por el momento, las variedades de arroz sembradas en el delta del Ebro se han obtenido en otros lugares donde no hay problemas de salinidad, pero los claros resultados del estudio de los factores de producción llevado a cabo por el IRTA hacen evidente la necesidad de encontrar y/o obtener variedades de arroz resistentes a la salinidad del suelo.

5.1.2. *SCREENING* varietal sobre la tolerancia a la sal

Se trataba de ensayar, en cuatro lugares diferentes del Delta, el mayor número posible de variedades potencialmente tolerantes a la sal (foráneas y propias) para evaluar su tolerancia a este pernicioso componente del suelo.

El *screening* de las variedades se realizó sembrando 4 líneas de 2,50 metros lineales por variedad, separadas entre ellas 35 cm, y la distancia entre plantas (con dos hojas, de aproximadamente un mes de edad) fue de entre 15 y 20 cm.

5.1.3. Estudio de la tolerancia a la salinidad del suelo y adaptación en el delta del Ebro de variedades de arroz de grano tipo *Bahia*. Campaña 1997

5.1.3.1. Metodología

En el IRTA/EEE (*Estació Experimental de l'Ebre*) se está trabajando desde 1992, en colaboración con el Departamento del Arroz del IVIA (Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias), en la obtención de nuevas variedades.

Hasta ahora, todo el proceso de selección y mejora se ha llevado a cabo en la finca que el IRTA dispone en Amposta, cuyo suelo es de gran calidad para el cultivo del arroz.

Así pues, el estudio de los factores de producción llevado a cabo durante el año 1995, en la estación experimental del Ebro del IRTA, puso de manifiesto el importante impacto que la salinidad del suelo tiene sobre el rendimiento de la planta del arroz. Unos niveles de salinidad de más de 4 dS/m (del extracto de saturación del suelo) producen un descenso en el rendimiento de aproximadamente un 33%, como ya se ha dicho. A la vista de estos resultados, se puso en marcha un estudio para encontrar alternativas a la variedad tradicional *Bahia*, que fueran más resistentes a la salinidad del **suelo**, a las enfermedades y con un potencial productivo mayor.

Desde la estación de experimentación mencionada, se realizó una llamada a los mejoradores de variedades de arroz nacionales, europeos y al IRRI (Centro Internacional de Investigación del Arroz, sito en Los Baños, Filipinas) para que facilitaran material vegetal resistente a la salinidad del suelo y con unas características de grano parecidas al *Bahia*. Pero, en general, ningún mejorador conocía la tolerancia de sus variedades a la salinidad del suelo, de manera que se cambió la estrategia para la compilación de las variedades. Entonces se pidió a los mejoradores que facilitaran **variedades de arroz** con unas dimensiones aproximadas del grano en "descascarillado" de 5,8 mm de longitud y 3,2 mm de anchura, para realizar el **estudio de su comportamiento agronómico en diferentes condiciones edafológicas en el delta del Ebro**. No se pidió en ningún momento que, además, las variedades fueran de grano perlado, ya que entonces el número de las mismas hubiera sido muy reducido. Cabe decir que, a nivel de mejora, se buscan variedades translúcidas (no perladas), porque tienen un incremento en el rendimiento en el molino.

El ensayo se llevó a cabo en dos zonas claramente representativas de la gran diversidad edafológica del delta del Ebro. Las características del suelo de cultivo fueron las siguientes: en primer lugar, la parcela llamada “Marquesa” que se encuentra cerca del mar y de textura arenosa (71% de arena) y salina (1,6

dS/m 1:5); en segundo lugar, la parcela llamada “IRTA” que es arcillosa (5% de arena) y con un bajo contenido en sal (0,7 dS/m 1:5).

En el campo del IRTA se efectuó un único abonado de fondo, mientras que en la Marquesa se realizó, además, un abonado de cobertera. Se evaluaron un total de 57 variedades de arroz procedentes de Egipto (6), Australia (5), Francia (6), Portugal (4), Filipinas (1), Italia (15) y España (20). Como ya se ha dicho, el *screening* se realizó sembrando 4 líneas de 2,50 metros lineales, separadas 25 centímetros por línea.

En ningún caso se realizaron tratamientos para el control del taladro o barrenador del arroz (*Chilo simplex o suppressalis*) ni con productos funguicidas. El control o escarda de las malas hierbas se realizó de forma manual.

Los seguimientos efectuados fueron de los siguientes tipos:

- Agronómicos:
  - poder germinativo de la semilla (se pusieron a germinar 3 placas con 50 semillas a la temperatura ambiente)
  - fecha de la floración.
  - altura de las plantas (desde la base de la planta hasta el final de la espiga).
  - resistencia al encamado.
  - resistencia al desgranado.
  - fecha de la maduración.

- Fitopatológicos:
  - sensibilidad al *Chilo suppressalis*, Walk (se contaron el número de tallos afectados por el taladro para así poder determinar el porcentaje de tallos afectados).
  - sensibilidad a enfermedades (en el caso de *Pyricularia oryzae* se valoró en % de espigas afectadas; en el caso de hongos que afectan principalmente las hojas, se adoptó la escala de: 0 (ausencia) - 4 (muy afectado); para determinar el hongo causante de la enfermedad, se realizó visualmente una inspección mediante la descripción sintomática).

- Cualitativos:
  - biometría del grano (midiendo la longitud y anchura del grano sin cáscara y blanqueado) y determinación del perlado. Se cogieron, a tal efecto, 3 muestras de 25 semillas por variedad y lugar.
  - rendimiento en el molino. Se tomaron 2 muestras de 100 gramos de arroz en cáscara por variedad y lugar.

A partir de todos estos factores, se escogieron las variedades que mejor se adaptaron al medio. Hubieron unas variedades que claramente no sobrevivieron a las condiciones climáticas del Delta y no pudieron completar su ciclo. De las 57 variedades testadas se escogieron solamente 15 para continuar y completar los estudios el siguiente año, sobre todo en cuanto al potencial productivo. Se tuvieron especialmente en cuenta todos los factores positivos de cada variedad: adaptabilidad a los terrenos salinos, momento de muerte de la planta, duración del ciclo, crecimiento de la planta, volumen del grano y rendimiento en el molino.

La siguiente campaña se sembraron estas 15 variedades en pequeñas parcelas de unos 20 metros cuadrados cada una para estudiar sus niveles de productividad. De esta manera, en el año 1996 se disponía de plantas desde F3 hasta F7.

La resistencia a la sal es de baja heredabilidad y es incluso recomendable testarla en grados avanzados de fijación del material. Es por ello que se podría aprovechar una gran parte del material vegetal y añadirlo al *screening* varietal que se contempla en el apartado anterior, pero hay material al cual le quedan algunos años para ser fijado y mejorado. Es conveniente, incluso, añadir nuevos cruces en función de la demanda del mercado. De esta manera, se podrá sembrar en cada zona del Delta la variedad de arroz de mayor rentabilidad según sean las condiciones de salinidad de un suelo caracterizado por ser de aluvión y de textura o granulometría variable franco-arenosa-arcillosa.

5.1.3.2. Conclusiones

Una de las conclusiones obtenidas durante la campaña 1997, **sobre la tolerancia a la salinidad del suelo**, fue que las variedades escogidas para ser estudiadas la siguiente campaña serían: *Bas, Loto*, *Clot, Mareny, San Pietro, Leda, Cirad ca1, Fonsa, Albada, Calca, Marjal, Ullal, Illebong, Fangar, Maso y Diana.*

La selección de las variedades se realizó teniendo en cuenta cada una de las características estudiadas. Haciendo un análisis de cada una de estas características, se observa que hay unas que claramente ayudan a despreciar una variedad, como es el caso del ciclo, que hace descartar, por ejemplo, las variedades egipcias. Pero hay otros parámetros que son totalmente subjetivos, como es el caso de la biometría del grano, o la presencia/ausencia de perla y el hecho de que una variedad se escoja o no esté en función de la demanda de un tipo de arroz determinado y que puede ser del todo transitoria y/o cambiable.

Aunque se hayan seleccionado unas variedades determinadas, en el informe titulado "*Estudi de la tolerancia a la salinitat del sòl i l'adaptació al delta de l'Ebre de varietats d'arròs de gra tipus Bahia*", confeccionado por Maria del Mar Català Forner y Agustí Torres Royo (IRTA/EEE - enero de 1998) se ofrecen todos los resultados y las herramientas necesarias para reconsiderar y modificar la lista de las variedades escogidas.

En una reunión posterior que tuvo lugar en la EEE reseñada con representantes de las cooperativas arroceras del Delta, se llegó a la conclusión de que las variedades que al año siguiente se debían incluir en los ensayos en parcelas para la determinación de la producción eran: *Bas, Mareny, Leda, Cirad ca1, Fonsa, Albada, Calca, Marjal, Ullal, Illebong*, *Fangar, Maso y Diana*. También se determinó hacer un *screening* para las **variedades de arroz de nueva introducción en el Delta**, donde se incluyó la variedad *Elvo* y otras seleccionadas del proyecto europeo denominado "Recursos Genéticos del arroz

para Europa", teniendo en cuenta que aquel año se habían ensayado 186 variedades.[2]

5.1.4. Estudio de la tolerancia a la salinidad del suelo y adaptación en el delta del Ebro de variedades de arroz de grano tipo *Bahia*. Campaña 1998

5.1.4.1. Metodología

Durante la campaña 1998, el **ensayo sobre la tolerancia a la salinidad del suelo** se realizó con 15 variedades seleccionadas durante la campaña anterior, juntamente con la variedad de referencia *Bahia*. Esas fueron: *Bas, Mareny, Leda, Cirad ca1, Fonsa, Albda, Calca*, *Marjal, Ullal, Illebong, Fangar, Maso, Diana, Loto y Galatxo*. Estas variedades fueron sembradas en dos zonas: una llamada “IRTA”, de baja salinidad (1,9 dS/m extracto saturado) y de textura arcillosa; y la otra denominada *Bassa*, de elevada salinidad, con 6,4 dS/m extracto saturado, y de textura arenosa. Ambas zonas son representativas de la diversidad edafológica del delta del Ebro.

El diseño estadístico fue de bloques al azar con cuatro repeticiones y en parcelas de 20 m^2. No se realizaron tratamientos para el control del taladro o barrenador del arroz, ni tampoco tratamientos fungicidas para el control de las enfermedades. El control de las malas hierbas se realizó mediante escarda química y manual.

El seguimiento realizado consistió en la realización de las siguientes operaciones:

- Disposición de un termohidrógrafo para registrar la humedad y temperatura de cada lugar.
- Determinación de la CE (conductividad eléctrica) del agua de la solución del suelo a 15 cm de profundidad.
- Poder germinativo de las semillas.

[2] *Vide "Estudi de la tolerància a la salinitat del sòl i l'adaptació al delta de l'Ebre de varietats d'arròs de gra tipus Bahia*". Autores: Maria del Mar Català Forner y Agustí Torres Royo. IRTA/EEE. Enero-1998.

- Densidad de plantas/m^2.
- Fecha de floración.
- Densidad de espigas/m^2.
- Sensibilidad al *Chilo suppressalis*, Walk.
- Altura de las plantas.
- Sensibilidad a las enfermedades.
- Resistencia al encamado.
- Fecha de maduración.
- Resistencia al desgranado.
- Fecha de la siega.
- Porcentaje de humedad del arroz una vez segado.
- Producción.
- Biometría del grano.
- Rendimiento en el molino.

El ensayo de las parcelas se puede resumir en que la variedad *Ullal* fue la más productiva, con 8.387 kg/Ha de arroz cáscara y 4.698 kg/Ha de grano entero en IRTA (rendimiento del 56%); mientras que en *Bassa* la más productiva fue la variedad *Bas* con 8.550 kg/Ha de arroz cáscara y 4.351 kg/Ha de grano entero (rendimiento del 51%). Además, estas dos variedades destacaron agronómicamente. Cabe añadir que la variedad *Bahia* dio 2.322 kg/Ha y 3.336 kg/Ha de grano entero en IRTA y *Bassa* respectivamente. También cabe destacar la selección de las variedades *Leda*, *Albada*, *Calca*, *Fangar*, *Maso* y *Cirad* ca1 que, aunque medianamente sensibles a las plagas y enfermedades, destacan por su producción y/o buenos rendimientos en granos enteros.

En cuanto al **estudio de las variedades de nueva introducción en el delta del Ebro**, fueron ensayadas 31 variedades de arroz juntamente con la *Bahia*, *Senia*, *Tebr*e y *Ullal*, en el mismo lugar que el ensayo anterior. Cada variedad estuvo representada por tres líneas de 2,50 metros de longitud. Sólo 8 se mostraron resistentes a plagas y enfermedades, con un ciclo parecido al de *Bahia*, pero si se realiza una selección por biometría del grano, destaca la variedad *San Pietro* (SA.PI.SE. Italia).

En el informe realizado el año siguiente titulado "*Estudi de la tolerància a la salinitat del sòl i l'adaptació al delta de l'Ebre de varietats d'arròs de gra tipus Bahia. Campaña 1998*", confeccionado así mismo por Maria del Mar Català Forner y Agustí Torres Royo (IRTA/EEE - febrero de 1999) se pueden consultar los resultados íntegros obtenidos en la realización de este ensayo.

5.1.4.2. Conclusiones

En cuanto a las conclusiones del **ensayo sobre variedades resistentes a la salinidad**, se puede afirmar que el número de plantas/m^2 fue un 62 % superior en la zona de la Bassa que en la de IRTA, debido al fuerte ataque de quironómidos que se produjo en esta última, aunque se realizaron los tratamientos fitosanitarios oportunos. Las parcelas de IRTA se sembraron dos veces debido a una fuerte fitotoxicidad por molinato. A pesar de ello, en el campo del IRTA las plantas se recuperaron y ahijaron muy bien, llegando a tener un 18% más de espigas que las obtenidas en la *Bassa*.

Aunque en IRTA no se realizó ningún abonado de cobertera, numerosas parcelas se encamaron y por cierto muy pronto, por lo cual en ellas no se pudo realizar el conteo de densidad de espigas/m^2.

La superficie afectada por *Helminthosporium* en hoja fue superior en la zona de la *Bassa* (2,1%) que en la de IRTA (0,6%). Lo mismo pasó con el "rovell", con un promedio de 1,5% y 0,2% en la *Bassa* y en IRTA respectivamente.

En la *Bassa*, el ataque de *Chilo suppressalis* fue nulo, mientras que en IRTA afectó al 1,56% de los tallos. El 23% de las espigas se vieron afectadas en la parcela de IRTA por *Pyricularia oryzae* mientras que en la *Bassa* sólo resultó afectado el 2,8%.

El "moscado" fue superior en la *Bassa* (6,8%) que en IRTA (1,6%).

La producción, expresada en kg/Ha, fue superior en la parcela IRTA en un 2,3% y el rendimiento en el molino también fue superior en IRTA en un 8%.

En general, a pesar de los problemas sufridos al inicio de la campaña, el desarrollo de los ensayos se realizó de forma correcta.

La salinidad del suelo, medida como conductividad eléctrica (CE), se fue siguiendo durante todo el cultivo y se mantuvo más elevada en *Bassa* que en IRTA.

Se concluyó que encontrar una alternativa a *Bahia* no es tarea fácil, ya que raramente una variedad destaca en todos los aspectos agronómicos, pero es importante evaluar la importancia relativa de estos caracteres.

En IRTA, *Mareny* ofreció baja producción, con 5.146 kg/Ha, *Fonsa* fue muy sensible al taladro o barrenador del arroz, además de dar un bajo rendimiento en el molino del 45,65%, *Albada* fue muy sensible a la *Pyricularia oryzae* con un 36% de espigas totalmente muertas, *Calca* también fue muy sensible a la *Pyricularia oryzae* con un 15,38% de espigas totalmente afectadas y un 8,3% parcialmente afectadas. La *Marjal* dió bajo rendimiento en molino, con sólo 45,7% de granos enteros, la *Illebong* mostró mucha sensibilidad a *Chilo suppressalis* y a *Pyricularia* (41% de espigas), mientras que *Fangà*, fue muy sensible a *Pyricularia* (42,5%) y al encamado. La variedad *Loto* fue la más sensible a la *Pyricularia*, con un 74% de espigas afectadas, además de encamarse totalmente. *Galatxo* fue muy poco productiva (4.742 kg/Ha) y dió bajísimo rendimiento en molino (33,32%). Finalmente, *Bahia* fue medianamente afectada por *Pyricularia* (12,3%), la más sensible al *Helminthosporium* (3,6%), poco productiva (4.984 kg/Ha) y con bajo rendimiento en molino (46,9%).

Las variedades *Bas*, *Leda*, *Ullal* y *Diana* han tenido un comportamiento agronómico muy bueno, siendo además bastante resistentes a plagas y enfermedades. De estas cuatro variedades, solamente *Ullal* no se encamó. El resto lo hizo con una puntuación de 2 en una escala oscilante de 0 a 3.

Bas (una variedad que no está registrada) ha sido la segunda en producción (7.601 kg/Ha) detrás de *Ullal* (8.387 kg/Ha). El mejor rendimiento en

molino lo dió *Leda* (56%), con una producción de 7.396 kg/Ha. *Diana* no se puede despreciar porque agronómicamente se ha comportado bien, manifestando bastante resistencia a plagas y enfermedades, con una producción de 7.337 kg/Ha y un rendimiento en granos enteros del 52%.

Ullal ha sido la mejor variedad ensayada en IRTA, con una producción de 8.387 kg/Ha y 56% de enteros, lo que resulta 4.697 kg de enteros/Ha, pero cabe recordar que se trata de un grano no perlado.

En *Bassa* no hubo una incidencia remarcable de plagas y enfermedades. Las variedades *Mareny, Fonsa, Calca, Marjal, Ullal, Illebong, Fangar, Maso, Diana* y *Galatxo* tuvieron un rendimiento en molino por debajo del 50%. En cambio, *Albada* resultó dar el mejor rendimiento en molino (58,92%) con una producción de 7.070 kg/Ha. La mejor producción fue para *Bas* (8.550 kg/Ha) con un rendimiento del 50,81%.

En cuanto al **ensayo de las variedades de nueva introducción en el delta del Ebro**, se observó una importante incidencia de plagas y enfermedades en el IRTA, mientras que en *Bassa* fue prácticamente nula.

En *Bassa* no hubo ataque por *Pyricularia oryzae*, ni en hoja ni en espiga, mientras que en IRTA el promedio fue del 14% de espigas afectadas. El "moscado" tuvo un comportamiento muy parecido en las dos parcelas.

El 50% de las variedades del ensayo fueron sensibles a la *Pyricularia* con más del 10% de las espigas afectadas.

El "rovell" se manifestó de manera más importante en la parcela de la *Bassa* que en la IRTA. Esta sintomatología es indicativa del estrés que sufrió la planta. En cambio, la incidencia de *Helminthosporium* en hoja resultó prácticamente igual en ambas parcelas ensayadas.

Solamente las variedades *Flipper, Allorio Lambda, Stirpe à Feulliage violet*, *Antrona, Savio, San Pietro, Perla* y *Vialone nano* resultaron ser interesantes

desde en punto de vista agronómico y claramente adaptables a las condiciones de cultivo del Delta. Pero sólo *San Pietro* tiene un grano de calidad, si se entiende por el término "calidad" aquello que quiere el mercado nacional: grano grande, redondo y perlado.[3]

5.1.5. Estudio de la tolerancia a la salinidad del suelo y adaptación en el delta del Ebro de variedades de arroz de grano tipo *Bahia*. Campaña 1999

5.1.5.1. Metodología

A) Variedades con dos años de selección

Durante la campaña 1999 se han ensayado seis variedades (*Montsianell*, *Ullal*, *Fangar*, *Maso*, *Fonsa* y *Bahia* como testigo o comparable) de las que ya se había realizado la selección durante los dos años anteriores. Los ensayos se llevaron a cabo en cuatro localizaciones distintas. Cada parcela elemental tenía una superficie aproximada de unos 2.188 m^2 (≈0,22 Ha), equivalente a un jornal de tierra medida del país (1 jt = 2.190 m^2). Las parcelas han sido cultivadas por los distintos agricultores y siguiendo su propio criterio, y las únicas modificaciones que se llevaron a cabo fueron: no realizar ningún tipo de control contra el taladro o barrenador del arroz ni tampoco llevar a cabo ningún tratamiento fungicida. Se realizaron seguimientos muy intensivos de la salinidad del suelo durante todo el cielo del cultivo. Las pocas diferencias de salinidad que existían entre las cuatro localizaciones expresadas se vieron camufladas por la fuerte incidencia que hubo de *Pyricularia oryzae*, pero ésta no apareció de forma suficientemente consistente como para poder hacer una buena selección de resistencia varietal a dicha enfermedad criptogámica. Así que, teniendo en cuenta que las variedades *Ullal, Maso, Fonsa, Fangar y Montsianell*, juntamente con la *Bahia*, dieron buenos resultados los dos últimos años, se creyó razonable y justificado repetir el ensayo un segundo año.

[3] *Vide*: "*Estudi de la tolerància a la salinitat del sòl i l'adaptació al delta de l'Ebre de varietats d'arròs de gra tipus Bahia*". *Campanya* 1998. Autora: Maria del Mar Català Forner. IRTA/EEE. Febrero-1999.

Cabe destacar el hecho de que, por primera vez, se introdujeron dos variantes: 1) testar variedades de grano largo B y 2) ensayar en parcelas de 2.188 m^2 (0,22 Ha) las variedades con mejor comportamiento agronómico durante los dos años anteriores. De esta manera, se pretendía obtener variedades de arroz comercialmente aceptables que toleren la salinidad del suelo.

Así pues, el procedimiento llevado a cabo para la experiencia fue separar las parcelas elementales, anteriormente citadas, mediante un cordón de tierra con uno o dos boquetes para dejar pasar el agua de un cuadro de cultivo al otro. En los boquetes se colocaron mallas plásticas con una luz suficiente para dejar pasar el agua pero no las semillas. A continuación se midió la superficie final de cultivo para realizar el cálculo de la semilla necesaria.

Para realizar el control de la salinidad del agua alrededor del sistema radicular de las plantas, se instaló un tubo de PVC para la recogida de las muestras, operación que se realizaba semanalmente. También se tomaba muestra del agua del cuadro.

También se llevó a cabo un análisis de tierra de cada una de las cuatro fincas, en el que se examinó la fertilidad, la textura simple, el contenido en nitrógeno (por el método Kjeldahl), la CIC y CE (extracto de saturación). Semanalmente se recogían los datos registrados por el termohidrógrafo colocado en la finca *Bassa l'Arena*.

La densidad de siembra de cada variedad fue de 500 semillas viables/m^2. Para saber la dosis de siembra adecuada se realizaron las pruebas pertinentes. Ésta se realizó de forma manual, habiéndose dejado la semilla en remojo las 24 horas anteriores. Posteriormente, se determinó la fecha de nacimiento de las plántulas y la densidad de éstas, así como el momento preciso de iniciación de la panícula y la fecha de floración. Días más tarde, se computó la densidad de panícula (en grano lechoso).

También se llevó a cabo la valoración de enfermedades en cada parcela elemental: de *Pyricularia oryzae* en grano lechoso, de *Pyricularia oryzae* en estado del grano pastoso-duro y de la misma enfermedad antes de la siega.

Se realizó la medida de la altura de las plantas de cada parcela elemental, tomándose la misma desde la base hasta el final de la panícula. También se hizo la valoración de la incidencia de *Chilo suppressalis*, W., realizada por los técnicos de las dos Agrupaciones de Defensa Vegetal (ADV) para el arroz que existen en la zona[4], de la resistencia al encamado y al desgranado, y se tomó la fecha de maduración de cada variedad en cada localización.

Se segó manualmente el arroz con un porcentaje de humedad correcto (aproximadamente un 20%) y se tomó una muestra de cada parcela elemental. Más tarde, se segó con cosechadora automotriz tomando una muestra de cada una de las cuatro localizaciones y se midió el porcentaje de humedad de cada una. Éste se utilizó posteriormente para calcular la producción obtenida.

Con el objetivo de determinar el rendimiento en molino de las muestras tomadas en cada una de las parcelas elementales ensayadas, se siguió el procedimiento siguiente: trillado de la muestra de cada parcela elemental, limpieza de cada muestra mediante corriente de aire, pesada de tres muestras de 200 gramos de arroz en cáscara por cada parcela elemental, descascarillado de cada muestra, pesada y blanqueo. Para determinar el tiempo adecuado de blanqueo de cada variedad, se blanquearon cinco muestras de 200 gramos de cada variedad con cinco tiempos diferentes y, a continuación, se midió con un colorímetro el grado de blanqueo. Después se volvieron a pesar las muestras; se separaron los granos enteros, rotos, verdes, yesosos, rojos, picados y manchados, realizándose la pesada de cada subproducto y obteniéndose el porcentaje de cada uno de ellos. También se realizó la biometría en 25 granos de cada muestra, obteniéndose los promedios y la relación existente entre la longitud y la anchura del grano de cada variedad, así como el porcentaje de granos perlados.

[4] Éstas son: "*ADV per a l'arròs a la dreta del delta de l'Ebre*" y "*ADV per a la lluita integrada de l'arròs*".

Al margen de las pruebas realizadas y citadas hasta el momento, se midió el grado de blanqueo de seis paquetes de arroz “Extra” comercializado, haciendo también tres repeticiones por muestra, obteniéndose que 46-47 es el grado de blanqueo más frecuente en el mercado. También se obtuvieron unas conclusiones interesantes en cuanto al tiempo de blanqueo más adecuado para cada variedad de arroz: 50 segundos para obtener un grado de blanqueo de 47 para las variedades *Montsianell* y *Fangar*; 1 minuto para obtener un grado de blanqueo de 46 en *Bahia* y *Maso* y de 40 en *Ullal*. Para obtener el mismo grado de blanqueo en la variedad *Fonsa* es necesario, en cambio, un tiempo medio de 70 segundos de tratamiento.

Las labores de cultivo se realizaron según el buen criterio de cada agricultor, así como el abonado. No se realizaron tratamientos para el control del barrenador o taladro del arroz ni tratamientos fungicidas para el control de las enfermedades criptogámicas.

B) Variedades con un año de selección

De la variedad *San Pietro* se realizó la selección la campaña anterior y ha sido la única ensayada en las parcelas de 20 m^2, juntamente con *Bahia* como variedad testigo. Se realizó un diseño estadístico en bloques al azar con cuatro repeticiones, en dos tipos de suelo: suelo salino y arenoso en *Bassa l'Arena* y suelo con bajo contenido en sal en la zona llamada IRTA.

La variedad *San Pietro*, al igual que la *Bahia*, ha tenido muchos problemas de germinación y nascencia. De todas maneras no se tienen suficientes datos como para desestimar dicha variedad a efectos comerciales.

Las labores realizadas para el ensayo fueron muy parecidas a las que se llevaron a cabo para el ensayo de las variedades con dos años de selección. Las diferencias básicas son las que se explican a continuación.

En el ensayo que nos ocupa se aplicó un abonado de fondo en forma de compuesto 9-18-27 y en forma simple (sulfato amónico del 21%), aportando: 150 UF de N, 70 UF de P_2O_5 y 105 UF de K_2O.

En cuanto a la valoración de las enfermedades que incidieron en el cultivo, además de *Pyricularia oryzae* en hoja, panícula y en tallo, también se valoró el "moscado" en panícula y *Helminthosporium* en hoja.

Con las muestras resultantes de la siega se realizaron las mismas determinaciones que en el ensayo anterior, a excepción de la determinación del tiempo de blanqueo, que se hizo en función del protocolo de trabajo de las cooperativas arroceras.

Al igual que en el ensayo anterior, no se realizaron tratamientos para el barrenador o taladro del arroz ni para el control de enfermedades. Se eliminaron las malas hierbas manualmente a lo largo del ciclo y cada vez que fue necesario. Al principio del cultivo, se realizaron tratamientos periódicos para combatir los quironómidos.

C) Variedades de nueva introducción en el delta del Ebro

Se ensayaron 29 variedades y 4 testigos en dos localizaciones diferentes: IRTA y *Bassa l'Arena.*

No se trató para el taladro o barrenador del arroz ni para el control de enfermedades. Sí se realizaron, en cambio, tratamientos periódicos contra quironómidos, al principio del ciclo vegetativo. Se eliminaron las malas hierbas manualmente varias veces durante el ciclo.

El proceso seguido para realizar el ensayo fue el que se ha descrito en el apartado anterior con algunas pequeñas variantes, entre las que destaca el transplante del arroz sembrado y germinado (en estado de dos hojas) sobre la misma parcela donde se encuentra, repartiéndose en 4 líneas de 2,50 metros de longitud, separadas 35 centímetros entre ellas y golpes separados a unos 15-20

centímetros dentro de la misma fila. Se observó la sensibilidad a *Pyricularia oryzae* valorando las espigas afectadas total o parcialmente por este hongo[5].

5.1.5.2. Conclusiones

A) Variedades con dos años de selección

Los análisis de suelo realizados antes de la preparación del terreno ofrecieron unos niveles de salinidad superiores a 3 dS/m, lo que significa que todos los campos tenían niveles de salinidad en el suelo suficientemente altos como para producir una disminución significativa en la producción.

Durante el periodo de cultivo, esta conductividad se mantuvo estable o tendente a la baja en el caso de *Illa de Riu* y *Rafel*, mientras que en los campos *Juanito* y *Bassa* ésta fue aumentando. En cuanto a la conductividad eléctrica (CE) del agua de alrededor del sistema radicular de las plantas, en el caso del suelo arenoso, ésta coincidía con la del agua de la parcela, probablemente debido a la filtración de este agua dentro de los tubos que la recogían, mientras que en los suelos arcillosos, la conductividad bajaba.

Se observó que las variedades ensayadas en *Bassa l'Arena* y *Illa de Riu* (fincas arenosas) se han comportado productivamente de manera muy parecida (con un promedio de 6.250 kg/Ha), mientras que *Juanito* y *Rafel* (fincas arcillosas) formaron otro grupo homogéneo (5.780 kg/Ha) pero diferente del anterior y con producción más baja.

En todo caso, los campos se han mantenido limpios de malas hierbas durante el cultivo y la incidencia de *Chilo* ha sido variable, pero en general ha resultado baja en *Bassa l'Arena* y en *Juanito*, mientras que en el resto fue alta. También es de destacar que *Bahia* y *Fonsa* han sido las variedades más atacadas por este barrenador o taladro.

[5] El orden cronológico de la metodología seguida y los resultados de los tres ensayos se pueden encontrar en la memoria y anexos del informe titulado "*Estudi de la tolerància a la salinitat del sòl i l'adaptació de noves varietats de gra tipus Bahia*". Autora: Maria del Mar Català Forner. IRTA/EEE. Febrero de 2000.

La incidencia de *Pyricularia oryzae* ha sido para el grupo de variedades cultivadas en parcelas arenosas del 3,1% de granos afectados, mientras que en las arcillosas ha sido muy superior: del 15,4%. Esta diferencia entre las fincas arenosas y las arcillosas podría atribuirse a que, en general, en las zonas costeras la humedad relativa no supera el 90%, mientras que en las interiores siempre supera este valor.

Ese año, los daños producidos por *Pyricularia oryzae* fueron muy extendidos por toda la zona arrocera del Delta y, teniendo en cuenta que en ningún caso se realizaron tratamientos fungicidas, esto ocasionó en muchos campos merma de la cosecha que pudo llegar incluso a enmascarar otros resultados. En la finca de *Rafel*, la *Pyricularia* en el nudo de la panícula resultó muy importante. *Fonsa* y *Bahia* fueron las variedades más resistentes.

Con el análisis estadístico de los datos, se llegó a las siguientes conclusiones:

Se encontraron diferencias significativas entre la variedad testigo (*Bahia*) y el resto de variedades analizadas en los siguientes aspectos:

- altura: todas fueron más bajas que *Bahia.*
- ciclo: *Ullal* tuvo un ciclo más corto que *Bahia.*
- encamado: *Bahia* fue -con diferencia- la variedad que más se encamó.
- *Fangar* y *Ullal* presentaron menos sintomatología de manchas muy pequeñas y rojizas en las hojas.
- *Fonsa* tuvo menos "moscado".
- *Fonsa* presentó más granos rotos.

Por el contrario, no se encontraron diferencias significativas entre el testigo (*Bahia*) y el resto de las variedades en los siguientes aspectos:

- densidad de plantas.
- densidad de espigas.
- sensibilidad al taladro o barrenador del arroz.
- hojas vivas en la siega.

- *Helminthosporium* en hoja.
- síntomas de manchas rojizas sin halo y con límites lineales en las hojas.
- *Fusarium* y/o *Sclerotium* en el pie del tallo.
- *Pyricularia oryzae* en el nudo del tallo.
- *Pyricularia* en el nudo de la panícula.
- % de granos afectados por *Pyricularia* en grano pastoso.
- % de granos afectados por *Pyricularia* en grano maduro.
- producción.
- % de granos enteros.
- % de granos picados y manchados.
- % de granos verdes y yesosos.

Como se puede comprobar, las alternativas a la variedad *Bahia* no son abundantes, ya que pocas variedades presentan parámetros estadísticamente superiores a *Bahia*, por lo cual se describe a continuación cada una de las variedades ensayadas con sus caracteres más relevantes.

Ullal: es una variedad de grano cristalino. Tuvo algunos problemas de nascencia y el hongo de *Pyricularia* le afectó cuando el grano estaba ya maduro pero, aún así, se ha observado una relación de éste con el rendimiento. La producción media fue de 6.276 kg/Ha, con un 51,98% de granos enteros.

Montsianell (Bas): bastante sensible a los hongos del género *Pyricularia,* tanto en la hoja como en el nudo de la panícula. La producción se ha relacionado con la *Pyricularia* en grano pastoso y maduro. Posee un bajo rendimiento en granos enteros (49,3%) y en una de las fincas (*Rafel*) experimentó un elevado porcentaje de granos picados y manchados.

Maso: trátase de una variedad bastante tolerante al *Chilo*; no presentó *Pyricularia* en hoja pero sí en el nudo de la panícula. El rendimiento en granos enteros fue del 52,62% y la producción relativamente baja: 5.673 kg/Ha. El grano resultó un poco menos perlado que el de *Bahia*.

Fangar: tuvo una buena nascencia, buena densidad de espigas y resultó bastante tolerante al *Chilo*. La planta acaba con 2,8 hojas verdes. El hongo *Pyricularia*, al nudo de la panícula, le afecta con el grano maduro. En uno de los campos afectó al 100% de las panículas pero la producción resultó ser relativamente alta. El rendimiento en granos enteros fue del 52% y la producción media de 5.546 kg/Ha. Se mostró un poco más sensible a las enfermedades que afectan el pie del tallo (*Sclerotium* y *Fusarium*).

Fonsa: es una planta de bajo porte, relativamente tolerante a enfermedades y de elevada producción (6.643 kg/Ha). En contrapartida, es sensible a *Chilo suppressalis* y da bajo rendimiento en granos enteros (44,72%) con el 24% de granos rotos. El grano presenta una hendidura que, en algún caso, podría ser motivo de desprecio comercial o incluso causa de tan elevadas roturas, por lo que sería conveniente contemplar su mejora en este punto.

En el rendimiento en molino todas las variedades tuvieron un comportamiento muy diverso. La más estable fue *Bahia*. Si se habla de kg/Ha de grano blanco entero, sólo se puede afirmar que *Bahia* es, según los datos de un año, la mejor variedad, con resultados más estables.

La conclusión final fue que, debido a los daños ocasionados por *Pyricularia*, se enmascararon algunos resultados. Desde luego, ninguna variedad de las analizadas se mostró resistente a esta enfermedad. La variedad más sensible fue *Fangar*, mientras que *Fonsa* y *Bahia* fueron las que mostraron mayor resistencia.

B) Variedades con un año de selección

La única variedad ensayada fue *San Pietro*, pero numerosos problemas de nascencia obligaron a resembrar las parcelas. A pesar de ello, la densidad de planta ha sido mínima, de manera que la producción no se tuvo en cuenta. Con estas elevadas limitaciones, no se tuvieron datos suficientes como para desestimar objetivamente dicha variedad. Así pues, lo mejor sería incluirla otra vez en las parcelas de 20 m^2 para efectuar ensayos en las próximas campañas.

C) Variedades de nueva introducción en el delta del Ebro

En la campaña arrocera del año 1999, y por primera vez, se ensayaron variedades de grano largo. La incidencia del hongo *Pyricularia oryzae* fue muy elevada en la parcela IRTA; incluso alguna variedad se "quemó" totalmente y numerosas variedades fueron parcialmente afectadas en más del 10% de los granos.

Los daños causados por el taladro o barrenador del arroz no fueron muy elevados, a excepción de una sola variedad. En la parcela *Bassa l'Arena* también hubieron daños producidos por *Pyricularia*, pero estos fueron un poco inferiores. Algunas variedades tienen un grano sin calidad comercial destacable, por lo cual se han desestimado.

Tanto para la parcela IRTA como para la *Bassa*, no se pudieron tener en cuenta los resultados de rendimiento en molino, ya que las muestras tenían un elevado porcentaje de humedad que podría desfigurar, en mayor o menor grado, los rendimientos finales.

A pesar de la incidencia antes expuesta, se tuvieron suficientes datos como para realizar una selección de las variedades y poder afirmar que las L300, L531, *Condor*, *Gladio*, *Perseo*, *Gemini*, *Pegaso*, *Andolla*, *Adelio*, *Eolo*, *Saturno, Mercurio* y *Ganao* se podrían ensayar la siguiente campaña (2000) en parcelas de 20 m^2, juntamente con las *Bahia* y *Thaibonn*et. A excepción de las *Ganao* y *Bahia*, que son biométricamente semilargas, todas esas variedades son de grano largo.[6]

[6] *Vide*: "*Estudi de la tolerància a la salinitat del sòl i l'adaptació de noves varietats de gra tipus Bahia*". IRTA/EEE. Febrero 2000.

5.1.6. Estudio de la tolerancia a la salinidad del suelo y adaptación en el delta del Ebro de variedades de arroz de grano largo B y semilargo. Campaña 2000

5.1.6.1. Metodología

Se ensayaron ese año 14 variedades, 7 de grano largo B (*Gladio*, *Puntal*, *Adelio*, *Thaibonnet*, *Mercurio*, *Alena* y L-300) y 7 de grano semilargo (*Maso*, *Ullal*, *Bahia*, *Fonsa*, *Fangar*, *Montsianell* y *Ganao*). Las variedades *Thaibonnet* y *Bahia* se tomaron como referencia. El diseño experimental fue de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las tareas de cultivo se realizaron a criterio de cada agricultor, así como el abonado. No se realizaron tratamientos insecticidas para el control del taladro o barrenador del arroz ni tampoco tratamientos fungicidas para el control de las diversas enfermedades criptogámicas.

Los trabajos preparatorios consistieron en la localización del ensayo, que fue la misma que en la campaña 1999. Cada zona se dividió en parcelas de 1.000 m^2 (parcelas elementales), separadas entre ellas por un cordón o malecón de tierra y con entrada y salida de agua independiente. Se midió la superficie útil de cada una de ellas y se realizaron análisis de los suelos para determinar el pH, conductividad eléctrica (C.E.), el contenido en fósforo, potasio y nitrógeno, la textura simple y la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.).

Cada dos semanas se analizó la C.E. del agua de cada parcela y la del suelo. A mitad de la campaña, se tomó una muestra de tierra de cada una de las 4 repeticiones, para poder realizar un estudio completo de la salinidad.

En cuanto a la siembra, se realizó de forma manual y se calculó la semilla necesaria para obtener una densidad de 600 semillas/m^2. También se obtuvo el poder germinativo, la fecha de nascencia y la densidad de planta en las zonas de ensayo.

Semanalmente, se realizó un seguimiento del estado fenológico de cada parcela elemental. Se determinó la fecha de inicio de formación de la panícula, de floración, la densidad de espigas, así como la altura medida desde la base del tallo hasta el final de la panícula y la fecha de maduración.

También se valoró la incidencia de enfermedades causadas por los hongos: *Pyricularia oryzae*, *Helminthosporium*, *Fusarium spp*. y *Sclerotium*. Se realizó el seguimiento observando la sintomatología en las hojas, panículas y tallos. Así mismo, se valoraron los daños causados por el insecto *Chilo suppressalis*, Walk. y la incidencia del encamado.

En el momento de la cosecha, las muestras tenían una humedad del 20-22%. Éstas se trillaron, se descascarillaron, se blanquearon y se realizó la separación de los granos enteros, rotos, verdes, yesosos, rojos y picados, calculándose el porcentaje de cada tipo. También se efectuó la biometría de los granos blanqueados de cada parcela elemental y el porcentaje de granos perlados.

5.1.6.2. Conclusiones

La C.E. del agua en la finca *Rafel* y *Illa de Riu* (ambas en el margen derecho del Delta) fue durante todo el cultivo inferior a 1dS/m (equivalente a 0,6 gramos de sal/l). En el campo *Juanito* (en el margen izquierdo del Delta) la C.E. aumentó de 0,8 a 1,2 dS/m (equivalente éste último a 0,8 g. de sal/l). En *Bassa l'Arena*, en el margen izquierdo y muy próxima al mar, la C.E. aumentó de 0,8 a 2,0 dS/m (equivalente este último valor a 1,3 g. de sal/l).

En cuanto a la salinidad del suelo, tres de las cuatro fincas tienen una C.E. superior a 3,5 dS/m y en la *Rafel* hay dos partes bien diferenciadas: una con una C.E. de 2,32 dS/m y la otra con una C.E. de 3,32 dS/m. A partir de estos datos, se puede concluir que el ensayo se realizó en unas condiciones claras de salinidad del suelo.

Dado que no se tenían los datos de germinación de los diferentes lotes de siembra, se calculó una dosis de 600 semillas de arroz por metro cuadrado, sin condicionar la dosis al poder germinativo de la simiente. De esta manera, la variedad *Gladio* se tuvo que resembrar, dado que el porcentaje de germinación en placa resultó ser prácticamente cero, y lo mismo había pasado en campo (la empresa suministradora facilitó semilla de dos campañas anteriores).

En la parcela *Juanito*, se tuvo que realizar una resembrada debido a una fitotoxicidad sobrevenida de la cual no se dispone de ningún tipo de resultado.

La nascencia, a excepción de lo citado anteriormente, en general fue bastante buena, siendo *Ganao* y *Montsianell* las variedades con la nascencia más temprana, mientras que L-300, *Ullal*, *Puntal* y *Fonsa* necesitaron más días, diferiendo estadísticamente de *Bahia*. *Bahia* es la variedad más alta y, por lo tanto, la que se encama más, lo que acarrea graves problemas en los estadios ulteriores del cultivo. La variedad *Ganao* forma la panícula muy pronto (59 días), *Bahia* a los 71 días y L-300 y *Thaibonnet* a los 73 y 74 días, respectivamente. Normalmente, cuanto más tiempo tiene una variedad para llenar la panícula, más puede producir.

En cuanto al ciclo, las variedades más tempranas fueron *Gladio*, *Adelio*, *Ganao* y *Fonsa*, mientras que la de ciclo más largo fue la *Bahia*.

La incidencia de *Pyricularia oryzae* fue muy baja y no surgieron diferencias significativas entre variedades en cuanto al porcentaje de espigas afectadas por este hongo, a excepción de la zona *Juanito*, donde *Fangar* se vió afectada en el 100% de las panículas y *Maso* y *Fonsa* con el 50%. En la variedad *Bahia*, sin embargo, solamente resultó afectado el 0,4%. La variedad *Mercurio* no se vió afectada por esta enfermedad, mientras que en *Gladio* y *Alena* el ataque fue inferior al 2%.

Adelio destaca por su sensibilidad al "rovell" y *Maso* es la única que se diferencía del *Bahia* en el "moscado", siendo esta última la variedad más sensible.

El *Chilo suppressalis* Walk fue controlado de manera indirecta en los campos de alrededor de la zona de ensayo, mediante la colocación de trampas adecuadas. Dentro de las parcelas no se colocaron trampas ni se realizó ningún tratamiento insecticida. Solamente en la finca *Illa de Riu* es remarcable la incidencia de esta plaga y con un valor máximo de 3 panículas por metro cuadrado. No hay diferencia significativa entre variedades, pero destaca *Adelio* del resto, con 1,33 tallos/m^2 de promedio.

La valoración de granos picados puede dar una idea de la incidencia de la "pudenta" y no se observan diferencias significativas entre las variedades ensayadas. A excepción de *Alena* (0,6%) todas ellas están por encima de las exigencias definidas por la reglamentación de “arroz extra”.

En cuanto a las biometrías y perlados, se confirmó que las variedades ensayadas son muy parecidas a la *Bahia* y que la variedad *Ullal*, así como las de grano largo B son de grano cristalino.

En esta experiencia, no se observó diferencia significativa alguna entre las variedades por lo que respecta a producción y rendimiento en granos enteros. *Bahia*, a pesar de no presentar diferencias significativas, destacó del resto con una producción unitaria de 6.902 kg/Ha, seguida de *Fonsa* con 6.338 kg/Ha y de *Thaibonnet* con 6.328 kg/Ha.

En cuanto al rendimiento en el molino, L-300 tuvo el máximo con un 62%, siguiéndole *Mercurio* con un 61% y *Maso*, *Gladio* y *Bahia* con el 60%.

Si la producción se expresa en kilogramos de grano entero por hectárea, no hay diferencias significativas, pero destacó *Bahia* con 4.210 kg/Ha, seguida de *Maso* y *Gladio* con 3.534 kg/Ha.

Como se puede observar, la mayor parte de los resultados no son significativos y por tanto no hay ninguna variedad que destaque estadísticamente por su producción ni por su rendimiento en molino.

Así pues, se deduce que *Bahia* sigue siendo la variedad más adaptada al Delta de todas las variedades de grano semilargo ensayadas y *Gladio* y *Thaibonnet* como variedades de grano largo, aunque estas últimas no ofrecen la productividad de *Bahia*.

5.1.7. Ensayo de susceptibilidad varietal a *Pyricularia grisea* en la zona del delta del Ebro. Resultados de la campaña 2002

5.1.7.1. Objetivos

Un interesante trabajo de investigación llevado a cabo por IRTA/EEE (*Institut de Recerca i Tecnología Agroalimentaria/Estació Experimental de l'Ebre*) pone de manifiesto las variedades que tienen una reacción susceptible ante el hongo de la *Pyricularia grisea*, las que presentan una reacción moderada o bien las que se manifiestan resistentes a dicha enfermedad.

Así pues, mediante dicho ensayo se pretendió obtener los siguientes objetivos: conocer la reacción de distintas variedades de arroz frente a la *Pyricularia grisea*, conocer los genes de virulencia presentes en las variedades del delta del Ebro e incorporar "resistencia de campo" para hacer recomendaciones útiles a los productores de la zona.

5.1.7.2. Metodología

Para la realización del ensayo se colocaron tres bloques de la variedad evaluada de 15 plantas cada uno (3 filas de 5 plantas cada una). Entre los bloques de plantas de arroz se implantaron dos filas de variedades muy sensibles al hongo: una de *Baixet* y otra de *Thaiperla*. Todo ello se rodeó de 2 filas de plantas de *Baixet*. Las variedades de arroz sensibles tuvieron la función de poner el agente infeccioso al alcance de la variedad a estudiar. La evaluación de los daños causados por dicho hongo se realizó utilizando la escala del Sistema Estándar de Evaluación (*Standard Evaluation System* – S.E.S. IRRI 2002) y la escala de S.H. para diferentes tipos de infección (1982).

5.1.7.3. Conclusiones

Las conclusiones obtenidas, a partir del ensayo realizado, son las que se presentan a continuación.

- Las variedades de reacción **susceptible** al hongo en algún órgano son las siguientes:

01	*Maso*	*Galatxo*	KF1	*Hispagran*
97	*Ullal*	*Baixet*	KF2	*Maratelli*
Fonsa	*Marisma*	L-5320	KF3	*Guara*

Las variedades que se citan a continuación son susceptibles en el cuello de la panícula y tienen una reacción moderada en las hojas. A saber:

Ganao	*Guadiamar*	*Susan*	*Thainato*	*Thaiperla*

- Las variedades de reacción **moderada** que, mediante los tratamientos adecuados, pueden adquirir lo que se llama "resistencia de campo", son:

Bahía	*Fragance*	*Poseidone*	*Sènia*	*Vega*
Bomba 1	*Gladio*	*Puebla*	*Sillaro*	
Clavel	*Montsianell*	*Puntal*	*Tebre*	

- Las variedades de reacción **resistente** son aquellas que no se ven afectadas por el hongo pero que, al cabo de dos o tres años, pueden pasar a ser variedades de reacción susceptible, perdiendo así su resistencia inicial a la enfermedad criptogámica. Éstas son:

Adriano	*Cala*	*Ibis*	*Thaibonet*	*Niva*
Alena	*Fidji*	*Jacinto*	*L-300*	*Spina*
Bomba 2	*Hidalgo*	*Kalao*	*Lamone*	*XL*

5.2. Enfermedades del arroz

El uso de fungicidas en los arrozales del delta del Ebro está siendo cada vez más extendido.

Según el estudio sobre costes del cultivo del arroz que el IRTA/EEE realizó en base a las campañas 1992 y 1994, uno de los resultados a comentar es el siguiente:

- En 1992, el 50% de las fincas encuestadas y el 100% de las fincas de más de 50 Ha, realizó tratamientos fungicidas.

- En 1994, el 70% de las fincas encuestadas y el 100% de les fincas de más de 20 Ha realizó tratamiento fungicidas.

Los datos del último trabajo del "Estudio de factores de producción en 1995" dieron como resultado que el 63% de los campos controlados realizaron de manera sistemática tratamientos fungicidas preventivos.

En general, el "bajo coste" de estos tratamientos (según afirman los propios agricultores) y las facilidades que tienen para realizarlos (sólo es necesario encargar el tratamiento y la empresa pertinente lo realiza en el momento oportuno con medios terrestres o aéreos) hacen que cada vez las aplicaciones fungicidas sean más numerosas. Ello se ha correlacionado, en los últimos tiempos, con un aumento sensible de los rendimientos.

Los agricultores han manifestado repetidamente la necesidad de iniciar estudios en este campo para evaluar la eficacia de los productos empleados, ya que hay mucho desconocimiento o desinformación al respecto.

Teniendo en cuenta que desde 1988 hasta 1990 se realizó el proyecto INIA "Etiología, distribución e importancia de las enfermedades de los cereales en Cataluña", mediante el cual llegamos a tener conocimientos exhaustivos de las

enfermedades que afectan al cultivo del arroz, ahora se deberían aprovechar los conocimientos adquiridos para poder analizar las siguientes cuestiones:

- La evolución de las enfermedades.
- La eficacia de los productos fitosanitarios empleados (materias activas, dosis y momentos de aplicación).
- La resistencia/sensibilidad de las diferentes variedades de arroz.
- El establecimiento de las bases para poder realizar un sistema de producción en relación a los datos climáticos y a los niveles de inóculo.

5.3. Obtención de plantas transgénicas resistentes al *Chilo suppressalis,* Walk

La biotecnología molecular permite la modificación de los genes de un organismo (organismos genéticamente modificados o OGM), la adición, eliminación o modificación de genes en el genoma y puede permitir el intercambio de material genético entre individuos de diferente especie. La modificación de los genes de una misma especie es una práctica típica de la agricultura tradicional. La biotecnología moderna lo que permite son las modificaciones mucho más rápidas, efectivas, selectivas y con muchas más posibilidades, incluidas las combinaciones de genes de especies diferentes; en definitiva, unas posibilidades impensables con las técnicas clásicas de la mejora genética. Los organismos transgénicos son, estrictamente, los que contienen genes de otras especies, y los alimentos procedentes de estos organismos son los que conocemos como transgénicos. Pero la denominación “transgénico” también incluye todo un abanico de alimentos en la confección de los cuales se utilizan técnicas de ingeniería genética o biotecnología, que provienen de los conocimientos modernos de la Bioquímica y la Biología Molecular. **En particular, son ATG los alimentos que están constituidos por organismos genéticamente modificados o que los contienen, o bien que tienen productos procedentes de organismos modificados**. Esta definición deberá tenerse bien en cuenta a efectos de consideraciones ulteriores de interés.

La transferencia de genes de unas especies a las otras es un fenómeno habitual en la evolución y la mejora de las plantas y animales. Esta transferencia, que hasta hace poco se ha supuesto que estaba limitada a la que se podía hacer por la vía de la reproducción sexual, puede extenderse ahora a cualquier gen conocido con el uso de los métodos de transformación genética. Estos métodos constituyen, probablemente, una gran oportunidad para el desarrollo de la ciencia y tienen aplicaciones evidentes muy útiles en la medicina y también en la agricultura, siempre que no se realice un uso abusivo e incontrolado de los mismos.

La Unidad Mixta CSIC-IRTA de Genética y Biotecnología Vegetal se constituyó el año 1991 por los departamentos de Genética Molecular del CID-CSIC de Barcelona y el de Genética Vegetal del IRTA con el objetivo de potenciar la investigación en biotecnología vegetal en Cataluña por la vía de la concentración de esfuerzos y la complementariedad de las áreas de actuación de ambos departamentos. La Unidad Mixta CSIC-IRTA está integrada actualmente dentro del Centro de Referencia en Biotecnología de la *Generalitat* de Cataluña, y lleva a cabo siete proyectos de colaboración, de los cuales tres son de ámbito europeo. De estos proyectos, tres tienen relación con el arroz, que se ha convertido, de este modo, en una de las líneas de trabajo más importante del grupo. Una aplicación es la de obtener plantas de arroz resistentes al taladro (*Chilo suppressalis*, Walk), conocido insecto parásito de esta especie, que es ventajosa tanto para la agricultura como para la ecología.

El taladro o barrenador es un insecto que constituye galerías internas en el tallo, de manera que debilita mecánica y fisiológicamente la planta y provoca una pérdida de producción de grano del orden del 15-20%, además de producirse un grano de peor calidad.

Las estrategias más utilizadas para proteger los campos de arroz contra el taladro son:

- El control químico mediante 2 ó 3 tratamientos con insecticidas de los tipos piretroides de amplio espectro. Se ha demostrado que estos tratamientos

tienen una eficacia reducida por su poca persistencia y por el hecho de que, al desarrollarse la larva en el interior del tallo, es muy difícil que llegue a eliminarla. Por otra parte, estos productos tienen un efecto negativo sobre el ecosistema.

- La utilización de insecticidas biológicos, como son las formulaciones con toxinas de *Bacillus thuringiensis*. Estos insecticidas parecen ser más específicos y menos perjudiciales para los ecosistemas que los químicos, pero pueden afectar a otras especies de insectos, incluso benéficos.

- La obtención de variedades resistentes mediante la mejora genética. Aunque se puede encontrar variabilidad para la tolerancia al taladro entre las diversas variedades de arroz, la herencia de este carácter es compleja, por lo que su transferencia es lenta y difícil.

Las tres estrategias clásicas reseñadas presentan limitaciones importantes. Una alternativa es la obtención de plantas transgénicas con genes que producen proteínas tóxicas para el propio insecto. La ventaja de esta tecnología es que estas substancias están presentes en el tejido vegetal y pueden actuar sobre el insecto al principio mismo del ataque. A pesar de que se ha demostrado la eficiencia de esta tecnología en cuanto al control del taladro, todavía no existe ninguna variedad transgénica resistente que se haya llegado a cultivar.

Para poder distribuir variedades modificadas genéticamente, es necesario que además de tener los genes que los hacen resistentes a los insectos, se pueda asegurar su sanidad como alimento y un nulo impacto ambiental que permita su aceptación por parte de la sociedad, cada día más sensibilizada por estos temas.

Para controlar la posible aparición de poblaciones de insectos resistentes se utilizan varias estrategias, como la introducción simultánea de más de un gen de resistencia y la utilización de promotores (secuencias de ADN -ácido desoxi ribonucleico- que determinan el momento, lugar y cantidad en los que se produce

la proteína que codifica el gen) más potentes que aumentan el nivel de expresión de los genes.

Para obtener un producto final aceptado por parte de los consumidores, se utilizan promotores que permitan que el gen se exprese solamente en los tejidos atacados por el insecto y que en ningún caso lo hagan en el grano. Además se eliminan, mediante cruzamientos u otras técnicas, los genes de selección utilizados durante el proceso de transformación.

Otro aspecto abordado ha sido el estudio y la evaluación del flujo de genes. Aunque el arroz es una planta que se autofecunda, siempre existe una cierta tasa de cruzamiento que es muy difícil de detectar por tratarse de valores muy bajos. Una buena herramienta para cuantificar este flujo puede ser el uso de plantas transgénicas de arroz a las que se les haya incorporado un gen marcador. Así, en el año 1999 se diseñaron dos ensayos en forma de círculos concéntricos con el fin de estudiar la influencia del viento en el transporte (anemógamo) del polen. En el centro de los círculos se sembró una variedad que tenía integrado un gen de resistencia al herbicida “glufosinato de amonio” y alrededor a un metro y a 5 metros de distancia se sembraron plantas no transgénicas de la misma variedad. Al final del cultivo se recolectaron las semillas y se hicieron germinar. Las plántulas a analizar, concretamente más de 200.000, se trataron con herbicida para detectar las plantas resistentes. El análisis molecular de estas plantas demostró la existencia de un flujo genético sumamente escaso (inferior al 0,1%) comprobándose además una cierta influencia del viento en el círculo situado a un metro de distancia. También se estudia hasta qué punto existe la posibilidad de flujo genético hacia el arroz salvaje.

Así pues, el desarrollo de este proyecto permite la identificación de genes que inducen en el arroz una resistencia al taladro, además de estudiar diversas estrategias orientadas a dirigir la expresión de los genes, evitar la aparición de poblaciones de insectos resistentes o a cuantificar el riesgo de flujo genético, permitiendo la obtención de un producto final más aceptable por la sociedad en general.

Para realizar la transferencia genética se utiliza la técnica del clonaje y la de *in vitro*. Una vez introducido el gen, se debe observar que la planta se desarrolle normalmente y que su producción no se vea afectada. Así pues, en 1999, al cabo de un año de pruebas en laboratorio, se procedió a plantar las primeras plantas transgénicas de nuestro país, y el lugar escogido fue el delta del Ebro.

En el anexo IV se muestran los resultados de una evaluación en campo sobre la resistencia de ciertas variedades transgénicas de arroz frente al taladro o barrenador (*Chilo suppressalis*, W.). Así mismo, en el anexo V se recogen los resultados de un ensayo que evalúa el flujo genético entre plantas transgénicas de arroz y arroz salvaje y plantas no transgénicas de la misma variedad, así como su comportamiento agronómico. Ambas experiencias fueron llevadas a cabo durante el año 2001 por el IRTA.

5.4. Obtención del “arroz dorado”

A comienzos de los años 90, el grupo Potrykus propuso al Programa de Biotecnología de la Fundación Rockefeller emprender un proyecto para modificar genéticamente la ruta de la provitamina A en el endospermo del arroz. Tras ocho años de trabajo, se logró aislar arroz normal con la actividad fitoenosintasa, que producían buenas cantidades de fitoeno en su endospermo. Finalmente, en un determinado experimento se obtuvo una variedad de arroz cuyo endospermo, de color amarillo (de ahí su denominación de “arroz dorado”), contenía provitamina A y otros terpenoides de singular importancia nutritiva. La mejor línea de arroz dorado producía suficiente provitamina A (1’6 microgramos por gramo de endospermo) como para esperar un efecto positivo en el alivio de la deficiencia de la vitamina A en la dieta habitual de muchas personas del mundo.

El “arroz dorado” es, pues, un arroz modificado genéticamente para acumular en su embrión betacaroteno y otros carotenos, que son precursores de la vitamina A. Este betacaroteno “extra” es el que le otorga un característico y

peculiar color dorado y da origen a su nombre. Constituye un ejemplo de una planta transgénica obtenida en un programa de investigación con fondos públicos cuyo objetivo es contribuir a mejorar las condiciones nutricionales de extensas poblaciones del Tercer Mundo (principalmente de Asia) y así reducir la incidencia de enfermedades ligadas al déficit de vitamina A.

El "arroz dorado" fue presentado en 2001 como el primer organismo modificado genéticamente en el que se ha conseguido expresar el betacaroteno y la primera variedad vegetal creada para luchar contra la falta de vitamina A en los países en desarrollo. Por ello resulta tan importante su caso, ya que en la breve historia de los OMG ha resultado ser muy bien aceptado por el consumidor

Una de las tareas a realizar actualmente es colaborar con los países en desarrollo para transferir el carácter dorado (que solamente está en una variedad experimental) a las variedades de arroz propias de estos países.

El "arroz dorado" está libre de patentes para los países más pobres, de forma que los agricultores podrán comprar la variedad mejorada genéticamente una sola vez y mantenerla por sí solos. Los señores Peter Beyer y Ingo Potrycus, descubridores del arroz dorado, otorgan la licencia comercial a quienes la solicitan. En este momento seis países disponen ya de esta variedad, entre ellos La India, Filipinas, Vietnam, China y Sudáfrica.

Veamos, en fin que en la sociedad de los países desarrollados existe cierta repulsa a los productos que son fruto de la biotecnología molecular. Esto también origina una serie de problemas en la comercialización de este arroz tan peculiar, retrasando su cultivo hasta tres o cuatro años. En cualquier caso, es importante que este producto pueda distribuirse gratis y libre de limitaciones y barreras para los países pobres, así como asegurar que carezca de efectos adversos para el medio ambiente y la salud humana[7].

[7] *Vide*: Boletín informativo núm. 4 (noviembre de 2002) de Semillas Certificadas Castells, S.L.

5.5. Control del arroz salvaje

El arroz salvaje o silvestre es uno de los principales problemas del cultivo del arroz, junto con el control de las malas hierbas, pues dan lugar a grandes pérdidas económicas. Este tipo de arroz procede de la especie *Oryza sativa* al igual que las variedades, pero éste se ha originado debido a la facilidad de retrogradación hacia sus orígenes genéticos de las variedades cultivadas. La presencia de arroz salvaje en el cultivo de arroz ha sido constante, incrementándose en los últimos años debido a varios factores: la siembra directa, el aumento de las variedades cultivadas, la imposibilidad de llevar a cabo una cierta rotación de cultivos en la mayoría de las explotaciones arroceras españolas y el empleo indiscriminado de semilla no certificada.

El aspecto del arroz salvaje es similar a las variedades cultivadas diferenciándose sólo en algunos detalles: más robustez, coloración verde más intensa en hojas y caña, muy fácil desgranado, espigas aristadas y gran poder de germinación en condiciones adversas. El control químico resulta complicado debido a la similitud genética con el arroz cultivado, por tanto no existen herbicidas específicos o selectivos. La escarda manual sólo es posible cuando el porte de la planta de arroz salvaje es mayor que la del arroz cultivado, distinguiéndose de esta última con suficiente claridad.

Los “arroces salvajes” son variedades o razas procedentes de los centros de origen del arroz, principalmente del sudeste de Asia, que pertenecen al mismo género y especie de las variedades cultivadas, o sea, *Oryza sativa*, y en consecuencia, de posible cruzamiento entre todas ellas. Sus granos son tan comestibles y nutritivos como los de las variedades comúnmente cultivadas.

El arroz salvaje se diferencia básicamente de las variedades cultivadas por tener los granos con arista (barba), con pericarpio rojo y autodesgrane precoz. Dichas plantas también suelen diferir en rasgos físicos como altura y grosor del tallo, longitud, anchura y color de las hojas, pigmentación rojiza o violácea de los nudos, etc.

En realidad, son los tres caracteres referentes al grano los que perjudican el rendimiento y la calidad de la cosecha, y pueden estar presentes en los granos de una misma panícula los tres, dos o uno, es decir, formando parte de la constitución genética de los 120 genes o caracteres hereditarios que se asignan al arroz, que pueden combinarse al azar, en el momento de la fecundación de las flores, para generar las semillas. Su respectivo comportamiento depende de varios factores acumulativos (polímeros), que son dominantes en relación a sus oponentes (alelomorfos): mútico (sin arista), pericarpio blanco y resistente al desgrane.

Aunque el arroz es una planta autógama, la autofecundación de sus flores no es absoluta, como ya se ha puesto de manifiesto en otros capítulos de este mismo libro, y normalmente, se producen fecundaciones cruzadas entre las flores de las plantas más próximas en un porcentaje variable con el viento, temperatura, humedad, etc., intercambiando genes, tanto entre las plantas de las variedades cultivadas como entre éstas y las de los “arroces salvajes”, que por cierto proliferan en muchos campos de cultivo considerándose como una “mala hierba” más. Por consiguiente, está expuesto a la posibilidad de sufrir todos los años variaciones favorables y desfavorables, aunque sobre todo de éstas últimas, debido a la dominancia de los caracteres hereditarios peyorativos sobre los favorables.

En efecto, si se produce el cruzamiento entre una planta de granos con pericarpio rojo y otra de pericarpio blanco (ambas genéticamente puras en dichos caracteres), en la descendencia del primer año todos los granos son rojos; y éstos, cruzados entre sí, ofrecen en el segundo año una probabilidad del 75% de rojos y del 25% de blancos. Asimismo, a estos cambios contribuye el hombre con los cruzamientos artificiales para la obtención de nuevas variedades, incorporando distintos genes, sobre todo si se utilizan variedades exóticas.

Además, influyen en esa variabilidad y su propagación, la introducción de variedades extranjeras portadoras de tales genes, el uso de semilla no certificada, cambios de variedad en un mismo campo con cierta frecuencia, mezclas accidentales, escardas deficientes. También a causa del autodesgrane, precoz y

escalonado de las variedades con este defecto y la inevitable diseminación de granos por las cosechadoras y los medios de transporte al molino, se origina una siembra de arroces durante los meses de agosto, septiembre y octubre que germinarán la primavera siguiente y, siguiendo su ciclo vegetativo, infestarán el campo de cultivo si no se erradican a tiempo mediante escardas manuales, ya que no existen herbicidas selectivos para su eliminación durante el cultivo.

Ante esta problemática, en 1997 se inició en el IRTA/EEE un proyecto financiado por la UE para averiguar la mejor manera de luchar contra el arroz salvaje. Entre las actividades previstas, se intenta averiguar qué variedades tienen más tendencia a originar arroz "borde" o salvaje. Esto se realiza recogiendo biotipos de arroz salvaje (todas las variedades) para enviarlas a Francia donde se analizan mediante la técnica de los marcadores moleculares (metodología de genética molecular).

Aunque sea una parte del trabajo que no se pueda asegurar que se lleve a cabo, una de las posibilidades del proyecto descrito es hacer una investigación de manipulaciones genéticas en el arroz. Uno de los objetivos es estudiar plantas transgénicas resistentes a los herbicidas (glifosato y glufosinato). Estas plantas se manipulan de manera que son resistentes a estos tratamientos, o sea que se podrían tratar los campos y eliminar todas las malas hierbas y el arroz quedar intacto. Con la técnica de los marcadores moleculares se podrían evaluar los riesgos que hay en estas cualidades añadidas por el hombre (de resistencia a los herbicidas) para que no pasen después al arroz salvaje.

5.6. Ensayos de variedades en las Marismas del Guadalquivir

Ya en 1987, los arrozales andaluces apostaron por el cultivo de arroces del tipo Índica y empezaron la reconversión apoyados por las ayudas que, por aquel entonces, la Comunidad Europea concedía a las superficies en las que se cultivasen estas variedades asiáticas. Los resultados fueron satisfactorios y este tipo de arroz se ha aclimatado bien a las condiciones de las marismas sevillanas. Desde entonces, los estudios y experimentaciones que se han llevado a cabo

desde los organismos competentes de la Consejería de Agricultura y Pesca de la Junta de Andalucía han ido encaminados a adaptar la variedad Índica a las condiciones agronómicas del sur español.

Los dos tipos de arroz, Índica y Japónica, se desarrollan con mayor facilidad en distintos climas, y si el clima propio de las variedades de Índica es el clima tropical, las variedades de Japónica se adaptan mejor a climas templados más parecidos al clima mediterráneo. Ahora bien, el tipo Índica se caracteriza por ser de grano largo y es muy apreciado por los consumidores europeos aunque, por sus exigencias climáticas, se cultivan pocas hectáreas en el viejo continente, cosa que hace a Europa netamente importadora de este tipo de arroz, como ya hemos tenido ocasión de comentar en anteriores capítulos de nuestro libro.

Así pues, el objetivo de los ensayos para la obtención de nuevas variedades en la Comunidad de Andalucía se ha centrado en conseguir un tipo de arroz con los rasgos propios del Índica pero con las exigencias climáticas del Japónica y, hacia este fin, se han encaminado los experimentos de algunos centros de investigación, principalmente de California, España y Australia, en donde se han efectuado cruzamientos entre variedades de Índicas y Japónicas a fin de acercar el Índica, de grano largo, a algunos de los factores más aprovechables del Japónica, como el tallo corto, la poca exigencia de temperaturas y la respetabilidad a elevadas dosis de abonado nitrogenado, sin graves problemas de encamado. A estas variedades que presentan un grano largo, como el Índica, pero con unas exigencias climáticas propias del clima mediterráneo, como el Japónica, se las ha denominado del “tipo o perfilÍndica”.

Como ya se ha dicho, desde 1987 hasta 1996, la Red Andaluza de Experimentación Agraria (RAEA), ha venido realizando los experimentos de campo necesarios para conocer la adaptabilidad de las nuevas variedades en las que se intenta aunar las virtudes de las variedades Índica y Japónica. Para ello, se localizaron todos los ensayos en la zona arrocera sevillana de las Marismas del Guadalquivir.

El material vegetal fue aportado en un principio por el Centro Internacional de Investigación del Arroz (IRRI), organismo creado con el objetivo de incrementar el rendimiento del arroz en los países en vías de desarrollo. Este material, según se señala desde RAEA, no se adaptó con facilidad al suelo sevillano pues la mayoría era de procedencia Índica, con lo cual exigía unas condiciones climáticas distintas de las que disfrutaba la zona mediterránea.

Posteriormente, se incluyeron en el estudio variedades procedentes de otros centros de obtención de variedades, tanto internacionales como nacionales. De entre estos últimos, destacan las variedades obtenidas en el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Estas variedades, por sus distintas exigencias climáticas, aportaron resultados interesantes a las investigaciones en curso.

Los caracteres estudiados, y que se han tenido en cuenta a la hora de valorar cada una de las variedades ensayadas, según se resume en un informe del mismo RAEA, han sido los siguientes: el ciclo hasta espigado, el ciclo hasta la maduración, la altura de desarrollo de la planta, el encamado en la fase de grano maduro, el rendimiento en grano, los rendimientos industriales, los componentes del rendimiento y la salinidad del agua de riego, ya que en la desembocadura del Guadalquivir se produce un desnivel hidráulico que somete al río a las mareas atlánticas, facilitando la incorporación de agua marina y aumentando la salinidad del agua del río que es captada para el riego del arrozal.

A continuación, se exponen de forma resumida las conclusiones generales de los diez años de ensayo llevados a cabo en esta zona.

Debido a las condiciones climáticas y al nivel científico y técnico, las variedades y líneas experimentales de grano largo, tipo Índica, más productivas y mejor adaptadas a las condiciones de cultivo de las Marismas del Guadalquivir proceden de California (USA), Australia y de la Estación Arrocera de Sueca (Valencia). Entre las variedades de estas procedencias que se destacan, están las *Thaibonnet* y *Doñana*, de California; *Puntal*, de origen australiano; e *IVIA-7* e

IVIA-8, líneas experimentales del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias que, por su comportamiento, pueden ser variedades comerciales a corto plazo.

También se incorporaron al estudio en cuestión variedades procedentes de Arkansas y Texas, que constituyen importantes zonas arroceras norteamericanas, aunque por sus diferentes exigencias climáticas -por poseer un clima menos parecido al mediterráneo que el de California- se adaptaron peor a las Marismas del Guadalquivir.

Otros orígenes, como Italia, Francia, Portugal o Grecia, tampoco comportaron variedades productivas. Las variedades italianas y francesas, si bien pueden adaptarse mejor a las condiciones climáticas que nos ocupan, son de ciclo más corto y menos resistentes al encamado que la que ha sido utilizada como testigo local, la *Thaibonnet*.

Las variedades procedentes de IRRI, Centro Internacional de Investigación del Arroz, tampoco se adaptaron a las condiciones climáticas andaluzas. Esto es debido a que las variedades del centro están adaptadas a las condiciones asiáticas, por ser justamente ésta la principal zona mundial en la que el IRRI intenta mejorar los rendimientos.

En cuanto a las variedades de tipo Japónica, de grano redondo o semilargo, California y España son las procedencias que mejores resultados de aclimatación y rendimientos han obtenido. Entre ellas las valencianas, como *Bahia* y *Senia* y la californiana *Thainato*, *Venería* y *Lido*, de origen italiano, también dieron resultados interesantes. Por último, con respecto a las variedades de Japónica con buenas condiciones para adaptarse al clima de las Marismas, se destacan también en el estudio las nuevas líneas experimentales españolas de arroz que, en breve plazo, estarán inmersas en el mercado comercial.

Otras variedades poco productivas en campo han demostrado características que, sin embargo, las hacen aconsejables para la industria arrocera, por su alto rendimiento, aptitud para la vaporización, aroma, etc.

Con respecto a la escasez de agua, las conclusiones apuntaron a una necesidad de disponer de variedades más resistentes que las ensayadas para las sequías o para zonas de mucha salinidad. La alta salinidad de los años de sequía, por el descenso del nivel del río y la entrada de mareas en el cauce, permitió estudiar la adaptabilidad de las variedades a este incremento salino. A este respecto se señala cómo la práctica totalidad de las variedades se mostraron susceptibles a la salinidad, provocando un fuerte descenso de las producciones hasta el punto de hacer inviable su cultivo en la mayoría de casos. Se destaca menor susceptibilidad de variedades como *Thainato* y *Calca*, de grano medio, frente a variedades de Índica, más susceptibles, como *Thaibonnet* o *Puntal*.

5.7. Otras posibles líneas de trabajo

En general, podrían ser las siguientes:

a. Obtención de plantas transgénicas resistentes a la salinidad del suelo.

b. Producción de arroz biológico.

c. Obtención de plantas aromáticas adaptadas a cada zona de cultivo.

d. Fertilización nitrogenada.

e. Fertilización con zinc.

5.8. Relaciones externas

Sería conveniente programar, por parte de todos los centros de España dedicados a la investigación, selección y mejora varietal, la realización de contactos con investigadores de otros centros de investigación que, sin duda, resultarán enriquecedores de la tarea común.

5.9. Mejora genética

Se dispone ya de 13 líneas de plantas F6 seleccionadas en la Estación Experimental del Ebro (IRTA/EEE,); ninguna de ellas ha entrado todavía en el proceso de registro.

El año 1996 fue el último año de este proyecto INIA; se propuso no darle continuidad como tal, tomando en consideración la posibilidad de mantener a un nivel mínimo la actividad con la intención de terminar aquellas líneas con suficiente interés.

También fue aceptado el Proyecto Europeo de evaluación de recursos genéticos de arroz de interés para Europa, evaluándose cerca de 500 variedades (86 el año 1996) por lo que se refiere a la tolerancia a *Chilo suppressalis* Walk.

Entre los objetivos planteados para el año 1997, destacaban:

- Continuar el proyecto de tolerancia al *Chilo*; se pensaba mantener al mínimo la mejora de los cruzamientos originarios del IVIA de Sueca.

- Previo acuerdo con el sector, se preveía iniciar ensayos de introducción y evaluación de variedades tolerantes a la salinidad.

- Se preveía, por último, la realización de una jornada de campo para comentar la marcha de las diferentes actividades de este apartado.

5.10. Ensayos para el Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero (INSPV)

Las evaluaciones de variedades de arroz para el registro, llevadas a cabo por encargo del INSPV, fueron constituidas el año 1995 por cuatro variedades de grano corto y cinco testigos; el ensayo de 1996 -por el que se obtuvo la colaboración del sector- estaba compuesto de 12 variedades de grano corto y 2 testigos.

5.11. El genoma del arroz

La búsqueda de los secretos de la vida ha sido una constante de la humanidad desde muy antiguo. Desde el descubrimiento de la composición y

estructura del ADN, que tuvo lugar a mediados del siglo XX, se han multiplicado las investigaciones para descifrar el genoma de diferentes organismos. En principio tratábase de bacterias u organismos unicelulares, más adelante organismos más complejos y útiles para la investigación científica, como la mosca del vinagre, y actualmente organismos superiores como el famoso y controvertido genoma humano, así como también el genoma del arroz.

Sin duda alguna, el descubrimiento del secreto que encierran los genes es uno de los más importantes de la humanidad. Conociendo la secuencia completa de ADN se puede comenzar a estudiar la influencia que tienen los genes y modificar las expresiones génicas indeseables.

La empresa transnacional Syngenta, importante grupo agroquímico suizo, contrató a la empresa estadounidense Myriad Genetics para realizar un proyecto común encaminado a obtener el genoma del arroz. Estos investigadores genéticos conseguían descifrar toda la información genética de los doce cromosomas de la planta de arroz a principios del año 2001 tras un desembolso total de 33 millones de dólares. Un excelente trabajo si se tiene en cuenta que el genoma del arroz cuenta con unos 430 millones de códigos genéticos. Esto significa que, después del genoma humano, el arroz es el siguiente en tamaño que se ha podido descifrar hasta la fecha.

Este logro fue de gran importancia para la tecnología genética, pues como hemos visto el arroz es uno de los alimentos básicos en todo el mundo desde hace más de 5.000 años y es fundamental para la subsistencia de más de 3.000 millones de personas, sobre todo en el Sudeste asiático, donde más del 80% de las necesidades calóricas de esos países se cubren mediante el consumo del arroz. Como ya hemos visto, en esta zona se produce el 80% de la producción mundial de arroz pero aún así resulta insuficiente para alimentar a una población enorme que aumenta todos los años a razón de un 2%.

Se precisan, pues, variedades de arroz más productivas, con capacidad de adaptación a los suelos salinos, secos, etc. y todo ello con la ayuda de la ingeniería genética. De este modo, se investiga actualmente en numerosos

países la obtención de arroces transgénicos resistentes a herbicidas, a plagas, como el *Chilo suppressalis* Walk, o a enfermedades criptogámicas (*Pyricularia oryzae*, *Helminthosporium*, *Fusarium*, etc.), cuestión que ya ha sido suficientemente tratada en un apartado anterior de nuestro libro. En Suiza se está trabajando para obtener una planta de arroz enriquecida con provitamina A y hierro (véase el capítulo 4 de este mismo libro, epígrafe 5.4.), y en países como China, Vietnam, India, Estados Unidos, etc. se cultivan arroces híbridos que son un 20-30% más productivos que las variedades convencionales.

Se han abierto nuevas y transcendentales posibilidades para que, tanto la búsqueda de nuevas variedades de arroz como el cultivo, sean más efectivos; pero habrá que esperar algún tiempo para comprobar estos avances en la vieja Europa, y por supuesto también en España, dada la importante controversia que suscita en la sociedad europea la utilización de los OGM (Organismos Modificados Genéticamente)[8].

5.12. Nuevas normas para la comercialización de productos transgénicos

5.12.1. Legislación española

El Gobierno español ha aprobado un proyecto de Ley cuyo objetivo es incorporar a la legislación española las últimas exigencias aprobadas en la Unión Europea para la utilización y comercialización de organismos modificados genéticamente (OMG). El proyecto establece obligaciones en las diferentes actividades relacionadas con estos organismos y contempla sanciones en caso de incumplimiento, con el fin de proteger la salud humana y el medio ambiente.

En concreto, el citado texto regula las actividades de utilización confinada, liberación voluntaria de organismos modificados genéticamente y comercialización de estos organismos o bien de productos que los contengan. La Administración General del Estado será la encargada de conceder las

[8] *Vide*: Boletín informativo núm. 1 de Semillas Certificadas Castells, S.L.

autorizaciones para la comercialización de OMG o de productos que contengan OMG. Asimismo autorizará los ensayos o experimentos de liberaciones voluntarias complementarios y concederá las autorizaciones relacionadas con la importación y exportación de estos organismos. El Gobierno será también el encargado de autorizar la utilización confinada y liberación voluntaria para otro fin distinto a la comercialización, cuando su objeto sea la incorporación a medicamentos de uso humano o veterinario y demás productos y artículos sanitarios. Por su parte, las Comunidades Autónomas concederán las autorizaciones de liberación voluntaria cuando se trate de otros fines distintos a la comercialización. Asimismo, se ocuparán de la vigilancia, el control y la imposición de las sanciones.

La **utilización confinada** de organismos modificados genéticamente es cualquier actividad por la que se modifique el material genético de un organismo o por la que éste, ya modificado, se cultive, almacene, emplee, transporte, destruya o elimine siempre con medidas de confinamiento para limitar su contacto con la población y el medio ambiente. Las actividades de utilización confinada se clasificarán en función de la evaluación previa de los riesgos para la salud humana y el medio ambiente. Así, se considerarán actividades de riesgo nulo, de riesgo moderado y de alto riesgo. Para realizar estas actividades será necesario realizar una evaluación previa de los posibles riesgos existentes para la salud humana y el medio ambiente, llevar un registro de evaluación, cumplir normas de seguridad e higiene profesional y elaborar los planes de emergencia y de vigilancia de las instalaciones.

La **liberación voluntaria** es la introducción deliberada de estos organismos en el medio ambiente. Para realizar una liberación voluntaria de organismos modificados genéticamente, deberá presentarse una solicitud a la Administración junto con un estudio técnico y una evaluación de riesgos para la salud humana y el medio ambiente.

En lo que respecta a la comercialización de OMG, los operadores deberán disponer de toda la información precisa para facilitar su control y posible retirada del mercado y localizar los movimientos de los productos en todas las etapas de

su producción, transformación y distribución. Asimismo, tanto los organismos como los productos que los contengan deberán estar adecuadamente etiquetados.[9]

5.12.2. Legislación comunitaria

5.12.2.1. Precedentes legislativos

En la reunión de octubre de 2002 los ministros de Agricultura de los Quince no se pusieron de acuerdo sobre las propuestas de la Comisión Europea en relación con la comercialización de productos con o a base de organismos genéticamente modificados.

Hasta el momento actual, el Catálogo Común de Variedades Comerciales de Semillas cuenta con sólo dos variedades de semillas OGM, y por tanto son ellas las que se pueden comercializar en la UE. Obtuvieron su autorización en base a la Directiva 90/220.

Desde el año 1997, es obligatorio etiquetar la presencia de OGM como tales, o en los productos que se pongan a disposición de los consumidores.

El reglamento sobre los nuevos alimentos establece el etiquetado obligatorio de los alimentos y de los ingredientes alimentarios que contienen OGM o estén constituidos por ellos. Desde enero del 2000, según el R 50/2000, los aditivos y los aromas también tienen que ser etiquetados obligatoriamente cuando ADN o proteínas resultantes de una modificación genética están presentes en el producto final.

El R 49/2000 contempla el problema de la contaminación accidental de productos alimentarios clásicos por material genéticamente modificado. Fija un umbral mínimo del uno por ciento para el ADN o las proteínas procedentes de una modificación genética, por debajo del cual no es necesario etiquetar si los

[9] *Vide*: Agro Cajas - Boletín al servicio de la agricultura, ganadería y pesca de España en el marco de la UE. Nº 199. Septiembre de 2002.

operadores puedan demostrar que han tomado las medidas apropiadas para evitar la presencia de material genéticamente modificado.

Actualmente no existe una legislación comunitaria específica que requiera el etiquetado de alimentos para el ganado a base de OGM. Le son de aplicación las reglas generales de la Directiva 90/220.

5.12.2.2. Nuevas propuestas legislativas

Las nuevas propuestas legislativas de la Comisión Europea sobre OGM van dirigidas a instaurar un sistema armonizado de trazabilidad y etiquetado, introduciendo la obligatoriedad de etiquetados de los alimentos OGM para animales, y reforzando las reglas actuales relativas al etiquetado de los productos alimentarios genéticamente modificados, e introduciendo un procedimiento simplificado de autorización para la utilización de OGM en los productos alimentarios y alimentos para los animales y la diseminación voluntaria de estos productos en el medio ambiente.

Se pretende crear, con ello, una reglamentación rigurosa y cubrir los vacíos jurídicos existentes, respondiendo eficazmente a las inquietudes de los ciudadanos, de las asociaciones de consumidores y de algunos operadores económicos.

Según la Comisión, una evaluación rigurosa de la seguridad de los OGM garantizará un nivel elevado de protección de la salud y del medioambiente. El etiquetado de todos los productos alimentarios y forrajes para el ganado genéticamente modificados, permitirá a los consumidores y a los agricultores decidir si ellos desean o no comprar alimentos o forrajes elaborados a partir de un OGM. Concretamente las propuestas de la Comisión consisten en:

1. Propuesta de reglamento sobre la trazabilidad y etiquetado de un OGM y de productos derivados de OGM.
2. Propuesta de reglamento sobre los productos alimentarios y los alimentos para animales genéticamente modificados.

CAPÍTULO 5

- MEJORA VARIETAL EN EL DELTA DEL NILO -

1. Introducción

El arroz es uno de los principales cultivos de Egipto. La superficie cultivada de arroz en este país norteafricano es de cerca de 450.000 hectáreas, la cual constituye aproximadamente el 15% del área total cultivada en Egipto durante el verano. La producción de arroz *paddy* es de 5-6 millones de toneladas y el rendimiento medio nacional es de 9,1 Tm/Ha.

La franja del cultivo de arroz está restringida a la mitad Norte del delta del Nilo. Las seis provincias del norte, llamadas Dakahlia, Kafr El-Sheikh, Beheira, Sharkia, Gharbia y Damietta constituyen el 98% de la extensión total del cultivo del arroz.

Sin tierra disponible para una mayor expansión y con los recursos hídricos limitados, Egipto encabeza un Programa bien organizado para la Investigación y Desarrollo del Arroz con el objetivo de incrementar la productividad. Manteniendo esto en su punto de mira, se estableció un programa, a principios de los años ochenta, en el que se comprometían a lo siguiente:

- Mejora varietal para desarrollar nuevas variedades de alto rendimiento y baja altura, maduración temprana y resistentes a factores bióticos y abióticos estresantes y con una calidad de grano superior.
- Agronomía para desarrollar tecnologías para el logro de un manejo eficiente de la nutrición, riego y prácticas culturales y maximizar así el rendimiento de las nuevas variedades.

- Protección de plantas contra malas hierbas, enfermedades, insectos y demás plagas.
- Producción de semillas para poner a disposición del agricultor semillas puras y de gran calidad de nuevas variedades de elevado rendimiento.
- Expansión y asesoramiento para verificar y transferir nuevas tecnologías a los agricultores.

En el esfuerzo para ampliar la investigación del arroz en Egipto, se estableció el Centro de Investigación del Arroz y Formación (RRTC – *Rice Research and Training Center*) en Sakha, con el apoyo del Ministerio de Agricultura de Egipto, el Instituto Internacional de Investigación del Arroz y la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional.

El RRTC de Sakha está dotado de un completo equipamiento para la investigación, tal y como laboratorios, invernaderos, biblioteca, testador de semillas y procesadores,… Los recursos humanos del RRTC constan de 120 investigadores, 22 altos cargos, 50 asistentes de los investigadores y 50 técnicos.

La intensiva investigación llevada a cabo durante las dos últimas décadas ha obtenido excelentes resultados. La productividad media nacional aumentó un 59%, o sea, de las 5,71 Tm/Ha durante el periodo 1984-1986 a las ya mencionadas 9,1 Tm/Ha en el año 2000. Semejante éxito ha sido posible mediante la siguiente multidisciplinar investigación:

A. Difusión de variedades de baja altura, maduración temprana y elevado rendimiento, a saber: *Giza 177*, *Giza 178*, *Sakha 101*, *Sakha 102*, *Giza 181* y *Egyptian Yasmine*.

B. Un mejor manejo de los nutrientes, incluyendo el zinc, y un eficiente uso del nitrógeno en los viveros y en los campos definitivos.

C. Aumento del control químico de las malas hierbas en aproximadamente un 12% del área de arroz en 1981 hasta un 51% en el año 2000.

D. Incremento en la renovación de semillas a razón del 40% en 1981 hasta el 60% en el 2000.

E. Uso de una dirección integrada, incluyendo resistencia genética, prácticas culturales y control químico.

F. Reforzar la relación entre la investigación, la difusión y los cultivadores de arroz a través de una eficiente Campaña de Producción Nacional de Arroz.

G. Dirigir programas de formación nacionales e internacionales para investigadores sobre la tecnología para la producción de arroz.

H. Exposición de investigadores para nuevos desarrollos y tecnologías en la ciencia del arroz, asistiendo a conferencias, cursos y talleres, dentro y fuera del país.

Tabla 5.1. Tendencia del crecimiento de la superficie, producción y productividad del arroz en Egipto durante el periodo 1984 - 2000

Año	Superficie			Producción			Productividad		
	Ha (10^6)	Incre-mento sobre 1984-86 (%)	Incre-mento anual (%)	Tm (10^6)	Incremento sobre 1984-86 (%)	Incremento anual (%)	Tm/ Ha	Incre-mento sobre 1984-86 (%)	Incremento anual (%)
1984-86	0,420	-5,48	-	2,40	-	-	5,71	-	-
1987-89	0,397	-5,48	-5,48	2,42	0,83	0,83	6,12	7,18	7,18
1990-92	0,567	35,00	42,82	3,50	45,83	44,63	7,50	31,35	22,55
1993-95	0,565	34,52	-0,35	4,50	87,50	28,57	7,97	39,58	6,27
1996-98	0,587	39,76	3,89	4,93	105,42	9,56	8,47	48,34	6,27
1999-00	0,656	56,67	11,75	5,85	143,75	18,66	8,96	56,92	5,79

2. Mejora varietal

2.1. Introducción

A principios de los años ochenta, las dos variedades de grano corto japónica *Giza 171* y *Giza 172* ocupaban más del 90% del área de arroz de Egipto. *Giza 171* (*Nahda/Calady 40*) y *Giza 172* (*Nahda/Kinmaze*), aunque de

bastante rendimiento, tienen una maduración tardía, son susceptibles al hongo *Pyricularia oryzae*, incluso a niveles moderados de nitrógeno.

Los objetivos del cultivo actual y de la producción de semilla son los siguientes:

1. Desarrollar nuevas variedades que mantengan una producción de grano superior a 10 Tm/Ha, maduración temprana (duración total de 125 a 135 días), baja estatura (90-100 cm), resistencia múltiple a enfermedades (*Pyricularia oryzae*, *Helmintosporium* -manchas marrones-,…) e insectos (taladro del tallo o *Chilo* y minador de la hoja) y una mayor calidad del grano, o sea, elevada translucidez y buen rendimiento industrial en el molino de granos enteros.
2. Desarrollar un elevado cultivo de variedades adaptadas a condiciones fenotípicas adversas (salinidad, tolerancia a la sequía y a las elevadas temperaturas).
3. Desarrollar híbridos de arroz con grano de calidad preferente para el consumidor.
4. Desarrollar nuevas “plantas tipo” con un potencial de rendimiento genético aumentado.
5. Desarrollar un elevado rendimiento de arroz aromático para abastecer los mercados nacionales e internacionales.
6. Evaluar, caracterizar, catalogar y mantener los bancos genéticos nacionales.
7. Dirigir estudios básicos para comprender el mecanismo genético de los rasgos económicos.
8. Mantener la pureza de las variedades comerciales, mediante un eficiente mantenimiento de la reproducción y producción de semilleros, creación y registro de semillas bajo una cuidadosa supervisión.

Los esfuerzos en investigación de los últimos 15 años, superando objetivos propuestos, han ayudado a desarrollar y realizar ocho nuevas variedades de elevado rendimiento (véase la Tabla 5.2) llamadas *Giza 177*,

Giza 178, *Sakha 101*, *Sakha 102*, *Egyptian Yasmine*, *Sakha 103*, *Sakha 104* y *Giza 182.*

Con la extensión de nuevas variedades de elevado rendimiento, hubo un marcado incremento de la producción y de la productividad del arroz en el país. Durante el quinquenio 1996-2000, ha habido un incremento del 30% en la producción y un 12% en el rendimiento por hectárea. Durante este mismo periodo, el área cultivada por las nuevas variedades mejoradas se incrementó y, consecuentemente, el área de las antiguas variedades *Giza 171* y *Reiho* decreció de forma marcada. La disponibilidad de un mayor número de variedades alternativas ha ayudado a romper con el sistema de prevalencia del monocultivo y evitar los riesgos de tal sistema en el combate de enfermedades y plagas.

Tabla 5.2. Variedades de alto rendimiento desarrolladas e iniciado su cultivo durante el periodo 1995-1997

Variedad	**Padres**	**Año del cruzamiento**	**Año de inicio del cultivo**	**Ecosistema recomendado**
Giza 177	*Giza 171/Yomji Nº 1// Pi Nº 4*	1986	1995	Suelo normal
Giza 178	*Giza 175/Milyang 49*	1987	1997	Suelo normal y salino
Sakha 101	*Giza 176/Milyang 79*	1988	1997	Suelo normal
Sakha 102	*GZ 4096/Giza 177*	1990	1997	Suelo normal
Sakha 103	*Giza 177/Suweon 349*	1991	2000	Suelo normal
Sakha 104	*GZ 4096-8-1/GZ 4100-9-1*	1990	2000	Suelo normal y salino
Giza 182	*Giza181/IR39422-163-1-3//Giza 181*	1990	2000	Suelo normal
Egyptian Yasmine	Introducción y selección de línea pura	1992 (año de introducción)	1997	Suelo normal

El estudio más específico de cada una de ellas puede verse en el epígrafe siguiente.

2.2. Características más destacadas de las variedades recientemente difundidas

1. Giza 177

De grano corto apreciado, se trata de una variedad tipo japónica desarrollada a partir del cruzamiento entre *Giza 171/Yomji nº 1//Pi nº 4* como la línea de obtención 4120-205. Se obtuvo en 1995 como la primera variedad de arroz de maduración temprana. *Giza 177* se convirtió en una variedad apreciada desde que se obtuvo porque era unos 30 a 40 días de ciclo más corto que las viejas variedades dominantes tardías y altas, *Giza 171 y Giza 172*. Además, sobre un 10% más de producción que *Giza 177*, aumenta de forma importante con un ligero descenso del marco de plantación para compensar la baja capacidad de ahijamiento. También está caracterizada por la elevada resistencia a ataques de la enfermedad de la *Pyricularia oryzae*, su elevado rendimiento en el molino y unas excelentes cualidades organolépticas y culinarias.

2. Giza 178

Se ha obtenido del cruce *Giza 175/Milyang 49*. Se realizó en 1997, es tolerante a la salinidad y a la alcalinidad y está muy adaptada a los suelos afectados por sal. *Giza 178* es similar a uno de sus padres, *Giza 175*, en lo que se refiere al tipo de planta y grano, pero es superior a *Giza 175* en rendimiento y calidad del grano, y tiene una particular calidad organoléptica cuando se consume, por lo cual gusta más al consumidor que *Giza 175*. Posee un elevado potencial de rendimiento, superando cualquier otra variedad comercial cultivada por el momento. *Giza 178* es también muy resistente al hongo *Pyricularia oryzae*.

3. Sakha 101

Se trata de una variedad desarrollada a partir del cruzamiento *Giza 176/Milyang 79*. Se caracteriza por poseer una madurez intermedia y granos cortos. Se obtuvo en 1997 como una alternativa a *Giza 176*. Se difundió rápidamente debido a su resistencia a la enfermedad de la *Pyricularia* y su elevada producción. Es superior en cuanto a la calidad del grano, con un elevado rendimiento en molino y de granos translúcidos.

4. Sakha 102

Una variedad desarrollada a partir del cruce *GZ 4096/Giza 177* obtenida en RRTC, es la denominada *Sakha 102*. Como *Giza 177*, tiene el ciclo de cultivo más corto (120 días) pero sus plantas son ligeramente más grandes. Se obtuvo en 1997 como una variedad de elevada producción, caracterizada por una gran resistencia a *Pyricularia oryzae* y un grano de excelente calidad.

5. Sakha 103

Esta variedad tiene una maduración temprana (120 días), baja estatura, resistencia a plagas y grano corto de excelentes cualidades de tipo japónica. Se obtuvo a partir del cruzamiento entre *Giza 177 x Suweon 349*.

6. Sakha 104

Ésta es todavía una variedad de más temprana maduración, baja estatura, grano corto de calidad japónica, combinando la resistencia a *Pyricularia oryzae* y al insecto barrenador del tallo (*Chilo simplex o supresalis*). Es indicada para las áreas salinas y para zonas donde el agua de riego tiene cierta concentración de sales. Se obtuvo a partir del cruzamiento de *GZ 4096-8-1 x GZ 4100-9-1.*

7. Giza 182

Esta variedad posee el grano largo y muy translúcido, con una capacidad de elevada producción, temprana (130 días), bajo contenido en amilasa, desarrollada mediante el método de retrocruzamiento ("backcross") del cruce entre *Giza 181/IR 39422-163-1-3* usando *Giza 181* como padre recurrente.

8. Egyptian Yasmine

Se trata de una variedad de grano aromático u oloroso, seleccionada de introducciones que venían directamente del Programa Internacional de Ensayo de Arroz (IRTP). El origen de la variedad es la *Yasmine 85* originaria de USA. Se obtuvo en 1997 y se cultiva de forma comercial. Aunque su producción es más baja que el de las otras variedades comunes de arroz, su precio es cuatro veces más elevado.

Su éxito ha sido posible gracias a la generación de un gran volumen de material reproducido utilizando un elevado número de fuentes de germoplasma, siguiendo varios métodos de reproducción y estrategias. En general, las estrategias de reproducción para alcanzar la meta supusieron la explotación de los cuatro siguientes proposiciones y tecnologías:

a) Hibridación. Se ha utilizado como una herramienta principal para la generación de material reproducido y transferir y mantener los caracteres deseados. Se efectúan cada año unos 500 cruzamientos simples y múltiples, con unos objetivos bien definidos y cada uno de los individuos de la primera generación filial (F1) se cultiva en invernadero y en Filipinas en invierno, para acelerar el ciclo de reproducción.

b) Cultivo. Para acelerar el programa de reproducción, algunos cruzamientos seleccionados (10-20 F1) se cultivan en el laboratorio de RRTC cada año para desarrollar otras líneas de cultivo derivadas.

c) Introducciones. Egipto ha participado activamente en el programa IRRI-INGER desde su establecimiento en 1976. Esta red apoya la reproducción nacional de arroz con un elevado volumen de posibles materiales obtenidos para ser evaluados bajo sus condiciones. Por otra parte, se está recibiendo anualmente material genético de países donde se cultiva el arroz, como por ejemplo Japón, China, India, USA, así como algunas instituciones, como por ejemplo CIAT y WARDA.

d) Inducción a la mutación. Se realiza con cada objetivo específico para mejorar las variedades locales tradicionales y también para crear más variabilidad.

2.3. Resultados significantes y logros

La investigación actual en la reproducción, en general, incluye los siguientes apartados:

1. Recogida, mantenimiento y caracterización de germoplasma

Se catalogaron un total de 4.000 registros de entrada procedentes de 95 países del mundo donde se cultiva arroz. Esos registros fueron evaluados bajo condiciones egipcias y mantenidas en RRTC usando un sistema de almacenamiento a corto plazo y a una temperatura de 5ºC.

2. Padres y nuevos cruzamientos

Un total de 100 genotipos seleccionados se cultivaron anualmente para hacer nuevos cruzamientos con el fin de desarrollar nuevas combinaciones y cumplir los objetivos de la cría. Además, se realizaron cada año alrededor de 500 – 600 nuevos cruzamientos para cubrir todos los programas (véase la Tabla 5.3, en que se analiza un periodo de 14 años, con sus medias aritméticas correspondientes).

3. Líneas de cría

a) Suelo normal y salino. Durante los últimos 15 años, cerca de 4002 líneas "pedigree" (F3-F5) se evaluaron en las Estaciones de Investigación de Sakha (suelos normales) y Sirw (suelos salinos). Las líneas seleccionadas con fenotipo de elevada aceptabilidad, resistencia a *Pyricularia oryzae*, tolerancia a la salinidad, madurez temprana y una calidad del grano aceptable fueron promovidas de la F3 a la F5 – F6 (véase la Tabla 5.4) para ser evaluadas en las pruebas de producción replicadas multilocalizadas.

Tabla 5.3. Volumen de los nuevos cruzamientos y aumento de poblaciones F1 y F2 durante el periodo 1987 – 2000

Año	Generaciones				
	Nuevos cruzamientos		F_1	F_2	
	Sencillos	Dobles	Sakha (Sum.)	Sencillo	Doble
1987	400	200	62	123	115
1988	243	157	130	257	94
1989	410	127	288	116	89
1990	230	99	257	296	137
1991	227	126	175	183	62
1992	350	115	292	150	79
1993	370	120	150	200	35
1994	300	200	369	250	85
1995	390	150	400	180	42
1996	380	189	562	250	51
1997	350	180	400	200	52
1998	395	150	190	120	68
1999	400	200	341	170	32
2000	410	165	327	190	56
Media	**347**	**156**	**282**	**192**	**71**

Tabla 5.4. Volumen de semillero “pedigree” evaluado en Sakha (suelos normales) y Sirw (suelos salinos), 1992 - 2000

Generación	Líneas de Pedigree (nº)									
	1992	**1993**	**1994**	**1995**	**1996**	**1997**	**1998**	**1999**	**2000**	**Media**
F_3										
Suelo normal	3.362	2.021	2.796	2.581	2.100	2.455	1.622	1.599	1.500	2.474
Suelo salino	110	190	240	230	295	285	500	270	190	285
F_4										
Suelo normal	1.375	876	926	950	920	980	524	608	712	972
Suelo salino	90	164	227	223	296	280	470	212	172	237
F_5										
Suelo normal	783	554	653	1.508	727	785	837	1.081	887	868
Suelo salino	18	83	135	100	304	185	218	397	375	202
Total										
Suelo normal	**5.520**	**3.451**	**4.375**	**5.039**	**3.747**	**4.220**	**2.983**	**3.288**	**3.099**	**4.002**
Suelo salino	**218**	**437**	**602**	**553**	**895**	**750**	**1.188**	**879**	**737**	**695**

b) Tolerancia a la sequía y a las elevadas temperaturas. Manteniendo en perspectiva los escasos recursos hídricos disponibles, se consideró deseable iniciar esfuerzos en el desarrollo de variedades que reunieran algún grado de tolerancia al estrés causado por humedad. En las áreas como *New Valley*, donde la temperatura se mantiene elevada, se requieren variedades que sean tolerantes al calor.

Las líneas de reproducción de Sakha, como las variedades introducidas de otros lugares, fueron sujetas a investigación (“screening”) bajo ambas condiciones. Algunas líneas han sido identificadas por ser bastante prometedoras. Como se puede observar en las Tablas adjuntas 5.5 y 5.6 las líneas que prometían ser más tolerantes a la sequía fueron *GZ 5830-59-10-2-1, GZ 5385-3-2-3 y GZ 5574-1-1-3* y líneas como *WAB 56-125 e IDSA 77* resultaron ser las más tolerantes a las elevadas temperaturas.

La tolerancia varietal a la sequía y a las bajas temperaturas quedan contrastadas en las dos tablas siguientes.

Tabla 5.5. Mejores registros seleccionados bajo condiciones de sequía, Sakha 2000

Nº	Registros	Espigado (días)	Altura planta (cm)	Nº panículas /planta	Rendimiento del grano (g/m^2)	Rendimiento en molino (%)	Amilasa (%)
1	*GZ 5830-59-10-2-1*	95	74	16	650	69,90	20.60
2	*GZ 5291-6-1-1-1*	95	73	15	625	69,10	16.90
3	*GZ 5385-3-2-3-1-1*	98	70	14	675	72,20	18.70
4	*GZ 5574-1-1-3-1-1*	97	79	13	625	69,50	19.06
5	*IET 1444 (Ck)*	100	75	14	525	71,00	23.50

Tabla 5.6. Mejores variedades tolerantes a las elevadas temperaturas de Sakha y New Valley, 2000

Nº	Variedad	Espigado (días)		Altura de la planta (cm)		Rendimiento del grano (g/m^2)	
		Sakha	New Valley	Sakha	New Valley	Sakha	New Valley
1	*N 22*	100	90	114	65	760	450
2	*IDSA 77*	102	97	126	95	810	500
3	*WAB 96-1-1*	105	97	146	85	790	470
4	*WAB 56-125*	101	95	138	112	950	700
5	*CUTABANA*	104	98	149	99	710	400
6	*IRAT 104*	103	98	136	101	690	370

c) Evaluación de variedades aromáticas. Algunas variedades aromáticas introducidas del IRRI y otros lugares fueron evaluadas por su comportamiento en Egipto. Las líneas aromáticas como *Pusa Basmati – 1 (IET 10364), IR 65610-38-2-4-6-3, IR 76023-30-3-3-2-26, IR 67409-132-2-1-2-1* y *Egyptian Yasmine* se consideraron bastante convenientes para las condiciones de Egipto. Algunos de sus caracteres más importantes se pueden observar en la Tabla 5.7, en que se analizan cinco de ellos de tipo cuantitativo (espigado, altura de la planta, rendimiento del grano, rendimiento en molino y contenido de amilasa) y uno de ellos de tipo cualitativo (aroma).

Tabla 5.7. Mejores variedades de arroz aromático - 2000

Pedigree	Espigado (días)	Altura de la planta (cm)	Rendimiento del grano (g/m^2)	Rendimiento en molino (%)	Amilasa (%)	Aroma
IET 10364 (Pusa Basmati-1)	100	106	935	72,8	20,9	Muy bueno
IR 65610-38-2-4-6-3	100	100	988	68,0	21,3	Muy bueno
IR 76023-30-3-3-2-26	104	110	907	72,0	20,6	Muy bueno
IR 67409-132-2-1-2-1	102	118	950	65,5	20,2	Muy bueno
Egyptian Yasmine	98	98	700	72,8	18,0	Muy bueno

2.4. Desarrollo de otras líneas culturales derivadas

Para desarrollar líneas de homocigotos encaminadas a acelerar un año el ciclo de la reproducción, se está usando otra técnica de cultivo desde 1992 en el Laboratorio de Cultivo del RRTC. Alrededor de otros diez cruzamientos seleccionados se cultivaron cada año y se generaron un elevado número de plantas haploides dobles. Éstas, entonces, se trasladaron al campo y se evaluó su comportamiento con respecto al rendimiento y otros rasgos deseables. La actuación de otras diez prometedoras líneas derivadas se puede observar en la siguiente tabla:

Tabla 5.8. Comportamiento del rendimiento de las líneas seleccionadas AC en suelo normal – Año 2000

Entrada		Duración del cultivo	Altura de la planta	Hijuelos/ planta	Rendimiento (Tm/Ha)
Sakha 104 (ck)		138,0	110,0	22,0	9,46
GZ 4596-3-3-2/Geyhwa 7	*(AC 1449)*	122,0	92,0	28,0	9,43
GZ 4596-3-3-2/Geyhwa 7	*(AC 1453)*	129,0	122,0	31,0	9,23
Giza 159/BL 1	*(AC 1534)*	124,0	98,0	29,0	9,77
GZ 4596-3-3-2/TKY 1014	*(AC 1604)*	126,0	99,0	27,0	9,65
GZ 4596-3-3-2/TKY 1014	*(AC 1605)*	124,0	99,0	33,0	9,55
GZ 4596-3-3-2/TKY 1014	*(AC 1608)*	118,0	118,0	21,0	9,17
GZ 4596-3-3-2/TKY 1014	*(AC 1610)*	120,0	101,0	24,0	9,26
GZ 4596-3-3-2/TKY 1014	*(AC 1641)*	128,0	95,0	27,0	9,42
GZ 5470-14-1/IR 61633-B-2//G.178	*(AC 1270)*	125,0	118,0	29,0	9,32
GZ 4596-3-3-2/GZ 5319-12-2	*(AC 1393)*	133,0	95,0	28,0	9,69

2.5. Arroz híbrido

Alentados con el hecho histórico de China y también de algunos otros países, Egipto empezó su programa de obtención de arroz híbrido en 1995 con el objetivo de desarrollar arroz híbrido con un grano de las características del "japónica" para realizar un incremento substancial en la producción a través de la explotación del fenómeno de la heterosis. Un elevado número de líneas citoplasmáticas de machos estériles fueron introducidas, evaluadas y probados sus cruzamientos para identificar conservadores y restauradores en el germoplasma nativo, especialmente de grano de calidad japónica. El esfuerzo llevado a cabo en los últimos cinco años ha ayudado a generar suficiente material como para establecer un banco completo de reproducción para saber la fuente del semillero, semillero de ensayo de cruzamiento y semillero de retrocruzamiento, combinando la capacidad de reproducción, la observación de la prueba de producción del semillero y otras evaluaciones. Varias líneas están en una etapa de avanzado retrocruzamiento para el desarrollo de líneas estériles de machos citoplasmáticos locales. Un buen número de combinaciones híbridas han sido evaluadas por el resultado de la producción. En la Tabla 5.9 se recogen cinco combinaciones de híbridos que han ofrecido unos resultados muy prometedores. Esto es:

Tabla 5.9. Las mejores combinaciones de híbridos (HC), 2000

Entrada	**Padres**	**Rendimiento (Tm/Ha)**		**Rendimiento medio (Tm/Ha)**		**HE% ***	
		Suelo normal	**Suelo salino**	**Suelo normal**	**Suelo salino**	**Suelo normal**	**Suelo salino**
SK 2001 H	*IR 68888 A/Giza 178 R*	7,600	4,400	1,000	0,934	15,15	26,95
SK 2002 H	*IR 69625 A/Giza 178 R*	8,440	5,054	1,840	1,588	27,88	45,82
SK 2003 H	*IR 70368 A/Giza 178 R*	7,560	4,806	0,960	1,334	14,55	38,66
SK 2004 H	*IR 69625 A/Giza 181 R*	8,425	5,134	1,825	1,668	27,65	48,12
SK 2004 H	*IR 69625 A/Giza 1821R*	7,800	3,966	1,200	0,500	18,18	14,43
Giza 178	Endogamia local	6,600	3,466	-	-	-	-

*HE: Heterosis estándar = (Rendimiento de la combinación híbrida – rendimiento *Giza 178*) x 100 / Rendimiento *Giza 178*

2.6. Colaboración internacional en investigación

Las actividades de colaboración en investigación fueron llevadas a cabo entre RRTC, IRRI, USA, FAO, China, India y otras agencias para ampliar la base o fondo genético de las variedades egipcias. Varios semilleros, constituidos por material genético diverso, cultivaron e investigaron dentro de este programa. Las líneas deseadas se han utilizado en Centros del programa de cría. En este sentido de colaboración científica, cabe destacar los siguientes extremos:

a) Lanzamiento a la reproducción. El objetivo de este semillero es la reducción del número de años que se necesitan para desarrollar una variedad para aprovecharse de los semilleros de fuera de temporada de IRRI. Más adelante, los materiales de reproducción obtenidos después de la selección en dos aspectos ambientales combinan ampliamente la adaptabilidad y una elevada resistencia/tolerancia contra el estrés. Se plantaron alrededor de 150 F1 cruzamientos en el IRRI durante el invierno para ser cultivados en Egipto como F2.
b) Nuevas introducciones. La diversificación de la constitución genética de los materiales locales se puede alcanzar a través de nuevas introducciones de diferente arroz cultivado en otros países, como por ejemplo China, India, Filipinas, USA, así como la región mediterránea. Se introdujeron varios nuevos genotipos, se evaluaron posteriormente y se utilizaron en el programa de cruzamiento.
c) Red Internacional de Evaluación Genética del Arroz (INGER). Egipto ha participado en este programa desde 1976; cada año ha recibido alrededor de 500-600 entradas procedentes de cultivos de arroz de distintos países para ser evaluados bajo las condiciones egipcias. De acuerdo con sus comportamientos y aceptabilidad de su excelente fenotipo, se utilizan más adelante.

2.7. Pruebas de producción multi-localizadas

Las intensivas pruebas realizadas de las líneas más prometedoras en varios lugares, durante 2-3 años, es sin duda el componente más importante del programa de mejora varietal. Las líneas seleccionadas del semillero "pedigree", semillero INGER y nuevas introducciones exóticas fueron evaluadas en tres etapas: preliminarmente, regional y finalmente, que reprodujeron pruebas de producción en diferentes lugares durante varios años en suelos salinos y normales (véase Tabla 5.10). Durante el periodo de 1987-2000, las medias del número de líneas evaluadas anualmente en las pruebas de producción preliminar, regional y final fueron de 97, 22 y 12, respectivamente. Concretamente, en los nueve años del período 1992-2000 se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 5.10. Realización de diversas pruebas de evaluación durante el periodo 1992-2000

Pruebas de rendimiento	**Registros (nº)**										**Localización**
	1992	**93**	**94**	**95**	**96**	**97**	**98**	**99**	**2000**	**Media**	
Preliminar	90	102	100	132	143	130	92	154	147	121	Sakha, Sirw.
Regional	28	26	24	30	34	30	30	32	34	30	Sakha, Gemmiza, Zarzoura, Sirw.
Final	12	12	12	12	12	12	12	12	14	12	Sakha, Gemmiza, Zarzoura, Sirw.
En la finca	10	8	6	5	6	8	5	6	6	7	En diez fincas de agricultores.
Total	**140**	**148**	**142**	**179**	**195**	**180**	**139**	**204**	**201**	**170**	

En la base del potencial total de rendimiento, la consistencia de la resistencia al hongo *Pyricularia oryzae*, la baja altura y la maduración temprana, se encontraron ocho variedades que pueden ser altamente prometedoras. Éstas son:

1. *Giza 177* 2. *Giza 178* 3. *Sakha 101*
4. *Sakha 102* 5. *Sakha 103* 6. *Sakha 104*
7. *Giza 182* 8. *Egyptian Yasmine*

En general, estas variedades combinan su elevado rendimiento con la baja altura de la planta, maduración temprana y resistencia al hongo *Pyricularia oryzae* (Tabla 5.11).

Tabla 5.11. Media de la producción y características auxiliares de las variedades mejoradas en comparación con las variedades tradicionales

Variedad	Rendimiento (Tm/Ha)	Altura de la planta (cm)	Duración del ciclo (días)	Reacción frente a *Pyricularia*	Forma del grano	Rendimiento en molino (%)
Tradicional:						
Giza 171	8,05	137	155	Susceptible	Corto	71,0
Giza 172	8,35	127	147	Susceptible	Corto	70,5
Giza 176	8,65	98	145	Susceptible	Corto	69,0
Giza 181	9,15	103	144	Resistente	Largo	69,2
Media	**8,55**	**116,25**	**147,75**	**-**	**-**	**69,93**
Mejorada:						
Giza 177	9,80	100	124	Resistente	Corto	73
Giza 178	10,85	104	135	“	“	70
Sakha 101	11,95	99	142	“	“	71
Sakha 102	10,45	108	124	“	“	72
Sakha 103	10,80	98	120	“	“	72
Sakha 104	11,25	105	132	“	“	71
Giza 182	11,00	94	129	“	Largo	70
E. Yasmine	9,70	100	150	“	Largo	68
Media	**10,73**	**101**	**132**	**-**	**-**	**70,88**

3. Producción de semilla

3.1. Introducción

La disponibilidad de la semilla de buena calidad constituye la columna vertebral de la agricultura moderna. De acuerdo con algunas estimaciones efectuadas, la semilla de buena calidad asegura un incremento de la producción en al menos un 10%. La semilla de calidad combina pureza

genética, uniformidad, viabilidad, vigor y sanidad (libre de cualquier enfermedad).

Manteniendo en todo momento este punto de vista, el Ministerio de Agricultura egipcio se ha propuesto conseguir producir suficiente semilla de buena calidad para plantar el 70% del área de cultivo de arroz cada año. Esto implicaría producir semilla nueva del año capaz para el abastecimiento de unas 315.126 hectáreas. Por lo tanto, el Programa de Investigación del Arroz ha establecido una unidad de producción de semilla con los siguientes componentes bien definidos:

- Mantenimiento de la reproducción para mantener la pureza genética de todas las variedades recomendadas.
- Multiplicación de la semilla a partir de la creación de semilleros-base, lo que incrementa el coeficiente de multiplicación de semilla para el área de producción.
- Purificación intensiva de todos los materiales.
- Multiplicación de la semilla recomendada para distribuir a los agricultores.

De todos los citados, los dos primeros componentes son llevados a cabo por la institución de investigación y el último por los agricultores del estado para cultivar la semilla registrada con cultivadores contratados para producir semilla certificada a través de MOAS Administración Central para la Semilla (CAS).

Como se puede observar en la siguiente Tabla 5.13, durante el periodo 1996-2000, un total de 1.713 Tm de semilla base y 16.004 Tm de semilla registrada fueron producidas en 358 y 3.340 Ha de tierra, respectivamente. De éstas, 100 Ha (base) y 1.149 Ha (registradas) se cultivaron con las variedades *Sakha 101, Sakha 102, Sakha 103, Sakha 104, Giza 177, Giza 178, Giza 181* y *Giza 182*, tal como se indica de un modo suficientemente exhaustivo en la Tabla 5.12. A saber:

Tabla 5.12. Área dedicada a la producción de semilla de variedades comerciales (1996-2000)

Variedad		Clase de semilla y extensión		
		Semillero (plantas)	**Base (Ha)**	**Registrada (Ha)**
Grano Corto	*Giza 177*	600	19,80	277,20
	Giza 178	400	14,50	239,25
	Sakha 101	600	22,80	376,20
	Sakha 102	600	15,54	256,41
	Sakha 103	400	7,14	-
	Sakha 104	400	7,14	-
Grano largo	*Giza 181*	200	4,20	-
	Giza 182	200	4,60	-
	E. Yasmine	200	4,20	-
	Total	**3.600**	**99,92**	**1.149,06**

Tabla 5.13. Superficies asignadas para la producción de semilla base y registrada (1996-2000)

Año	Base		Registrada	
	Superficie (Ha)	**Producción (Tm)**	**Superficie (Ha)**	**Producción (Tm)**
1996	62,01	286,38	558,44	2.267,53
1997	63,75	295,90	577,01	2.563,72
1998	67,75	297,63	580,40	2.662,84
1999	81,63	377,29	735,75	3.968,68
2000	83,00	455,38	887,99	4.540,82
Total	**358,14**	**1.712,58**	**3.339,59**	**16.003,59**

3.2. Semilla certificada

La CAS, en colaboración con el RRTC, renueva con éxito los productores de semilla en aproximadamente un 75% cada año.

La siguiente Tabla 5.14 presenta las cantidades de semilla certificada producida y distribuida para unas cuantas variedades. Durante el periodo estudiado 1996-2000, la CAS produjo anualmente cerca de 55.365 Tm de semilla, de las cuales 54.445 Tm fueron distribuidas a los cultivadores de arroz. El porcentaje de distribución fue más elevado para las variedades de grano corto (98,33%) que para las variedades de grano largo (100%), porque las cantidades de semilla certificada de grano largo es muy limitada, y en general fue de un 98,34%. La cantidad de semilla distribuida cada año fue suficiente para plantar unas 369,13 Ha a razón de 150 kg/Ha. Por consiguiente, el porcentaje de semilla renovada fue de un 87,88% y constituyó el principal factor en el gran incremento que tuvo lugar (33,41%) de la producción en la media nacional durante dicho periodo.

Tabla 5.14. Producción y distribución de semilla certificada por variedades

Variedad	**Producción**	**Distribución**		**Superficie**
	(1.000 Tm)	**(1.000 Tm)**	**(%)**	**(1.000 Ha)**
Giza 176	1,353	1,353	100,00	9,02
Giza 177	6,873	6,873	100,00	45,81
Giza 178	12,384	11,464	92,57	82,56
Sakha 101	24,402	24,402	100,00	162,70
Sakha 102	9,957	9,957	100,00	66,40
Subtotal	**54,969**	**54,049**	**98,33**	**366,49**
Giza 181	0,372	0,372	100,00	2,48
E. Yasmine	0,024	0,024	100,00	0,16
Subtotal	**0,396**	**0,396**	**100,00**	**2,64**
Total	**55,365**	**54,445**	**98,34**	**369,13**

La tasa de semilla es de 150 kg/Ha

La renovación de semilla es de: 369,13/420 = 87,89%

CAPÍTULO 6

- MEJORA VARIETAL EN LA PROVINCIA ITALIANA DE VERCELLI -

1. Introducción

El cultivo de arroz en la provincia de Vercelli se inició en el año 1493 y alcanza una extensión de 69.000 hectáreas.

Las variedades de arroz cultivadas en la zona son numerosas. Desde el punto de vista gastronómico y nutricional son consideradas como más apreciadas las llamadas *Sant Andrea*, *Baldo*, *Arborio* y *Nuovo Maratelli*. Gracias al valor de estas variedades, la provincia de Vercelli y la Cámara de Comercio de Vercelli están realizando la pertinente Marca de Calidad.

La normativa italiana clasifica el arroz en cuatro grupos:

- común u originario: la longitud del grano es inferior a 5,4 mm.
- semifino: la longitud del grano está comprendida entre 5,4 y 6,4 mm.
- fino y superfino: la longitud del grano es superior a 6,4 mm.

Por lo que respecta al arroz de calidad de la zona Vercellesa, la variedad *Maratelli* pertenece al grupo semifino, la *Sant Adrea* al grupo fino y *Baldo* y *Arborio* al grupo superfino.

2. Historia de la mejora genética

En Italia, las actividades relativas a la mejora de las variedades se iniciaron en los últimos años del siglo XIX por medio de la intervención espontánea de

agricultores particulares y se perfeccionaron después a cargo, principalmente, de la *Stazione Sperimentale di Risicoltura de Vercelli*.

El desarrollo de la mejora varietal se puede dividir en cuatro fases, teniendo en cuenta las ideas y los métodos, a saber:

1ª fase.- Aparecen las poblaciones varietales y se inicia la selección aproximada de las variedades: a partir de poblaciones autóctonas y de las importadas esporádicamente de países arroceros asiáticos; es la época en la que se cultivó el *Bertone*, *Nostrale*, *Puglione* y el *Novaresse*.

2ª fase.- Se caracterizó por importaciones periódicas de semilla y por una selección más rigurosa sobre las poblaciones de origen asiático.

Las enfermedades criptogámicas, que entonces diezmaban gravemente los cultivos, obligaron a los agricultores italianos a abandonar rápidamente las antiguas variedades indígenas y a utilizar semillas de origen japonés o coreano, o bien a cultivar selecciones derivadas de ellas.

Las variedades *Ostiglia*, *Ranghino*, *Lencino*, *Giapponese biondo* y *Nero* caracterizaron este período y constituyeron sólo una parte de las muchas empleadas; siguieron después *Originario*, *Maratelli*, *Vialone nero, Balilla Americano 1600* y otras muchas líneas de selección obtenidas de las variedades importadas.

3ª fase.- Se inicia la mejora mediante la hibridación y la posterior selección mediante el método genealógico o *pedigree*, que comienza a partir de la segunda generación. La mayor parte de las variedades cultivadas actualmente se han constituido mediante la aplicación de este sistema.

4ª fase.- Es la más actual, basada siempre en la hibridación, fundamentalmente entre variedades indígenas y extranjeras, o bien mediante las mutaciones inducidas. Se utiliza el procedimiento de selección por agrupamiento o *Bulk method*. La selección genealógica, o por línea pura, se inicia sólo después

de la quinta o sexta generación, desde el cruzamiento o la inducción de la mutación.

En cuanto a la adaptabilidad de las variedades, o sea, los genotipos aptos para su cultivo en distintos lugares, caben destacar *Arborio* y *Ribe*, ya que en la práctica son las variedades que han mostrado mayor adaptabilidad, seguidas de *Cripto* y *Lido*, con las que se obtienen producciones de una cierta estabilidad y uniformidad en numerosas y diferentes combinaciones de cultivo.[1]

3. Características de las variedades de arroz italianas

3.1. El ciclo de cultivo del arroz

La vida de la planta del arroz, como ya se ha explicado en otros apartados de este mismo libro, se puede dividir fundamentalmente en dos períodos:

a) período vegetativo,
b) período reproductivo.

Durante el primero, la planta forma las hojas y los tallos; abarca desde la siembra hasta la formación embrional de la panícula: aproximadamente 30 días antes de la floración. El segundo período comienza en la fase indicada y termina con la maduración de la cariópside.

El período vegetativo puede a su vez subdividirse -con un comienzo y una duración imprecisos- en dos fases: la del desarrollo básico y la del desarrollo vegetativo variable.

El primero, el básico, representa el tiempo mínimo necesario para que la planta pueda empezar el período reproductivo.

[1] *Vide* A. Tinarelli, “El arroz”; pág. 199-201

La fase vegetativa variable es aquella durante la cual la longitud del período vegetativo puede ser modificada por las condiciones ambientales externas.

Empíricamente, esta segunda fase se puede dividir en dos sectores: el primero es aquel durante el cual las temperaturas elevadas reducen su duración en el tiempo y las bajas lo prolongan (efecto de la “integral térmica”); el segundo es aquel en el que la duración e intensidad de la luz tienen las mismas funciones, pero en sentido inverso.

El ciclo vegetativo-cultural de la planta del arroz varía, pues, para cada variedad, en función de la distinta sensibilidad de cada una de las variaciones térmicas y luminosas, con interacciones complejas con la fecha de siembra y las condiciones nutritivas de la planta.

Por experiencia se sabe que la floración en las variedades tempranas o de ciclo corto no se adelanta cuando la siembra es temprana ya que, en general, este tipo de variedades manifiestan la termo-respuesta, incluso con temperaturas bajas. Son, muy a menudo, de ciclo vegetativo constante.

En el caso de una siembra temprana de variedades de ciclo largo, la floración se anticipa relativamente poco, porque la mayor parte de tales variedades comienzan a manifestar una termo-respuesta cuando la temperatura resulta un poco más elevada. Para muchas de ellas, la fecha de maduración es poco variable.

Desde la siembra a la maduración, el ciclo vegetativo del arroz en Italia oscila, según la variedad, entre un mínimo de 120 días y un máximo de 180 días. El ciclo de cultivo medio de las variedades cultivadas actualmente, independientemente de su diferente variabilidad, se indica en la siguiente tabla 6.1, donde se analiza el comportamiento en campo de 66 variedades italianas de arroz.

Tabla 6.1. Ciclo medio de cultivo de las variedades italianas.
Tempranas: < 145 días; semitempranas: 145 – 155 días; tardías: > 155 días

Variedades tempranas o de ciclo corto	**Ciclo medio días**	**Variedades semitempranas o de ciclo medio**	**Ciclo medio días**	**Variedades tardías o de ciclo largo**	**Ciclo medio días**
Precocísimo Molina	120	*Ice*	150	*Riva*	160
Cigalon	125	*Smeraldo*	150	*Argo*	160
Itálico	130	*Cripto*	150	*Carnaroli*	160
Titanio	130	*Lido*	150	*Pierina Marchetti*	165
Silla	135	*Sorriso*	150	*Redi*	165
Alfa	135	*Ringo*	150	*Roma*	165
Arborio precoce	135	*S. Andrea*	155	*Balilla*	165
Molo	140	*Bonnet Bell*	155	*Elio*	165
Rosa Marchetti	145	*Veneria*	155	*Radon*	165
Onda	145	*Ribe*	155	*Piemonte*	165
Gritna	145	*Romeo*	155	*Ribello*	165
Corallo	145	*Strella*	155	*Zenit*	165
Airone	145	*Rocca*	155	*Torio*	165
Ariete	145	*Belgioioso*	155	*S. Petronio*	165
Lomellino	145	*Arborio*	155	*Balilla gg*	170
Baldo	145	*Volano*	155	*Padano*	170
Nettuno	145	*Giara*	155	*Eurose*	170
Arpa	145	*Auro*	155	*Castello*	170
Sirio	145	*Bonni*	155	*Nero*	170
Monticelli	145	*Mistral*	155	*Europa*	170
Vialone nano	145	*Navile*	155	*Faro*	175
		Rodio	155	*Rubino*	175
		Rio	155		

Las variedades de ciclo largo y algunas de ciclo medio son, generalmente, de superior capacidad de producción, más resistentes al encamado y a los ataques parasitarios, aunque no siempre ello constituya una regla constante. Evidentemente, el modelo selectivo en Italia no ha sido todavía perfeccionado, como ha ocurrido en el Japón, hasta el punto de permitir la obtención de variedades muy productivas y resistentes y, al mismo tiempo, tempranas. Sólo recientemente la investigación genética tiende a alcanzar este objetivo, obteniendo en la variedad *Lido* la productividad deseada, junto con la resistencia demostrada a los agentes patógenos, parásitos y al encamado. Resulta conocido, en cualquier caso, que para la mayoría de los cereales una mayor duración o longitud del ciclo de cultivo (y la consiguiente mayor integral térmica alcanzada por el mismo) supone también una mayor productividad.

3.2. Adaptación a la siembra tardía

Los cultivos intercalares otoño-primaverales, la posibilidad de realizar el abonado en verde o los tratamientos herbicidas contra el arroz "salvaje" fácilmente desgranable, en sus múltiples variantes, pueden obligar a efectuar la siembra tardía del arroz, retrasándola al límite, hasta primeros del mes de junio incluso, para permitir la recolección de las forrajeras y de la colza.

Con motivo de todo lo que se ha expuesto en el apartado anterior, relativo a la influencia de la temperatura y de la luz en el cultivo, no todas las variedades se pueden cultivar en siembra tardía, después de la recolección de los cultivos precedentes; se podrán utilizar solamente las variedades de ciclo corto y medio que responden, de forma positiva, al retraso de la siembra. Evidentemente, el comportamiento positivo respecto al termofotoperíodo se manifestará de forma diferente según la evolución climática que tenga lugar principalmente durante los meses de julio-agosto; el resultado de la producción estará, pues, condicionado por dos factores fundamentales: el clima y las características genéticas.

En la tabla 6.2 se indica la fecha extrema en la que, con ciertos límites de seguridad y para la consecución de una producción aceptable, se pueden sembrar diferentes variedades.

Tabla 6.2. Variedades idóneas para la siembra tardía y fecha medio-máxima posible

Variedades	Fecha de siembra	Variedades	Fecha de siembra
Precocissimo Molina	5/6	*Nettuno*	20/5
Cigalon	5/6	*Monticelli*	20/5
Itálico	2/6	*Onda*	10/5
Titanio	2/6	*Gritna*	10/5
Silla	31/5	*Corallo*	10/5
Alfa	20/5	*Ariete*	10/5
Arborio precoce	20/5	*Lido*	10/5
Rosa Marchetti	25/5	*Cripto*	10/5
Molo	20/5	*Sant Andrea*	10/5
Lomellino	20/5	*Ringo*	10/5

Las fechas indicadas se refieren a situaciones medias que no tienen en cuenta, entre otras cosas, la variabilidad entre los diversos lugares de cultivo; por consiguiente, en el caso de que se registren situaciones térmicas del aire y del agua de riego menos favorables, se deben de anticipar, incluso de forma notable, las fechas de siembra, al objeto de conseguir una producción aceptable.

3.3. Tipo de planta y respuesta a la fertilización

La producción por unidad de superficie es la que se deriva de multiplicar el número total de panículas por su peso medio. Ahora bien, cuanto mayor sea la capacidad de fotosíntesis, de acumulación de los carbohidratos y de asimilación de los compuestos químicos del terreno, junto con un metabolismo rápido y apropiado, mayor será también la capacidad de producción.

La respuesta a la fertilización es la resultante de ciertos caracteres genéticos que controlan las características bioquímicas de la planta.

La planta absorbe nitrógeno por vía radicular; mediante la actividad fotosintética de sus partes verdes, el anhídrido carbónico del aire y el agua contenida en las hojas y tallos, se forman azúcares. Mediante la combinación de estos productos y otros elementos, la planta de este cereal de verano produce aminoácidos, péptidos, polipéptidos y, al cabo de este proceso, sintetiza proteínas.

Algunas variedades poseen características genéticas por las que la síntesis de las proteínas se efectúa rápidamente; otras no realizan apenas tal función. En estas últimas, una parte de los aminoácidos quedan libres en los tejidos de la planta, principalmente cuando la fertilización nitrogenada es excesiva. Los aminoácidos, si están presentes en exceso y libres, son responsables del mayor desarrollo del sistema vegetativo y del consiguiente exuberante vigor ocasional del cultivo, que puede conllevar graves problemas de encamado en las fases avanzadas del ciclo.

Las variedades con una síntesis proteica lenta, en condiciones de abonado nitrogenado elevado, desarrollan excesivamente el sistema vegetativo y se comportan de forma más sensible frente al encamado y a las enfermedades. Estas no aceptan cantidades elevadas de fertilización nitrogenada. En cambio, las variedades con mayor capacidad para la síntesis proteica son las llamadas de "alta respuesta a la fertilización".

Las variedades italianas capaces de producciones muy altas, en buenas condiciones de cultivo, son: *Balilla*, *Lido*, *Vanería*, *Elio*, *Riva*, *Molo*, *Cripto*, *Zenit*, *Europa*, *Ariete*, *Smeraldo* y *Onda*.

Los rendimientos elevados de algunas de las variedades citadas están condicionados y limitados, a veces de forma notable, por los ataques de parásitos o bien por la esterilidad floral y el encamado.

3.4. La resistencia al encamado

Los efectos perjudiciales derivados del encamado de las plantas son bien conocidos y ya nos hemos referido a ellos con anterioridad:

a) Pérdida productiva -particularmente en el caso de encamados tempranos- por la menor producción intrínseca de la planta y por las mayores pérdidas de producto durante las operaciones de recolección.
b) Disminución del valor comercial del arroz-cáscara o *paddy* como consecuencia del menor rendimiento durante la elaboración y del mayor porcentaje de defectos: granos manchados, variolados e inmaduros.
c) Aumento del coste de la recolección derivado del retraso de las operaciones mecánicas necesarias.
d) Coste mayor del secado, como consecuencia de la superior humedad del grano recogido en contacto con el suelo/agua.

El encamado se debe, básicamente, a la aparición de alguno o varios de los siguientes factores:

- a la acción del viento y de la lluvia,
- al exceso de abonado nitrogenado,
- a la acción que realizan determinados hongos parásitos sobre el tallo de la planta,
- al régimen de riego inadecuado, particularmente por el exceso del nivel de agua en el arrozal,
- a las características genéticas intrínsecas de las variedades.

Los factores genéticos que determinan y controlan la resistencia al encamado actúan sobre cuatro aspectos: la altura del tallo, el peso de la panícula, la rigidez o elasticidad del tallo y la formación de un sistema radicular adecuado, amplio y profundo.

El encamado, en el caso de cultivos en siembra directa y no trasplantados, se produce casi siempre por la falta de anclaje de la planta en el terreno y pocas veces por la rotura del tallo; por eso, las prácticas de cultivo basadas en desecaciones periódicas del arrozal, estimulando a la planta para que produzca un sistema radicular mayor en superficie, vigor y en profundidad, aumentan la resistencia al encamado.

Para obtener producciones unitarias elevadas y una gran resistencia es necesario utilizar variedades con las siguientes características: panícula compacta o ahijamiento elevado; tallo corto, elástico y robusto; hojas erectas, sistema radicular muy desarrollado y extenso; resistencia al agente causante de la podredumbre basal del tallo.

La resistencia al encamado de las variedades italianas cultivadas en la actualidad se indica en la siguiente tabla 6.3. El grado de resistencia se expresa en función del comportamiento medio de la planta, según las características intrínsecas de las diferentes variedades y prescindiendo de las prácticas de cultivo adoptadas que pudieran modificar, en sentido positivo o negativo, el comportamiento de las variedades en sí.

Cuando el cultivo se realiza en ambientes con clima menos favorable (como es el caso de la zona Norte de Vercelli) se reduce el desarrollo vegetativo y aumenta la resistencia al encamado de algunas variedades. Esto se observa de modo particular en las variedades *Sant Andrea*, *Monticelli*, *Rosa Marchetti* y *Arborio*.

En zonas fértiles meridionales y con clima más favorable la resistencia es, por el contrario, menor.

Tabla 6.3. Resistencia al encamado de las variedades de arroz italianas

Elevada resistencia	**Resistentes**	**Resistencia media**	**Susceptibilidad media**	**Elevada susceptibilidad**
Cripto	*Arpa*	*Alfa*	*Airone*	*Arborio precoce*
Elio	*Argo*	*Belgioioso*	*Arborio*	*Carnaroli*
Eurose	*Auro*	*Corallo*	*Cigalon*	*Italico*
Faro	*Balilla*	*Balilla gg*	*Baldo*	*Lomellino*
Giara	*Bonnet Bell*	*Europa*	*Gritna*	*Mistral*
Nero	*Bonni*	*Redi*	*Onda*	*Monticelli*
Piemonte	*Castello*	*Ribe*	*Nettuno*	*Precociss. Molina*
Rubino	*Ice*	*Rocca*	*Ringo*	*Radon*
Smeraldo	*Lido*	*Sirio*	*Rodio*	*Rosa Marchetti*
Torio	*Navile*	*Sorriso*	*Romeo*	*Silla*
Veneria	*Padano*	*Sant Petronio*	*Sant Andrea*	*Vialone nano*
Zenit	*Pierina Marchetti*	*Titanio*	*Strella*	
Molo	*Ribello*			
Riva	*Roma*			
Ariete	*Rio*			

3.5. La resistencia a las enfermedades criptogámicas

La importancia del daño producido a las plantas por las enfermedades oscila principalmente en función de la variedad, las prácticas de abonado, los métodos de cultivo y las variaciones de los factores climáticos. Por consiguiente, los distintos efectos perjudiciales dependen de tres causas: a) factores genéticos de resistencia intrínsecos de la variedad; b) superación de la fase crítica, en el momento del ataque fúngico, según la fase vegetativa concreta en que se encuentra la planta, momento durante el cual la variedad en cuestión ofrece una resistencia mayor frente al parásito; c) temperatura y humedad, en el ámbito de la

rizosfera, que sean favorables o no al desarrollo y virulencia de los hongos parásitos.

Las plantas tienen mayor sensibilidad a los agentes parásitos durante la fase de maduración, con manifestaciones más o menos intensas que afectan de forma más general a la panícula, desde el cuello hasta el raquis inclusive.

Las variaciones térmicas bruscas, como consecuencia de fenómenos climáticos alternos, predisponen la planta a las fitopatías cuando disminuyen los mecanismos de defensa durante el comienzo del envejecimiento del sistema vegetativo; la planta, debido al estrés térmico y al rocío, se expone a situaciones de temperatura y humedad en exceso, que resultan más favorables al desarrollo de los parásitos fúngicos.

Entre los diversos agentes de las enfermedades del arroz, el que produce mayores daños al cultivo es el hongo deuteromiceto denominado *Pyricularia oryzae*, al que nos hemos referido “in extenso” en otras partes del presente libro.

Los ataques se pueden producir en momentos diferentes y sobre diversos órganos de la planta; según la fase vegetativa concreta, la variedad puede ofrecer una mayor resistencia. El efecto negativo se manifiesta: a) sobre el sistema foliar antes de la floración: es el caso del “quemado foliar”; b) sobre el nudo basal de la panícula, sobre el entrenudo que la sostiene, sobre el raquis de la misma y sobre las glumillas de la espícula: es lo que se conoce como “mal de cuello”; c) sobre el nudo que articula el último y tal vez el penúltimo entrenudo: es el llamado “mal del nudo”.

Sobre las hojas y las glumillas el ataque se manifiesta principalmente en forma de manchas elípticas negruzcas, de color ceniza en el centro de las mismas, y, en el caso de daños graves, todas las partes de la planta afectada adquieren un color cinéreo.

Entre los agentes micóticos, el segundo parásito en importancia por la virulencia de su ataque es el hifomiceto *Drechslera oryzae*, antes conocido como

Helminthosporium oryzae, que en la forma perfecta toma el nombre de *Cochliobolus miyabeanus*. Las manifestaciones de la infección que tiene lugar se observan principalmente sobre las hojas y las glumillas de la cariópside: con manchas negruzcas, frecuentemente de forma poligonal, formando rectángulos más o menos juntos con un halo circundante decolorado.

Por otra parte, el *Sclerotium oryzae* o *Helminthosporium sigmoideum*[2] es el agente específico de la "podredumbre basal del tallo". El ataque se manifiesta al concluir la maduración: los tejidos de la pared basal del tallo y las vainas foliares más bajas aparecen blandas (paja muerta) por disgregación del entramado leñoso y celulósico de sostén. Se produce, de tal suerte, el encamado de origen parasitario. En las últimas fases de la maduración aparecen en el interior del tallo corpúsculos negros: los esclerocios, unidos por un micelio escaso. Los esclerocios son los responsables -invernando sobre los rastrojos del arrozal- de la reproducción de la enfermedad.

Un tercer hongo parásito es el *Fusarium moniliforme*, que constituye el agente específico del "gigantismo del arroz" o "fusariosis del pie". La infección se transmite fundamentalmente mediante la semilla infectada o, más raramente, a través de los rastrojos. Las plántulas afectadas que sobreviven al ataque del hongo, durante la fase germinativa, se ahilan rápidamente, formando pocas hojas cloróticas que sobresalen y descubren, sobre el resto del cultivo, las plantas atacadas por la infección. Las plantas que, debido a ataques poco intensos o bien a infecciones secundarias, pasan la fase vegetativa y llegan a la floración son del orden de 15-25 centímetros más altas que las circundantes y florecen anticipadamente; tienen la hoja bandera erecta y muy clorótica. En el momento de la maduración, la planta invadida por el parásito se encuentra totalmente necrótica; presenta una panícula con 10-20 cariópsides normales, en cuanto a sus dimensiones, con manchas negras sobre las glumillas. En la base de la planta la infección se manifiesta formando micelios densos sobre las vainas y el tallo que, inicialmente son blancos, y posteriormente se vuelven rosa por el color característico de las micro y macroconidias que transmiten el hongo.

[2] Son dos formas diferentes del mismo hongo: la forma esclerocial se llama *Sclerotium oryzae*, y la conidial, *Helminthosporium oryzae*. La forma perfecta se llama *Magnaporthe salvinii*.

De hecho, la importancia de las enfermedades producidas por hongos resulta muy extensa en el campo de la fitopatología de los cultivos herbáceos. Para el estudio y el mejor conocimiento de estas enfermedades es muy importante saber aislar e identificar correctamente el posible agente patógeno actuante, así como conocer el desarrollo de la enfermedad para aplicar, de este modo, las medidas de control más adecuadas. Por otra parte, para poder llevar a cabo una correcta identificación del hongo patógeno es necesario aislar y obtener, en cultivo puro, el agente causal. Una vez aislado éste, será conveniente proceder a su identificación mediante su morfología. En el proceso de determinación subsiguiente, resultan de especial relevancia tanto la forma de la colonia como las diferentes estructuras del hongo, ya sea el micelio, los cuerpos fructíferos, los conidios o las esporas.

Las variedades de arroz muestran, frente a las citadas enfermedades criptogámicas, resistencias diferentes según la información genético-hereditaria que les caracteriza, y que aumenta o disminuye, para cada variedad, en relación con las técnicas de cultivo empleadas, particularmente el abonado de fondo y/o de cobertera.

La tabla 6.4 que puede verse en la página siguiente muestra el grado medio de resistencia -por comparación entre las diversas variedades, no de forma absoluta- frente a las distintas enfermedades según sus relativas manifestaciones patológicas.

La estimación de la resistencia, según la tabla citada, se debe de modificar en algunos casos y circunstancias, principalmente en las variedades aptas para la siembra tardía. En éstas, frecuentemente, dicha variación tendrá lugar en sentido positivo.

Veámosla a continuación:

Tabla 6.4. Resistencia del arroz a las principales enfermedades y situaciones desfavorables

Variedad	Agente	*Pyricularia oryzae*	*Drechslera oryzae*	*Sclerotium oryzae*	*Fusarium moniliforme*	Virosis	Bajas temperaturas
	Fitopatía	Quemado foliar y mal del cuello	Helmintos-poriosis	Podredumbre basal del tallo	Fusariosis del pie	"Enrochat" BYDV	Esterilidad
Alfa		MS	MR	R	RR	MR	R
Arborio		MS	MS	MS	S	RR	MS
Arborio precoce		S	MS	MR	S	RR	MS
Argo		R	R	MR	MR	MS	MR
Arpa		S	MS	MR	MR	R	MS
Airone		MR	MR	MR	MR	MS	MR
Ariete		R	MR	MS	MR	MS	MR
Auro		R	MR	MS	MR	MS	S
Balilla		MS	MS	MR	R	SS	MR
Balilla gg		MS	MS	MS	MR	SS	MR
Baldo		MS	MS	S	S	MR	MS
Belgioioso		R	R	MS	R	MR	R
Bonnet Bell		R	MR	R	R	MR	MR
Bonni		MR	MR	R	MS	MR	SS
Carnaroli		MS	MR	MS	S	RR	MS
Castello		MS	MR	S	RR	SS	R
Cigalon		MR	MR	MR	R	S	R
Corallo		MS	MR	MR	MS	MS	MR
Cripto		RR	R	MR	RR	S	R
Elio		R	R	R	R	MS	R
Europa		R	MR	R	R	MR	RR
Eurose		MS	MS	MS	R	MS	S
Faro		R	MR	MS	MR	MR	MR
Giara		R	MR	MR	R	MR	R
Gritna		MS	S	R	MS	MS	S
Ice		R	R	MS	R	MR	R
Itálico		SS	S	R	MR	SS	R
Lido		R	MR	S	R	MR	RR
Lomellino		MR	MR	R	MR	MS	R
Mistral		S	MS	MR	MS	MR	MS
Molo		R	MR	MS	R	MS	MR
Monticelli		MS	MR	MR	MR	MR	R
Navile		RR	R	MS	R	RR	RR
Nero		RR	R	R	MS	RR	MR
Nettuno		MS	MS	R	MR	S	R
Onda		MS	MR	MR	MR	MS	R
Padano		MR	MS	MR	R	SS	MR
Piemonte		S	MS	MR	MR	S	MR
Pierina Marchetti		R	MR	MR	R	MR	MR
Precocis. Molina		MS	MR	MR	MR	S	R
Radon		R	RR	MS	R	MS	R
Redi		MR	MR	R	S	R	MS
Ribe		MS	MR	MS	MR	MS	MR
Ribello		MR	MR	MR	MR	MS	MR
Ringo		MR	MR	MR	MR	MS	MR
Rio		MR	MR	MS	RR	MS	R
Riva		R	MR	RR	R	MS	R
Rodio		S	MR	S	MS	RR	MS
Roma		R	R	R	MR	MS	MS
Romeo		MS	MS	MS	S	S	S
Rocca		MR	MS	MR	MS	MS	MS
Rosa Marchetti		R	R	R	MR	MS	RR
Rubino		R	MS	MR	MR	R	R
S. Andrea		MR	MR	MS	MR	MS	MR
Silla		MS	MS	R	MS	RR	RR
Sirio		MS	MS	MR	MR	MS	R
Smeraldo		R	R	R	MR	RR	R
S. Petronio		MR	MR	MS	MR	S	R
Strella		S	MS	MS	MR	RR	MS
Sorriso		R	MR	R	R	MR	R
Titanio		S	S	MS	MR	S	R
Torio		S	MS	R	MR	S	MR
Veneria		MR	MR	R	R	RR	MR
Vialone nano		SS	S	MR	S	MR	MS
Volano		MR	S	MR	S	MR	MS
Zenit		R	S	R	R	MR	MR

Leyenda de la tabla 6.4: RR = elevada resistencia; R = resistente; MR = resistencia media; MS = susceptibilidad media; S = susceptible; SS = susceptibilidad elevada.

Otras manifestaciones patógenas, de etiología clara o no, se observan en las plantas; sin embargo, sólo muy raramente llegan a tener carácter epidémico, excepto en el caso de la enfermedad llamada "giallume"[3], que en estos últimos años se ha extendido bastante produciendo graves daños.

El "giallume" ataca a la planta durante la fase de ahijamiento, haciéndose patente externamente mediante una coloración amarilla o amarillo-anaranjada de casi todas las hojas; comienza en el limbo de la penúltima o antepenúltima hoja formada; se manifiesta con distinta intensidad entre las variedades según su capacidad de resistencia, limitándose a unas pocas láminas foliares en los genotipos semirresistentes y a ningún síntoma en los resistentes.

Entre las prácticas de cultivo utilizadas como defensa frente a la enfermedad, podemos citar: los tratamientos fungicidas, el manejo del agua y la fertilización. Con ellas se puede reducir o evitar el daño según la rapidez con que se actúe y en relación con la capacidad específica de cada variedad para la recuperación vegetativa.

Por lo que respecta al aspecto genético-hereditario de la resistencia, parece seguro que sea *Vialone* la variedad fuerte, portadora del carácter resistencia, de la que se ha transmitido por cruzamiento a otras variedades, obtenidas por selección genética.

En relación con la capacidad de resistencia a las diferentes enfermedades de cada variedad, no se conoce perfectamente el mecanismo de defensa. La bibliografía existente al efecto hace referencia a factores anatómicos, fisiológicos y biológicos. Un número escaso de estomas, que constituyen el punto de penetración del micelio, se toma como índice de resistencia a la *Pyricularia oryzae*. El espesor y la constitución química de las paredes celulares puede constituir un obstáculo para la entrada del agente micótico. La concentración y composición de los diversos elementos del protoplasma celular se cita

[3] Corresponde a la enfermedad que en España se llama "enroijat", "roja" o "roya".

igualmente. Son frecuentes las referencias, como un buen índice de resistencia, a los contenidos altos de potasio, silicio, lignina y compuestos proteicos.

La resistencia consiste en la puesta en marcha por la planta, en la zona donde se produce el ataque parasitario, de mecanismos de defensa que limitan a pequeños puntos necróticos el daño derivado de la penetración micótica.

El que una variedad posea cierto carácter de resistencia en el momento de su obtención no significa, ni mucho menos, que sea constante y permanente en el tiempo. Prescindiendo de las antiguas e intrínsecas características de cada variedad, cuyas variaciones de carácter hereditario son imprevisibles -en términos generales-, aunque se apliquen, de forma constante y severa, las normas que regulan las producción de las semillas y el mantenimiento de la pureza, la variedad puede disminuir su capacidad de resistencia como consecuencia de la modificación del agente parasitario.

Las diferentes razas fisiológicas del parásito micótico, que pueden aparecer espontáneamente por mutaciones ocasionales, se comportan con una virulencia e intensidad diferentes, que son imprevisibles *a priori*.

Una variedad de arroz resistente a las razas A y B de un agente micótico determinado puede volverse más susceptible frente a las razas C o D, más virulentas a causa de una mutación espontánea y posterior selección, o bien como consecuencia de la mayor extensión de la infección, derivada de la propagación del cultivo de la nueva variedad, menos resistente.

3.6. La resistencia a los insectos

La resistencia de las variedades a los ataques de insectos parásitos del arroz no es conocida en Italia ni reviste interés especial como consecuencia de la presencia esporádica de insectos fitófagos, que son perjudiciales sólo en las primeras fases vegetativas, de forma similar para todas las variedades.

3.7. La resistencia al frío

Si bien el cultivo del arroz tuvo su origen, como ya se ha dicho, en las zonas ecuatoriales y tropicales, es en las templado-cálidas donde alcanza actualmente su máxima expresión, desde el punto de vista económico-productivo y no como manifestación vegetativa. Con el desplazamiento del cultivo hacia las regiones templadas se pone en continua y mayor evidencia la susceptibilidad de los genotipos a las condiciones climáticas desfavorables, en lo que concierne a los valores térmicos mínimos soportables por cada genotipo en particular; al verificarse, de forma ocasional o continua, el fenómeno climático negativo se reducirá la producción de forma más o menos acusada según la adaptabilidad de cada variedad.

La resistencia o susceptibilidad a las temperaturas bajas del medioambiente se manifiesta de forma más o menos acusada durante todo el ciclo de cultivo, mediante un paro vegetativo y una clorosis moderada o acentuada. Es, sin embargo, en dos fases importantes cuando las características del genotipo ponen a prueba su capacidad frente al fenómeno: a) durante la germinación y la sucesiva fase de desarrollo de la planta embrionaria y b) en la floración.

Con bastante frecuencia, en el preciso momento o poco después de la siembra, tienen lugar en el arrozal temperaturas de 10-12ºC; a veces, en esta región italiana, la superficie del agua se cubre incluso de una delgada lámina de hielo. En estas condiciones térmicas la semilla, aunque esté saturada de agua, no consigue activar de forma clara y útil los mecanismos enzimáticos para iniciar la germinación; los enzimas ejercen plenamente su propia acción catalizadora sólo con temperaturas de 15-18ºC.

Durante el período frío de remojo en el agua del arrozal, algunas variedades pierden más rápida y fácilmente que otras su capacidad para germinar; de esta forma, cuando vuelven las condiciones climáticas favorables, un gran porcentaje de las semillas de las variedades que resultan más

susceptibles al frío -habiendo perdido o disminuido su capacidad de germinación- son fácil y rápida presa de los hongos que tienen en el arrozal su hábitat de vida: *Saprolegnia*, *Achlya* y *Pythium*, fundamentalmente. Las variedades más resistentes, al conservarse mejor, cuando se establecen las temperaturas adecuadas comienzan las funciones enzimáticas necesarias para la normal germinación.

Es éste uno de los motivos por los que, prescindiendo de la facultad germinativa de los distintos lotes de semilla y de su peso específico por hectolitro, es conveniente utilizar una cantidad de semilla más elevada en la siembra, para garantizar una adecuada densidad de plantas en el cultivo, cuando se trata de variedades más susceptibles al frío; por el contrario, cuando se emplean las más resistentes, aunque tengan similares características de germinabilidad y peso, la dosis de simiente debe disminuir prudentemente.

Por otra parte, y por lo que respecta a un aspecto íntimamente ligado a la rapidez de germinación, algunas variedades se distinguen de otras por la rapidez de su desarrollo, formando una planta embrionaria robusta, de hojas erectas y anchas. Esta característica permite a las plántulas de arroz soportar, de mejor forma, la competencia que durante este tiempo se ha establecido en el arrozal entre las malas hierbas adventicias y las plantas del cultivo; además de los hongos parásitos y saprofitos que se desarrollan en los arrozales, el arroz debe defenderse simultáneamente de las algas.

De esta larga serie de circunstancias se deduce la utilidad de tratar la semilla con substancias funguicidas y alguicidas que la protejan, no ya sólo de los vectores patógenos presentes, de forma continua u ocasional, en ellas, sino también de aquellos huéspedes del suelo, de mucha mayor importancia.

Las variedades actualmente cultivadas, capaces de una mejor defensa frente a las condiciones iniciales desfavorables, ya mencionadas anteriormente, están enumeradas en la siguiente tabla, partiendo de las más tempranas y terminando con las tardías. A saber:

Tabla 6.5. Variedades con una gran resistencia al frío y a las situaciones desfavorables durante la germinación y desarrollo de la planta embrionaria

Alfa	*Cripto*	*Rosa Marchetti*
Arborio	*Italico*	*Lomellino*
Argo	*Monticelli*	*Rubino*
Baldo	*Nero*	*Sorriso*
Belgioiso	*Nettuno*	*Veneria*
Carnaroli	*Onda*	*Zenit*
Cigalon	*Rio*	*Molo*

La segunda fase durante la cual la exposición a las temperaturas bajas es crítica para la planta, por el consiguiente riesgo elevado de daño productivo que existe, tiene lugar durante la formación de la panícula: cuando en las flores formadas se está realizando la meiosis polínica, y cuando la microspora se tiene que transformar en grano de polen, o sea, unos 10-15 días antes de la emergencia de la panícula.

Las temperaturas bajas inactivan y vuelven estéril el grano de polen en mayor medida que el gameto femenino. No es fácil saber cuál es la temperatura que produce la esterilidad de todas las flores de la panícula, aunque se reconoce que es normal que tenga lugar entre los 12-15ºC. De hecho, se observan daños después de caídas repentinas de temperatura hacia los valores más bajos indicados, o bien cuando se estabiliza la temperatura entre 16-18ºC durante 5-10 días.

La temperatura, las lluvias continuas y las nieblas persistentes y densas pueden ser causa de esterilidad en el momento de la antesis, durante la floración o también poco después de la fecundación, produciendo esterilidad o aborto floral. Más tarde, pueden intervenir con más frecuencia los hongos parásitos y agravar la situación, causando el aborto del grano que se está formando.

En la última columna de la tabla anterior 6.4 se indican los diversos grados de resistencia o susceptibilidad al frío que generalmente se pueden observar en las plantas cultivadas, según la variedad.[4]

[4] *Vide* A. Tinarelli, “El arroz”; pág. 217-230

4. Características nutricionales y culinarias de algunas variedades de arroz de Vercelli

1) Arborio

Toma el nombre de la ciudad Vercellesa de donde es originaria y, de entre las distintas variedades de arroz italianas, es el que tiene el grano más grande. Se utiliza para el típico plato *risotti*, arroz caldoso, *mantecat*i y *timballi*. Durante la cocción, el calor penetra primero en la parte más externa mientras el núcleo, rico en almidón, se mantiene *al dente*.

Características nutricionales por cada 100 gramos

Proteínas	8,90	Lípidos	0,35
Glúcidos	89,76	Fibra	0,32
Cenizas	0,67	Amilasa	19,60

2) Baldo

Del grupo de los superfinos, es el que tiene mayor consistencia y con la estructura más cristalina y compacta. Se sugiere su empleo para el *risotti*, *timbali*, ensaladas de arroz y el arroz caldoso. El grano tiene una buena compactación y acepta cualquier tipo de cocción, aunque es mejor servirlo *al dente*.

Características nutricionales por cada 100 gramos

Proteínas	7,85	Lípidos	0,33
Glúcidos	91,07	Fibra	0,36
Cenizas	0,37	Amilasa	20,50

3) Sant Andrea

Tiene una óptima capacidad de absorción y un elevado contenido en almidón, lo que contribuye a que sea de grano muy consistente. Es una variedad

adecuada para sopas y dulces, y se sugiere también para el *risotti* tradicional, el arroz caldoso y el *sformati di riso*.

Características nutricionales por cada 100 gramos

Proteínas	8,90	Lípidos	0,35
Glúcidos	89,76	Fibra	0,32
Cenizas	0,67	Amilasa	19,60

4) <u>Nuovo Maratelli</u>

Después de 20 años ha vuelto al mercado un arroz de excepcional calidad, con excelente resistencia a la cocción. De grano semilargo y estructura perlada por el almidón, es adecuado para sopas caldosas o no, *risotti* clásico y *mantecati*.

Características nutricionales por cada 100 gramos

Proteínas	8,90	Lípidos	0,35
Glúcidos	89,76	Fibra	0,32
Cenizas	0,67	Amilasa	19,60

Como muestra, por último, de la exquisitez de los “risotti” italianos, que hacen las delicias de los mejores gastrónomos del mundo, exponemos a continuación la receta culinaria del famoso “risotto e funghi”.

Ingredientes: 200 grs. de “funghi” deshidratados (setas). 5 cucharadas de aceite de oliva virgen. 3 dientes de ajo. 2 cucharadas de perejil. Zumo de limón. 1 litro de caldo de pollo. 1 chorrito de jerez o vino de Oporto. 150 grs de mantequilla. 1 cebolla roja. 300 grs. de arroz *risotto*. 75 ml. de vermouth blanco. 200 grs. de queso parmesano.

- Poner en remojo las setas en agua tibia con un chorrito de oporto o de jerez durante 20 minutos.

- Reservar el líquido y freír en la mitad del aceite las setas fileteadas con los ajos picados y dorar. Añadir la mitad del líquido de macerar a las setas y reducir.
- Salpimentar, agregar el perejil picado y el zumo de limón. Reservar el calor.
- Calentar el caldo. Sofreír la cebolla con mantequilla y la mitad del aceite. Agregar el arroz fuera del fuego. Añadir ya en el fuego el resto del líquido de las setas y cubrir con caldo.
- Cocer removiendo y añadir el caldo durante 20 minutos. Al servir, incorporar el vermouth, el queso rallado parmesano y las setas.

CAPÍTULO 8

- ESTABLECIMIENTO DE UN PLAN DE MEJORA -

1. Introducción

La gran capacidad productiva del arroz, como sucede en cualquier otra especie cultivada, es la consecuencia derivada de una técnica de cultivo adecuada y en constante evolución, en combinación estrecha con el empleo de un instrumento vegetal como es la variedad, llevada mediante selección a un muy elevado grado de perfección frente al ambiente que la debe albergar. Todo ello ya sea por sus intrínsecas características fisiológico-productivas, sea por la capacidad de resistencia a los agentes bióticos externos o bien a los ambientales de orden edafo-climático.

Los sistemas de mejora varietal mediante la selección de los genotipos de mejores características son similares a los utilizados en otras especies vegetales; son sistemas y métodos que fueron y son objeto de pequeñas evoluciones en el tiempo.

Los procedimientos de mejora varietal pueden ser analizados dividiéndolos en dos grandes grupos, al menos por comodidad de presentación: **a)** el primero tiene cuenta y actúa principalmente sobre poblaciones varietales medianamente o poco heterogéneas, obtenidas de los cultivos; **b)** el segundo es el que utiliza el cruzamiento intervarietal en sus diferentes formas y metodologías, la mutagénesis y el cultivo de anteras “in vitro”, seguidos todos ellos por la selección mediante técnicas de aislamiento y obtención de los genotipos.

2. Métodos y medios de mejora y selección varietal

2.1. La selección masal

Es el método más antiguo utilizado por los seleccionadores de las viejas variedades para conservar la pureza o la homogeneidad y también para llegar a su constitución a partir de poblaciones indiferenciadas.

Mediante este método, una vez recogido el arroz en manojos de panículas y controlada la homogeneidad y las mejores plantas a simple vista, se desgrana y posteriormente se siembra. Después volvemos a escoger las mejores plantas y sembramos sus semillas de nuevo hasta repetir el proceso unas tres veces. Mediante este proceso llegamos a una población en la que pueden haber diversas líneas puras. Con la selección masal llegamos a **n** genotipos. En cuanto se refiere, por ejemplo, al carácter **rendimiento**, este tipo de selección ofrece bastante uniformidad debido a que la variabilidad ambiental hace que los **n** genotipos se adapten más y, por tanto, la variedad se adapte mejor.

Teniendo en cuenta que el arroz, aunque autógamo, tiene cierto grado de aptitud para el cruzamiento espontáneo -con motivo de éste y de las mutaciones-, se puede llegar a constituir una nueva variedad por un proceso gradual, que será tanto más largo cuanto menos uniforme sea el material genético de origen. Aunque las variedades más antiguas, incluida la *Balilla*, se hayan obtenido según este sistema, el método sirvió fundamentalmente para conservar la pureza de las semillas de las variedades en cultivo.

2.2. La selección individual

Se basa en el principio por el cual un genotipo, en su descendencia, se reproduce de forma más o menos uniforme dependiendo de su patrimonio genético más o menos estable y homocigótico.

La selección individual consiste en hacer una plantación, de manera que se pueden estudiar fenotípicamente los individuos y después podemos seleccionar los que más interesan por un carácter determinado.

Después, en la segunda generación, seleccionada la planta, se siembran en filas separadas las panículas individuales. Se originan líneas puras con las que se pueden comprobar caracteres determinados (resistencia a enfermedades, etc.). Se puede realizar más selección y cultivo hasta que todas las plantas de la parcela sean similares entre sí y con la planta de la cual provienen.

Las variedades, más o menos antiguas o recientes, tuvieron y tienen en éste y en el anterior método descrito, en combinación alterna, la posibilidad de su constitución.

2.3. Conservación de la pureza por panícula-fila

Este procedimiento es más utilizado para conservar la pureza del genotipo ya constituido que para realizar la selección, aunque no se excluya también esta posibilidad.

La metodología a seguir es la siguiente: se siembran las panículas en filas separadas y se controlan durante todo el ciclo de cultivo; se descartan aquellas donde se encuentre alguna planta atípica o bien se manifiesten síntomas de segregación. Si se observa una planta o fila causa de una posible mejora, y se quiere diferenciar del resto, se separan y se recogen aparte para realizar en años sucesivos la selección perseguida. Para la conservación de la pureza, después del cultivo, se recogen 50-100 panículas de cierto número de filas, que han manifestado su homogeneidad y que constituirán la base para la repetición de la práctica en los años subsiguientes.

2.4. El cruzamiento, la mutagénesis y el cultivo de anteras *in vitro*

2.4.1. El cruzamiento

El objetivo de la hibridación en la mejora de las especies autógamas es combinar en un solo genotipo los genes favorables de dos o más genotipos diferentes. Se deben contemplar una serie de consideraciones para decidir cuál es el método más adecuado de manipulación de poblaciones en segregación para lograr este fin. Influirán, en su decisión, el rendimiento, adaptación y reacción a las enfermedades de los genitores disponibles, el conocimiento del control genético de estos caracteres y otras consideraciones técnicas como la facilidad con que puedan fabricarse los híbridos y el espacio requerido para cultivar las poblaciones en segregación en el campo y en el invernadero.

La selección comienza en la generación F_2 seleccionando los individuos que, a juicio del mejorador, producirán la mejor descendencia. La mayor parte de los híbridos segregarán para un gran número de genes y todo individuo F_2 diferirá de todos los demás. En las generaciones F_3 y F_4 muchos *loci* serán ya homocigóticos y empezarán a aparecer las características familiares. Sin embargo, en estas generaciones persiste todavía mucha heterocigosis y, por tanto, las plantas de una misma familia pueden diferir genéticamente entre sí. Por consiguiente, en estas generaciones se seleccionan las mejores plantas de las mejores familias. En las generaciones F_5 o F_6 la mayor parte de las familias serán homocigóticas en la mayoría de los *loci*, por lo que deja de ser eficaz la selección dentro de las familias. En estas generaciones, las familias con un antepasado común, una o dos generaciones antes, son muy semejantes entre sí, y, merced a los datos genealógicos, puede conservarse una de estas familias y eliminar las restantes estrechamente relacionadas con ella. Este método proporciona datos de las relaciones entre las plantas de generaciones sucesivas. Esta información es útil principalmente para evitar la selección de individuos estrechamente relacionados de valor casi idéntico.

2.4.2. La mutagénesis

Otro método de mejora se basa en la "inducción de mutaciones" mediante el empleo de métodos químicos o físicos de forma semejante a como se ha hecho con otras especies objeto de mejora. La mutación permite alcanzar la homocigosis de los genotipos más rápidamente que con el cruzamiento.

La mutagénesis se justifica o se prefiere, frente al cruzamiento, en el caso de que se manifieste una escasa variabilidad de los genotipos cultivados.

La utilización directa de los híbridos F_1 -como ocurre, por ejemplo, en el maíz- es uno de los objetivos planteados por los centros de investigación más avanzados. La posibilidad de encontrar la androesterilidad citoplásmica es el fundamento básico para la producción de los híbridos. La economía de este objetivo será tanto mayor y más evidente en el caso del trasplante, que permite un ahorro superior de semilla; de otro modo, en los países tropicales, donde el arroz puede llegar a alcanzar el carácter de vegetación perenne, permitiendo la multiplicación vegetativa de la plantas F_1.

Hay que tener en cuenta que la heterosis derivada del cruzamiento en el arroz, contrariamente a lo que sucede en otras especies, permite -en términos productivos- incrementos cuantitativos del orden aproximado del 15-20%; no son, en consecuencia, en un primer análisis, previsibles unos resultados tan espectaculares en el arroz como en el maíz. En cualquier caso, el diario de Hong Kong *South China Morning Post* informó hace algún tiempo de la existencia de una línea de mejora genética del arroz, conjunta entre investigadores chinos y norteamericanos de la Universidad del Estado de Washington, que permitirá obtener dentro de algunos años nuevos arroces híbridos que posibiliten doblar los rendimientos a los convencionales que se siembran actualmente.

Hay que tener en cuenta, al respecto, que los rendimientos actuales medios en China son del orden de 7’5 Tm/Ha. y, en estos momentos, ya existen híbridos comerciales que pueden producir, en las mismas condiciones, una media de 9-10 Tm/Ha. El objetivo es alcanzar las 12 Tm/Ha. para poder atender a las

necesidades de la creciente población china cultivando la misma superficie de terreno; ello constituye un reto necesario, tanto para atender las necesidades de alimentación como para evitar aumentar las superficies de cultivo, que constituyen un bien, por cierto, cada vez más escaso e imprescindible, al objeto de conservar los espacios naturales, el medio ambiente y la biodiversidad. El proceso de mejora incluye, aparte de la selección de parentales y la hibridación, técnicas de ingeniería genética mediante las que se inserta un gen de maíz (*Zea mais* o *Triticum indica*) para aumentar la resistencia al estrés, y un proceso de mejora clásica para depurar las plantas que presenten buena condición culinaria, ya que el arroz híbrido obtenido hasta la fecha presenta, en general, una mala calidad en la cocción.

Los híbridos se vienen utilizando en varios países asiáticos y en USA, con una productividad, como ya se ha dicho, del orden del 15-20% superior a la del arroz convencional. Todos esos trabajos de mejora genética utilizando diversas técnicas combinadas así como los crecientes conocimientos en el genoma del arroz, tampoco son exclusivos de la mencionada investigación chino-norteamericana, sino que también se trabaja en otros países y en particular en el IRRI.

2.4.3. El cultivo de anteras *in vitro*

Un sistema reciente propuesto para llegar a obtener, de forma más rápida, una mejora del arroz es el que se basa en la técnica del cultivo de anteras “in vitro”, obtenidas de plantas F_1, provenientes de un cruzamiento previo, programado para este fin.

Este método permite obtener plantas haploides de anteras recogidas cuando el polen no se ha formado todavía, antes de la fase de espiga en zurrón, en el momento en que la microespora se encuentra en forma mononucleada. Mediante el cultivo sobre un adecuado sustrato nutritivo se estimula la división celular del núcleo vegetativo, por vía mitótica del grano de polen inmaduro, y no meiótica, produciendo un callo vegetativo, o sea, un conjunto indiferenciado de

células; posteriormente se formará una planta haploide. El proceso descrito se define como “androgénesis”.

Posteriormente, se induce la diploidización mediante un tratamiento con colchicina o bien de forma espontánea, lo que conduce a la formación de plantas cuyo genotipo es homocigótico. Las líneas isogénicas producidas de esta forma pueden ser utilizadas directamente o bien -mucho más adecuadamente- se emplearán en programas de hibridación.

Los resultados no son, ciertamente, de fácil y rápida puesta en práctica, ya que la tecnología del cultivo *in vitro*, como conjunto del proceso químico y fisiológico del cultivo del callo y plántula, se suma a los problemas propios de la heredabilidad.

2.5. La selección genética: métodos

2.5.1. Introducción

Al cruzamiento, o al material genético sujeto a mutación, le sigue la actividad selectiva, que puede basarse en métodos diferentes. La elección del método a utilizar depende de la base genética con la que se trabaja; cuanto más compleja es, como lo son los caracteres de mayor interés, tanto más tardío y lento deberá ser el proceso de obtención de la planta individual y de la selección de líneas puras.

2.5.2. La selección genealógica

Se separan, en la F_2 , plantas individuales, y también en la F_3 y en las generaciones siguientes, controlando y cultivando las descendencias planta a planta, hasta obtener en F_5 o F_6 una homocigosis suficiente. Este tipo de selección no tiene un gran rendimiento, ya que no es posible controlar un convenientemente elevado número de plantas en la fase inicial, cuando la

segregación de los caracteres es mayor, con el fin de que se tenga una más alta probabilidad de obtener la diferenciación del carácter que se busca.

2.5.3. La selección genealógica masal

Dicho procedimiento corrige parcialmente las dificultades anteriormente expuestas. La semilla F_2 se recoge, mezclando la de todas las plantas, y se selecciona en F_3, planta a planta, si las condiciones ambientales han permitido una diferenciación genotípica útil. En caso contrario, se recoge, igualmente, de forma conjunta, seleccionando en la F_4 y las generaciones siguientes.

2.5.4. El método de la selección por agrupamientos

Realiza el cultivo de todas las plantas, mezclando, hasta la F_5 o F_6, la semilla de una panícula por planta, sin efectuar selección alguna, a no ser la mínima consistente en eliminar solamente las plantas excesivamente tardías o altas.

El número de plantas a utilizar para la selección debe ser el más alto posible en las primeras generaciones: concretamente, de 10.000 a 20.000 en la F_2. En F_4 y F_5 tiene una gran importancia la selección entre líneas -cuando no se utilice el método por los agrupamientos-, mientras que es bastante menor dentro de las líneas[1].

[1] Ello es debido a que la heredabilidad es grande entre líneas, es decir, que existe una gran variabilidad de los caracteres con base genética entre líneas distintas, mientras que la variabilidad es pequeña para plantas pertenecientes a la misma línea.

CAPÍTULO 9

- METODOLOGÍA PARA LA REALIZACIÓN DE CRUZAMIENTOS -

1. El cruzamiento

La autofecundación es la base de las posibilidades de selección que se han considerado hasta aquí, **pero fue y es la hibridación el método que permite mayores resultados en la mejora vegetal,** ampliando las posibilidades combinatorias por la unión entre individuos y genotipos bastante diferentes y de un origen geográficamente distinto.

La hibridación y la sucesiva selección permiten tener la probabilidad de reunir, en un solo genotipo, los caracteres considerados útiles de otros distintos, o bien conseguir, en el nuevo, una mejora en la manifestación real de algunas características ligadas a genes de acción aditiva.

El cruzamiento se puede realizar utilizando procedimientos diferentes que, sin embargo, conducen al mismo resultado: la obtención de cariópsides que resultan de la fecundación de flores de una planta "madre" mediante la polinización y consiguiente fecundación por polen recogido de otra planta, preelegida después de la adecuada planificación de los cruzamientos.

En el momento de la reproducción de las cariópsides obtenidas en la primera generación, la F_1, las dotaciones cromosómicas entran en combinaciones y recombinaciones durante las generaciones F_2 y sucesivas. La obtención de un elevado número de cariópsides derivadas del cruzamiento es la mejor garantía de

la máxima variabilidad de las sucesivas poblaciones híbridas; de la misma forma, la mayor probabilidad de mejora se consigue mediante el cultivo de un gran número de plantas en las generaciones F_2 y F_3.

Veamos los diferentes procedimientos:

A) Los métodos de hibridación son diferentes; uno de ellos se sirve de la castración de las flores de la planta madre mediante el corte de la parte apical de las glumillas en el momento en que las anteras no alcanzan todavía la base del ápice de aquéllas. La castración se puede realizar mediante la extracción de las seis anteras utilizando unas pinzas o también un pequeño tubo de vidrio conectado a una bomba de vacío.

B) Otro procedimiento realiza previamente la apertura de las glumillas y la salida de las anteras calentando el aire alrededor de la panícula; ésta se introduce en un matraz que previamente había tenido agua caliente; la castración se consigue con el sucesivo corte de los estambres mediante unas tijeras.

C) Un método intermedio realiza simultáneamente el corte de las glumillas y de los estambres, visibles por transparencia, cortando a ras de las anteras. La sucesiva fecundación cruzada se efectúa sacudiendo sobre la panícula, con las flores castradas, la del polinizador, en fase de floración y dehiscencia de las anteras; de otro modo colocando una antera en el interior de cada flor castrada. Mediante una metodología distinta, se atan una o varias panículas polinizadoras con la que se quiere polinizar, se encapuchan juntas y se sacuden varias veces para favorecer la polinización.

D) Un método más actual de cruzamiento produce la inactivación o desactivación del polen mediante tratamientos térmicos, letales sólo para las células polínicas, sin posibilidad de producción de otros daños mecánicos a la planta.

La panícula se introduce en un recipiente que contiene agua a la temperatura de 43°C durante un período de tiempo próximo a los cinco minutos.

La operación se realiza durante las primeras horas de la mañana, antes de que las flores abran las glumillas espontáneamente. Como consecuencia de la inmersión, las flores se abren en un período de tiempo sucesivo máximo de media hora; las flores que se habían autofecundado anteriormente y las no maduras permanecen cerradas y se eliminan.

La panícula sobre la que se ha realizado la operación durante la espera para ser fecundada se cubrirá con un caperuzón de papel celofán; después, se recogerán dos o tres panículas de la planta polinizadora. Poco antes de la antesis, se unen a aquéllas y se recubren juntas. En el momento en que se abran las flores polinizadoras, se sacude a intervalos para favorecer la polinización; las flores de la planta polinizada se vuelven a cerrar en un arco de tiempo aproximado de dos horas.

El comportamiento varietal frente al tratamiento es diverso en lo que respecta al resultado útil que se consigue, a la velocidad de apertura y cerrado de las flores y al momento óptimo de la castración: panícula completamente fuera o parcialmente envainada.

Procediendo según este último método, la bolsa de papel celofán se puede quitar tres o cuatro días después de la polinización, mientras que se debe dejar cuando la cariópside se forma sin cubrir por la glumillas, a consecuencia de su corte efectuado en otros métodos.

Mediante el método térmico de inactivación del polen se pueden eliminar las cariópsides autofecundadas. En efecto, una vez que se quita el capuchón de celofán se pueden observar, por transparencia, las cariópsides de mayor tamaño, provenientes de una fecundación anterior a la castración, y se cortan.

2. Otras modalidades de cruzamiento

Se exponen someramente, a continuación, aunque se utilizan poco en el caso concreto del arroz. Además del "cruzamiento simple", entre dos genotipos

diferentes llamados genéricamente (a x b) o (c x d), etc., el "cruzamiento convergente" lleva a cabo un programa de cruzamientos dobles, por hibridación cruzada entre las F_1 continuamente: (a x b) x (c x d) x (e x f) hasta tener el último año un solo híbrido. Tales programas suponen un elevadísimo número de cruzamientos, que se reducen, sin embargo, en el caso de que el cruzamiento simple inicial de cada combinación utilice un mismo progenitor: (a x b); (a x c); (a x d), etc.

Por último, el "retrocruzamiento" (en inglés “Backcross”) no persigue crear nuevas variedades (variedades muy distintas a las que ya se poseen), sino que su objetivo es mejorar las variedades con gran número de caracteres excelentes pero que son deficientes en unos pocos. Se utiliza una serie de retrocruzamientos con la variedad a mejorar en los cuales se mantiene por selección el carácter o caracteres que se quieren introducir. Se llama *donante* la variedad de la cual nos interesa obtener un carácter determinado. Llamamos variedad *recurrente* la que tiene un buen genotipo pero se le debe mejorar un carácter. Este método se considera bueno para transferir resistencia a las enfermedades o bien para proporcionar a un genotipo, que se tiene en estima, cierto carácter con base hereditaria simple.

CAPÍTULO 10

- MEJORA GENÉTICA DEL ARROZ -

1. Objetivo y variedades

Los mejoradores de plantas, y más concretamente los mejoradores de variedades de arroz, se marcan unos objetivos en la realización de sus trabajos para conseguir unas nuevas variedades que presenten una alternativa más ventajosa para el productor-utilizador; ello pasa, en primer lugar, por la elección de los parentales con los que se van a realizar los cruzamientos que conduzcan a los resultados perseguidos. De una forma general, y dadas las condiciones actuales de cultivo de arroz, se puede citar una serie de características que tienen que presentar las variedades para que las hagan más atractivas para los agricultores.

El primer carácter en el que el obtentor se fija más, en la actualidad, es el **aumento de la capacidad productiva**, lo cual se consigue actuando sobre diversos caracteres, como son los siguientes:

- Hojas de porte erecto, que mejoran y aumentan el potencial fotosintético.
- Gran capacidad de ahijamiento para obtener un gran número de panículas y, a su vez, un elevado número de granos en la panícula.
- Altura baja, lo cual influye en la resistencia al encamado y en el posible incremento del abonado. Esta talla baja de la planta del arroz, con unas hojas erectas y un tallo fuerte, son factores que influyen mucho en la producción y además en la facilidad y perfección de la recolección mecanizada.
- Una maduración simultánea de todas las panículas de una planta, y a su vez de todos los granos incluidos en una panícula, ya que, de lo contrario, cuando

una parte de la panícula está en su punto óptimo de madurez, otros granos permanecen verdes, lo cual influye en el rendimiento del arroz elaborado y, además, el producto final resulta menos uniforme.

- También persiguen -los mejoradores del arroz- la mejora de las características tecnológicas, lo cual se traduce, fundamentalmente, en una búsqueda de un mejor rendimiento en granza.

- Además, hay ciertos objetivos que es siempre necesario tener en cuenta, como son la incidencia de las enfermedades, las cuales suelen ser más o menos diferentes en distintos ambientes de cultivo. Concretamente, en la mayoría de las zonas productoras que sean humedales, los hongos del género *Pyricularia,* tanto en la hoja como en el tallo, son de una gran importancia.

Las variedades comerciales españolas que hoy están mayormente en uso, se explicitan a continuación:

a) BAHIA, *SENIA* y *TEBRE*

Se trata de tres variedades muy extendidas, con características bastante similares, pero evidentemente diferentes una de otra. En las condiciones actuales de cultivo, el *Tebre*, en el delta del Ebro, está siendo un poco más productivo que las otras dos, en cambio tiene del orden de cuatro puntos menos de rendimiento en arroz blanco que el *Senia* o el *Bahía*.

En cuanto al porte de la planta, el *Bahía*, por las causas antes mencionadas, presenta una altura excesiva, mientras que el *Senia* es aproximadamente un 18% más bajo, y el *Tebre* presenta una altura intermedia entre el *Bahía* y el *Senia*. La susceptibilidad al hongo *Pyricularia oryzae*, tan común en diversas zonas de cultivo, sobre todo en estos últimos veranos tan calurosos y húmedos, también varía entre ellas, siendo muy similar en el *Senia* y en el *Tebre*, con una incidencia media, y, en cambio, con una incidencia bastante mayor en el caso del *Bahía*.

En cuanto al poder de ahijamiento, el más alto lo presenta *Senia*, seguido de *Bahía* y *Tebre*. La longitud del grano “cargo” es bastante similar entre los tres tipos, pero el *Senia* es un poco más largo, seguido del *Bahía* y del *Tebre*. Por lo

que se refiere a la anchura, veamos que la mayor se da en el *Tebre*, seguida del *Bahía* y del *Senia*. Por último, el peso de 100 granos es muy similar en el caso del *Bahía* y del *Tebre*, y, en cambio, es un poco más bajo en el caso del *Senia*.

b) CALCA, *NIVA* y *BALILLA* x *SOLLANA*

Si tomamos como referencia la variedad *Bahía*, que es la más conocida y extendida en la zona, y nos referimos, concretamente, a su producción en la zona climática del delta del Ebro, nos encontramos que el *Balilla* es de una producción similar al *Bahía*, el *Niva* un poco superior y el *Calca*, nueva variedad perteneciente a la empresa "Semillas Certificadas Castells, S.L.", es de una producción bastante superior. Si nos referimos a los rendimientos, veremos que el *Niva* sí que es muy parecido al *Bahía*, pero el *Balilla* se aleja cinco puntos por debajo del *Bahía*, mientras que el *Calca* también supera un poco el rendimiento del *Bahía*.

Las tres variedades referidas presentan una susceptibilidad media al hongo *Pyricularia oryzae*, y muy parecida al *Senia* y al *Tebre*. Una característica específica del *Calca* es que resulta un tanto sensible al encamado si se dan las condiciones adecuadas para que el fenómeno se produzca. La capacidad de ahijamiento del *Calca* es muy similar al *Senia*, pero, en cambio, el *Niva* y el *Balilla* presentan una capacidad de ahijamiento muy inferior, incluso al *Bahía*. En cuanto al grano, la longitud del *Calca* es incluso superior al del *Senia*, mientras que el *Niva* es similar al *Bahía*, y el *Balilla* es muy corto.

De las tres variedades de arroz expuestas, el de anchura mayor es el *Balilla*, similar al *Tebre*, mientras que el *Calca* es un poco inferior y el *Niva* también. En el peso de 100 granos, en el que influye ya el espesor del grano, el resultado es que el *Calca* resulta similar al *Tebre*, y los otros dos, *Niva* y *Balilla*, son claramente inferiores. Como las alturas de las tres variedades son similares al *Tebre*, o incluso mayores, como es el caso del *Niva*, existen notorias posibilidades de encamado en las tres variedades analizadas.

c) LIDO

Ya hemos mencionado antes esta variedad por su plasticidad. Se trata de una variedad muy precoz, menos productiva que el *Bahía* en la zona del Delta, y, sobre todo, con un rendimiento claramente más bajo. Por contra, es bastante resistente a los hongos del género *Pyricularia*, y con una fuerte capacidad de ahijamiento, con un grano largo similar al *Senia*, pero muy estrecho, lo cual hace que sea claramente más bajo el peso de 100 granos con respecto a las otras variedades analizadas: *Bahía, Senia* o *Tebre*.

d) THAINATO

Se trata de una variedad también precoz, con una producción similar al *Lido* y con un rendimiento también bajo, aunque superior al *Lido* al menos en tres puntos. Es bastante susceptible -en las condiciones climáticas del delta del Ebro- al ataque de *Pyricularia* y presenta una muy fuerte capacidad de ahijamiento. En cuanto al grano, le pasa un poco como al *Lido*, que es estrecho, lo cual hace que el peso de 100 granos sea claramente inferior a los testigos *Bahía*, *Senia* o *Tebre*. Presenta una ventaja con respecto al *Lido*, y es que resulta de una talla inferior.

e) THAIPERLA

Estamos ante una nueva variedad, también de tipo Japónica, que tiene una producción superior al *Bahía*, pero con un rendimiento bajo y muy similar al *Lido*. Presenta la ventaja de que es de una talla inferior al *Bahía* y resulta bastante resistente a la *Pyricularia*, con una capacidad de ahijamiento superior incluso a la del *Senia*, pero con un grano corto y no muy ancho, lo cual hace que también sea bajo el peso de los 100 granos de semilla. El grano tiene unas características que lo hacen muy interesante desde el punto de vista comercial.

f) THAIBONNET

Se trata de una variedad de tipo Índica de grano muy largo, que presenta muy altas producciones en el Sur de España, pero que en el delta del Ebro, aunque supera al *Bahía*, no suele superar al *Tebre* y tiene un rendimiento muy similar a éste, y, por supuesto, inferior al *Bahía* y al *Senia*. Tiene la ventaja de que posee un gran poder de ahijamiento, y una talla baja, y es bastante resistente al

hongo *Pyricularia oryzae*. Como el grano es estrecho, también es bajo el peso por 100 granos.

2. Plan de trabajo y calendario

A continuación, se desarrolla un ejemplo de mejora genética del arroz. Todo lo anteriormente expuesto y detallado nos conducirá a la elección de la metodología del trabajo a realizar y de los materiales a emplear con el fin de obtener una variedad de arroz que resulte altamente adecuada para su empleo en una zona geográfica determinada, como por ejemplo cualquiera de las españolas.

La metodología partirá del cruzamiento artificial entre variedades del tipo Japónica, así:

LIDO x *BAHIA*

THAIPERLA x *SENIA*

Se llevará a cabo un método de selección genealógica a partir de la generación F_2 del cruzamiento adecuado. Para ello, se realizarán los siguientes pasos:

* Elección de genitores.
* Primer año: realización de cruzamientos.
* Segundo año: análisis en el campo de los F_1 y obtención de semilla F_2.
* Tercer año: análisis en el campo de las líneas F_2 y selección por los caracteres que más interesen (selección de plantas individuales).
* Cuarto año: análisis en el campo de las líneas F_3, con selección de plantas individuales.
* Quinto año hasta séptimo u octavo año: eliminación de líneas y selección de plantas dentro de las líneas.
* Aproximadamente en las generaciones F_7 o F_8 tendrá lugar una adecuada homogeneidad.

* Obtención de la variedad buscada y multiplicación de la semilla en el campo G_0, G_1, G_2, prebase, base, R-1 y R-2.

* En cada una de las fases anteriores se llevará a efecto la selección de la simiente mediante el correspondiente proceso agroindustrial, consistente en la limpieza, secado, almacenamiento, seleccionado densimétrico, tratamientos fitosanitarios, envasado y etiquetado.

* Expedición y comercialización hasta los puntos de venta a empresas mercantiles, cooperativas y agricultores individuales.

3. Mejora genética de la variedad *Bomba*

Se trata de una variedad muy antigua que resulta muy apreciada, desde el punto de vista comercial y organoléptico, para la confección de paellas y otro tipo de variantes gastronómicas del arroz, y por ello ha sido redescubierta en los últimos años. Es una variedad de producción minoritaria que alcanza precios muy elevados en el mercado especializado. Pero en contrapartida, esta variedad tiene una serie de aspectos negativos desde el punto de vista agronómico o de su comportamiento en campo. Son ejemplo de ellos, la presencia de arista en el grano, su baja producción, también su bajo rendimiento, una susceptibilidad a *Pyricularia oryzae* media y algo mayor que la mayoría de las restantes variedades (lo que comporta menor calidad del grano), pero con una alta susceptibilidad a la *Alternaria* y una débil capacidad de ahijamiento. También tiene una altura excesiva, lo que le confiere una clara tendencia al encamado, por lo que la dosis de abonado nitrogenado debe reducirse para evitar el crecimiento excesivo de la planta y la consecuente pérdida de calidad del grano.

En el Departamento del Arroz del Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA), desde 1996 se está realizando una mejora genética de la variedad *Bomba* (variedad bajo la D.O.), debido a las características químicas que posee que la diferencian de las restantes variedades más habituales de grano medio como la *Senia* o *Bahía*. La propiedad más apreciada es su mayor resistencia a la cocción (por lo tanto se “pega” menos). El grano es incluso más corto que el *Balilla* y, además, es más estrecho, lo cual también da un bajo peso

por 100 granos, compensado, en parte, por el espesor del grano, ya que se trata de un tipo muy redondeado.

Su ciclo, en fin, resulta algo más corto que el de las variedades de empleo más corriente, lo que exige su cultivo en parcelas donde el “corte” del agua para la recolección pueda realizarse con independencia y anterioridad (o bien la siembra pueda ser más tardía). Últimamente, desde el punto de vista comercial, su precio en arroz-cáscara percibido por el agricultor viene multiplicado por el factor de corrección 2,3-2,7 en relación al de las variedades más corrientes (*Fonsa, Bahía* o *Senia*).

4. Tendencias de la producción europea

También el obtentor de nuevas variedades de arroz deberá tener en cuenta, en todo momento, las tendencias de producción y consumo que tienen lugar -específicamente, en nuestro caso- en el ámbito de la Unión Europea.

Si nos referimos a las dos últimas campañas cuyos datos nos son conocidos, veamos que Italia, el mayor productor europeo, ha experimentado una reducción de cosecha del 3%, siendo la reducción en el tipo Índica del 7%, con una reducción de la superficie de este tipo de arroz del 4%.

En este sentido, hay que destacar que salvo Italia, todos los países de la UE productores de arroz han incrementado la superficie de Índica, destacando Francia con un importante incremento del 31%. Las superficies de las variedades tipo Japónica también se han visto incrementadas salvo en Francia que, en este caso, ha experimentado una reducción del 5%.

El siguiente cuadro nos ofrece una imagen orientativa de lo que ha venido sucediendo en la UE en las dos últimas campañas arroceras, por lo que se refiere a superficies, producciones y rendimientos.

Tabla 10.1. Superficies, producción y rendimientos del arroz-cáscara en Europa (campañas 2002/03 y 2003/04)

ARROZ (PADDY) : PRIMERA ESTIMACIONES CAMPAÑA 03/04																
	Superficie						Rendimiento				Producción					
	2002/2003		2003/2004		% 02/01		2002/2003		2003/2004		2002/2003		2003/2004		% 02/01	
	Indica	Japonica	Indica	Japonica	Indica	Japonica	Indica	Japonica	Indica	Japonica	Indica	Japonica	Indica	Japonica	Indica	Japonica
Grecia	14250	7100	14600	7400	2,5%	4,2%	8,49	6,57	8	6	121100	46700	116800	44400	-4%	-5%
España	57428	55311	60072	56057	1,0%	1,3%	8,38	6,97	8,25	6,91	513102	374498	484524	386076	-6%	3%
Francia	4229	14319	5539	13561	31,0%	-5,3%	5,36	5,9	5,7	5,7	22649	84518	31572	77298	39%	-9%
Italia	58620	160050	56275	163800	-4,0%	2,3%	6,6	6,15	6,4	5,95	386900	984310	360160	975000	-7%	-1%
Portugal	3000	22000	3000	22000	0,0%	0,0%	6,2	6,1	6,2	6,1	12400	152500	10540	129625	-15%	-15%
total	137527	258780	139486	262818							1056151	1642526	1003596	1612399		
TOTAL	396307		402304								2.698.677		2.615.995		-3,1%	

CAPÍTULO 11

- LA ADAPTABILIDAD Y CONSERVACIÓN DE LA VARIEDAD SELECCIONADA (MEJORA CONSERVADORA) -

1. La adaptabilidad de las variedades

La adaptabilidad es un concepto que se deriva de la necesidad de obtener genotipos aptos para distintos lugares geográficos: diversas técnicas de cultivo y de ambiente, para los que el genotipo ideal debe mostrarse polivalente.

El concepto de adaptabilidad o plasticidad va unido a la capacidad de una cierta variedad para dar producciones igualmente buenas en cualquier ambiente edafo-climático y en una campaña favorable o no. La adaptabilidad se debe a una combinación de factores de carácter genético poco conocida, por la que la variabilidad de los caracteres fisiológicos -principalmente el comportamiento frente a la luz y la temperatura, junto con las reacciones biológicas de síntesis- se mantiene entre límites muy estrechos, incluso en circunstancias difíciles y en condiciones de cultivo muy diversas.

Debe tenerse en cuenta que la capacidad de adaptación de las variedades de arroz a las condiciones ambientales no ha sido objeto de investigaciones sistemáticas que permitan una obtener una información segura y una clasificación nítida. Este objetivo es uno de los más importantes que la investigación, en el campo de la mejora genética de las variedades, deberá abordar para evitar la creación de un excesivo número de variedades con características no muy buenas y para que no se den producciones óptimas alternando con resultados desmoralizadores, al cambiar las condiciones de cultivo.

Naturalmente, este objetivo no excluye que se deban buscar variedades con características concretas y particulares, como la tolerancia al frío, la adaptación al cultivo en terrenos cenagosos, hidromorfos o salinos y otros tipos, para muy determinadas necesidades.

2. La conservación de la variedad seleccionada

Frecuentemente, se realizan comentarios sobre el hecho de que las variedades se modifican y pierden algunas de sus características. Se ha observado que en todas las variedades de arroz cultivadas antiguamente, las modificaciones producidas se refieren particularmente a los siguientes extremos:

- el ciclo de cultivo: se acorta, lenta y constantemente;
- la resistencia al encamado: las variedades se vuelven más susceptibles;
- la resistencia a los patógenos: aumenta la susceptibilidad;
- la presencia de plantas con cariópsides de pericarpio rojo;
- las dimensiones de las cariópsides: se modifican en sentido positivo o negativo;
- la resistencia al desgrane: disminuye gradualmente;
- la adaptabilidad de las variedades a ambientes de cultivo y ecológicos diferentes: normalmente aumenta;
- la capacidad productiva: con frecuencia disminuye;
- la rapidez de germinación: generalmente mejora.

Las causas más importantes de estas modificaciones son: variabilidad del desarrollo, mezclas mecánicas de semilla, mutaciones naturales, cruzamientos espontáneos, pequeñas modificaciones genéticas, presión selectiva de las enfermedades, técnica utilizada por el obtentor.

No obstante, la causa principal de la degeneración real de las variedades puede ser indudablemente atribuida al modo y a la técnica de obtención de las mismas. Para las viejas variedades no existe la menor duda de ello, ya que está claro que se trataba de poblaciones. En el caso de las más recientes, las causas

de las degeneraciones rápidas pueden ser debidas a que el registro y el cultivo de las variedades obtenidas ha sido demasiado prematuro, cuando todavía estaban presentes los fenómenos de segregación, o bien a que la producción de semilla de base no ha sido todo lo correcta que es exigible en estos casos.

Los caracteres de los organismos no son completamente estables sino que están sujetos a cambios que pueden ser, básicamente, de dos tipos:

- variaciones que, por afectar al genotipo, son heredables (mutaciones propiamente tales).
- variaciones que, por afectar solamente al fenotipo, son transitorias y no heredables.

Las mutaciones naturales y los cruzamientos espontáneos pueden ser unas de las más importantes causas de degeneración cuando no se procede con el máximo cuidado durante el proceso de producción de la semilla. La alogamia en el arroz ha sido analizada por numerosos investigadores. Algunos estudios realizados en Italia han verificado frecuencias de aproximadamente el 0,1%. En otros países se han encontrado frecuencias más elevadas, hasta el 3-4% en variedades cultivadas y el 20% en silvestres. Este fenómeno tiene una gran interdependencia de las condiciones climáticas.

La presión selectiva realizada por las diversas enfermedades puede desempeñar, tal vez, un papel importante. La consolidación de enfermedades micóticas, bacterianas, viróticas o, muchas veces, sólo la aparición de nuevas razas fisiológicas, pueden adquirir una importancia notable en la degeneración aparente de las variedades.

Se puede concluir que, cuando se respetan las normas necesarias en la obtención de nuevas variedades y en la producción de semilla, la degeneración de las semillas puede ser más aparente que real, aunque sin excluir la posibilidad de pequeñas modificaciones genéticas -difíciles de observar- por las que, a largo plazo, pueda adquirir notoriedad tan pernicioso fenómeno. En este caso, podría ser conveniente el efectuar, por el mejorador, un proceso de reselección seminal.

3. La mejora conservadora del arroz por las empresas especializadas

3.1. La influencia ambiental

Hemos explicado, pues, cuales son los objetivos que se plantea el mejorador de plantas para obtener una variedad de arroz concreta. Ahora bien, puede ocurrir que por causa de las influencias ambientales a las que antes hemos hecho alusión, la expresión de algunos caracteres, también mencionados antes, sea diferente en unos lugares o en otros. El agricultor arrocero se refiere a este concepto, de forma coloquial, diciendo que “esta variedad aquí va o no va”. Este concepto es lo que se denomina “adaptabilidad de las variedades”; una variedad será tanto mejor, en tanto en cuanto lo sea su plasticidad, es decir, su capacidad para producir buenas cosechas tanto en diversos ambientes como en diversos suelos, y sobre todo, en diversas campañas y condiciones de cultivo. Un caso de variedad de arroz con una gran adaptabilidad y muy conocida en casi todas las zonas es el de la variedad *Bahía*, la cual ha perdurado durante años, habiéndose cultivado lo mismo en el delta del Ebro que en las restantes zonas españolas, como en Valencia, en Extremadura, o en Andalucía; lo mismo le ocurre a la variedad de origen italiano denominada *Lido*. Otras variedades son menos plásticas, como es el caso de los arroces tipo Índica entre los cuales el más conocido, en estos tiempos, es la variedad denominada *Thaibonnet*, que ha sido ampliamente usada en Andalucía y Extremadura en los tiempos en que no existían restricciones al cultivo por causa de la sequía y, en cambio, no lo ha sido prácticamente ni en el delta del Ebro ni en Valencia, ya que la expresión máxima de caracteres de producción de esa variedad se consigue precisamente con las temperaturas más altas y prolongadas, propias del Sur de España.

Aparte de este concepto de adaptación, debida a condiciones estrictamente naturales, a lo largo del tiempo se van produciendo modificaciones del hábito de cultivo del productor de arroz, el cual aumenta los abonados minerales, la utilización de diversos fungicidas que provocan resistencias en los hongos, etc., los cuales hacen que siempre haya que tener en cuenta el concepto

de renovación varietal, es decir, de la búsqueda de nuevos genotipos que se adapten mejor a las condiciones culturales, por un lado y, también, a las condiciones industriales del procesado y comercialización del grano de arroz, por otro.

Con todo lo anteriormente expuesto se podía pensar que, cuando se tuviera a disposición del agricultor un buen espectro de variedades, estaríamos ante una situación estática y esas variedades podrían servir casi para siempre; pero ello no es así porque, con frecuencia, aparece otro concepto que el agricultor expresa, también de una forma coloquial, como que "esta variedad está degenerada".

El concepto de "variedad", en el caso de las especies autógamas, como le ocurre al arroz, se identifica con el uso de un genotipo cuyo grano, al reproducirse, produce plantas iguales a aquellas de las que procede. Este concepto se traduce, en la práctica, en lo que normalmente se denomina "fijación de un genotipo", es decir, después de un proceso de mejora genética se llega a la fijación de una serie de genes, los cuales hacen que la variedad reproduzca, en sus sucesivas multiplicaciones, sus caracteres fundamentales. Es decir, que las fluctuaciones que aparecen entre los diferentes individuos de la variedad no son genéticas sino consecuencia de lo que se denomina "influencia ambiental", que puede ser producida o bien por las condiciones de cultivo, o por las condiciones climáticas de cada ambiente, o por los diferentes abonos químicos nutricionales, o bien, simplemente, por las prácticas culturales ejecutadas.

En sentido estricto, el problema de si una cierta característica es hereditaria o ambiental no tiene ningún significado. Los genes no pueden hacer que se desarrolle un carácter si no tienen el medio ambiente adecuado, y al contrario, ninguna manipulación del medio hará que se desarrolle una cierta característica si no están presentes los genes necesarios. A pesar de esto debemos reconocer que la variabilidad observada en algunos caracteres es debida, principalmente, a diferencias en los genes que llevan los diferentes individuos y que la observada en otros se debe, sobre todo, a diferencias en los medios a los que han sido expuestos los individuos; sería, por consiguiente, muy

útil el tener un parámetro que midiera la importancia relativa de la herencia y el medio en la determinación de la expresión de los caracteres.

Queda claro, entonces, que si una variedad determinada está fijada genéticamente -aparte de esa posible influencia ambiental-, las características de lo que denominamos "variedad de arroz" se van reproduciendo de forma constante a lo largo de las sucesivas multiplicaciones.

3.2. La conservación de las variedades

Tal como ya hemos apuntado con anterioridad, veamos que, en general, cuando una variedad de arroz se va cultivando durante varios años, se aprecia toda una serie de circunstancias degenerativas que inicialmente la variedad no tenía, como son, por ejemplo, el hecho de que se hace más sensible al encamado, se hace más sensible a los hongos, empiezan a aparecer granos de pericarpio rojo, empieza a desgranarse más y, por último, la producción y/o el rendimiento disminuyen.

Todas estas consecuencias negativas del uso continuado y poco pulcro de un genotipo inicial, son debidas a que no se realiza una conservación adecuada de aquel mismo genotipo inicial. Hay varias causas, a las que ya nos hemos referido, que producen todas esas modificaciones en las variedades cultivadas, como son, por ejemplo, las mezclas mecánicas de semilla en el proceso de recolección y secado, las mutaciones naturales, los cruzamientos espontáneos, pero sobre todo -y fundamentalmente- la técnica empleada en la obtención de la variedad. Con frecuencia, se empiezan a cultivar variedades que no están suficientemente fijadas y, en ellas, a medida que se producen las multiplicaciones correspondientes, empiezan a aparecer mecanismos de segregación de los caracteres que hacen que aquel concepto inicial de reproducción exacta de las características de un genotipo, no se cumpla, ya que, en el fondo, **se está haciendo la multiplicación de varios genotipos, eso sí, ligeramente parecidos entre sí pero no exactamente iguales**. Ello se complica sobremanera cuando esa segregación se ve incrementada, bien sea por una

mutación natural (que aunque, de baja probabilidad, de hecho se dan) o sobre todo, cuando aparece algún cruzamiento, ya sea con otra variedad cultivada, o bien con una planta de arroz asilvestrada, lo cual evidentemente aumenta mucho la frecuencia de aparición de los fenómenos de segregación. De este modo, la media poblacional de una variedad en concreto puede diferir, de modo ostensible, con respecto a los valores que tenía el genotipo inicial que dió lugar a la nueva variedad.

Con esto entramos pues, de lleno, en la constatación práctica de que las variedades dejadas a su libre albedrío no son estáticas y aparece, con fuerza emergente, la perentoriedad de la CONSERVACIÓN de las mismas en pureza, es decir, con las mismas características que tenía inicialmente.

Este concepto de conservación engendra toda una tarea específica y sistemática que ni puede, ni debe, ni sabe hacer el productor-cultivador de arroz, y es una actividad exclusiva de las empresas productoras de semillas. Cuando decimos que el agricultor no debe hacerlo es porque la actividad reseñada en sí requiere, por un lado, unos conocimientos teórico-prácticos en ocasiones muy específicos, y por otro, unas instalaciones electromecánicas que normalmente no posee el agricultor arrocero y en cambio sí tienen las empresas productoras de semilla.

Antiguamente -e incluso en la actualidad por parte de algunos agricultores excesivamente apegados a los métodos tradicionales- se da la circunstancia de reservar una parte de un campo establecido para producción de grano comercial, para lo que ellos denominan o denominaban “para semilla”. Con lo dicho anteriormente acerca de los cruzamientos espontáneos, de los fenómenos de segregación, etc., una actuación indiscriminada de este tipo no controla ningún mecanismo de los que hemos denominado “degeneración varietal” y tiene empero, como consecuencia práctica, unas pérdidas claras tanto en la productividad como en la calidad del producto terminado. Estas circunstancias, en general, las ha comprendido bien el agricultor y ha dejado casi exclusivamente la actividad de la producción de semilla en manos de las empresas especializadas, las cuales realizan la conservación de la misma de una forma idónea.

Este proceso de conservación varietal, también denominado MEJORA CONSERVADORA, se basa fundamentalmente en el rigurosísimo control que se hace en las sucesivas multiplicaciones hasta que se obtiene la semilla lista para su comercialización y venta.

En el caso concreto del arroz, al igual que en otro tipo de plantas autógamas, se parte de un campo inicial de líneas procedentes de panículas elegidas y a partir de ellas se van llevando a efecto las sucesivas multiplicaciones. El primer concepto que hay que tener en cuenta es que la semilla comercial será tanto más pura -lo cual quiere decir que se parece tanto más al genotipo original- cuanto menor sea el número de multiplicaciones a que se vea sometida, ya que, al aumentar este número, aumenta también, correlativamente, la probabilidad de aparición de cruzamientos incontrolados y de los fenómenos de segregación de los caracteres.

Los controles que se realizan para la conservación son de dos tipos: unos de campo y otros de laboratorio o de gabinete. En el campo, ya sea en los campos iniciales en donde se realiza la siembra panícula-línea, o bien, en las sucesivas multiplicaciones de pequeño tamaño, el control tiene que ser estricto, eliminándose, bien líneas enteras, o bien individuos en las parcelas de multiplicación, que por una causa u otra se alejen de la élite inicial. Una circunstancia burda y obviamente controlable es la aparición de plantas de otra variedad, así como de plantas asilvestradas, de grano coloreado, etc... Otra cosa mucho más difícil, y que requiere un perfecto conocimiento de la variedad que se está conservando a nivel técnico, es la eliminación de lo que llamamos “plantas fuera de tipo”, es decir, aquellas plantas que -aún siendo de la variedad de la que se trata- presentan unas características morfológicas (pueden ser una o varias) que hagan que se separen del tipo élite inicial. Si no se conocen, en primer lugar, las características iniciales de la variedad, y, en segundo lugar, la expresión de aquellas plantas fuera de tipo, y no se eliminan con un rigor exquisito, dichas plantas van multiplicando su número en sucesivas reproducciones y ofrecen, como consecuencia indeseable, que la semilla final vendida no sea todo lo homogénea y uniforme que debe ser.

Queda claro, pues, que el concepto de utilización de la semilla (o, mejor dicho, en este caso hay que hablar de “grano”) por parte de la reutilización del agricultor de su propio material, es intrínsecamente perversa. Pero aunque se realice el proceso de conservación según los cánones establecidos para cada variedad, por parte de las entidades especializadas, como son las empresas productoras de semillas, la diferencia existente entre unas y otras estriba fundamentalmente en los conocimientos y rigurosidad técnica que ponga en su trabajo la entidad productora, ya que estas diferencias llevan como consecuencia que la semilla final sea de mejor o peor calidad. Por su parte, el agricultor eso también lo vulgariza diciendo que “la semilla que he comprado en la empresa X me ha salido mucho mejor que la comprada en otra empresa” ya que, o bien le ha dado más kilogramos de producción o bien -lo que es ya bastante más específico- le ha dado mayor rendimiento en granza.

En los países avanzados del mundo, entre los cuales se incluye España, afortunadamente, el agricultor ya ha comprendido que la semilla tenga que ser producida y vendida por las entidades productoras y deja que estas sociedades realicen la actividad que les es propia. Ahora bien, las Administraciones Públicas, incluída la española, con el objetivo de favorecer la utilización del mejor material vegetal por parte de los agricultores, ha creado el concepto que se denomina “Producción de Semilla Certificada”. Este concepto se halla reglamentado de tal forma que, admitiendo que las empresas de semilla realicen la actividad en cuestión, para lo cual les exige disponer de unas instalaciones adecuadas, si cumplen estrictamente con el Reglamento que para ello se ha establecido, extienden una etiqueta oficial que se debe incorporar a los sacos de simiente, mediante la cual se garantiza al agricultor que la semilla que compra tiene todos los requisitos que la Ley establece para la misma.

Este Reglamento está publicado en el Boletín Oficial del Estado nº: 241, de 8 de octubre de 1979 (puede verse la correspondiente Orden Ministerial de 31 de agosto de aquel año reproducida, en primer lugar, en el anexo IX a este trabajo) y es de obligado cumplimiento. En él se establecen las características que deben tener cada una de las categorías de semilla multiplicada, partiendo de la semilla G_0 hasta la semilla de prebase y de base y la semilla certificada R-1 y R-2; se

especifican claramente las distancias a guardar entre los campos y los controles que en ellos se deben realizar, todo ello supervisado por inspectores competentes en la materia que tienen la potestad de invalidar cualquier categoría de semilla si detectan que no se presentan las condiciones adecuadas en el campo, o bien en la semilla producida en cada campo, mediante unos controles que se realizan en los laboratorios oficiales, y que se refieren, fundamentalmente, a la pureza varietal, al poder germinativo, al estado sanitario, a la presencia de granos rojos, etc.

En resumen, podemos afirmar claramente que la utilización de Semilla Certificada producida mediante los mecanismos a que antes nos hemos referido, y por las Entidades adecuadas, no presenta más que ventajas para el agricultor, el cual puede claramente despreocuparse del tema de la reutilización de su propia semilla, y, con los avales que le da la Administración competente, puede tener la confianza de que el dinero que emplea en la adquisición del material vegetal para su siembra está muy bien invertido, ya que ha servido para que los obligados controles en la producción de semilla sean realizados con toda la pulcritud necesaria.

CAPÍTULO 12

- LA PRODUCCIÓN Y CERTIFICACIÓN DE SEMILLAS -

1. La producción de semillas, certificación y registro de las variedades

La producción de las semillas constituye el último capítulo de la mejora genética de las variedades. Esta es una actividad agrícola que, basándose en la investigación, perpetúa los resultados acumulados al cabo de muchos años de esfuerzos y capitales invertidos.

Las semillas de arroz, en el marco de las normativas comunitarias y nacionales que regulan la comercialización de las simientes, deben cumplir determinados requisitos de identidad, pureza varietal, germinabilidad, pureza específica y sanidad, que deben ser cumplidos escrupulosamente por los productores de las mismas.

Con este fin se han fijado las condiciones mínimas que deben de cumplir los cultivos para la producción de simiente y las semillas certificadas; el respeto de tales condiciones se verifica a través de controles, formando parte de un conjunto de acciones previstas para la certificación oficial de las semillas.

Las semillas producidas de arroz tienen que pertenecer a variedades oficialmente registradas; con el único fin de la comercialización, las semillas pueden pertenecer a variedades que figuran inscritas en el Catálogo Comunitario de las Variedades. La producción de semillas y la certificación que se realiza a

nivel nacional generalmente se limita únicamente a las variedades inscritas en el Registro Oficial de las variedades[1].

Tabla 12.1. Relación de diferentes tipos de variedades de arroz con su número de registro y código de conservador

NRV	DENOMINACIÓN VARIETAL	CÓDIGO CONSERVADOR	TIPO
880098	*ALBADA*	X	Semilargo
006001	*BAHIA*	X	Redondo
006006	*BALILLA*	3608	Redondo
006002	*BALILLAxSOLLANA*	X	Redondo
800141	*BETIS*	0011	Redondo
006011	*BOMBA*	0275	Redondo
920387	*CALCA*	0275	Redondo
880097	*CLOT*	0082	Redondo
900466	*DOÑANA*	0243	Largo
940375	*FANGA*	0275	Redondo
940374	*FONSA*	0275	Redondo
940373	*GALATXO*	0275	Semilargo
880137	*GUADIAMAR*	0243	Semilargo
860083	*INDIO*	3609	Largo
770667	*JUCAR*	0011	Redondo
870158	*LEBONET*	X	Largo
880096	*LEDA*	X	Semilargo
970302	*LEMONT*	X	Largo
860082	*LIDO*	X	Semilargo
880099	*MARENY*	0082	Semilargo
940372	*MASO*	0275	Semilargo
770666	*NIVA*	X	Redondo
880138	*PUNTAL*	0243	Largo
840057	*SENIA*	X	Redondo
870303	*SKYBONNET*	X	Largo
006025	*STARBONNET*	5032	Redondo
840056	*TEBRE*	X	Redondo
870159	*THAIBONNET*	X	Largo
870164	*THAINATO*	X	Semilargo
870163	*THAIPERLA*	X	Semilargo
830082	*VENERIA*	X	Redondo
880150	*VETA*	X	Redondo

La inscripción de las variedades de arroz en el Registro comporta, según los criterios adoptados en el marco comunitario para ésta y otras plantas agrícolas, la realización de pruebas oficiales, de duración al menos bienal, tendentes a comprobar las características de “distinguibilidad”, “homogeneidad” y “estabilidad” varietal, junto con valoraciones relativas al “valor agronómico y de su utilidad”.

[1] *Vide* A. Tinarelli, pp.231 y ss. Obra citada en la bibliografía.

Las variedades inscritas en el Registro se conservan por el obtentor mediante métodos apropiados de selección, llamados de “selección para la conservación”, por medio de los cuales se efectúa la producción de semilla de prebase y, por derivación genealógica, la semilla de las categorías “de base” y certificadas de 1ª y 2ª reproducción. La certificación de las semillas en el área comunitaria está regulada por disposiciones contenidas en las Directivas del Consejo de las Comunidades Europeas 66-402-CEE y en el marco nacional con la ley de 25 de noviembre de 1971, nº 1096, y su relativo Reglamento de ejecución, así como con la ley 20 de abril de 1976, nº 195, y otras normativas, entre las que tiene un especial interés las “Disposiciones técnicas relativas a la certificación de las semillas de arroz”. Las sucesivas disposiciones regulan, en síntesis, las condiciones para inscripción en el registro, las formas de presentación de las instancias, las prescripciones de carácter técnico que tienen que observar los cultivadores y manipuladores de semillas y las metodologías de control.

Los controles oficiales para la comprobación de la identidad y pureza varietal en las categorías de semilla destinadas a la comercialización se realizan en: las explotaciones agrícolas, en las instalaciones de selección mecánica de las semillas, en los laboratorios de análisis y centros especializados a disposición del organismo responsable de la certificación.

En Italia, el país de mayor producción arrocera en la Unión Europea según puede comprobarse en el Capítulo 2 de nuestro libro, esta misión la realiza el organismo público *Ente Nazionale delle Sementi Elette: ENSE*. En el estado español, esta labor era realizada por el Instituto Nacional de Semillas y Plantas de Vivero (INSPV), pero ha pasado a ser competencia de organismos oficiales de las diferentes Comunidades Autónomas.

En el ámbito de las normas relacionadas con la actividad del productor-multiplicador resulta de gran importancia el respeto de algunas prescripciones técnicas de carácter general. Entre las de mayor importancia se pueden citar las siguientes:

- Categoría de la semilla. Las semillas de arroz objeto de certificación oficial se clasifican en diversas categorías, relacionadas entre sí por vínculos de sucesión genealógica a través de la selección varietal conservadora; de los núcleos derivan el material parental o G-0, las sucesivas generaciones G-1, G-2 y G-3 de semilla de prebase, semilla de base, semilla de 1ª reproducción o R-1 y de 2ª reproducción o R-2. De las semillas de prebase, cuando están certificadas, se pueden obtener las semillas de 1ª y 2ª multiplicación, pero no cuando falta el control y la certificación inicial.

- Número de variedades. El número de variedades que se pueden cultivar en una misma explotación es limitado: en el caso de cultivos para la producción de semilla de base se admite generalmente una sola variedad por explotación, salvo por derogación, cuando esté constituida por más de una finca y siempre que cada una de ellas disponga de una instalación autónoma para la recolección y conservación, de no más de dos variedades en la misma explotación, salvo cambios que se concedan en el caso de estructuras particulares de la explotación.

Aunque ésta es la normativa, para el arroz -con motivo de la persistencia durante muchos años de la germinabilidad del arroz de pericarpio rojo y desgranable- serían convenientes disposiciones que permitieran el cultivo de la semilla de base sólo en los terrenos con rotación, o también con monocultivo, pero solamente para la misma variedad y siempre con semilla de base. Es conveniente controlar el campo antes de la floración para evitar la posibilidad de cruzamiento entre la planta normal y las de grano rojo.

- Superficie de las parcelas. La reglamentación española contenida en la Orden ministerial de 1 de julio de 1986, que aprueba el Reglamento Técnico de Control y Certificación de Semillas de Cereales, (véase el anexo IX de “Legislación”), prevé una superficie mínima de 3 hectáreas para la semilla de base.

- Depuraciones. Las depuraciones que se realicen en los cultivos de semillas obedecen a exigencias de distinta naturaleza: mezclas ocasionales,

variaciones, mutaciones; entre las depuraciones hay que destacar la eliminación de plantas distintas al tipo varietal que se trate, las de pericarpio rojo y las infectadas por enfermedades transmitidas por semilla: especialmente *Fusarium moniliforme*, la única fitopatía que en Italia se transmite a las plantas jóvenes y adultas del arroz solamente a través de la semilla.[2]

- Estado fitosanitario. Se tolera la presencia de indicios de *Pyricularia oryzae*, *Drechslera oryzae* (*Helminthosporium oryzae*) y *Sclerotium oryzae*; se admite la presencia mínima de *Fusarium monoliforme*. La reglamentación española no hace referencia a la presencia de *Fusarium monoliforme* (comentado anteriormente) y *Sclerotium oryzae,* del cual, a pesar de ser endémico en España, no se han cuantificado los daños producidos durante la última fase de la maduración.

El personal técnico, responsable de las inspecciones, durante la visita al campo, efectúa comprobaciones, cuya valoración sirve para decidir la posibilidad de realizar futuras depuraciones, relativas al estado general del cultivo: encamado, daños por granizo, esterilidad floral, etc., y a la presencia excesiva de malas hierbas, etc., pero no analiza la facultad germinativa u otro tipo de determinaciones.

Al grado de homogeneidad y pureza varietal se le presta una atención particular en las disposiciones vigentes mediante la fijación de unos parámetros rigurosos. Con relación a esto, las tolerancias permitidas de otro tipo de plantas, como otras variedades, variaciones o mutaciones en el momento de la inspección oficial en el campo son las siguientes:

- semillas de base: 0,5‰ plantas, incluidas las de granos rojos;
- semillas de 1ª reproducción: 1‰ plantas, incluidas las de granos rojos;

[2] Aunque este agente micótico haya sido aislado en arrozales españoles, no se han cuantificado todavía, aunque parecen pequeños, los daños que pueda producir durante la germinación o en la fase de maduración, y no se menciona en las reglamentaciones españolas, contenidas en la Orden citada anteriormente.

- semillas de 2ª reproducción: 2‰ plantas, incluidas las de granos rojos[3].

- Análisis varietales. En el laboratorio, donde las semillas se analizan en lo relativo a la germinabilidad, pureza específica, estado sanitario, contenido máximo de semillas de *Echinochloa sp*. y de granos rojos en una muestra de 500 gramos, es también posible realizar un control sobre las características de identidad y de pureza varietal; este examen se basa en caracteres morfológicos de las cariópsides: la pilosidad de las glumillas, la forma y la pigmentación de las espiguillas, el peso de 1.000 granos y la presencia o no de "perla" en el endospermo del grano de arroz.

- La germinabilidad. Las normas oficiales, que constituyen la guía de los análisis de laboratorio para la determinación de las características de germinación de la semilla de arroz, indican que se pongan en el germinador dos o cuatro repeticiones, de 50-100 cariópsides del cereal, en el interior de cápsulas Petri. Para efectuar el control o prueba de la germinabilidad, la semilla se coloca en la oscuridad, a la temperatura de 28ºC, durante 10 días, en condiciones de humedad y con el papel de filtro saturado de agua; durante y al final de este período de tiempo se realizan las determinaciones relativas a la energía germinativa, como complemento y no obligatoria, y las que indican el porcentaje de semillas germinadas, las que tienen brotes normales y las no germinadas. Según la normativa UPOV, se consideran "normales" las plantas embrionarias que presentan las siguientes características:

- El sistema radicular con la raíz principal intacta o que presentan pequeños defectos, como pueden ser zonas decoloradas o necróticas o con grietas y fisuras cicatrizadas. También son normales aquellas que tengan la raíz principal defectuosa, pero con las raíces secundarias suficientemente numerosas y normales.

[3] La reglamentación española contenida en la Orden ministerial de 1 de julio de 1986 (BOE 19-7-1986) admite las siguientes tolerancias para la producción de semilla:

	Plantas de otras variedades	Plantas de otras especies
Semilla de base	1/5.000	20/Ha
Semilla R-1	2/1.000	2/10.000
Semilla R-2	3/1.000	4/10.000

- La parte aérea con el mesocótilo, el coleóptilo y las hojas normales, o bien con los pequeños defectos mencionados más arriba.

Se consideran, por el contrario, “anormales” las plantas embrionarias que presentan las siguientes características:

- El sistema radicular con la raíz primaria y secundarias defectuosas o insuficientes, es decir: encogidas o imperfectas; ausentes o con retraso en el desarrollo; rotas; agrietadas a partir del extremo; que presentan estrangulaciones; filiformes; con geotropismo negativo; translúcidas; marchitas como consecuencia de una infección primaria.
- La parte aérea con el mesocótilo defectuoso: roto; formando una espiral o aro; con retorcimiento acusado; marchito como consecuencia de una infección primaria; presentando el coleóptilo deformado o roto: con la extremidad dañada o ausente; formando un aro o espiral; con retorcimiento acusado; muy curvado; agrietado en más de un tercio de su longitud a partir del ápice; agrietado en la base; filiforme; marchito como consecuencia de infecciones primarias. Si las hojas están ausentes o cuyo desarrollo es inferior a la mitad de la longitud del coleóptilo y si son deformes.

Hay que recalcar que el fisiólogo o el analista que realice la determinación anterior ha de poner la máxima atención y cuidado para el análisis de la germinabilidad, teniendo en cuenta que las condiciones de ambiente utilizadas durante el mismo favorecen el fenómeno de la germinación.

Las condiciones ambientales reales del campo de arroz son completamente diferentes a las ideales del laboratorio; en él las temperaturas medias reales retrasan el fenómeno germinativo, por alterar las originales condiciones enzimáticas de las semillas, que favorecen a los hongos, los parásitos obligados o facultativos presentes en el terreno que atacan a la semilla antes de su geminación; hay que añadir otros muchos factores negativos, entre los que se encuentra la utilización de aguas eutrofizadas y contaminadas, que contribuyen a la alteración y destrucción de la planta embrionaria. Por otra parte,

las esporas o conidias de los hongos parásitos o saprofitos, presentes en la semilla, lo dañan a veces, al igual que los hongos externos, aunque éstos también se encuentran inhibidos por las situaciones térmicas, por el régimen de inundación, carente de oxígeno (anaerobiosis), o por el ambiente impropio de ellos.

Por todo ello se observa que usando una semilla perfecta, con un valor excelente de su poder germinativo, no germina, por término medio, más del 50% de la cantidad total de semillas distribuidas en el campo; muy pocas veces sobrevive por diversas causas, al final del cultivo del arroz, un número de plantas superior al 35% del número de semillas inicialmente distribuidas; la media oscila, en fin, entre el 20 y el 30 por ciento. De todo esto se deriva la necesidad de disponer de un método analítico que permita la obtención de unos datos, más acordes con la realidad práctica, en los que el agricultor se pueda basar con fiabilidad.

- Control a *posteriori*. Es el medio para examinar los aspectos varietales de las semillas en la fase de producto final, destinado a la comercialización; los resultados de los análisis se conservan hasta la utilización futura del lote de semilla certificada, como consecuencia de los tiempos necesarios e indispensables para realizar el cultivo de control; éste representa el instrumento más adecuado para comprobar el buen funcionamiento del sistema de certificación o de identificación de las ocasionales anomalías, caso de que en la selección varietal conservadora aparecieran variaciones de descendencia no conformes con la variedad original, y para prevenir, posiblemente, la pérdida de homogeneidad y de estabilidad varietal.

Asimismo, los Servicios Oficiales de inspección en materia de semillas en cada Comunidad Autónoma, controlan debidamente los procesos de producción, mediante visitas a los campos de semillas a partir del espigado, a través de los análisis de las muestras de la semilla envasada antes de su expedición y mediante la comprobación de las cantidades producidas respecto a los aforos de cosecha previamente efectuados.

2. Normas para la producción de las semillas

Se considera “semilla de base”, y se certifica como tal, exclusivamente la semilla derivada de la multiplicación de la semilla prebase o núcleo, procedente del Obtentor de la variedad o de quien tiene los títulos legales para conservar en pureza la variedad y para reproducirla.

La semillas certificadas, de primera o segunda reproducción, tienen que proceder de la semilla de base. Cualquiera puede producirlas con tal de que cumpla las normas previstas.

Estas disposiciones principales, junto con las que establecen las características mínimas de las semillas para poder ser certificadas, constituyen la premisa de cualquier actividad productiva relativa a todas las semillas de cualquier especie cultivada.

El agricultor que quiera producir semillas y se proponga obtener unos resultados económicos válidos junto con eficaces resultados técnico-productivos tiene que acomodar su propia finca al problema particular impuesto por la delicadeza de toda una serie de operaciones.

Acomodar o adecuar su finca significa, ante todo, introducirse en el espíritu y concepto de esta actividad productora, lo que significa, entre otras obligaciones:

- Cultivar una sola variedad de arroz, o al menos no más de dos.
- Realizar la recolección y secado de cada variedad mediante una sola instalación o máquina en exclusiva. Sólo en el caso de garantía de limpieza absoluta, de todas y cada una de las partes de las instalaciones, se puede actuar de forma diferente.
- Los tornillos sinfín o roscas helicoidales, para el transporte del producto desde la secadora al almacén, deben de ser sustituidos por cintas transportadoras, en el caso del cultivo de dos variedades. De otro modo,

es indispensable que se pueda inspeccionar cualquier parte del sinfín mediante el abatimiento del fondo. Los elevadores de cangilones para el transporte ascensional vertical no pueden estar en un "foso" para inspeccionar mejor el fondo; las tazas o cubiletes ("cangilones") de los mismos deben de ser fácilmente desmontables, para evitar que las semillas queden retenidas entre la correa (o cadena) y las tazas.

- En cualquier campo, en el caso de cambio de variedad, es necesario mantener, durante al menos dos años consecutivos un cultivo sin inundar para evitar que las semillas de pericarpio rojo o las de la variedad cultivada con anterioridad puedan contaminar el cultivo siguiente. Esta práctica, aunque necesaria para la producción de semilla, puede entrar en contradicción con las exigencias para la percepción de las ayudas agroambientales que exigen la inundación de los campos.
- La sembradora, los medios de transporte, los almacenes, los sacos y cualquier otro medio o instrumento que pueda ser causa de contaminación deben ser convenientemente inspeccionados antes de su utilización.

La técnica de producción, racional y apropiada, del "núcleo de la semilla" indica que el Obtentor de la variedad o el responsable de la "selección varietal conservadora" siembre o trasplante según el método de la panícula-fila o planta-fila. O dicho en otros términos: las plantas previamente elegidas o las panículas recogidas de plantas absolutamente idénticas entre sí y con la *standard* se deben cultivar en filas individuales.

Durante "todo" el período del ciclo de cultivo las filas que contengan una o varias plantas que difieran de la *standard*, para cualquier carácter principal que distinga y sea específico de la variedad en cuestión, serán eliminadas.

Al terminar la maduración se recoge un número suficiente y adecuado de plantas o panículas para repetir la operación durante el año siguiente: con la advertencia de recogerlas de muchas filas, para evitar que se realice una selección ocasional por caracteres que fenotípicamente no se manifiesten en el momento.

El producto de la parcela de cultivo recolectado y secado, con los cuidados necesarios para este caso, representa el primer “núcleo de semilla” del Obtentor o del Conservador.

Durante el año siguiente, el cultivo sucesivo -realizado con los cuidados convenientes para evitar contaminaciones indeseables- será sometido por el contrario a “selección masal”: la directa o positiva, o la indirecta o negativa. Puede ser muy conveniente, no obstante, efectuar ambas. Respecto a este método, recomendamos el repaso del anterior Capítulo 8 de nuestro libro.

En el primer caso, del cultivo sembrado de forma normal, se recogen cierto número de manojos de panículas elegidas entre las plantas más típicas, segando panícula a panícula o por plantas y seleccionándolas en el almacén de la finca. En el segundo caso reseñado, se inspecciona el cultivo separando y quitando las plantas atípicas. Después de dos o tres ciclos de cultivo -como algunas legislaciones extranjeras establecen y requieren- se comercializa la semilla de base.[4]

El seleccionador que realice la producción de semilla certificada de 1ª y 2ª reproducción deberá utilizar la selección masal según la metodología antes dicha. El trabajo será tanto menor cuanto más esmerados hayan sido los cuidados, para evitar cualquier fuente de contaminación, sobre los cultivos precedentes.

Las empresas productoras de semillas, para la certificación de las mismas, tienen que demostrar el origen de cada partida individual mediante un registro de entradas y salidas.

El organismo a cuyo cargo está la certificación -después de la instancia o solicitud presentada a tal fin- controla los cultivos de semilla una o más veces, también bajo el aspecto sanitario; controla el origen de la semilla; saca muestras de los almacenes antes y después de la selección; realiza todos los análisis

[4] En España, según el Reglamento Técnico de Control y Certificación de Semillas de Cereales, aprobado por la Orden de 1 de julio de 1986, a partir del material parental o G-0 se requieren cuatro multiplicaciones para producir la semilla de base.

previstos por la ley; controla, mediante cultivos a *posteriori*, la correspondencia de la semilla con el *standard* varietal, cultivando también la semilla del conservador de la variedad.

Digamos, por último, que la etiqueta correspondiente que certifica el tipo y las características de la semilla deberá acompañarla por duplicado: en el interior y en el exterior del envase que la contiene.

3. La biotecnología y las empresas productoras de semillas

Las empresas biotecnológicas mantienen, desde hace ya algunos años, una política de integración vertical de empresas de semillas en su estructura. La razón es que esto les permite negociar mejor los acuerdos para las licencias de innovaciones biotecnológicas, ya que los organismos reguladores de estas licencias favorecen a las empresas productoras de semillas.

Durante la segunda mitad de los años noventa, se impuso en el sector agroquímico una fuerte tendencia hacia la integración vertical con las empresas productoras de semillas. El interés de las grandes compañías por integrarse verticalmente en estas empresas se explica por la complementariedad de los activos que participan en el proceso productivo: fundamentalmente conocimiento (*know-how*) y maquinaria. Para estas empresas, el producto final solamente será competitivo si se incorpora alguna innovación biotecnológica a su material vegetal. Por otro lado, en el caso de la innovación farmacéutica, la innovación biotecnológica no es suficiente por sí misma: solamente obtendrá todo su valor si la innovación es autorizada y si se introduce en el mercado con un fuerte impacto comercial.

Desde luego, la segmentación del mercado no es igual para la industria de semillas que para la industria farmacéutica. La segmentación, en el caso de los productos farmacéuticos, se fundamenta en las diversas enfermedades: de hecho, si una molécula es capaz de curar una enfermedad, será capaz de curarla en cualquier país del mundo. Por el contrario, la segmentación del mercado de

semillas se fundamenta en la existencia de diferentes especies vegetales y en su adaptación en las diversas zonas geográficas. Así, para que un carácter específico se pueda difundir al máximo -por ejemplo la resistencia a un insecto en el caso de la producción de arroz, como el taladro o barrenador *Chilo suppressalis*, Walk-, es necesario introducir esta característica dentro de todas las variedades de semillas.

Si consideramos esta restricción o condicionante, se comprende que para la mayoría de los organismos reguladores sea preferible conceder una licencia exclusiva a una empresa situada en los escalones más bajos de la cadena agroindustrial (los más próximos a la fase de venta) en el caso de la farmacia y, por otro lado, que también sea preferible otorgar licencias no exclusivas a diversas empresas productoras de semillas situadas en los escalones más bajos de la cadena agroalimentaria. En este sentido, podemos concluir que las empresas biotecnológicas están situadas en una posición más favorable para negociar un acuerdo de licencia cuando integren una empresa productora de semillas.

4. La protección de las nuevas variedades de arroz

El acceso a las variedades vegetales protegidas para desarrollar otras nuevas y las dificultades que ello plantea si las primeras contienen elementos genéticos protegidos por una patente es el tema de un simposio celebrado en Ginebra (Suiza) a finales del 2002 con delegados de la industria agroalimentaria implicada, los gobiernos y las organizaciones no gubernamentales.

Así lo señaló en conferencia de prensa el vicesecretario general de la Unión para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), Rolf Joerdens, al término del coloquio, organizado conjuntamente por esa organización intergubernamental y la Organización Mundial para la Propiedad Intelectual, con sede también en Ginebra.

La reunión, a la que asistieron 250 participantes, trató en especial de los desafíos que representan los progresos de la biotecnología vegetal para quienes inventan o desarrollan nuevas variedades vegetales.

Se trata de permitir la coexistencia efectiva de las patentes y de lo que se conoce en la jerga de esa organización como “derechos del obtentor”, es decir, de la persona física o jurídica que “crea, descubre y pone a punto una nueva variedad vegetal”.

Actualmente, hay 54.000 certificados de derechos de “obtentor” en los 51 países de la UPOV, según Joerdens, quien agregó que cada año se conceden 3.000 más, tanto de nuevas variedades logradas con manipulación genética como las conseguidas con los métodos tradicionales.

En el sistema UPOV, el seleccionador de una nueva variedad no está obligado a obtener la autorización del titular de uno de esos derechos si quiere utilizar la variedad protegida para crear una nueva. Sin embargo, si la nueva variedad vegetal lleva incorporado al final del proceso material genético de la anterior en el momento de explotarla comercialmente, su obtentor habrá de llegar a un acuerdo con el titular de los derechos.

Existe, por otro lado, una excepción facultativa por la que un país puede restringir el derecho del seleccionador “dentro de límites razonables y respetando sus intereses legítimos” para permitir al agricultor arrocero utilizar las semillas de una cosecha para la siguiente: es lo que se conoce como “el privilegio del agricultor”. No obstante, por razones obvias, y conforme aumente el conocimiento tecnológico del propio agricultor, este derecho o privilegio va a tender a ser menos exigido y disfrutado.

Por otra parte, para prevenir abusos de quienes añaden un simple elemento de los progresos de la ingeniería genética, en la última revisión del convenio de la UPOV se introdujo el concepto de “variedad esencialmente derivada” que permite recompensar económicamente al titular inicial.

5. Limitaciones en el derecho a la información

La sentencia de la sala quinta del tribunal de justicia europeo (TJE), de 10 de abril de 2003, se pronuncia sobre la obligación de facilitar informaciones al titular de la protección comunitaria, tras la aplicación del denominado "privilegio del agricultor". Este privilegio, al que nos acabamos de referir en el punto anterior, consiste en el derecho que se le reconoce a los agricultores de resembrar con su propia cosecha de cereales, aunque sea con variedades protegidas, siempre que el material originario se haya adquirido legalmente (semilla certificada). Esto exime al agricultor de pagar *royalties* por una variedad de manera anual, aunque debe pagar una tasa (actualmente en España el 50% del importe). Este sistema de pago se ciñe sólo a las variedades protegidas del registro europeo, pero tras la aplicación de la ley 3/2000, también a las nuevas variedades del registro nacional.

El agricultor estará exento de este pago si es considerado como pequeño productor (<92 tn. de producción). En el resto de los casos, los obtentores de semillas podrán exigir este pago, para lo cual pueden solicitar información a los agricultores sobre su uso del "privilegio del agricultor".

Esta sentencia tiene carácter prejudicial sobre el litigio pendiente en un tribunal alemán entre un agricultor y los representantes de los derechos de los obtentores de este país. La sentencia interpreta de manera restrictiva los procedimientos de petición de información por parte de los obtentores, decidiendo lo siguiente:

a) Los obtentores sólo tendrán derecho a dirigirse a aquellos agricultores de los que tengan indicios de haber utilizado el "privilegio del agricultor" con alguna de sus variedades y limita esta petición de información a la variedad sobre la que se tiene indicio de esta utilización.

b) Respecto a tal indicio, y ante la indefinición del reglamento 2.100/94 sobre los hechos que lo constituyen, el tribunal considera que este indicio esté ligado a una operación de compra-venta de la variedad objeto de protección.

c) El tribunal cree que el reglamento establece los sistemas que garantizan que el obtentor pueda estar informado a través de la cadena de comercialización de su material, debiendo obtener a través de ella estos indicios.

En España, los obtentores han venido dirigiéndose recientemente a los transformadores de grano de semilla (acondicionadores) registrados, solicitándoles los listados con los agricultores y variedades que hayan demandado sus servicios respecto a sus variedades protegidas (artículo 9 del Reglamento 1.768/95).

CAPÍTULO 7

- REGULACIÓN GENÉTICA DE LOS CARACTERES -

1. Conceptos genéticos

1.1. Genotipo y fenotipo

Conviene, antes de profundizar en estas materias, tener en cuenta algunas definiciones o conceptos importantes. En cualquier ser vivo, aquello que se observa y que se puede describir es un *fenotipo*. En el caso de las plantas, son ejemplos de fenotipo la cosecha producida, la altura, el grueso del tronco o del tallo, la disposición de las hojas, la forma del sistema radicular, el color de las flores, el sabor del fruto, el contenido en azúcares, el contenido de proteínas o hidratos de carbono, etc.

No obstante, todo ser vivo, y, por tanto, también las plantas, provienen de otro ser vivo y muchas veces han empezado su desarrollo a partir de una sola célula que lleva almacenada la información genética que recibió de sus padres. Esto que recibe de los padres (herencia biológica) forma parte del *genotipo* del individuo.

El genotipo está constituido por toda la información genética que posee el individuo; se podría decir que el genotipo son los planes para la construcción de un individuo nuevo; y para llevar a efecto la construcción se necesitan los materiales que proporcionará el ambiente en el cual se desarrolla. Así pues, ello lo podemos representar así:

Fenotipo = Genotipo + Ambiente

Por tanto, para obtener buenos fenotipos (aquello que se aprecia) será necesario actuar mejorando sus dos componentes esenciales: el genotipo y el ambiente.

Cuando se habla de una variedad determinada se refiere a un conjunto de plantas con una composición genotípica determinada. La "mejora vegetal" procura encontrar buenos genotipos, es decir, factorías más eficientes para los ambientes en los que han de actuar (utilizando el símil anterior).

Ya que la mejora vegetal trata de obtener mejores genotipos, se dedican a continuación unas líneas a explicar brevemente cómo está almacenada la información genética y cómo se transmite a los descendientes.

1.2. El genotipo y la herencia biológica

La información genética está almacenada en un compuesto químico que es el ácido desoxirribonucleico (ADN o DNA). Este compuesto está formado por una doble cadena (enrollada en forma de hélice) sin ramificaciones, a lo largo de la cual (por segmento) hay la información donde se especifican los diferentes caracteres del individuo.

El DNA está organizado en bloques y los cromosomas de las plantas cultivadas van emparejados. De cada pareja cromosómica, un elemento viene del padre y el otro de la madre. En cada cromosoma del mismo par va una información que afecta a características alternativas (por ejemplo, color verde o rojo, talla alta o baja, etc.). El conjunto de información que determina una característica se llama "*gen*".

Un individuo puede llevar información idéntica que provenga del padre y de la madre para la determinación de una característica (por ejemplo, color rojo en los dos). Entonces se dice que el individuo es *homocigótico* para el gen que determina tal carácter.

También puede pasar que la información procedente del padre determine un cierto tipo y la de la madre un tipo alternativo para una característica (ejemplo: rojo y verde). Entonces se dice que el individuo es *heterocigótico* para el gen que determina esa característica. En este caso puede suceder que solamente se manifieste uno de los dos caracteres alternativos y éste se denomina *dominante*, mientras que al otro se le conoce como *recesivo*. Esto sucede también en el hombre. Por ejemplo, la línea frontal del cabello puede ser recta o tener un pico en el centro (denominado “pico de viuda”). El carácter “pico de viuda” es dominante.

Los genes se representan por letras (una o muy pocas). Los genes que ocupan el mismo lugar del cromosoma (alelos) se representan por la misma letra, y se indica el dominio con letras mayúsculas.

La forma como se transmite la información genética a los descendientes depende del tipo de reproducción, y eso tiene singular importancia en la mejora vegetal. En la reproducción asexual, la información se transmite de padres a hijos de forma íntegra. Por lo tanto, no existen nuevas combinaciones y la descendencia es idéntica al padre del cual provienen y las diferencias entre individuos hermanos se deberán exclusivamente al ambiente. En el caso de los árboles que se obtengan de las estacas procedentes de un único árbol original, por ejemplo, todas tienen idéntica constitución genética entre ellas y con el padre del cual provienen.

En la reproducción sexual, en cambio, se reproducen nuevas combinaciones genéticas; es decir, la información genética se reorganiza y los descendientes no serán todos iguales entre sí ni tampoco con los padres. Únicamente serán iguales cuando son homocigóticos e iguales entre sí los padres. Éste es el caso de las líneas puras y de las variedades de plantas autógamas como el trigo, la avena y el cereal que es objeto de nuestro estudio: el arroz.

1.3. La mejora vegetal. Métodos

Antes se ha indicado que el objetivo de la mejora vegetal es la obtención de genotipos superiores para cultivar en los distintos ambientes en que se necesiten.

Para poder encontrar mejores genotipos debe haber variación entre ellos y, además, es necesario que se puedan identificar los mejores. Antes se ha dicho también que todo lo que se observa (fenotipo) es el resultado de la constitución genética (genotipo) y de la acción del ambiente (recordemos que: fenotipo = genotipo + ambiente); es decir, se deduce que tiene un buen genotipo de la observación de un buen fenotipo. Por eso, cuando se trata de selecciones entre un conjunto de plantas, se debe procurar que todas estén en condiciones similares (de abonado, de luz, de agua, de temperatura, etc.) y así habrá una cierta seguridad de que la diferencia observada será debida al genotipo y no al medioambiente. En definitiva, en términos cibernéticos o de la Teoría de Sistemas podríamos afirmar que las variables de entrada y de acción al sistema físico-planta (que constituyen los *inputs* de la planta) deben ser los mismos para que al estudiar las respuestas de la misma (*outputs*) éstas débense al comportamiento interno del sistema (variables internas o intermedias), y no a las acciones exteriores actuantes sobre el mismo.

Originariamente, en las especies no mejoradas se encuentra una elevada variabilidad espontánea. Un primer paso en la mejora consiste en seleccionar dentro de este conjunto de genotipo. Cuando se trabaja en una especie se van consiguiendo genotipos superiores y las variedades se homogeneizan y pierden variabilidad. Entonces se deben crear de manera artificial, y para eso se recurre a procedimientos cómodos como:

- Cruzamientos artificiales, intraespecíficos
- Mutagénesis artificial
- Cruzamientos interespecíficos
- Injerto cromosómico, etc.

Básicamente, el procedimiento fundamental es el cruzamiento. Así por ejemplo, si se tiene una variedad A de arroz de talla alta (característica desfavorable) y de buena calidad (característica favorable) y otra variedad B de talla baja (característica favorable) y de mala calidad (característica desfavorable) se pueden cruzar A y B y en la descendencia encontrar una cierta variedad C que sea de talla baja y de buena calidad comercial, con lo cual se cumplan los requisitos deseados.

Una vez creada la variabilidad, tal y como se ha indicado, se debe hacer la selección o la identificación de los mejores genotipos. La identificación es más o menos fácil, según sean los caracteres para los cuales se trata de seleccionar. Por ejemplo, es más fácil identificar individuos de talla baja, de un determinado color, de una forma concreta de hojas, etc.; en cambio, no es fácil la identificación de individuos que tienen un mayor contenido de azúcar, mayor contenido de aceite o de proteínas, etc. Por esto, en muchos casos, se deberá recurrir a efectuar análisis de tipo físico o químico. Por otra parte, la mejora varietal es un juego de azar, en el cual se puede aumentar la probabilidad de encontrar el genotipo esperado, pero, para cualquier probabilidad (siempre inferior al 100%) la posibilidad de éxito será tanto mayor cuantos más individuos se observen, esto es, cuanto mayor sea el tamaño de la muestra (como en la lotería, hay más probabilidad de que toque cuantos más números se jueguen). Éste resulta un hecho importante en la mejora: siempre se debe contar por miles el número de individuos. En el caso de estudiar caracteres cualitativos (contenido de aceite, contenido en azúcar, etc.) esto implica la necesidad de desarrollar métodos especiales de análisis rápido, elemental y fiable (por ejemplo, aceite x MMR, azúcar x, refracción, etc.).

En algún momento del proceso (generalmente al principio del mismo) se trabaja a nivel del estudio de plantas individuales y de su descendencia. La siembra y la cosecha se debe hacer de forma cuidadosa, muchas veces de forma natural o bien con el auxilio de una máquina especializada.

Una vez seleccionado un genotipo determinado, se debe comprobar que reúne las condiciones para las cuales se había seleccionado: es la denominada "evaluación". Los fenotipos que han de estar seleccionados y evaluados favorablemente se multiplican y se distribuyen entre los agricultores. Al mismo tiempo, los genotipos superiores se cruzan entre ellos para acumular genes favorables y empezar otra vez el ciclo. El proceso descrito se puede resumir de la siguiente manera:

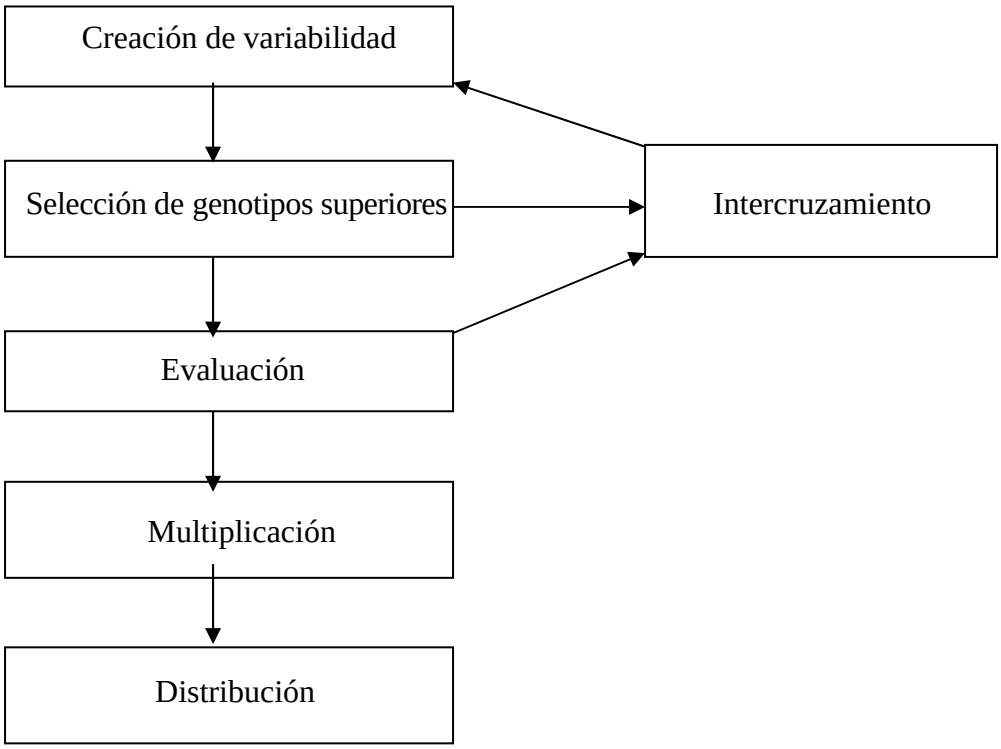


Figura 7.1. Cruzamiento de genotipos

Desde la identificación y evaluación de un genotipo superior hasta la distribución al agricultor se debe seguir un proceso esmerado y complejo para no perder la identidad de la variedad. Este proceso forma parte de la "mejora de conservación". Se debe tener en cuenta que una variedad, originariamente, es una pequeña cantidad de semilla y después se pueden cultivar -a partir de ésta- millones de toneladas. A continuación, sufre diversas multiplicaciones y en cada una de ellas existe el riesgo de perder su identidad.

A veces, para provocar la variabilidad se recorre a la mutación. En esencia, ello consiste en cambiar la información genética y crear otra de nueva;

en definitiva, cambiar un gen por otro. La mutación se produce espontáneamente, pero se puede aumentar la frecuencia a través de la utilización de agentes mutagénicos: radiaciones, productos químicos, etc. En general, las mutaciones no son beneficiosas (se recuerdan, al respecto, los efectos perversos de las radiaciones nucleares), pero puede aparecer algún mutante útil. Habitualmente, los mutantes deben entrar en un proceso similar al general que se ha descrito antes.

Otras veces resulta útil aumentar la cantidad de información genética que tiene una especie, lo cual le proporciona más posibilidades de adaptación al medio o de producción. Se puede recurrir a la poliploidía: esto es, la multiplicación del número de cromosomas (en lugar de dos juegos de cromosomas dará 3, 4, 5, etc.). Este método ha tenido éxito en plantas que se utilizan por sus partes vegetativas: remolacha, triticale, árboles frutales, etc.

También puede ser útil reunir o subsumir la información genética de dos especies en una de nueva. El ejemplo más típico es el del cereal *Triticale*, resultado del cruzamiento entre *Triticum durum* (trigo duro) y el *Secale cereale* (centeno). Este procedimiento tiene un límite, el cual viene determinado por la distancia entre las especies, en el reino vegetal.

En los últimos años se están poniendo a punto nuevos métodos para la creación de modernas combinaciones genéticas. Para salvar la barrera sexual que impide el cruzamiento interespecífico, se puede recurrir a la hibridación somática, a través del cultivo de tejidos y, posteriormente, regenerar una planta a partir de la nueva célula. Es posible que así se lleguen a conseguir nuevas combinaciones interesantes como, por ejemplo, una planta de maíz con raíz de soja (con la ventaja de fijación del nitrógeno atmosférico), propia de las leguminosas.

Otro enfoque de la máxima actualidad es la aplicación de la ingeniería genética a la mejora vegetal. En esencia se trata de diseñar nuevos genes y/o genotipos a medida de las necesidades. Se han depositado muchas esperanzas en esta nueva metodología y una solución que se persigue es la de coger un gen,

o los genes, que codifiquen la síntesis de esta proteína de manera que tengan más lisina y triptófano y volverlas a poner en funcionamiento. También se está intentando pasar genes determinados, por ejemplo para fijar el nitrógeno. Este último enfoque ha tenido éxito en la producción de algunas medicinas (insulina, interferón, etc.) por la bacteria *Escherichia coli* a la cual se ha pasado el gen humano correspondiente.

Sea como sea, la mejora genética clásica continuará existiendo durante muchos años, porque los sistemas basados en la ingeniería genética proporcionarán nuevas fuentes de variabilidad.

Por eso se deduce que se necesitan diversas generaciones de cualquier planta de la que se trate para conseguir el objetivo final. Este hecho condiciona y alarga el programa. Para acortarlo se pueden buscar métodos de cultivo artificial (cámaras climáticas, invernaderos, etc.), cosechas fuera de época en zonas climáticas diferentes, etc.

De todas maneras, se trata de un proceso largo y al final siempre se debe evaluar la nueva variedad en las condiciones normales de cultivo para que el agricultor pueda utilizarla sin ningún riesgo. La mejora vegetal, en definitiva, es un proceso caro, pero muy rentable, como se ha demostrado muchas veces.

1.4. Haploidía. Diploidía

En el núcleo de las células se encuentran los cromosomas, los cuales son visibles en algunos momentos determinados. Los cromosomas, como ya se ha especificado, están formados por cadenas de ADN (ácido desoxi-ribonucleico), el cual es el portador del material hereditario. El número y forma de los cromosomas son característicos de cada especie.

Existen dos ejemplares idénticos de cada cromosoma, o sea, **n** cromosomas homólogos. Cuando los cromosomas no son idénticos se llaman “heterocromosomas”.

El número de cromosomas de cada serie se denomina “haploide” y se representa por **n**, mientras que el número total de cromosomas de una célula, al estar formado por dos series, se denomina “diploide” y se representa por **2n**. En las células reproductoras o gametos existen sólo la mitad de los cromosomas. En el caso concreto del género *Oryza*, el número diploide de cromosomas es de 48 y 24, según las especies, como puede verse en la tabla 3.2 del Capítulo 3 de nuestro libro.

1.5. Mutaciones

Muchas veces, durante la duplicación celular, se producen errores y, por tanto, diferencias en el genotipo. Otras veces se rompe el ADN y se recompone de forma distinta a la inicial. Esto da origen a las “mutaciones”.

Las mutaciones son la causa de la variabilidad. Mediante la meiosis se pueden formar infinidad de combinaciones diferentes originando mucha variabilidad. La diversidad mendeliana surge básicamente de las mutaciones génicas que constituyen la evolución. Las recombinaciones mendelianas que resultan de la hibridación entre formas que llevan mutaciones distintas dan a continuación mayor diversidad entre los individuos y sobre éstos pueden actuar las selecciones natural y artificial.

Básicamente, las mutaciones pueden ser “de punto” y “cromosómicas”. Las primeras afectan sólo a una pareja de cromosomas; las mutaciones cromosómicas, por el contrario, afectan a todos los cromosomas o a parte de ellos. En general, hay que tener en cuenta que las mutaciones son “deletéreas”, es decir, que casi siempre poseen un carácter patológico.

Las mutaciones afectan, principalmente, a pequeños detalles en la ordenación de las bases nitrogenadas de la cadena del ADN, y sólo son heredables si afectan a las células germinales, pero no excluyen que las células somáticas puedan presentar mutaciones, como por ejemplo, en el “moteado” del maíz, que se suelen extinguir con el individuo en que aparecen.

1.6. Interacción génica

Los caracteres cuantitativos están gobernados por diferentes *loci*[1]. Los genes se heredan de forma independiente según las conocidas leyes de Mendel, pero, a nivel de actuación, estos genes se comportan de manera interdependiente para el mismo carácter.

Los genes cuyos efectos enmascaran o cubren los efectos de otros genes originan las denominadas "interacciones entre genes de distintos *loci*"; es decir, se usa esta expresión para describir el fenómeno por el cual el efecto de un gen puede cambiar de acuerdo con la presencia o ausencia de otro gen o genes. La "epistasia" o "interacción interalélica" debe distinguirse de la dominancia que se refiere a la no aditividad de alelos en el mismo *loci*, o sea, a la interacción intraalélica.

En las especies autógamas, la epistasia o interacción interalélica es quizás más importante para los mejoradores que la dominancia, porque esta última es necesariamente efímera en dichas especies. La epistasia, que no depende necesariamente de la heterocigosis, permite recombinaciones que son algo más que nuevas maneras de agrupar viejos caracteres. A través de las interacciones de los genes pueden aparecer tipos diferentes inesperados y algunos de ellos pueden presentar auténticas ventajas sobre sus genitores.

Recomponiendo conceptos, veamos que la **"Epistasia" es el término original usado por Bateson en 1909 para describir los genes cuyos efectos enmascaran o cubren los efectos de otros genes.** Desde entonces el término ha adquirido un significado más general, que es sinónimo de "interacciones entre genes de distintos *loci*"; **es decir, se usa para describir el fenómeno por el cual el efecto de un gen puede cambiar de acuerdo con la presencia o ausencia de otro gen o genes.**

[1] *Loci* es el plural latino (2ª declinación) de *locus*, que en latín significa "lugar". Los genes alelos (que provienen de cada progenitor) se sitúan en un lugar determinado del cromosoma. El lugar que ocupa una serie alélica en el cromosoma se llama "locus".

Las situaciones epistáticas más sencillas son las que conducen a las conocidas relaciones en la F_2 de un dihíbrido 9:7. 13:3, 15:1, 9:3:4 y 12:3:1. Cuando se interaccionan tres genes, las posibilidades son mayores y pueden darse relaciones del tipo: 37:27, 55:9 y 27:9:9:19. La base material de la epistasia se ha analizado bioquímicamente en un número determinado de casos llegando a entender, al menos superficialmente, las interacciones de los genes estudiados. El modelo más común parece ser uno en que un gen produce un substrato que proporciona la materia prima necesaria para la acción de un segundo gen. El caso del contenido en CNH en el trébol blanco presentado por Atwood y Sullivan (1943) sigue este modelo general. El contenido elevado de CNH está regido por dos alelos dominantes, uno de los cuales produce un glucósido cianogénico y el otro la enzima o fermento que cataliza la producción de CNH a partir del expresado glucósido. Los individuos que tienen por lo menos un alelo dominante en cada locus tienen un elevado contenido en CNH por la presencia del substrato, de la enzima o bien de ambos.

Desde luego, sería sorprendente que muchos de los caracteres morfológicos y fisiológicos que interesan al mejorador de plantas no tuviesen su base material en sistemas de reacción de esta clase. Indudablemente, muchos son muy complejos y, aunque pueda parecer interesante especular sobre su base bioquímica, dicha especulación no podrá ser definitiva actualmente.

1.7. Variabilidad continua de caracteres

A las diferencias que existen dentro de una misma especie se le llama “variabilidad”. Los caracteres cuantitativos tienen más interés que los cualitativos, porque muchos caracteres cualitativos ya ni siquiera se consideran. En la mayoría de caracteres mendelianos, el carácter más favorable ya está incorporado en las especies comerciales.

Los caracteres cuantitativos son caracteres de variabilidad continua y dependen de: la variabilidad genética y de la variabilidad ambiental. Si no hubiera

variación ambiental, obviamente, el mismo genotipo siempre desarrollaría el mismo fenotipo.

Hay unos caracteres cualitativos que se obtienen con otros cuantitativos, porque las diferencias entre genotipos próximos son poco importantes en relación con las diferencias que aporta la variabilidad ambiental.

Si no interviniera el ambiente tendríamos discontinuidad entre los caracteres; pero esto no es así porque las diferencias entre genotipos son muy pequeñas en relación con la variación ambiental y es entonces cuando nos aparece el carácter cuantitativo.

1.8. Correlación de caracteres debido a la heredabilidad ligada [correlación o ligamiento (*linkage*)]

Los genes están localizados en los cromosomas. Un “grupo de ligamiento” está constituido por el cromosoma y los genes ligados a él. Hay “ligamiento” cuando hay genes que tienden a transmitirse juntos. Nunca hay más grupos de ligamiento que cromosomas.

Lo más probable es que dos variedades cualesquiera difieran en varios o muchos *loci* por cromosoma y se deben tener en cuenta los efectos del ligamiento. El ligamiento no influye en el porcentaje de homocigosis sino en la frecuencia de las diversas combinaciones de genes posibles.

Con herencia independiente, la distribución de los genes se realiza libremente y todas las combinaciones se dan con la misma frecuencia. Ahora bien, el efecto general del ligamiento consiste en alterar esta igualdad y causar una superabundancia de combinaciones parentales.

En general, el ligamiento puede considerarse como una influencia conservadora que tiende a mantener juntas las combinaciones de genes existentes y, por tanto, de los caracteres.

En especies recientemente domesticadas, o bien en especies que no han estado sometidas a una mejora larga y continuada, resulta altamente improbable que se hayan concentrado en una sola forma todos los alelos más adecuados para su estado doméstico. Por tanto, el ligamiento puede considerarse un obstáculo para la amplia segregación deseada. Por otro lado, las variedades muy mejoradas -probablemente- tendrán los mejores alelos en muchos *loci*. Aquí, el ligamiento puede considerarse una ayuda porque tiende a conservar juntas las combinaciones favorables existentes.

Los ligamientos entre genes favorables proporcionan un valioso acceso a los problemas de mejora de las plantas, de modo semejante a los beneficiosos efectos pleiotrópicos. La importancia del ligamiento de genes favorables en la mejora de plantas no puede valorarse solamente por los casos visibles. En un sentido amplio, cada paso que se dé en la mejora de plantas aumenta el número de ligamientos favorables. Con frecuencia esto puede escapar a nuestra observación porque los efectos son ligeros o poco marcados. Por tanto, en realidad, el establecimiento de combinaciones ligadas de genes es automático y continuo, independientemente del sistema de mejora usada, aunque sea más preciso y directo en unos sistemas de mejora que en otros.

1.9. Cruzamientos espontáneos

En las especies agrícolas más importantes se conocen bastante bien el modo de reproducción y la frecuencia de los cruzamientos naturales o espontáneos. Pero esta información es incompleta en varios aspectos, particularmente con respecto a la frecuencia de cruzamientos naturales bajo diferentes condiciones ambientales. Por lo tanto, la buena marcha de un programa de mejora puede exigir la determinación de la proporción de cruzamientos para la zona particular en que ha de realizarse el programa. Es interesante saber el porcentaje de cruzamientos naturales que ocurren en las especies principalmente autógamas, como es el caso del arroz, cuando se cultivan próximos diferentes genotipos. La extensión de los cruzamientos

naturales se determina comúnmente intercalando líneas portadoras de un gen marcador recesivo con líneas portadoras del alelo dominante correspondiente. Al recolectar las semillas se calculan los cruzamientos naturales por la proporción recesiva y dominante que hay en la descendencia.

Se debe considerar la época de floración entre las distintas variedades, ya que lógicamente no se hibridarán en la misma proporción las que florecen en épocas diferentes que las variedades que florecen al mismo tiempo. Los estudios realizados en distintos años y localidades son más valiosos porque la proporción de cruzamientos naturales en los diferentes genotipos puede estar muy influida por las condiciones ambientales, además de proporcionar información sobre los insectos vectores del polen (entomogamia), el efecto del viento (anemogamia), la temperatura y las interacciones de dichos factores en los cruzamientos.

2. La relación gen-carácter

Los genes son los elementos necesarios para la fabricación de nuevas variedades, siendo esencial, en la mejora genética de plantas, tener en cuenta la relación entre genes y caracteres, es decir, la relación existente entre genotipo y fenotipo. Comúnmente, no todos los efectos fenotípicos están relacionados de una forma sencilla con el gen, sino que son más bien el resultado de una procelosa cadena de reacciones e interacciones físico-químicas iniciadas por los genes, que conducen, a través de complejas cadenas de acontecimientos controlados o modificados por otros genes y el medio exterior, al fenotipo final. En mayor o menor grado, el funcionamiento de cualquier gen depende del genotipo de que forma parte y del medio exterior a que está expuesto.

Hay numerosos casos en que ciertos caracteres morfológicos o fisiológicos bien definidos están regulados, en gran parte, por un solo gen y resultan poco afectados por el medio genético o físico. Algunos caracteres importantes están regidos por genes de efectos notables, fácilmente identificables y relativamente estables. Estos genes son particularmente valiosos para los mejoradores de plantas, porque se analizan y manejan fácilmente mediante típicas técnicas

mendelianas. Sin embargo, estos genes "cualitativos", conocidos de la genética clásica, pueden tener más de una manifestación fenotípica.

No existe una acción directa entre un gen y un carácter, ya que en muchas ocasiones un carácter viene condicionado por la existencia de un conjunto de genes. Efectivamente, todo gen se encuentra en un ambiente determinado, que lo forman los demás genes, el jugo nuclear y el citoplasma celular; por consiguiente, su acción puede ser suprimida, modificada o reforzada.

Esta interacción resulta muy importante, sobre todo la que proviene de la presencia de los demás genes. Hay que tener en cuenta, además, que en todas las células de un organismo diploide, a excepción de las germinales, existen dos dotaciones de genes homólogos, una portada por el progenitor masculino y otra por el progenitor femenino, con lo cual cada gen tiene su pareja, es decir, su alelo. Por “alelo” entendemos **los genes diferentes que afectan al mismo carácter** y de la manera como interactúan esta pareja de alelos depende, en gran parte, el carácter.

Como resultado de ello, ocurre que cada gen tiene su pareja, es decir, su alelo. Si aceptásemos una idea simplista, diríamos que cada par de alelos, en un organismo diploide, daría lugar a un carácter. De este par de alelos, uno es de origen materno y el otro paterno. Esto es cierto tratándose de cada individuo en particular, pero si consideramos una población, encontramos una serie de alelos que afectan al mismo carácter.

En toda célula de un organismo diploide existe una combinación distinta, según la pareja de alelos que intervengan, pues no olvidemos que sólo pueden existir dos alelos de la serie en cada individuo. Todo carácter depende de la acción de una pareja de alelos. Existen, como es sabido, genes “dominantes” y “recesivos”. En el caso, en fin, de que los heterozigóticos manifiesten las propiedades de ambos alelos se dice que hay “codominancia”, es decir, que se trata de genes “codominantes”.

3. Genética y heredabilidad de los caracteres del arroz

Tabla 7.1. Símbolos genéticos del arroz (I)

(IRC, 1959; Chang y Jodon, 1963)

Denominación del carácter	Símbolo
Activador de los pigmentos antociánicos	A^E, A, A^d
Albino	al
Aristado	An
Asináptico estéril	as
Aurícula rudimentaria	au
Arista oscura	Ban
Tallo frágil	bc
Glumilla en forma de gancho (el ápice de la lema curvado sobre la palea)	Bd
Surcos marrones (los nervios de las glumillas de color marrón oscuro)	Bf
Tallos gruesos	bg
Glumillas negras	Bh
Hojas con manchas marrones (coloreadas de color marrón, como enfermas)	bl
Nudo curvado	bn
Ramificaciones en los nudos	Br
Cromogen (para los pigmentos antociánicos)	(C^B, C^{Bp}, C^{Bt}, C^{Br}, C^{Bm})
Intensificador de C	En-C
Resistencia a la "*Cercospora oryzae*"	Ce
Plántula verdosa (1)	chl
Espiguillas arracimadas	Cl
Espiguillas muy arracimadas	En-Cl
Espiguillas cleistógamas	cls
Espiguilla con uña (2)	clw
Enanismo (en general)	d
Doble arista	da
Panícula compacta	Dn
Palea reducida	dp
Desinapsis	ds
Tendencia a ahilarse al aumentar el nivel del agua	dw
Floración temprana (poca sensibilidad al fotoperiodo)	Ef
Intensificador	En-
Porte erecto	er
Panícula exerta	ex
Flor con perfume	Fgr
Período de floración (3)	
Franjas finas	fs
Glumas largas	g
Glumillas color amarillo oroº	gh
Hoja glabra	gl
Glumas largas (epistático de "g")	Gm

Tabla 7.2. Símbolos genéticos del arroz (II)

(IRC, 1959; Chang y Jodon, 1963)

Denominación del carácter	Símbolo
Colores no antociánicos de las glumillas en presencia de "Gh"	H (H^m, H^i, H^g, H^t)
Resistencia al *Helminthosporium oryzae (Drechslera oryzae)*	He
Gen inhibidor (precede al símbolo del carácter)	I-
Letal	l-
Porte postrado o ageotrópico	la
Encamado de los tallos	Ld
Floración tardía (alta fotosensibilidad)	Lf
Ausencia de lígulas	lg
Pubescencia acentuada	Lh
Grano largo	lk
Panícula larga (3)	
Amarillento	lu
Panícula laxa (frente a normal)	lx
Panícula laxa (frente a compacta)	lx_2
Embriones múltiples (poliembrionía)	me
Pistilos múltiples (policarpelar)	mp
Androesterilidad	ms
Hoja estrecha	nal
Hoja envainadora (panícula envuelta en parte por una lámina foliar de más)	nl
Cariópside con muescas	nk o I-Nk
Espiguillas abiertas (las glumillas no se cierran después de la antesis)	o
Ápice púrpura	P
Aurícula púrpura	Pau
Glumas púrpura	Pg
Fenol positivo (la cariópside se colorea de púrpura con fenol)	Ph
Resistencia al hongo *Pyricularia oryzae*	Pi
Entrenudo púrpura	Pin
Hoja púrpura	P1
Lígula púrpura	Plg
Hojas verdes excepto al margen	I-Pl
Nudo púrpura	Pn
Glumillas púrpura	Pr
Raíces púrpura (3)	Pr
Pericarpio púrpura	Prp
Estigma púrpura	Ps (con C, A y P)
Vaina foliar púrpura	Psh
Pulvínulo púrpura	Pu
Arista roja	Ran
Pericarpio obscuro	Rc
Pericarpio rojo°	Rd (con Rc)
Raquis verticilada	ri
Espícula redonda	Rk
Hoja arrollada	rl
Esterilidad en general	s
Resistencia al *Sclerotium oryzae*	Sc

Tabla 7.3. Símbolos genéticos del arroz (III)

(IRC, 1959; Chang y Jodon, 1963)

Denominación del carácter	Símbolo
Imposibilidad de germinación inmediata de las semillas (latencia de la semilla)	Sd
Fotosensibilidad	Se
Permeabilidad de la cubierta seminal (testa) al agua	Sg
Desgrane	Sh
Grano con aroma	Sk
Cuello de la panícula sinuoso	sn
Altura (en general)	T
Planta baja (no enana)	I-T
Descascarado dificultoso	Tf
Fácil trillado	th
Cariópside alargada y retorcida	tk
Hojas retorcidas (nervio central ausente)	tl
Glumillas triangulares (espiguilla)	tri
Raquis sinuoso	Ur
Planta inicialmente verdosa	v
Panza (endospermo)	wb
Perla (endospermo)	wc
Glumillas blancas	Wh
Estriado blanco	ws
Endospermo glutinoso	wx
Resistencia a *Xanthomonas oryzae*	Xe
Hoja amarilla	y
Plántula amarilla (letal)	l-y
Plántula rayada como una cebra	z

SIMBOLOGIA:
(1) En inglés se llama *chlorine*; se trata de una planta con deficiencia de clorofila.
(2) Es una forma aberrante de las glumillas: la lema se curva sobre la palea.
(3) Estos caracteres no tienen símbolo en la terminología utilizada por los autores de esta tabla. Según Kadam y Ramiah (1943), el período de floración se expresa por "fl" y la panícula larga, según Nagao (1951), por "Lp". Las raíces de color púrpura, según los primeros, se expresan por "Rp", y según Nagao, por "Pr".

Anteriormente se ha comentado el origen y evolución del género *Oryza*, las reacciones filogenéticas que existen entre las diversas especies y sobre las dos subespecies de la *Oryza sativa*: Japónica e Indica.

Aunque teniendo el mismo número cromosómico diploide, igual a 24, la clara diferenciación de carácter genético entre la subespecie Japónica y la Indica se manifiesta mediante la amplia esterilidad que acompaña a los híbridos obtenidos entre las dos subespecies, esterilidad que puede llegar hasta valores próximos al 100%.

Los cromosomas de la forma haploide han sido ordenados y señalados numéricamente del 1 al 12, según su longitud; diferenciaciones posteriores se hicieron teniendo en cuenta la relación "brazo corto/brazo largo" de los cromosomas individuales.

En poblaciones libres se han encontrado haploides estériles, cuya fertilidad se ha restablecido, de forma natural o artificial, mediante la duplicación cromosómica para recobrar la diploidía.

Se ha tenido conocimiento igualmente de triploides y tetraploides, a los que no se les ha prestado una atención particular en la mejora genética del arroz como ha ocurrido, aunque en fase de embrión y desde hace poco tiempo, con los haploides obtenidos del cultivo de anteras.

Comparada con la de otras especies bastante cultivadas o incluso de menor importancia, la genética del arroz no ha adquirido todavía el pleno desarrollo que merece de acuerdo con la extensión y trascendencia de su cultivo.

Una de las manifestaciones genotípicas más heterogéneas que se presentan en el arroz consiste en la variabilidad de la coloración de los distintos órganos o partes de la planta: glumillas, hoja y tallo, estigma y pericarpio de la cariópside. La coloración tiene un fundamento químico que consiste en la presencia, junto a la cianina, de crisantemina y de la keracianina juntas, correlacionada con dos factores genéticos básicos, A y C; C interviene en la producción del cromogen y A en la conversión de éste en pigmento antociánico; con 6 alelos para el primer *locus* genético y 4 para el A.

Uno de los aspectos más característicos de la pigmentación y de particular interés es el de la coloración del pericarpio que, del esperado y normal blanco-gris, se pasa al rojo más o menos intenso y a veces hasta el púrpura, con diversificación de intensidades que varían entre el marrón y el amarillo.

La coloración roja del pericarpio es consecuencia directa de la presencia de dos genes en la forma "dominante" y complementarios entre ellos: Rc Rd; el

color blanco-gris se manifiesta, por el contrario, en el genotipo que posee los dos genes en la forma "recesiva": rc rd o también rc Rd; por la reversión de estos últimos alelos recesivos, producido por mutación, se verificará la producción de granos rojos. Mediante el cruzamiento artificial inducido o espontáneo en el campo, la segregación que se deriva produce genotipos que poseen cariópsides con matices de color variable del rojo al blanco, según las relaciones de dominancia.

El frecuente e indeseable fenómeno del "desgrane" no es una condición previa y obligatoriamente ligada a la pigmentación roja del pericarpio: es, por el contrario, absolutamente independiente; se considera que es consecuencia de uno o dos genes: Sh_1 - Sh_2, aunque existen hipótesis verosímiles que señalan la influencia de una base poligénica. La acción de los genes responsables del desgrane influye en el grado de desarrollo y en la variación de la suberificación o lignificación de la capa de células que unen la cariópside con el pedúnculo. La variabilidad genética, derivada del cruzamiento, es responsable por la segregación independiente de los distintos caracteres, de la producción de genotipos que -pigmentados o no, aristados o múticos, tempranos o tardíos, altos o bajos- tengan la cariópside roja y fácilmente desgranable, o no, y por otra parte fácilmente desgranable con pericarpio blanco. Cuando empleamos el término “desgranable” queremos indicar que cuando el grano llega a la madurez se desgrana con mucha facilidad y no que sea fácilmente trillable por la máquina cosechadora.

Se verifican también mutaciones de genes por las cuales, en el ámbito de una misma variedad, una planta o genotipo absolutamente similar a los otros en su manifestación morfo-fisiológica se presenta con cambios transmisibles a las generaciones sucesivas y que consisten sólo en el color rojo del pericarpio, fácilmente desgranable o no. Tales mutaciones son bastante difíciles de individualizar y separar en el campo, a causa del enmascaramiento, por la uniformidad de los demás caracteres en la población presente en el campo. Las mutaciones y los cruzamientos espontáneos producen un número mayor de plantas con granos rojos y fácilmente desgranables, cuanto más se utilicen semillas de procedencia desconocida o bien derivadas de un excesivo número de

multiplicaciones o reproducciones a partir del primer núcleo de la semilla obtenida por selección genealógica.

Los tipos Índica absorben, en las primeras fases del desarrollo, una mayor cantidad de nitrógeno que los tipos Japónica, siendo escasa posteriormente; tienen también menor capacidad de acumular almidón en la panícula, carácter que se cree que va ligado al primer aspecto considerado, lo que supondría un consumo intenso de los carbohidratos sintetizados precozmente, por la mayor actividad radicular inicial, y el consiguiente desarrollo vegetativo ulterior.

En los tipos Japónica responden mejor -a los abonados elevados- las variedades capaces de un gran ahijamiento con hojas gruesas, estrechas y erectas.

La presencia de arista está condicionada por tres genes dominantes: An_1, An_2, An_3, donde los recesivos an_1, an_2, an_3 producen genotipos absolutamente múticos, mientras que la interacción entre ellos determina un diferente grado de longitud y presencia de arista, teniendo en cuenta que la influencia de los factores climáticos regula la amplitud del fenómeno, tanto en longitud como en intensidad.

El carácter glabro de las glumillas está controlado por el gen recesivo gl, mientras que la presencia de pelos sobre las hojas se debe a dos genes dominantes Hl_a y Hl_b, a los que se añade, para la vellosidad sobre las glumillas, el dominante H_g.

Un tipo de arroz definido con el término impropio de "glutinoso" o *waxi* presenta el grano completamente opaco por ser enteramente yesoso. Un término más exacto para definirlo sería el de "ceroso" o “céreo”. El carácter es la manifestación fenotípica del gen recesivo *wx*, que conduce a la formación de la cariópside con almidón compuesto solamente por amilopectina, en lugar de ser una mezcla de amilosa y amilopectina.

La resistencia al encamado tiene una base genética muy amplia que controla no sólo la resistencia, sino también los factores y caracteres de los que

depende: la altura de la planta, la absorción diferencial del silicio y potasio, el espesor de las paredes celulares y de los tejidos del tallo, el ahijamiento, el desarrollo total, en superficie y en profundidad, del sistema radicular, etc., junto con los factores edafoclimáticos y nutritivos propios del terreno de cultivo.

Los tres genes dominantes Pi_1, Pi_2, Pi_3, controlan la resistencia a la *Pyricularia oryzae*, aunque se ha observado que a razas fisiológicas diferentes del mismo hongo corresponden también genes independientes distintos; lo mismo ocurre con *Cercospora oryzae*, *Sclerotium oryzae* y *Helminthosporium oryzae* (*Drechslera oryzae*), con símbolos genéticos respectivos Ce, Sc y He.

Existen caracteres en variabilidad continua cuya base genética es bastante compleja como consecuencia de la acción de un componente materno junto con el ambiental. De este tipo forman parte los que regulan las dimensiones, forma y peso de la cariópside; la dimensión, forma y grado de emergencia de la panícula; la altura de la planta y las dimensiones de las hojas.

A todo lo dicho hasta ahora se une otro aspecto genético, relativo a la herencia, que correlaciona algunos caracteres entre sí por heredabilidad ligada; es como decir que si mediante cruzamiento y sucesiva selección se transmite y hereda cierto carácter, también se transmite un segundo o un tercero en correlación o ligamiento (*linkage*) con el primero. Los estudios de genética han demostrado la existencia de 8 ó 12 grupos de caracteres en combinación o *linkage*.

UIC - Campus de l'Ebre

EUCET

Col·lecció Tècnica

2

Variedades y mejora del arroz

Josep Maria Franquet Bernis
Cinta Borràs Pàmies

UIC

VARIEDADES Y MEJORA DEL ARROZ

(*Oryza sativa*, L.)

Josep Maria Franquet Bernis

Cinta Borràs Pàmies

Universitat Internacional de Catalunya

Escola Universitària de Ciències Experimentals i Tecnologia

2004

A N E X O S

BIBLIOGRAFÍA Y
FONDOS DOCUMENTALES

Í N D I C E S