

## LA ESTABILIDAD DE RENDIMIENTO EN GRANO DE CEREALES INVERNALES EN LA REGIÓN SUBHÚMEDA-SECA PAMPEANA

### THE STABILITY OF GRAIN YIELD IN WINTER CEREALS IN THE DRY-SUBHUMID PAMPAS REGION

Fernández Miguel Angel<sup>1\*</sup>, Osvaldo Zingaretti<sup>1</sup>  
y Diego Riestra<sup>1</sup>

Recibido 23/11/2018  
Aceptado 09/05/2019

#### RESUMEN

Los cereales de invierno son importantes en los agrosistemas de la región subhúmeda-seca pampeana. Los factores ambientales son preponderantes en la definición del rendimiento, existiendo una gran interacción con el genotipo. El triticale granifero (X *Triticosecale*, Wittmack) y el trigo candeal (*Triticum durum*, Desf.), pueden ser alternativas del trigo pan (*Triticum aestivum*, L.) para estabilizar los rendimientos de los cereales invernales. El estudio fue realizado en el Campo de la Facultad de Agronomía de la UNLPam, ubicado en 36°46' S y 64°17' W. Se realizaron ensayos durante ocho años, en los que se compararon las tres especies (cinco variedades de trigo pan, cuatro de trigo candeal y dos de triticale), en dos condiciones de fertilidad. Los dos genotipos de triticale y el trigo pan Buck guaraní tuvieron mayor rendimiento en grano, mientras que los trigos candeales mostraron rendimientos medios a bajos. La estabilidad del rendimiento no fue exclusiva de una especie, ya que se clasificaron como estables el triticale Eronga 83, el trigo pan ACA 601 y el trigo candeal Ciccio e inestables al genotipo de trigo pan Abate y al trigo candeal Buck cristal. Los métodos CVi de Francis & Kannenberg (1978) y VEP de AMMI (1997) mostraron una buena descripción de la clasificación de estabilidad incluyendo todos los métodos. La estabilidad del rendimiento en grano no estuvo asociada a mayor potencial de rendimiento.

**PALABRAS CLAVE:** trigo, triticale, adaptación, interacción genotipo x ambiente

#### ABSTRACT

Winter cereals are important in agrosystems of the dry-subhumid Pampas region. Environmental factors such as rainfall and temperature dominant in the definition of grain yield, there is usually a great interaction with the genotype. The triticale (X *Triticosecale* Wittmack) and durum wheat (*Triticum durum* Desf.) may be alternatives to bread wheat (*Triticum aestivum* L.) to stabilize the grain yields of winter cereals. The study was conducted in the Faculty of Agronomy of UNLPam Experimental Field, located at 36° 46 'S and 64° 17' W, 210 m above sea level. The tests were conducted for eight years, which compared the three species, (five varieties of bread wheat, four of durum wheat and two of triticale), with two fertility conditions. The two triticale's genotypes and bread wheat "Buck guaraní" had greater grain yield, while durum wheats showed average to low yields. The grain yield stability was not exclusive of one species, since triticale "Eronga 83", bread wheat "ACA 601" and durum wheat "Ciccio" were stable, and bread wheat "Abate" and durum wheat "Buck cristal" were unstable. The CVi of Francis and Kannenberg and VEP of AMMI methods showed a good description of the classification stability's including all methods. The grain yield stability was not associated with higher yield potential.

**KEY WORDS:** wheat, triticale, adaptation, genotype by environment interaction

#### INTRODUCCIÓN

La Interacción Genotipo por Ambiente (IGA) se manifiesta cuando una variación

ambiental tiene distinto efecto sobre diferentes genotipos (Allard & Bradshaw, 1964). La IGA se debe tener en cuenta en los programas de mejoramiento, ya que la estabilidad de rendimiento de un genotipo depende de su respuesta a diversos factores adversos en las etapas críticas del desarrollo de la planta (Cossa *et al.*, 1988).

##### Cómo citar este trabajo:

Fernández, M. A., Zingaretti, O., y Riestra D. (2019). La estabilidad de rendimiento en grano de cereales invernales en la región subhúmeda-seca pampeana. *Semiárida*, 29(1), 19-32.

<sup>1</sup> Universidad Nacional de La Pampa, Facultad de Agronomía. Santa Rosa, La Pampa  
\* [mfernandez@agro.unlpam.edu.ar](mailto:mfernandez@agro.unlpam.edu.ar)



La selección de genotipos para grandes regiones (mega-ambientes) o para lugares particulares (sitio-específicos) ha tenido resultados contradictorios. Evans (1993) puntualizó la necesidad de desarrollar nuevos cultivares con buena performance en un número diverso de ambientes (adaptabilidad) y confiabilidad o seguridad entre años (adaptación). Rosielle & Hamblin (1981) encontraron que la selección en base a la tolerancia a ambientes con estrés redujo el rendimiento medio cuando se les ofreció ambientes sin estrés y que la selección por productividad media generalmente incrementó los rendimientos medios en ambos ambientes. Ceccarelli *et al.* (1987) señalaron que el rendimiento potencial no es un criterio útil en el mejoramiento de performances superiores en ambientes con sequía. Una real asociación entre el rendimiento potencial y el rendimiento en lugares bajo estrés necesita ser evaluado para cada combinación particular de genotipos y ambientes (Sadras & Richards, 2014). Araus *et al.* (2008) observaron una respuesta diferencial de acuerdo al potencial del ambiente. Cuando se realizó la selección en ambientes de alto potencial se avanzó en la tolerancia a ambientes de estrés hídrico moderado, pero esta relación se rompió cuando fueron trasladados a ambientes de estrés más severo, en los cuales los genotipos seleccionados en ambientes de alto potencial no tuvieron la mejor performance.

Los agricultores generalmente prefieren una productividad mínima garantizada, más que un espectacular rendimiento en un año bueno y fracaso en la cosecha en los años malos. A una escala mayor, los mercados esperan cierta estabilidad, no solo de los rindes sino de una calidad aceptable a través de los años (Hawkesford *et al.*, 2013).

Mientras que los fitomejoradores han seleccionado tradicionalmente por una adaptación amplia, en los últimos años se ha reflatado la idea de desarrollar genotipos con adaptación específica (suelos especiales, siembra directa, cambio climático) (Martre *et al.*, 2015).

Las investigaciones sobre estabilidad, adaptabilidad (regiones amplias) y adaptación (sitio específico) requieren de varios años de información (Cooper *et al.*, 1997). Al buscar estabilidad a varios ambientes, se corre el riesgo de descartar genotipos de gran adaptación a un sitio específico (Lin & Binns, 1988).

La caracterización del ambiente objetivo juega un rol importante en mejorar la eficiencia de los programas de mejoramiento. La evaluación de la performance del germoplasma (rendimiento y/o características secundarias) es más efectiva en la medida en que el ambiente de prueba representa al ambiente objetivo (Chenu, 2015). Durante años se ha puesto énfasis en el análisis del nivel de incremento de rendimiento pero poca atención se ha puesto en mantener la estabilidad del mismo (Semenov *et al.*, 2014).

La detección de la IGA en ensayos a campo y el deseo del fitomejorador de manejarla, han llevado al desarrollo de procedimientos que son llamados genéricamente “análisis de estabilidad”. Los métodos disponibles proveen diferentes estrategias para una mejor interpretación y elección de alternativas en los procesos de selección y recomendación de cultivares (Yan *et al.*, 2007).

El concepto de “estabilidad agronómica” implica que un genotipo es considerado estable si rinde relativamente bien respecto al potencial de los ambientes evaluados, mostrando una baja interacción con éstos (Becker, 1981; León & Becker, 1988).

Existen modelos aditivos que utilizan el análisis de varianza y la regresión lineal. El primero utilizado fue la varianza de cada genotipo sobre los ambientes propuesto por el método de la regresión conjunta descripta por Yates & Cochran (1938) y desarrollado por Finlay & Wilkinson (1963) y Eberhart & Russell (1966). Aunque éste método fue criticado por varios autores (Lin *et al.*, 1986; Zobel *et al.*, 1988; Crossa, 1990; Annicchiarico, 1997) debido a que la estabilidad de un determinado genotipo depende de los genotipos con que esté

comparado y no es capaz de predecir la respuesta no lineal de los genotipos a los ambientes. Otros métodos que consideran la estabilidad son: la varianza de Shukla (1972), Francis & Kannenberg (1978), el Índice de Superioridad de Lin & Binns (1988) y el desvío estándar del rendimiento relativo (RR) de Yau & Hamblin (1994).

A fines de la década del '80 se comenzaron a utilizar los métodos multivariados. El análisis de componentes principales (ACP) es una de los métodos multivariados más utilizados (Balzarini, 2003). Es útil tanto para la caracterización de condiciones ambientales como para la clasificación de genotipos por estabilidad de rendimiento. Por otra parte, el ACP tiene la ventaja de no exigir los supuestos de los modelos que utilizan el ANAVA, tales como la normalidad de los datos y la homogeneidad de las varianzas (Balzarini, 2003). Existen además modelos mixtos con efectos principales aditivos y de interacción multiplicativa denominado AMMI por su sigla en inglés (Additive Main Effects and Multiplicative Interaction Analysis) (Cossa *et al.*, 1990). El índice de susceptibilidad al estrés (ISE) fue propuesto por Fischer & Maurer (1978) y puede ser utilizado como medida de estabilidad ante estrés térmico o hídrico.

En algunos estudios sobre diferentes especies de cultivo la estabilidad ha sido analizada sobre la base de la estimación de más de un parámetro, con el objetivo de observar la asociación entre los mismos (Santana *et al.*, 1983) en los que fueron empleados diferentes métodos.

El triticale combina muchas cualidades deseables de los padres: *Triticum* y *Secale*. Triticale es mucho más tolerante que el trigo pan a factores de estrés bióticos y abióticos y por lo tanto más conveniente para su cultivo en áreas marginales (Hede, 2000; Ugarte *et al.*, 2007; Villegas *et al.*, 2010; Singh *et al.*, 2017). Tiene gran relevancia para la producción de alimentos de mejor calidad nutricional. Sin embargo, la popularización de triticale ha sido obstaculizada por su inestabilidad para rendimiento de grano (Villegas *et al.*, 2010),

aunque otros autores han encontrado variabilidad en cuanto a estabilidad (Goyal *et al.*, 2011). El trigo candeal también ha mostrado adaptación a distintas regiones semiáridas sobre todo en climas de tipo mediterráneo (Bozzini, 1988). Estas dos especies podrían reemplazar en parte la superficie sembrada de trigo pan, que es el cultivo de invierno más importante de la región.

Hipótesis:

a) Las especies trigo candeal y triticale granífero mencionadas en la bibliografía como más tolerantes al estrés hídrico que el trigo pan tendrán mayor estabilidad del rendimiento en grano que éste último.

b) Existe variabilidad genética en cuanto a estabilidad del rendimiento en grano dentro de cada especie.

c) En la búsqueda de mayor rendimiento en grano promedio se produce una reducción en la estabilidad del mismo.

Objetivos:

Con el objetivo de estudiar la variabilidad interanual en el rendimiento en grano se realizaron ensayos durante ocho años, con diferentes genotipos de tres cereales de invierno y distintos tratamientos de fertilización.

Se categorizaron los parámetros de estabilidad con el objetivo de realizar un ranking de genotipos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### a) Descripción de los experimentos

Se realizaron experimentos a campo durante ocho años utilizando tres especies graníferas invernales: 5 genotipos de trigo pan (*Triticum aestivum* L.), 4 genotipos de trigo candeal (*Triticum durum* Desf.) y 2 genotipos de triticale (X Triticosecale, Wittmack). Además se realizaron dos tratamientos de fertilidad, uno testigo y otro con nitrógeno en macollaje (100 kg.ha<sup>-1</sup> de urea) al voleo en el estado Z21 (Zadoks *et al.*, 1974). Se ubicaron en un mismo lote, en el Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UNLPam, ubicado en 36°32'49.21"S; 64°18'20.72"W y a una altitud

de 212 m snm. El lote es de 28 ha, dividido en 4 cuadrantes de 7 ha en rotación (tres años de una pastura perenne en base a una asociación entre alfalfa (*Medicago sativa* L.) y cebadilla criolla (*Bromus catharticus* Vahl.) y un año donde se alojan los ensayos), manejado con labranza convencional.

El suelo de dicho lote se ha reclasificado recientemente como Paleustol petrocálcico, debido a cambios generados por el Soil Survey Staff (2014), con textura franco arenosa (65% arena, 20% limo y 15% arcilla), con escasa pendiente superficial y un manto de tosca en el subsuelo, a una profundidad que varió entre 1,0 y 1,2 m. El análisis químico y mineralógico del suelo al momento de la siembra mostró los siguientes rangos en los años analizados: materia orgánica: 1,42-1,67%; P-Bray Kurtz 1: 8,8-12,7 ppm y N-NO<sub>3</sub>: 7,3-23,7 ppm.

La fecha de siembra en cada ciclo se realizó hacia fin del mes de Junio, considerada adecuada para trigo pan (Fernández *et al.*, 2008), y también para las otras dos especies debido a que tienen ciclos semejantes. El diseño del ensayo de cada año estuvo compuesto de cuatro bloques completamente aleatorizados. Las parcelas a las que se le aplicó cada tratamiento fueron estándar (1,4m x 5,5m) con siete surcos y 0,2 m entre hileras. Se realizó una fertilización fosforada de base en la hilera de siembra con 50 kg.ha<sup>-1</sup> de superfosfato triple de calcio (23 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>) a todas las parcelas.

Los ensayos fueron mantenidos libre de malezas, insectos y enfermedades de acuerdo a las que se presentaron año a año.

La variabilidad anual en las condiciones climáticas generó el denominado efecto “ambiente” considerándose para el ANAVA un efecto aleatorio. Dentro de cada año los tratamientos fueron: “genotipo” y “fertilidad” los que fueron considerados como efectos fijos.

#### **b) Descripción de los genotipos**

Se seleccionaron genotipos que hubieran mostrado en ensayos previos locales o según la descripción del criadero obtentor: variabilidad en la altura de la planta, el índice de cosecha, longitud del ciclo a floración y peso potencial de los granos (Tabla 1).

#### **c) Variables climáticas**

Los datos del comportamiento de las variables

meteorológicas (precipitaciones y temperatura) fueron registrados en el observatorio meteorológico de la Facultad de Agronomía de la UNLPam, ubicado a 800 m del lugar donde se realizaron los ensayos.

#### **d) Evaluaciones sobre el cultivo**

Rendimiento en grano ajustado a 13,5% de humedad.

#### **e) Análisis estadístico**

En el análisis estadístico general de los experimentos se realizó en primera instancia por medio de un ANAVA con el objeto de evaluar el efecto de los tratamientos en cada variable y, en aquellos años en que haya diferencias significativas, se las evaluará por medio del Test LSD para la separación de medias.

En el análisis de estabilidad se utilizaron como ambientes aquellos años en los que se obtuvo respuesta significativa a la fertilización (años 2012 y 2016) y se tuvo que descartar el año 2014 por un ataque de “pietín” (*Gaeumannomyces tritici*).

El análisis conjunto de los años se realizó como grupo de experimentos (Steel & Torrie, 1989). Primeramente se compararon las varianzas (cuadrado medio del error, CME) y así se determinó la posible heterogeneidad de las mismas. Se utilizó el criterio de Box citado por Pimentel Gomes (1978) quien mencionó que el cociente entre el CME mayor y el CME menor no debe ser superior a 3. Luego el análisis de grupo de experimentos se basó en un modelo donde el efecto del año (ambiente) se consideró aleatorio semejante al desarrollado por Snedecor & Cochran (1980) y Petersen (1994).

#### **f) Análisis de la Interacción Genotipo por Ambiente**

##### **Modelo general del ANAVA:**

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha_i\beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = es el valor medio;

$\mu$  = la media general;

$\alpha_i$  = el efecto genotípico;

$\beta_j$  = el efecto ambiental;

$\alpha_i\beta_j$  = la interacción del genotipo i con el

Tabla 1. Descripción de las características agronómicas de los genotipos utilizados.

Table 1. Description of the agronomic characteristics of the genotypes used.

Genotipo	Especie	Criadero	Origen	Año de Inscrip.	Ciclo	Altura planta	Tamaño de espiga	IC	PMG**
Abate	Trigo pan	PROSEME	Italia	2004	I-C	Baja	Mediana	Alto	Bajo
ACA 601	Trigo pan	ACA	Argentina	2003	I	Media	Mediana	Medio	Alto
Buck Baqueano	Trigo pan	BUCK	Argentina	2007	I-L	Media	Grande	Medio	Medio
Buck Guaraní	Trigo pan	BUCK	Argentina	1994	I-C	Media	Mediana	Medio	Medio
Baguette Pr. 13	Trigo pan	NIDERA	Holanda	2001	I	Media	Mediana	Medio	Alto
Bon. INTA Cariló	Trigo candeal	INTA Barr.	Argentina	2004	I-L	Media	Mediana	Medio	Bajo
Buck Cristal	Trigo candeal	BUCK	Argentina	1988	I	Media	Mediana	Medio	Alto
Concadoro	Trigo candeal	PROSEME	Italia	2007	C	Baja	Pequeña	Alto	Alto
Ciccio	Trigo candeal	PROSEME	Italia	2007	I-C	Baja	Pequeña	Alto	Medio
Eronga 83	Triticale	CIMMyT	México	1983	I-C	Alta	Grande	Bajo	Alto
T 830 (37ITYN05)	Triticale	CIMMyT	México	2006*	I-C	Alta	Grande	Bajo	Medio

Referencias: I: Intermedio. L: Largo. C: Corto. \*: Año de introducción desde CIMMyT a la FA de la UNLPam. \*\*: La categorización en alto, medio y bajo se realizó dentro de cada especie. IC: Índice de cosecha. PMG: Peso de mil granos.

ambiente j;

$\varepsilon_{ij}$  = el error.

### Coefficiente de variación ambiental

Francis & Kannenberg (1978) estudiaron la estabilidad con el coeficiente de variación ambiental que compara la varianza del genotipo con respecto a la media del ambiente.

$$CV_i = \frac{S_i^2}{Y_i} \times 100$$

Donde:  $CV_i$  = coeficiente de variación del genotipo i.

$S_i^2$  = varianza del genotipo i

$Y_i$  = promedio de todos los genotipos en el ambiente j

### Varianza de la estabilidad

Shukla (1972) propuso que la varianza de la estabilidad de un genotipo i, se puede determinar cómo su varianza a través de los ambientes después de que han sido removidos los efectos principales del ambiente. Se calcula de la siguiente manera:

$$\sigma_i^2 = \frac{g}{(g-2)(a-1)} \sum_{i=1}^g (Y_{ij} - \bar{Y}_i - \bar{Y}_j + \bar{Y})^2 \frac{SCGA}{(g-1)(g-2)(a-1)} =$$

Donde:

g = genotipos

a = ambientes

$Y_{ij}$  = rendimiento del genotipo i en el ambiente j

$Y_i$  = rendimiento del genotipo i promedio de todos los ambientes

$Y_j$  = promedio del ambiente j

Y = promedio general

SCGA = suma de cuadrados de la interacción.

### Índice de Superioridad

El Índice de Superioridad de Lin & Binns (1988) constituye una medida única del comportamiento de un genotipo, definiéndose como el cuadrado medio de la distancia entre la respuesta de un genotipo y el genotipo de máxima respuesta en un ambiente dado. Con esta medida, la máxima respuesta en un ambiente se convierte en el testigo a considerar. Este Índice se calcula en base al rendimiento promedio de los genotipos en cada ambiente e indica la calificación del genotipo "i" en el ambiente "j" que es la diferencia al cuadrado entre el rendimiento del genotipo de máximo rendimiento en ese ambiente y el rendimiento del genotipo "i". El valor total por

genotipo es el acumulado sobre todos los ambientes. Claramente, la calificación del mejor genotipo en cada ambiente tiene un valor de cero (0,0), por lo tanto, el genotipo con valor global más bajo, es el más cercano al óptimo a través de los ambientes.

Para la estimación de este Índice se utilizó la ecuación:

$$P_i = \sum (X_{ij} - M_j) / 2 * n$$

Donde:

$P_i$  = índice de superioridad del i-ésimo genotipo.

$X_{ij}$  = productividad del i-ésimo genotipo evaluado en el j-ésimo ambiente.

$M_j$  = respuesta máxima obtenida entre los genotipos en el j-ésimo ambiente.

$n$  = número de ambientes.

### Método de la ecovalencia del Rendimiento Relativo

Yau & Hamblin (1994) propusieron utilizar el rendimiento relativo (RR) para medir la estabilidad biológica y dar igual peso a los distintos ensayos. El método del RR consiste en expresar el rendimiento de cada genotipo en cada ambiente en forma relativa al promedio del ambiente en el que fue determinado.

Esto puede ser expresado como:

$$RR = 100 \times R_{ij} / R_j$$

Donde:

RR es el rendimiento relativo,

$R_{ij}$  es el rendimiento registrado del cultivar i en el ambiente j, y

$R_j$  es el rendimiento promedio del ambiente j.

El promedio de rendimiento ( $R_r$ ) de un cultivar es el promedio aritmético de los rendimientos relativos individuales a través de todos los ambientes:

$$R_r = R_{ij} / n$$

Donde:  $n$  es el número de ambientes. El desvío estándar, calculado como la raíz cuadrada de la varianza de los rendimientos relativos de cada cultivar a través de los ambientes, provee una medida de la estabilidad del desempeño del cultivar. Los cultivares más estables serán los que posean menor desvío estándar de RR.

### Análisis de Componentes Principales (ACP):

El ACP es una forma de combinar linealmente las variables para encontrar índices (Componentes Principales) con máxima varianza. Cada combinación de variables define un componente y los valores (coeficientes con los cuales se pondera cada variable) usados para construir cada combinación son tales que no solo maximizan la varianza de los componentes sino que también garantizan la falta de correlación entre ellas. Los tipos de variables usadas deben ser cuantitativas. Los pesos con los que se pondera cada variable en la combinación lineal constituyen los auto-valores. Los auto-valores asociados a cada auto-vector representan la varianza de cada componente principal. Los gráficos biplot de los dos componentes principales explican el mayor porcentaje de variabilidad total y permiten el estudio de la variabilidad de las observaciones y las variables de manera simultánea.

### Valor de estabilidad promedio de AMMI (VEP<sub>AMMI</sub>)

En síntesis el modelo AMMI combina análisis de variancia y análisis de componentes principales (ACP) en un único modelo, aditivo para los efectos principales de genotipos y ambientes y multiplicativo para los efectos de la IGA. El modelo AMMI está representado por la ecuación (Crossa *et al.*, 1988):

$$Y_{ger} = \mu + \alpha_g + \beta_e + \sum B \lambda_n \gamma_{gn} \delta_{en} + p_{ge} + \epsilon_{ger}$$

Donde:

$Y_{ger}$  = rendimiento del iésimo genotipo "g" en el jésimo ambiente "a" y para la repetición r.

Los parámetros aditivos son:

$\mu$  = gran media.

$\alpha_g$  = desviación del genotipo g de la gran media.

$\beta_e$  = desviación del ambiente a.

Los parámetros multiplicativos son:

$B \lambda_n$  = eigenvalue singular para el eje n del componente principal de interacción (CPI).

$B \gamma_{gn}$  = eigenvector del genotipo g para el eje n.

$\delta_{en}$  = eigenvector del ambiente e para el eje n.

$p_{ge}$  =  $\Sigma$  de los ejes que no están explicados por los vectores (residuos de IGA).

$\varepsilon_{ger}$  = desviación del genotipo g en ambiente e la repetición r.

Para establecer el orden de estabilidad en el modelo AMMI se calcula el valor de estabilidad promedio "VEP" (Purchase, 1997). El VEP es la distancia del origen en un diagrama de dispersión de un sistema bidimensional hacia las puntuaciones de  $CP_1$  vs. las puntuaciones de  $CP_2$ . Ya que la puntuación de  $CP_1$  contribuye más a la suma de cuadrados de la IGA, se necesita un valor ponderado de VEP. Como lo sugiere Purchase (1997), el VEP del AMMI produce una medida cuantitativa y más balanceada de la estabilidad de los cultivares, permitiendo realizar un ranking y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$VEP_{AMMI} = \sqrt{\frac{SCCP_1}{SCCP_2} \times (iCP_1)^2 + (iCP_2)^2}$$

Donde:

$SCCP_1$  = suma de cuadrados del componente principal 1 del modelo ( $CP_1$ ).

$SCCP_2$  = suma de cuadrados del componente principal 2 del modelo ( $CP_2$ ).

$iCP_1$  = participación del genotipo i en el componente principal 1.

$iCP_2$  = participación del genotipo i en el componente principal 2.

### Índice de susceptibilidad al estrés (ISE):

Este índice fue propuesto por Fischer & Maurer (1978) y puede ser utilizado como medida de estabilidad ante estrés térmico o hídrico. Se determina de acuerdo a la fórmula planteada por:

$$ISE = (1 - Y/Y_p)/D$$

Donde:

Y = Rendimiento promedio de un genotipo en un ambiente de estrés.

$Y_p$  = Rto. promedio del mismo genotipo en un ambiente libre de estrés.

D = Intensidad del estrés =  $X/X_p$

X = Promedio Y de todos los genotipos en un ambiente de estrés.

$X_p$  = Promedio  $Y_p$  de todos los genotipos en un ambiente libre de estrés.

El valor resultante ISE fue utilizado para caracterizar la tolerancia relativa al estrés de las especies. Si el ISE es  $\leq 0,50$  es un genotipo altamente tolerante al estrés, con un ISE entre 0,51 y 1,00 es moderadamente tolerante al estrés y si es  $>$  que 1,00 es susceptible al estrés

## RESULTADOS

En la Tabla 2 se describen los años desde el punto de vista climático (temperatura y lluvias) en los en que se realizó el estudio de la estabilidad del rendimiento en grano de los distintos genotipos. En el período estudiado se registró una gran variabilidad en cuanto a las precipitaciones mensuales y menor variabilidad en las temperaturas medias mensuales. El año 2008 mostró un déficit general para el cultivo de trigo, con una menor recarga del perfil durante el barbecho, lo que produjo que el cultivo estuviera en todo su ciclo con estrés hídrico. El año 2009 fue de sequía extrema. El año 2010 tuvo una precipitación anual semejante al promedio histórico, con una buena recarga en otoño, un invierno seco y una primavera con un buen comienzo en septiembre pero con estrés hacia el final. El año 2011 fue semejante al anterior con una pequeña diferencia hacia al final, una primavera moderadamente seca y un noviembre con buena precipitación. El año 2012 tuvo más lluvia que el promedio, aunque con una escasa recarga en otoño, principio de invierno seco y luego lluvias suficiente para los cultivos. El año 2013 fue de precipitaciones menores al promedio con escasa recarga en otoño, invierno seco y una primavera con precipitaciones algo superior a lo normal que permitió en alguna medida la recuperación de los cultivos. Los años 2014, 2015 y 2016 tuvieron precipitaciones algo superior a lo normal con una buena distribución para el desarrollo de los cultivos.

El ANAVA de los 8 años en los que se logró información sobre el rendimiento en grano se muestra en la Tabla 3. El Cuadrado Medio del Error (CME) de los distintos años fue acompañando el promedio de los rendimientos, es decir que a medida que el rendimiento del año fue mayor el CME aumentó. Por el contrario, el coeficiente de variación fue mayor en los años de menor rendimiento medio.

Tabla 2. Precipitación mensual, evapotranspiración potencial y temperatura media mensual en Santa Rosa, La Pampa, Arg.

Table 2. Monthly rainfall, potential evapotranspiration and monthly average temperature in Santa Rosa, La Pampa, Arg.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total anual (mm)
Evapotranspiración potencial (mm.mes <sup>-1</sup> )	135,1	107,2	88,6	51,5	30,6	16,1	15,3	25,1	39,1	66,8	93,7	127,2	796
Precipitación media mensual (mm.mes <sup>-1</sup> )	87,9	74,3	96,8	56,1	32,3	14,9	20,7	22,8	45,1	72,2	81,9	98,8	704
2008	110,6	84,6	4,6	0	12,3	25,5	9,0	5,9	35,6	94,9	54,3	86,3	524
2009	3,2	38,1	70,4	2,2	21,8	0	5,1	0	53,9	8,0	72,4	103,3	378
2010	66,9	143,3	231,6	4,5	1,2	6,6	2,8	0	133,6	59,6	36,0	12,7	699
2011	170,8	47,0	70,2	140,2	8,6	8,8	28,0	11,5	3,8	62,3	126,1	42,1	719
2012	88,1	178,8	69,3	61,0	1,0	1,1	0	144,3	18,9	192,5	82,3	86,1	923
2013	20,5	71,3	63,5	37,6	5,1	0	10,5	4,9	64,0	91,7	73,9	61,6	505
2014	67,4	129,7	44,8	147,6	47,8	0,6	53,0	35,2	36,5	215,9	52,7	23,0	854
2015	99,2	92,0	105,2	112,8	25,2	1,4	11,5	10,6	62,7	88,4	73,6	145,7	828
2016	187,7	197,0	6,5	116,1	71,0	33,9	26,6	0	35,3	253,2	58,1	19,0	1004
													Promedio (C°)
Temperatura media mensual (°C)	23,2	22,2	19,7	15,4	11,4	8,2	7,7	9,7	12,4	15,8	19,2	22,0	15,6
2008	22,9	22,9	19,6	16,3	11,8	8,3	9,6	9,7	11,7	15,9	22,9	22,5	16,2
2009	24,3	24,2	22,2	18,0	12,6	8,4	7,5	12,9	11,1	15,9	18,7	20,9	16,4
2010	24,4	21,6	20,6	13,9	11,6	9,3	6,5	8,9	12,5	15,3	19,0	23,1	15,6
2011	22,5	21,6	19,6	15,9	12,0	7,7	7,9	8,8	14,0	15,3	21,3	23,0	15,8
2012	25,6	22,1	20,0	14,9	12,7	8,6	6,9	9,9	12,9	15,8	19,8	21,3	15,9
2013	23,3	22,2	17,1	17,1	11,9	9,5	8,1	10,0	11,2	16,7	20,4	25,5	16,1
2014	25,1	20,8	18,6	15,0	12,2	8,3	8,8	11,3	13,5	17,4	19,1	22,5	16,1
2015	23,8	22,2	21,8	17,0	13,4	9,6	9,0	11,2	11,4	12,6	18,5	22,5	16,1
2016	22,8	22,5	19,8	13,7	10,0	7,6	7,5	10,8	12,0	14,5	18,4	23,1	15,2

Fuente: Vergara y Casagrande (2012), período 1977-2011. Obs. :P.M.M.= Precipitación media mensual; T.M.M.= temperatura media mensual. ETP= evapotranspiración potencial para el lugar de estudio determinada por el método de Thornthwaite (1948).

El diseño en bloques estuvo justificado estadísticamente en los años 2008, 2010, 2013 y 2016. En los años 2011 y 2012 se justifica a un nivel de probabilidad de 10%, lo que es importante porque le resta variabilidad al CME (Tabla 3).

El factor “genotipo” mostró diferencias altamente significativas todos los años estudiados

con respecto al CME. El factor “fertilidad” fue significativo estadísticamente los años 2012 y 2016. La interacción “genotipo” por “fertilidad” fue significativa los años 2010, 2012 y 2016 (Tabla 3).

El efecto del ambiente sobre los genotipos se pudo valorar uniendo los ANAVA de todos los años en un análisis conjunto. Para ello, tal como



se describió en la metodología, se descartaron los años 2008 y 2009 debido a que su CME fue 5,22 veces y 56,4 veces menor, respectivamente, que el CME mayor obtenido en el año 2012. El que le siguió fue el CME del año 2011 que fue solo 2,32 veces menor que el CME del año 2012, cumpliendo con el criterio propuesto por Box (citado por Pimentel Gomes, 1978) quien menciona que el cociente entre el CM mayor y el CM menor no debe ser superior a 3 o 4 (Tabla 3).

En la Tabla 4 se vuelca el ANAVA de un grupo de experimentos analizado con el paquete estadístico INFOSTAT versión 2018 (Di Rienzo *et al.*, 2018). Se realizó con base en un modelo de series de experimentos, de acuerdo con el diseño experimental usado. Los factores “genotipo” y “fertilidad” fueron considerados como efectos fijos, en tanto que ambientes y las repeticiones, como efectos aleatorios.

El efecto del Año fue el que mayor proporción de la variabilidad aportó al ANAVA (68,7%). De menor magnitud fue la variabilidad debida al

genotipo (6,8%) y la interacción genotipo por ambiente el 12,8%. El factor “fertilidad” fue el de menor aporte a la variabilidad (2,2%, Tabla 4). Farshadfar *et al.* (2011), utilizando el modelo AMMI, encontraron también que la mayor proporción de la variación fue explicada por el ambiente, seguido por la IGA y el genotipo (que fue 5 veces menor que la IGA).

La estabilidad del rendimiento en grano fue estudiada por los modelos descriptos en materiales y métodos y el resultado de los parámetros se vuelcan en la Tabla 5.

Cada uno de los parámetros de estimación de la estabilidad seleccionados fue categorizado en tres niveles: estable (1), neutro (0) e inestable (-1), los que se pueden observar al final de la Tabla 5. Se les asignó valor 1 a los tres genotipos con mejores valores de estabilidad, valor -1 a los tres genotipos con valores indeseados y los cinco restantes se les asignó valor 0. Con la sumatoria de los niveles asignados de cada genotipo a través de todos los métodos, se realizó la clasificación

de los mismos. En la primera columna de datos están los rendimientos en grano promedio para los 10 ambientes analizados, que es el primer objetivo a lograr con el genotipo de cualquier especie. Los tres genotipos con mayor rendimiento medio fueron: el trigo pan Buck guaraní y los triticales Eronga 83 y la línea T830, que superaron los 3.500 kg.ha<sup>-1</sup>.

En la columna siguiente (Tabla 5) se analizó el CV<sub>i</sub> (Francis & Kannenberg, 1978). El CV<sub>i</sub> debe ser lo más bajo posible, entonces, se le asignó valor de 1 a los tres genotipos con menor valor,

Tabla 3. Análisis de la varianza año por año de los distintos tratamientos.  
Table 3. Analysis of variance year-by-year of the different treatments.

Año	C.V. (%)	F.V.	Bloque	Genotipo	Fert.	Gen. X Fert.	C.M. Error
2008	28,5	CM	164937	166804	59904	18178	43950
		F	3,75	3,8	1,36	0,41	
		P	0,015	0,0005	0,2474	0,9351	
2009	158,4	CM	7039	63930	8,91	5,03	4066
		F	1,73	15,72	0,0022	0,0022	
		P	0,1696	<0,0001	0,9628	>0,9999	
2010	11,7	CM	869532	2103901	641080	1103765	214359
		F	4,06	9,81	2,99	5,15	
		P	0,0106	<0,0001	0,0886	<0,0001	
2011	8,5	CM	254293	817405	1976	7493	98748
		F	2,58	8,28	0,02	0,08	
		P	0,0617	<0,0001	0,888	0,9999	
2012	10,4	CM	605614	1474961	20170695	623146	229426
		F	2,64	6,43	87,92	2,72	
		P	0,0571	<0,0001	<0,0001	0,0077	
2013	16,1	CM	2966553	1257579	232986	156043	192662
		F	15,4	6,53	1,21	0,81	
		P	<0,0001	<0,0001	0,2757	0,6199	
2015	11,5	CM	119366	736596	456336	351161	187339
		F	0,64	3,93	2,44	1,87	
		P	0,5939	0,0003	0,1236	0,0657	
2016	6,5	CM	338994	5962026	13120813	547631	105328
		F	3,22	56,6	124,57	5,2	
		P	0,0286	<0,0001	<0,0001	<0,0001	

C.V. = Coeficiente de variación; F.V. = Fuente de variación. Fert. = fertilidad; C.M.: Cuadrado medio

Tabla 4. Análisis del efecto ambiental como grupo de experimentos.

Table 4. Analysis of environmental effect as a group of experiments.

F.V.	S.C.	g.l.	C.M.	F	Valor-p
Año	433365369	5	86673073	112,72	<0,0001
Año>Bloque	11533705	15	768914	4,27	<0,0001
Genotipo	42598582	10	4259858	23,63	<0,0001
Fertilidad	13688220	1	13688220	75,93	<0,0001
Año x Var.	80920806	50	1618416	8,98	<0,0001
Año x Fert.	20935768	5	4187154	23,23	<0,0001
Var. x Fert.	4219200	10	421920	2,34	0,0118
Año x Var. x Fert.	23673957	50	473479	2,63	<0,0001
Error	68682899	381	180270		
Total	699618508	527			

encontrándose un genotipo de cada especie; ACA 601 (trigo pan), Concadoro (trigo candeal) y Eronga 83 (triticale). Este último parámetro que valora la estabilidad estática debería ser acompañado con alto rendimientos medio, condición que cumple Eronga 83.

Por medio del método de la varianza de Shukla (1972) los tres genotipos deseables fueron: el trigo pan Buck Baqueano, el trigo candeal Ciccio y el triticale Eronga 83.

El Índice de superioridad ( $P_i$ ) de Lin & Binns (1988) valora el cuadrado medio de la distancia entre la respuesta de un genotipo y el genotipo de máxima respuesta en un ambiente dado. Aquí los tres genotipos más estables fueron: el trigo pan Buck guaraní y los triticales Eronga 83 y la línea T830, que coinciden con los de mayor rendimiento medio. Este índice está muy asociado a la estabilidad dinámica o agronómica carácter buscado para una buena respuesta a la mejora en las condiciones ambientales (Temesgen et al., 2015).

El  $\sigma_{RR}$  (Desvío estándar de los rendimientos relativos) de Yau & Hamblin (1994), relativiza los rendimientos de cada ambiente a un valor de “100” estandarizando los ambientes. Los tres menores valores fueron para el genotipo de trigo pan ACA 601 y los genotipos de trigo candeal Ciccio y Concadoro. De estas, solamente el genotipo ACA 601 mostró un rendimiento medio mayor a la media general.

Con el modelo mixto AMMI se puede generar

un parámetro de estabilidad denominado VEP (valor de estabilidad promedio) propuesto por Purchase (1997). Se tomaron como más estables los tres genotipos de menor valor, el trigo pan ACA 601, el genotipo de trigo candeal Ciccio y el triticale Eronga 83.

El parámetro Índice de susceptibilidad al estrés (ISE) de Fischer & Maurer (1978), mostró que no hubo ningún genotipo altamente tolerante al estrés (valores menores a 0,5). Sin embargo, se tomó el criterio de considerar estables a tres genotipos con un ISE menor a 1,00. Hubo tres genotipos que fueron moderadamente tolerantes al estrés: ACA 601, y Abate dentro de los genotipos de trigo pan y el genotipo de trigo candeal Ciccio.

La categorización realizada de cada uno de los parámetros de estimación de la estabilidad seleccionados anteriormente en tres niveles permitió realizar una clasificación de los genotipos (Tabla 5). Con todos los valores 1, 0 y -1 obtenidos se realizó la sumatoria para cada genotipo (con la premisa de que la sumatoria dentro de cada parámetro de estabilidad fuera “0”) y se construyeron los siguientes rangos: de 4 a 6 estables (E), entre 2 y 3 moderadamente estables (ME), de -1 a 1 neutro (N); de -2 a -3 moderadamente inestables (MI) y de -4 a -6 inestables (I). Con esta categorización y clasificación se detectaron dos genotipos “estables”; ACA 601 (trigo pan) y Eronga 83 (triticale), “moderadamente estables”; Ciccio (trigo candeal); cuatro genotipos “neutros”: Trit. L830 (triticale); y los genotipos de trigo pan Buck baqueano, Baguette P13 y Buck guaraní, “moderadamente inestables” Bon. INTA Cariló (trigo candeal); y Concadoro (trigo candeal), mientras que se encontraron dos genotipos “inestables”, Abate (trigo pan) y Buck cristal (trigo candeal). Con el resultado alcanzado se puede observar que no hay una especie que se

Tabla 5. Parámetros de estabilidad para los 11 genotipos en los 10 ambientes y la categorización y clasificación de los genotipos.

Table 5. Parameters of stability for 11 genotypes in 10 environments and the categorization and classification of the genotypes.

Genotipo	RTO.	CV <sub>i</sub>	$\sigma_i^2$	P <sub>i</sub>	$\sigma_{RR}$	VEP <sub>AMMI</sub>	ISE	Clasific.
Abate	2944	52,83	1047563	1406616	35,46	1205	0,84	I
ACA 601	3372	51,67	136836	372742	23,71	558	0,94	E
Bag. P 13	3292	53,51	162763	416917	33,56	987	1	N
Baqueano	3160	53,98	78174	554616	29,18	652	1,01	N
Guaraní	3594	56,76	107086	116659	34,86	869	1	N
Cariló	3309	58,84	136511	338415	33,41	978	1,05	MI
Cristal	3082	64,41	378157	605540	32,07	1325	1,06	I
Ciccio	3011	56,02	67381	691573	18,42	378	0,98	ME
Concadoro	3135	49,06	110836	526126	9,29	1390	1,02	N
Eronga 83	3546	50,12	89284	126200	34,71	412	1,02	E
Trit 830	3870	54,67	146893	10205	189,49	709	1,04	N
Promedio	3301	54,72	223771	469601	43,11	860	1	

Genotipo	Asignación de categorías por parámetro: 1; estable, 0; neutro, -1; inestable							Sumatoria
Abate	-1	0	-1	-1	-1	-1	1	-4
ACA 601	0	1	0	0	1	1	1	4
Bag. P 13	0	0	-1	0	0	0	0	-1
Baqueano	0	0	1	0	0	0	0	1
Guaraní	1	-1	0	1	-1	0	0	0
Cariló	0	-1	0	0	0	0	-1	-2
Cristal	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-6
Ciccio	-1	0	1	-1	1	1	1	2
Concadoro	0	1	0	0	1	-1	0	1
Eronga 83	1	1	1	1	0	1	0	5
Trit 830	1	0	0	1	-1	0	-1	0
Promedio	0	0	0	0	0	0	0	0

Referencias: RTO. = Rendimiento en grano (kg.ha<sup>-1</sup>); CV<sub>i</sub> = Coeficiente de Variación (Francis & Kanennberg, 1978);  $\sigma_i^2$  = Varianza de Shukla (1972); P<sub>i</sub> = Índice de superioridad de Lin y Binns (1988);  $\sigma_{RR}$  = Desvío estándar del rendimiento relativo de Yau y Hamblin (1994); VEP<sub>AMMI</sub> = Valor de estabilidad promedio de AMMI; ISE = Índice de susceptibilidad a la sequía de Fischer y Maurer (1978). Categorías de estabilidad: de 4 a 6 estables (E), de 2 a 3 moderadamente estables (ME), de 1 a -1 neutro (N); de -2 a -3 moderadamente inestables (MI) y de -4 a -6 inestables (I).

pueda categorizar de estable o inestable, sino que en la clasificación se mezclan los genotipos de las diferentes especies.

Tal como lo observado por Zhang *et al.* (2017) en el cultivo de canola, los genotipos con altos rendimientos pueden presentar estabilidad. Se encontraron variedades con rendimientos

promedios superiores y estables y variedades con rendimientos promedios inferiores e inestables.

En la Figura 1 se observa que el  $\sigma_{RR}$  de Yau & Hamblin (1994) tuvo una estrecha asociación positiva con el rendimiento medio de los genotipos. Por el contrario, el  $S_i^2$  (Shukla, 1972)

y el  $P_i$  (Lin & Binns, 1988) estuvieron negativamente asociados al rendimiento medio y estrechamente asociados entre sí.

Los métodos de estabilidad estudiados generaron la clasificación general mostrada en la Tabla 5. Para identificar algún método que por sí solo manifieste el comportamiento general se realizaron las regresiones entre cada método y la sumatoria de la clasificación general de todos los métodos. Los dos métodos que mostraron mayores coincidencias con la ponderación media de estabilidad fueron: el VEP de AMMI y el  $CV_i$  (Figura 2). Los demás tuvieron nula asociación (datos no mostrados). Coincidente con este trabajo, los antecedentes bibliográficos analizados (Purchase *et al.*, 2010; Dolinassou *et al.*, 2016; Solomon *et al.*, 2018), mostraron una buena asociación entre el VEP de AMMI y un promedio de los métodos de estabilidad estudiados, aunque en estos antecedentes también encontraron una buena asociación con la  $\sigma_i^2$  (Varianza de Shukla, 1972), mientras en este trabajo no se encontró esa asociación.

### CONCLUSIONES

En respuesta a las hipótesis planteadas se arribó a las siguientes conclusiones:

a) La hipótesis de que las especies trigo candeal y triticale granífero mencionados en la bibliografía como más tolerante al estrés hídrico tendrán mayor estabilidad del rendimiento en grano que trigo pan, debió ser rechazada porque existió un genotipo de trigo pan (ACA 601) considerado

estable al igual que el genotipo de triticale Eronga 83.

b) La segunda hipótesis fue aceptada ya que se detectó variabilidad genética en cuanto a estabilidad del rendimiento en grano dentro

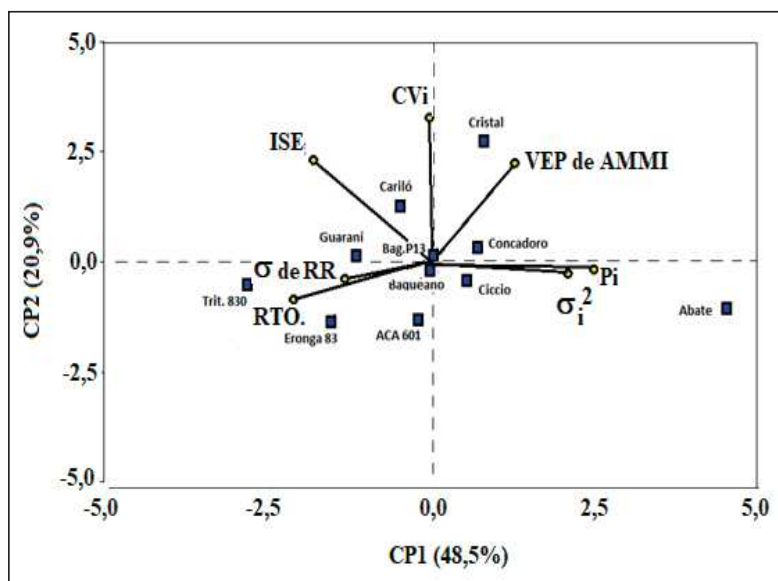


Figura 1. Asociación entre los distintos métodos utilizados para determinar estabilidad de rendimiento en grano.

Figure 1. Association between the different methods used to determine the stability of grain yield.

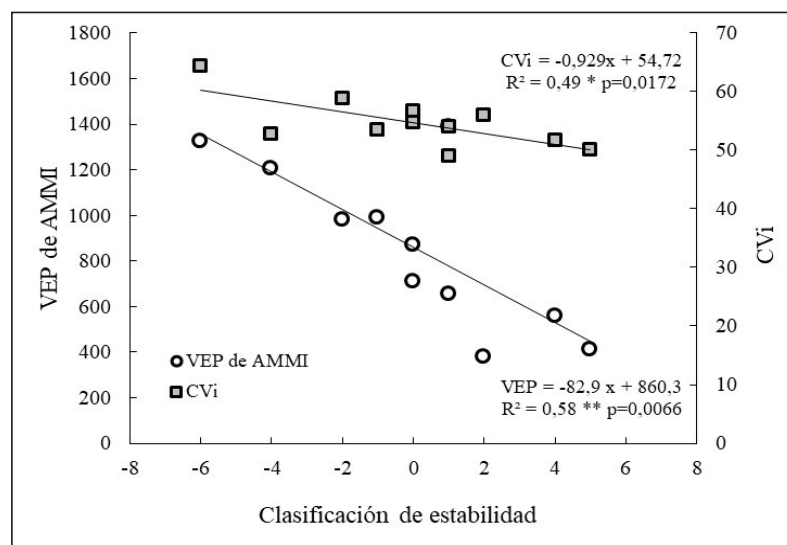


Figura 2. Asociación entre la clasificación realizada con todos los métodos de estabilidad y el  $CV_i$  (Francis & Kannenberg, 1978) el VEP de AMMI (Purchase, 1997).

Figure 2. Association between the classifications made with all stability methods's and the  $CV_i$  (Francis & Kannenberg, 1978) the VEP of AMMI (Purchase, 1997).

década especie. En trigo pan se encontraron genotipos estables, neutros e inestables.

c) La tercera hipótesis fue rechazada debido a que existieron genotipos de mayor rendimiento a la media general y estables (Eronga 83 y ACA 601) y genotipos de menor rendimiento a la media general e inestables (Abate y Buck Cristal).

## AGRADECIMIENTOS

Al personal del Campo Experimental de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

A la cátedra de Agrometeorología por los datos aportados del observatorio meteorológico de la Facultad de Agronomía de la UNLPam.

Fuente de Financiación: Universidad Nacional de la Pampa.

## BIBLIOGRAFÍA

- Allard, R. W., & Bradshaw, A. D. (1964). Implications of genotype-environmental interactions in applied plant breeding. *Crop Science*, 4, 503-508.
- Annicchiarico, P. (1997). Joint regression vs AMMI analysis of genotype-environment interactions for cereals in Italy. *Euphytica*, 94, 53-62.
- Araus, J. L., Slafer, G. A., Royo, C. & Serret, M. D. (2008). Breeding for yield potential and stress adaptation in cereals. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 27, 1-36.
- Balzarini, M. (2003). Introducción al análisis multivariado. Notas de clases. Maestría en estadística aplicada. Córdoba, Argentina: Universidad Nacional de Córdoba.
- Becker, H. C. (1981). Correlations among some statistical measures of phenotypic stability. *Euphytica*, 30, 835-840.
- Bozzini, A. (1988). Origin, distribution and production of durum wheat in the world. En: G. Fabriani. & C. Lintas (Eds), Durum wheat: chemistry and technology (pp. 1-16). St. Paul, United States: Asoc. Cereal Chemist Inc.
- Ceccarelli, S., Nachit, M. M., Ortiz Ferrara, G., Mekni, M. S., Tahir, M., van Leur, J. & Srivastava, J. P. (1987). Breeding strategies for improving cereal yield and stability under drought. En: J.P. Srivastava, E. Porceddu, E. Acevedo y S. Varma (Eds.). Drought tolerance in winter cereals (pp. 101-114). Chichester: Wiley.
- Chenu, K. (2015). Characterizing the crop environment - nature, significance and applications. *Crop Physiology*, 321-348. doi:10.1016/b978-0-12-417104-6.00013-3
- Cooper, M., Stucker, R. E., DeLacy, I. H., & Harch, B. D. (1997). Wheat breeding nurseries, target environments, and indirect selection for grain yield. *Crop Science*, 37, 1168-1176.
- Crossa, J. (1990). Statistical analyses of multilocations trials. *Advances in Agronomy*, 44, 55-85.
- Crossa, J., Gauch, H. G. & Zobel, R. W. (1990). Additive main effects and multiplicative interaction analysis of two international maize cultivar trials. *Crop Science*, 30, 493-500.
- Crossa, J., Wescott, B., & González, C. (1988). Analysing yield stability of maize genotypes using a spatial model. *Theoretical and Applied Genetics*, 75, 863-868.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2018). InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Recuperado de <http://www.infostat.com.ar>
- Dolinassou, S., Noubissié Tchiagam, J. B., Djiranta Kemoral, A., & Njintang Yanou, N. (2012). Genotype × environment interaction and kernel yield-stability of groundnut (*Arachis hypogaea* L.) in Northern Cameroon. *Journal Applied Biology & Biotechnology*, 4, 1-7.
- Eberhart, S. A., & Russell, W. A. (1966). Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 6, 36-40.
- Evans, L. T. (1993). Crop evolution, adaptation and yield. New York, United States: Cambridge University Press.
- Farshadfar E., Mahmodi, N., & Yaghotipoor, A. (2011). AMMI stability value and simultaneous estimation of yield and yield stability in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Australian Journal of Crop Science*, 5, 1837-1844.
- Fernández, M. A., Zingaretti, O., Brevedan, R. E., Mirassón, H. R., Faraldo, M. L., Ferrero, C., deDurana, J. L., & Fioretti, M. E. (2008). Efecto de la época de siembra y el genotipo sobre el rendimiento de trigo y sus componentes en el oeste de la región semiárida pampeana central. VII Congreso Nacional de Trigo. Santa Rosa, La Pampa, Argentina.
- Finlay, K. W., & Wilkinson, G. N. (1963). The analysis of adaptation in plant-breeding programme. *Australian Journal of Agricultural Research*, 14, 742-754.
- Fischer, R. A., & Maurer, R. (1978). Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield response. *Australian Journal of Agricultural Research*, 29, 897-907.
- Francis, T. R., & Kannenberg, L. W. (1978). Yield stability studies in short-season maize. 1. A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian Journal of Plant Science*, 58, 1029-1034.
- Goyal, A., Beres, B. L., Randhawa, H. S., Navabi, A., Salmon, D. F., & Eudes, F. (2011). Yield stability analysis of broadly adaptive triticale germplasm in southern and central Alberta, Canada, for industrial end-use suitability. *Canadian Journal of Plant*

- Science*, 91, 125-135.
- Hawkesford, M. J., Araus, J. L., Park, R., Calderini, D., Miralles, D., Shen, T., Zhang, J., & Parry, M. A. J. (2013). Prospects of doubling global wheat yields. *Food and Energy Security*, 2, 34-48.
- Hede, A. R. (2000). A new approach to triticale improvement. En: Research highlight of the CIMMYT wheat program, 1999-2000. p. 21-26.
- León, H. C. & Becker, C. (1988). Repeatability of some statistical measures of phenotypic stability - correlations between single year results and multi year's results. *Plant Breeding*, 100, 137-142.
- Lin, C. S., & Binns, M. R. (1988). A superiority measure of cultivar performance for cultivar x location data. *Canadian Journal of Plant Science*, 68, 193-198.
- Lin, C. S., Binns, M. R. & Lefkovich, L. P. (1986). Stability analysis: where do we stand?. *Crop Science*, 26, 894-900.
- Martre, P., Quilot-Turion, B., Luquet, D., Ould-Sidi Memmah, M., Chenu, K. & Debaeke, P. (2015). Model-assisted phenotyping and ideotype design. *Crop Physiology*. doi: 10.1016/B978-0-12-417104-6.00013-3
- Petersen, R. G. (1994). Agricultural field experiments. Design and analysis. New York, United States: Marcel Dekker, Inc.
- Pimentel Gomes, F. (1978). Curso de estadística experimental. Buenos Aires, Argentina: Hemisferio Sur.
- Purchase, J. L. (1997). Parametric analysis to describe G×A interaction and yield stability in winter wheat. (Ph.D. Thesis). Dep. of Agronomy, Faculty of Agriculture, Univ. of the Orange Free Stage, Bloemfontein, South Africa.
- Purchase, J. L., Hatting, H., & Vandeventer, C. S. (2000). Genotype × environment interaction of winter wheat (*Triticum aestivum* L.). In South Africa: II. Stability analysis of yield performance. *South African Journal Plant Soil*, 17, 101-107.
- Rosielle, A. A., & Hamblin, J. (1981). Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*, 21, 943-946.
- Sadras, V. O., & Richards, R. A. (2014). Improvement of crop yield in dry environments: benchmarks, levels of organization and the role of nitrogen. *Journal of the Society of Experimental Botany*, 65, 1981-1995.
- Santana, J. C. F., Cavalcanti, F. B., & Dos Santos, E. O. (1983). Parâmetros de estabilidade na comparação de cultivares de algodoeiro herbáceo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 18, 261-267
- Semenov, M.A., Stratonovitch, P., Alghabari, F., & Gooding, M. J. (2014). Adapting wheat in Europe for climate change. *Journal of Cereal Science*, 59, 245-256.
- Shukla, G. K. (1972). Some statistical aspects of partitioning genotype-environment components of variability. *Heredity*, 29, 237-245.
- Singh, A. G., Saini, L., Saini, H. & Sharma, A. K. (2017). Estimation of stability parameters for seed yield and its components in triticale and wheat genotypes under optimum and stress environments. *International J. Chemical Studies*, 5, 708-712.
- Snedecor, G. W. & Cochran, W. G. (1980). Statistical methods. 7th ed. Iowa, United States: State University Press.
- Soil Survey Staff. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. Cap. 12: Molisoles. Dpto. Agric. de USA-Serv. Conservación Rec. Nat. (12nd ed.), USDA
- Solomon, T., Shewaye, Y., Zegeye, H., Asnake, D., Tadesse, Z., & Girma, B. (2018). Performance evaluation of advanced bread wheat genotypes for yield stability using the AMMI stability model. *Journal of agricultural research*, 3, 1-7.
- Steel, R.G.D. & Torrie, J. H. 1989. Bioestadística: principios y procedimientos. México D.F.: Mc Graw-Hill/ Interamericana.
- Temesgen, T., Kenehi, G., Sefera, T., & Jarso, M. (2015). Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal*, 3, 258-268.
- Ugarte, C., Calderini, D. F., & Slafer, G. A. 2007. Grain weight and grain number responsiveness to pre anthesis temperature in wheat, barley and triticale. *Field Crops Research*, 100, 240-248.
- Vergara, G. T., y Casagrande, G. A. (2012). Estadísticas agroclimáticas de la Facultad de Agronomía, Santa Rosa, La Pampa, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía UNLPam*, 22, 1-78.
- Villegas, D., Casadesus, J., Atienza, S., Martos, V., Maalouf, F., Karam, F., Aranjuelo, I., & Nogues, S. (2010). Tritordeum, wheat and triticale yield components under multi-local Mediterranean drought conditions. *Field Crops Research*, 116, 68-74.
- Yan, W., Kang, M. S., Ma, B., Woods, S., & Cornelius, P. L. (2007). GGE biplot vs. AMMI analysis of genotype-by-environment data. *Crop Science*, 47, 641-653.
- Yates, F., & Cochran, W. G. 1938. The analysis of groups of experiments. *The Journal of Agricultural Science*, 28, 556-580.
- Yau, S. K., & Hamblin, J. (1994). Relative yield as a measure of entry performance in variable environments. *Crop Science*, 34, 813-817.
- Zadoks, J.C., Chang, T. T., & Konzak, C. F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Research*, 14, 415-421.
- Zhang, H., Berger, J. D., & Herrmann, C. (2017). Yield stability and adaptability of canola (*Brassica napus* L.) in multiple environment trials. *Euphytica*, 213(155), 1-21.
- Zobel, R.W., Wright, M. J., & Gauch, H. G. (1988). Statistical analysis of yield trial. *Agronomy Journal*, 80, 388-393.