

ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO DE ARROZ

ASPECTOS DE LA ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO DE ARROZ EN URUGUAY: I. ANÁLISIS DE LA PRODUCTIVIDAD EN LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS

Fernando Pérez de Vida^{1/}

INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizó un análisis de la productividad de arroz en los últimos 15 años, cubriendo el periodo de las zafas agrícolas 1995/96 a 2009/10. El objetivo principal del mismo es contribuir a comprender aspectos de eco-fisiología de la producción de arroz en Uruguay, en particular el efecto de las condiciones climáticas asociadas a diferentes fechas de siembra en la productividad en un entorno de altos rendimientos. Esto permitirá alcanzar una estimación del potencial de producción del ambiente y de las tecnologías en uso en el área comercial. La definición del periodo de análisis esta acorde con el propósito general ya que durante el tiempo mencionado se consolida el uso de cultivares de alto potencial y se mantiene una relativa homogeneidad en el germoplasma. En el recambio varietal, la variedad Bluebelle –buque insignia de la producción de arroz moderna en Uruguay-, pierde relevancia cediendo área de siembra principalmente a El Paso 144, INIA Tacuarí y posteriormente a INIA Olimar. La incorporación de tecnologías –incluyendo las variedades de origen local- significó un incremento de 51 % en el rendimiento nacional respecto a los 15 años previos (1980-1994). Los resultados de este análisis permitirán generar nuevas hipótesis de trabajo experimental con aplicación al mejoramiento genético.

RENDIMIENTO NACIONAL EN LOS ÚLTIMOS 15 AÑOS

El rendimiento nacional por ha (Rend ton/ha) presenta una tendencia lineal creciente a lo largo de las 15 zafas

^{1/} Técnico INIA Treinta y Tres

analizadas (Figura 1). El ajuste de una regresión Rendimiento vs. Zafra indica que de modo significativo ($P=0,0027$) se obtuvo una tasa de incremento en la productividad de aprox. $128 \text{ kg. Ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$. La media de rendimiento en el periodo fue de $6,78 \text{ ton/ha}$; obteniéndose al final del periodo los niveles mayores de productividad (entorno a 8 ton/ha , en 3 de los últimos 5 años).

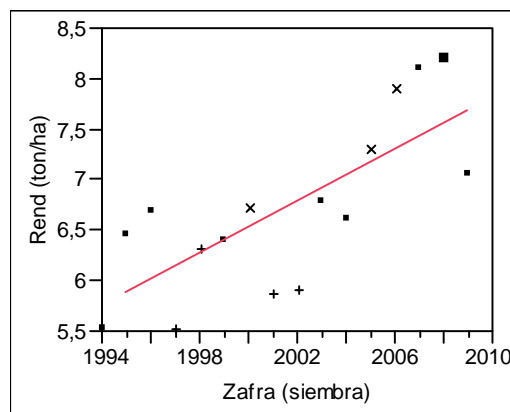


Figura 1. Regresión de rendimientos nacionales y zafas agrícolas 1995/96 a 2009/10.

VARIEDADES SEMBRADAS

El periodo estudiado comprende el comportamiento productivo de tres cultivares que en suma ocupan la mayoría (95,7%) del área de siembra nacional; de ésta, más del 80% (media= $81,9\%$; $b=1,264 \text{ ns}$, $P=0,07$) es realizada con 2 cultivares del subtipo *Indica*, semienanos, de porte de planta erectos, de alto potencial de rendimiento, ciclos intermedio (INIA Olimar) a largo (El Paso 144) y susceptibles a Pyricularia.

El Paso 144, lanzado en 1986 (Chebataroff, 1985), se siembra en el 1% del área de la empresa SAMAN en la zafra 1988/89; 5 años después representa el 50% del área y al comienzo del periodo de este estudio (1995/96) ocupa el 74% del área de dicha

empresa (SAMAN, registros internos). En la totalidad del área nacional este cultivar ha sido el predominante, ocupando un 65,3% en promedio del periodo, con valores extremos de 60% (1998/99) y 74% (2003/04) (DIEA, 2007). El Paso 144 mantiene una tendencia estable de siembra ($b = 0,198$ ns, $P=0,447$) en el periodo comprendido (Figura 2). INIA Olimar, último cultivar lanzado por el Programa de Mejoramiento Genético de INIA, alcanza un promedio de 14,8%. El novel cultivar presenta una tendencia de siembra incremental significativa ($b=2,361^*$, $P=0,0272$) (Figura 3).

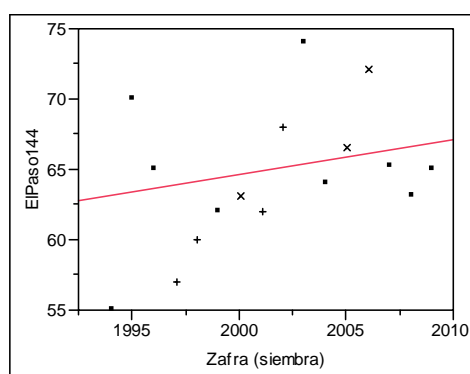


Figura 2. Porcentaje del área de siembra nacional realizada con cv. El Paso 144. $R^2=0,062$ ns Prob > F: 0,3696. El Paso 144 = $-436,095 + 0,2503571 \cdot \text{Zafra (siembra)}$

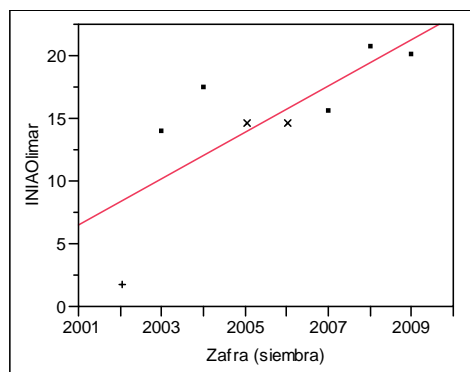


Figura 3. Porcentaje de área de siembra nacional realizada con cv INIA Olimar. $R^2= 0,603^*$ Prob>F: 0,0027. INIA Olimar = $-3690,625 + 1,847619 \cdot \text{Zafra (siembra)}$

Por otra parte, INIA Tacuarí alcanza aproximadamente un tercio del área en las zafras 1996/97 y 1997/98; posteriormente, su utilización decae significativamente ($b=-1,206^*$, $P=0,0485$), con un porcentaje de siembra promedio de 21,5%. INIA Tacuarí

es un cultivar *japónica*-tropical, sustituye estrictamente a Bluebelle en su destino de comercialización ("calidad americana").

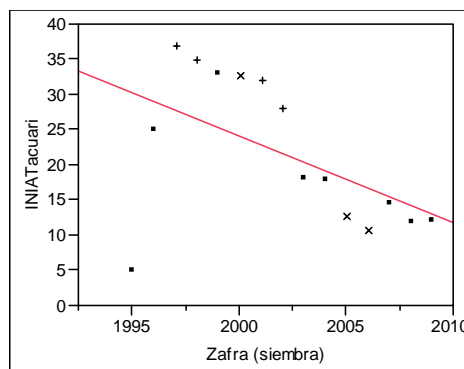


Figura 4. Porcentaje de área de siembra nacional realizada con cv INIA Tacuarí. $R^2=0,272^*$ Prob>F 0,0461. INIA Tacuarí = $2501,24 - 1,2385714 \cdot \text{Zafra (siembra)}$

Los tres cultivares presentan alto potencial de rendimiento. En condiciones experimentales, y en una serie de 19 ensayos en 4 años de alta productividad (2005/06 a 2008/09) y tres sitios (Paso de la Laguna, Treinta y Tres; Cinco Saucos, Tacuarembó; Paso Farías, Artigas), INIA Olimar obtiene un rendimiento promedio de 9786 kg/ha y El Paso 144 de 9348 kg/ha (Pérez de Vida, 2009).

Por otra parte, INIA Tacuarí en 13 ensayos -excluyendo siembras tardías- en Paso de la Laguna (serie 2001/02 a 2008/09), presentó un rendimiento inferior a las variedades mencionadas, obteniendo un promedio de 7247 kg/ha vs. 8007 kg/ha de El Paso 144 y 8489 kg/ha de INIA Olimar. Según el análisis de varianza y separación de medias los tres cultivares difirieron estadísticamente entre ellos ($P=0,05$). La productividad de INIA Tacuarí fue 16,5% superior a Bluebelle (6222 kg/ha), en los mismos ensayos.

En condiciones comerciales, en los últimos 6 años el rendimiento físico de El Paso 144 fue significativamente superior al de los otros dos cultivares (Tabla 1). El rendimiento obtenido fue de 154.7, 148.9 y 147.8 bolsas/ha (ó 7.8, 7.6 y 7.5 ton/ha, medias ponderadas por área) para El Paso 144, INIA Tacuarí e INIA Olimar, respectivamente.

Así mismo, en el promedio de los cultivares, los mayores rendimientos se obtuvieron en

la región Norte del país, siendo estadísticamente diferentes a los obtenidos en la región Este (Tabla 1). La interacción año*región de producción es significativa, siendo la región Centro la más productiva en la zafra 2009/10; por otra parte, la correlación de los rendimientos en la región Este con los rendimientos nacionales es altamente significativa ($r=0.986$, $P=0.0001$, $n=15$).

Tabla 1. Rendimiento físico ⁽¹⁾ (bolsas/ha) en cultivos comerciales en 6 años (2004/05 a 2009/2010). Análisis ponderado por área (has) sembrada por cultivar.

Cultivares		Rendimiento
El Paso 144	A	154,7
INIA Tacuarí	B	148,9
INIA Olimar	B	147,8
Regiones		Rendimiento
Norte	A	154,4
Centro	A B	150,9
Este	B	146,1

(1) rendimiento físico es rendimiento de grano sin considerar ponderación de premios/castigos por calidad molinera (porcentaje de blanco total, de granos enteros, yesados y manchados). Bolsas de arroz son bolsas de 50 kg. (Estimado de la totalidad del área nacional, fuente: empresas arroceras agroindustriales SAMAN, CASARONE, Glencore, Arrozal 33, Coopar SA).

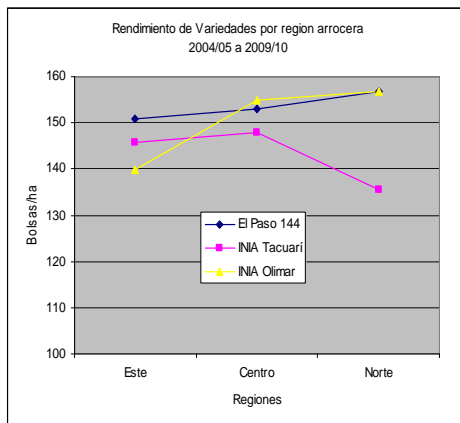


Figura 5. Rendimiento (bolsas/ha) de cultivares en áreas comerciales en las tres regiones principales de cultivo. (Región Este comprende los departamentos de Rocha, Lavalleja, Treinta y Tres, y Cerro Largo; Región Centro comprende los departamentos de Tacuarembó y Rivera; Región Norte comprende los departamentos de Artigas, Salto y Paysandú).

La tendencia en productividad de los cultivares en las diferentes regiones presenta variaciones que son detectadas como significativas en el análisis de varianza

incluyendo al factor cultivar*región (datos no mostrados). Se destaca una mayor productividad de INIA Olimar en la zona norte del país (Figura 5), y la menor adaptación de INIA Tacuarí a la misma. El comportamiento superior de INIA Olimar, en productividad física y calidad molinera (datos no mostrados) explican su incremento en el área de siembra de la región norte a expensas de El Paso 144 (Figura 6).

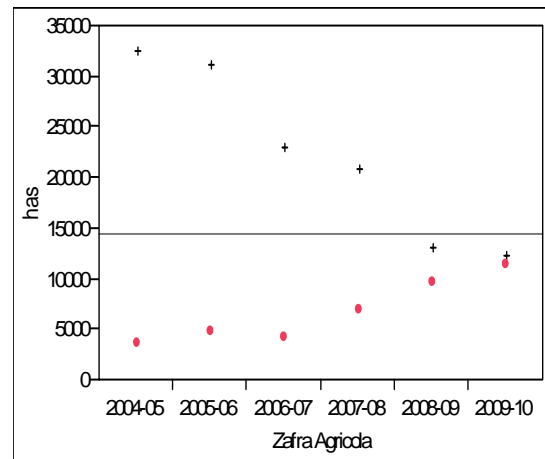


Figura 6. Evolución del área de siembra de INIA Olimar (símbolo=.) y El Paso 144 (símbolo=+) en la región Norte del país.

PRINCIPALES PRACTICAS CULTURALES

La información utilizada en esta sección tiene su origen en registros productivos de la empresa SAMAN. Dicha empresa ha sido a lo largo del periodo estudiado en este trabajo la de mayor área en el país. Su cobertura abarca en promedio un 60% del área nacional. Se asume que el paquete tecnológico promovido por SAMAN y aplicado por los productores vinculados a la empresa, no difiere sustancialmente con lo que realizan productores de otras empresas agro-industriales. Por ende los resultados serían extrapolables a todo el universo de la producción arrocera del país.

Control de malezas: área con herbicidas

El control de malezas es una práctica cultural ampliamente expandida en el cultivo de arroz en Uruguay. El área bajo control químico alcanza una media de 87%, presentando una tendencia creciente hasta

valores próximos al 100% en las últimas zafras (Figura 7). Considerando el perfil de los productores de arroz y su amplia adopción de técnicas culturales, la masiva difusión del uso de herbicidas, podría deberse a la intensificación del uso del suelo y la menor utilización de áreas vírgenes (campo natural) y retornos de largo plazo.

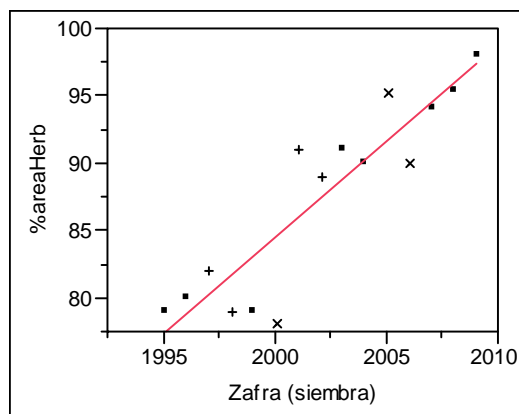


Figura 7. Regresión de % de área con aplicación de herbicidas y zafra agrícolas 1995/96 a 2009/10.

Nutrición del cultivo: área con fertilización

Fertilización Basal

La fertilización basal presenta una casi completa adopción en el área de cultivo (99,2%), presentando una muy escasa variación en el periodo ($b=0,124$, $P=0,233$)(Figura 8).

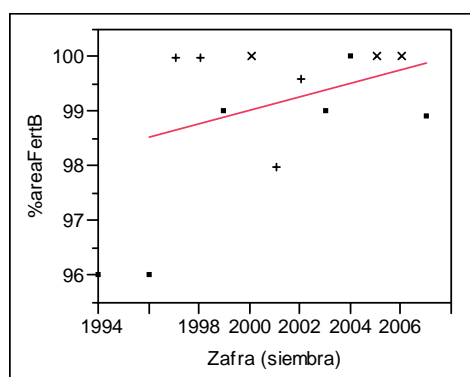


Figura 8. Regresión de % de área con fertilización basal y zafra agrícolas 1995/96 a 2009/10.

Las unidades de nitrógeno aplicadas como fertilización basal, siguen similar tendencia a

% de área mencionado, con escasas variaciones interanuales en el periodo. La media fue de $16,6 \text{ kg N}^{-1} \text{ ha}^{-1}$.(Figura 9).

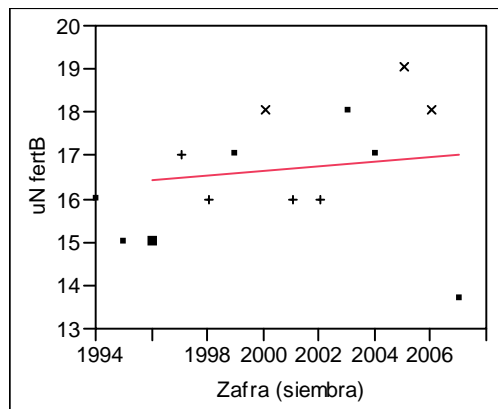


Figura 9. Regresión de unidades de nitrógeno aplicadas en fertilización basal y zafra agrícolas 1995/96 a 2009/10.

La fertilización basal con P_2O_5 presenta una leve tendencia a la baja en su dosis, ($b=-0,554$, $P=0,113$), con un valor medio de $60,6$ unidades de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$.(Figura 10).

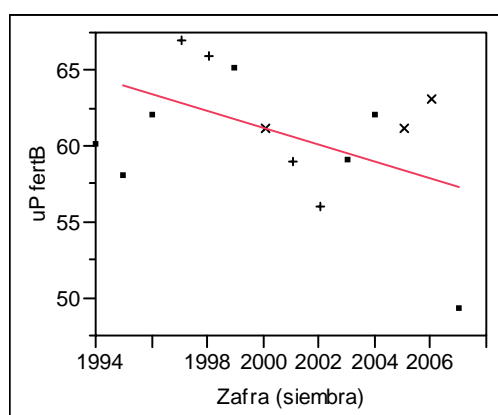


Figura 10. Regresión de unidades de fósforo aplicadas en fertilización basal y zafra agrícolas 1995/96 a 2009/10.

La fertilización con K presenta una adopción con dosis crecientes en el periodo (Figura 11), lo cual indica posiblemente una respuesta a la necesidad de reponer los niveles del nutriente en suelo, producto de la intensificación del cultivo; así como por su efecto sinérgico con niveles medios a altos de aplicación de N y P_2O_5 , con particular impacto en mejorar la tolerancia a enfermedades de tallos.

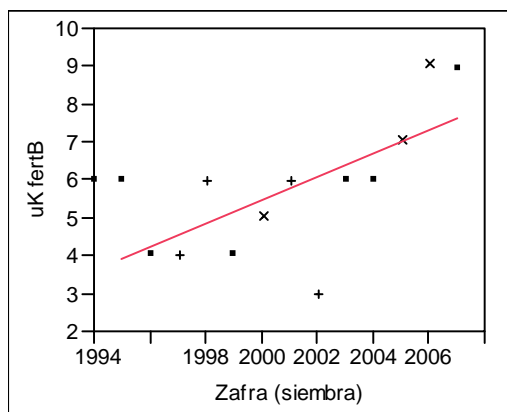


Figura 11. Regresión de unidades de potasio aplicadas en fertilización basal y zafra agrícolas 1995/96 a 2009/10.

Fertilización en Coberturas

La aplicación de fertilizante en cobertura comprende el uso del nitrógeno de forma fraccionada e integra aplicaciones en estadios de macollaje o primordio y su combinación. Su uso esta ampliamente extendido en la producción de arroz del país, y se justifica en una mayor eficiencia de uso del nutriente en la medida que su fraccionamiento permite acompasar las necesidades del cultivo (Deambrosi, Méndez, 2008, Evatt y Hodges, 1975). La tendencia a lo largo del periodo es a un uso creciente, con una media de 90% de adopción (Figura 12).

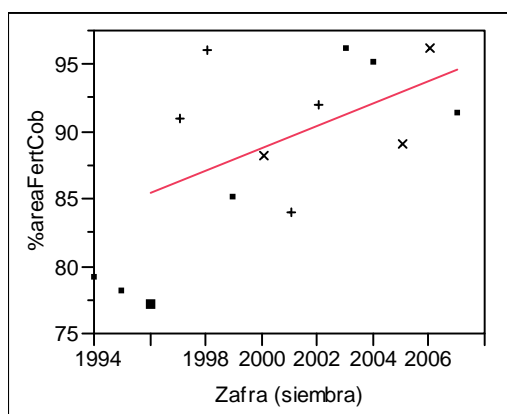


Figura 12. Regresión de % de área con fertilización en cobertura y zafra agrícolas 1995/96 a 2009/10.

La cantidad de N aplicado como cobertura también presenta una moderada tendencia creciente de menos de 1 kg ha⁻¹.año⁻¹

($b=0,705$; $P=0,0579$), con una media de 35,5 kg ha⁻¹.(Figura 13)

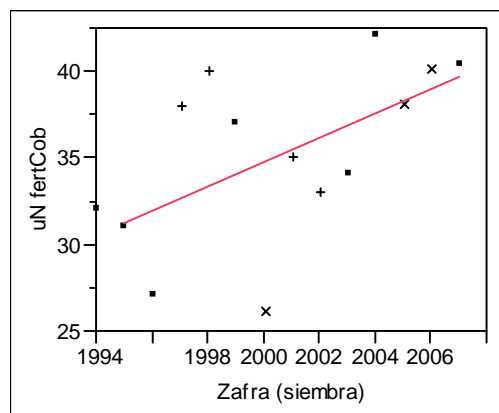


Figura 13. Regresión de unidades de nitrógeno aplicadas en cobertura (macollaje + primordio) y zafra agrícolas 1995/96 a 2009/10.

El total de N aplicado al cultivo, por ende, presenta una evolución significativa en el periodo($b=0,805$; $P=0,0385$); con un valor medio de 52 kg ha⁻¹.(Figura 14)

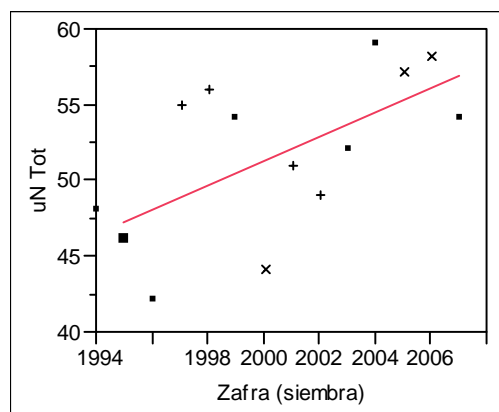


Figura 14. Regresión de unidades de nitrógeno total aplicadas y zafra agrícolas 1995/96 a 2009/10.

Control de enfermedades a hongos: área con fungicidas

El % de área con aplicación de fungicidas ha sido una de las prácticas con mayores cambios en el periodo 1995-2010. Su adopción presenta una alta tasa (más de 4% de incremento anual), lo cual sería indicativo de un incremento en la presión de enfermedades a hongos (Figura 15).

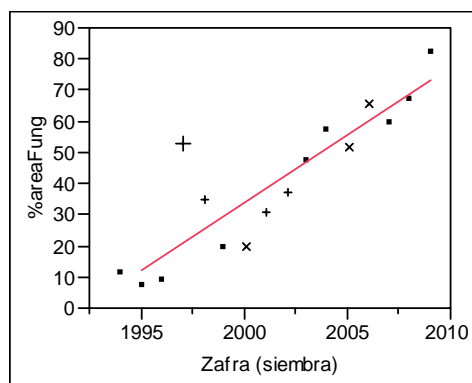


Figura 15. Regresión de % de área con aplicación de fungicidas y zafra agrícolas 1995/96 a 2009/10.

Rendimiento y prácticas de manejo

En este periodo de 15 años, la alta adopción de técnicas y tecnologías en el cultivo de arroz ha permitido obtener un rendimiento promedio de $6,78 \text{ ton ha}^{-1}$ así como alcanzar productividades en el entorno a 8 ton. ha^{-1} en algunos años de la serie. Sin embargo, la variación de los rendimientos nacionales – aunque crecientes- no reflejó estrictamente las variaciones en los niveles de adopción de las mismas. En este sentido, el análisis de correlación de % de área bajo uso con agroquímicos (herbicidas, fertilizantes y fungicidas), y dosis de nutrientes vs. rendimiento, distingue como significativa su asociación con % de área con Herbicidas ($r=0,534$, $P=0,0406$), fungicidas ($r=0,499$, $P=0,0578$) y unidades de K a la siembra ($r=0,823$, $P=0,005$).

Tabla 1 Coeficientes de correlación de rendimiento y parámetros de practicas culturales

Coef. de Correlación (r): Rend (ton/ha) Vs			
Variable	r	n	Prob
%areaHerb	0,5335	15	0,0406
%areaFung	0,4998	15	0,0578
%areaFertB	0,0961	13	0,7547
uN fertB	0,0096	13	0,9752
uP fertB	-0,4406	13	0,1318
uK fertB	0,8239	13	0,0005
%areaFertCob	0,2156	13	0,4793
uN fertCob	0,2497	13	0,4106
uN Tot	0,2377	13	0,4343

Sin embargo, y más allá de la simple asociación de variables, mediante un análisis de regresión múltiple incorporando las variables mencionadas, el método

stepwise identifica a unidades de K a la siembra como la única variable asociada causalmente a la variación en rendimiento.

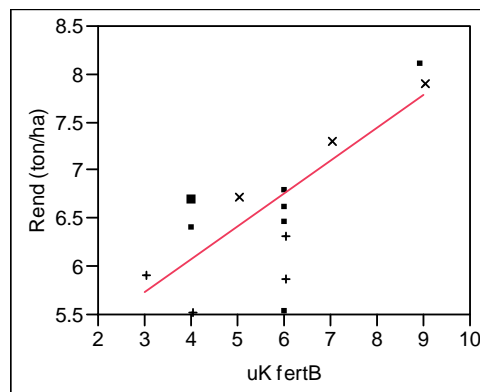


Figura 16. Regresión de unidades de potasio aplicadas en fertilización basal y rendimiento nacional en zafra agrícolas 1995/96 a 2009/10.

De acuerdo a este análisis ni el control de malezas o enfermedades ni la fertilización nitrogenada han tenido impacto en las variaciones en el rendimiento. La masividad de su uso en el sector arrocero ha establecido el alto nivel general de rendimientos ($6,78 \text{ ton/ha}$). Alguna de las posibles causas podrían ser que su empleo creciente (por ej: fungicidas) este asociado a problemas crecientes (incidencia de hongos) y no en una utilización preventiva que permita la sinergia con otras practicas (aumento de la fertilización N). El mayor uso del recurso nitrógeno proveniente de fertilizantes no ha tenido una respuesta significativa en la variación de los rendimientos. De modo hipotético se podrían asumir varias razones para esta falta de respuesta en producción: la tasa de incremento anual es baja (menos de 1 kg ha^{-1}); el fertilizante agregado suple el aporte que de forma natural hacia el suelo en condiciones de menor intensidad de uso; otros nutrientes estarían limitando la respuesta; la mayor disponibilidad de N aumenta la incidencia de enfermedades a hongos y reduce la tolerancia a bajas temperaturas de los cultivos.

En tanto, el incremento en % de área con uso de herbicidas podría relacionarse a la utilización creciente de áreas de campo con problemas recurrentes de malezas, probablemente asociados a una mayor intensidad de uso o áreas con topografías marginales. En ese escenario, otros recursos (fertilidad, deficiencias

nutricionales, topografía) actuarían como limitantes del rendimiento, aun bajo un buen control de malezas. Es de considerar, -aun que no cuantificado en este análisis-, que se acepta en general que los principios activos utilizados permiten muy buenos niveles de control. Tampoco se reportan problemas de resistencia en las poblaciones de malezas (N.Saldain, com pers 2010), con la única excepción –aun minoritaria en área- de arroz rojo en campos bajo tecnología Clearfield® (Pérez de Vida, 2009).

CONCLUSIONES

En el período de 1995/96 a 2009/10, la productividad promedio nacional de arroz ha presentado una media de 6.78 ton/ha. Mediante regresión simple se estima un crecimiento anual de la productividad de 128 Kg./ha/año. Dicho promedio es 51% superior a la de un periodo precedente similar. Este cambio en la productividad ocurrió con una estructura varietal relativamente estable. Durante el mismo se consolidó el recambio varietal utilizándose en el 95% del área variedades de selección local. El Paso 144 ha sido la principal variedad utilizada (65% del área), siendo parcialmente desplazada por INIA Olimar –mayoritariamente en el norte del país-. INIA Tacuarí es el tercer cultivar con una utilización decreciente por los productores. El uso de estos cultivares

de alto potencial ha permitido la exploración de un alto potencial en el marco de una profunda adopción de otras prácticas culturales principales (fertilización, control de malezas y enfermedades). Las variaciones en el rendimiento en el período por ende no se explican por las variaciones en el nivel tecnológico el cual se demuestra ser alto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIEA 2010 Serie encuestas N°291.

MGAP variedades de arroz 1980

SAMAN Registros internos.

Pérez de Vida, F; ROSAS J; SALDAIN N; BONNECARRERE V Ecofisiología del cultivo de arroz: Evaluación del riesgo de flujo génico entre arroz cultivado Clearfield y arroz rojo. In: Jornada Anual de Presentación de Resultados Experimentales de Arroz, 2008 Treinta y Tres Arroz Resultados Experimentales 2007-2008. Series Actividades de Difusión..2008.

Evatt NS., Hodges RJ. 1975. Developing efficient systems of fertilization of rice. In: Six decades of rice research in Texas, Research Monograph 4 June 1975. pp 31.