

IICA  
F30  
11  
no. 18



**inifap**  
PRODUCE

IICA  
BIBLIOTECA  
MAY 2000  
RECIBIDO

1<sup>er</sup>  
Simposium  
Internacional  
de **Amoz**

# Memorias

## Conferencias Magistrales

18

SEPTIEMBRE DE 1998

**SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y DESARROLLO  
RURAL**

**SECRETARIO**

**Ing. Romárico Arroyo Marroquín**

**SUBSECRETARIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA**

**M.V.Z. Francisco Gurría Treviño**

**SUBSECRETARIO DE DESARROLLO RURAL**

**Ing. José Antonio Mendoza Zazueta**

**SUBSECRETARIO DE PLANEACION**

**Lic. Andrés Casco Flores**

**DELEGADO ESTATAL**

**Ing. Carlos Sedano Rodríguez**

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,  
AGRICOLAS Y PECUARIAS**

**DIRECTOR EN JEFE**

**Ing. Jorge Kondo López**

**DIRECTOR GENERAL DE COORDINACION Y DESARROLLO**

**Ing. Manuel de Jesús García López**

**DIRECTOR DIVISION AGRICOLA**

**Dr. Rodrigo Avelaño Salazar**

**DIRECTOR DIVISION PECUARIA**

**Dr. Heriberto Román Ponce**

**DIRECTOR DIVISION FORESTAL**

**Dr. Carlos Rodríguez Franco**

**DIRECTOR GENERAL DE ADMINISTRACION**

**Lic. David Vega Osorio**

**DIRECTOR DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES REGION CENTRO**

**Dr. Raúl G. Obando Rodríguez**

**SECRETARIA DE AGRICULTURA, GANADERIA Y DESARROLLO  
RURAL**

**SECRETARIO**

**Ing. Romárico Arroyo Marroquín**

**SUBSECRETARIO DE AGRICULTURA Y GANADERIA  
M.V.Z. Francisco Gurriá Treviño**

**SUBSECRETARIO DE DESARROLLO RURAL**

**Ing. José Antonio Mendoza Zazueta**

**SUBSECRETARIO DE PLANEACION**

**Lic. Andrés Casco Flores**

**DELEGADO ESTATAL**

**Ing. Carlos Sedano Rodríguez**

**INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES FORESTALES,  
AGRICOLAS Y PECUARIAS**

**DIRECTOR EN JEFE**

**Ing. Jorge Kondo López**

**DIRECTOR GENERAL DE COORDINACION Y DESARROLLO**

**Ing. Manuel de Jesús García López**

**DIRECTOR DIVISION AGRICOLA**

**Dr. Rodrigo Aveldaño Salazar**

**DIRECTOR DIVISION PECUARIA**

**Dr. Heriberto Román Ponce**

**DIRECTOR DIVISION FORESTAL**

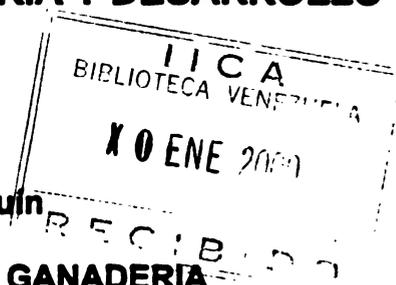
**Dr. Carlos Rodríguez Franco**

**DIRECTOR GENERAL DE ADMINISTRACION**

**Lic. David Vega Osorio**

**DIRECTOR DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES REGION CENTRO**

**Dr. Raúl G. Obando Rodríguez**



00006830

## **P R E S E N T A C I O N**

**El Simposium Internacional de Arroz es un evento orientado a promover el intercambio Científico y Tecnológico Sobre el Cultivo de Arroz en México.**

**El Simposium es una valiosa oportunidad para que los productores, Técnicos, Científicos y Funcionarios conozcan la situación que guarda el cultivo de arroz a nivel nacional e internacional.**

**En el Marco del Simposium se realizarán "Conferencias Magistrales" en las cuales se desarrollarán temas sobre Tecnologías de Vanguardia para la Producción del Arroz, el mercadeo e industrialización, entre otros.**



# **CONTENIDO**

## **PAGINA**

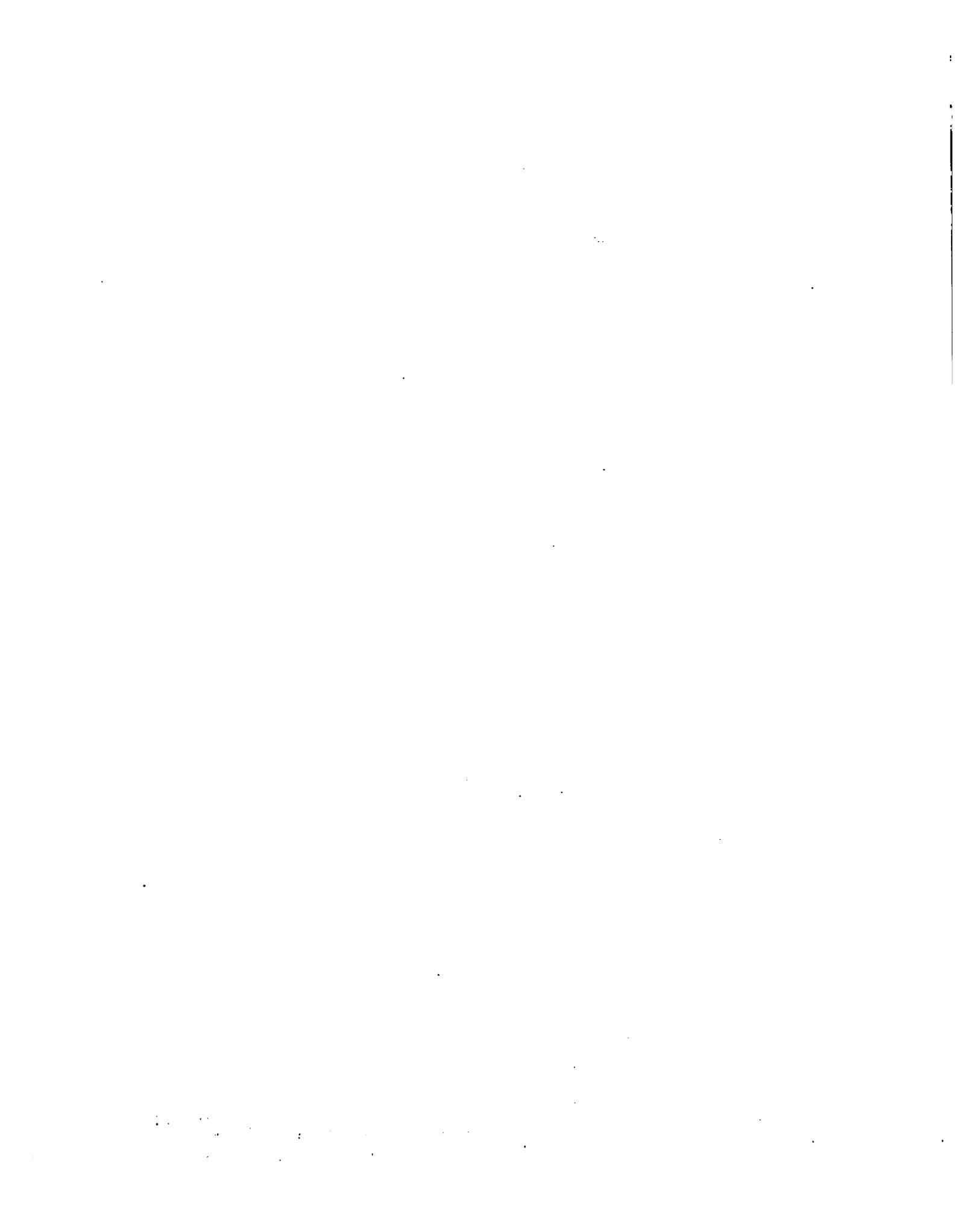
**Mejoramiento genético del arroz en los trópicos: hacia un nuevo paradigma**  
**Dr. Federico Cuevas**

**Louisiana Rice Production: Rice Plant Nutrition and Cultural Management**  
**Dr. Patrick K. Bollich**

**La resistencia a herbicidas dificulta el manejo de malezas en el cultivo de arroz**  
**Dr. Bernal E. Valverde**

**Recursos y alternativas tecnológicas para mejorar la industrialización del arroz**  
**M.C. Martín M. Trejo Burgueño**

**El mercado nacional e internacional del arroz**  
**Dr. José Luis Calva**



# **MEJORAMIENTO GENÉTICO DEL ARROZ EN LOS TRÓPICOS: HACIA UN NUEVO PARADIGMA**

**Federico Cuevas**  
Director de Desarrollo  
RiceTec, Inc.  
P.O. Box 1305, Alvin TX

**Resumen.** El mejoramiento genético del arroz durante los últimos 25 años se ha basado en la selección de plantas según su parecido con el tipo semi-enano, siguiendo el sistema de pedigrí propiamente dicho o en combinación con el sistema masal. Este modelo de trabajo se inició con la liberación de la variedad semi-enana IR8 en Filipinas a mediados de los años 60. Esta variedad presentó las características de un paradigma técnico: suficientemente sin precedentes para atraer la atención de los mejoradores y dejando suficientes problemas de aplicabilidad creando posibilidades de modificación ilimitadas. La reducción de la brecha entre productividad comercial y potencial de las variedades de arroz existentes ha renovado el interés por el aumento del potencial de rendimiento genético, cuestionando la validez actual del paradigma IR8.

Para sustituir y/o ampliar el paradigma actual se han propuesto un nuevo tipo de planta, el aprovechamiento de heterosis por intermedio de híbridos y el manejo de la productividad como característica cuantitativa. El tipo de planta presentado por IRRI en su Plan Estratégico de 1999 trata de mejorar la eficiencia de las semi-enanas eliminando los hijos no productivos y compensar la reducción del número de panículas por planta aumentando su tamaño y la densidad de siembra. El 'ideotipo' de 5-10 hijos con panículas de mas de 200 granos se desarrolló usando materiales de tipo javanica y actualmente se encuentra bajo evaluación, sin mostrar aun mejoría significativa en rendimiento. La productividad del nuevo tipo de planta está limitada por deficiencias en el llenado de grano de sus grandes panículas. El tipo de grano y la resistencia a barrenadores del tallo están recibiendo especial atención para lograr los rendimientos teóricos en el campo dentro de 3 o 4 años.

Los híbridos de arroz ocupan unos 15,000,000 ha o la mitad del área de arroz de China, con aumentos de productividad entre un 15 y 20% sobre las mejores variedades, principalmente en las regiones centro y norte del país. Además del mayor rendimiento, el éxito del modelo de híbridos a nivel comercial se ha basado en el aumento constante de la productividad de los campos de producción de semilla, alcanzando niveles promedio a nivel comercial de 2 t/ha, el sistema de siembra por trasplante que demanda menor cantidad de semilla y la incorporación de híbridos de dos líneas. El IRRI tiene disponibles

materiales componentes de híbridos (líneas A, B y R) adaptados a los trópicos capaces de lograr un aumento de 1 t/ha y tecnología de producción de semilla hasta 3 t/ha. Esta experiencia ha despertado el interés del sector privado de semillas de los demás países de Asia, especialmente en India, y del resto del mundo. En este hemisferio existen programas de híbridos en el sector privado de Brasil (Granja 4 Irmãos en sociedad con CIRAD de Francia) y Estados Unidos (RiceTec, Inc.).

El establecimiento del nuevo tipo de planta y de los híbridos implicaría un cambio de paradigma para el mejoramiento de arroz, modificando el tipo de material seleccionado. El manejo de la productividad como característica cuantitativa usando selección recurrente no cuestiona el modelo IR8, solo la forma de ampliar la frontera de productividad. El modelo, planteado por el CNPAF de Brasil y el CIRAD de Francia, pretende ampliar las posibilidades de recombinación de genes de rendimiento. En la misma línea de trabajo se pueden clasificar los esfuerzos de identificación de genes de rendimiento en especies silvestres, facilitando su incorporación a materiales adaptados usando biotecnología en lugar del sistema de retrocruza tradicional. Todo este esfuerzo se encuentra a nivel de estaciones experimentales, por tanto su validez no ha sido confirmada.

La biotecnología se está aplicando al mejoramiento de arroz como herramienta para transferir nuevos genes e identificar locus cuantitativos con efecto en la productividad. Los genes que confieren resistencia a herbicidas totales tales como Basta ® de Agrevo y del grupo IMI® de American Cyanamid se incorporaron a variedades de arroz y podrían estar disponibles a nivel comercial en Estados Unidos y Sudamérica templada en los próximos 5 años. Estos tipos de variedades facilitarían el control del arroz rojo. El potencial de las nuevas tecnologías para el mejoramiento de la productividad en si se considera ilimitado, pero su aplicación a nivel comercial y las restricciones de uso que podrían tener no se conocen en la actualidad. Las restricciones legales debido a la diversidad de patentes requeridas para desarrollar variedades de arroz usando biotecnología podrían superar las limitaciones técnicas.

El mejoramiento genético del arroz pasa por un período muy dinámico y esperanzador. El uso del arroz como modelo para el trabajo de biotecnología está generando muchas oportunidades de aplicación práctica en este cultivo. Tenemos la oportunidad de moldear el futuro.

# LOUISIANA RICE PRODUCTION: RICE PLANT NUTRITION AND CULTURAL MANAGEMENT

Patrick K. Bollich

## **Rice Research Station** Louisiana Agricultural Experiment Station LSU Agricultural Center

In 1998, it is estimated that Louisiana produced rice on 265,000 hectares. About 75% of this production occurred in the southwest Louisiana area and most of the remainder in the northeast. A small percentage of rice was produced in the central area. The predominant rice producing area is located in southwest Louisiana, where almost 52% of the total hectareage is located.

Southwest Louisiana relies heavily on ratoon production, which results in a second grain harvest that originates from a single planting. Due to the length of the growing season, this production practice is specific to the southwest area. Depending on the year, approximately 20% of the state hectareage is ratooned. A typical ratoon yield would range from 25 to 35% of the main crop yield.

Louisiana grows both long- and medium-grain rice varieties, with the long grains being predominant. In the last 10 years, there was an increase in medium-grain production, up to 44% of the total, but began declining in 1992 and is expected to be no more than 5% of the total in 1998. There is also a very small specialty rice industry, less than 1%, that includes aromatic and low amylose rices.

Louisiana has two fairly distinct rice production regions, and recommended planting dates are specific to these areas. In the southwest area, most rice is planted between March 20 and April 30. In the northeast area, planting is 3 weeks later, ranging from April 10 to May 15. These are optimum planting dates; although, some rice is planted outside of these ranges. Higher yields in each area usually occur with earlier planting dates. High temperature, increased disease, and unfavorable weather can reduce yields of later planted rice.

Seeding rates depend on the cultural method used to produce rice. Water-seeded or dry-broadcast rice is planted at rates ranging from 112 to 168 kg/ha. Drill-seeding rates range from 101 to 123 kg/ha. If the seed is treated with gibberellic acid, a growth regulator that enhances elongation and emergence of the developing shoot, and the temperature is >21C, drill-seeded rates can be

reduced to a range of 84 to 95 kg/ha. These ranges represent ideal to adverse planting conditions.

Nitrogen (N), phosphorus (P), and potassium (K) fertilizers are required on most Louisiana rice soils. Sulfur (S) is also used and is applied either as a single nutrient or as ammonium sulfate. Zinc (Zn) is the only micronutrient required for rice in Louisiana. Zinc deficiency, or bronzing as it is commonly referred to, is more typical in water-seeded rice but also occurs with dry seeding.

Rice is produced in Louisiana in both water-seeded and dry-seeded systems. In areas where red rice, a noxious rice biotype, is a serious problem, pinpoint flooding is the preferred system. In a delayed flood system, rice is water seeded, but after the initial drain, the rice is flushed as needed until it reaches the four- to five-leaf stage. This system, after the initial planting operation, is very similar to dry seeding as it relates to overall agronomic management.

In a pinpoint flood and water-seeded system, 60 to 70% of the required N and any required phosphorus and potassium are applied preplant incorporated. A shallow flood is established and the field is planted with pregerminated seed. The field is drained briefly for 3 to 5 days to encourage seedlings to root and anchor, and the permanent flood is then established. The remaining N is applied at midseason.

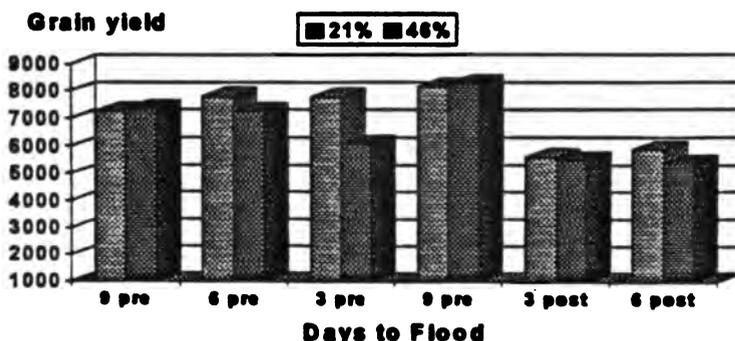
In the dry-seeded or delayed flood system, usually 17 to 34 kg/ha of N are applied at planting, along with phosphorus and potassium. The field is flush irrigated as needed to establish stand. About 60 to 70% of the required N is applied preflood at the four- to five-leaf growth stage. The field is then permanently flooded, and the remaining N is applied at midseason.

Nitrogen management is slightly altered when the potential for straighthead exists. This disorder has been associated with sandy soils, soils that have had repeated applications of arsenical herbicides, and soils where significant amounts of plant residue have been incorporated prior to planting. A condition called parrot beak develops, and grain formation is affected. In severe situations, yield losses of up to 90% can occur. The only cultural practices that minimize the potential for yield loss due to straighthead are to plant varieties that possess some resistance and to drain the field at mid-tillering to aerate the soil prior to panicle initiation. In these situations, only 50% of the required N is applied preflood, followed by a larger midseason application.

Small amounts of preplant N utilized in the dry-seeded and delayed flood system do not have a direct influence on grain yield. This early season N helps to promote early season growth and improve plant health. In some situations, the permanent flood can be established earlier because of this faster growth. This starter or preplant N provides an indirect benefit to rice.

The application of preflood N in relation to permanent flood establishment is very important. Grain yields generally increase as the time between N application and flood establishment decreases (Figure 1).

**FIGURE 1. PREFLOOD NITROGEN SOURCE AND TIMING**

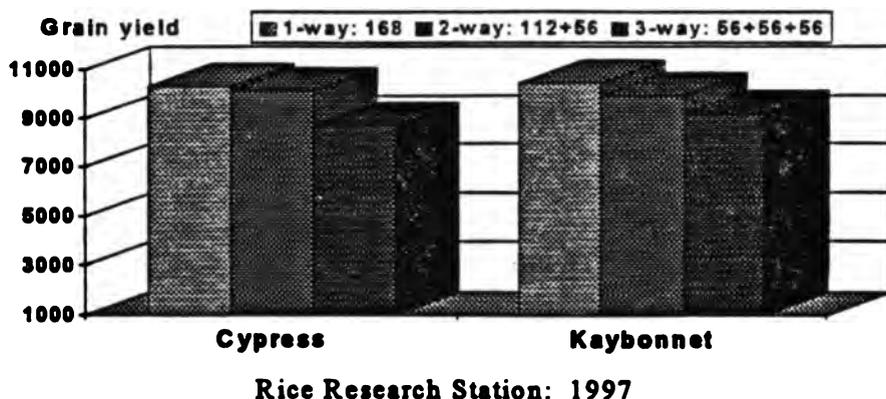


Rice Research Station: 1997

There is little difference in the effectiveness between urea (46% N) and ammonium sulfate (21% N), with both providing similar yields. Applying N into the flood on young or seedling rice should be avoided since the efficiency and uptake of this N are significantly reduced.

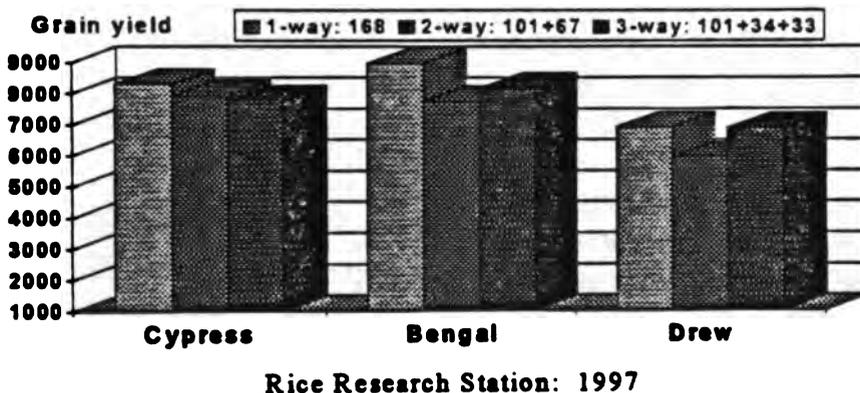
There is generally little difference in rice response to single, two-way, and three-way applications of N provided the N requirement is known, water management is precise, the application is uniform, and the seedbed is dry at the time of application. This is especially true for the semidwarf rice varieties. In many commercial situations, due to lack of precision in application, poor water management, or wet seedbeds, N is applied in split applications. Louisiana research shows that single and two-way applications usually produce similar yields, but three-way applications can result in slightly lower yields (Figure 2).

**FIGURE 2. NITROGEN TIMING**



The modern varieties grown in the southern U.S. need more N during early growth to reach maximum yields. There is some difference due to varieties, but in most situations and with proper management, single applications are more efficient than multiple applications (Figure 3).

**FIGURE 3. NITROGEN TIMING**



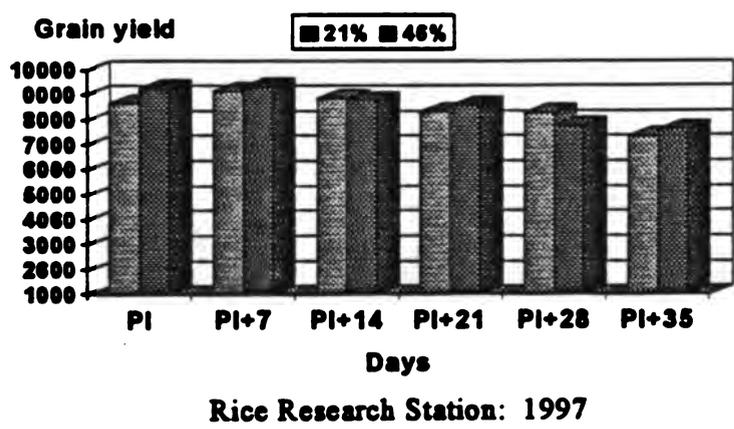
Situations do occur where it is more appropriate to apply N in multiple applications. Less than ideal management, inadequate flooding capabilities, improper N placement or application, and saturated seedbeds at pre-flood N timing are conditions when multiple applications should be considered.

When N is applied in split applications, the question arises as to its time of application. Panicle initiation is used as an indicator for midseason N application. In Louisiana, this growth stage is referred to as green ring. But, this growth stage is used only as an indicator. If N deficiency is observed

before panicle initiation, midseason N should be applied immediately. There is also a question as to how late N can be applied at midseason and an economic return be realized. In Louisiana, research has shown that midseason N should be applied no later than 14 to 21 days after panicle initiation (Figure 4). At this time, depending on variety and growing conditions, panicle length is usually 2 to 5 cm. Later applications are not as effective and have had either no influence on yield or have resulted in yield reductions. There is also no difference in effectiveness of N source at midseason. Both urea and ammonium sulfate gave similar responses.

In recent years, there has been a change in cultural practices. Interest in reduced tillage has increased in both water- and dry-seeded rice production. Stale seedbed and no-till production are gaining in popularity in both cultural systems and in all rice producing areas. In 1997, approximately 30,000 hectares of rice were produced with some form of conservation tillage. The fall tillage, or stale seedbed method, has become the most popular in Louisiana. Tillage is usually performed in October, and preplant vegetation is controlled the following spring prior to planting. Less common is a true no-till seedbed, where rice is seeded directly into previous crop residue.

**FIGURE 4. MIDSEASON NITROGEN SOURCE AND TIMING**



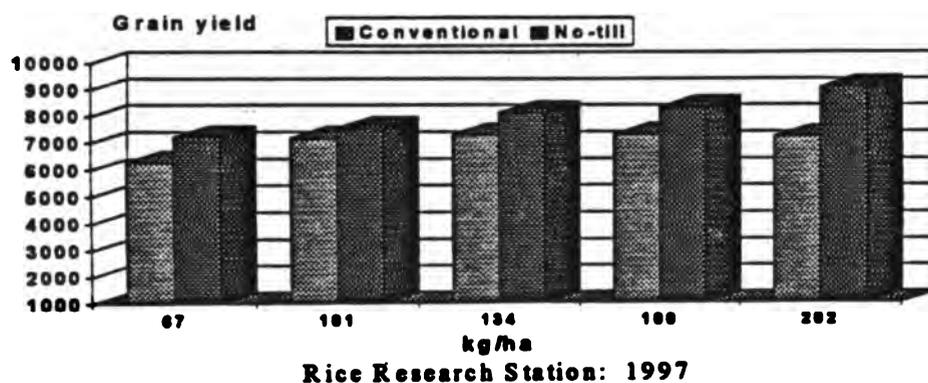
In the drill-seeded system, seedling injury occurred when seed and fertilizer were banded together in the same drill slit. The shallow seed placement and high rates of complete fertilizers in close proximity to the seed resulted in foliar burn. It is recommended that fertilizer materials be broadcast and incorporated before drill seeding. Another application method that eliminates this risk is to apply P and K in the fall. Fertilizer application costs are reduced, and usually, weather conditions in the fall are more favorable for tillage than in the spring.

This practice also makes it easier for the farmer to manage N in the following rice crop.

There are some limitations to the practice of fall fertilizer application. Phosphorus can be mobilized, at least temporarily, on certain soils. This condition is reversed once the permanent flood is established. On soils with a low CEC (<7 meq/100 g soil), leaching of K might occur. Most rice soils have a shallow clay pan at a depth of 12 to 16 cm, so leaching occurs only to this depth, and eventually, the rice roots intercept the K fertilizer. Weed establishment during the winter months can be more of a problem, especially with soils that are not flooded during this period. In a few instances, the formation of algae, or scum, can cause problems with rice stand establishment when fields are flooded over the winter months.

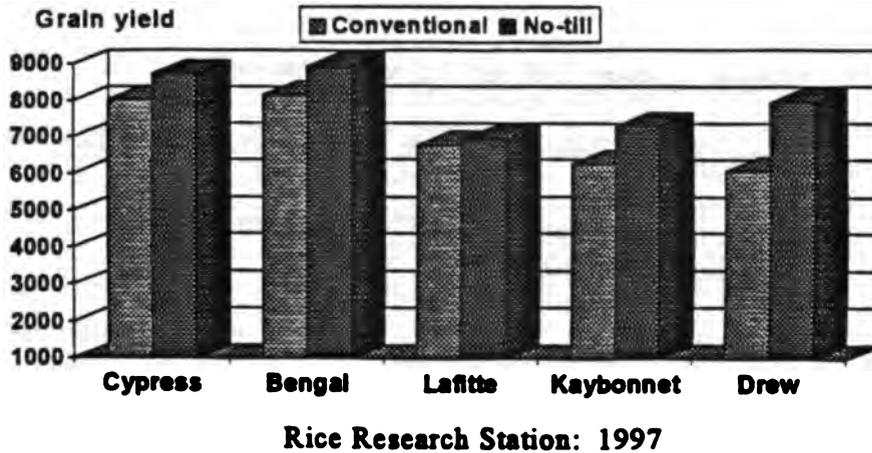
There are concerns about the behavior of fertilizer N in these conservation tillage systems. Seedbed compaction is thought to restrict the movement of surface-applied N down into the root zone. The N can be partially immobilized by microorganisms involved in the breakdown of preplant vegetation. There is also some evidence that rice root growth proceeds at a slower rate due to soil compaction, at least during the early season. In a number of studies where conventional and no-till systems were compared, more N was required to maximize yield in the no-till system. In this particular study, yield of the no-till was higher than the conventional, but this increase was probably due to better stand establishment (Figure 5).

FIGURE 5. TILLAGE EFFECT ON NITROGEN EFFICIENCY IN DRILL-SEEDED RICE



Depending on conditions, varieties can also respond differently to method of tillage (Figure 6). In this example, with the exception of the variety Lafitte, yields of the other varieties were significantly higher in the no-till system. But, there have been situations where the opposite was true.

**FIGURE 6. TILLAGE EFFECT ON DRILL-SEEDED RICE YIELDS**



Zinc deficiency occurs where soil levels are low and where soil pH is greater than 6.2. In Louisiana, cool temperature during the early season retards root growth, which in turn causes Zn deficiency. Root pruning by the rice water weevil larvae also reduces the rice plants' ability to accumulate Zn. Deep water on seedling rice tends to aggravate these deficiencies.

The need for preplant applications of Zn is determined by soil tests and field history. Inorganic sources of Zn are usually applied preplant with other required nutrients. The effectiveness of these products depends on their solubility and ultimate availability to the rice plant. In Louisiana, deficiencies occur even when Zn has been applied preplant, especially in water-seeded rice. Deficiencies of this nature are brought on by cool temperatures and retarded root growth, and in these situations, applications of foliar Zn chelates are effective in correcting the problem.

In Louisiana, N is recommended on a variety basis (Table 1). This information is obtained by conducting statewide variety by N trials on different soils and in different environments. The higher rates are typically applied in the northeast area where clay soils are predominant and disease incidence is moderate. Based on 1997 statewide field trials, the N required to produce optimum yield for a number of commonly grown varieties is shown in Table 2. These numbers tend to change somewhat from year to year due to both varietal response and environmental influences. Taller varieties, such as Drew and Kaybonnet, usually require less N for optimum yields than do the semidwarfs, such as Jefferson, Jodon, and Bengal.

**TABLE 1. RICE VARIETY NITROGEN  
REQUIREMENTS (kg/ha)**

Gulfmont, Lemont, Dellrose, Jefferson, Dixiebelle	112 - 185
Cypress, Bengal, Jodon, Cocodrie, Lafitte, Litton	112 - 168
LaGrue, Jackson, Maybelle, Newbonnet, Drew, Kaybonnet, Toro-2	112 - 157
Alan, Katy, Millie	112 - 134
Jasmine 85, Mars	90 - 134
Della, Rico 1	78 - 112
Saturn, Akitakomachi	67 - 101

**TABLE 2. 1997 RICE VARIETY NITROGEN  
REQUIREMENTS (kg/ha)**

Drew	141
Kaybonnet	141
Litton	148
Cypress	155
Jefferson	161
Cocodrie	161
Lafitte	161
Jodon	175
Bengal	175

A rice crop that produces 7300 kg/ha removes significant quantities of the major nutrients in both the grain and straw components (Table 3). It is important to recognize the nutrient accumulation in the straw, especially if removed after harvest for such uses as animal feed. Nutrient removal estimates also assist in

providing fertilizer recommendations to farmers, but economic crop response is the basis for nutrient recommendations by the university. Plant nutrient critical values are used to diagnose and, in some instances if detected early enough, correct nutrient deficiencies in existing crops (Tables 4 and 5). This information is based on the y-leaf (most recently matured and expanded leaf) concentration at panicle differentiation.

Rice production systems throughout Louisiana are very diverse. The different soils, environments, and production problems, such as red rice control, make integration of agronomic recommendations into a total systems approach very difficult. Possibly the most significant change in Louisiana rice production systems will occur with the development of herbicide-resistant rice varieties. With this technology, it will be possible to control red rice within an established rice crop, an impossibility at the present time. Red rice control is a serious production constraint that impacts all other rice management practices. The ability to control red rice will allow farmers to take full advantage of currently recommended production practices that relate to pest, fertility, and water management. This technology is expected to become commercially available in the year 2001.

**TABLE 3. RICE CROP NUTRIENT REMOVAL**

	<b>Straw</b>	<b>Grain</b>
<b>N</b>	71	96
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	30	50
<b>K<sub>2</sub>O</b>	120	28

**Removal in kg/ha and based on 7300 kg/ha rice yield**

**TABLE 5. PLANT NUTRIENT CRITICAL VALUES**

---

	<b>Deficient</b>	<b>Low</b>	<b>Sufficient</b>
<b>B, ppm</b>	<b>&lt;3</b>	<b>3-5</b>	<b>&gt;5</b>
<b>Cu, ppm</b>	<b>&lt;4</b>	<b>4-6</b>	<b>&gt;6</b>
<b>Fe, ppm</b>	<b>&lt;70</b>	<b>70-100</b>	<b>&gt;100</b>
<b>Mn, ppm</b>	<b>&lt;20</b>	<b>20-40</b>	<b>&gt;40</b>
<b>Mo, ppm</b>	<b>&lt;0.02</b>	<b>0.02-0.5</b>	<b>&gt;0.5</b>
<b>Zn, ppm</b>	<b>&lt;0.15</b>	<b>15-20</b>	<b>&gt;20</b>

# LA RESISTENCIA A HERBICIDAS DIFICULTA EL MANEJO DE MALEZAS EN EL CULTIVO DE ARROZ

Bernal E. Valverde, Lilliana Chaves y Fernando Ramírez  
Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE),  
Turrialba 07170, Costa Rica.

## RESUMEN

Más de 200 especies de malezas han evolucionado resistencia a herbicidas; en América Latina se han documentado 17 casos de resistencia. Catorce especies de malezas asociadas al cultivo del arroz son resistentes a herbicidas, principalmente a sulfonilureas y 2,4-D. *Echinochloa colona* ha evolucionado resistencia a propanil y fenoxaprop y *E. crus-galli* a propanil, tiobencarbo y butaclor. El caso más estudiado de resistencia a herbicidas en América Latina es el de *E. colona*, principal maleza gramínea del cultivo de arroz en América Central. La resistencia a propanil en esta especie está asociada con una mayor actividad de la enzima aril acilamidasa en los biotipos resistentes, lo que les permite detoxificar al propanil a una tasa mayor que los biotipos susceptibles. Las poblaciones resistentes, en general, pueden ser controladas con otros herbicidas alternativos, incluyendo al bispiribac sodio, clomazone, cyhalofop, fenoxaprop, glifosato, pendimetalina, piribenzoxim y quinclorac. Sin embargo, existen poblaciones de *E. colona* resistentes a fenoxaprop-etilo que no pueden ser eliminadas con cyhalofop-butilo, cycloxdim, fluazifop-*p*-butilo, quizalofop y setoxidim. La integración de prácticas de manejo ayudan a controlar las poblaciones resistentes y a prevenir la evolución de resistencia en las poblaciones aún susceptibles a propanil y a otros herbicidas. El uso de sinergistas como el piperofos y anilofos en mezcla formulada o de tanque con propanil permite el control de poblaciones resistentes sin aumentar sustancialmente el riesgo de fitotoxicidad al arroz. El desarrollo de variedades de arroz resistentes a herbicidas de amplio espectro puede ser una herramienta adicional en el manejo juicioso de la resistencia a herbicidas.

El uso de herbicidas orgánicos sintéticos sin duda ha facilitado el manejo de las malezas en los cultivos y aumentado la eficiencia en la producción agrícola. La gran mayoría de los herbicidas disponibles en el mercado exhiben selectividad a uno o varios cultivos, lo que permite eliminar las malezas sin causar daño al cultivo. En el caso del arroz, el principio de selectividad comúnmente se ilustra con el propanil, herbicida que elimina varias gramíneas importantes y malezas de hoja ancha causando daños mínimos al cultivo, el cual se recupera rápidamente dada su capacidad de detoxificar al herbicida, su rápido crecimiento y la limitada tasa de transporte del propanil. Sin embargo, la dependencia de los herbicidas en varios sistemas de cultivo, particularmente en monocultivos, ha impuesto una fuerte presión de selección sobre las malezas, las cuales han respondido con la proliferación de biotipos resistentes a estos productos. Se entiende por resistencia la capacidad hereditaria de una población de una maleza de sobrevivir a la aplicación de un

herbicida que normalmente es letal a la gran mayoría de los individuos de esa especie (Powles *et al.*, 1997). En esta presentación se revisan algunos de los aspectos más relevantes en relación con la resistencia a herbicidas y sus implicaciones para el manejo de malezas en arroz.

El primer caso ampliamente reconocido de resistencia a herbicidas se documentó en los EE. UU. a finales de la década de los sesenta cuando se determinó que plantas de *Senecio vulgaris* no podían ser controladas con simazina y otras triazinas (Ryan, 1970). De acuerdo con el Recuento Internacional de Malezas Resistentes a Herbicidas (Heap, 1998), en la actualidad existen 210 biotipos de malezas resistentes a herbicidas en 44 países. Aproximadamente el 80% de estos casos ocurren en países desarrollados, especialmente en los EE. UU. y en Europa occidental. Desde que se descubrió el primer caso de resistencia a herbicidas, el grupo preponderante a los cuales las malezas han evolucionado resistencia es el de las triazinas (64 biotipos resistentes). Sin embargo, la introducción de herbicidas que inhiben la enzima acetolactato sintetasa (ALS), entre los que se encuentran las sulfonilureas, imidazolinonas, triazolopirimidinas y piridinil-benzoatos, ya ha resultado en 50 biotipos resistentes a este grupo.

En América Latina, los casos más estudiados de resistencia están ligados al cultivo del arroz. El primero de ellos fue informado por Garro *et al.* (1991), quienes documentaron poblaciones de *Echinochloa colona* resistentes a propanil en Costa Rica. Posteriormente, la resistencia de esta maleza al propanil fue confirmada en Colombia (Fischer *et al.*, 1993) y en el resto de los países de América Central (Garita *et al.*, 1995). En Costa Rica también se encontraron poblaciones de *Ixophorus unisetus* (asociadas con arroz y caña de azúcar) y de *Eleusine indica* (en un área no agrícola) resistentes al imazapir (Valverde *et al.*, 1993). Recientemente, el número de casos ha aumentado, especialmente con el descubrimiento de varias malezas resistentes a herbicidas asociadas al cultivo de soya en Brasil (Christoffoleti *et al.*, 1996; Vidal y Fleck, 1997). Heap (1998) lista los casos de resistencia en América Latina (Cuadro 1).

### **Evolución de resistencia a herbicidas.**

Los factores que determinan la evolución de resistencia a herbicidas en las malezas han sido discutidos a profundidad en varias publicaciones importantes. El lector que desee ahondar en el tema puede referirse a las publicaciones de Rubin (1991), Powles y Holtum (1994) y, con especial referencia al arroz, al trabajo de Gressel y Baltazar (1996). En lo fundamental, las malezas son capaces de evolucionar resistencia gracias a la diversidad genética que poseen. Esta diversidad genética le permite la sobrevivencia a algunos individuos en situaciones que podrían considerarse como catastróficas, tal como la aplicación de un herbicida. Los genes de resistencia, se encuentran presentes en las poblaciones normales o silvestres de las

malezas, aunque en una frecuencia muy baja que los hace pasar inadvertidos hasta que se emplea con regularidad un mismo herbicida o herbicidas que tienen el mismo modo de acción. El uso o el abuso de estos herbicidas constituyen la presión de selección que hace que las poblaciones se enriquezcan con individuos resistentes hasta el punto de pérdida de eficacia del producto. La mayoría de los casos de resistencia obedecen a la expresión de genes individuales, comúnmente dominantes que le brindan ventaja a los individuos que los poseen cuando son expuestos al herbicida.

Cuadro 1. Especies resistentes a herbicidas en América Latina<sup>1</sup>.

Especie	Herbicida	País	Año <sup>2</sup>	Referencia
<i>Amaranthus retroflexus</i>	Atrazina	Chile	1995	Heap, 1998
<i>Avena fatua</i>	Diclofop	Chile	1995	Heap, 1998
<i>Bidens pilosa</i>	Imazaquin	Brasil	1996	Christoffoleti <i>et al.</i> , 1996
<i>Brachiaria plantaginea</i>	Inh. ACCasa	Brasil	1997	Vidal y Fleck, 1997
<i>Chenopodium album</i>	Atrazina	Chile	1995	Heap, 1998
<i>Commelina sp.</i>	Paraquat	Islas del Caribe	1991	Rubin, 1991
<i>Datura stramonium</i>	Atrazina	Chile	1995	Heap, 1998
<i>Echinochloa colona</i>	Propanil	Costa Rica, resto América Central, Colombia	1991 1995 1993	Garro <i>et al.</i> , 1991 Garita <i>et al.</i> , 1995 Fischer <i>et al.</i> , 1993
<i>E. colona</i>	Fenoxaprop- etilo	Costa Rica, Colombia, Nicaragua	1995 1996	Caseley <i>et al.</i> , 1995 Valverde <i>et al.</i> (no publicado)
<i>Eleusine indica</i>	Imazapyr	Costa Rica	1993	Valverde <i>et al.</i> , 1993
<i>Euphorbia heterophylla</i>	Imidazolinonas	Brasil	1992	Vidal y Fleck, 1997
<i>E. heterophylla</i>	Linuron	Ecuador	1990	Heap, 1996
<i>Ixophorus unisetus</i>	Imazapyr	Costa Rica	1993	Valverde <i>et al.</i> , 1993
<i>Lolium rigidum</i>	Diclofop	Chile	1995	Heap, 1998
<i>Phalaris minor</i>	Fenoxaprop	México	1996	Heap, 1998
<i>Phalaris paradoxa</i>	Fenoxaprop	México	1996	Heap, 1998
<i>Senecio vulgaris</i>	Simazina	Chile	1995	Heap, 1998

<sup>1</sup> Lista de especies elaborada con base en publicaciones científicas y en los registros del Recuento Internacional de Malezas Resistentes a Herbicidas (Heap, 1996).

<sup>2</sup> El año se refiere a la fecha de publicación científica (revista, resumen de congreso) o a la fecha informada en las encuestas que nutren el Recuento Internacional de Malezas Resistentes a Herbicidas (Heap, 1998).

Los herbicidas más persistentes o los que se aplican con gran frecuencia a intervalos cortos, son los que ejercen mayor presión de selección. Un mismo herbicida puede ejercer distintos niveles de presión de selección para especies de malezas diferentes (Gressel y Baltazar, 1996). Los herbicidas

preemergentes tienden a ejercer una mayor presión de selección que los postemergentes. Estos últimos deben afectar a plantas en distinto estado de crecimiento y están más sujetos a "no dar en el blanco" en virtud del efecto de "sombrija" del cultivo y de las condiciones ambientales durante la aplicación.

En los casos en que los individuos que poseen la capacidad de resistir a un herbicida sufran de pérdida de adaptabilidad al medio, la aparición de poblaciones resistentes puede requerir más tiempo. La aparición de poblaciones resistentes también puede ser retardada por el efecto de dilución que ejerce el banco de semillas en el suelo, el cual, históricamente, debe haberse enriquecido con individuos susceptibles, los cuales predominaron hasta que se empleó el herbicida.

### **Resistencia a herbicidas en el cultivo del arroz.**

Aún cuando existen varias modalidades de siembra de arroz que se asocian con diversos métodos de manejo de malezas, el uso de herbicidas es una de las herramientas más empleadas para controlar estas plantas. La producción de arroz en Latinoamérica es muy dependiente de los herbicidas post-emergentes (Fischer and Ramírez, 1993), especialmente propanil. La dificultad de rotar el arroz con otros cultivos también desfavorece la alternancia de herbicidas y modos de acción. Así, en la actualidad, se han informado 14 especies de malezas asociadas al arroz que son resistentes a herbicidas, pertenecientes a los principales grupos químicos que se usan en dicho cultivo (Cuadro 2).

Predomina la resistencia a sulfonilureas, grupo de herbicidas de reciente introducción. En Australia, tres especie acuáticas, *Cyperus difformis*, *Damasonium minus* y *Sagittaria montevidensis* evolucionaron resistencia al bensulfuron, tan solo después de cuatro aplicaciones comerciales del herbicida<sup>1</sup>. Donde aparecieron estas poblaciones resistentes, los productores quedaron prácticamente sin herramientas químicas para el control de especies acuáticas, teniendo que regresar al uso del MCPA que tiene limitantes por el manejo que requiere del agua de riego y por problemas de deriva (Graham et al., 1996). El MCPA, además, se utiliza hasta que la planta de arroz ha macollado, época en la que el *C. difformis* ya ha causado efectos negativos que se traducirán en pérdidas de rendimiento. Otro herbicida alternativo, el tiobencarbo, sólo se usa para el control de *C. difformis*, con una ventana de aplicación limitada, pero no controla otras malezas acuáticas, incluidas *D. minus*, *S. montevidensis* y *Alisma plantago-aquatica*. Esta última especie ya evolucionó resistencia a bensulfuron en Portugal poco tiempo después de su introducción comercial (Calha et al., 1997))

---

<sup>1</sup> Graham, R.J. 1996. Charles Sturt University, Wagga Wagga N.S.W., Australia. Comunicación personal.

Una situación similar se ha presentado en Japón, donde el bensulfuron y el pirazosulfuron-etilo se han empleado continuamente desde 1989. En 1994 se encontró una población de *Lindernia micrantha* resistente a estas sulfonilureas. Posteriormente se documentaron otras especies de la familia Scrophulariaceae (Cuadro 2) resistentes a estos herbicidas provenientes de campos tratados una sola vez por ciclo con uno de estos herbicidas, por períodos de 3-7 años (Itoh y Wang, 1997). *Monochoria korsakoi*, una maleza de la familia Pontederiaceae, también evolucionó resistencia a bensulfuron en un período de cinco años y no

Cuadro 2. Malezas asociadas al arroz que han evolucionado resistencia a herbicidas<sup>1</sup>.

Espece	Familia	Ciclo de vida	Habitat predominante	Herbicida al que es resistente	País
1 <i>Alisma perfoliata-aquatica</i>	Alismataceae	Perenne	Acuática	Bensulfuron	Portugal
2 <i>Cyperus difformis</i>	Cyperaceae	Anual	Acuática	Bensulfuron	Australia, EE.UU.
3 <i>Damastrorium minus</i>	Alismataceae		Acuática	Bensulfuron	Australia
4 <i>Echinochloa colona</i>	Poaceae	Anual	Anfibia	Propanil Fenoxaprop	América Central, Colombia Costa Rica
5 <i>Echinochloa crus-galli</i>	Poaceae	Anual	Anfibia	Propanil Butaclor Tribencarbo	Grecia, EE. UU., Sri Lanka China China
6 <i>Fimbristylis miliacea</i>	Cyperaceae	Anual	Anfibia	2,4-D	Malasia
7 <i>Limnorcharis flava</i>	Butomaceae	Perenne	Acuática	2,4-D	Indonesia
8 <i>Linnophila sessiliflora</i>	Scrophulariaceae	Perenne	Acuática	Sulfonilureas	Japón
9 <i>Lindernia dubia, L. dubia var. mejor</i>	Scrophulariaceae	Anual	Anfibia	Sulfonilureas	Japón
10 <i>Lindernia micrantha</i>	Scrophulariaceae	Anual	Anfibia	Sulfonilureas	Japón
11 <i>Lindernia pyxidaria</i>	Scrophulariaceae	Anual	Anfibia	Sulfonilureas	Japón
12 <i>Monochoria korsakowii</i>	Pontederiaceae	Anual	Anfibia	Sulfonilureas	Japón
13 <i>Sagittaria montevidensis</i>	Alismataceae	Perenne	Acuática	Bensulfuron	Australia, EE. UU.
14 <i>Sphenoclea zeylandica</i>	Sphenocleaceae	Anual	Anfibia	2,4-D	Malasia, Filipinas

<sup>1</sup> Con base en la información presentada por Heap (1998).

puede ser controlada tampoco con otros herbicidas del grupo de las sulfonilureas como el pirazosulfuron-etilo, imazosulfuron y ciclosulfamuron (Wang *et al.* 1997).

En California, el número de campos infestados con *C. difformis* y *S. montevidensis* resistentes a sulfonilureas (bensulfuron) se ha incrementado sustancialmente en años recientes.<sup>2</sup> Tres especies, *Fimbristylis miliacea*, *Limnocharis flava* y *Sphenoclea zeylandica* se han informado como resistentes a 2,4-D en arroz en Asia.

Por su importancia económica, las especies del género *Echinochloa* son las más problemáticas en cuanto al manejo de poblaciones resistentes. *E. crusgalli* ha evolucionado resistencia a herbicidas en tres continentes, incluyendo al propanil, butaclor y tiobencarbo. En América Latina, el caso más importante de resistencia a herbicidas en arroz es el de poblaciones de *E. colona* resistentes a propanil y a fenoxaprop (Valverde, 1996). Por su relevancia en nuestro medio, el resto de esta presentación se refiere a lo que hemos estudiado de este caso en los últimos años.

### **Resistencia de *Echinochloa colona* a herbicidas en América Latina**

En América Latina las malezas constituyen la principal limitación en la producción de arroz y *E. colona* ocupa el lugar más importante como maleza en sistemas de siembra de secano y anegado (González *et al.*, 1983). El género *Echinochloa* contiene unas 50 especies, algunas muy bien adaptadas para crecer en condiciones de anegamiento (Michael, 1983). *E. colona*, nativa de la India, es una gramínea anual ampliamente distribuida en América Central, México, Colombia y en el resto de los trópicos. Junto con su congénere *E. crusgalli*, son las principales malezas de dicho cultivo mundialmente (Holm *et al.*, 1977). Se adapta muy bien a las modalidades de cultivo del arroz, incluyendo el anegamiento, produce abundante semilla y puede alcanzar densidades muy altas. En campos de arroz de secano en Costa Rica hemos encontrado más de 600 plántulas de *E. colona*/m<sup>2</sup>, siendo muy común la presencia de 100-200 plantas/m<sup>2</sup> al momento de la primera aplicación del herbicida propanil (aproximadamente 10-14 días después de la siembra del arroz). *E. colona* posee una alta capacidad competitiva. Si no se controla oportunamente, puede causar reducciones severas de rendimiento, de un 30 a un 60% (Fischer *et al.*, 1997) y hasta la pérdida total del cultivo de arroz.

El herbicida propanil se ha empleado en el cultivo de arroz por aproximadamente 40 años. Es un inhibidor fotosintético que pertenece a la familia de las amidas ácidas sustituidas. Actúa por contacto; después de ser absorbido por las hojas, su transporte en la hoja y hacia otras partes de la planta es muy limitado. Se aplica en post-emergencia y es muy selectivo para

<sup>2</sup> Fischer, A. J. 1997. University of California Davis, California, EE.UU. Comunicación personal

el arroz, gracias a que el cultivo puede hidrolizar al propanil y convertirlo en 3,4-dicloroanilina y ácido propiónico, mediante la enzima aril-acilamidasa (Frear and Still, 1968; Still and Kuzirian, 1967; Yih et al., 1968). La selectividad del propanil al arroz se logra gracias a que la mayoría de las malezas no poseen aril acilamidasa o, si está presente, tiene una actividad muy inferior a la del arroz (Hoagland and Graf, 1972). Posteriormente, la 3,4-dicloroanilina, que también es fitotóxica (Leah et al., 1995), puede sufrir metabolismo adicional por la acción de peroxidases antes de su conjugación con azúcares (Winkler and Sanderman 1989; Sanderman et al., 1991; Schmidt et al., 1994) o incorporación con lignina (Yih et al., 1968). Se conoce ampliamente los insecticidas carbamatos y organofosforados, especialmente la forma oxidada de estos últimos, actúan como inhibidores de la aril acilamidasa (Frear and Still, 1968; Matsunaka, 1968; Leah et al., 1994). Por esta razón es que se recomienda no hacer mezclas de tanque de propanil con este tipo de insecticidas y dar un intervalo de dos semanas entre aplicaciones de propanil e insecticidas carbamatos u organofosforados.

En 1988 luego de que los productores se quejaron de la ineficacia del propanil para controlar *E. colona*, Garro et al. (1991) documentaron las primeras poblaciones resistentes a propanil en el Pacífico Central de Costa Rica en campos con un gran historial de siembra de arroz y uso de este herbicida. La población de la maleza sujeta a la mayor presión de selección resultó ser la más resistente y requería una dosis de propanil 8.5 veces mayor para causar el mismo grado de inhibición del crecimiento que en la población susceptible. Casi en forma simultánea, los productores de arroz en Colombia experimentaban los mismos problemas para controlar *E. colona*: comportamiento errático del propanil y la necesidad de aplicar dosis más altas para un control adecuado (Fischer et al., 1993). Los índices de resistencia de las poblaciones colombianas fueron similares a los encontrados originalmente en Costa Rica; el valor más alto fue de 8.6 con base en la RC40, es decir, la dosis de propanil requerida para reducir el crecimiento en un 40% (Fischer et al., 1993). Es interesante apuntar que ya en 1980 se habían realizado pruebas de campo en Colombia para verificar la ineficacia del propanil en varias poblaciones de *E. colona*. La mayoría de las 28 poblaciones evaluadas, provenientes de 22 sitios con amplia trayectoria y uso continuo de propanil por más de 10 años, no podían ser controladas eficazmente con dosis de hasta 6.7 kg/ha de propanil. Estas pruebas no se dieron a conocer sino hasta 1996 (Octavo, 1996). Recientemente, también se determinó que la resistencia a propanil está generalizada en América Central (Garita et al., 1995) y que existen poblaciones que requieren más de 70 veces la dosis necesaria para causar fitotoxicidad en plantas susceptibles. Es importante indicar que la resistencia a propanil, en virtud de su mecanismo (ver adelante), no es absoluta, es decir, se observan diversos niveles de resistencia, los cuales, en general, se relacionan con los años de exposición al herbicida o de siembra del cultivo. En México hemos realizado muestreos de *E. colona* en las principales

áreas productoras de arroz de Veracruz, Campeche y Morelos. Todas las poblaciones incluidas en bioanálisis preliminares que se han realizado son susceptibles al propanil (Villa-Casarez *et al.*, 1997). La resistencia a propanil también se ha diagnosticado en *E. crus-galli* en Grecia (Giannopolitis and Vassiliou, 1989), EE.UU. (Smith *et al.*, 1992) y Sri Lanka (Marambe *et al.*, 1997).

El uso de graminicidas sistémicos como productos alternativos para el control de *E. colona*, especialmente en sitios donde las poblaciones son resistentes a propanil, ha impuesto la presión de selección necesaria para que esta maleza también evolucionara resistencia a estos productos. En Costa Rica se encontraron poblaciones resistentes al fenoxaprop-*p*-etilo (Caseley *et al.*, 1995), las cuales también exhiben resistencia (*resistencia cruzada*) a otros antigramíneos, incluyendo cyhalofop-butilo, cycloxdim, fluazifop-*p*-butilo, quizalofop y setoxidim (Caseley *et al.*, 1995 y 1997). Existe el potencial en el género *Echinochloa* para la evolución de resistencia a otros herbicidas. En China, existen poblaciones de *E. crus-galli* resistentes a butaclor y tiobencarbo, las cuales cubren un área estimada en 2 millones de hectáreas (Huang y Gressel, 1997).

**Mecanismo de resistencia a propanil.** En la literatura se han documentado tres mecanismos principales por los cuales las malezas exhiben resistencia a los herbicidas: modificaciones en el sitio de acción, aislamiento del herbicida lejos de su sitio de acción ("secuestro") y metabolismo acelerado. En nuestros estudios determinamos que la resistencia al propanil en *E. colona* procedente de Costa Rica y Colombia se debe a una actividad incrementada de la aril acilamidasa (Guevara *et al.*, 1994, Leah *et al.*, 1994 y 1995). La absorción del herbicida fue similar en plantas susceptibles y resistentes de 15 días de edad (estado de 4 hojas); las plantas de mayor edad absorben menos propanil (40 % en plantas de 35 días) , pero sin que existan diferencias entre resistentes y susceptibles (Leah *et al.*, 1995). Carey *et al.* (1995a) tampoco observaron diferencias en absorción y transporte del propanil, entre plantas de *E. crus-galli* resistentes y susceptibles a este herbicida.

Las diferencias más importantes se dan en el metabolismo o degradación del herbicida. El metabolismo del propanil es mayor en plantas de *E. colona* resistentes que en las susceptibles; en estas últimas el propanil permanece más tiempo sin transformar dentro de la planta. Después de tres días, entre 55-65% del propanil absorbido permaneció sin metabolizar en las plantas susceptibles, comparado con un 30-35% en las plantas resistentes. La actividad de la aril acilamidasa fue mayor en las plantas resistentes y aumentó con el estado de crecimiento hasta los 15 días y luego decreció (Leah *et al.*, 1994). En las plantas resistentes al propanil, la actividad de esta enzima es aproximadamente el 80%) de la del arroz (en las plantas susceptibles sólo alcanza un 25 % en comparación con el cultivo). Fischer *et al.* (1996)

corroboraron que la degradación metabólica del herbicida es el mecanismo de resistencia a propanil en poblaciones de *E. colona* de Colombia. El metabolismo del propanil también es responsable de la resistencia a este herbicida en *E. crus-galli* (Carey et al., 1997).

**Manejo agronómico de *E. colona* resistente a propanil.** Como medida preventiva en el manejo de la resistencia a herbicidas es importante la selección cuidadosa de los herbicidas para minimizar la presión de selección sobre la maleza. En condiciones donde no se ha presentado resistencia, se debe establecer un esquema de rotación de herbicidas que difieran en su modo de acción y de degradación dentro de la planta. El uso de mezclas de herbicidas en vez del empleo continuo de un herbicida particular, permite también disminuir la presión de selección. El uso de propanil en mezcla con otros herbicidas posiblemente es una de las razones por las cuales la resistencia a este producto tardó tanto tiempo para diagnosticarse. El éxito en la prevención y manejo de la resistencia a herbicidas radica en la integración de distintas tácticas de combate de la maleza, incluyendo prácticas agronómicas, uso racional de herbicidas y, cuando es posible, el control biológico. Así, para el diseño de mejores planes de manejo a corto y largo plazo es de vital importancia el conocimiento sobre la bioecología de las especies de malezas asociadas con el cultivo, la adaptabilidad de las poblaciones resistentes, la dinámica del banco de semillas y el flujo de genes. Desafortunadamente, no siempre esta información está disponible.

En América Central, los agricultores frecuentemente dejan sus campos en descanso o barbecho durante la época seca; algunos alimentan el ganado con el rastrojo del arroz. Estos campos se infestan con malezas, entre ellas *E. colona*, que sacan provecho de la humedad remanente en el suelo. Una opción para disminuir la infestación de malezas en el año siguiente sería la incorporación del rastrojo y las malezas para minimizar la producción de semilla. Esta práctica se evaluó experimentalmente pero no afectó las poblaciones de *E. colona* en el siguiente año (Valverde et al., 1995, Chaves, 1996).

Otra técnica que puede ser usada para reducir las infestaciones de malezas en arroz es la de eliminar las primeras malezas que emergen con las lluvias o riego suplementario después de que se prepara el terreno, ya sea con herbicidas o métodos físicos. Los métodos químicos tienen la ventaja, en este caso, de que no traen semilla adicional a la superficie donde las condiciones son más favorables para la germinación (Sarkar y Moody, 1983). Si se emplean métodos físicos, es importante evitar la preparación profunda del suelo. Esta técnica, basada en la aplicación total del herbicida glifosato en postemergencia, ha sido muy eficaz para reducir las poblaciones de *E. colona* resistentes a propanil en condiciones experimentales en Costa Rica (Valverde et al., 1995). El uso de este herbicida, sin embargo, implica un retraso en la

22

época de siembra, que puede dificultar las labores de preparación final del terreno o el manejo inicial del cultivo. Sin embargo, cuando las condiciones del terreno lo permiten, el laboreo mecánico del suelo puede sustituir al glifosato en la eliminación de esta primera camada de malezas. En experimentos de campo de hasta tres años de duración, hemos demostrado que la población de *E. colona* que germina junto con el cultivo disminuye paulatinamente si se mantiene esta práctica (Valverde *et al.*, 1998).

La rotación de cultivos puede contribuir al manejo y prevención de la resistencia pues permite el uso de prácticas alternativas de control, incluido el uso de herbicidas con diferentes modos de acción a los empleados en arroz. Sin embargo, las rotaciones no son comunes en las áreas arroceras de América Latina. En algunos sitios en Costa Rica se siembra melón después de la cosecha de arroz con el uso de técnicas muy propias de ese cultivo como la fumigación con bromuro de metilo, uso de coberturas plásticas y riego por goteo, las cuales podrían impactar las malezas asociadas con el arroz. Sin embargo, los productos disponibles para el control de gramíneas en melón son limitados y el empleo de graminicidas sistémicos como el fluazifop-*p*-butilo puede imponer una presión de selección adicional sobre las poblaciones de *E. colona* previamente expuestas en el cultivo de arroz al fenoxaprop-*p*-etilo. Una situación similar se da en Bolivia, donde el arroz se rota con soya, cultivo en el que se emplea frecuentemente el fluazifop-*p*-butilo, especialmente para el control de *Eriochloa punctata*. Sin embargo, debe destacarse que en Arkansas (EE.UU.) la evolución de resistencia a propanil en *E. crus-galli* ha sido menos pronunciada en campos de arroz sujetos a rotación de cultivos (Carey *et al.*, 1995b). En América Central hemos hecho observaciones similares para *E. colona* sujeta a rotación de cultivos y herbicidas (Garita *et al.*, 1995).

Las prácticas agronómicas que ponen en ventaja competitiva al cultivo frente a la maleza ayudan a disminuir la presión de selección, ya que contribuyen a disminuir la necesidad de control con herbicidas. El impacto de este tipo de prácticas no se ha cuantificado en relación con el manejo de malezas resistentes en arroz. Sin embargo, es importante anotar que se hacen esfuerzos por desarrollar variedades de arroz alelopáticas o más competitivas que podrían contribuir a disminuir el uso de herbicidas (Olofsdotter y Navarez, 1996; Fischer *et al.*, 1997).

**Uso de herbicidas alternativos y sinergistas.** Cuando un herbicida no se puede utilizar eficazmente en virtud de que la maleza a que se destina ya ha evolucionado resistencia, la respuesta más común del agricultor es el uso de otro herbicida. Existen muchos productos registrados en varios países para el combate de *E. colona* como lo son el anilofos, bifenox, bispiribac-sodio, butaclor, cyhalofop-butilo, clomazone, fenoxaprop-*p*-etilo, molinato, oxadiazon, pendimetalina, quinclorac, y tiobencarbo. La mayoría de ellos continúan siendo eficaces para controlar las poblaciones resistentes, pero en general son más

costosos y algunos requieren de una buena preparación del terreno para lograr un control adecuado. Debe también tenerse presente que existe el potencial de que *E. colona* u otras malezas evolucionen resistencia a estos herbicidas. Como se mencionara previamente, *Echinochloa* spp. ha evolucionado resistencia a propanil, fenoxaprop etilo, butaclor y tiobencarbo. En nuestros experimentos de invernadero y de campo, se ha comprobado que los herbicidas bispiribac sodio, clomazone, cyhalofop, fenoxaprop, pendimetalina, piribenzoxim y quinclorac (Caseley *et al.*, 1997 y Valverde *et al.*, datos no publicados) controlan a *E. colona* resistente a propanil. El uso de pendimetalina, en particular, ha sido un factor importante en el retardo de la evolución de resistencia a propanil y como herbicida alternativo en su manejo (Riches *et al.*, 1997; Valverde *et al.*, 1998).

El uso de mezclas de herbicidas es importante como un método de prevenir la evolución de resistencia. El propanil en mezcla con anilofos, tiobencarbo, butaclor, o preticlaclor controlaron *E. colona* resistente al propanil en condiciones de campo sin efectos adversos sobre el cultivo (Valverde, datos no publicados).

El empleo de sinergistas del propanil ha probado ser una forma efectiva de controlar *E. colona* resistente a propanil en Costa Rica. Dos herbicidas organofosforados, piperofos y anilofos, se han empleado exitosamente en mezcla con propanil como sinergistas para el manejo de poblaciones resistentes sin aumentar sustancialmente la fitotoxicidad al arroz. (Valverde, 1996). El piperofos es un herbicida selectivo para gramíneas anuales y ciperáceas dado a conocer en 1972 (Green and Ebner, 1972), el cual a dosis subletales sinergiza al propanil (Valverde, 1996). El mecanismo por el cual el piperofos sinergiza al propanil no se conoce en detalle, pero se relaciona con su efecto inhibitorio de la aril-acilamidasa. La razón por la cual no se pierde la selectividad al arroz no está dilucidada. Una mezcla formulada de propanil más piperofos como sinergista se emplea desde hace varios años comercialmente en Costa Rica (Valverde *et al.*, 1997). En 1996 se introdujo en Colombia, el anilofos como sinergista del propanil. El tridiphane también actúa como sinergista del propanil y mejora aún más la eficacia de las mezclas de propanil con piperofos (Caseley *et al.*, 1996).

**Otras opciones.** Se realizan esfuerzos por desarrollar variedades de arroz mejoradas o transgénicas resistentes a herbicidas como el glufosinato de amonio (Linscombe *et al.*, 1996; Oard *et al.*, 1996) y al glifosato (Dilday *et al.*, 1995). Estas variedades permitirían el uso de herbicidas de amplio espectro y modos de acción diferentes a los utilizados hasta ahora en el manejo de malezas en arroz. Sin embargo, debe enfatizarse que el uso de herbicidas en forma unilateral ejerce una alta presión sobre las malezas, las que tarde o temprano responderán evolucionando resistencia.

**LITERATURA CITADA**

Calha I M, Machado C, Rocha F. 1997. Resistance of *Alisma plantago-aquatica* (waterplantain) to bensulfuron-methyl. Programme and Abstracts Resistance 97. Herts, UK, poster 46.

Carey V F, Duke S O, Hoagland R E, Talbert R E. 1995a. Resistance mechanism of propanil-resistant barnyardgrass. I. Absorption, translocation and site of action studies. Pesticide Biochemistry and Physiology 52:182-189.

Carey V F, Hoagland R E, Talbert R E. 1995b. Verification and distribution of propanil-resistant barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) in Arkansas. Weed Technology 9:366-372.

Carey V F, Hoagland R E, Talbert R E. 1997. Resistance mechanism of propanil-resistant barnyardgrass: II. In-vivo metabolism of the propanil molecule. Pesticide Science 49:333-338.

Caseley, J C, Leah J M, Riches C R, Valverde B E. 1996. Combating propanil resistance in *Echinochloa colona* with synergists that inhibit acylamidase and oxygenases. Proceedings Second International Weed Control Congress, Copenhagen, p. 455-460.

Caseley J C, Palgrave C, Haas E, Riches C R, Valverde B E. 1997. Herbicides with alternative modes of action for the control of propanil- and fenoxaprop-resistant *Echinochloa colona*. Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds, Brighton, UK, pp 215-220.

Caseley J C, Riches C R, Valverde B E, Down V M. 1995. Resistance of *Echinochloa colona* (L.) Link to ACCase inhibiting herbicides. Proceedings International Symposium on Weed and Crop Resistance to Herbicides, Cordoba, Spain, p. 14-16.

Chaves, L. 1996. *Echinochloa colona* (L.) Link en arroz de secano: Longevidad de la semilla en el suelo e integración de tácticas para su combate. M.S. Thesis. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE), Turrialba, Costa Rica.

Christoffoleti P J, Ponchio J A R, Berg C V D, Victoria-Filho R. 1996. Imidazolinone resistant *Bidens pilosa* biotypes in the Brazilian soybean areas. WSSA Abstracts 36:30.

Dilday R H, Jalaluddin M, Price M. 1995. Tolerance in rice to glyphosate and sulfosate. Proceedings International Symposium on Weed and Crop Resistance to Herbicides, Cordoba, Spain, p. 192-193.

Fischer, A J, Chavez A L, Varela D N, Ramirez H V. 1996. Detection of resistance to propanil in *Echinochloa colona* populations. Seizieme conference du COLUMA. Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes, Reims, France, 6-8 decembre 1995. Tome 1., p 253-259.

Fischer, A J, Granados E, Trujillo D. 1993. Propanil resistance in populations of junglerice (*Echinochloa colona*) in Colombia rice fields. *Weed Science*, USA, 41:201-206.

Fischer A J, Ramírez A. 1993. Mixed-weed infestations: Prediction of crop losses for economic weed management in rice. *International Journal of Pest Management* 39:354-357.

Fischer A J, Ramírez H V, Lozano J. 1997. Suppression of junglerice [*Echinochloa colona* (L.) Link] by irrigated rice cultivars in Latin America. *Agronomy Journal* 89:516-521.

Frear D S, Still G G. 1968. The metabolism of 3,4-dichloropropionanilide in plants. Partial purification and properties of an aryl acylamidase from rice. *Phytochemistry* 7:913-920.

Garita I, Valverde B E, Vargas E, Chacón L A, de la Cruz R, Riches C R, Caseley J C. 1995. Occurrence of propanil resistance in *Echinochloa colona* in Central America. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds*, Brighton, UK, pp 193-196.

Garro J E, de la Cruz R, Shannon P. 1991. Propanil resistance in *Echinochloa colona* populations with different herbicide use histories. *Proceedings Brighton Crop Protection Conference-Weeds*, Brighton, UK, pp 1079-1083.

Giannopolitis C N, Vassiliou G. 1989. Propanil tolerance in *Echinochloa crus-galli* (L.) Beauv. *Tropical Pest Management* 35, 6-7.

González J, García E, Perdomo M. 1983. Important rice weeds in Latin America. *Proceedings Conference Weed Control in Rice*, Philippines: IRRI, pp 119-132.

Graham R J, Pratley J E, Slater P D, Baines P R.. 1996. Herbicide resistant aquatic weeds, a problem in New South Wales rice crops. *Proc. 11<sup>th</sup> Australian Weeds Conference. In Press.*

Green D H, Ebner L. 1972. A new selective herbicide for rice, S-(2-methyl-1-piperidyl-carbonyl-methyl)-O,O-di-n-propyl dithiophosphate, for use alone or in mixtures. *Proceedings Brighton Weed Control Conference* 11:822-829.

Gressel J, Baltazar A M. 1996. Herbicide resistance in rice: Status, causes and prevention. In *Weed management in rice*, pp. 195-238. Eds B A Auld and K U Kim. *FAO Plant Protection and Production Paper* 139, Rome.

Guevara R, Macaya G, Valverde B E, de la Cruz R. 1994. Estudio enzimático de la resistencia al herbicida propanil en *Oryza sativa* y *Echinochloa colona*. *Resúmenes V Congreso Internacional de Manejo Integrado de Plagas*, San José, Costa Rica. pp 198.

Heap I. 1998. International survey of herbicide resistant weeds. Online. Internet. 04 September 1998. Available [www.weedscience.com](http://www.weedscience.com).

Hoagland R E, Graf G. 1972. Enzymatic hydrolysis of herbicides in plants. *Weed Science* 20:303-305.

Holm L G, Plucknett D L, Pancho J V, Herberger J P. 1977. *The world's worst weeds*. Florida: Krieger Publishing Co., 609 pp.

Huang B-q, Gressel J. 1997. Barnyardgrass (*Echinochloa crus-galli*) resistance to both butachlor and thiobencarb in China. *Resistance Pest Management* 9:1.

Itoh K, Wang G. 1997. An outbreak of sulfonylurea herbicide resistance in Scrophulariaceae paddy weeds in Japan. *Proc. 16<sup>th</sup> APWSS Conference*, pp. 219-221.

Leah J M, Caseley J C, Riches C R, Valverde B E. 1995. Age-related mechanisms of propanil tolerance in jungle-rice, *Echinochloa colona*. *Pesticide Science* 43: 347-354.

Leah J M, Caseley J C, Riches C R, Valverde B E. 1994. Association between elevated activity of Aryl Acylamidase and propanil resistance in jungle-rice, *Echinochloa colona*. *Pesticide Science* 42:281-289.

Linscombe S D, Jodari F, Christou P, Braverman M P, Oard J H, Sanders D E. 1996. Potential for the use of transgenic rice for the control of *Oryza sativa* and other rice weeds. *Proceedings Second International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, 2: 435-439*.

Marambe B, Amerashinghe L A, Senaratne G R P B. 1997. Propanil-resistant barnyardgrass (*E. crus-galli*) in Sri Lanka. *Proc. 16<sup>th</sup> APWSS Conference*, pp.222-224.

Matsunaka S. 1968. Propanil hydrolysis: Inhibition in rice plants by insecticides. *Science* 160:1360-1361.

Michael P W. 1983. Taxonomy and distribution of *Echinochloa* species with special reference to their occurrence as weeds of rice. *Proceedings Conference Weed Control in Rice, Philippines: IRRI*, pp 291-306.

Oard J H, Linscombe S D, Braverman M P, Jodari F, Blouin D C, Leech M, Kohli A, Vain P, Cooley J C, Christou P. 1996. Development, field evaluation, and agronomic performance of transgenic herbicide resistant rice. *Molecular Breeding* 2:359-368.

Octavo J. 1996. Determinación y manejo de la resistencia de la liendre puerco, *E. colonum* (L), al propanil. *Fedearroz*, p. 62-66.

Olofsdotter M, Navarez D. 1996. Allelopathic rice for *Echinochloa crus-galli* control. *Proceedings Second International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark, 4: 1175-1181*.

Powles, S B, Holtum J A M. 1994. *Herbicide resistance in plants: Biology and biochemistry*. Lewis Publishers, Boca Raton, 353 p.

Powles, S B, Preston C, Bryan I B, Jutsum A R. 1997. Herbicide resistance: Impact and management. *Advances in Agronomy* 58:57-93.

Riches C R, Knights J S, Chaves L, Caseley J C, Valverde B E. 1997. The role of pendimethalin in the integrated management of propanil-resistant *Echinochloa colona* in Central America. *Pestic. Sci.* 51:341-346.

Rubin B. 1991. Herbicide resistance in weeds and crops, progress and prospects. In *Herbicide Resistance in Weeds and Crops*, pp 387-414. Eds J C Caseley, G W Cussans and R K Atkin. Oxford: Butterworth-Heinemann Ltd.

Ryan G F. 1970. Resistance of common groundsel to simazine and atrazine. *Weed Science* 18:614-616.

Sanderman H, Schmitt R, Eckley H, Bauknecht T. 1991. Plant biochemistry of xenobiotics: Isolation and properties of soybean O- and N-glucosyl and O- and N-malonyltransferases for chlorinated phenols and anilines. *Archives of Biochemistry and Biophysics* 287:341-350.

Sarkar P A, Moody K. 1983. Effects of stand establishment techniques on weed population in rice. *Proceedings Conference Weed Control in Rice, Philippines: IRRI*, pp 57-71.

Schmidt B, Thiede B, Rivero C. 1994. Metabolism of the pesticide metabolites 4-nitrophenol and 3,4-dichloroaniline in carrot (*Daucus carota*) cell suspension cultures. *Pesticide Science* 40:231-238.

Smith R J, Talbert R E, Baltazar A M. 1992. Control, biology and ecology of propanil-tolerant barnyardgrass. *Arkansas Rice Research Studies. University of Arkansas*, pp 46-50.

Still C C, Kuzirian O. 1967. Enzyme detoxication of 3',4'-dichloropropionanilide in rice and barnyard grass, a factor in herbicide selectivity. *Nature* 216:799-800.

Valverde, B E. 1996. Management of herbicide resistant weeds in Latin America: The case of propanil-resistant *Echinochloa colona* in rice. *Proceedings Second International Weed Control Congress, Copenhagen, Denmark*, 3:415-420.

Valverde, B E, Chaves L, Garita I, Ramirez F, Carmiol J, Riches C R, Caseley J C. 1998. Management Tactics to Control Propanil-Resistant Junglerice, *Echinochloa colona* in Upland Rice in Costa Rica. *WSSA Abstracts* 38: 12.

Valverde B E, Chaves L, González J, Garita I. 1993. Field-evolved imazapyr resistance in *Ixophorus unisetus* and *Eleusine indica* in Costa Rica. *Proc. Brighton Crop Protection Conference - Weeds, Brighton, U.K.*, p. 1189-1194.

Valverde, B E, Chaves P, Garita I, Vargas E, Riches C R, Caseley J C. 1997. From theory to practice: Development of piperophos as a synergist to propanil to combat herbicide propanil resistance in Junglerice, *Echinochloa colona*. *WSSA Abstracts* 37:33.

Valverde B E, Garita I, Riches C R, Caseley J C, Chacón A. 1995. Integrated management of propanil-resistant *Echinochloa colona* in dryland rice in Costa Rica. Proceedings International Symposium on Weed and Crop Resistance to Herbicides, Cordoba, Spain, p. 264-265.

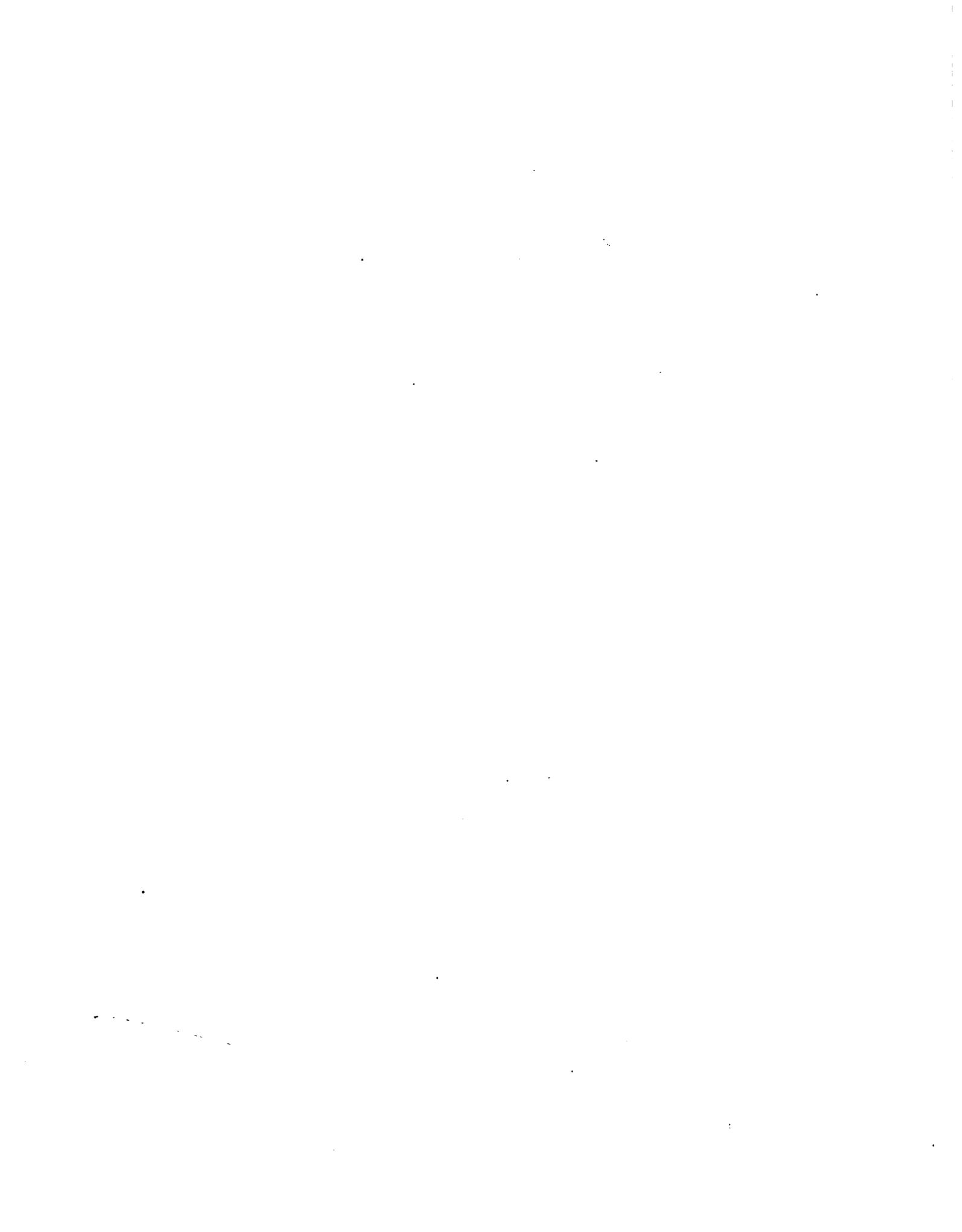
Vidal R A, Fleck N G. 1997. Three weed species with confirmed resistance to herbicides in Brazil. WSSA Abstracts 37:251.

Villa-Casarez J T, Bolaños-Espinoza A, Valverde B E. 1997. Avances de investigación sobre la respuesta de *Echinochloa colona* a propanil en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en México. Memoria XVIII Congreso nacional de la Ciencia de la Maleza, Morelos, p.25.

Wang G X, Kohara H, Itoh K. 1997. Sulfonylurea resistance in a biotype of *Monochoria korsakowii*, an annual paddy weed in Japan. Proceedings Brighton Crop Protection Conference - Weeds, Brighton, UK, pp 311-318.

Winkler R, Sanderman H. 1989. Plant metabolism of chlorinated anilines: Isolation and identification of N-glucosyl and N-malonyl conjugates. Pesticide Biochemistry and Physiology 33:239-248.

Yih R Y, McRae D H, Wilson H F. 1968. Mechanism of selective action of 3',4'-dichloropropionanilide. Plant Physiology 43:1291-1296.



# **RECURSOS Y ALTERNATIVAS TECNOLOGICAS PARA MEJORAR LA INDUSTRIALIZACION DEL ARROZ**

**Martín M. Trejo Burgueño.**

**Unidad de Tecnología Postcosecha de Cereales  
y Fermentaciones. Facultad de Ciencias Químico Biológicas. UAS.  
Proyectos Económicos y Estratégicos de Sinaloa, S.C.**

## **1.- ANTECEDENTES.**

**La presente comunicación intenta ser una visión apoyada en la opinión de numerosos colegas y amigos y en la experiencia del autor, de algunos aspectos técnicos de la tecnología postcosecha del arroz que pueden ser de interés ahora y en el futuro para el sector arrocero Iberoamericano. En tal sentido no es el documento que describe, con suficiencia, el estado actual de la tecnología postcosecha del arroz en el mundo o en el continente, tampoco es el ensayo cargado de datos e información.**

La extensión siempre limitada de la comunicación escrita o de la presentación verbal no es suficiente para el análisis de detalle que requieren problemas puntuales que deben tomar en consideración variables económico-financieras, administrativas y de política sectorial. A lo largo de esta presentación seguramente no he de resolver problemas particulares puesto que ello debe considerar múltiples factores, también particulares. Entre los conocimientos y tecnologías disponibles y las que se practican en la empresa arrocera siempre hay un margen a la espera de ser aprovechados. Se han citado diversos factores que inhiben o promueven la adopción de tecnología mejorada, entre los cuales se tiene: a) insuficiente reconocimiento de la calidad y/o de la calidad/precio en el mercado, b) relación costo/beneficio no atractiva, c) insuficiente información sobre las bondades prácticas y económicas de la mejora técnica, y d) Falta de políticas de financiamiento para la mejora tecnológica. No obstante, habremos aprovechado esta hora de trabajo, si algunas alternativas de las que señalan son del interés de ustedes y les mueven a la consideración de algunos aspectos de vuestro trabajo diario.

La presentación pues, en este enfoque, se divide en los siguientes apartados:

- A) La cosecha y la de industrialización del arroz.**
- B) Almacenamiento presecado.**
- C) Secado.**
- D) Almacenamiento. Aereación.**
- E) Molinería**
- F) Subproductos. Granillo Cascarilla. Salvado.**

- G) Arroces Modificados y Productos de Arroz.
- H) Arroz Sancochado. Arroz Integral. Platillos Precocinados.

## **2.- LA COSECHA Y LA INDUSTRIALIZACION DEL ARROZ.**

El tiempo o índice de cosecha es un tema sobre el cual hay una buena cantidad de trabajo y de comunicaciones técnicas. El concepto de la humedad óptima de cosecha es bien conocido pero no lo es tanto la información de la humedad a que han de cosecharse las diferentes variedades. Esto es importante puesto que se han reportado valores óptimos de humedad de cosecha entre extremos de amplio rango, de 16 a 28% (Fig. 1). Ello es hoy del mayor interés práctico y económico por el creciente impacto del costo de los energéticos para el secado.

Esta información es prácticamente la interfase entre agricultura y agroindustria, sectores que en los nuevos escenarios productivos se ven en la necesidad de identificar, diseñar y ejecutar acciones de colaboración más estrechas y de mutuo beneficio. En el caso particular de México es mínimo el trabajo experimental que se ha realizado en la materia, debido a que por décadas el comercio del arroz palay ha obedecido a una limitada valoración de la calidad, donde no se considera la calidad molinera toda vez que el palay se comercializa aún como grano húmedo. Prestaría un gran servicio al sector – agricultor, industrial y consumidor- que se dedicara atención a la generación experimental de información particular para las actuales y próximas variedades mexicanas.

Un ejemplo ilustraría, la necesidad de información de base para variedades propias. Este es el caso de la variedad Sinaloa A68 que ofreciendo un excelente rendimiento en campo no pudo aceptarse como una variedad de cultivo generalizado debido a la pobre calidad molinera. No obstante, lo que sucedía en ese tiempo es que el sector arrocero estaba acostumbrado a trabajar con variedades que, cosechadas significativamente por debajo de 20% de humedad aún conservaban una aceptable calidad molinera. Como lo ilustra la Figura 2, por arriba del 20 a 22%, la variedad Sinaloa 68 exhibe aceptable calidad molinera. El sostenimiento de paradigmas en la actividades productivas puede ser el mas grande obstáculo para el progreso técnico.

## **3.- ALMACENAMIENTO PRESECADO.**

En la mayoría de las regiones arroceras hay días y semanas pico de cosecha que rebasan con facilidad la capacidad instalada de secado. Generalmente se violentan las condiciones de secado -temperatura-recibiendo y secando mayores volúmenes de palay por día pero reduciendo notablemente su calidad molinera. En casos mas extremos hay reducción de la calidad

sanitaria o deterioro del color del grano (manchado). En esta área el almacenamiento presecado es un recurso técnico aún insuficientemente aprovechado en nuestro medio. Consiste en mantener unos días el arroz palay proveniente de campo o después de uno o dos pasos por secadora sometido a caudales elevados de aire, con el objeto no tanto de secar sino de mantenerlo a una temperatura que no permita que la actividad biológica del propio grano, de mohos y de insectos lo deterioren.

Combinación de caudales de aire de 0.0065 m<sup>3</sup>/s.t, a temperaturas de 29°C y arroz palay de 19% de humedad permiten tiempos de conservación de 10 días sin disminución de la calidad (Fig. 3). Este tiempo, ya de interés práctico, puede incrementarse sustancialmente, a semanas, mediante la utilización de equipo de aereación refrigerada. Como se ilustra en la Figura 4, cereales de alto contenido de humedad pueden conservarse o limitar la actividad biológica de deterioro a temperaturas menores a 20°C.

#### **4.- SECADO.**

El secado comprende el equipo, el procedimiento y las condiciones. Es un área de la tecnología postcosecha donde aun hay márgenes importantes de mejora en la región. En algunas áreas de México se transitó del secado al sol al secado mecánico. Se progresó en equipamiento pero no necesariamente en tecnología. Se dio un paso adelante en el "hardware" pero no se avanzó con la misma velocidad, en el "software". En el anterior subsistema comercial las coordenadas de la rentabilidad del negocio arrocero estaban muy fuertemente fundadas en volumen con poco, muy poco reconocimiento a la calidad. Hoy el esquema ha cambiado, la calidad se reconoce mas y hay mas necesidad e interés en ella y en la mejora técnica conveniente. La competencia ya no solo está al interior del país sino que viene del exterior.

Qué desafíos y oportunidades tiene el sector arrocero de la región en esta fase del sistema postcosecha?. Desde luego la puesta a punto de secado en etapas, la utilización de métodos combinados y las medidas para el ahorro de energía en esta operación.

#### **EL SECADO EN ETAPAS.**

El tema ha sido bien estudiado en muchos países pero muy poco en México. Ofrece como ventajas una mayor conservación de la calidad molinera del arroz y menores consumos de energía. Las inercias para su adopción en forma más

amplia van desde el desconocimiento por insuficiente flujo de información a la industria o una aparente reducción en la capacidad de reciba, entre otras.

El secado en etapas con reposo intermedio, técnicamente fundamentado, es el mejor medio para conservar la calidad molinera (Fig. 5). Se ha construido una relación entre temperatura del palay y el tiempo mínimo necesario de reposo (Fig. 6).

Evaluaciones experimentales a pie de molino, con variedades Morelos A70 y Sinaloa A68, muestran que después de un tiempo de secado la velocidad de la operación disminuye y la calidad molinera se reduce a niveles de interés. Ello puede observarse en la Figuras 7 y 8, durante el secado industrial del arroz Morelos A70, la velocidad de secado se incrementa desde el inicio hasta aproximadamente 1.0 hora de proceso. Alcanzando esta velocidad prosigue un período de velocidad constante que termina a las 3.5 horas. Es a partir de este momento que se inicia un período de velocidad decreciente en el cuál el consumo de energía se utiliza más en calentar el grano que en secarlo. Para el caso, a las 2.5 horas de secado se inicia una reducción significativa de calidad molinera. Similares resultados se han podido evaluar para la variedad Sinaloa A68 (Figs. 9 y 10).

## **SECADO MEDIANTE METODOS COMBINADOS.**

El secado en etapas puede realizarse mediante un mismo tipo de equipo o por combinación de métodos o equipos -secador columnar de movimiento continuo, secado en lecho estático y secado al sol-. La idoneidad económica-financiera del método depende de los volúmenes a manejar por día y temporada, las condiciones ambientales de la región y los recursos de infraestructura disponibles entre otros factores. Un secado lento, como en lecho estático, utilizando temperaturas moderadas en combinación con bajos caudales de aire es conveniente en la última etapa de secado. El secado directo al sol en una primera etapa en forma semimecanizada es también recomendable en una primera etapa.

## **ALTERNATIVAS PARA EL AHORRO DE ENERGIA.**

Se han propuesto y desarrollado diferentes alternativas para el ahorro de energía en el secado. Algunas de ellas son:

- 1) Reducción del caudal de aire en las horas finales de secado en secadores de columna.
- 2) Secar en ciclos cortos —alta temperatura.

- 3) Utilizar períodos de reposo con bases técnicas.
- 4) Reciclar una parte o el total del aire de secado empleado en secadores de lecho estático, durante las últimas horas del secado.
- 5) Terminar el secado en silo estático, utilizando aire ambiental.
- 6) Secado directo al sol.
- 7) Empleo de variedades con humedad óptima de cosecha menor a 20% en combinación con una adecuada climatología de la región.
- 8) Utilización de aire de secado calentado mediante colector solar.
- 9) Uso de cascarilla de arroz como combustible.
- 10) Desarrollo de variedades de alta calidad para el secado – cascarilla delgada, endospermo vítreo, de maduración más uniforme-.

## **5.- ALMACENAMIENTO. AERACION.**

En el almacenamiento del arroz palay hay algunas áreas susceptibles de mejora. Sin duda que también en esta fase de la Tecnología Postcosecha del Arroz se ha tenido un mayor avance en los equipos e instalaciones que en la técnica o el "saber como". Una de las partes de no poca controversia de ese paquete tecnológico que es el almacenamiento, lo es la "aereación". Esta puede considerarse como la aplicación de bajos caudales de aire al arroz palay almacenado a efecto de uniformizar temperaturas de la masa de grano, reducir temperaturas que se hayan incrementado por efecto de actividad microbiana o de insectos. Habida cuenta de que hay un aire ambiental de determinada temperatura y humedad relativa que será pasado a través del grano y que hay una relación entre la humedad y temperatura del grano y aire, la denominada humedad de equilibrio (Tabla 1). Esta es la primera información de base que se requiere para tomar la decisión de cómo aerear y en que horas del día y de la noche hacerlo.

**Tabla1.- Humedad de equilibrio del arroz palay a 38°C.**

<b>HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE, %</b>	<b>CONTENIDO DE HUMEDAD DEL GRANO, %</b>
10	4.9
20	7.0
30	8.4
40	9.8
50	11.1
60	12.3
70	13.3
80	14.8
90	19.1

Uno de los detalles de controversia lo es la dirección del caudal de aire, ascendente o descendente. Las bondades de cada una de las opciones indicarían, Cuadros 1 y 2, que en la mayoría de las regiones arroceras de la región, el flujo ascendente es la mejor opción si queremos reducir la temperatura y conservar la humedad del grano almacenado.

**Cuadro 1.- Ventajas y desventajas de la “inyección” del aire (flujo ascendente) durante la aereación.**

**Ventajas**

1. El grano caliente de campo o caliente de secadora que continuamente se alimenta al almacén no cede su calor al grano que ya ha sido enfriado. Ello finalmente exigirá un menor tiempo de operación de los motoventiladores.
2. El grano más frío se tiene en la parte más baja de la masa de grano, donde es más difícil inspeccionar. Con ello, si en las capas más altas del grano tengo temperaturas convenientes de almacenamiento, en las capas inferiores poco accesibles tendré el grano en condiciones más benignas de temperatura.
3. El enfriamiento del grano es más rápido con el consecuente ahorro energético y menores costos de mantenimiento electromecánico.
4. En ambientes húmedos el calor del motoventilador puede reducir un poco la humedad relativa del aire, reduciendo los riesgos de humidificación.

## **Desventajas**

- 1. Posibilidades de condensación en la medida de poco espacio entre superficie del granel y el techo. Se reduce en grandes espacios y utilización de extractores.**
- 2. Si el ventilador se encuentra instalado cerca de una sección de limpia o de áreas con polvo, los ductos pueden obstruirse.**
- 3. A menos que se disponga de válvulas, la aereación no puede iniciarse hasta que el ducto esté cubierto.**
- 4. Requieren protección de acceso de agua de lluvia.**

## **Cuadro 2.- ventajas y desventajas de la "extracción" del aire (flujo descendente) durante la aereación.**

### **Ventajas**

- 1. No hay riesgo de condensación sobre la estructura.**
- 2. Cualquier incremento de humedad se distribuye sobre una superficie amplia.**
- 3. El climas soleados (cálidos) puede haber un importante efecto de secado, lo cual conviene en el caso particular de querer reducir el contenido de humedad.**
- 4. Hay pocos riesgos de obstrucción de las perforaciones de los ductos.**
- 5. La aereación puede iniciarse antes de que los ductos estén totalmente cubiertos con grano, pues las áreas no cubiertas pueden taparse fácilmente.**
- 6. Puede obligarse a pasar el aire más rápidamente a través de áreas calientes críticas, cubriendo las partes de la superficie con tela de plástico.**

## **Desventajas**

- 1. En graneles húmedos las áreas más húmedas son las más inaccesibles.**
- 2. En graneles calientes las áreas más calientes son las más inaccesibles. Cuando se alimenta al almacén grano caliente sobre grano frío éste se recalienta.**
- 3. En regiones tropicales, sobre todo de clima tropical semihúmedo, puede haber un notable efecto de secado no deseable.**
- 4. Cuando hay grano caliente en los estratos superiores puede haber condensación en el grano frío alrededor de los ductos, germinando y obstruyendo el flujo.**

El manejo de la aereación, tanto en el diseño como en la operación, sobre bases técnicas pueden significar importantes ahorros energéticos y mayor conservación de la calidad. Un manejo inadecuado del aire puede significar absorción o pérdidas inconvenientes de humedad y/o calentamiento del grano.

## **6.- MOLINERÍA.**

La elaboración industrial ideal del arroz –separación de cascarilla y salvado- es aquella donde la calidad del lote, el tipo y secuencia de maquinaria y los ajustes de la misma son controlados a efecto de optimizar capacidad y rendimiento de enteros para un grado de elaboración especificado.

Durante la elaboración hay una determinada producción de granos partidos que son el resultado del manejo previo que se ha hecho del grano y que en el descascarillado, el blanqueo o pulido simplemente se han hecho evidentes. No obstante, las operaciones y condiciones propias de la elaboración son fuente también de reducción del rendimiento de granos enteros. Se han citado numerosos factores de efecto variable en la bondad de la elaboración (Cuadro 3). En el proceso lo que se busca son reducciones en el consumo de energía y en el tiempo de elaboración e incrementos en el rendimiento total y de enteros.

37

**Cuadro 3.- Factores que afectan la calidad molinera  
durante la elaboración del arroz.**

---

**Granos Defectuosos  
Espesor del Grano  
Contenido de Humedad del Grano  
Temperatura  
Humedad Relativa  
Aereación Durante la Separación de Salvado  
Tiempo de Elaboración  
Aditivos  
Ajuste de la Maquinaria  
Grado de Elaboración  
Tipo de Maquinaria.**

---

**Los granos delgados pueden significar del 2 al 5% del arroz que arriba al molino y pueden separarse antes del secado. Ello incrementa la capacidad de secado, pues la humedad media disminuye. Por otra parte, se ha encontrado que estos granos delgados, que suelen ser granos quebrados, tienen un contenido de proteína superior al grano de espesor típico de la variedad, su separación previa y aprovechamiento como harina puede representar una alternativa de mejor utilidad.**

**En el uso de aditivos durante la elaboración, el que mejores resultados ha rendido es el carbonato de calcio, particularmente en lotes de arroz que no han sido convenientemente secados.**

**La calibración de la maquinaria persigue también minimizar roturas y maximizar capacidad de elaboración. Los ajustes dependen del tipo de maquinaria. En blanqueadoras de elaboración mediante fricción el caudal de alimentación, la velocidad del rotor, la presión a la salida y el número de pasos son los factores mas importantes. Se ha encontrado que a mayor caudal de alimentación y de presión a la salida mayor proporción de granos quebrados. Por otra parte, a mayor velocidad y más pasos de elaboración menor rendimiento que granos partidos. En este sentido se ha recomendado la combinación de un mínimo de dos pasos de elaboración, con el primero basado en separación del salvado mediante abrasión y el segundo mediante fricción.**

## **7.- SUBPRODUCTOS.**

### **7.1. GRANILLO .**

El granillo es un subproducto de importante producción, y de no fácil comercialización pues en la región su consumo esta muy centrado en cervecería y muy pequeñas cantidades en harinas. Como materia prima fuente de almidón y proteína ha de competir en precio y funcionalidad de esos componentes con otras sémolas de cereales, como maíz, trigo y sorgo. Esta materia prima tiene amplias posibilidades técnicas de aprovechamiento (Cuadro 4). Sin embargo, los productos a obtener suelen salirse de lo que es el ámbito de la empresa arrocera básica. En México ésta aún no ha incursionado con suficiencia en lo que pueden denominarse "productos de arroz de segunda generación", resultado de una estrategia de integración hacia adelante. Un mejoramiento de su calidad y precio mejorarían su consumo.

**Cuadro 4.- Algunas alternativas de aprovechamiento del granillo de arroz.**

---

Harinas  
Harinas gelatinizadas aromatizadas  
Almidón  
Harina Nixtamalizada. Tortilla  
Adjunto cervecero  
Alcohol  
Sake  
Panificación y galletería  
Botanas extruidas o fritas  
Pastas y tallarines  
Hojuelas  
Leche  
Atoles  
Pudines  
Maltosa, glucosa, fructosa.

---

### **7.2 CASCARILLA**

La cascarilla tiene más de doscientas alternativas técnicas de aprovechamiento, basadas en sus características (Cuadros 5 y 6 y Tabla 2) pero muy pocas de factibilidad económico-comercial generalizadas. A nivel mundial los usos más extendidos son como componente de relleno o dilución en raciones de consumo animal o como combustible, sobre todo en asociación

con la producción de arroz sancochado, o con el secado de arroz palay. El subproducto de una buena combustión de la cascarilla, las cenizas blancas, suelen tener una buena aceptación y buena demanda como agente absorbente.

**En los actuales escenarios de incremento en el precio de los energéticos y de la factible y permitida cogeneración de energía eléctrica, en el marco de la desregulación económica, el aprovechamiento energético de la cascarilla puede convertirse en una opción de aprovechamiento de este producto. Las propuestas y desarrollos tecnológicos y de maquinaria para ello son numerosas.**

**Cuadro 5.- Características de la cascarilla.**

---

**Abrasiva  
Bajo valor nutritivo  
Baja densidad a granel  
Alto contenido de ceniza  
Considerable valor energético**

---

**Cuadro 6.- Tipos de utilización de la cascarilla de arroz.**

- 
- |                                |                            |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1.- Abrasivo                   | 13.- Material de relleno   |
| 2.-Absorbente                  | 14.-Manufactura de vidrio  |
| 3.- Aditivo en manufactura     | 15.- Medio hidropónico     |
| 4.-Cama de aves                | 16.- Aislante              |
| 5.- Materiales de construcción | 17.-Material para pesebres |
| 6.-Fuente de carbón            | 18.- Material de empaque   |
| 7.- Soporte                    | 19.- Tableros aglomerados  |
| 8.-Pulpa celulósica            | 20.-Pigmento               |
| 9.-Forraje                     | 21.-Refractarios           |
| 10.- Fertilizante              | 22.-Preparación de jabones |
| 11.-Ayuda filtrante            | 23.-Fuente de sílice       |
| 12.- Combustible               | 24.- Mejorador de suelos.  |
-

Tabla 2.-

Composición química de cascarilla de arroz.

<b>COMPONENTE</b>	<b>LIMITES, % PESO</b>	<b>PROMEDIO, % PESO</b>
Proteína	1.7-7.26	3.2
Grasa	0.38-2.98	1.0
Fibra cruda	31.71-49.92	41.0
Cenizas	13.16-29.04	17.0
Extracto libre de Nitrógeno	24.7-38.79	27.0
Humedad	2.4-11.35	10.0

### **7.3.- SALVADO**

El salvado de arroz es una fuente interesante de aceite y proteína (Tabla 3). También lo es de germen, de gran valor en alimentación de aves, sobretodo de ponedoras. Hay disponibles muy diversas alternativas para la estabilización de sus componentes grasos a fin de evitar los problemas de deterioro por rancidez que afectan rendimientos y calidad del aceite.

El creciente reconocimiento al consumo de fibra, presente en buena cantidad en el salvado, le extiende posibilidades de aprovechamiento en diversos productos de consumo humano. Mas recientemente se ha comunicado que el salvado además de una buena capacidad laxante posee excelentes propiedades reductoras de colesterol comparables a las de salvado de avena. Esto ha iniciado una vía interesante de consumo de salvado de arroz en la elaboración de pan, cereales desayuno, galletas, botanas extruidas, entre otros. Se considera que el progresivo interés de la población mundial en productos alimenticios de consecuencias benéficas a la salud es punto de partida para una mayor demanda por este producto. Hace muy poco tiempo se ha reportado la producción de fracciones de salvado con altas concentraciones de actividad hipocolesterol.

Reconocer a tiempo este potencial, ubicar los nichos de mercado y tomar las medidas para la producción de salvado de calidad, sobretodo de elevar calidad sanitaria, pueden significar medidas de revalorización del salvado. Aquí se esta en la línea de los productos nutracéticos de elevado potencial comercial.

El arroz es un alimento de no fácil ni rápida preparación, la incorporación de cada vez más mujeres al trabajo fuera de casa y la reducción del tiempo que puede dedicarse a la elaboración de los alimentos da pie a una demanda de alimentos de cocción rápida o de alimentos semiconservados. Hoy existe una oferta de productos deshidratados de cocción rápida o de cocción convencional, pero de precio alto. La elaboración de platillos cocinados manejados a través de la cadena del frío y basados en arroz sancochado pueden significar una oferta de productos de precio mas asequible.

### 9.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

La muy superficial y comprimida consignación de algunos de los conocimientos y recursos tecnológicos disponibles indica que hay márgenes importantes de aptitud tecnológica para ser aprovechados en la industria de la región. Las posibilidades son tan diversas como los propios recursos tecnológicos. Valorar a partir de criterios técnicos, comerciales y económico-financieros la factibilidad de absorción de esos parece más que recomendable en la construcción de una competitividad, no solo frente a productos sucedáneos como maíz o trigo, obligada en una economía de mercado y de libre mercado.

En el mercado de México hay importantes diferencias en precio al público entre el arroz elaborado, harina de maíz nixtamalizada, harina de trigo y pasta de trigo que no favorece el consumo del arroz (Tabla 4). Se hace necesario un proyecto de desarrollo del sistema arrocero que tenga como objetivo mejorar calidad y precio como condición indispensable para incrementar su consumo.

Tabla 3.- Precio de venta al público de productos de cereales.

Producto	\$ / Kilogramo
Harina de Maíz Nixtamalizada	3.80
Harina de Trigo	3.90
Arroz Elaborado	7.06
Pasta de Trigo	9.45
Arroz Sancochado	10.50

**Tabla 3.- Rango usual de variación de la composición química gruesa del salvado de arroz <sup>(a)</sup>.**

<b>Constituyente, % Base seca</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
Proteína	6.7 - 11.5	17.2
Grasa	4.7; 12.8	22.6
Fibra	6.2	14.4;26.9
Ceniza	8.0	17.7;22.2
Extracto libre de Nitrógeno	33.5	53.5

## **8.- ARROCES MODIFICADOS Y PRODUCTOS DE ARROZ**

Los arroces modificados y productos de arroz son un sector de la oferta alimentaria donde el sector arrocero hasta muy recientemente se inicia en la región. En ésta área productos como el arroz sancochado, el arroz moreno, platillos semicocinados, bebidas y botanas pueden significar alternativas adicionales de consumo del arroz.

El arroz sancochado se ha producido desde hace varios años en México. No obstante ha faltado información suficiente al consumidor y estrategias para su posicionamiento. Se dispone en el inventario mundial de tecnologías de sancochado de una notable variedad de capacidades y alternativas. A la fecha y en los próximos años las bondades del arroz sancochado como las nutricionales y de grano cocido pueden ser base para su promoción. Mucha atención debe tenerse en el precio, que hoy ha sido elevado, y en la calidad organoléptica que puede mejorarse.

El arroz moreno se ha comercializado ocasionalmente en México. Sin embargo, se ha descuidado su calidad de conservación y no se ha atendido con suficiencia la información de sus bondades alimenticias y sus exigencias culinarias. A partir de los cambios que a nivel mundial se dan en los patrones de consumo alimentario y de un consumidor más informado e interesado en alimentos más completos puede esperarse o desarrollarse un consumo mayor de este tipo de arroz.



# INIFAP, Campo Experimental Zacatepec Cocoyoc, Morelos, México



Gobierno del  
Estado de Morelos

