

# El norte también existe

## Adaptación local y evaluación de cultivares en los cultivos de invierno

NOTA TÉCNICA

Ariel Castro\*

### LA ADAPTACIÓN LOCAL Y LA EVALUACIÓN DE CULTIVARES

El comportamiento específico de una variedad en un ambiente particular es el producto de numerosos componentes. En primer lugar, está el efecto de la variedad, lo que llamaríamos valor genético, que mide o estima su comportamiento independiente de las condiciones ambientales. Por otro lugar, está el efecto del ambiente, que podríamos describir como las variaciones de comportamiento que el ambiente específico que estamos analizando provoca en todas las variedades. Por último, cuando se evalúan variedades en un conjunto de ambientes, es normal observar cambios en el comportamiento relativo de éstas en los diferentes ambientes. Esta respuesta diferencial es denominada interacción genotipo ambiente (IGA), y puede ser estudiada, descrita e interpretada mediante herramientas estadísticas. Esta interacción puede ser explicada en términos de diferencias entre genotipos en: a) la captura de recursos, la eficiencia en su uso o el patrón de partición del rendimiento económico, o b) el escape o la resistencia/tolerancia/susceptibilidad a los riesgos presentes en el ambiente. La suma de todos esos factores nos da el comportamiento particular de la variedad en el ambiente, y la comparación entre variedades en cuanto a su comportamiento nos permite comparar a éstas con respecto a su adaptación local.

La importancia del efecto de una variedad resulta claro, sobre todo en términos de mejoramiento genético, que no es otra cosa que la búsqueda continua del "mejor" genotipo. Esto hace que en muchos casos se considere que la IGA puede ser una fuente

de error o sesgo en la determinación del mérito de un genotipo, y por tal razón, los mejoradores tratan, en general, de limitar su incidencia. Lo que no siempre queda tan claro es la importancia de la adaptación local, su valor fenotipo, es decir, la acumulación del efecto de la variedad, el efecto del ambiente y la interacción entre ambos. ¿Por qué es importante? Por la simple razón de que el agricultor no cosecha "efectos de variedad" sino el fenotipo de esa variedad en el ambiente donde sembró su cultivo. Es decir que cosecha fenotipos. Desde este punto de vista, conocer y poder predecir el comportamiento de una determinada variedad en sus condiciones de producción pasa a tener una importancia mucho mayor.

Un elemento importante a considerar es que la IGA puede ser positiva o negativa. Es decir, en un determinado ambiente un genotipo puede comportarse mejor o peor de lo que la combinación del efecto del ambiente y de la variedad hacía prever. Es claro que conocer esa desviación o poder predecirla puede ser de enorme importancia para la toma de decisiones.

La IGA también es un componente de la variación, parcialmente heredable, y que puede ser explotado. ¿Cómo? Básicamente de dos maneras: a través de la selección por adaptación específica, y a través de la búsqueda de combinaciones favorables, como elegir los ambientes mejores si la variedad a sembrar ya está definida o mediante la elección de la variedad que presenta una mejor interacción con el tipo de ambiente en el que vamos a sembrar. Si bien la chacra puede considerarse como algo relativamente fijo, es posible modificar el ambiente a través del ajuste de las prácticas de manejo. Un ejemplo claro puede ser la época de siembra.

La determinación del valor agronómico de una variedad se realiza, en general, a través de redes de experimentos de evaluación que abarcan diferentes localidades y diferen-

tes años. Los ambientes utilizados buscan conformar un cuadro representativo de las situaciones de producción en que se utilizarán los cultivares. En teoría, mientras más situaciones sean incluidas en la red, más representativa será. Sin embargo, la evaluación de cultivares es costosa por lo que se debe tratar de utilizar los recursos de una manera eficiente, combinando calidad de información con costos controlados.

En los cultivos de invierno en Uruguay, la evaluación de cultivares se basa en una red de ensayos conducida por el Programa Nacional de Evaluación de Cultivares de INIA, en el marco del convenio INIA-INASE. Dicha red constituye una fuente de información de gran importancia para los técnicos y productores a la hora de definir patrones de IGA y definir tanto la elección del cultivar como la selección, dentro de las posibilidades, del ambiente en que sembrarlo.

Trabajos realizados en el país con cebada (Ceretta *et al.*, 1999) y arroz (Ibáñez, com. pers.) muestran que el efecto ambiente es la principal fuente de variación en el estudio de series históricas de evaluación y, dentro del efecto ambiental, el componente de efecto año supera claramente al componente localidad. Esto puede llevar a relativizar la importancia de los componentes de interacción genotipo x ambiente y, en particular, la existencia de patrones de adaptación regional de los cultivares. En función de estos resultados se puede concluir que una forma de mejorar la eficiencia de la evaluación es maximizar el número de años y no tanto el número de localidades. Desafortunadamente existe una limitación práctica: los cultivares se evalúan para determinar su utilidad en producción. Si demoramos su utilización, minimizamos o demoramos su posible aporte, y por otro lado, aumentamos los costos o demoramos la concreción de utilidades para su obtentor.

\* Ing. Agr. Dpto. de Producción Vegetal, EEMAC.

De todos modos, una consecuencia de los resultados anteriores fue, al menos en trigo, una reducción en el número de localidades incluidas en la red (La Estanzuela y Young). En el caso de cebada esta reducción está limitada por la inclusión de ensayos de evaluación en los campos experimentales de los participantes de la Mesa Nacional de la Cebada (Maltería Oriental S.A., Maltería Uruguay S.A. y Facultad de Agronomía).

El objetivo de este artículo es analizar la importancia de la adaptación local y el rol de la evaluación de cultivares en el proceso de toma de decisiones y analizar la potencialidad y las limitaciones de la información hoy disponible. Para eso se utilizarán tres series de datos provenientes de la evaluación nacional (dos de cebada y una de trigo).

## MÉTODOS DE ANÁLISIS DE LA INTERACCIÓN GENOTIPO AMBIENTE

Un método comúnmente usado para modelar la interacción estadística es la regresión del comportamiento del cultivar por el promedio de los distintos cultivares en cada ambiente. La variación en las pendientes de la regresión explica, en general, una proporción pequeña de las interacciones complejas, por lo que modelos más elaborados han sido desarrollados para describir la IGA. La disponibilidad generalizada de computadoras de alta velocidad y gran capacidad de análisis eliminó la principal limitante del uso de este tipo de modelos. El uso del análisis de componentes principales de la interacción o modelos de efectos principales aditivos e interacción multiplicativa (AMMI por sus siglas en inglés) ha servido a ese propósito (Gauch, 1992). Estos modelos remueven los efectos principales (ambiente y variedad) y luego descomponen la matriz de interacción en sus componentes principales generando una nueva serie de variables que explican una parte sustantiva de la varianza debida a la IGA. En los casos en que se dispone de información adicional sobre el ambiente, los cultivares o ambos, la IGA puede ser modelada directamente mediante uso de regresión factorial o regresión de cuadrados mínimos parciales. La información obtenida con modelos AMMI puede ser representada gráficamente utilizando los llamados biplots en los que se presentan los valores para variedades y ambientes de los componentes prin-

cipales de la interacción. Estas herramientas permiten visualizar en una representación gráfica e intuitiva las interacciones positivas y negativas entre ambientes y cultivares así como los grupos de ambientes o de cultivares que presentan patrones de interacción similares. Ambientes ubicados en dirección parecida respecto al origen presentan un patrón de interacción similar. Y cultivares ubicados en la misma región del biplot que un determinado ambiente presentan una adaptación específica a dicho ambiente (Figuras 1, 2 y 3).

En el presente trabajo se analizaron dos series de datos pertenecientes a la evaluación nacional de cultivares de cebada correspondientes a los años 1997-1998 y 2002-2003 (Vilaró *et al.*, 1999; Castro *et al.*, 2004a) y una serie de datos correspondiente a la evaluación nacional de cultivares de trigo (Trigo ciclo intermedio, 2002-2003) (Castro *et al.*, 2004b) mediante el método AMMI, a los efectos de estudiar la IGA.

### CASO 1: EVALUACIÓN DE CULTIVARES DE CEBADA 1997-1998

La primera serie de datos analizada corresponde a la evaluación de cultivares de cebada con dos o más años de evaluación, en el período 1997-1998. Se incluyeron en el análisis sólo los cultivares presentes en todos los ensayos. La serie comprendió, por tanto, un total de 17 cultivares y 15 ambientes (combinaciones de localidad, época de siembra y año). La matriz de interacción genotipo x ambiente (los residuales luego de eliminarse la media general y los efectos de ambiente y variedad) fue descompuesta en sus componentes principales utilizando el procedimiento de SVD (Single Value Decomposition) (Vargas y Crossa, 2000). Los resultados para los dos primeros ejes, correspondientes a los componentes principales 1 y 2, representan un 56% de la IGA (Figura 1).

La representación gráfica permite ver un agrupamiento de ambientes y de variedades siguiendo un patrón que apoya el concepto de la existencia de patrones de adaptación regionales. Si se analizan los ambientes, se observa que aquellos correspondientes a la localidad La Estanzuela se ubican en la misma región de la gráfica, claramente separados del resto. Lo mismo ocurre con los am-

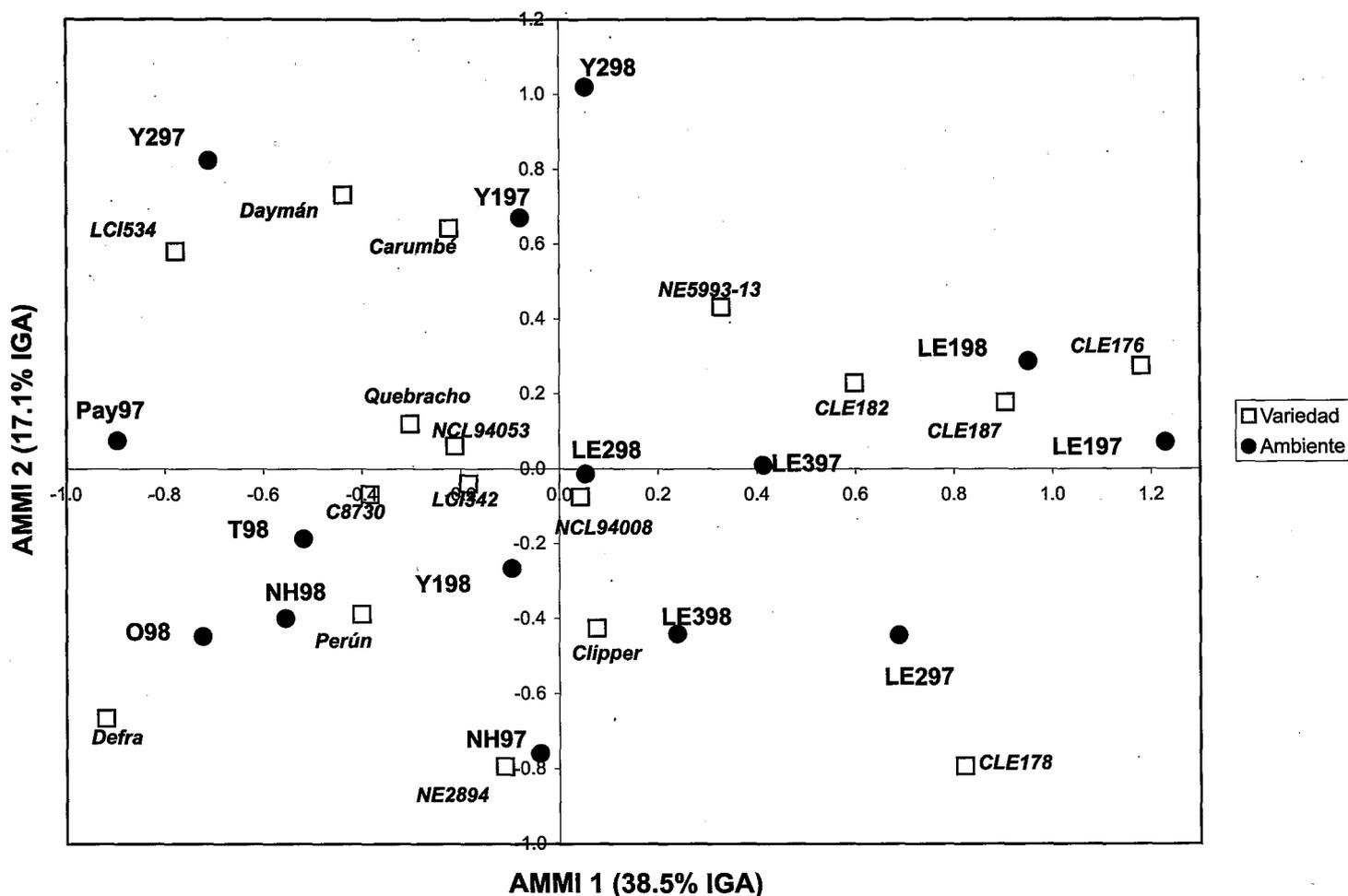
bientes correspondientes a la región Norte (Young y Paysandú), con la excepción de la primera época de 1998 en Young (Y198). Los demás ambientes, independientemente de su ubicación geográfica, ocupan una región diferente de la gráfica.

¿Qué significa esto en términos prácticos? Que en la serie de datos analizada, aquellos cultivares que presenten una adaptación diferencial a los ambientes de La Estanzuela presentarán una adaptación de signo contrario (en términos generales) en los ambientes restantes. Otra forma de ver el resultado del análisis es que cada uno de los grupos de ambientes considerados nos aporta información específica y diferente respecto a los patrones de adaptación local de los cultivares estudiados. Dicho de otro modo: cada grupo de ambientes aporta información y por tanto justifica su inclusión en la evaluación.

El análisis de los valores correspondientes a los cultivares muestra también patrones de adaptación que pueden ser asociados a su origen. Es así que los cultivares provenientes del programa de La Estanzuela (CLE) muestran una interacción positiva con los ambientes de La Estanzuela, es decir presentan una adaptación diferencial a la región donde fueron seleccionados (esto en términos generales, dado que el programa de INIA no sólo tiene ensayos en La Estanzuela). Por otra parte tres cultivares originarios de North Dakota State University (los cvs. Carumbé y Daymán y la línea LCI 534) muestran una clara adaptación a los ambientes del norte. Las altas temperaturas al final del ciclo en su ambiente de origen pueden explicar esta adaptación. Cultivares europeos como Defra y Perún también muestran un patrón de adaptación diferencial que puede asociarse a un origen similar: ambas son variedades originarias de Europa Central.

### CASO 2: EVALUACIÓN DE CULTIVARES DE CEBADA 2002-2003

La segunda serie de datos analizada corresponde a la evaluación de cultivares de cebada con dos o más años de evaluación en el período 2002-2003. Al igual que en el ejemplo anterior sólo se incluyeron en el análisis los cultivares presentes en todos los ensayos. La serie comprendió 11 cultivares y 10 ambientes. La matriz de interacción genotipo x ambiente fue analizada de la mis-



**Figura 1.** Biplot de rendimiento en grano para los dos primeros ejes de la interacción genotipo x ambiente (IGA) para los datos de cebada de 1997 y 1998. Las abreviaturas para los ambientes son LE: La Estanzuela, Y: Young, Pay: Paysandú, NH: Nueva Helvecia, T: Tarariras, O: Ombúes de Lavalle. Las cifras 97 o 98 corresponden al año del ensayo, mientras que en el caso de LE e Y las cifras 1, 2 o 3 antes del año corresponden a la fecha de siembra (1: primera época, 2: segunda época, 3: tercera época). La fracción de la interacción explicada por cada componente se detalla en el eje correspondiente.

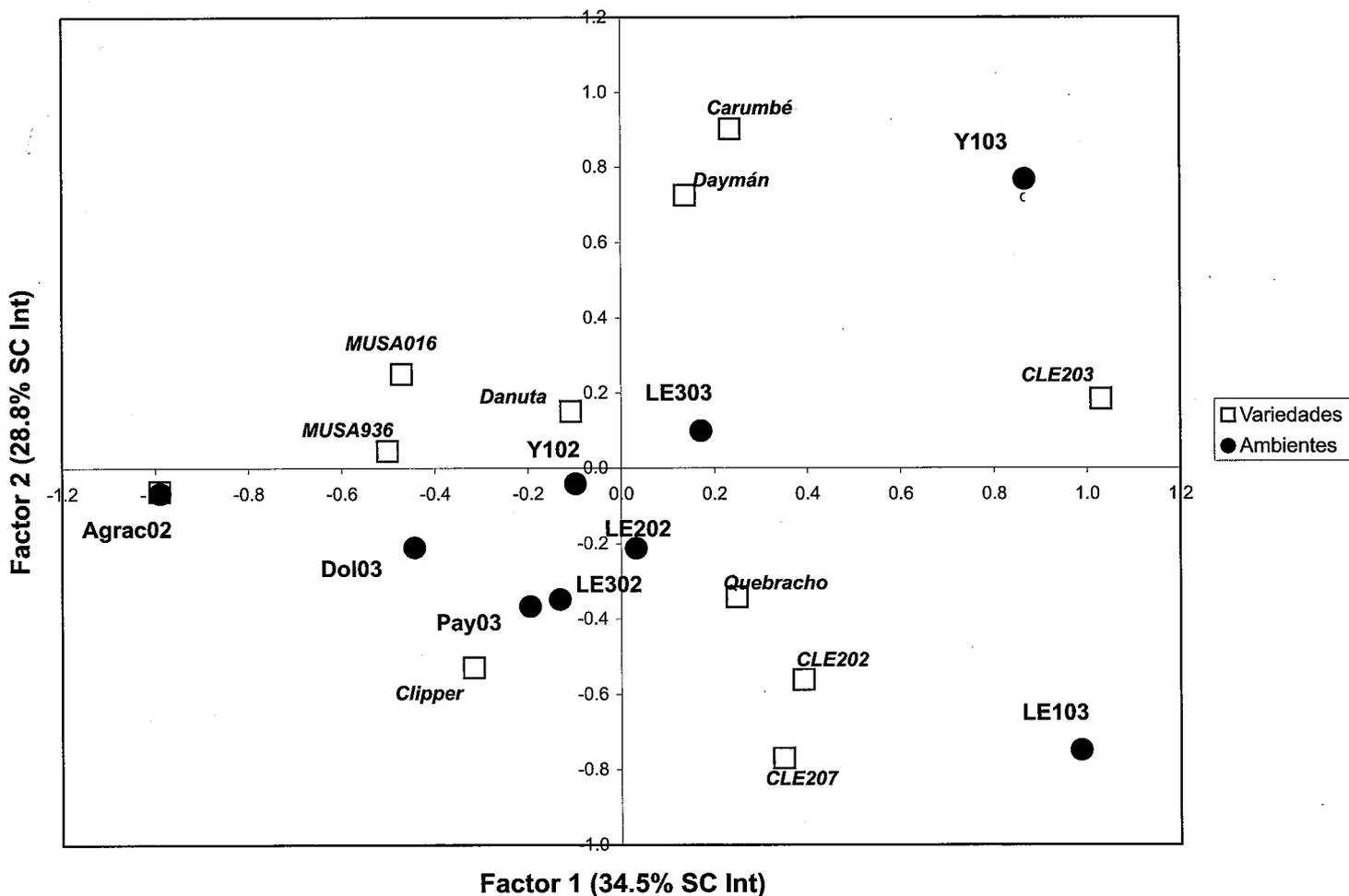
ma manera que en el caso 1 y los resultados para los dos primeros ejes, que representan un 63% de la IGA, se presentan en la Fig. 2.

El análisis de la Figura 2 no permite, a diferencia del caso anterior, discernir agrupamientos por regiones geográficas bien definidos. Por el contrario, la mayoría de los ambientes se ubican en la zona central, cercanos al origen, lo que puede asociarse con un componente de interacción reducido. Esto no elimina cierta asociación geográfica (el caso de Agraciada y Nueva Helvecia, por ejemplo) pero destaca el impacto de los ambientes que podríamos llamar extremos en términos de interacción (La Estanzuela y Young, primera época 2003, Agraciada 2002). Es importante destacar que en la ma-

yoría de los casos no parece posible identificar a priori cuáles serán esos ambientes extremos. En ese sentido, la comparación con la serie anterior confirma la singularidad (y por tanto la importancia) de las épocas tempranas en La Estanzuela. De alguna manera estos ensayos presentan un aporte específico de información, probablemente asociado a las características particulares del ensayo como calidad de chacra, estructura del suelo, condiciones de siembra temprana en zona de temperaturas menos extremas, etc. Lo mismo puede afirmarse respecto a los ensayos en localidades diferentes a Young y La Estanzuela. La Figura 2 muestra que, al igual que en el ejemplo anterior, estos ambientes se ubican en un cuadrante diferente. Es decir

que aportan otra información, diferente y potencialmente tan valiosa como la aportada por los ensayos de La Estanzuela y Young.

En cuanto a los cultivares, al igual que en el caso 1, es posible detectar un patrón asociado al origen de los materiales. Cultivares y líneas de origen similar (MUSA936 y MUSA016, Carumbé y Daymán, líneas CLE) tienden a agruparse, lo que reflejaría el efecto de determinados criterios comunes de selección. La separación entre orígenes parecería sugerir una cierta complementariedad entre programas, lo que resulta interesante desde un punto de vista general.



**Figura 2.** Biplot de rendimiento en grano para los dos primeros ejes de la interacción genotipo x ambiente (IGA), para los datos de cebada de 2002 y 2003. Las abreviaturas para los ambientes son LE: La Estanzuela, Y: Young, Pay: Paysandú, Agrac: Colonia Agraciada, Dol: Dolores. Las cifras 02 o 03 corresponden al año del ensayo, mientras que en el caso de LE y Y las cifras 1, 2 o 3 antes del año corresponden a la fecha de siembra (1: primera época, 2: segunda época, 3: tercera época). La fracción de la interacción explicada por cada componente se detalla en el eje correspondiente. Sugerencia: insertar la Figura 2 de la misma forma que la Figura 1 y la Figura 3, luego de la introducción del texto.

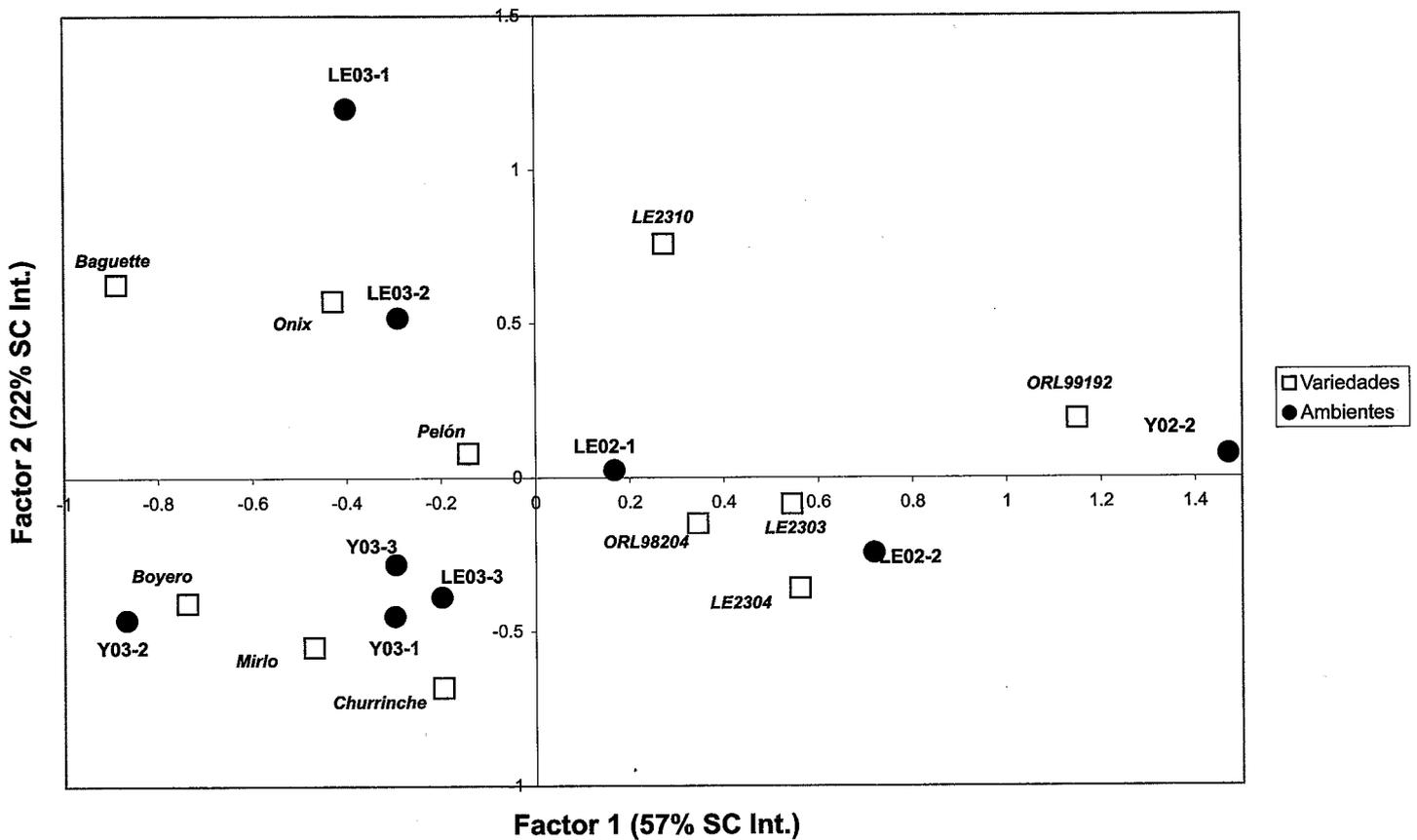
### CASO 3: EVALUACIÓN DE CULTIVARES DE TRIGO DE CICLO INTERMEDIO 2002-2003

La tercera serie de datos analizada corresponde a la evaluación de cultivares de trigo de ciclo intermedio con dos o más años de evaluación en el período 2002-2003. Al igual que en los ejemplos anteriores sólo se incluyeron en el análisis los cultivares presentes en todos los ensayos. La serie comprendió 11 cultivares y 9 ambientes. La matriz de interacción genotipo x ambiente fue analizada de la misma manera que en el caso 1 y los resultados para los dos primeros ejes, que representan un 79% de la IGA, se pre-

sentan en la Figura 3.

En el caso de esta serie, el agrupamiento de ambientes no sigue un patrón geográfico sino de año: todos los ensayos correspondientes a 2002 se ubican a la derecha y los correspondientes a 2003, a la izquierda. En otras palabras, el eje 1 separó por ese criterio. El segundo eje afectó sólo a los ensayos de 2003 y, en ese caso, los separó en gran medida por ubicación geográfica. La separación por año puede explicarse por las condiciones ambientales altamente contrastantes: 2002 tuvo graves excesos hídricos y problemas sanitarios (en particular fusariosis de espiga) mientras que en 2003 se dieron condiciones casi óptimas para el desarrollo de los cultivos.

La ubicación de los cultivares en la figura permite detectar varios elementos de interés. En primer lugar a nivel de genotipos provenientes del programa de INIA hay una separación entre los materiales más antiguos que conforman un grupo a la izquierda (cvs. E. Pelón, I. Boyero, I. Mirlo e I. Churrinche) y las líneas más avanzadas que se ubican a la derecha que indica una evolución dentro de éste programa. Es posible que esto indique no tanto una "adaptación" a condiciones desfavorables, sino una capacidad de tolerarlas mejor. El estudio de los comportamientos medios de los cultivares (Cuadro 1) muestra que, independientemente de esa tolerancia a condiciones desfavorables (o tal vez asociado a eso), las líneas más nuevas de



**Figura 3.** Biplot de rendimiento en grano para los dos primeros ejes de la interacción genotipo x ambiente (IGA) para los datos de trigo de ciclo intermedio de 2002 y 2003. Las abreviaturas para los ambientes son LE: La Estanzuela, Y: Young. Las cifras 02 o 03 corresponden al año del ensayo, mientras que las cifras 1, 2 o 3 antes del año corresponden a la fecha de siembra (1: primera época, 2: segunda época, 3: tercera época). La fracción de la interacción explicada por cada componente se detalla en el eje correspondiente.

INIA son de comportamiento superior a los cultivares que las precedieron. El agrupamiento de dos líneas ORL y dos líneas avanzadas de INIA junto con los ambientes de 2002 se asocia a dicho comportamiento. Por otra parte el cultivar Baguette aparece como uno de los genotipos extremos, lo cual resulta razonable considerando las características diferenciales de dicho cultivar, que fueran ampliamente difundidas cuando su liberación.

### LA EVALUACIÓN COMO FUENTE DE INFORMACIÓN

Algunas conclusiones generales pueden sacarse del análisis de los tres casos presentados, en particular en lo que refiere a la importancia de los diversos ambientes incluidos en el análisis y la importancia de los patrones de adaptación local.

En primer lugar es importante destacar la existencia de patrones de adaptación geo-

gráfica en la mayoría de las situaciones. En el primer caso los patrones son claros, en el segundo se observa en los ensayos "no INIA" -por llamarlos de alguna manera- y en el tercer caso por debajo del efecto año (asociado a condiciones ambientales muy particulares) surge también un patrón regional claro. ¿Contradice esto lo señalado en trabajos anteriores respecto a la predominancia del efecto año sobre el efecto localidad? De ninguna manera: si estudiamos todos los casos, vemos que no surge un patrón constante de efectos locales, sino que estos varían con los años. Pero en cada serie de datos estudiada, la inclusión de ambientes diferentes, en particular los que identificábamos como extremos, aportaba información de gran riqueza.

En segundo lugar, y asociado a lo señalado en el párrafo anterior, el patrón de comportamiento de las variedades parece más consistente que el de los ambientes. Esto, desde el punto de vista práctico es sumamente positivo: si algo podemos predecir es la variedad que va a ser sembrada, y si su patrón

de adaptación es relativamente consistente, entonces al menos una parte de la incertidumbre puede ser eliminada o al menos reducida.

En tercer lugar, es claro que cada ambiente o grupo de ambientes contribuye al conocimiento general y su eliminación puede empobrecer la calidad de la información disponible. Es consistente que en casi todas las situaciones, las siembras en La Estanzuela, en particular las tempranas, representan un aporte específico de información que otros ambientes no emulan. Puede discutirse la representatividad de las situaciones de chacra de dicha estación experimental, pero la singularidad de su aporte es in cuestionable. Por otra parte es indudable que el norte existe, y no sólo existe sino que aporta información diferente y contrastante con la de otros ambientes.

Si dejáramos la discusión aquí podríamos concluir que la decisión de reducir el número de localidades en la evaluación de trigo a La Estanzuela y Young es correcta

pues estamos abarcando las situaciones más contrastantes. ¿Y qué ocurre con los demás ambientes? ¿Es la evaluación de cebada ineficiente, al incluirlos? La comparación de los casos de cebada con los de trigo muestra que esto no es así. En cebada, para ambas series, la validez de la inclusión de otros ensayos se verifica al observarse que los nuevos ambientes amplían el espectro de situaciones y patrones cubiertos por la evaluación. El aporte de estos ambientes es distinto al que hacen los ambientes de Young y La Estanzuela. Por tal razón, se puede suponer que, de haberse incluido ese tipo de ambientes en la evaluación de cultivares de trigo, ésta se hubiera visto enriquecida. Queda esto en el terreno de las hipótesis, al no poder verificarse.

En cualquier caso es evidente que la evaluación de cultivares es una fuente de información de enorme importancia a la hora de seleccionar el cultivar a sembrar. De acuerdo al análisis presentado, surge claro que más allá de los valores promedio por cultivar (Cuadro 1), existe otro cúmulo de información, de gran valor en cuanto a patrones de adaptación local, que está relativamente disponible. Tomemos como ejemplo que un productor de la zona norte resuelve sembrar en base a la información del Cuadro 1 el cultivar Onix, considerando que es un cultivar de buen potencial y prevé iniciar las siembras en fecha óptima, con lo que maximizaría su resultado. El análisis de la Figura 3 muestra que si bien no es una mala decisión, tampoco es necesariamente la mejor: Onix presenta una interacción negativa con los ambientes que probablemente representen mejor la situación del productor (primera y segunda época de siembra, Young, 2003). El excelente comportamiento promedio de Onix es probable que cubra esa interacción negativa.

**Cuadro 1.** Valores promedio de rendimiento (kg/ha) de variedades de trigo de ciclo intermedio y ambientes, en la serie de datos del Caso 3.

Variedades	Rendimiento	Ambiente	Rendimiento
Est. Pelón 90	4560	EELE 2002-1	3115
INIA Mirlo	4521	EELE 2002-2	3385
INIA Boyero	4394	Young 2002-2	3300
INIA Churrinche	5168	EELE 2003-1	6801
LE 2303	5470	EELE 2003-2	5556
LE 2304	5287	EELE 2003-3	5133
LE 2310	5253	Young 2003-1	6857
Onix	6215	Young 2003-2	6378
ORL 98204	5618	Young 2003-3	6052
ORL 99192	5416		
Baguette P.13	5024		

¿Es posible que el técnico realice el análisis que hemos hecho? Sí, con un poco de esfuerzo. La información de los resultados de evaluación se encuentra en las páginas web de INIA (<http://www.inia.org.uy>) e INASE (<http://www.inase.org.uy>). Además, desde 2004 la información incluye los resultados por ensayo y por variedad. Los programas estadísticos utilizados en los estudios de caso están disponibles en la página web de CIMMYT. Pero aún el uso de herramientas más simples y disponibles en programas de planillas electrónicas pueden ser útil. Sólo depende de la voluntad del técnico de incorporarlas a su proceso de toma de decisiones.

## A MODO DE CONCLUSIÓN

✓ Es importante destacar que todo este análisis, inclusive las posibles observaciones

a la evaluación de cultivares, es posible justamente porque existe una evaluación nacional y oficial de cultivares. Conservar y defender es estratégico para seguir disponiendo de información de calidad.

✓ La evaluación no sólo aporta información general, sino también local. Depende del productor y del técnico saber aprovecharla.

✓ El norte también existe, y el sur, y el oeste. Todas las regiones presentan aportes específicos que, al ser incluidos en la evaluación, mejoran la calidad de ésta y aportan información de importancia para las regiones consideradas.

✓ Sólo podemos analizar los cultivares que están en la evaluación, por lo que la evaluación continua es de enorme importancia para el productor. 🐦

## BIBLIOGRAFÍA

- CERETTA S., VAN EEUWIJK F.A., CASTRO M., ABADIE T., 1999. Estudio de la variación en el rendimiento de cultivares de cebada cervecera en Uruguay. In: III Congreso de cebadas malteras, Bastión del Carmen, Colonia, Uruguay. FAO, Mesa de la Cebada (en prensa).
- CASTRO M., PEREYRA S., STEWART S., GERMÁN S., VAZQUEZ D., 2004A. Resultados experimentales de evaluación de cebada cervecera para el registro nacional de cultivares. Período 2003. INIA-INASE, 23 p.
- CASTRO M., DIAZ M., GERMÁN S., 2004B. Resultados experimentales de evaluación de trigo ciclo intermedio para el registro nacional de cultivares. Período 2003. INIA-INASE, 18 p.
- GAUCH J.R., 1992. Statistical analysis of regional trials: AMMI analysis of factorial designs. Elsevier, Amsterdam.
- VARGAS M., CROSSA J., 2000. El análisis AMMI y la gráfica del biplot en SAS. CIMMYT. <http://www.cimmyt.org/english/wps/biometrics/index.htm>.
- VILARÓ D., CAFFAREL J.C., STEWART S., GERMÁN S., IBÁÑEZ V., 1999. Resultados experimentales de evaluación de cebada cervecera para el registro nacional de cultivares. Período 1998. INIA-INASE, 51p.