

## Análisis de estabilidad y adaptabilidad de variedades en múltiples ambientes

Gómez César H.\*, Franco Scalora\*, Nahuel Ruiz de Huidobro\*, Fernando Ledesma\*, José R. Sánchez\*, Agustín Pérez\*, Facundo Vidal\* y Mario Devani\*

\* Sección Granos, EEAOC.  
E-mail: granos@eeaoc.org.ar

### Introducción

**B**ajo condiciones ambientales favorables (climáticas y de manejo), existen variedades que aumentan su rendimiento en forma abrupta mientras otras lo hacen en menor medida o mantienen un rendimiento casi constante. El análisis del índice ambiental ofrece la posibilidad de observar a través de gráficos el comportamiento de los distintos materiales a medida que mejoran las condiciones ambientales. A la vez se abordó en el análisis la interacción Genotipo (G) × Ambiente (E) mediante gráficos GGE biplot, con el objetivo de determinar el desempeño comparativo de los genotipos no sólo a nivel del promedio general -a través de los ambientes (adaptación amplia)- sino también en cada ambiente en particular (adaptación específica). Esta información es de suma importancia para los productores, ya que constituye una herramienta clave para seleccionar el material que se sembrará en la campaña siguiente, teniendo en cuenta la adaptación e interacción de aquél dentro de cada sistema productivo, tomando como rango espacial las diversas condiciones ambientales de la región del noroeste argentino (NOA).

### Metodología

#### ► a. Índices ambientales

**S**e conoce como Índice ambiental un modelo para medir la estabilidad genética de los vegetales, basado en la técnica estadística de regresión lineal. Sirve para observar, a través de gráficos, cómo se comportan los distintos genotipos (variedades) en respuesta a mejoras en las condiciones ambientales. En el eje de las abscisas (eje X) se presentan los rendimientos promedio de todas las variedades evaluadas en cada localidad; y en el eje de las ordenadas (eje Y) se localizan los valores de rendimiento de las variedades en cada ambiente. Así, para cada ambiente (localidad×condiciones) obtendremos una nube de puntos que servirán para realizar el ajuste lineal de los materiales. La pendiente de la recta obtenida nos indica el comportamiento del genotipo, pudiendo con esta información determinar la “estabilidad” (pendiente similar o menor a la unidad), que es la capacidad de homeostasis (autorregulación de los organismos vivos a nuevas condiciones sin sufrir cambios profundos) de un genotipo frente a modificaciones del ambiente; y “adaptabilidad” (valor de pendiente superior a uno), que es la capacidad de un genotipo de dar mayores respuestas a condiciones crecientes de calidad ambiental, en función del aumento del rendimiento por cada unidad de incremento en el potencial productivo del ambiente (Uhart y Correa, 2001).

► **b. Ensayos multi-ambientales a través de la metodología GGE Biplot**

La técnica GGE biplot trabaja con los datos de rendimiento después de descontar los efectos de los ambientes, permitiendo así una exploración gráfica de los patrones de variabilidad debido a los efectos de genotipo y de la interacción (G+GE o simplemente GGE).

Para una correcta interpretación de estos gráficos, el primer aspecto a considerar es el porcentaje que acompaña a cada componente principal (CP), ya que cuanto más cercana al 100% sea la suma de ambos, mayor será la correlación entre el gráfico y lo sucedido en los ensayos. Luego se debe considerar el polígono que delimita a los genotipos (G). Las variedades que componen este polígono son las que mejor interpretan la realidad de los ensayos.

Los marcadores de E (localidades) están conectados por vectores al origen (0:0) del gráfico. Conforman un mega-ambiente aquellos vectores que se posicionen en un mismo sector del gráfico. A su vez, la variedad de mejor comportamiento para este mega-ambiente es la que se sitúa en el vértice extremo del polígono que se encuentre más cercano a sus respectivos vectores. Las localidades de vectores más largos (con marcadores más alejados del origen) discriminan mejor el comportamiento de los genotipos que aquellas de vectores menos

extensos.

Se presentan a continuación los resultados de los análisis de índices ambientales y GGE Biplot realizados con los datos de rendimientos de la Red, durante la campaña 2022/2023.

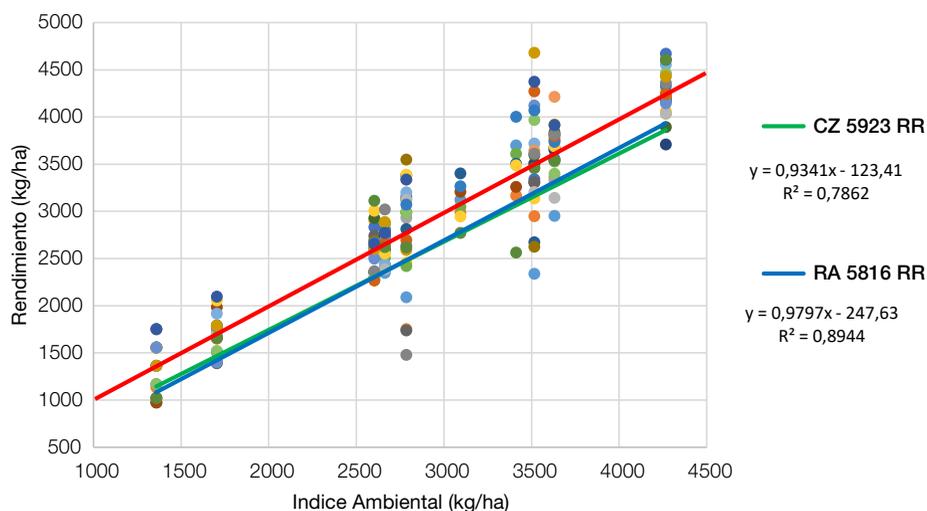
■ **Resultados**

► **a. Índice Ambiental**

**E**ste análisis corresponde a condiciones ambientales configuradas por las localidades y manejos particulares del cultivo durante la campaña 2022/2023.

A continuación se presentan cinco gráficos separados por grupo de madurez (GM V, GM VI a y b, GM VII y GM VIII), en los que figuran las variedades evaluadas; y para cada una de ellas, la ecuación de la recta de regresión y el coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>).

En cada gráfico se puede observar una línea de color rojo que representa la pendiente 1:1, la cual sirve como referencia para determinar estabilidad/adaptabilidad y facilita el reconocimiento de líneas de tendencia de variedades con mejores rendimientos. De los gráficos se pueden inferir las siguientes conclusiones: El grupo de madurez V estuvo representado por dos variedades, CZ 5923 RR y RA 5816,

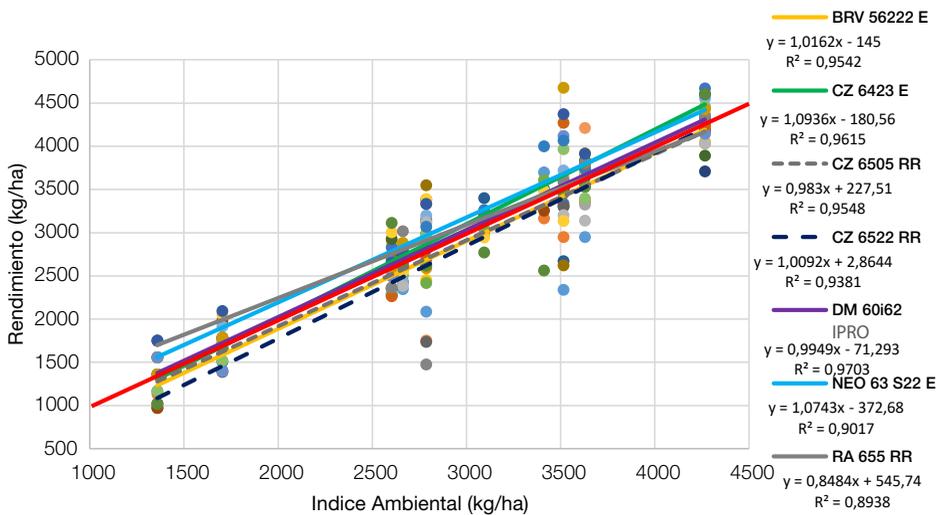


**Figura 1.** Recta 1:1 (rojo), rendimiento (kg/ha) de variedades y ajuste lineal de materiales de GM V, según índice ambiental de la Red de soja del noroeste argentino durante la campaña 2022/2023.

comportándose ambas como estables (Figura 1). Dentro de este grupo ninguno de los materiales analizados se destacó por su potencial de rendimiento, por encontrarse ambos siempre por debajo de la recta 1:1.

Con respecto al grupo de madurez VI, para facilitar la visualización de los genotipos se confeccionaron dos gráficos de acuerdo a la tecnología que presentan: un grupo con variedades E, RR e IPRO; y otro grupo con las denominadas Conkesta (SCE y CE). De esta forma, en la Figura 2a podemos observar las rectas correspondientes a los siete materiales del primer grupo, tres con tecnolo-

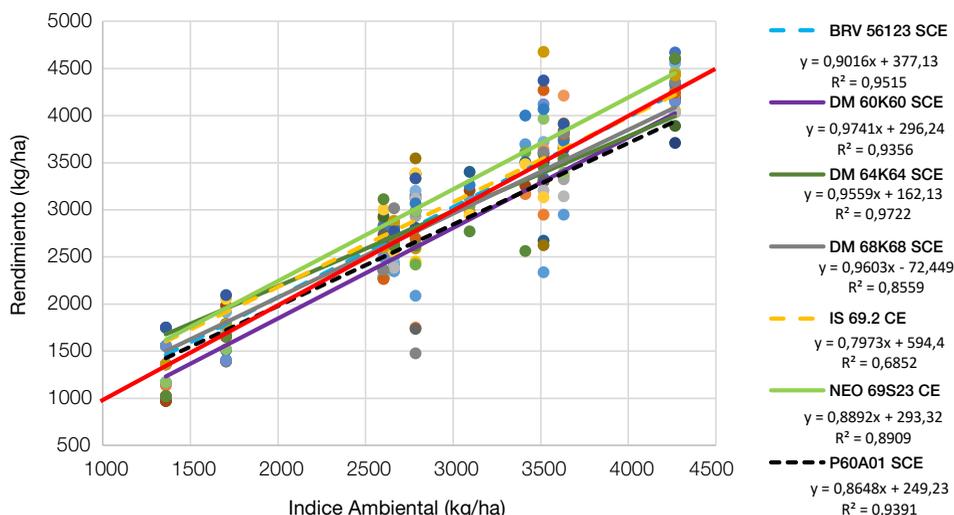
gía Enlist, tres con tecnología RR y uno con tecnología IPRO. De este primer grupo, cuatro cultivares se comportaron como adaptables (BRV 56222 E, CZ 6423 E, CZ 6522 RR y NEO 63S22) y los tres restantes como estables. Como se aprecia en el gráfico, la variedad NEO 63 S22 E se destaca por su comportamiento, explorando altos rindes tanto en ambientes de buena como de baja calidad. Por otro lado y considerando dos escenarios contrastantes, el material CZ 6423 E se destacó en ambientes de alto potencial, mientras que RA 655 RR fue la mejor opción para los ambientes con recursos limitados.



**Figura 2a.** Recta 1:1, rendimiento kg/ha de variedades y ajuste lineal de materiales Enlist, IPRO y RR de GM VI, según índice ambiental de la Red del noroeste argentino durante la campaña 2022/2023.

En la Figura 2b se observan las rectas correspondientes a los materiales del GM VI con tecnología Conkesta (CE + SCE). En este caso fueron siete los materiales evaluados, presentado todos los genotipos un comportamiento estable. La variedad NEO 69S23 CE fue el material que se destacó por alcanzar

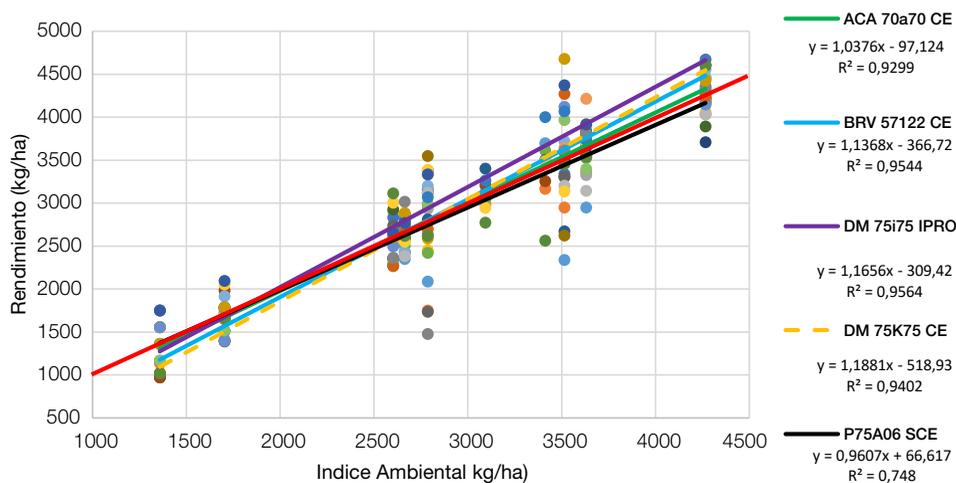
los mayores rendimientos en ambientes de alto y bajo potencial. Con respecto a los ambientes restrictivos (bajo potencial), dos genotipos de este grupo se destacaron (DM 64K64 SCE e IS 69.2 CE) presentando un comportamiento similar.



**Figura 2b.** Recta 1:1, rendimiento kg/ha de variedades y ajuste lineal de materiales con tecnología SCE del GM VI, según índice ambiental en el noroeste argentino durante la campaña 2022/2023.

Para el GM VII fueron cinco las variedades analizadas en esta campaña (Figura 3), la mayoría de comportamiento adaptable, a excepción de P75A06 SCE, que se comportó

como estable. A su vez podemos observar cómo se destacan en los ambientes de alta disponibilidad de recursos los materiales adaptables, alcanzando buenos rindes.



**Figura 3.** Recta 1:1, rendimiento (kg/ha) de variedades y ajuste lineal de materiales de GM VII, según índice ambiental en el noroeste argentino durante la campaña 2022/2023.

En la Figura 4 se presentan los resultados de los tres genotipos de GM VIII. En este caso todos los materiales evaluados tuvieron comportamiento adaptable, destacándose

P80A02 SCE con buen comportamiento en ambos ambientes, y DM 80K80 acompañando con buenos rindes en ambientes de alta calidad.

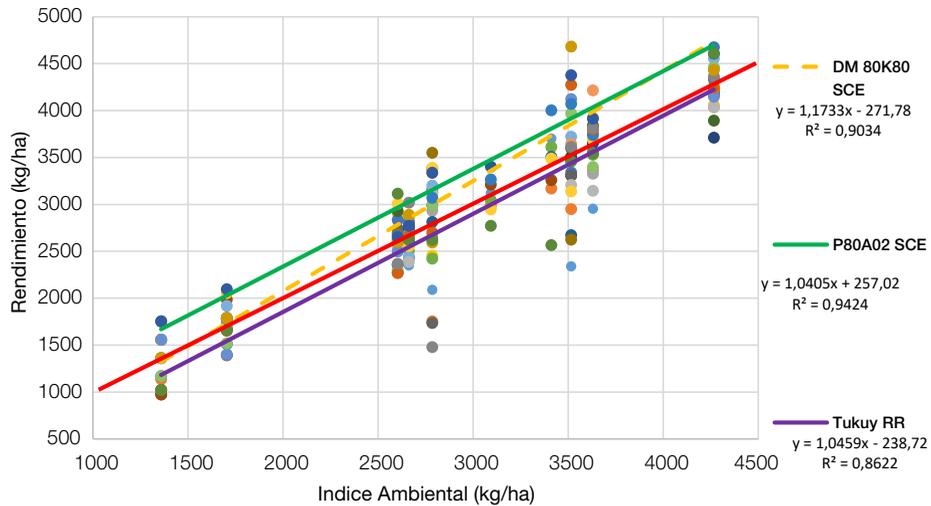


Figura 4. Recta 1:1, rendimiento (kg/ha) de variedades y ajuste lineal de materiales de GM VIII, según índice ambiental en el noroeste argentino durante la campaña 2022/2023.

En la Figura 5 se presenta el resumen de las 24 variedades analizadas durante la campaña 2022/2023, ordenadas en función de su rendimiento promedio en las 10 localidades evaluadas. En el gráfico puede observarse una línea horizontal que corresponde al valor de pendiente igual a uno, la cual clasifica los materiales en estables o adaptables; y una línea vertical que representa el promedio de todas las variedades en todos los ambientes.

De esta forma, los genotipos que se encuentran en el cuadrante superior derecho se comportan como adaptables de alto potencial, mientras que los del cuadrante inferior derecho, como estables de alto potencial. En el primer grupo se destacan P80A02 SCE (GM VIII), DM 75i75 IPRO (GM VII), DM 80K80 SCE (GM VIII) y NEO 63S22 E (GM VI) y en el segundo grupo NEO 69S23 CE y RA 655 RR (ambas GM VI).

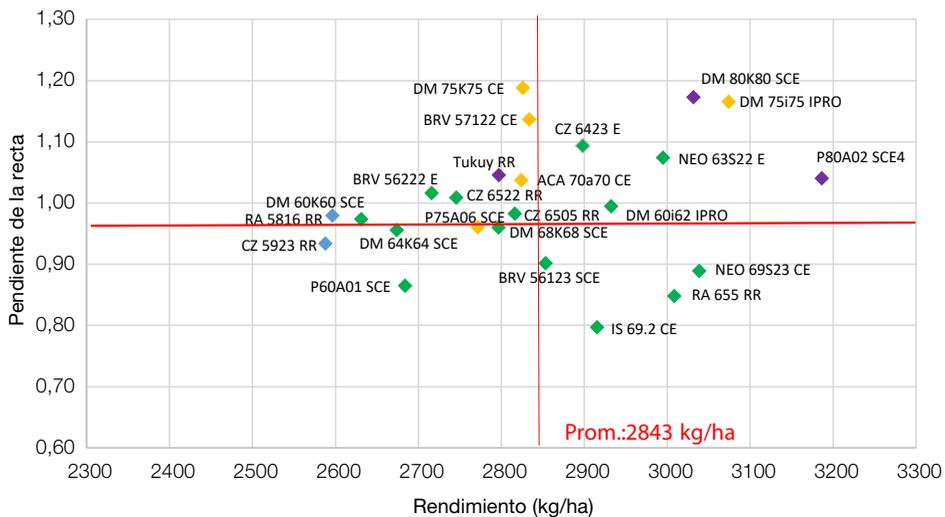


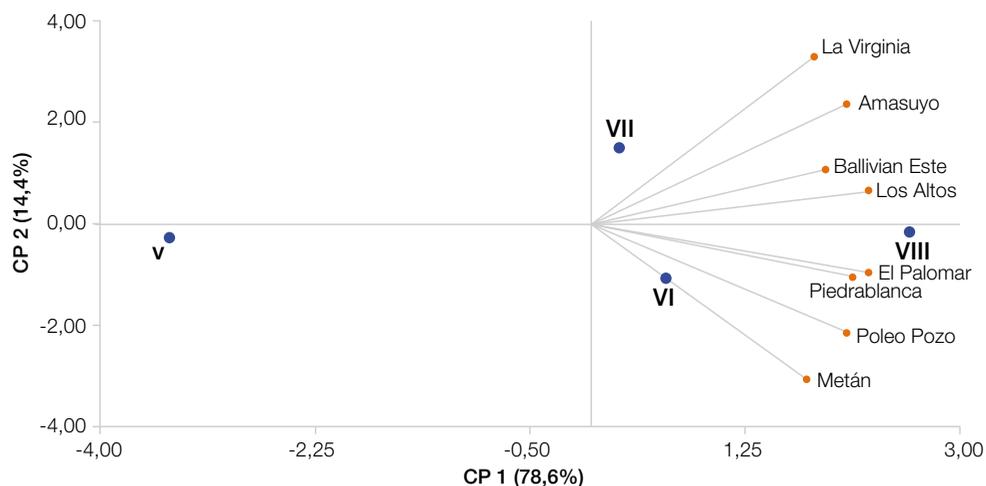
Figura 5. Rendimiento promedio (kg/ha) y valor de la pendiente de la recta de 24 variedades de GM V, VI, VII y VIII, evaluadas en 10 localidades de la Red de Macroparcelas del NOA durante la Campaña 2022/2023.

► **b. Análisis de datos de ensayos multi-ambientales a través de la metodología GGE biplot. Campaña 2022/2023**

Se presentan a continuación los resultados de los análisis GGE Biplot realizados con los datos de rendimientos de la Red durante la campaña 2022/2023.

El primer gráfico (Figura 6) busca relacionar los cuatro GM participantes (V, VI, VII y VIII) con las localidades evaluadas en la Red de variedades comerciales de soja del NOA en esta campaña. Lo primero que debe observarse es la suma de ambos componentes principales (CP1 y CP2), los cuales conforman ambos ejes de coordenadas. En este caso alcanza un valor de 93%, lo que

indica una alta correlatividad entre el análisis y lo ocurrido en la campaña. Al observar los marcadores de los diferentes grupos de madurez se destaca el marcador del GM VIII, ya que la mayoría de las localidades evaluadas se direccionan hacia este. Con respecto a los marcadores de los GM VI y VII, se posicionan cerca del origen, lo que indicaría no tener una relación favorable con ninguna localidad evaluada. Finalmente el GM V presenta una relación negativa con todos los ambientes, al encontrarse en dirección opuesta a los vectores de las localidades, donde los rindes para este grupo de madurez en general fueron bajos.



**Figura 6.** GGE Biplot para el desempeño de grupos de madurez de la Red de soja en el Noroeste Argentino, evaluados durante la campaña 2022/2023

Similar análisis sobre las macroparcels del NOA se realizó con todas la variedades participantes en las mismas (Figura 7), sumando sus componentes principales un 54,1%, aproximadamente. Este valor indica una baja representatividad del gráfico con respecto a lo ocurrido en los ensayos, y que solo se puede inferir sobre las variedades vértice del polígono.

En esta figura se pueden visualizar dos mega-ambientes; el primero de ellos está constituido por las localidades de Los Altos,

Amasuyo y La Virginia, cuyos vectores se direccionan hacia la variedad DM 80K80 SCE, cultivar que forma el vértice del polígono, señalando un buen comportamiento de la misma en estas localidades. En el margen inferior derecho se observa el segundo mega-ambiente formado por los ensayos de las localidades de El Palomar, Piedrablanca y Metán, dirigiéndose sus vectores hacia la variedad vértice RA 655 RR, indicando una buena performance en este ambiente.

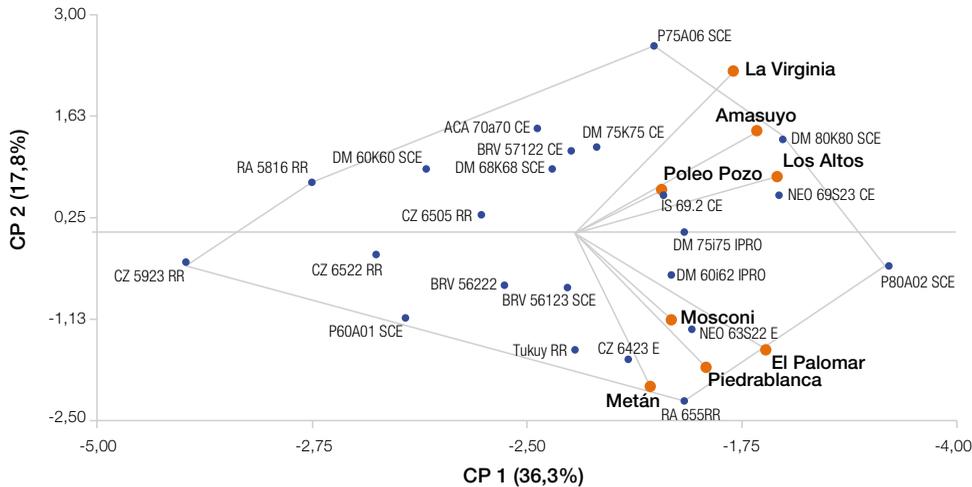


Figura 7. GGE Biplot para el desempeño de variedades de la Red del Noroeste Argentino, evaluados durante la campaña 2022/2023.

### Consideraciones finales

El análisis de estabilidad de variedades nos permitió identificar que la mayoría de los materiales adaptables de alto potencial corresponden a genotipos de GM VII y VIII, destacándose P80A02 SCE, DM 80K80 SCE (GM VIII) y DM 75i75 IPRO, DM 75K75 CE, BRV 57122 CE (GM VII). Entre los materiales estables dominaron los pertenecientes al GM VI; sin embargo en este grupo de madurez se destacaron por sus altos rendimientos las variedades NEO 69S23 CE, CZ 6423 E, RA 655 RR y DM 60i62 IPRO de comportamiento adaptable.

El análisis del desempeño de grupos de madurez a través de la metodología GGE biplot nos permitió observar que el GM VIII fue el que mejor se posicionó en la mayoría de los ambientes evaluados. A su vez nos permitió visualizar dos mega-ambientes, el primero de ellos representado por tres localidades cuyos vectores se direccionaron a la variedad DM 80K80 SCE; y el segundo mega-ambiente conformado también por tres ambientes cuyos vectores se direccionaron a la variedad RA 655 RR.

### Bibliografía citada

Uhart, S. A. and R. O. Correa. 2001. Criterios para la elección del híbrido (primera parte). AgroDecisiones 6 (31): 16-19.

