

ECOFISIOLOGÍA DEL CULTIVO DE ARROZ: INCIDENCIA DE FACTORES CLIMÁTICOS EN EL RENDIMIENTO Y SUS COMPONENTES

F. Pérez de Vida¹, S. Scheffel², I. Macedo³

PALABRAS CLAVE: ecofisiología, adaptación, germoplasma elite

INTRODUCCIÓN

En los últimos 20 años el rendimiento nacional de arroz ha aumentado a una tasa aproximadamente de 150 kg/ha/año, explicado por la adopción de cultivares de alto rendimiento, prácticas culturales mejoradas y condiciones ambientales favorables; en tanto, el rendimiento promedio en las últimas zafas se ubicó en el rango 8,1-8,6 t/ha. A su vez el rendimiento experimental, para un mismo grupo de variedades en igual período ha aumentado 104 kg/ha/año. En el presente trabajo se estudia, para una serie de 20 zafas, el comportamiento productivo de variedades comerciales en condiciones experimentales en relación a factores climáticos, con el objetivo de entender la interacción entre genotipos y ambiente; esto permite la generación de nuevas hipótesis de trabajo en mejoramiento genético así como la orientación en pautas generales de manejo del cultivo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se analizan datos de 20 años de la evaluación final de cultivares, del Programa de Mejoramiento Genético de Arroz (PMGA) de INIA Treinta y Tres, Unidad Experimental Paso de la Laguna. El manejo de estos experimentos se hace de forma estándar: inicio del riego 30-45 días postemergencia, fertilización de 70-100 kg/ha N total, aproximadamente 50 kg/ha de P₂O₅ a la siembra, y sin aplicaciones de fungicidas. La información climática fue extraída del banco de datos agroclimatológico del portal INIA GRAS, recabada en la estación de INIA Treinta y Tres. Para este trabajo se recopilieron datos diarios de: temperatura máxima (TMAX) y mínima (TMIN), días con temperatura inferior a 15°C (DIAS T<15) y radiación solar por heliofanía en cal/cm²/día (RAD) desde la zafra de 1996-1997 hasta la zafra de 2015-2016. En el presente trabajo se incluyen cuatro cultivares, El Paso 144 (EP144) e INIA Olimar (Olimar) del subtipo *Indica*; INIA Tacuarí (Tacuarí) y Parao, del subtipo *japónica* tropical. Se definieron cuatro períodos para evaluar la incidencia climática sobre el rendimiento y sus componentes. Se tomó como día cero el registrado como 50% de floración, partir del cual se estimaron los períodos de referencia (Cuadro 1) y se vincularon a los componentes que se definen principalmente en cada uno de ellos.

Cuadro 1. Períodos definidos para evaluar la incidencia del clima en rendimiento y sus componentes.

Periodo	Días comprendidos	Componente de rendimiento*
0	40-20 días prefloración	Pan/m ² , GrTot
1	20 días prefloración	Pan/m ² , GrTot
2	10 días pre y 10 días pos-floración	%Est, P1000
3	20 días pos-floración	P1000

* Pan/m² – panjoja/m²; GrTot – Granos totales por panjoja; %Est - % esterilidad; P1000 – Peso de 1000 granos

El análisis se realizó con el software JMP 13.0, de SAS Institute Inc. Para analizar los efectos de componentes y clima sobre el rendimiento se utilizó un promedio de las repeticiones de cada unidad experimental, mediante el análisis de sendero (Path Analysis). Para su elaboración se ajustó un modelo que estima rendimiento a partir de los componentes, del cual se obtuvo el beta estandarizado y el coeficiente de determinación R². El modelo de regresión utilizado es: $Y = a + bx + \varepsilon$; siendo: Y = rendimiento, a = término independiente o intercepto, b = parámetro (pendiente), x = Pan/m², GrTot, %Est, P1000, ε = Error experimental.

Por otra parte, para componentes en función de variables climáticas primero se procedió a realizar un modelo de regresión múltiple utilizando el método Stepwise. Se utilizó la

¹ Ph.D. INIA. Programa Nacional de Investigación en Producción de Arroz. fperez@inia.org.uy

² Tesis de Grado, Facultad de Agronomía

³ Ing. Agr. INIA. Programa Nacional de Investigación en Producción y Sustentabilidad Ambiental. imacedo@inia.org.uy

metodología mixta. Este método selecciona algunas variables de todas las posibles para todos los períodos en consideración. El modelo de regresión utilizado es: $Y = a + bx + \epsilon$; donde: $Y = \text{Pan/m}^2, \text{GrTot}, \% \text{Est}, \text{P1000}$, $a = \text{término independiente o intercepto}$; $b = \text{parámetro (pendiente)}$; $x = \text{TMIN}, \text{TMAX}, \text{RAD}, \text{DIAS}$; $\epsilon = \text{Error experimental}$. También se hace un modelo para rendimiento en función de variables climáticas, con la misma metodología que se hizo componentes en función de variables climáticas.

RESULTADOS

El rendimiento varió según época de siembra (ES), así como resultó una interacción significativa con el subtipo de arroz (Figura 1). En ES temprana (definidas hasta el 15 de octubre) no hay diferencias estadísticas entre los subtipos, aunque la media del subtipo *índica* es 400 kg/ha mayor. En ES intermedia (15 de octubre-15 de noviembre) las diferencias no son significativas, con medias difiriendo en solo 200 kg/ha. El rendimiento en el conjunto de siembras hasta 15 de noviembre se ve maximizado con genotipos *índica*. En cambio, la diferencia entre los subtipos es significativa en ES tardía, en las cuales el subtipo *japónica* rinde 600 kg/ha más que *índica*.

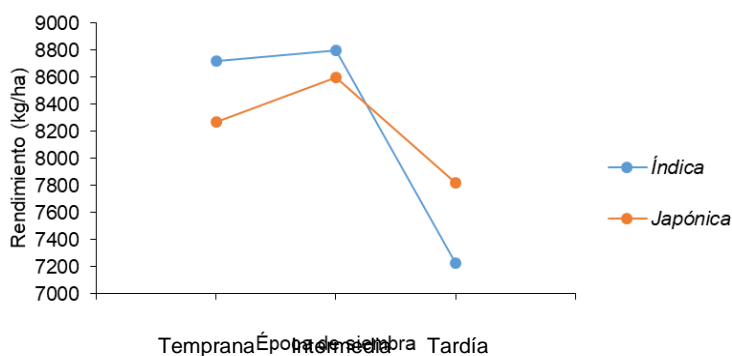


Figura 1: Rendimiento en función de época de siembra y subtipo de arroz (*índica* -cultivares El Paso 144, INIA Olimar- y *japónica* tropical -INIA Tacuarí y Parao-) y 3 épocas de siembra (Temprana, Intermedia y Tardía), en 20 zafras (1996-1997-2015-2016), UEPL. Letras indican separación de medias por prueba t de Student, los niveles no conectados por la misma letra son significativamente distintos $\alpha=0,05$.

Las variaciones en rendimiento vinculadas a fechas de siembra (Figura 1) son una función de la variación en variables climáticas asociadas al ciclo de vida, dado el momento de siembra de los genotipos. En la figura 2 se muestra el diagrama de análisis de sendero, explicando el rendimiento de grano en función de los factores climáticos. Los factores más importantes se seleccionaron con el método paso a paso (Stepwise), definiéndose así a TMIN2 y RAD2 que se asocian de modo causal a las variaciones en rendimiento; la radiación entorno a floración (+/-10 días) resulta la variable más importante (Stansel 1980; Macedo 2013).

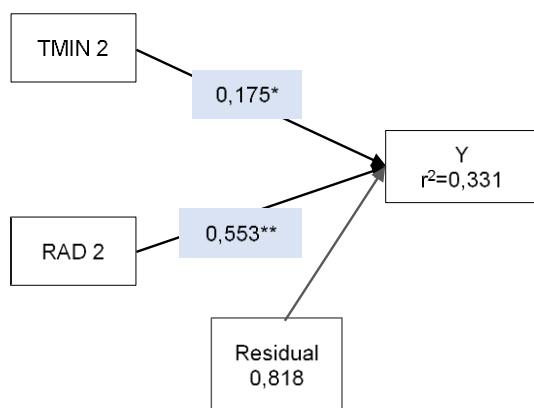


Figura 2: Rendimiento en función de factores climáticos, en 4 cultivares (El Paso 144, INIA Olimar, INIA Tacuarí y Parao) y 3 épocas de siembra (Temprana, Intermedia y Tardía), en 20 zafras (1995-1996-2015-2016), UEPL. (* y **, representa significativo con $P=0,05$ y $P=0,01$ respectivamente)

Por otra parte, en la figura 3, se presenta el diagrama de sendero para rendimiento de grano en función de sus componentes (pan/m², granos totales por panoja, % de esterilidad y peso de 100 granos), y a su vez el modelo que explica las variaciones en estos componentes en función

de variables climáticas. Estas variables climáticas consideradas fueron aquellas relevantes en el momento de definición del componente (por ejemplo peso de 1000 granos estaría principalmente influenciado por las condiciones ambientales pos floración); mientras que en cuadro 2 se presentan los efectos directos e indirectos de los componentes sobre el rendimiento.

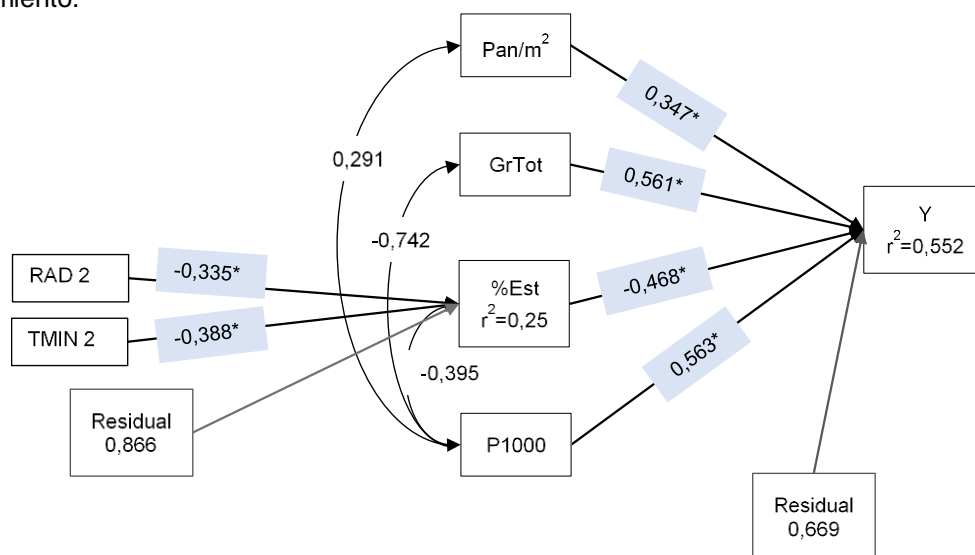


Figura 3. Diagrama de análisis de sendero para rendimiento en función de sus componentes, y efectos de variables climáticas en estos, en los 4 cultivares y 3 épocas de siembra (condiciones generales). (* significativo con $P=0,05$).

De acuerdo a estos resultados, todos los componentes tienen un efecto directo significativo sobre el rendimiento de grano; siendo peso de mil granos (P1000) y granos totales por panoja (GrTot) los que presentan beta estandarizado de mayor valor absoluto. Sin embargo, al considerar los efectos indirectos, el componente GrTot pierde esa importancia, debido al fuerte efecto indirecto a través de P1000 (alta correlación negativa entre dichos componentes). En este balance de efectos directos e indirectos (aquellos a través de las variables con las que se correlaciona, resulta que el componente más importante es %Est, con la suma de los efectos directos e indirectos más alta: -0,635. Por otra parte, panojas por m^2 (Pan/ m^2) y P1000 tiene un efecto total similar, ambos positivos y de relevancia, indicando la importancia de un alto macollamiento efectivo y del peso de granos en el rendimiento, con escasa interacción con las variables climáticas. En relación a éstas, solo el componente %Est es afectado significativamente. Las variables RAD y TMIN en el momento 2, inciden presentando un beta estandarizado numéricamente similar y de igual signo (negativo).

Cuadro 2: Efectos directos, indirectos y total de los componentes sobre rendimiento

	Pan/ m^2	GrTot	%Est	P1000
Directo	0,347	Directo 0,561	Directo -0,468	Directo 0,563
Indirecto	0,065	Indirecto -0,500	Indirecto -0,167	Indirecto -0,130
Efecto total	0,412	Efecto total 0,060	Efecto total -0,635	Efecto total 0,433

De esta manera se concluye que, en condiciones del Este del país, las variables RAD y TMIN, en momento 2 (aprox. 20 días en torno a floración) son los factores climáticos más importantes en la variación del rendimiento del cultivo. La fecha de siembra condiciona así la disponibilidad esperada de recursos ambientales y por ende el rendimiento; la ES temprana (mes de octubre) incrementaría la radiación disponible en el periodo de importancia crítica (+/- 10 d entorno a floración) al ubicarlo en un periodo de alta disponibilidad (mes de enero), así como disminuiría la incidencia de bajas temperaturas y por ende minimizando el %Est.