



ANÁLISIS DE ÍNDICE AMBIENTAL CON AJUSTE LINEAL

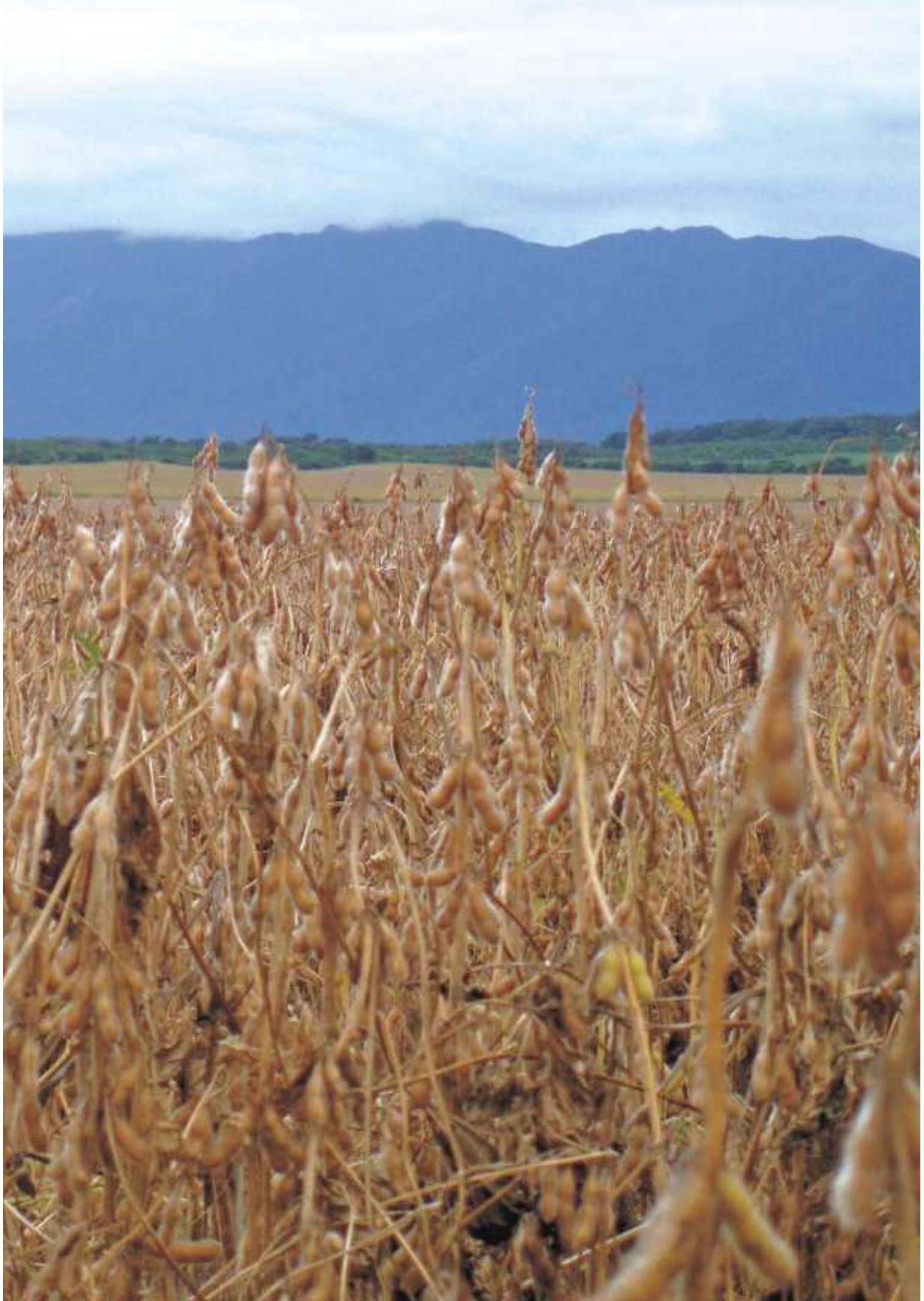
ANÁLISIS DE DATOS DE ENSAYOS MULTIAMBIENTALES A TRAVÉS DE LA METODOLOGÍA GGE BILOT

Resultados de la campaña 2012/2013

EEAOC

104 años
de Investigación
y Servicios





04

Apartado a)



Análisis de índice ambiental con ajuste lineal

José R. Sánchez* | Fernando Ledesma* | Emanuel Mulet* | Mario R. Devani* | Luciana López*

Existen variedades que, bajo condiciones ambientales más favorables (climáticas y de manejo), aumentan su rendimiento en forma pronunciada, mientras otras lo hacen en forma más gradual o mantienen su nivel de productividad en una forma casi constante. Este análisis ofrece la posibilidad de observar, a través de gráficos, cómo se comportan los distintos materiales a medida que mejoran las condiciones ambientales.

Los índices ambientales (promedio de los rendimientos de las variedades en cada localidad) se ubican en el eje de las abscisas, ordenados de menor a mayor, y sobre ellos se localizan en el gráfico los puntos de los valores de rendimiento logrados por esas variedades en cada ambiente. Estos rendimientos se ubican en el eje de las ordenadas, también dispuestos de manera creciente. Así, para cada localidad-ambiente obtendremos una nube de puntos, que a su vez servirán de base para poder realizar el ajuste lineal de los materiales. La pendiente de la recta obtenida nos indica el comportamiento del genotipo, información que permite determinar la “estabilidad” (pendiente similar o menor a la unidad) y “adaptabilidad” (valor de pendiente superior a 1) de cada material, en función de la variación en su rendimiento por cada unidad de variación en el potencial productivo del ambiente (pendiente de la relación lineal entre rendimiento y nivel de producción de cada ambiente probado) (Uhart y Correa, 2001). Nuevamente, es conveniente recordar los conceptos de estabilidad y adaptabilidad: estabilidad es la capacidad de homeostasis (autorregula-

ción de los organismos vivos a nuevas condiciones, sin sufrir cambios profundos) de un genotipo frente a modificaciones del ambiente, mientras que la adaptabilidad es la capacidad de un genotipo de dar mayores respuestas a condiciones de mayor calidad ambiental.

A modo de ejemplo, un genotipo con un valor de $b=0,8$ -por ende clasificado como estable- tiene un rendimiento que varía $0,8$ kg/ha cuando el ambiente cambia 1 kg/ha (genotipo A, en Figura 1). En cambio, los materiales adaptables son aquellos que presentan una pendiente mayor a 1 (genotipo B, en Figura 1), como por ejemplo $b=1,2$: el genotipo varía su rendimiento en $1,2$ kg/ha cuando el ambiente cambia en 1 kg/ha (Ermacora, 2006). Es necesario aclarar que este análisis corresponde solamente a la situación ambiental particular de la campaña 2012/2013, por lo que debe considerarse como un análisis adicional que complementa a los anteriores. Para poder hablar con mayor precisión de estabilidad y adaptabilidad de materiales, se requiere información de más años y datos, que provengan de la evaluación de los mismos materiales en todos los ambientes.

A continuación se presentan los gráficos del análisis, discriminando cada grupo de madurez (GM) en cuatro gráficos (GM V, GM VI, GM VII y GM VIII), donde además se muestra la ecuación de la recta de regresión y el R^2 para cada variedad. Al observar los gráficos, se puede deducir lo siguiente:

□ **GM V (Figura 2a):** se observan solo dos materiales

adaptables (NA 5909 RG y NA 5509 RG), que además se comportan de manera similar, ya que presentan valores de rendimientos más altos que sus pares en ambientes de mejor calidad, pero deprimen mucho su desempeño en aquellos de menor calidad. Entre los cultivares estables, se destaca RA 549 RR, por mantener rendimientos altos a lo largo de las diferentes situaciones. Además, se distinguen las variedades estables SRM 5500 RR, con rendimientos altos en ambientes favorables solamente, y Biosoja 5.4 RR, con buenos rindes solo en ambientes desfavorables.

□ **GM VI (Figura 2b):** encontramos cuatro cultivares que se comportan como adaptables, destacándose DM 6,8 RR y RA 633 RR por lograr buenos rindes en todos los ambientes evaluados. Entre los de comportamiento estable, sobresalen Biosoja 6,5 RR y el testigo DM 6,2 RR, debido a sus buenos rindes en situaciones desfavorables y rindes medios en ambientes de mejor calidad. Por último, debemos mencionar a la variedad LDC 6.9 RR, cuya pendiente la define como estable, porque logra rendimientos medios en general.

□ **GM VII (Figura 2c):** este grupo está representado solamente por cuatro materiales, de los cuales solo uno se comportó como adaptable (SPS 7x3 RR), sin sobresalir por sus rendimientos. Entre los estables, RA 744 RR y SRM 7800 RR presentan rectas similares y paralelas, infiriéndose de ellas mejores rendimientos en condiciones desfavorables y favorables, mientras que NS 7211 RG solamente presenta buen comportamiento en ambientes de baja calidad.

□ **GM VIII (Figura 2d):** de los 10 materiales que componen este grupo, la mitad se comportó como adaptable, presentando un buen desempeño en situaciones favorables, a excepción de NA 8009 RG, que

también exhibió buenos rindes en ambientes de baja calidad. Entre las estables encontramos la variedad NS 8282 RG, que claramente se distingue por su rendimiento superior en diferentes ambientes. A su vez, materiales como DM 8002 RR y el testigo A 8000 RG se comportan como estables con buenos rindes en los distintos ambientes considerados.

En la Figura 3, y a modo de resumen, se ubican las 30 variedades según su rendimiento promedio en todas las localidades (eje X) y su pendiente (eje Y), que nos da una idea de la estabilidad o adaptabilidad de los genotipos. El gráfico fue separado por una línea vertical que cruza al eje X en el valor de 1991 kg/ha (promedio de todas las variedades participantes en todas las localidades incluidas en el análisis). Así se distinguen, como variedades adaptables y a su vez de alto potencial de rendimiento (valores por encima del promedio general), DM 7,8 RR, NA 8009 RG, DM 6,8 RR y RA 633RR y, en un escalón más abajo en cuanto a rindes, DM 8576 RR, RA 844 RR y Biosoja 8.0 RR. Apenas por encima de la unidad en cuanto a pendiente y con rendimientos mayores al promedio, encontramos a DM 8002 RR, a DM 8473 RR y al testigo A 8000 RG. Por último, debemos mencionar aquellos materiales con valores de pendiente por debajo de la unidad (estables), que a su vez lograron rindes superiores al promedio: NS 8282 RG, RA 744 RR, DM 6,2 RR, Biosoja 6.5 RR, RA 549 RR y SRM 7800 RR.

* BIBLIOGRAFÍA CITADA

- **Ermacora, M. 2006.** Cómo elegir un híbrido de maíz. Revista CREA 36 (309): 56-64.
- **Uhart, S. A. y R. O. Correa. 2001.** Criterios para la elección del híbrido (primera parte). AgroDecisiones 6 (31): 16-19.

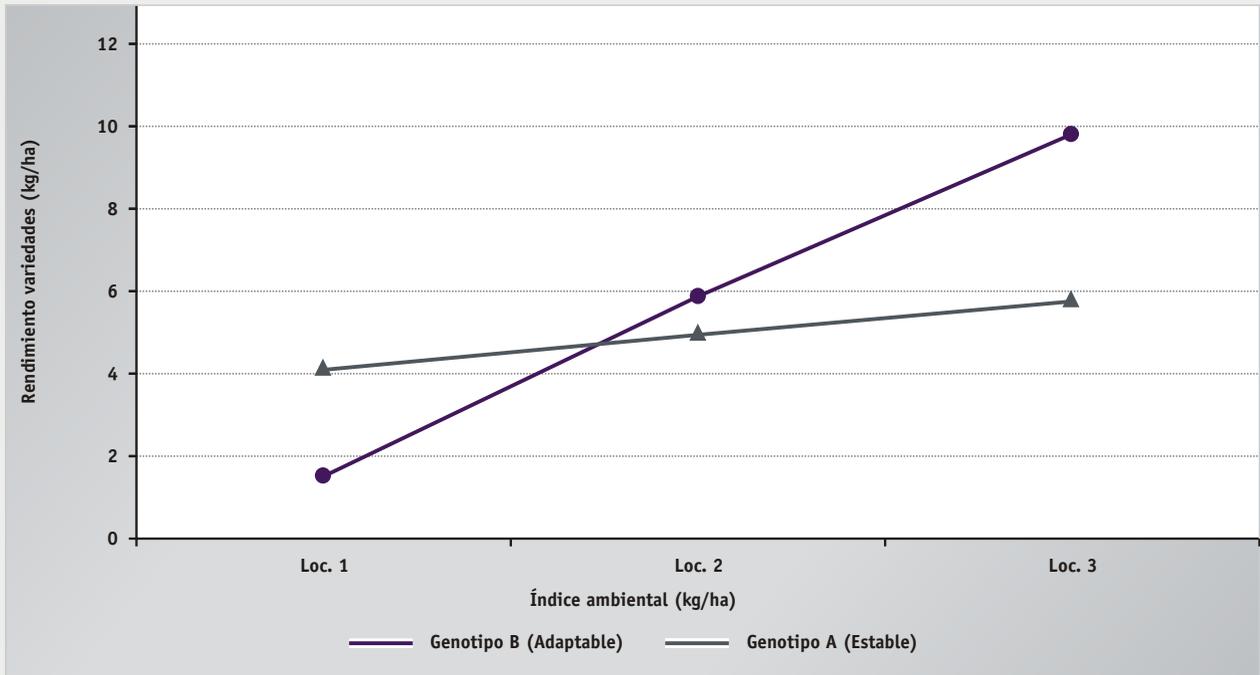


FIGURA 1. Ejemplificación gráfica de ajuste lineal de un genotipo adaptable y de uno estable.

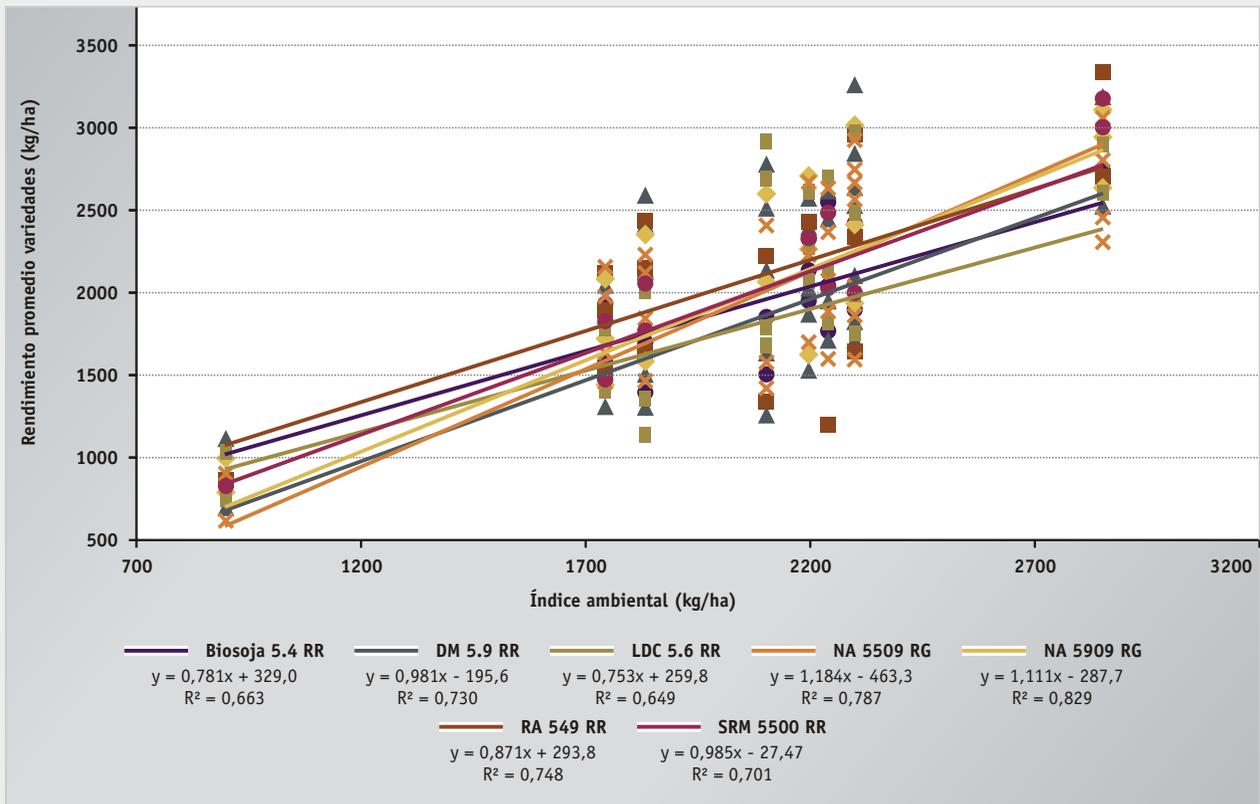


FIGURA 2a. Rendimiento (kg/ha) de variedades pertenecientes a GM V y ajuste lineal de materiales, según índice ambiental en el Noroeste Argentino (NOA), durante la campaña 2012/2013.

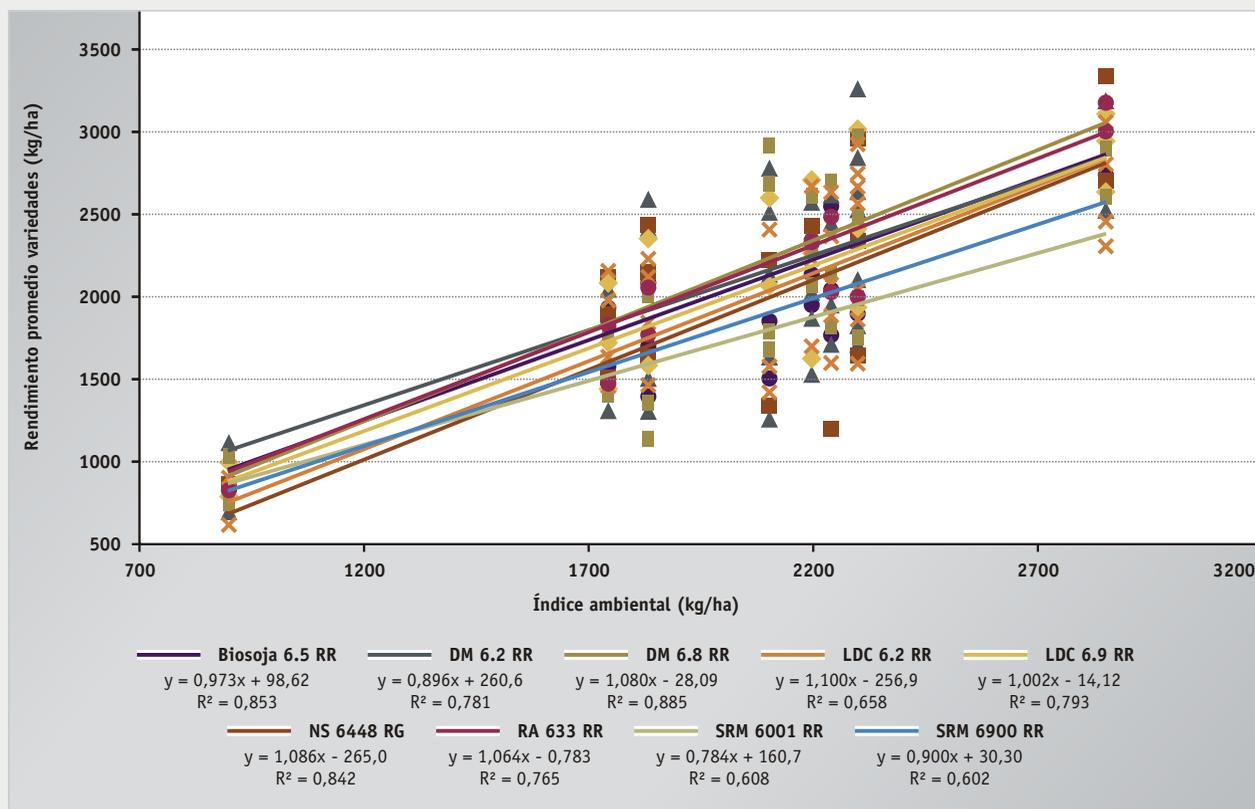


FIGURA 2b. Rendimiento (kg/ha) de variedades pertenecientes a GM VI y ajuste lineal de materiales, según índice ambiental en el Noroeste Argentino (NOA), durante la campaña 2012/2013.

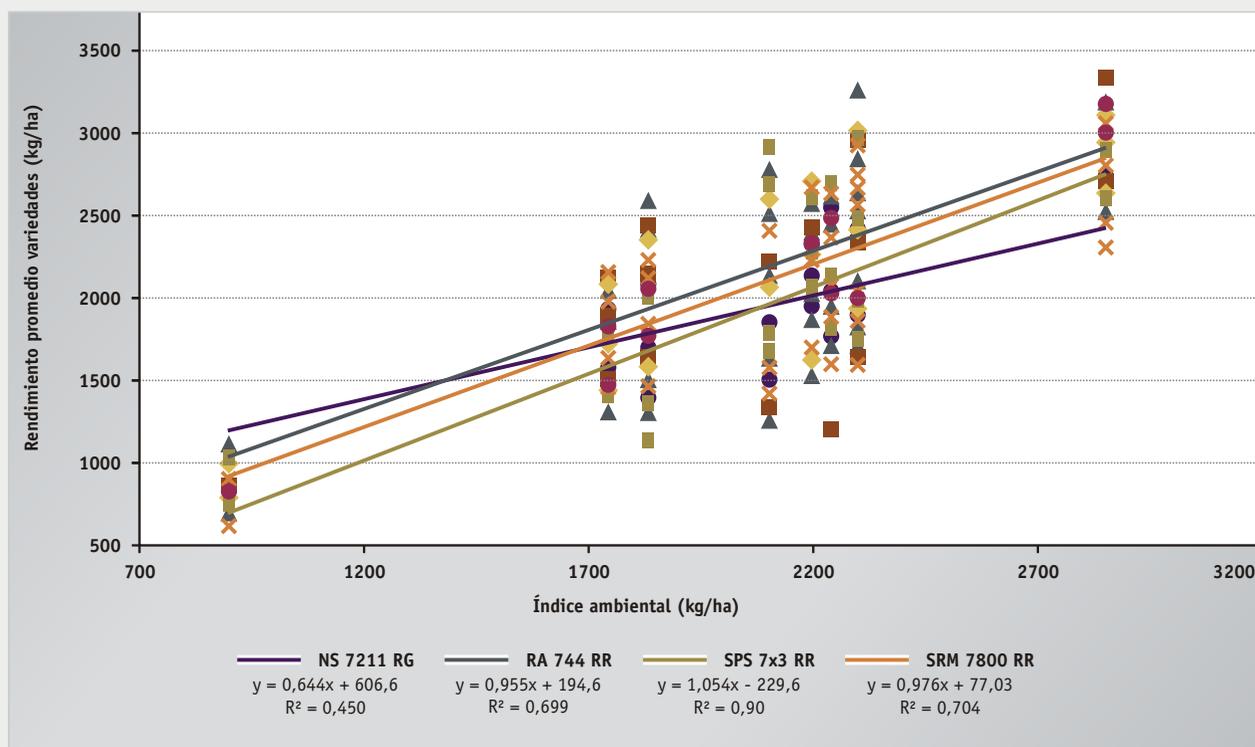


FIGURA 2c. Rendimiento (kg/ha) de variedades pertenecientes a GM VII y ajuste lineal de materiales, según índice ambiental en el Noroeste Argentino (NOA), durante la campaña 2012/2013.

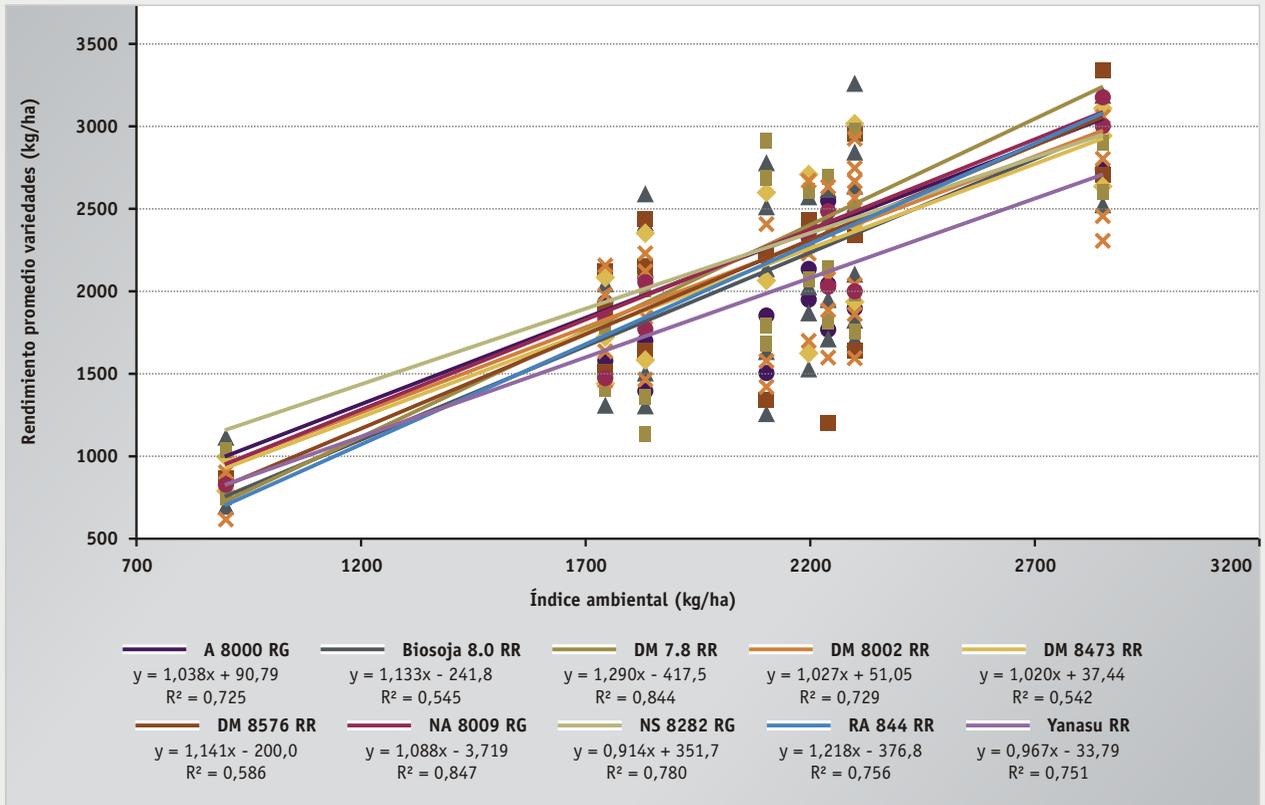


FIGURA 2d. Rendimiento (kg/ha) de variedades pertenecientes a GM VIII y ajuste lineal de materiales, según índice ambiental en el Noroeste Argentino (NOA), durante la campaña 2012/2013.

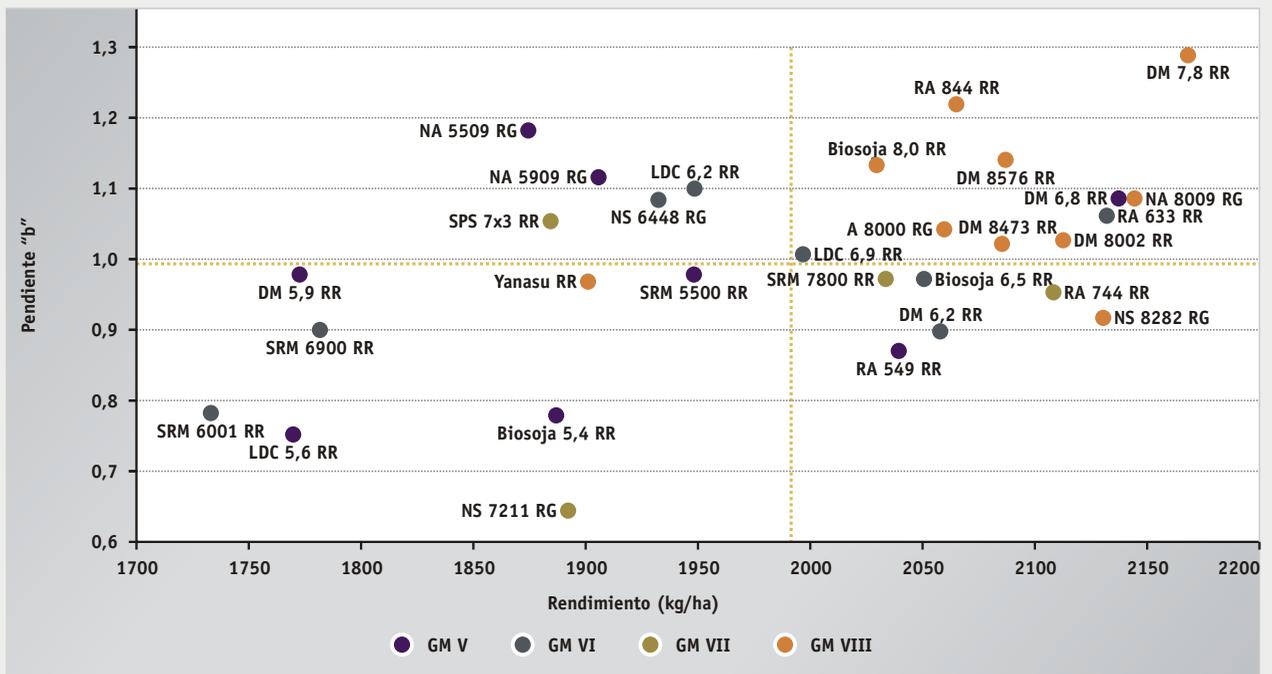


FIGURA 3. Rendimientos promedio de 30 variedades en 11 localidades de la Red de Macroparcelas en el NOA, en la campaña 2012/2013, y pendiente de la recta de regresión obtenida del ajuste lineal de las variedades.

04

Apartado b)



Análisis de datos de ensayos multiambientales a través de la metodología GGE biplot

José R. Sánchez* | Mario R. Devani* | Fernando Ledesma* | Juan P. Nemec*
Emanuel Mulet* | Isauro Piedrabuena*

La influencia ejercida por el ambiente (denominada interacción genotipo-ambiente) provocó comportamientos diferenciales en las variedades de soja evaluadas en las 11 localidades del Noroeste Argentino (NOA) durante la campaña 2012/2013.

Existen genotipos (G) que poseen una adaptación amplia a distintos ambientes, mientras que otros se desempeñan bien particularmente en contextos determinados (adaptación específica). En la interacción genotipo-ambiente (GE), las diferencias en el comportamiento de los distintos genotipos son ocasionadas por el entorno (E), lo cual puede ser evaluado mediante los ensayos multi-ambientales. Estos permiten observar la interacción GE y determinar el desempeño comparativo de los genotipos, no solo a nivel del promedio general a través de los ambientes (adaptación amplia), sino también en cada situación en particular (adaptación específica).

En general, los efectos ambientales son los de mayor importancia en este tipo de ensayos, ya que pueden explicar más del 70% de la variabilidad de los rendimientos. No obstante, los efectos del genotipo y de la interacción son los de mayor relevancia para la recomendación de variedades. Si se observa que los efectos de G generan un mayor porcentaje de la variación de los rindes que los efectos de la interacción GE, esto significa que existen G que superan a otros independientemente del E y, por lo tanto, cobra sentido la búsqueda de G con buena adaptación en sentido amplio. Por el contrario, si

los efectos de la interacción GE son mayores que los efectos de G, será importante identificar adaptaciones específicas, es decir, algunos G que se desempeñen particularmente bien en ambientes determinados.

Los ensayos multiambientales, tomando como base el análisis de componentes principales (ACP), son útiles a la hora de evaluar las variedades disponibles en el mercado y sirven para predecir, en cierta forma, el comportamiento a futuro del material evaluado. Existen metodologías para analizar este tipo de ensayos y una de ellas es el GGE biplot. El ACP genera una nube de puntos o entradas en un espacio multidimensional. Luego, con los gráficos biplot, se reduce la cantidad de dimensiones hasta obtener una proyección de un espacio bidimensional (dos ejes). Los biplots permiten visualizar distintas variables en un mismo espacio, haciendo posible identificar asociaciones entre localidades, entre variedades y entre localidades y variedades. Con el ACP se construyen ejes artificiales (componente principal 1 -CP1- y componente principal 2 -CP2-), que permiten obtener gráficos de dispersión de localidades y variedades con las propiedades óptimas para la interpretación de la variabilidad subyacente. El porcentaje presentado sobre cada eje representa el porcentaje de la variación total en los rendimientos (sin efecto de E, en este caso) explicado sobre cada eje, siendo la suma de ambos ejes la variabilidad total en las observaciones. Cuanto más cercana sea esta suma al 100%, mayor será la correlación entre el gráfico y lo sucedido en los ensayos.

La técnica GGE biplot trabaja con los datos de rendimiento después de descontar los efectos puros del ambiente (limpios del efecto ambiental), permitiendo así una exploración gráfica de los patrones de variabilidad producidos por los efectos de genotipo y de la interacción (G+GE, o simplemente GGE).

Para interpretar un GGE biplot, en primer lugar se observan las diferencias a nivel del eje de las abscisas (horizontal), ya que por construcción este eje separa y explica la mayor variación entre localidades; dicho eje recibe el nombre de CP1. Es importante notar si los puntos o marcadores que representan los genotipos van todos hacia el mismo lado, respecto del 0 del eje, o si algunos se oponen. Cuando hay genotipos hacia la izquierda y hacia la derecha, se podrá inferir que estos muestran comportamientos diferenciales, apareciendo los grupos de mayor rendimiento promedio hacia la derecha. Los genotipos cercanos al 0 de este eje no se destacan en ninguno de los ambientes. Los marcadores de ambientes (puntos conectados al origen del gráfico por un segmento de línea) que se orientan hacia la derecha, constituyen ambientes favorables para los genotipos que se posicionan en la misma dirección; mientras que en los ambientes que se orientan hacia la izquierda, los genotipos posicionados sobre la izquierda son los de mejor comportamiento relativo. Si todos los marcadores de ambientes quedan para el mismo lado, los G en el lado opuesto son los de menor rendimiento.

Luego de analizar patrones de variabilidad de derecha a izquierda, puede analizarse de igual manera la variabilidad a nivel del eje de las ordenadas (de arriba hacia abajo). En general, sobre el eje 2 (CP2) se ponen de manifiesto adaptaciones de algunos G en ambientes específicos. La ortogonalidad de las componentes principales garantiza que la CP2 provee nueva información sobre variabilidad respecto a la provista por el CP1; es decir que explica la variabilidad de los ambientes que no fue explicada por la CP1. Por ejemplo, si un G tiene un valor relativamente alto sobre este eje, tendrá una respuesta relativamente mejor en el/los ambientes E con valor alto sobre este eje.

Los gráficos GGE biplot pueden usarse para identificar mega-ambientes: es decir, conjuntos de ambientes donde unos genotipos se desempeñan con un comportamiento relativo mejor que otros. Los marcadores de E (localidades) que conforman un mega-ambiente se posicionan en un mismo sector del gráfico. Los vectores se definen trazando rectas perpendiculares (desde el origen) a cada lado del polígono convexo formado, al unir los marcadores de genotipos más extremos. El G "vértice" de cada vector es el que mejor expresa el comportamiento de los genotipos en ese mega-ambiente.

Se presentan a continuación, los resultados de las evaluaciones realizadas durante la campaña 2012/2013.

* DESEMPEÑO DE GRUPOS DE MADUREZ EN EL NOA

El primer análisis (Figura 1) busca relacionar los cuatro grupos de madurez (GM) participantes (V, VI, VII y VIII) con las localidades evaluadas en la Red de Variedades Comerciales de Soja del NOA en la campaña 2012/2013. Lo primero que debe observarse es la suma de ambos componentes principales (CP1 y CP2) que conforman ambos ejes de coordenadas. En este caso alcanza un valor de 92,8%, lo que indica la alta correlación del análisis y del gráfico con lo ocurrido en la campaña. Se observa que la mayoría de los vectores de las localidades se direccionan hacia el marcador del GM VIII, sugiriendo una relación positiva entre estos ambientes y las variedades de GM VIII. Esta característica en común posibilita definir un mega-ambiente conformado por las localidades de General Mosconi, Garmendia, La Virginia, El Palomar, La Cruz y Los Altos. Hacia la derecha de la figura, observamos que los vectores de Lajitas Este y San Agustín están cerca del marcador del GM V y, en menor medida, del de GM VI. Esto confirma el buen desempeño de ambos GM (proporcional a la cercanía entre marcadores) en dichas localidades. Lajitas Oeste presenta una tendencia similar, aunque con mejor desempeño del GM VI y luego del GM V. En la parte inferior de la Figura 1, se ubica el marcador del GM VII y se observa que solo la localidad de Ballivián Oeste direcciona su vector hacia él, lo cual permite su identificación como el único ambiente en donde estas variedades tuvieron un comportamiento importante. Finalmente encontramos a Metán, macro-parcela que el análisis no pudo relacionar positivamente con ningún GM específico, posiblemente a causa de que los cuatro GM estudiados obtuvieron rendimientos promedio similares.

Como en campañas anteriores, para la campaña 2012/2013 se realizó igual análisis que para los GM, pero desglosándolos en las variedades que lo componen. Debido a que la suma de sus CP apenas supera el 50%, los resultados del análisis no se muestran, por que el gráfico no expresa en general lo ocurrido en los ensayos. Esto puede ser debido a la alta dispersión de los rendimientos de las variedades dentro de los GM y de las localidades, lo cual no permitió encontrar relaciones positivas entre ellos ni determinar interacciones.

* DESEMPEÑO DE GRUPOS DE MADUREZ EN TUCUMÁN Y ZONAS DE INFLUENCIA

Nuevamente, encontramos que la sumatoria de los CP es elevada (97,9%) y aun mayor que lo ocurrido a nivel de la región del NOA (Figura 2). Esto corrobora que lo que se desprende del análisis y se observa en el gráfico tiene un alto nivel de certeza. La tendencia en esta subregión es prácticamente la misma que la que se presenta a nivel de

todo el NOA. Al igual que en la Figura 1, se visualiza que la mayoría de las localidades dirigen sus vectores hacia el marcador del GM VIII, repitiéndose la mayoría de ellas en ambas figuras (La Virginia, El Palomar, La Cruz y Los Altos). Luego, hacia la izquierda del gráfico, se advierte que el vector de la localidad de San Agustín apunta en dirección a los vectores de los GM VI y V, reiterando el comportamiento que presenta con respecto al NOA. Solo la macroparcela de Garmendia no repite su conducta en esta subregión, ya que su vector no se relaciona espacial-

mente con ningún marcador de GM.

La representación gráfica del análisis del comportamiento de las variedades en Tucumán y sus zonas de influencia no se incluye en este trabajo, debido también a que la suma de sus CP es baja.

De esta manera, a través de los gráficos analizados y aplicando la metodología GGE biplot, es posible observar de forma rápida cuáles GM tuvieron buen desempeño en las distintas localidades ensayadas dentro de cada subregión, en la campaña analizada.

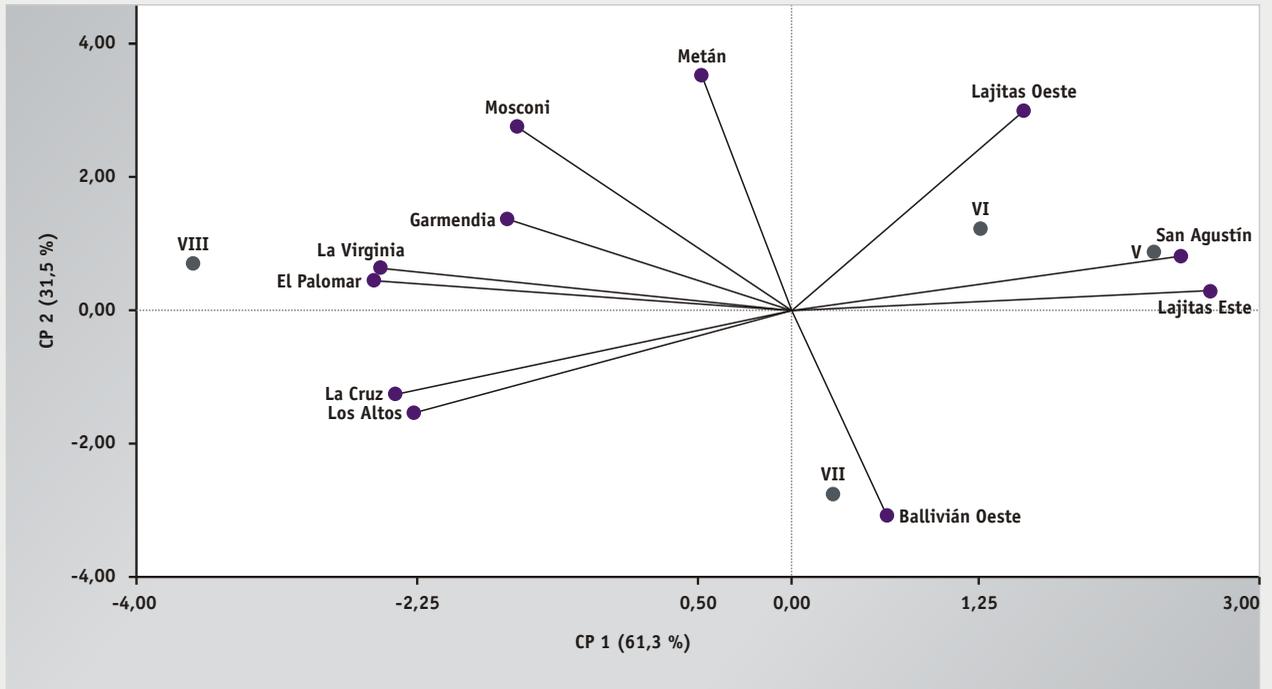


FIGURA 1

GGE biplot para el desempeño de grupos de madurez en el Noroeste Argentino (NOA), evaluados durante la campaña 2012/2013.

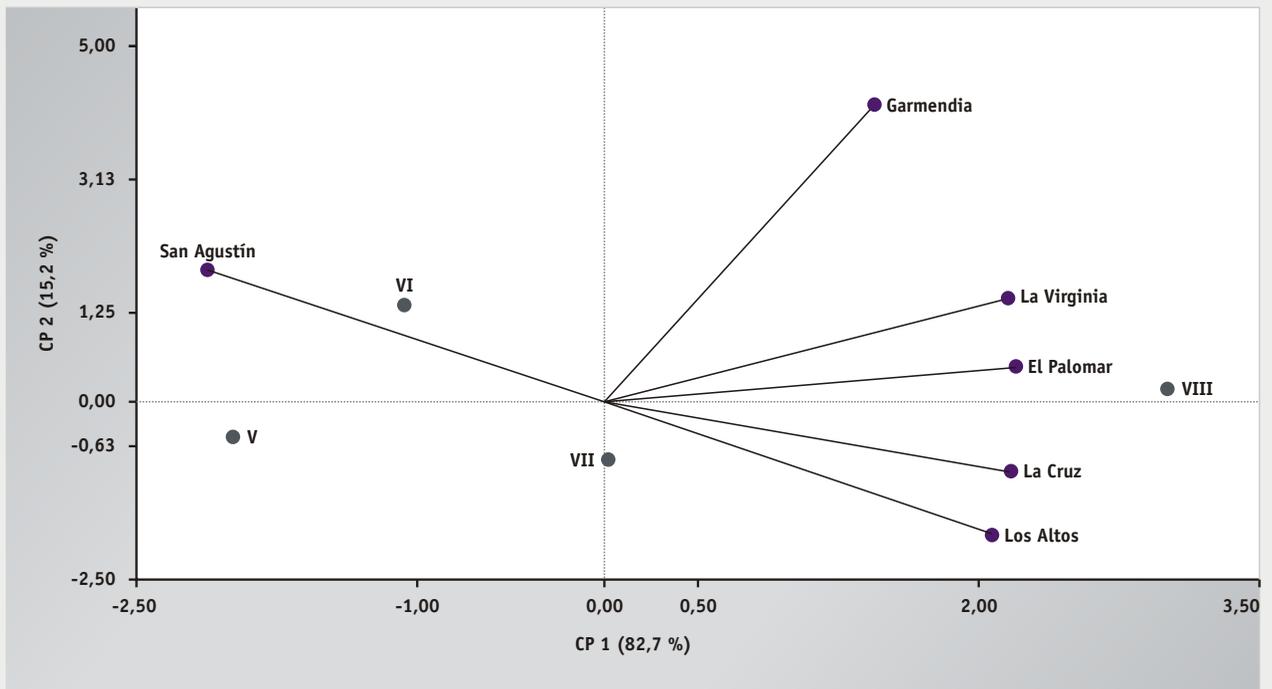


FIGURA 2

GGE biplot para el desempeño de grupos de madurez en Tucumán y zonas de influencia (ZI), evaluados durante la campaña 2012/2013.