

#### IV. INCIDENCIA DE LOS FACTORES CLIMÁTICOS EN LA PRODUCTIVIDAD DEL CULTIVO DE ARROZ EN URUGUAY

Fernando Pérez de Vida<sup>1/</sup>

##### INTRODUCCIÓN

En el presente trabajo se realizó un análisis de la productividad de arroz en los últimos 15 años, cubriendo el periodo de las zafras 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 en la productividad en un entorno de altos rendimientos. Es de interés entender los principales factores ambientales, de manejo y su posible interacción que se asocian a la evolución del rendimiento nacional en el mencionado periodo. Esto permitirá alcanzar una estimación del potencial de producción del ambiente y de las tecnologías en uso en el área comercial. La definición del período 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.

##### PARÁMETROS CLIMÁTICOS

Los parámetros climáticos considerados en este estudio se refieren a niveles de humedad ambiental, precipitaciones (mm) y número de días de lluvias, disponibilidad de horas de sol y radiación, y temperaturas máxima media, mínima media, y número de días con temperatura mínima inferior a 15 grados Centígrados (valores incluidos: mínimo, máximo y promedio mensuales en Anexo). La comparación de los valores promedio de la serie de 39 años disponibles en la Unidad Experimental Paso de la Laguna (Treinta y Tres) vs. los comprendidos en el periodo analizado permite apreciar que algunos de estos parámetros presentan tendencias diferentes a las históricas.

Las diferencias en los niveles de pluviosidad serían típicos de un régimen pluvial variable y de menor relevancia en un cultivo realizado bajo riego (figuras en anexo). Las tendencias de mayor preeminencia para el desarrollo del cultivo estarían relacionadas con niveles de temperaturas superiores en los últimos 15 años, en periodos relevantes para la construcción del rendimiento. En este sentido, las temperaturas mínimas presentan valores superiores a los históricos en estadios vegetativos del cultivo (meses de octubre y

noviembre), así como en los meses de marzo y abril (Figura 1). De igual manera, el número de días con bajas temperaturas (inferiores a 15 grados C) es inferior al registrado en la serie 1971/1994 (Figura 2).

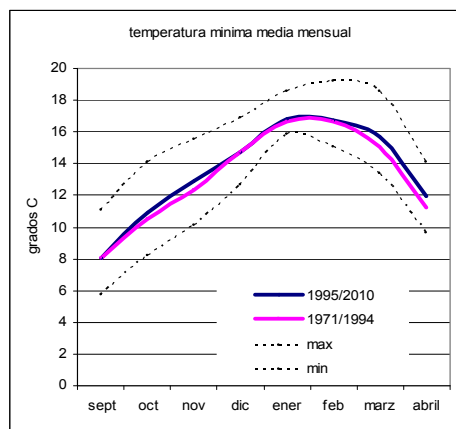


Figura 1. Valores mensuales de temperatura media desde septiembre a abril de la serie 1971 a 1995 (n=24) y del periodo analizado (1995 a 2010, n=15). Paso de la Laguna, Treinta y Tres.

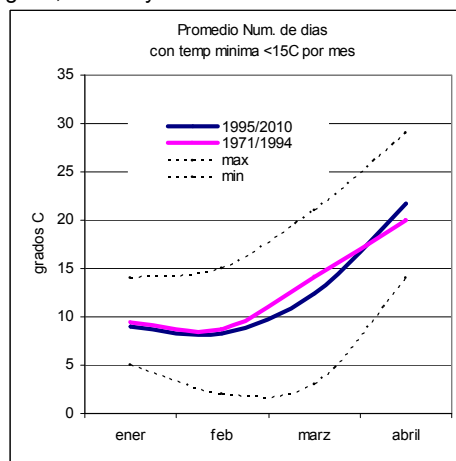


Figura 2. Valores promedio mensuales de número de días con temperatura mínima inferior a 15°C de enero a abril de la serie 1971 a 1995 (n=24) y del periodo analizado (1995 a 2010, n=15). Paso de la Laguna, Treinta y Tres.

Concordantemente, la temperatura mínima media del mes de marzo es la única variable climática en esta serie de datos en que se aprecia un incremento significativo en la secuencia de 39 años (Figura 3).

<sup>1/</sup> INIA Treinta y Tres

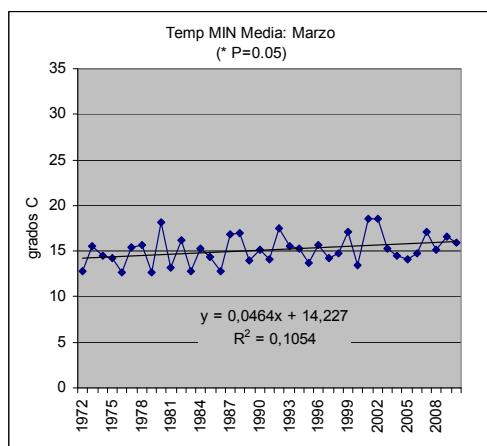


Figura 3. Evolución de la Temperatura Mínima media en el mes de abril en Paso de la Laguna, Treinta y Tres. Serie 1973 a 2010.

### PRODUCTIVIDAD Y FACTORES CLIMÁTICOS

La productividad del cultivo se relacionó mediante análisis de regresión múltiple con los parámetros climáticos señalados previamente. Se utilizaron datos de 15 zafas. La información climática se obtuvo de la estación meteorológica de la unidad experimental Paso de la Laguna, mientras que los datos de rendimientos son los publicados en reportes de DIEA. Debido a la regionalización de la información climática se utilizó información productiva restringida a la zona Este del país (departamentos de Rocha, Lavalleja, Treinta y Tres y Cerro Largo). Se utilizó el método de Stepwise para la selección de variables más significativas en la explicación de las variaciones en rendimiento. Se aplicó la sub-opción "forward" con probabilidades de entrada y salida al modelo de 0,25 y 0,10 respectivamente. Se trabajó con el paquete estadístico JMPin (SAS) versión 7.

El análisis de regresión, con  $n=15$ , estima la media de rendimientos en 6.64 t/ha con un desvío de 0.31. El

Cuadro 1. Estimadores de parámetros

Term	Estimate	Std Error	t Ratio	Prob> t	Std Beta
Intercept	27,099	4,833	5,61	0,0002	0
%Hum-Feb	-0,227	0,044	-5,15	0,0004	-0,613
%Hum abril	-0,098	0,029	-3,38	0,0070	-0,419
t.max nov	0,2617	0,086	3,01	0,0131	0,376
N°días<15°C Feb	-0,149	0,034	-4,35	0,0014	-0,604

Las variables seleccionadas por Stepwise para el modelo representan efectos ambientales en diferentes estadios de desarrollo del cultivo. Como se indicara, los mayores valores de coeficiente *path* resultan en variables con ocurrencia en el mes de Febrero que se asociarían a periodos de pre-floración y comienzo de llenado de granos en cultivos sembrados en el mes de octubre. La variable % de humedad en Febrero se podría relacionar causalmente con otros parámetros climáticos como precipitaciones (mm.), N° de días con lluvia, horas sol y radiación. Un modelo significativo identifica solo a Horas Sol en el mes de Febrero ( $R^2=0.336^*$   $P=0.0186$ ; valor de coeficiente *path*=-0.579\*)

modelo seleccionado explica un alto porcentaje de la variabilidad en los rendimientos de la serie ( $R^2=0.890^{***}$ ,  $P=0.001$ ). Las variables incluidas en el modelo (Tabla 1) son Temperatura máxima en noviembre (t.max nov), N° de días con temperaturas inferiores a 15°C en Febrero (N°días<15°C Feb), porcentajes de humedad ambiental en los meses de Febrero (%Hum-Feb) y abril (%Hum-Abril). Los valores de coeficientes *path* (*p*, Std Beta en cuadro 1) indican que los parámetros de mayor importancia en la variabilidad de los rendimientos en el periodo fueron relacionados a las condiciones climáticas en el mes de Febrero. El % de humedad ambiental presenta un valor  $p=-0.613^{**}$  y en N°días<15°C Feb resulta  $p=-0.604^{**}$ . Los signos negativos indican que los mayores rendimientos se obtuvieron en zafas con condiciones de menor humedad y menor número de días con bajas temperaturas. Baja humedad en el mes de abril y temperaturas altas en noviembre también contribuyen a explicar significativamente los mayores rendimientos en la serie 1995-2010.

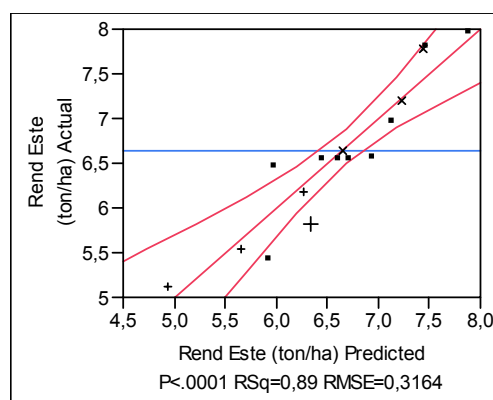


Figura 4. Ajuste del modelo de regresión múltiple respecto de la variable y (Rendimiento en la región Este).

como relacionado con las variaciones en %Hum-Feb. De este modo, los mayores rendimientos se asociarían a mayor disponibilidad de Horas Sol (menores niveles de humedad atmosférica) para el cultivo en periodos de alta demanda foto-energética (prefloración e inicios de llenado de granos). El mes de febrero es el que presenta mayor variabilidad en horas sol en la serie de años analizada (Coeficientes de variación: Enero=11,02%, Febrero=15,25%, Marzo=13,2). El %Hum-Feb se correlaciona significativamente con la temperatura máxima de Febrero ( $r=-0.667^{**}$ ) indicando que la ocurrencia de temperaturas diurnas más altas

también contribuyeron a la expresión de más altos rendimientos en el periodo analizado.

La ocurrencia de temperaturas por debajo de 15 grados centígrados en el periodo pre-floración puede perturbar el normal desarrollo de los granos de polen -afectado su viabilidad- y por ende reducir la fertilización de las flores. El aumento en esterilidad de granos trae aparejada la reducción en rendimiento, sin posibilidades de compensación a través de la expansión de otros componentes del rendimiento. El periodo de mayor susceptibilidad en arroz se estima en 10 a 15 días prefloración. En las condiciones locales estos eventos ocurren normalmente durante la noche. El N°días<15°C es indicativo del estrés térmico en que se desarrolla el cultivo. Los registros históricos en Paso de la Laguna permiten estimar una probabilidad entorno al 30% de ocurrencia de temperaturas inferiores a 15 grados Celsius, tanto en el mes de enero, febrero y primeros 10 días de marzo. En estas condiciones son esperables valores de % de granos estériles de 24,4, 20,4 y 20,9 para El Paso 144, INIA Tacuarí e INIA Olimar respectivamente, -obtenidos en 13 ensayos realizados en 8 años en UEPL-. En dichos experimentos no se descarta la incidencia de enfermedades de tallos (*Rhizoctonia oryzae sativae* y *Sclerotium sativae*) afectando ese componente, en particular en INIA Tacuarí. Por otra parte, en 3 años de ensayos bajo condición de temperatura controlada (cámara de crecimiento, 36 horas a 5 grados Celsius en prefloración) la incidencia de esterilidad por frío fue de 28,8% (El Paso 144), 21,4% (INIA Tacuarí), 22,4% (INIA Olimar) y 18,3% (testigo tolerante L2825CA) (Pérez de Vida, 2010). La información climática del periodo analizado destaca la disminución de la frecuencia de bajas temperaturas, así como el incremento de la temperatura mínima media (figuras 1, 2 y 3).

Por otra parte, el modelo identifica a %Hum-Abr como una variable significativamente relacionada a las variaciones en rendimiento. Al igual que la humedad ambiental en el mes de febrero, en el mes de abril presenta alta correlación negativa con Horas Sol ( $r=-0,746^{**}$ ) y Tmax ( $r=-0,648^{**}$ ). También son significativas las correlaciones del nivel de humedad con precipitaciones ( $r=0,737^{**}$ ) y días de lluvia ( $r=0,748^{**}$ ).

En base al análisis de rango de siembras simuladas (ver Pérez de Vida 2010) (inicios de octubre a 2da quincena de diciembre), y considerando los requerimientos de acumulación térmica de una variedad de ciclo intermedio (INIA Olimar), la relevancia de las condiciones ambientales del mes de abril (humedad, radiación) se debería restringir a las siembras tardías (2nov+Dic). Condiciones de menor humedad en el ambiente y mayor radiación y temperatura favorecerían el proceso de llenado de granos en dichas siembras. Por otra parte, en cultivos más avanzados en su maduración dichas condiciones favorecerían la disminución de pérdidas de granos por mayor eficiencia en la cosecha.

A partir de los resultados del análisis de regresión, se podría inferir que las condiciones ambientales al inicio del otoño fueron relevantes en favorecer la maduración y cosecha efectiva de un porcentaje del área de siembra

realizada tardíamente y de esta manera aportan al logro de altos rendimientos en el área nacional.

En conclusión, durante el periodo analizado, se dio la consolidación del recambio varietal y la plena adopción de nuevas variedades de alto potencial de rendimiento, así como el uso masivo de tecnologías. El cultivo presentó una media de 6.7 t/ha en 1995-2010 que fue aprox. 50% superior a un periodo similar precedente. Se estimó una alta tasa de incremento de la productividad/año (aprox. 130 kg/ha/año) (Pérez de Vida 2010). Sin embargo, un alto porcentaje (89%) de la variación en rendimientos del periodo estaría vinculado a las condiciones climáticas ocurridas. En general, los años de mayor productividad tuvieron condiciones de menor estrés lumínico y térmico en momentos relevantes para la construcción (prefloración) y concreción del rendimiento (llenado de granos). Esto en parte puede atribuirse a variaciones interanuales típicas de nuestras condiciones, así como al ajuste de fecha de siembra del cultivo de arroz. Por último, las condiciones climáticas habrían contribuido a disminuir significativamente las pérdidas de grano a madurez, al permitir una efectiva cosecha. El cultivo de arroz en Uruguay se destaca por la amplia adopción de prácticas culturales asociadas a un alto nivel tecnológico. La alta proporción de la variabilidad en los rendimientos causada por factores climáticos es reflejo de la amplia adopción de prácticas de manejo y tecnologías de protección del cultivo. De todos modos, durante el periodo de estudio, un 20% del área se sembró en fechas subóptimas para la obtención del máximo potencial del cultivo (Pérez de Vida 2010). La razón para esto seguramente, es inherente a nuestras condiciones climáticas -variaciones en el régimen hídrico- en la primavera. El exceso de lluvias en noviembre condicionó las siembras ubicando una parte de ellas en fechas tardías.

#### **APLICACIONES AL MEJORAMIENTO GENÉTICO LOCAL**

Considerando las variables climáticas identificadas en este análisis y su impacto en la productividad, resulta de importancia valorar el rol del mejoramiento genético en la incorporación de tolerancias a estreses abióticos y bióticos. En este sentido, se destaca que un cultivar de ciclo similar a INIA Olimar maximizaría su captación de radiación solar con una siembra de mediados de octubre, en particular durante los periodos de mayor importancia para definir la productividad. Siembras más tempranas, requerirían de la incorporación de tolerancia a bajas temperaturas en estadios de germinación y plántula en los cultivares. Sin embargo, en las condiciones del Este del país la principal limitante para la realización de siembras tempranas es el balance hídrico en los suelos, fuertemente condicionado por la variabilidad de las lluvias primaverales. En este sentido se destaca la actual ocurrencia de un 20% de las siembras fuera del periodo óptimo. Es necesario encontrar el método de siembra que justifique la decidida incorporación de tolerancia a bajas temperaturas en estadios juveniles del germoplasma. En circunstancias de preparación de suelos subóptimas, con potenciales problemas de microrelieve -y por ende anegamiento en "pozos"- se justificaría

además la incorporación de tolerancia a la sumersión en el germoplasma, como un seguro adicional para lograr el stand de plantas necesario. La adopción de la siembra en agua, como mecanismo alternativo y complementario a las siembras en suelo seco, podría ser una técnica de gran impacto para soslayar dichos problemas, permitiendo siembras más tempranas y evitando las tardías. Más allá de la experiencia nacional (Blanco y Roel, 1996) se debería retomar su investigación, en particular el impacto y mecanismos de mitigación de las aves (patos) en la siembra. La información climática presentada de la región Este destaca la alta prevalencia de condiciones térmicas de estrés para el cultivo de arroz en prefloración. El nivel de riesgo de un 30% comprende a siembras realizadas en un amplio abanico de casi 75 días desde el 1 de octubre. En función de esto, las variedades futuras deberían mejorar la tolerancia a frío de las actuales. Este componente del rendimiento daría soporte a una productividad superior a los actuales cultivares; mejorar la tolerancia a bajas temperaturas es un objetivo alcanzable en un relativo corto plazo, en relación a mejoras en la acumulación y partición de la biomasa o en la eficiencia fotosintética. Las condiciones de radiación en meses de inicio de llenado de granos también se han relacionado a las variaciones de rendimiento en los últimos 15 años. Las condiciones climáticas (radiación y temperaturas) de febrero son las más variables en la región Este. Explorar la diversidad genética en arroz para un uso más eficiente de radiación solar escasa es un enunciado más idealista que práctico. El arroz tiene su origen en regiones del mundo con relativa escasa radiación (Kush, 2000), millones de años de evolución seguramente ya han hecho su trabajo de selección natural entregándonos las combinaciones alélicas más adaptadas (Denison, com.pers. 2007). Sin embargo, la manipulación genética en algunos años de selección convencional ha realizado combinaciones con diferente plasticidad frente a cambios en los niveles de radiación. En este sentido, cultivares con capacidad para la acumulación de reservas prefloración (carbohidratos no estructurales) podrían tener una mayor habilidad de adaptación, contribuyendo con ellas al llenado de grano de modo diferido, y relativamente independiente de las condiciones prevalecientes de radiación durante el mismo periodo de llenado de granos. Por otra parte, cultivares con mayor duración del período de llenado de

granos (o “staygreen”) podrían superar restricciones temporales en la radiación (Pérez de Vida, 2011).

En el periodo se destaca el creciente uso de fungicidas para la protección del cultivo (más de 4% del área año<sup>-1</sup>) (Pérez de Vida, 2010). Las condiciones climáticas pueden haber disparado la incidencia de enfermedades (por ej: *Pyricularia*, en un contexto de variedades susceptibles [El Paso 144 e INIA Olimar]), así como la mayor intensidad de uso del suelo. La incorporación de resistencias a patógenos en las nuevas variedades es prioritario para el Programa de Mejoramiento Genético de INIA, y para ello se implementan técnicas tradicionales (cruzamientos con parentales donantes de resistencia, evaluación de reacción de cultivares bajo condiciones de alta presión [camas de infección]), así como técnicas moleculares para asistir la selección y diagnósticas de la presencia de genes mayores en los cultivares existentes. La convivencia con la presencia de enfermedades a hongos en el cultivo debe basarse en la incorporación de resistencia genética, como contribución indispensable a la competitividad económica del sector productor, a la sustentabilidad ambiental, y alineación con los esfuerzos de certificación de inocuidad de la producción.

Por último, las condiciones climáticas durante cosecha fueron indicadas como relevantes en la obtención de altos rendimientos nacionales. La eficiente cosecha en tiempo, permite desde el punto de vista del rendimiento físico (sin considerar la calidad molinera del grano) minimizar las pérdidas de grano en la planta. Desde el mejoramiento genético se podría contribuir con una menor facilidad de desprendimiento de los granos en la panoja –un carácter de herencia cuantitativa-, y de ese modo aportar en la estabilidad de la producción, minimizando pérdidas a cosecha (por ej. el novel cultivar L5502). Finalmente, considerando los rendimientos nacionales y experimentales -en base a la productividad de los tres cultivares ponderada por su porcentaje de participación en el área nacional- en un mismo periodo (2001/02 a 2008/09), se evidencia una brecha tecnológica de 10,8%. Este indicador refleja la muy alta adopción de técnicas y tecnologías por el sector productor. El mejoramiento genético tiene un importante desafío en el corto plazo: aportar germoplasma de alta productividad -un componente tecnológico esencial para contribuir a levantar el actual techo productivo que se desprende de este análisis-