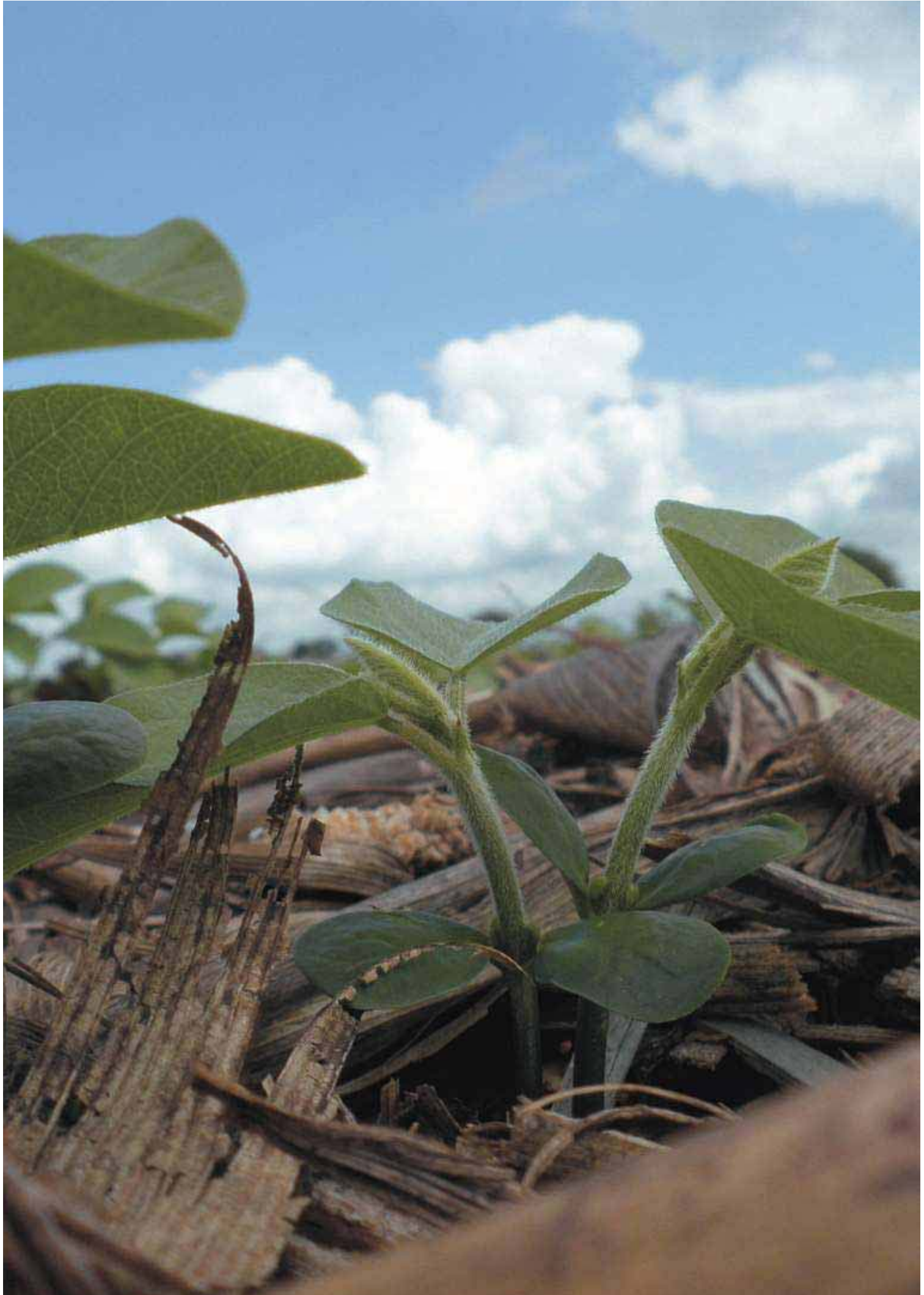
4

ANÁLISIS DE ÍNDICE AMBIENTAL CON AJUSTE LINEAL

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

Resultados de la campaña 2011/2012



ANÁLISIS DE ÍNDICE AMBIENTAL CON AJUSTE LINEAL

*José R. Sánchez** ❑ *Fernando Ledesma** ❑ *Darío Moa** ❑ *Mauricio D. Plano**
*Emanuel Mulet** ❑ *Mario R. Devani**

Bajo condiciones ambientales favorables (climáticas y de manejo), existen variedades que aumentan su rendimiento en forma pronunciada, mientras otras lo hacen en forma más suave o lo mantienen casi constante. El análisis de índice ambiental ofrece la posibilidad de observar, a través de gráficos, cómo se comportan los distintos materiales a medida que mejoran las condiciones ambientales.

Los gráficos se conforman de la siguiente manera: los índices ambientales (promedios 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 ubicados 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, pudiendo con esta información 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 caída en su rendimiento por cada unidad de merma 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 (autorregulación ante nuevas condiciones,

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

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 crecientes de calidad ambiental.

A modo de ejemplo, si un genotipo obtiene un valor de b=0,8 implica que su rendimiento varía 0,8 kg/ha cuando el ambiente se modifica en 1 kg/ha (genotipo A, en Figura 1); en cambio los genotipos adaptables serían aquellos donde la pendiente es mayor a 1 (genotipo B, en Figura 1). 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 2011/2012, y se debe considerar 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.

Se presentan a continuación los gráficos del análisis, discriminando cada grupo de madurez (GM) en cuatro gráficos (GM IV-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 IV-V (Figura 2a):** los materiales se diferencian según su pendiente, observándose que DM 5,9 RR y SPS 5x9 RR son adaptables y cuentan además con valores altos de rendimiento en ambientes de buena calidad. El resto de las variedades de este GM se comportan como estables a lo largo de los distintos ensayos, destacándose las variedades NA 5909 RG y TJ 2158 RR por su buena performance en ambientes de baja calidad. Este GM fue superado en rendimiento por variedades de los otros GM, tanto en ambientes de alta calidad como en aquellos menos favorables.

- **GM VI (Figura 2b):** a primera vista, se observa el paralelismo entre las líneas de regresión, cruzadas solamente por la recta de la variedad DM 6,2 RR, la cual presentaría cierta adaptabilidad según su pendiente, con valores medios de rendimientos en ambientes de menor potencial, pero con buenos rindes en situaciones favorables. Del resto de los materiales, la mayoría responden como estables, con diferencias solo en sus valores de rendimientos, sobresaliendo DM 6,8 RR. Este cultivar presenta una recta de regresión ubicada por encima de las demás, lo que indica un muy buen comportamiento y alto potencial, dentro del GM VI, en cualquier tipo de ambiente. Le secundan, con igual tendencia pero con una performance ligeramente menor, los materiales RA 633 RR y SRM 6900 RR.

- **GM VII (Figura 2c):** tres variedades se comportan como adaptables: NS 7211 RG, RMO 75 RR y SY Coker 7x3 RR. La primera ostenta una alta adaptación a situaciones favorables, pero sus rindes decrecen significativamente en ambientes de baja calidad. El cultivar SY Coker 7x3 RR también logra un muy buen comportamiento en situaciones favorables, pero sin deprimir tanto su producción en ambientes de menor potencial. Entre los cultivares de comportamiento estable, se destaca RA 744 RR, principalmente por su actuación en condiciones menos propicias, presentando una performance satisfactoria al aumentar la calidad del ambiente en que se lo evalúa. Se debe remarcar el potencial de rendimiento de la variedad TJ 2175 RR en situaciones poco benignas.

- **GM VIII (Figura 2d):** dentro de este GM, los cultivares de comportamiento adaptable tuvieron un buen desempeño solo en situaciones favorables. Entre estas, presentaron mayores rendimientos Tob 7800 RR y DM 8473 RR (recién ingresada a la red de cultivares), seguidas de cerca por la indeterminada DM 8576 RR (también en su primer año de evaluación) y la determinada NS 8282 RG. Entre las estables, la tendencia fue inversa, ya que lograron mejores rindes en ambientes de baja calidad, sobresaliendo las variedades SPS 8x0 RR, NA 8004 RG y DM 8002 RR. Una performance interesante es la del material DM 7,8 RR, que aunque no sobresale en ninguna situación ambiental, tampoco deprime notoriamente, siendo sus rindes buenos a muy buenos.

A modo de resumen, en la Figura 3 se sitúan los 30 cultivares según su rendimiento promedio en todas las localidades (eje X) y su pendiente (eje Y), la cual nos da una idea de estabilidad o adaptabilidad. El gráfico fue separado por una línea vertical que cruza al eje X en el valor de 1817 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), Tob 7800 RR, NS 8282 RG, DM 8473 RR, DM 8576 RR, NS 7211 RG y, en un escalón más abajo, SY Coker 7x3 RR. Entre las estables (valores de pendiente cercanos o menores a la unidad) se destacan por superar el valor del promedio general, los cultivares DM 7,8 RR, NA 8004 RG, DM 8002 RR, SPS 8x0 RR, A 8000 RG, NA 8009 RG, DM 6,8 RR, RA 744 RR, RMO 805 RR y Yanasu RR. Además, en el gráfico puede observarse la supremacía de los materiales de GM VIII en la campaña 2011/2012, al ocupar los primeros 10 puestos en cuanto a rendimientos. A su vez, también es notoria la baja performance del GM V, ya que todos sus representantes se ubican detrás de la línea del promedio general.

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.

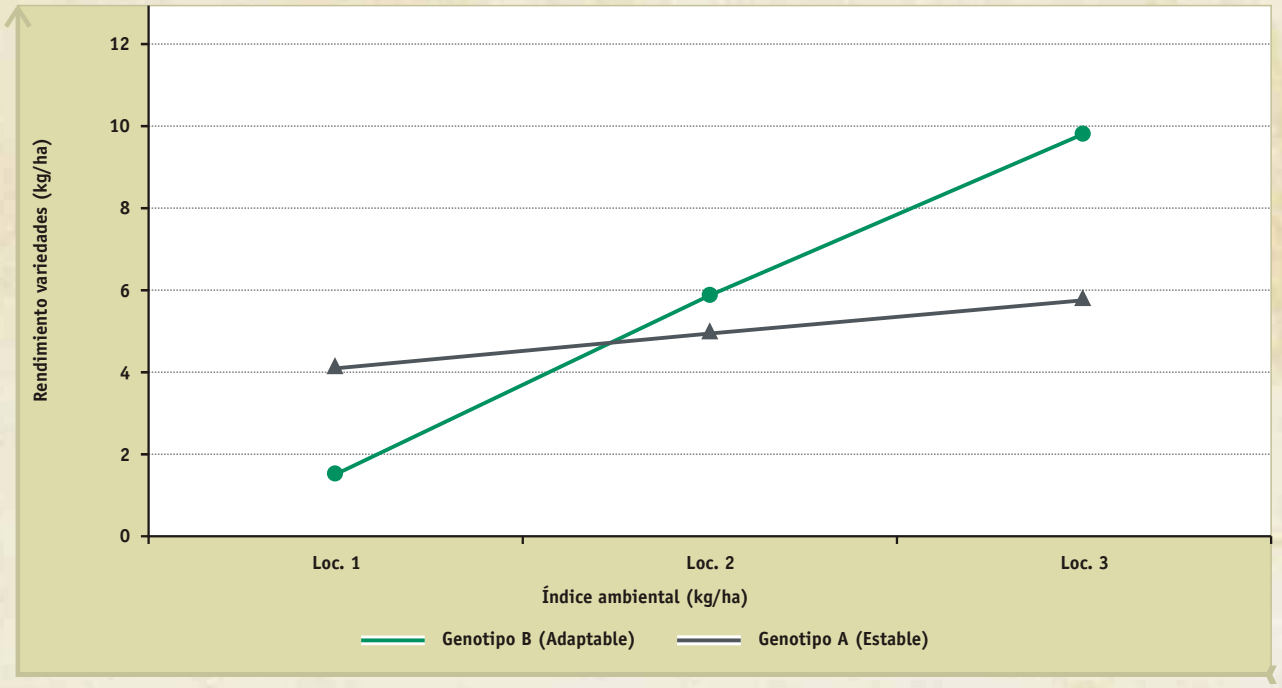


FIGURA 1. Ejemplificación gráfica de ajuste lineal de un genotipo adaptable y de uno estable.

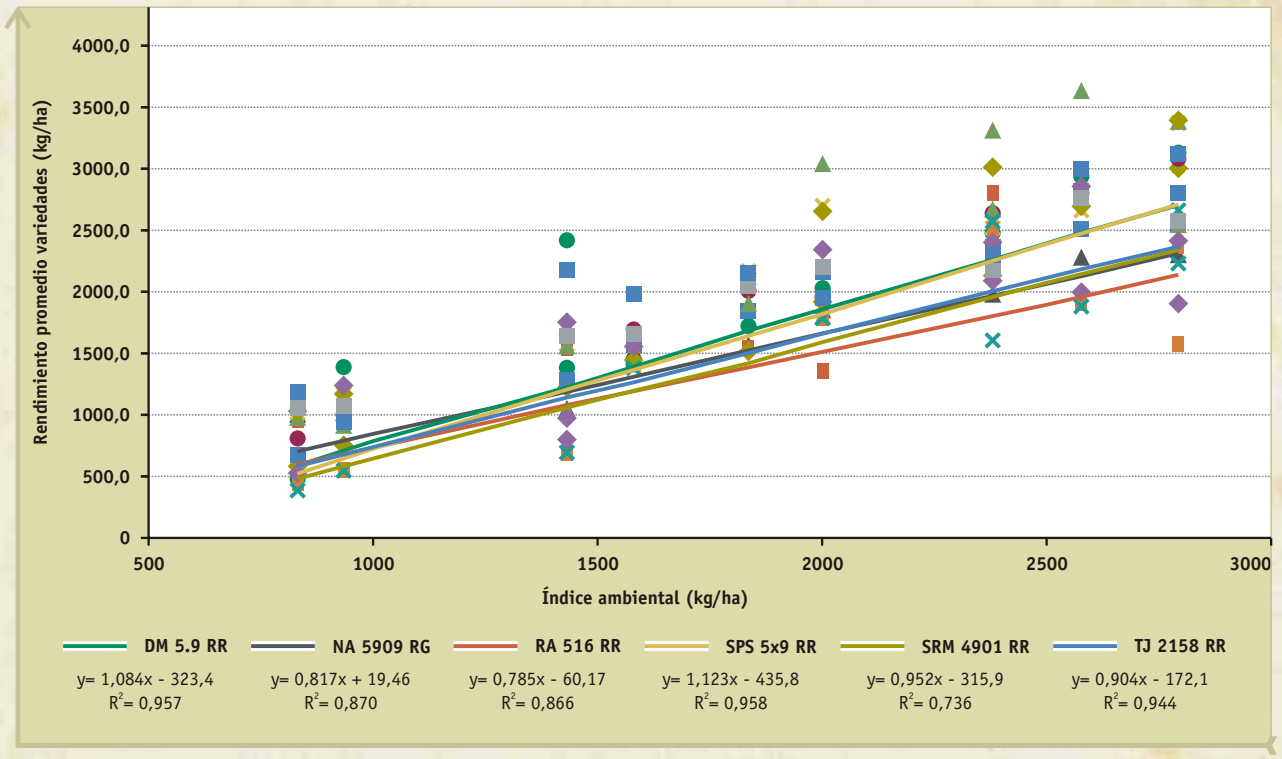


FIGURA 2a. Rendimiento (kg/ha) de variedades pertenecientes a GM IV-V y ajuste lineal de materiales, según índice ambiental en el NOA. Campaña 2011/2012.

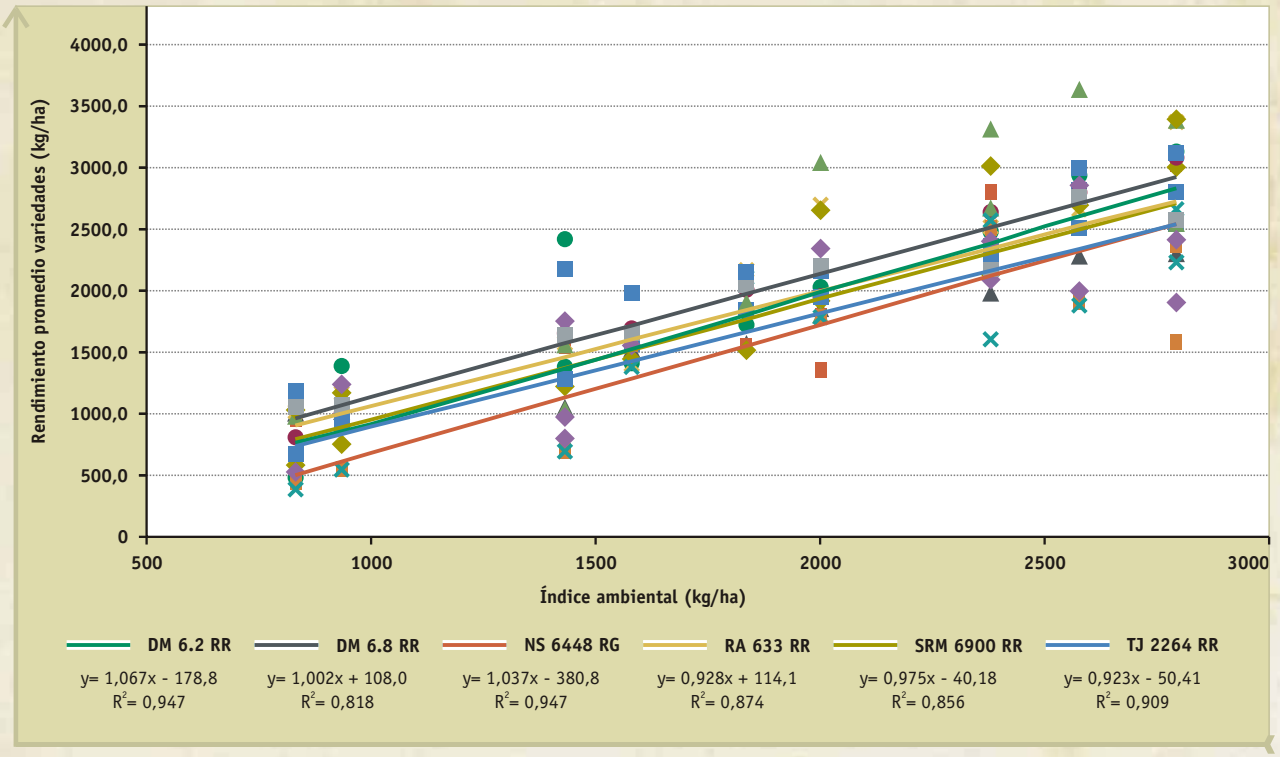


FIGURA 2b. Rendimiento (kg/ha) de variedades pertenecientes a GM VI y ajuste lineal de materiales, según índice ambiental en el NOA. Campaña 2011/2012.

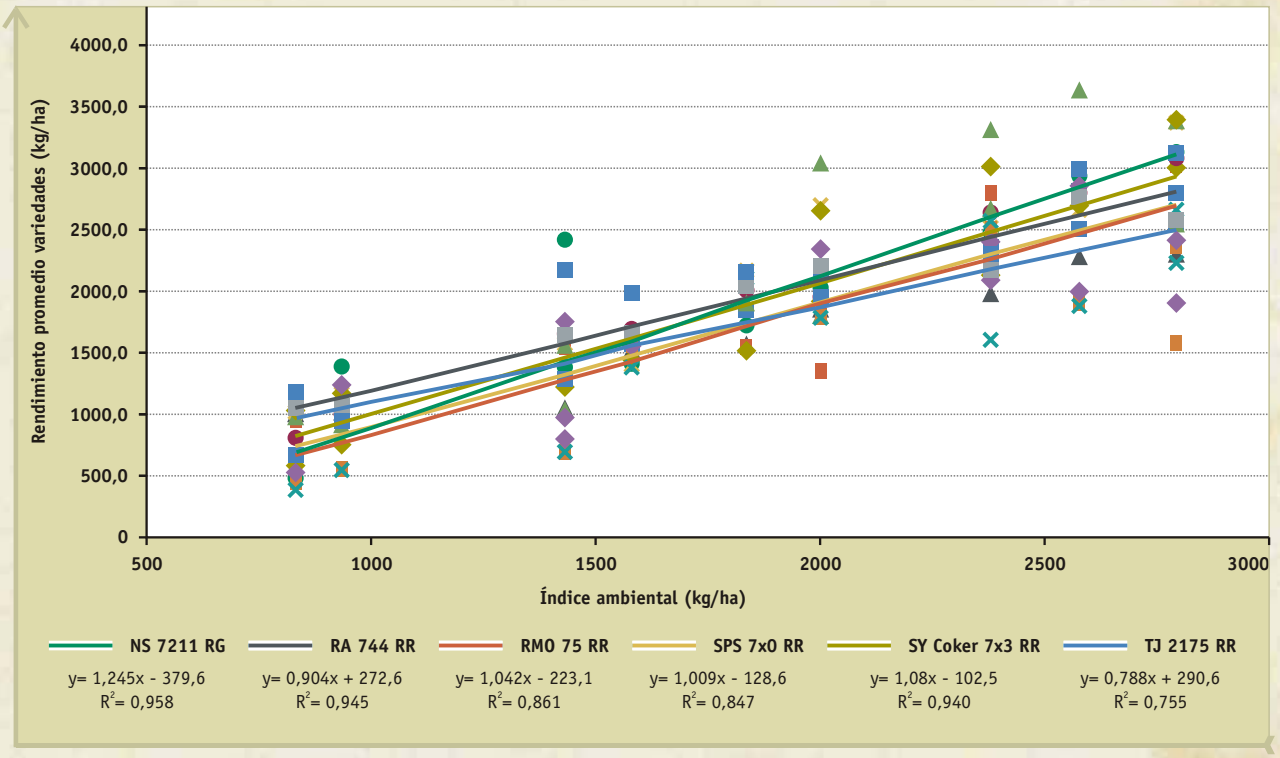


FIGURA 2c. Rendimiento (kg/ha) de variedades pertenecientes a GM VII y ajuste lineal de materiales, según índice ambiental en el NOA. Campaña 2011/2012.

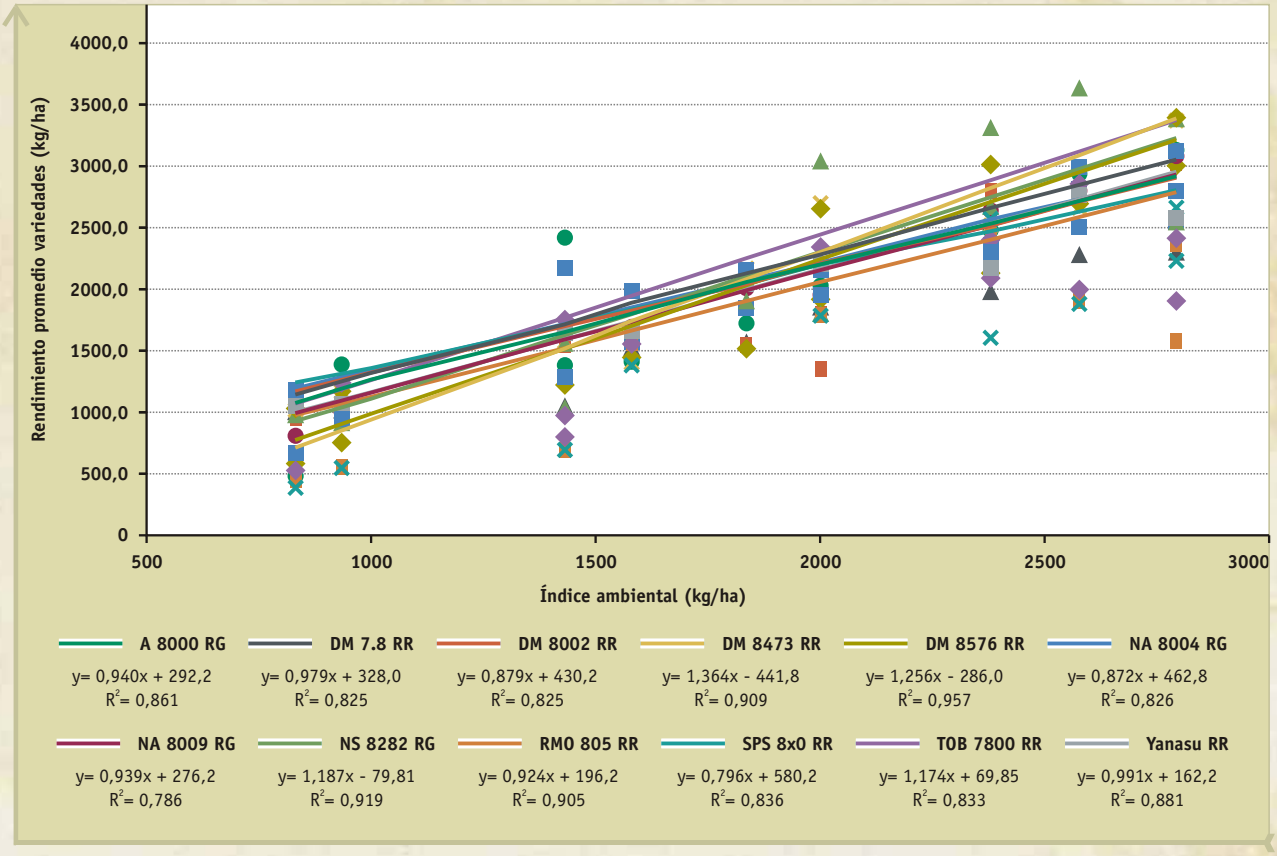


FIGURA 2d. Rendimiento (kg/ha) de variedades pertenecientes a GM VIII y ajuste lineal de materiales, según índice ambiental en el NOA. Campaña 2011/2012.

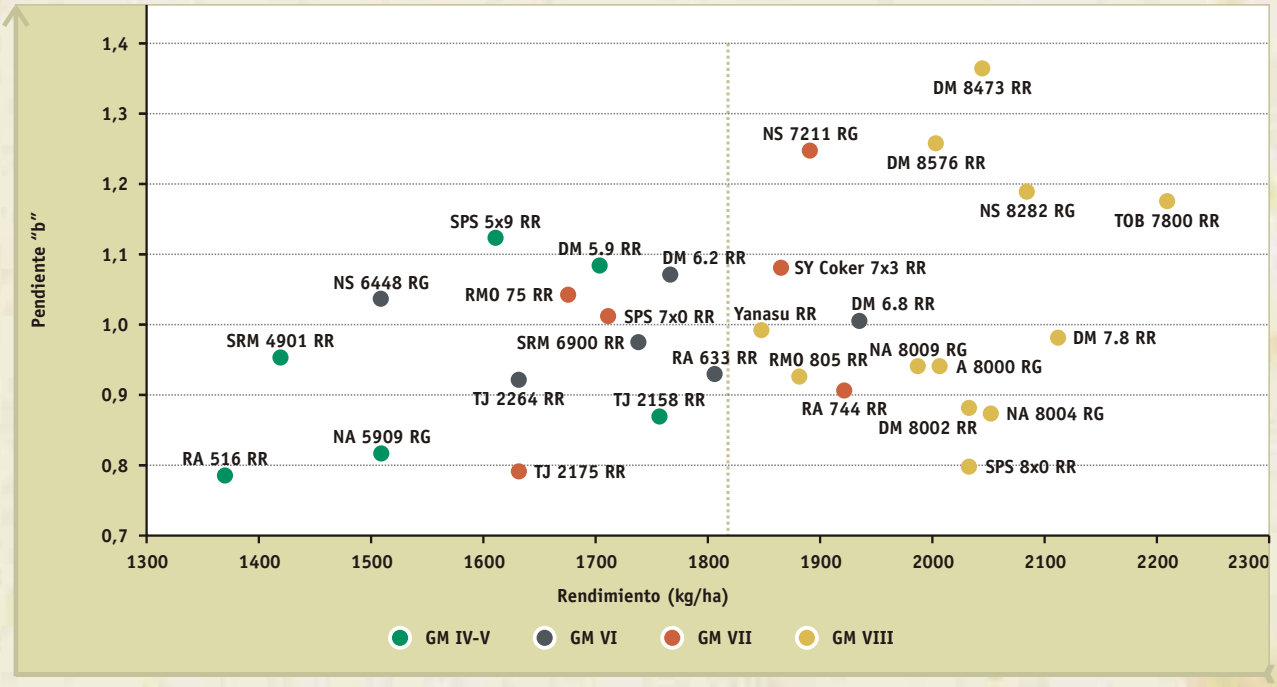


FIGURA 3. Rendimientos promedio de 30 variedades en 10 localidades de la Red de Macroparcelas en el NOA, en la campaña 2011/2012, y pendiente de la recta de regresión obtenida del ajuste lineal de las variedades.

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

Mario R. Devani ❑ José R. Sánchez* ❑ Fernando Ledesma**
Luciana López ❑ Facundo Valdez Quiroga**

En la campaña 2011/2012 se evaluaron 34 variedades comerciales de soja en 10 localidades del Noroeste Argentino (NOA), las cuales presentaron comportamientos diferenciales, debido a la influencia que ejerce el ambiente (interacción genotipo-ambiente). Existen genotipos (G) que poseen una adaptación amplia a distintos ambientes, mientras que otros se desempeñan bien particularmente en ambientes determinados (adaptación específica). En esta interacción genotipo-ambiente (GE), la diferencia entre el comportamiento de los genotipos es ocasionada por el ambiente (E) en el que se evalúan. Los ensayos multi-ambientes permiten evaluar 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 ambiente en particular.

Los efectos ambientales son, en general, los de mayor importancia en ensayos multiambientales (pudiendo explicar más del 70% de la variabilidad de los rendimientos). No obstante, los efectos del genotipo y los efectos 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 interacción GE

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

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, en conjunto con los gráficos biplot, reducen 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 al 100% sea esta suma, 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 de los ambientes (limpios de efecto ambiental), 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 interpretar un GGE biplot, se observan en primer lugar 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 componente principal 1 (CP1). Es importante notar si los puntos o marcadores que representan los genotipos van todos hacia el mismo lado, respecto del cero 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 cero 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; entiéndase por ellos a 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.

A continuación, se presentan los resultados de las evaluaciones realizadas durante la campaña 2011/2012.

DESEMPEÑO DE GRUPOS DE MADUREZ EN EL NOA

La relación de los distintos grupos de madurez (GM) con las localidades participantes en la Red de Variedades Comerciales de Soja del NOA en la campaña 2011/2012 puede observarse en la Figura 1. Es importante remarcar que la suma de ambos componentes principales (CP1 y CP2) supera el 90%, lo que demuestra la alta representación de lo ocurrido a campo en el gráfico. Se advierte que la mayoría de los vectores de las localidades se direccionan hacia el marcador del GM VIII, a excepción de la macroparcela de Lajitas Este. Esta se dirige hacia el punto del GM VII, lo que indica una relación positiva entre la localidad y los rendimientos del GM para la campaña en cuestión. Del resto de los ambientes, que presentaban en común buenos rindes del GM VIII, se podría hacer una salvedad con el vector del ensayo de San Agustín, el cual está algo alejado del resto, encontrándose su recta entre los marcadores del GM VIII y VII, los cuales fueron justamente los de mejor desempeño en este ambiente.

DESEMPEÑO DE VARIEDADES EN EL NOA

La disposición de los ambientes y variedades al desglosar los GM en los cultivares participantes, se observa en la Figura 2. Obviamente la suma del CP1 y CP2 no es tan elevada como en el caso anterior (mayor a 60%), dado el aumento de entradas a graficar, pero supera el valor mínimo requerido para poder utilizar este análisis. En general, se advierte que todos los marcadores de localidades se encuentran en el mismo hemisferio de la figura y que, a su vez, en este flanco las variedades vértices pertenecen solamente al GM VIII. Esto confirma lo indicado por la Figura 1 y demuestra que los materiales DM 8002 RR, DM 7,8 RR y Tob 7800 RR tuvieron en general un buen comportamiento en las localidades evaluadas. A su vez, se percibe un grupo de ambientes constituido por las localidades de El Palomar, Ballivián, La Cocha, Gral. Mosconi, La Virginia, Los Altos y San Agustín, altamente relacionados con DM 7,8 RR y DM 8002 RR principalmente (por ser variedades vértices) y en menor medida también con otras, como ser A 8000 RG, NA 8004 RG, NA 8009 RG, DM 8576 RR, Yanasu RR y DM 8473 RR. Las otras localidades presentan un direccionamiento medianamente definido hacia el cultivar Tob 7800 RR, aunque no es muy marcado.

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

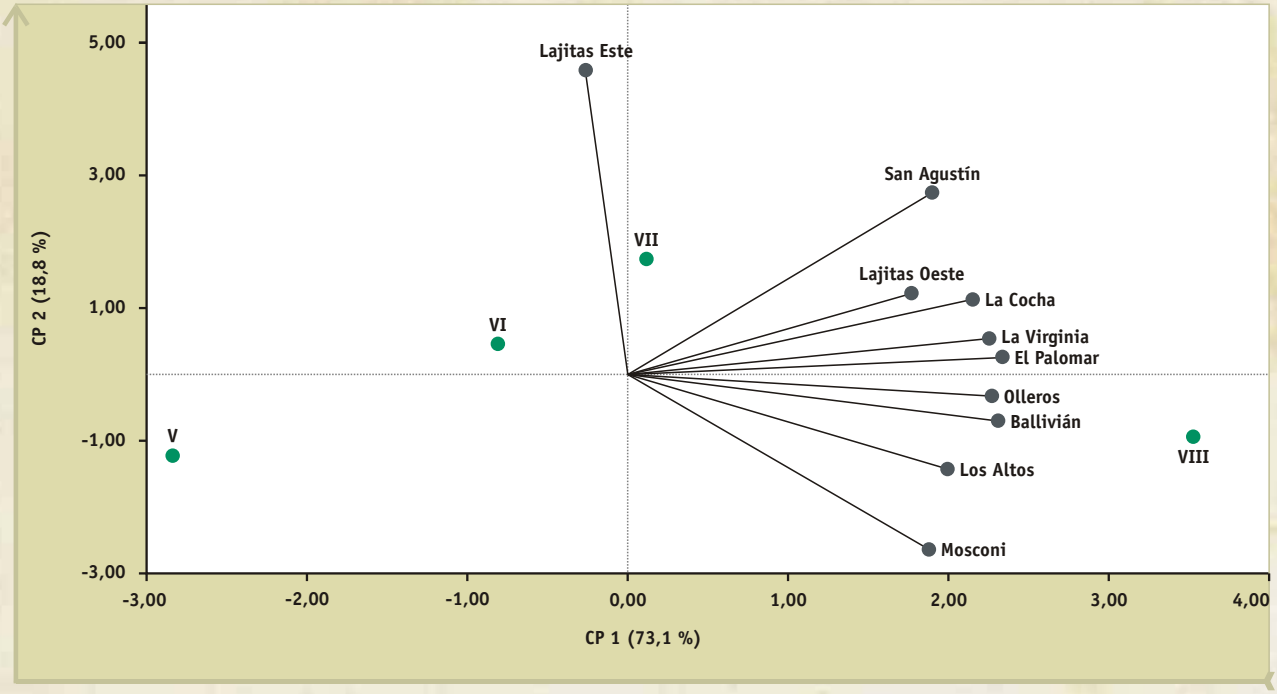


FIGURA 1. GGE Biplot para el desempeño de grupos de madurez en el Noroeste Argentino (NOA), evaluados durante la campaña 2011/2012.

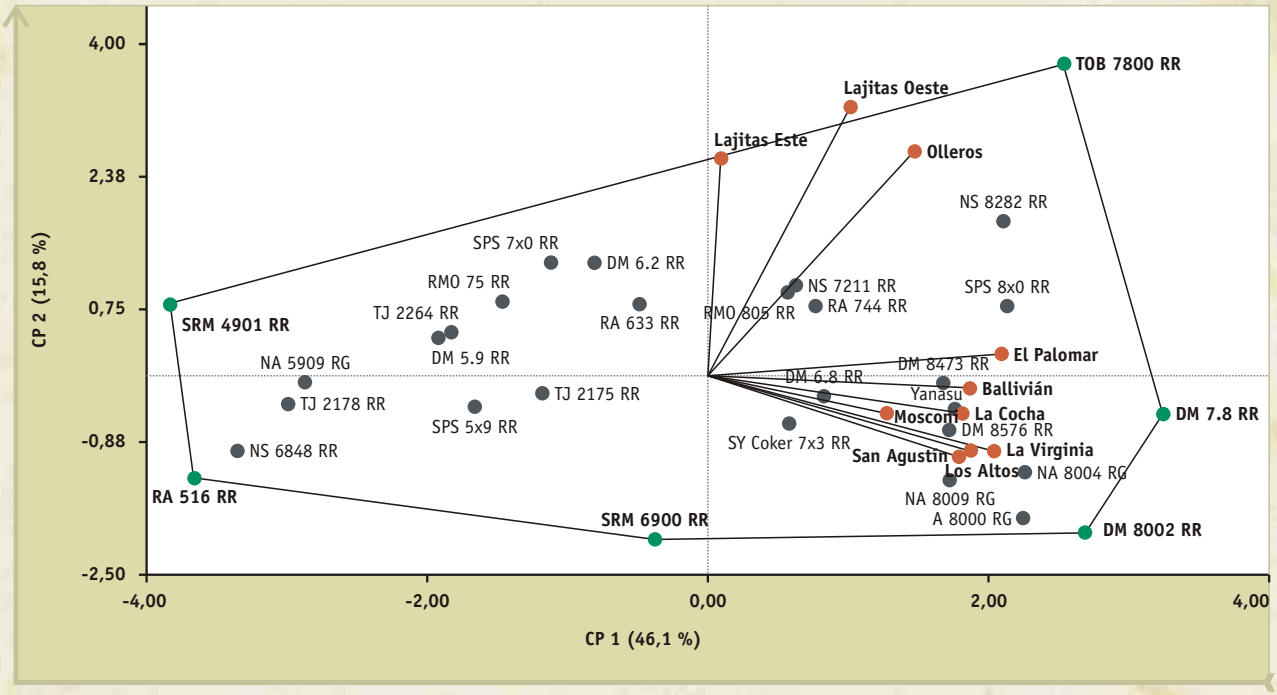


FIGURA 2. GGE Biplot para el desempeño de variedades en el NOA, evaluados durante la campaña 2011/2012.