



Especialización en Mejoramiento Genético Vegetal
Escuela para Graduados “Alberto Soriano”
Facultad de Agronomía
Universidad de Buenos Aires

Trabajo de Coronamiento para optar al título de
‘Especialista en Mejoramiento Genético Vegetal’

**Estimación del número y distribución de los ambientes para la
evaluación de rendimiento en cultivares de soja**

Santiago Marcos Zujic

Ingeniero Agrónomo

Universidad Nacional de Buenos Aires (2006)

Tutor: Juan Carlos Suárez

Ingeniero Agrónomo (FAUBA)

MSc. (Universidad Nacional de Rosario)

Ph. D. (Iowa State University)

18 de Octubre de 2012

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	2
ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	4
OBJETIVOS	6
MATERIALES Y MÉTODOS	7
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
CONCLUSIONES	31
AGRADECIMIENTOS	32
BIBLIOGRAFÍA	32

Resumen

El objetivo más importante de los programas de Mejoramiento Genético Vegetal es optimizar la productividad de los cultivos. Por otra parte, la cantidad de recursos económicos disponibles para la conducción de estos programas es limitada. Entonces, se necesita de una estrategia de evaluación que permita seleccionar aquellas líneas experimentales superiores en determinados ambientes con un presupuesto acotado. Los objetivos de este trabajo fueron (i) Estimar el número de ambientes necesarios para lograr detectar una diferencia mínima significativa (DMS) deseada de 250 kg ha^{-1} , y (ii) Establecer un criterio para seleccionar aquellos ambientes que permitan realizar la evaluación de manera eficiente. Los datos utilizados en este estudio se obtuvieron de las bases de datos generadas por la compañía Coop. Criadero Santa Rosa y por la “Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Soja” (RECSO). Se utilizaron los datos correspondientes al grupo de madurez IV cultivado durante cuatro campañas (2006/07 a 2009/10) en las Subregiones II-4, II-5 y II-6. El número de ambientes necesarios para detectar la DMS deseada se ubicó entre 5 y 10. Los resultados del Análisis de Conglomerados no permitieron dividir al mega-ambiente estudiado en subgrupos de ambientes homogéneos, ya que las asociaciones entre estos no fueron consistentes a través de las campañas. Sin embargo, pequeños grupos de ambientes (formados por 2 o 3 de ellos) tuvieron interacción genotipo x ambiente (IGA) similar a lo largo de las campañas en las que participaron.

Palabras clave: Mejoramiento genético de soja, productividad, ambientes de evaluación, interacción genotipo x ambiente, asignación de recursos.

Abstract

The most important aim of plant breeding programs is to optimize productivity of crops. On the other hand, the amount of financial resources available for this purpose is limited. Thus, an evaluation strategy is needed, that may allow us to choose superior experimental lines in certain environments with a bounded budget. The objectives of this work were (i) to estimate the number of environments needed to detect a least significant difference (LSD) of 250 kg ha⁻¹, and (ii) to establish a criterion that may allow us to choose those environments in which to perform the evaluation efficiently. The data used in this study were obtained from the databases generated by the company Coop. Criadero Santa Rosa and by the “Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Soja” (RECSO). We used the data set generated for the Maturity Group IV during four growing seasons (2006/07 to 2009/10) in the sub regions II-4, II-5 and II-6. The minimum number of environments for detecting the expected LSD ranked between 5 and 10. The result of the Cluster analysis did not allow us to divide the studied mega-environment in subgroups of homogeneous environments, as the associations between these were not consistent across growing seasons. However, small groups of environments were found (consisting of 2 or 3 of them) that had similar genotype × environment interaction (GE) effects along the seasons in which they participated.

Keywords Soybean breeding, productivity, Genotype × Environment interaction, environments for evaluation, allocation of resources.

Introducción

El objetivo más importante y común de los programas de Mejoramiento Genético Vegetal de cualquier especie es optimizar la productividad de los cultivos, siendo el rendimiento en grano uno de los principales factores que la influyen. Al tratar de mejorar el rendimiento de un cultivo surgen importantes problemas, como (1) la baja heredabilidad del carácter, ya que muestra interacción con los ambientes, y (2) la limitada cantidad de recursos económicos disponibles para la conducción de programas de Mejoramiento Genético Vegetal. Todo esto hace que la selección de líneas experimentales sea compleja. Por lo tanto, se requiere una estrategia de evaluación que permita comparar adecuadamente las líneas experimentales en un mínimo número de ambientes, para poder seleccionar aquellos genotipos superiores en un mega-ambiente determinado con un presupuesto acotado.

Esta temática fue estudiada por diferentes autores. Brennan et al. (1981) realizaron estimaciones del número de ambientes de evaluación necesarios para un programa de mejoramiento genético de trigo en Queensland (Australia) a través del cálculo de la DMS, y utilizaron el “*Cluster analysis*” (Lin, 1982) para agrupar estos ambientes de acuerdo al patrón de respuesta del desempeño (*performance*) de los genotipos. Encontraron que, para 10 % de diferencia entre las medias de los cultivares de trigo y 95 % de probabilidad de ocurrencia, el número de ambientes para Queensland fluctuaba entre 3 y 7 en el año 1977 y entre 2 y 10 en el año 1978. Los resultados del “*Cluster analysis*” mostraron que dentro de cada año se encontraban asociaciones de ambientes con similar IGA, pero que la composición de los agrupamientos variaba a través de los años. Por lo tanto no existió un sub-agrupamiento geográfico de los ambientes de evaluación en Queensland. Carter et al. (1983) llevaron a cabo estimaciones del número de ambientes de evaluación en un programa de mejoramiento genético de soja para dos niveles (10 y 20 %) de diferencia en rendimiento entre cultivares, asumiendo una baja IGA. Concluyeron que son necesarios, al menos, siete ambientes para detectar diferencias en rendimiento del 10 % entre cultivares de soja, para el sudeste de Estados Unidos. Lin y Butler (1988) utilizaron dos enfoques basados en la IGA para seleccionar localidades en un conjunto de ensayos regionales de rendimiento en Canadá para el cultivo de Cebada (*Hordeum vulgare*). El primero de ellos consistió en calcular el cuadrado medio de IGA más grande para cada número de localidades a través de un algoritmo especialmente designado. Los resultados de este enfoque mostraron que un mínimo de 6 y un máximo de 11 localidades generaron la

misma magnitud de IGA que todo el conjunto de datos. Para el segundo procedimiento utilizaron el método de “*Cluster analysis*” para agrupar localidades de similar IGA, y luego elegir una de cada grupo. Utilizaron el mínimo de localidades (6) como punto de corte para generar los diferentes agrupamientos. Los resultados de este análisis permitieron visualizar una gran flexibilidad para elegir localidades dentro de los diferentes 6 grupos. Hallaron 64 formas diferentes de obtener una localidad desde cada uno de los grupos. Ouyang et al. (1995) utilizaron el “*Cluster analysis*” con siete híbridos de maíz creciendo en 2006 ambientes de Iowa para el agrupamiento de 90 condados de ese estado. Los autores dividieron geográficamente el estado de Iowa en cuatro subgrupos de ambientes de evaluación homogéneos (sudeste, sudoeste, norte y centro de Iowa). Cooper et al. (1999) estimaron la Heredabilidad del promedio de líneas para rendimiento en grano de arroz cultivado en secano en las tierras bajas del noreste de Tailandia para diferentes combinaciones de sitios de evaluación, años y repeticiones. Los autores concluyeron que la mejor estrategia para programas de mejoramiento de esa región fue realizar 6 sitios de evaluación en 2 años y con dos repeticiones. Weikai y Rajcan (2002) aplicaron la técnica de “*Genotype main effect plus Genotype by Environment interaction effect*” (GGE) biplot analysis” en ensayos de soja conducidos a lo largo del este y sudeste de Ontario (Canadá). Los autores concluyeron que ambas regiones constituyen un único mega-ambiente. de la Vega y Chapman (2006) confirmaron a través del “*Pattern Analysis*” que las 2 subregiones Argentinas de producción de girasol (central y norte) son diferentes mega-ambiente de evaluación. Además estimaron a partir de los componentes de varianza del rendimiento en aceite de híbridos de girasol la repetibilidad de sus promedios dentro de cada subregión. Para este carácter, encontraron que 5 a 10 localidades y un año de testeo serían suficiente para lograr repetibilidades de 0.80 en la subregión central, mientras que para la subregión norte se necesitarían 5 a 6 años de testeo para lograr ese mismo nivel de repetibilidad. Roozeboom et al. (2008) estimaron los componentes de varianza y aplicaron la técnica de GGE biplot en ensayos de rendimiento de trigo en el estado de Kansas (Estados Unidos) para agrupar diferentes sitios de evaluación. Los autores encontraron que el cociente entre la estimación de la varianza de IGA y la estimación de la varianza Genética fue cercana o mayor que uno para más de la mitad de los años, lo que sugiere una mejora en la efectividad de la selección si se divide a la región en diferentes mega-ambientes. Esta división permite disminuir la parte de la IGA predecible (Genotipo x Localidad). Finalmente concluyeron que la división del estado en 6 mega-ambientes maximizó la frecuencia de agrupamientos entre pares de localidades durante un período de 21 años y confirmó la

efectividad para reducir la interacción Genotipo × Localidad. Luque et al. (2010) utilizaron modelos de regresión por sitio (REGS) y por genotipos (REGG), que expresan la respuesta en función del Genotipo más Genotipo × Ambiente y Ambiente más Genotipo × Ambiente, respectivamente, y la exhiben a través de sus gráficos “Biplot”, para identificar mega-ambientes y genotipos de soja de grupo de madurez (GM) IV largo con mayores rendimientos en 3 regiones de la República Argentina (norte, pampeana norte y pampeana sur). Los autores concluyeron que existen 2 mega-ambientes de evaluación y que estos no coinciden con los propuestos por la Red de Evaluación de Cultivares de Soja (RECSO).

Los **objetivos** de este trabajo fueron (i) Estimar el número de ambientes necesarios para lograr detectar, a través de ensayos comparativos de rendimiento, una diferencia mínima significativa deseada (DMS) entre líneas experimentales de 250 kg ha⁻¹ y (ii) Establecer un criterio para seleccionar aquellos ambientes que permitan realizar la evaluación de manera eficiente a lo largo de todo el mega-ambiente elegido, manteniendo la precisión deseada.

Materiales y Métodos

Descripción general y conducción de los experimentos

Los datos utilizados en este estudio se obtuvieron de dos bases de datos. Una generada por la compañía Coop. Criadero Santa Rosa (SR), y la otra proveniente de la Red Nacional de Evaluación de Cultivares de Soja (RECSO). Se utilizaron los datos generados en las Subregiones II-4, II-5 y II-6 (figura 1) durante las campañas 2006/07, 2007/08, 2008/09 y 2009/10. Los detalles generales de descripción de los ambientes (sitio, año y fecha de siembra), grupo-subgrupo de madurez y código de los Ensayos Comparativos de Rendimiento (ECR) se muestran en la tabla 1. Los datos de precipitación y temperatura para la zona de estudio están resumidos en las tablas 2, 3 y 4. Los promedios fueron calculados con datos provenientes de la RECSO y de las EEA INTA Pergamino, General Villegas y Marcos Juárez.

Para caracterizar la productividad de cada ambiente, se calculó también el Índice Ambiental (IA) según la ecuación (1).

$$IA = \frac{\sum \text{Rendimientos de los } i \text{ genotipos en el ambiente } j}{\text{N}^{\circ} \text{ de } i \text{ genotipos en el ambiente } j} \quad (1)$$

El diseño experimental empleado para todos los ensayos fue en bloques completos aleatorizados (DBCA) con 3 repeticiones, en parcelas de cuatro surcos de 5 m de largo (10,5 m²) distanciados a 0,525 m. Se cosecharon los dos surcos centrales (5,25 m²). Los ECR conducidos por SR fueron sembrados bajo el sistema de siembra directa. Para el caso de los ECR conducidos por la RECSO, los sistemas de labranza fueron siembra directa, labranza convencional o sobre rastrojo (por ejemplo, sobre un rastrojo de trigo cosechado en esa misma campaña). Todos los ECR se hicieron en seco. Con respecto a la fecha de siembra (FS), existió un amplio rango de situaciones. No obstante esto, el 77 % de los ECR fueron sembrados en fecha "Óptima" (entre el 1 de noviembre y el 10 de diciembre). Del restante 23 %, el 8 % de los ECR fueron sembrados en fecha "Temprana" (anteriores al 1 de noviembre) y el 15 % restante en fecha "Tardía" (posteriores al 10 de diciembre). Que una fecha de siembra sea "Óptima", "Temprana" o "Tardía" responde al

criterio utilizado por la RECSO. Las densidades de siembra utilizadas fueron de 32-35 plantas m⁻² a cosecha. Se realizaron estrictos controles químicos de malezas e insectos. No se realizaron aplicaciones de fungicida.

Tabla 1. Descripción de los ambientes, grupo-subgrupo de madurez (GM) y código de los ensayos comparativos de rendimiento incluidos en el análisis.

Sub Región	Localidad	Código Localidad	Campaña	GM	Sub GM	Fecha de Siembra	Ambiente *	Código* ECR
4	CASILDA	CAS	2006/07	IV	Corto	14/11/2006	CAS71	CAS7R4c1
4	CORRAL de BUSTOS	CdB	2006/07	IV	Corto	11/11/2006	CdB72	CdB7R4c2
4	MACIEL	MAC	2006/07	IV	Largo	10/11/2006	MAC71	MAC7R4L1
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2006/07	IV	Corto	12/12/2006	MJ73	MJ7R4c3
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2006/07	IV	Largo	12/12/2006	MJ73	MJ7R4L3
4	Monte Buey	MBY	2006/07	IV	Corto	22/11/2006	MBY71	MBY7R4c1
4	OLIVEROS	OLI	2006/07	IV	Corto	30/11/2006	OLI71	OLI7R4c1
4	OLIVEROS	OLI	2006/07	IV	Largo	30/11/2006	OLI71	OLI7R4L1
4	OLIVEROS	OLI	2006/07	IV	Largo	04/01/2007	OLI72	OLI7R4L2
4	PERGAMINO	PER	2006/07	IV	Largo	08/11/2006	PER71	PER7R4L1
4	PERGAMINO	PER	2006/07	IV	Largo	11/11/2006	PER72	PER7R4L2
4	SANTA ISABEL	SI	2006/07	IV	Corto	01/11/2006	SI71	SI7R4c1
4	VENADO TUERTO	VT	2006/07	IV	Corto	08/11/2006	VT71	VT7R4c1
4	VENADO TUERTO	VT	2006/07	IV	Largo	15/11/2006	VT71	VT7R4L1
4	CASILDA	CAS	2007/08	IV	Corto	15/11/2007	CAS81	CAS8R4c1
4	CORRAL de BUSTOS	CdB	2007/08	IV	Corto	12/11/2007	CdB81	CdB8R4c1
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2007/08	IV	Corto	26/10/2007	MJ81	MJ8R4c1
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2007/08	IV	Corto	06/12/2007	MJ82	MJ8R4c2
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2007/08	IV	Largo	06/12/2007	MJ82	MJ8R4L2
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2007/08	IV	Largo	27/12/2007	MJ83	MJ8R4L3
4	Monte Buey	MBY	2007/08	IV	Corto	18/11/2007	MBY81	MBY8R4c1
4	OLIVEROS	OLI	2007/08	IV	Corto	06/12/2007	OLI81	OLI8R4c1
4	OLIVEROS	OLI	2007/08	IV	Corto	20/12/2007	OLI82	OLI8R4c2
4	OLIVEROS	OLI	2007/08	IV	Largo	06/12/2007	OLI81	OLI8R4L1
4	OLIVEROS	OLI	2007/08	IV	Largo	20/12/2007	OLI82	OLI8R4L2
4	PERGAMINO	PER	2007/08	IV	Largo	29/11/2007	PER81	PER8R4L1
4	PERGAMINO	PER	2007/08	IV	Largo	08/11/2007	PER82	PER8R4L2
4	SANTA ISABEL	SI	2007/08	IV	Corto	27/11/2007	SI81	SI8R4c1
4	VENADO TUERTO	VT	2007/08	IV	Corto	14/11/2007	VT81	VT8R4c1
4	VENADO TUERTO	VT	2007/08	IV	Largo	14/11/2007	VT81	VT8R4L1
4	CASILDA	CAS	2008/09	IV	Corto	12/12/2008	CAS94	CAS9R4c4
4	CORRAL de BUSTOS	CdB	2008/09	IV	Corto	17/12/2008	CdB94	CdB9R4c4
4	MACIEL	MAC	2008/09	IV	Largo	06/12/2008	MAC93	MAC9R4L3
4	MARCOS	MJ	2008/09	IV	Corto	24/10/2008	MJ92	MJ9R4c2

4	JUÁREZ MARCOS JUÁREZ	MJ	2008/09	IV	Corto	02/12/2008	MJ93	MJ9R4c3
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2008/09	IV	Largo	24/10/2008	MJ92	MJ9R4L2
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2008/09	IV	Largo	02/12/2008	MJ93	MJ9R4L3
4	Monte Buey	MBY	2008/09	IV	Corto	30/10/2008	MBY91	MBY9R4c1
4	OLIVEROS	OLI	2008/09	IV	Corto	03/12/2008	OLI93	OLI9R4c3
4	OLIVEROS	OLI	2008/09	IV	Largo	03/12/2008	OLI93	OLI9R4L3
4	OLIVEROS	OLI	2008/09	IV	Largo	09/02/2009	OLI95	OLI9R4L5
4	PERGAMINO	PER	2008/09	IV	Largo	23/12/2008	PER94	PER9R4L4
4	SANTA ISABEL	SI	2008/09	IV	Corto	20/11/2008	SI93	SI9R4c3
4	VENADO TUERTO	VT	2008/09	IV	Corto	14/11/2008	VT93	VT9R4c3
4	VENADO TUERTO	VT	2008/09	IV	Largo	14/11/2008	VT93	VT9R4L3
4	CASILDA	CAS	2009/10	IV	Corto	09/12/2009	CAS103	CAS10R4c3
4	MACIEL	MAC	2009/10	IV	Largo	27/11/2009	MAC103	MAC10R4L3
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2009/10	IV	Corto	24/11/2009	MJ103	MJ10R4c3
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2009/10	IV	Corto	24/11/2009	MJ105	MJ10R4c5
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2009/10	IV	Largo	23/10/2009	MJ102	MJ10R4L2
4	MARCOS JUÁREZ	MJ	2009/10	IV	Largo	24/11/2009	MJ106	MJ10R4L6
4	OLIVEROS	OLI	2009/10	IV	Corto	27/11/2009	OLI103	OLI10R4c3
4	OLIVEROS	OLI	2009/10	IV	Corto	27/01/2010	OLI105	OLI10R4c5
4	OLIVEROS	OLI	2009/10	IV	Largo	27/11/2009	OLI103	OLI10R4L3
4	PERGAMINO	PER	2009/10	IV	Largo	05/11/2009	PER103	PER10R4L3
4	SANTA ISABEL	SI	2009/10	IV	Corto	20/11/2009	SI103	SI10R4c3
5	HUINCA RENANCÓ	HRC	2006/07	IV	Corto	08/11/2006	HRC71	HRC7R4c1
5	JOVITA	JOV	2006/07	IV	Corto	09/11/2006	JOV71	JOV7R4c1
5	JOVITA	JOV	2006/07	IV	Largo	09/11/2006	JOV71	JOV7R4L1
5	VICUÑA MACKENNA	VCÑ	2006/07	IV	Corto	30/11/2006	VCÑ71	VCÑ7R4c1
5	VICUÑA MACKENNA	VCÑ	2006/07	IV	Largo	30/11/2006	VCÑ71	VCÑ7R4L1
5	GRAL VILLEGAS	GVG	2007/08	IV	Corto	23/11/2007	GVG81	GVG8R4c1
5	HUINCA RENANCÓ	HRC	2007/08	IV	Corto	24/11/2007	HRC81	HRC8R4c1
5	JOVITA	JOV	2007/08	IV	Corto	23/11/2007	JOV81	JOV8R4c1
5	JOVITA	JOV	2007/08	IV	Largo	23/11/2007	JOV81	JOV8R4L1
5	VICUÑA MACKENNA	VCÑ	2007/08	IV	Corto	24/11/2007	VCÑ81	VCÑ8R4c1
5	VICUÑA MACKENNA	VCÑ	2007/08	IV	Largo	24/11/2007	VCÑ81	VCÑ8R4L1
5	GRAL VILLEGAS	GVG	2008/09	IV	Corto	05/11/2008	GVG93	GVG9R4c3
5	HUINCA RENANCÓ	HRC	2008/09	IV	Corto	01/12/2008	HRC94	HRC9R4c4
5	JOVITA	JOV	2008/09	IV	Corto	12/11/2008	JOV93	JOV9R4c3
5	JOVITA	JOV	2008/09	IV	Largo	12/11/2008	JOV93	JOV9R4L3
5	VICUÑA MACKENNA	VCÑ	2008/09	IV	Corto	15/12/2008	VCÑ94	VCÑ9R4c4
5	VICUÑA MACKENNA	VCÑ	2008/09	IV	Largo	15/12/2008	VCÑ94	VCÑ9R4L4

5	GRAL VILLEGAS	GVG	2009/10	IV	Corto	22/11/2009	GVG103	GVG10R4c3
5	HUINCA RENANCÓ	HRC	2009/10	IV	Corto	20/11/2009	HRC103	HRC10R4c3
6	BELLOCQ	BCQ	2006/07	IV	Largo	14/11/2006	BCQ71	BCQ7R4L1
6	CARMEN de ARECO	CAR	2006/07	IV	Corto	14/11/2006	CAR71	CAR7R4c1
6	CHACABUCO	CHA	2006/07	IV	Corto	04/11/2006	CHA71	CHA7R4c1
6	Fontezuela	FON	2006/07	IV	Largo	18/11/2006	FON71	FON7R4L1
6	SALTO	SAL	2006/07	IV	Largo	04/11/2006	SAL71	SAL7R4L1
6	9 de JULIO	9dJ	2007/08	IV	Largo	30/11/2007	9dJ81	9dJ8R4L1
6	BELLOCQ	BCQ	2007/08	IV	Largo	13/11/2007	BCQ81	BCQ8R4L1
6	CARMEN de ARECO	CAR	2007/08	IV	Corto	28/11/2007	CAR81	CAR8R4c1
6	CHACABUCO	CHA	2007/08	IV	Corto	06/11/2007	CHA81	CHA8R4c1
6	Fontezuela	FON	2007/08	IV	Largo	06/11/2007	FON81	FON8R4L1
6	SALTO	SAL	2007/08	IV	Largo	17/11/2007	SAL81	SAL8R4L1
6	9 de JULIO	9dJ	2008/09	IV	Largo	10/11/2008	9dJ93	9dJ9R4L3
6	BELLOCQ	BCQ	2008/09	IV	Largo	05/11/2008	BCQ93	BCQ9R4L3
6	CARMEN de ARECO	CAR	2008/09	IV	Corto	10/12/2008	CAR93	CAR9R4c3
6	CHACABUCO	CHA	2008/09	IV	Corto	28/10/2008	CHA92	CHA9R4c2
6	Fontezuela	FON	2008/09	IV	Largo	26/10/2008	FON92	FON9R4L2
6	SALTO	SAL	2008/09	IV	Largo	30/10/2008	SAL92	SAL9R4L2
6	SALTO	SAL	2008/09	IV	Largo	04/12/2008	SAL93	SAL9R4L3
6	9 de JULIO	9dJ	2009/10	IV	Largo	11/11/2009	9dJ103	9dJ10R4L3
6	BELLOCQ	BCQ	2009/10	IV	Largo	03/12/2009	BCQ103	BCQ10R4L3
6	CARMEN de ARECO	CAR	2009/10	IV	Corto	30/11/2009	CAR103	CAR10R4c3
6	CHACABUCO	CHA	2009/10	IV	Corto	09/11/2009	CHA103	CHA10R4c3
6	Fontezuela	FON	2009/10	IV	Largo	10/12/2009	FON102	FON10R4L2
6	SALTO	SAL	2009/10	IV	Largo	06/11/2009	SAL103	SAL10R4L3

* La denominación del ambiente se realizó concatenando el código de la localidad, el año de cosecha de la campaña y la FS. Para una misma localidad, un número mayor en la FS indica siembras más tardías. Para formar el código ECR se le agrega a la denominación del ambiente el grupo y subgrupo de madurez.

Tabla 2. Promedio mensual de precipitación y temperatura durante el ciclo de cultivo de soja en la subregión II-4 para las campañas agrícolas 2006/07, 2007/08, 2008/09 y 2009/10.

Variable	Mes	Campaña			
		2006/07	2007/08	2008/09	2009/10
Precipitaciones promedio (mm)	Septiembre	11	99	33	111
	Octubre	136	100	60	71
	Noviembre	112	21	139	141
	Diciembre	213	114	48	299
	Enero	118	96	62	186
	Febrero	196	126	161	115
	Marzo	291	66	90	45
	Abril	52	24	32	75
	Total	1129	647	626	1042
Temperatura media (°C)	Septiembre	14,8	16,6	15,2	13,3
	Octubre	20,0	18,9	19,1	17,9
	Noviembre	20,9	20,7	24,4	22,1
	Diciembre	23,9	23,4	23,7	22,4
	Enero	22,9	24,5	23,4	24,6
	Febrero	22,9	23,5	22,7	24,0
	Marzo	20,6	21,7	23,2	23,6
	Abril	19,1	18,1	21,0	17,4

Tabla 3. Promedio mensual de precipitación y temperatura durante el ciclo de cultivo de soja en la subregión II-5 para las campañas agrícolas 2006/07, 2007/08, 2008/09 y 2009/10.

Variable	Mes	Campaña			
		2006/07	2007/08	2008/09	2009/10
Precipitaciones promedio (mm)	Septiembre	7	103	27	86
	Octubre	98	66	54	12
	Noviembre	105	29	112	83
	Diciembre	152	83	74	250
	Enero	174	98	48	166
	Febrero	255	146	118	132
	Marzo	175	71	62	22
	Abril	12	16	19	29
	Total	977	611	513	779
Temperatura media (°C)	Septiembre	14	15	13,5	12,3
	Octubre	18,3	17,7	17,4	18
	Noviembre	19,4	19,5	23,9	20,6
	Diciembre	23,9	22,5	22,6	21,9
	Enero	22,8	23,3	23,7	24,2
	Febrero	22,1	22,9	23,3	22,4
	Marzo	20,2	20,8	25,1	21,8
	Abril	17,7	16,2	22,5	15,7

Tabla 4. Promedio mensual de precipitación y temperatura durante el ciclo de cultivo de soja en la subregión II-6 para las campañas agrícolas 2006/07, 2007/08, 2008/09 y 2009/10.

Variable	Mes	Campaña			
		2006/07	2007/08	2008/09	2009/10
Precipitaciones promedio (mm)	<i>Septiembre</i>	17	64	34	88
	<i>Octubre</i>	199	72	108	62
	<i>Noviembre</i>	67	36	102	159
	<i>Diciembre</i>	156	63	25	230
	<i>Enero</i>	110	140	19	117
	<i>Febrero</i>	190	75	119	187
	<i>Marzo</i>	272	175	45	77
	<i>Abril</i>	87	12	52	37
	Total	1099	638	504	957
Temperatura media (°C)	<i>Septiembre</i>	13,8	15,8	14,0	12,3
	<i>Octubre</i>	18,8	17,9	17,9	17,1
	<i>Noviembre</i>	19,4	18,5	23,9	20,4
	<i>Diciembre</i>	23,5	22,1	23,6	22,0
	<i>Enero</i>	22,1	24,3	24,5	23,9
	<i>Febrero</i>	21,4	23,1	22,7	22,4
	<i>Marzo</i>	20,1	20,7	22,6	21,3
	<i>Abril</i>	17,9	16,6	19,0	15,5

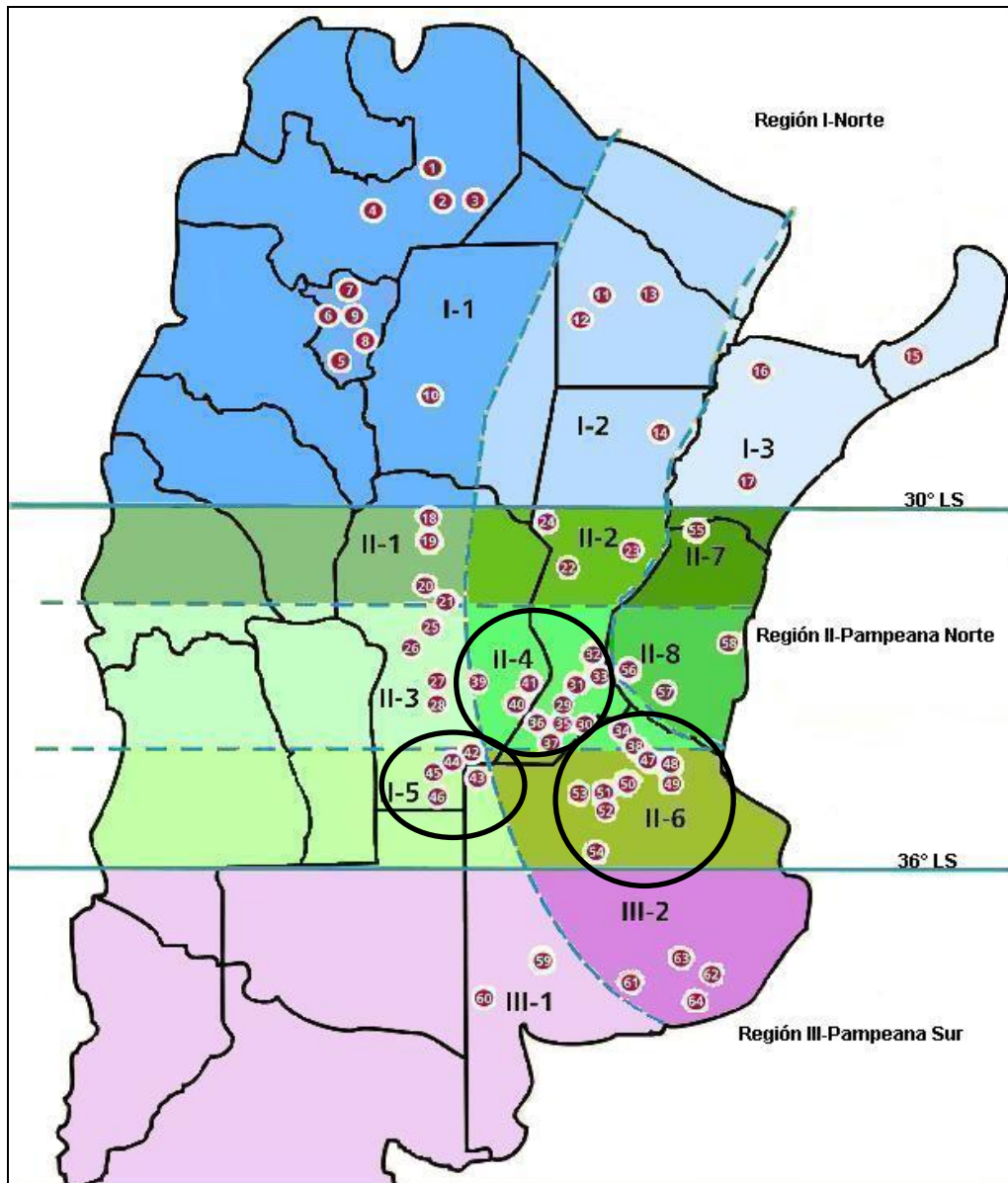


Figura 1. Regiones y subregiones sojeras de la República Argentina (Adaptado de RECSO). Los círculos negros indican las subregiones para las cuáles fue hecho el análisis de este trabajo y cada punto dentro de ellos es una localidad de evaluación.

Análisis de datos

Para el análisis se seleccionaron 231 ECR, 38 de SR y 193 de la RECSO. Se consideró un ambiente a cada combinación de fecha de siembra x año x localidad. En cada ambiente suele haber varios ECR, cada uno para comparar genotipos dentro de cada Grupo-Subgrupo de Madurez. En este estudio se utilizaron los ECR que pertenecían al GM IV¹. Se eliminaron del análisis aquellos ECR que tenían (i) una diferencia significativa

¹ Los datos originales, de ser solicitados, serán provistos por el autor.

mayor a 500 kg ha⁻¹ y un Coeficiente de Variación (CV) mayor a 15%, y (ii) una diferencia significativa menor que 500 kg ha⁻¹ y un CV mayor que 17,5%. La diferencia significativa fue calculada mediante la prueba de Tukey con $\alpha = 0.10$. Este es el mismo criterio utilizado por la RECSO para aceptar o descartar un ECR. La selección de los datos propios se hizo con un *software* de la compañía y los de la RECSO a través del *software* ProVar (Fuentes et al., 2006). El paquete estadístico que se utilizó para realizar los análisis de varianza fue EXPIGA (Suárez, 2010). El “EXPIGA” es un *software* que realiza un análisis de la IGA de los datos usando el método de Shukla (1971).

El número de ambientes requeridos fue calculado a través de la ecuación (2).

$$DMS = t (gl_{CMIGA}; \alpha/2) * (2 CM IGA/(r*a))^{1/2} \quad (2)$$

donde $t (gl_{CMIGA}; \alpha/2)$ es el estadístico t de Student para los grados de libertad del cuadrado medio de la interacción Genotipo \times Ambiente (CM IGA) y 0.10 de nivel de significancia de la prueba (α); CM IGA se obtiene del análisis de varianza de las distintas experiencias realizadas con el *software* EXPIGA; r es el número de repeticiones, en este caso de 3; a es el número de ambientes, que se obtuvo despejando desde la fórmula de DMS. Este cálculo se realizó de manera individual para cada una de las campañas evaluadas, con los datos del GM IV corto y IV largo de la RECSO y del GM IV de SR (sólo se hizo distinción entre subgrupos de madurez para el año 2008, debido a que en los demás años la compañía no separó sus ECR en IV corto y largo). Los genotipos utilizados para este cálculo variaron dependiendo del subgrupo de madurez, la fuente de datos y la campaña. Para el caso de GM IV corto RECSO la cantidad de genotipos participantes varió entre 10 y 14, para el GM IV largo RECSO entre 14 y 28, mientras que para GM IV SR entre 19 y 24. También se calculó una experiencia conjunta para todas las campañas, pero sólo se utilizaron los cultivares GM IV corto y IV largo de la RECSO que se presentaron en todos los ambientes, debido a que el análisis de Shukla requiere de una matriz completa. Estos fueron AS4201, FN4-25, NA4209RG y RA424 para el GM IV corto y AS4801, DM4970, FN4-85, NA4613RG y NA4990RG para el GM IV largo.

La DMS deseada se estableció en 250 kg ha⁻¹, ya que este valor es (i) por un lado la diferencia de rendimiento con la que un productor decide cambiar un cultivar antiguo por otro nuevo recientemente lanzado al mercado (Wright, R. com. pers.), y (ii) por otro lado, la

diferencia de rendimiento con el cual se realiza la selección de líneas experimentales dentro del programa de mejoramiento de SR (Wright, R. com. pers.).

Para analizar la distribución de los ambientes dentro de la región propuesta se utilizó un análisis de clasificación “*Cluster Analysis*”. Esta técnica de análisis multivariado permite particionar el total de ambientes en subgrupos más homogéneos y así reducir la IGA dentro de cada nueva subregión, como también poder conocer aquellos ambientes correlacionados y, en caso de decidir aprovechar la IGA a lo largo de todo el megaambiente, elegir aquellos que no presentan correlación. Para realizar este análisis se construyeron matrices con la IGA de los cultivares que estaban presentes entre las campañas 2006/07 y 2009/10. Este cálculo se realizó de manera individual para cada una de las campañas anteriormente citadas con los datos del GM IV corto y GM IV largo de la RECSO. Los cultivares utilizados en el análisis fueron los mismos que los empleados para el cálculo del número de ambientes en la experiencia conjunta, debido a que éstos estuvieron presentes en todas las campañas analizadas. En el análisis de clasificación se aplicó como criterio de agrupamiento el *Average linkage* (promedio de ligamiento de la distancia entre dos conglomerados). Este último se obtiene promediando todas las distancias entre pares de ambientes, donde un miembro del par pertenece a uno de los conglomerados y el otro miembro al segundo conglomerado (Bernardo, 2010). La distancia entre el ambiente j y el j' se calculó según la ecuación (3), adaptada de Ouyang et al. (1995), citada en Bernardo (2010).

$$D_{JJ'} = 2 (1 - 1/n) (1 - r_{jj'}) \quad (3)$$

donde $D_{JJ'}$ es la distancia entre los ambientes j y j' ; n es el número de genotipos creciendo en el ambiente j y en j' ; $r_{jj'}$ es la correlación entre el efecto de la IGA de los genotipos en los ambientes j y j' .

Se armaron conglomerados separando los grupos de “*Cluster Analysis*” a la distancia 1.5, que se corresponde con un coeficiente de correlación aproximado de $r_{jj'} = 0,07$. Dentro de cada conglomerado quedan incluidos aquellos ambientes con $r_{jj'} > 0,07$, definiéndose entonces subgrupos de ambientes prácticamente sin correlación entre ellos.

Los dendogramas fueron realizados con el software estadístico Infostat Estudiantil (Di Rienzo et al., 2008).

Resultados y Discusión

Número de Ambientes

En las figuras 2, 3 y 4 se presenta una simulación de la DMS detectada en función del número de ambientes empleados para 3 diferentes fuentes de datos.

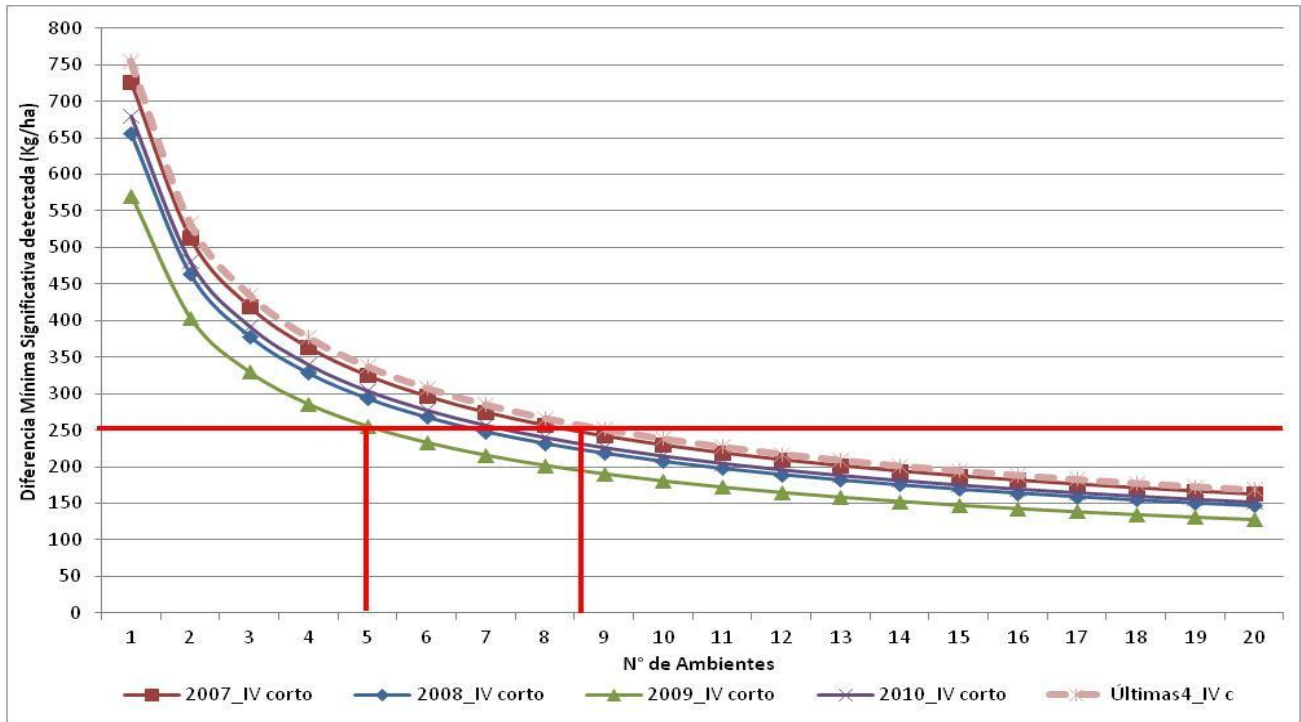


Figura 2. Diferencia Mínima Significativa detectada en función del número de Ambientes de evaluación empleado. Los datos utilizados fueron los generados en los experimentos RECSO GM IV_corto para cada una de las diferentes campañas y para el análisis de las 4 últimas en conjunto.

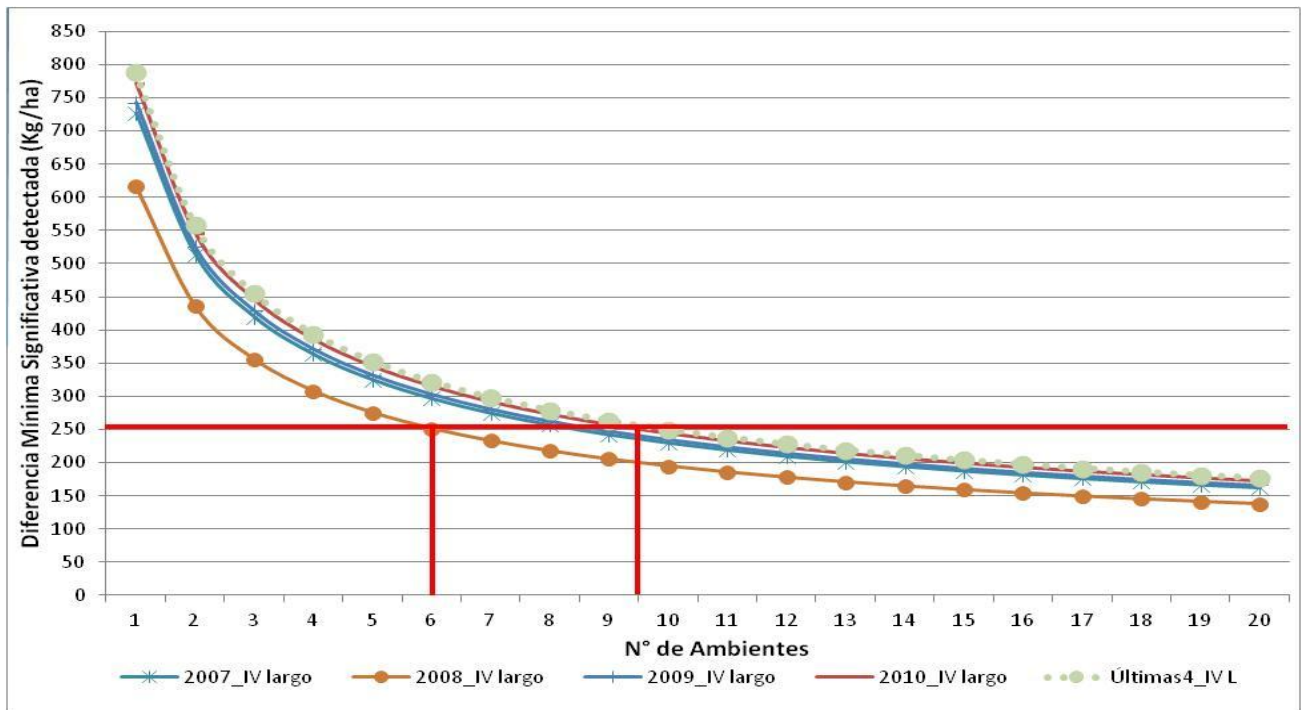


Figura 3. Diferencia Mínima Significativa detectada en función del número de Ambientes de evaluación empleado. Los datos utilizados fueron los generados en los experimentos RECSO GM IV_largo para cada una de las diferentes campañas y para el análisis de las 4 últimas en conjunto.

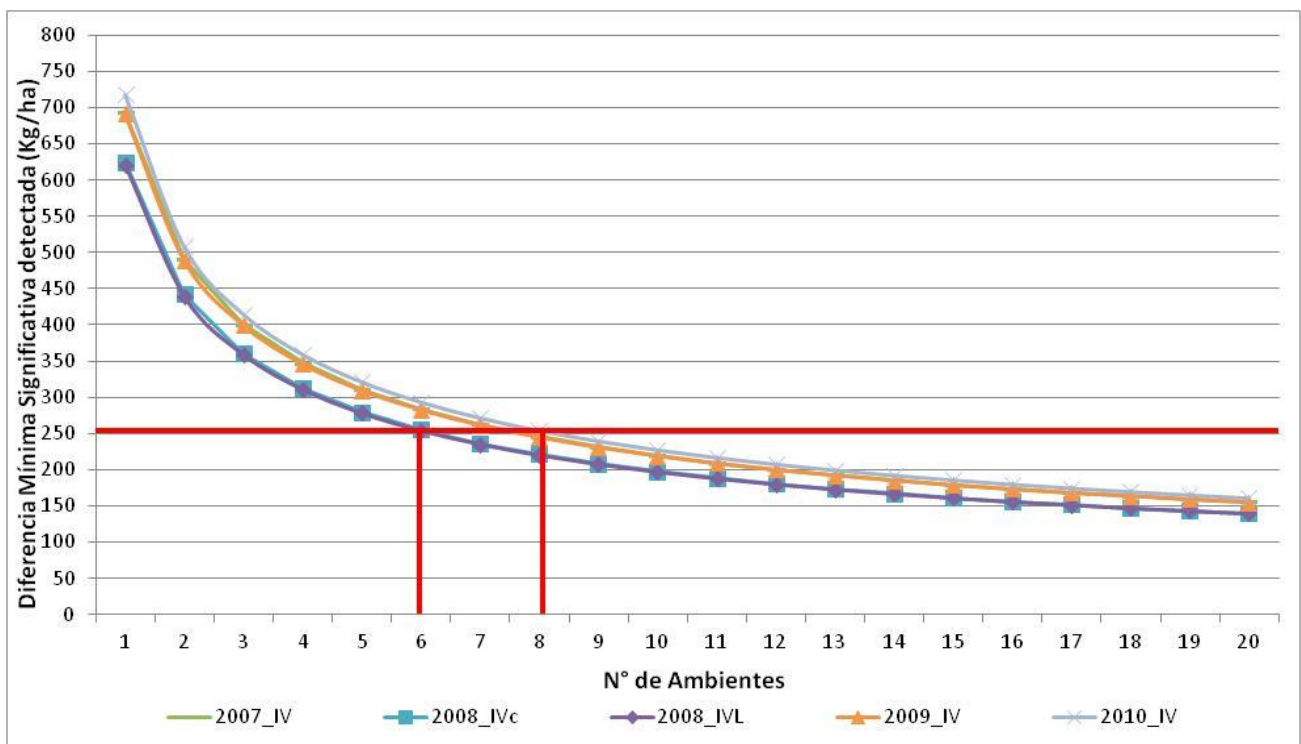


Figura 4. Diferencia Mínima Significativa detectada en función del número de Ambientes de evaluación empleado. Los datos utilizados fueron los generados en los experimentos SR GM IV para cada una de las diferentes campañas.

El número de ambientes necesarios para lograr una DMS de 250 kg ha^{-1} entre cultivares se ubicó entre 5 y 10 dependiendo de (i) el año de evaluación al que se haga referencia, (ii) el subgrupo de madurez (GM IV corto o IV largo) y (iii) la fuente de origen de los datos (figuras 2, 3 y 4). No obstante esto, el patrón general de las curvas presenta similitud en todas las experiencias realizadas y el número de ambientes siempre se ubicó dentro de los límites anteriormente propuestos. Consecuentemente, se podría decir que 10 ambientes de evaluación abarcarían toda la variación anual para poder detectar 250 kg ha^{-1} de diferencia entre cultivares dentro del mega-ambiente de interés. Estos resultados coinciden con los publicados por de la Vega y Chapman (2006) para rendimiento en aceite de híbridos de girasol, con los encontrados por Carter et al. (1983) para diferencias en rendimiento de cultivares de soja y con los hallados por Cooper et al. (1999) para rendimiento en grano del cultivo de arroz. Los valores mencionados por todos estos autores están dentro del rango propuesto en este trabajo. Las posibles hipótesis que podrían explicar este hecho son que, de la Vega y Chapman (2006) trabajaron en el mismo sitio (región central de Argentina) donde se realizó este estudio, mientras que Carter et al. (1983) lo hicieron con el mismo cultivo (soja) y en un lugar que no difiere demasiado en sus características agroclimáticas (sudeste de USA) a la región en estudio. Para el caso de Cooper et al. (1983) nada de lo anteriormente descrito explica la coincidencia de los resultados, ya que trabajaron con un cereal de invierno (arroz) en un lugar (noreste de Tailandia) agroclimáticamente muy diferente (i.e., ocurrencia de sequías terminales). Por otra parte, Brennan et al. (1981) y Lin y Butler (1988) publicaron resultados que difieren en alguno de los límites del rango obtenido. Brennan et al. (1981) proponen valores menores para el límite inferior (2 ó 3, dependiendo del año) para diferencias en rendimiento de cultivares de trigo, mientras que Lin y Butler (1988) hallaron un límite superior levemente mayor (11 ambientes) en el cultivo de cebada. Podemos suponer que las diferencias encontradas (aunque poco significativas) por Brennan et al. (1981) y Lin y Butler (1988) podrían deberse a que, por un lado, los autores trabajaron en regiones agroclimáticas (Australia y Canadá) muy diferentes a la de este trabajo y, por el otro, utilizaron como cultivo cereales de invierno (cebada y trigo), lo que implica no solo trabajar bajo un régimen de temperatura y precipitación muy diferente a un cultivo de verano, sino también una fuerte dependencia (y por lo tanto respuesta en rendimiento y en IGA) a factores relacionados con el suelo como son, por ejemplo, la disponibilidad de macro nutrientes como nitrógeno y fósforo, cosa que no ocurre con tanta magnitud en el cultivo de soja.

Para el GM IV corto en la RECSO se observó que la campaña 2008/09 tuvo un comportamiento diferente a las demás. En ella, el valor de ambientes necesarios para obtener la precisión deseada fue el mínimo computado en este estudio (5 ambientes). Esto podría deberse a que este GM reaccionó como 'grupo' (todos los genotipos tuvieron igual respuesta) frente a las condiciones de sequía extrema que presentó dicha campaña en el momento crítico de la definición de rendimiento (Andriani et al, 1991). Esto hizo que la IGA fuera baja, ya que todas las variedades interactuaron del mismo modo ante esta condición de estrés hídrico. Por otro lado, el GM IV largo en la RECSO no presentó el mismo patrón en la misma campaña. Esto sería atribuible a que, dependiendo del largo del ciclo, los genotipos pudieron compensar parcialmente las pérdidas de rendimiento con las precipitaciones ocurridas en febrero. Consecuentemente, aquellos genotipos con menor largo de ciclo no habrían podido capitalizar en rinde las lluvias tardías, mientras que los de largo de ciclo mayor sí lo habrían hecho, dando un amplio rango de IGA que se traduce en un mayor número de ambientes para detectar 250 kg ha^{-1} de DMS. Para el GM IV largo en la RECSO, la campaña 2007/08 fue la que mostró la menor IGA, y por ende el menor número de ambientes necesarios para obtener la precisión deseada (6 ambientes). Esta otra campaña fue la segunda más seca, luego de la 2008/09, del período analizado. Comparando estas dos campañas, podemos decir que en 2007/08 los momentos de estrés hídrico sucedieron con mayor magnitud hacia el final del ciclo de cultivo (i.e., sequía terminal; Loomis y Connor, 1992), mientras que en 2008/09 fue a la inversa. Por lo tanto, el GM IV largo fue el que en esta ocasión reaccionó como 'grupo' dando como resultado una baja IGA y, por consiguiente, un bajo número de ambientes. En este caso, probablemente, el llenado de granos de los genotipos de este GM se vio afectado, generando una respuesta similar en todos. Por el contrario, el GM IV corto de la RECSO sufrió una menor restricción hídrica durante el llenado de granos debido a la menor duración en su ciclo (i.e., 'escape'; Loomis y Connor, 1992), y presentó una IGA mayor. Para el GM IV de SR también la campaña 2007/08 fue la que presentó el menor número de ambientes necesarios para lograr la DMS deseada, tanto para IV corto como para IV largo. El valor fue de 6 ambientes, el cual coincide con el obtenido para el GM IV largo RECSO (en la misma campaña). Estos resultados concuerdan con el análisis hecho para el GM IV largo de la RECSO, pero no para el sugerido en el GM IV corto RECSO. Para esta fuente de datos (SR) no parece haber una relación entre el subgrupo de madurez, la IGA y las condiciones de crecimiento, probablemente debido a la falta de precisión en la caracterización del ciclo de las líneas que intervinieron en este ECR. Esto quiere decir que

un cultivar que ingresa en la RECSO tiene una evaluación y caracterización más rigurosa y extensa que una línea experimental que ingresa a un ECR de nivel de evaluación Final en el criadero (i.e., un año antes de decidir lanzarla o no como cultivar comercial).

Lo expuesto anteriormente indica que existe una tendencia a que la IGA sea más baja durante los años *Niña*, lo que origina que se requieran un menor número de ambientes para lograr la DMS deseada cuando las condiciones de crecimiento se encuentran restringidas durante el período crítico para la definición del rendimiento. Esta conclusión parece concordar con los resultados de Brennan et al. (1982), que obtuvieron el límite inferior en la campaña de menores rendimientos.

El análisis conjunto de las últimas 4 campañas indicó que, tanto para el GM IV corto como IV largo, el número de ambientes requeridos es levemente superior al máximo calculado para cada campaña individual. Esto indica que la interacción Cultivar-Año no fue compensada por la variación ambiental que hubo dentro de cada una de las campañas. Si bien el número total de ambientes requerido resultó algo mayor para el conjunto de las 4 campañas, el número de ambientes por año se reduce en gran medida ya que el valor total debe ser dividido por el número de años de evaluación. Esta situación es, en la práctica, imposible ya que un mejorador no puede esperar 4 años para realizar la selección, pero demuestra que es difícil captar toda la variación inter-anual aumentando el número de ambientes dentro de una misma campaña.

Distribución de Ambientes

Los resultados del análisis de los dendogramas para el GM IV corto a través de las diferentes campañas no mostraron un patrón claro de agrupamiento entre los diferentes ambientes de evaluación. Por lo tanto, este análisis no permite dividir al mega-ambiente estudiado en subgrupos de ambientes homogéneos, ya que las asociaciones entre estos no fueron consistentes a través de las campañas. Esto significa que la región en estudio pertenece toda a un mismo mega-ambiente. No obstante, sí se encontraron correlaciones entre las IGA de algunos ambientes, lo que nos permitiría (en caso de decidir aprovechar la IGA a lo largo de toda la región en estudio) saber cuáles de ellos son parecidos en términos de IGA y elegir tan solo uno para representar esa zona del mega-ambiente (figuras 5, 6, 7, y 8). Estos resultados son similares a los encontrados por Brennan et al. (1981) y Weikai y Rajcan (2002), quienes encontraron que existen asociaciones entre ambientes de evaluación en un año pero no son repetibles a lo largo de las diferentes

campañas. Los ambientes que se presentaron en el mismo conglomerado (grupo de ambientes con máxima similitud en IGA) en todas las campañas que compartieron fueron: **CdB-MBY, CAS-CHA, CAR-HRC-VCÑ, y JOV-VT**, lo que indica que los genotipos estudiados presentaron una IGA similar. Por otra parte, algunos ambientes presentaron similar IGA con determinadas fechas de siembra. En el caso de **GVG-OLI**, se presentaron en el mismo conglomerado cuando la siembra de **OLI** fue tardía. Para **MJ-OLI-SI**, tuvieron similar IGA cuando la siembra fue entre los últimos días de Octubre y los primeros de Diciembre (tabla 5).

Para este GM, el conglomerado 2 (15 de 51 ambientes evaluados) tuvo el promedio de índice ambiental más alto ($4150 \pm 927 \text{ kg ha}^{-1}$), seguido por el conglomerado 3 ($3984 \pm 1360 \text{ kg ha}^{-1}$, correspondiente a 13 de 51 ambientes) y finalmente el conglomerado 1 ($3790 \pm 863 \text{ kg ha}^{-1}$, correspondiente a 23 de 51 ambientes). La fecha de siembra promedio no se modificó sustancialmente entre estos grupos, siendo del $20\text{-Nov} \pm 16,6$ días para el conglomerado 3, $22\text{-Nov} \pm 15,1$ días para el conglomerado 1 y $28\text{-Nov} \pm 22,3$ días para el conglomerado 2 (figuras 9 y 10).

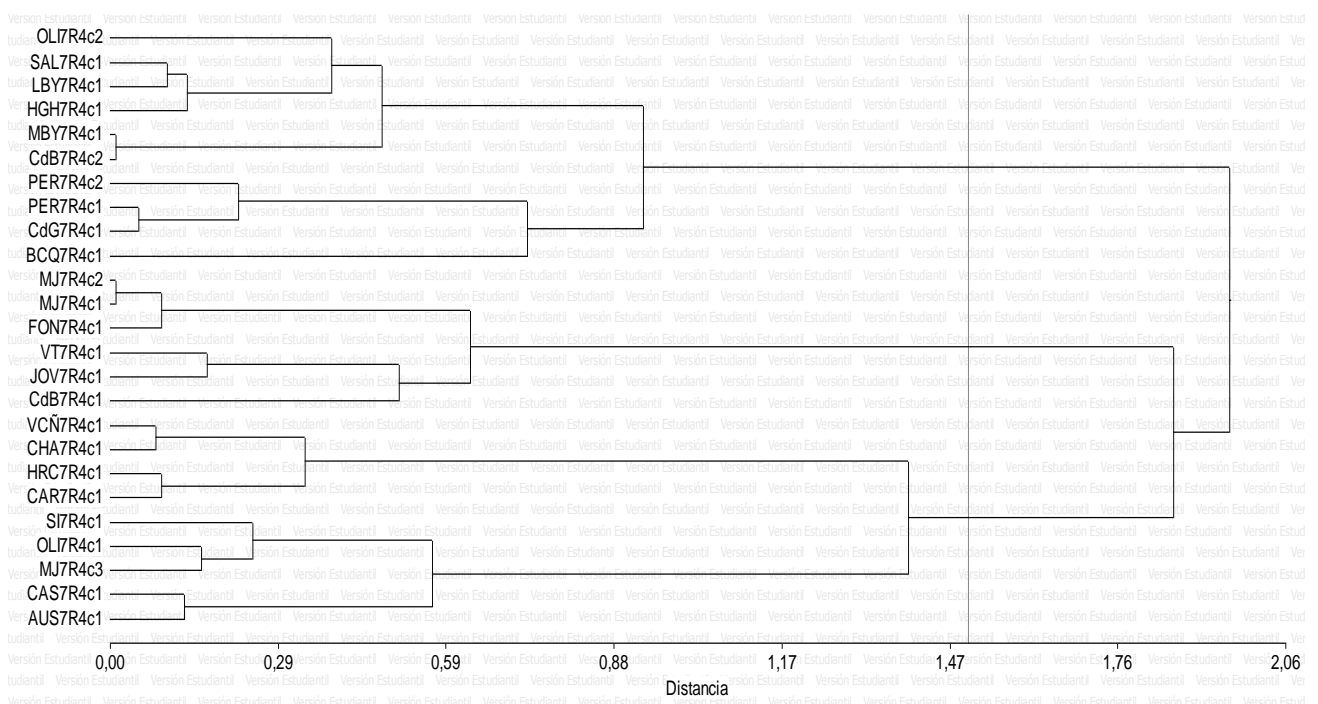


Figura 5. Dendrograma obtenido a partir “Cluster analysis” de las IGA de los 4 genotipos GM IV corto analizados considerando los 25 ambientes de la campaña 2006/07.

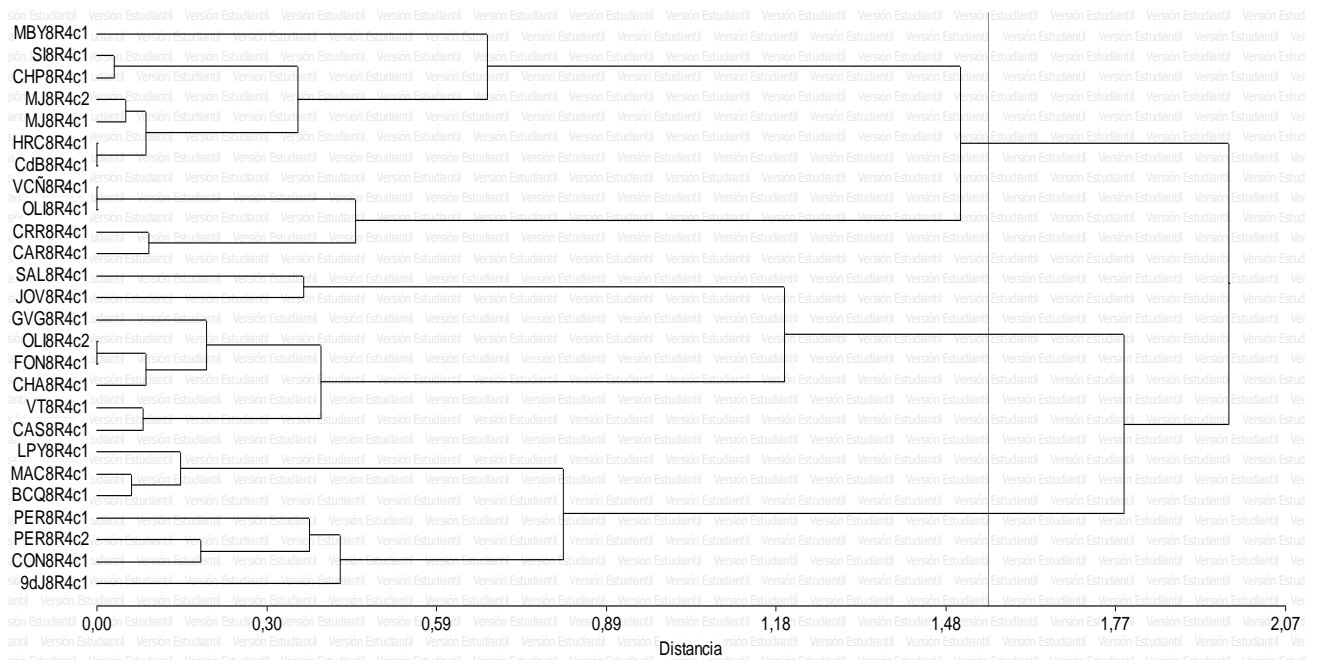


Figura 6. Dendrograma obtenido a partir “Cluster analysis” de las IGA de los 4 genotipos GM IV corto analizados considerando los 26 ambientes de la campaña 2007/08.

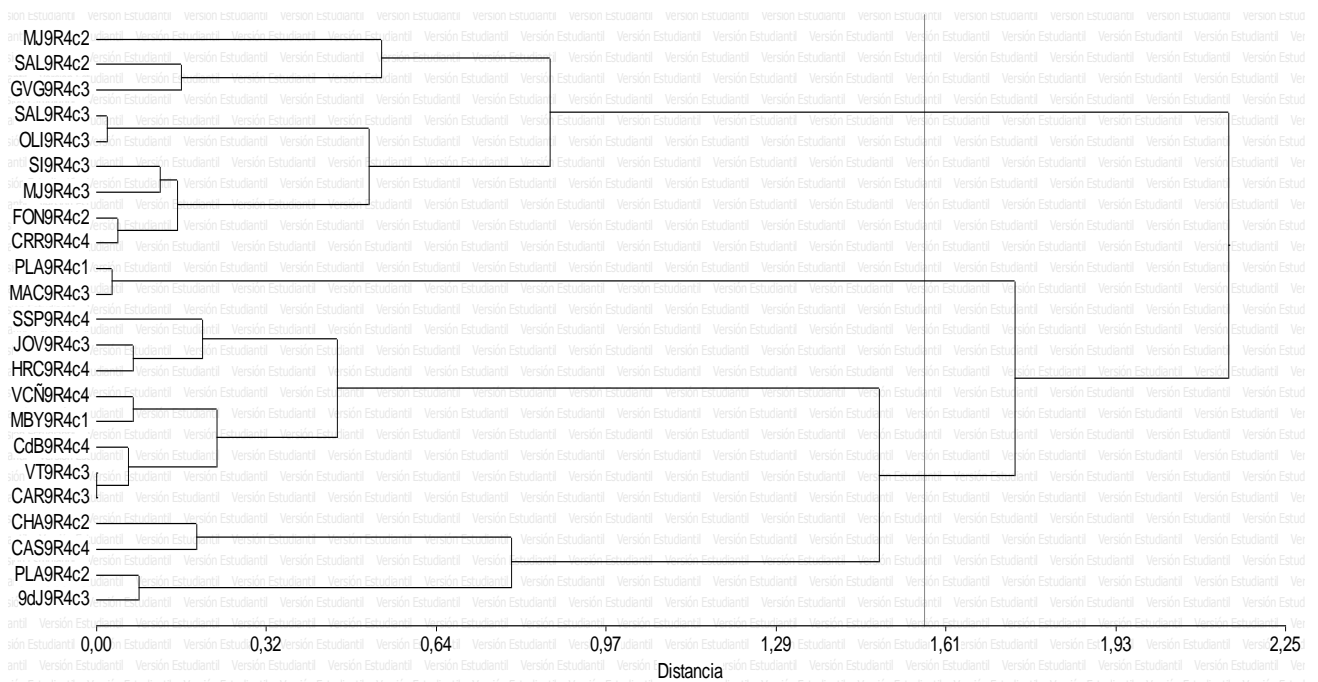


Figura 7. Dendrograma obtenido a partir “Cluster analysis” de las IGA de los 4 genotipos GM IV corto analizados considerando los 23 ambientes de la campaña 2008/09.

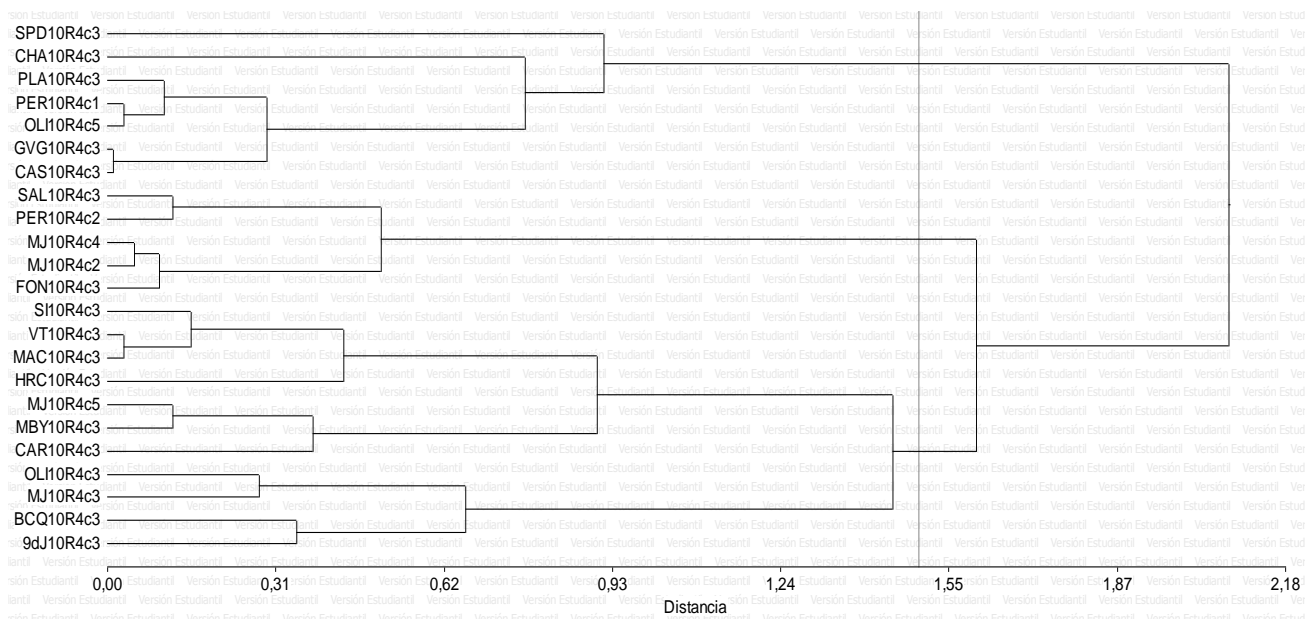


Figura 8. Dendrograma obtenido a partir “Cluster analysis” de las IGA de los 4 genotipos GM IV corto analizados considerando los 23 ambientes de la campaña 2009/10.

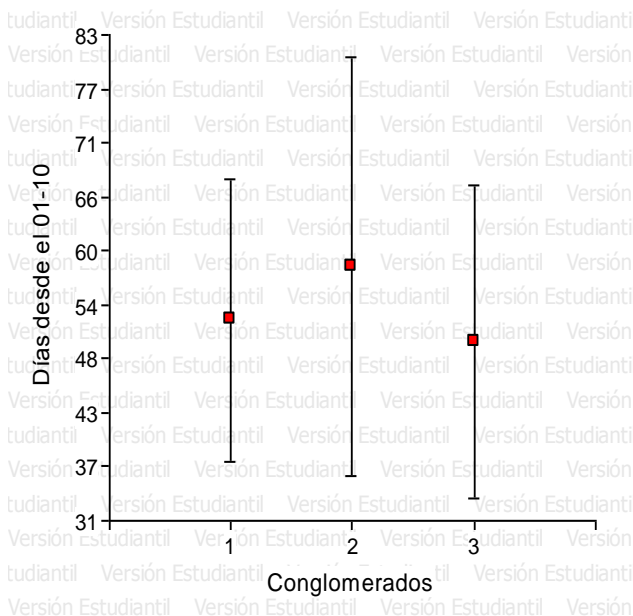


Figura 9. Distribución de la fecha de siembra para los diferentes conglomerados del GM IV corto. El cuadrado en el diagrama indica el valor que toma la media, mientras que las líneas muestran el desvío estándar.

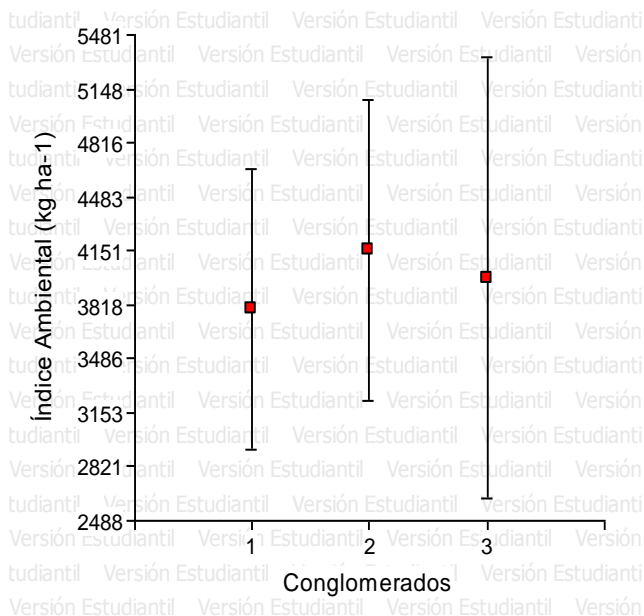


Figura 10. Distribución del índice ambiental para los diferentes conglomerados del GM IV corto.

Los resultados del análisis de los dendrogramas para el GM IV largo a través de las diferentes campañas fueron similares a los encontrados para el GM IV corto; es decir, no existió un patrón claro de agrupamiento entre los diferentes ambientes de evaluación, pero

si se encontró similar IGA entre algunos de ellos (figuras 11, 12, 13 y 14). Esto indica que para este GM la región en estudio es también un único mega-ambiente. Los ambientes que se presentaron en el mismo conglomerado en todas las campañas que compartieron fueron **9deJ-SAL**, **JOV-VT**, **MAC-MJ**, **PER-OLI** y **SAL-VCÑ**. Esto indica que presentan una estrecha correlación entre sus IGA. También, al igual que para el GM IV corto, existió similar IGA entre ambientes en determinadas fechas de siembra. Los ambientes **9deJ** y **OLI** tienen similar IGA cuando fechas de siembras fueron óptimas, mientras que **BCQ** y **FON** tuvieron similar IGA cuando las siembras entre ambos ambientes fueron cercanas. Esto muestra que la fecha de siembra es una característica agronómica muy importante, ya que hace que un ambiente posea o no similar IGA dependiendo de la época en que fue sembrado (tabla 6). La única asociación que presentó similar IGA entre los GM IV corto y IV largo fue **JOV-VT**, mientras que las demás fueron todas distintas. Esto indica que ambos subgrupos de madurez presentan diferencias en la IGA a lo largo de las campañas. Para este caso el conglomerado 3 arrojó el promedio de índice ambiental más alto ($3889 \pm 973 \text{ kg ha}^{-1}$) con sólo 8 de los 48 ambientes evaluados. Estuvo seguido por el conglomerado 1 ($3765 \pm 1151 \text{ kg ha}^{-1}$, correspondiente a 23 de los 48 ambientes) y finalmente el conglomerado 2 ($3678 \pm 1124 \text{ kg ha}^{-1}$, correspondiente a 17 de 48 ambientes). La fecha de siembra promedio fue del 18-Nov $\pm 15,7$ días para el conglomerado 1, 22-Nov $\pm 18,7$ días para el conglomerado 3 y 30-Nov $\pm 25,4$ días para el conglomerado 2 (figuras 15 y 16).

Tabla 5. Agrupamientos establecidos en el GM IV corto para las diferentes localidades, campañas y fechas de siembra (FS). Se indica, para cada uno de los ambientes, el índice ambiental (IA) y la subregión de la RECSO a la que pertenece.

Conglomerado	Subregión	Ambiente	Campaña	FS	IA (kg ha⁻¹)
1	6	CAR9R4c3	2008/09	10/12/2008	1989
1	6	CHA9R4c2	2008/09	28/10/2008	2372
1	4	CAS9R4c4	2008/09	12/12/2008	2673
1	4	CdB9R4c4	2008/09	17/12/2008	2771
1	5	HRC9R4c4	2008/09	01/12/2008	3094
1	5	VCÑ9R4c4	2008/09	15/12/2008	3118
1	5	JOV9R4c3	2008/09	12/11/2008	3220
1	4	VT9R4c3	2008/09	14/11/2008	3524
1	4	CAS7R4c1	2006/07	14/11/2006	3707
1	4	MJ7R4c3	2006/07	12/12/2006	3774
1	5	HRC10R4c3	2009/10	20/11/2009	3818
1	4	OLI7R4c1	2006/07	30/11/2006	3867
1	6	CHA7R4c1	2006/07	04/11/2006	3971
1	4	OLI10R4c3	2009/10	27/11/2009	4096
1	6	CAR10R4c3	2009/10	30/11/2009	4223
1	4	MJ10R4c3	2009/10	24/11/2009	4233
1	5	HRC7R4c1	2006/07	08/11/2006	4351
1	6	CAR7R4c1	2006/07	14/11/2006	4361
1	5	VCÑ7R4c1	2006/07	30/11/2006	4385
1	4	MBY9R4c1	2008/09	30/10/2008	4395
1	4	SI7R4c1	2006/07	01/11/2006	4592
1	4	MJ10R4c5	2009/10	24/11/2009	4941
1	4	SI10R4c3	2009/10	20/11/2009	5702
2	4	OLI10R4c5	2009/10	27/01/2010	2379
2	5	HRC8R4c1	2007/08	24/11/2007	2701
2	4	CdB7R4c2	2006/07	11/11/2006	3304
2	5	GVG10R4c3	2009/10	22/11/2009	3418
2	4	CAS10R4c3	2009/10	09/12/2009	3843
2	4	MJ8R4c2	2007/08	06/12/2007	3962
2	4	OLI8R4c1	2007/08	06/12/2007	4076
2	4	MBY8R4c1	2007/08	18/11/2007	4290
2	5	VCÑ8R4c1	2007/08	24/11/2007	4351
2	4	SI8R4c1	2007/08	27/11/2007	4542
2	4	MJ8R4c1	2007/08	26/10/2007	4628
2	4	CdB8R4c1	2007/08	12/11/2007	4671
2	6	CAR8R4c1	2007/08	28/11/2007	4962
2	4	MBY7R4c1	2006/07	22/11/2006	5416
2	6	CHA10R4c3	2009/10	09/11/2009	5713
3	4	MJ9R4c2	2008/09	24/10/2008	2045
3	5	GVG9R4c3	2008/09	05/11/2008	2205
3	4	OLI8R4c2	2007/08	20/12/2007	2572
3	5	JOV8R4c1	2007/08	23/11/2007	2886
3	4	MJ9R4c3	2008/09	02/12/2008	3384
3	5	GVG8R4c1	2007/08	23/11/2007	3484
3	4	OLI9R4c3	2008/09	03/12/2008	3498
3	5	JOV7R4c1	2006/07	09/11/2006	4923
3	6	CHA8R4c1	2007/08	06/11/2007	5118
3	4	CAS8R4c1	2007/08	15/11/2007	5123
3	4	VT7R4c1	2006/07	08/11/2006	5158
3	4	SI9R4c3	2008/09	20/11/2008	5201
3	4	VT8R4c1	2007/08	14/11/2007	6200

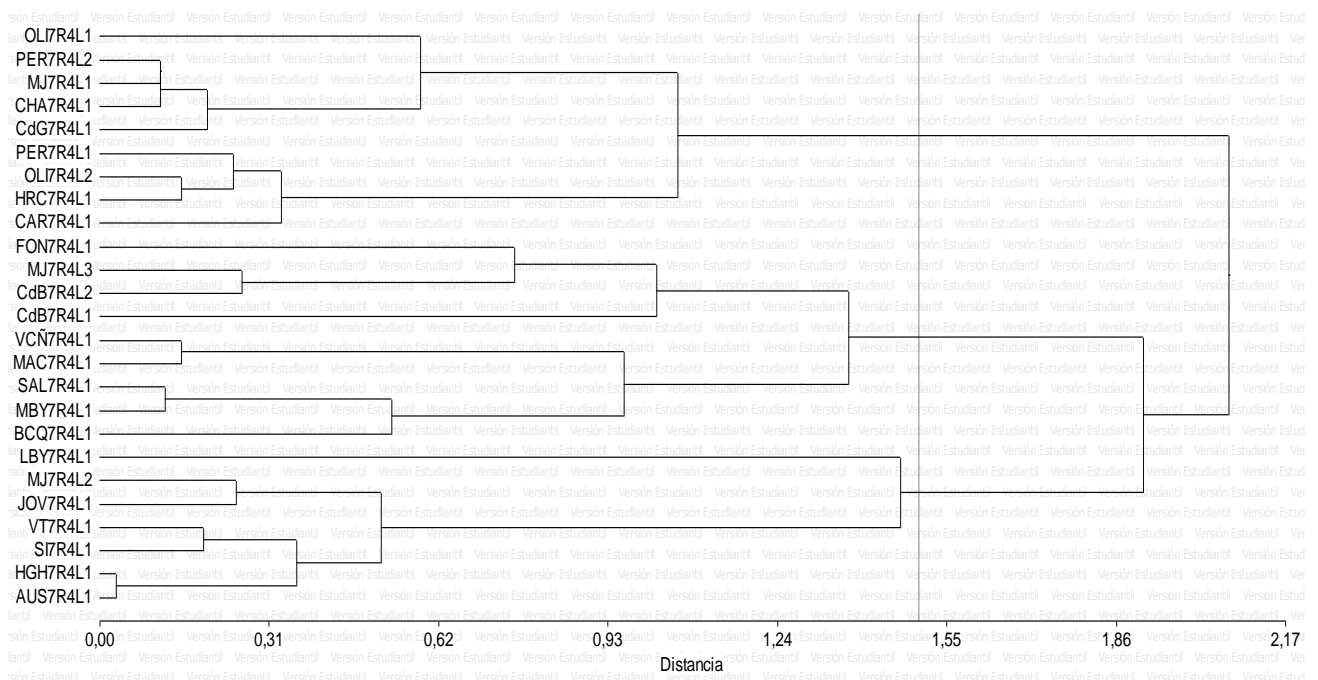


Figura 11. Dendrograma obtenido a partir “Cluster analysis” de las IGA de los 5 genotipos GM IV largo analizados considerando los 25 ambientes de la campaña 2006/07.

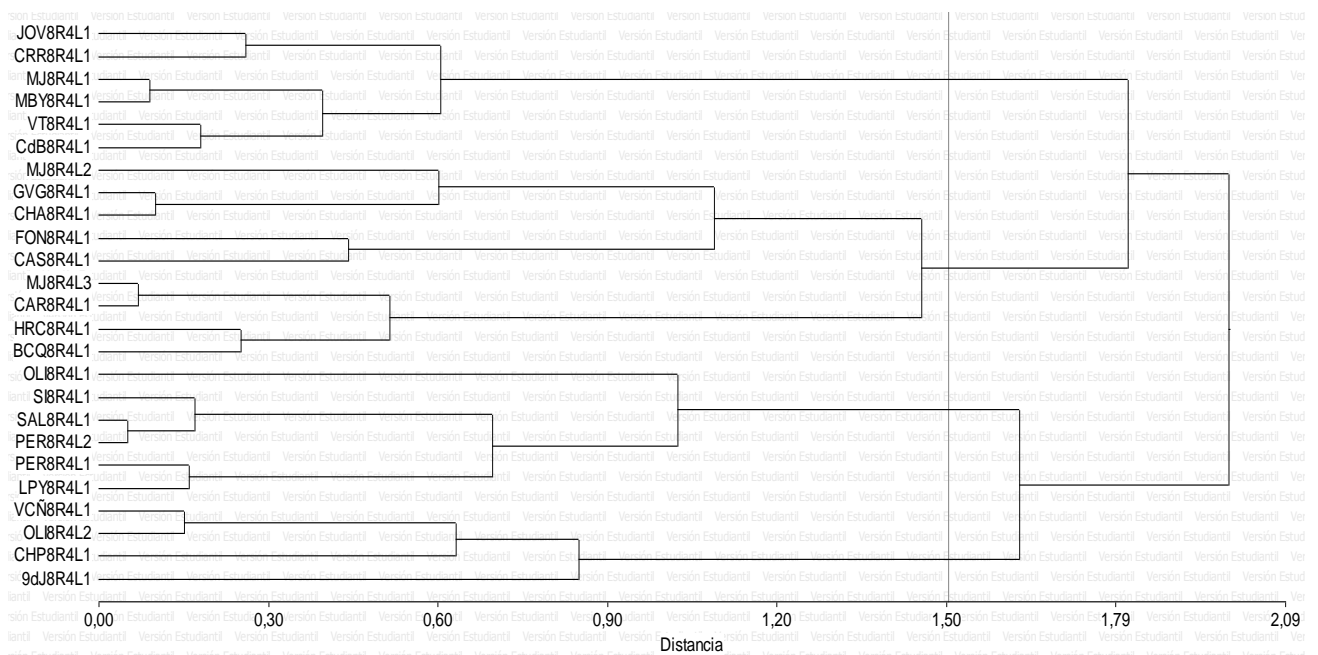


Figura 12. Dendrograma obtenido a partir “Cluster analysis” de las IGA de los 5 genotipos GM IV largo analizados considerando los 25 ambientes de la campaña 2007/08.

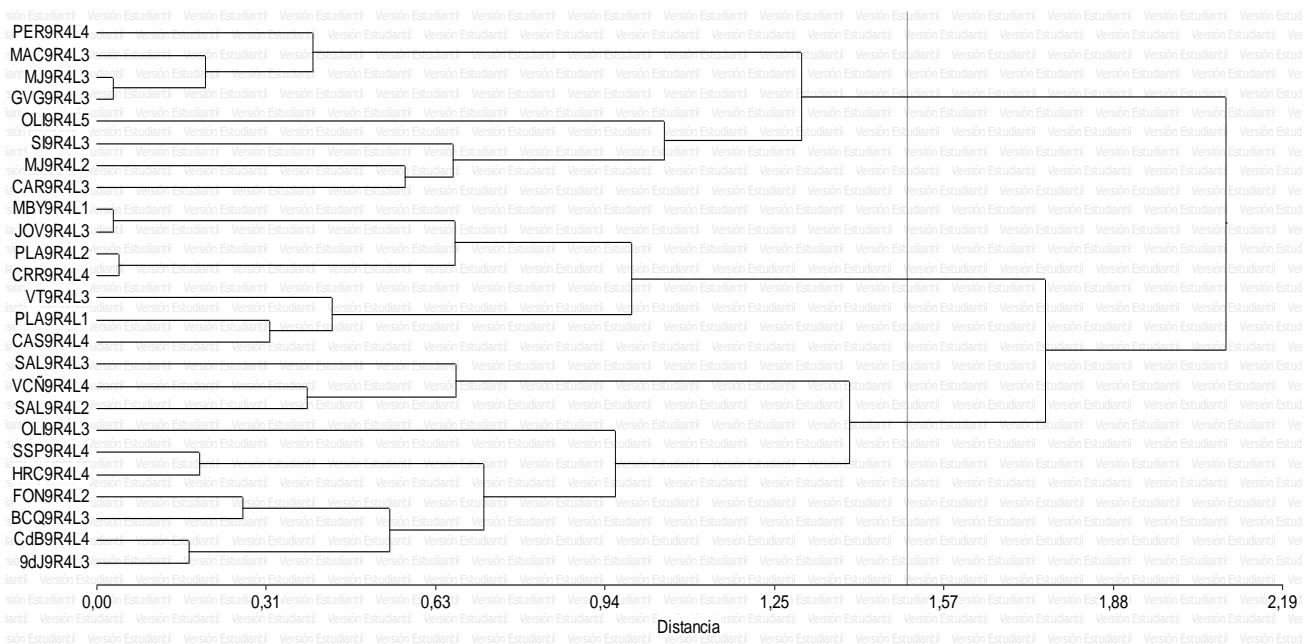


Figura 13. Dendrograma obtenido a partir “Cluster analysis” de las IGA de los 5 genotipos GM IV largo analizados considerando los 25 ambientes de la campaña 2008/09.

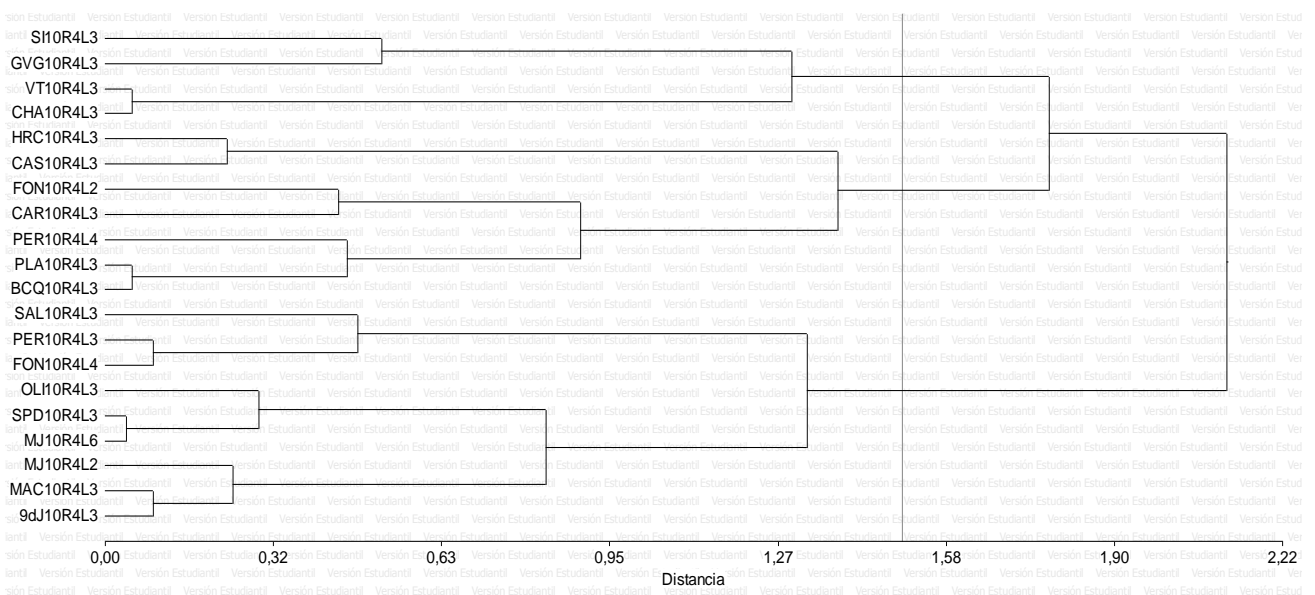


Figura 14. Dendrograma obtenido a partir “Cluster analysis” de las IGA de los 5 genotipos GM IV largo analizados considerando los 20 ambientes de la campaña 2009/10.

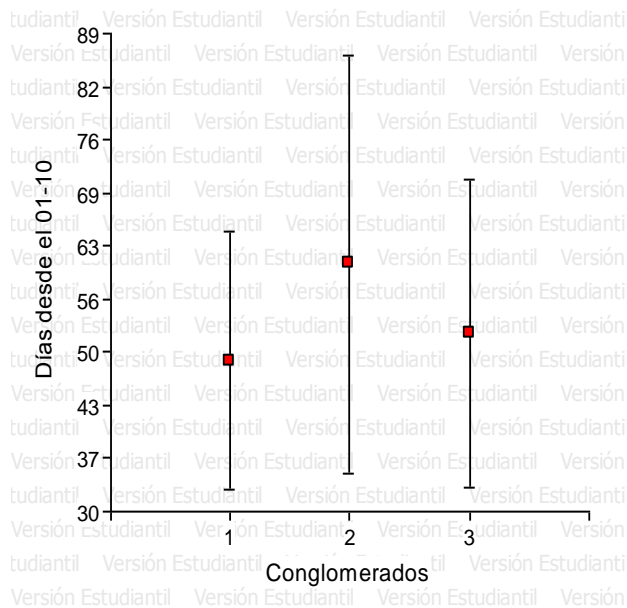


Figura 15. Distribución de la fecha de siembra para los diferentes conglomerados del GM IV largo.

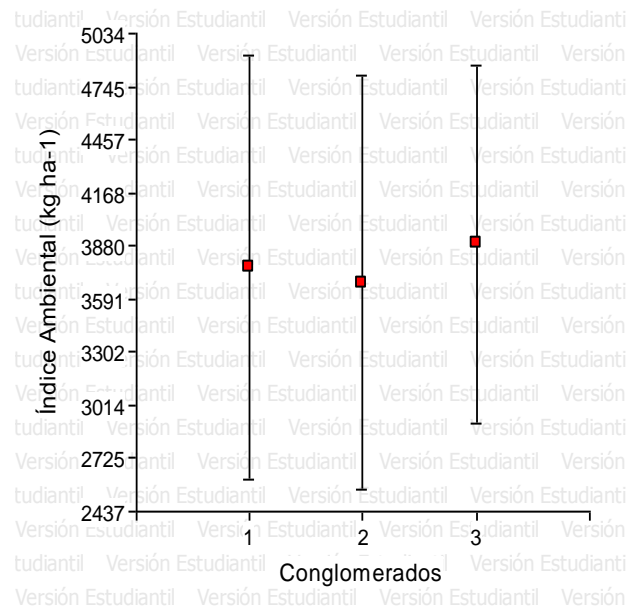


Figura 16. Distribución del índice ambiental para los diferentes conglomerados del GM IV largo.

En ninguno de los subgrupos de madurez existió una correlación entre los rendimientos y los efectos de la IGA de los ambientes de evaluación (tablas 5 y 6). En muchos de los conglomerados (similar IGA), el espectro de rendimientos que se presentó fue amplio para cualquiera de las campañas. Por ejemplo, para el GM IV corto en la campaña 2008/09 en el conglomerado 1 los rendimientos oscilaron entre 1900 y 4300 kg ha⁻¹, aproximadamente. En esa misma campaña, los rendimientos oscilaron entre 1200 y 3900 kg ha⁻¹ para el GM IV largo en el conglomerado 1. Si bien es cierto que en esa campaña agrícola tuvo lugar un episodio *Niña* muy fuerte que provocó un amplio espectro de rendimientos, esto permite ilustrar claramente la falta de correlación entre rendimiento e IGA para los ambientes de evaluación.

Los conglomerados que se formaron en los “*Cluster analysis*” de ambos subgrupos de madurez no mostraron asociación con las subregiones propuestas por la RECSO. Estos resultados concuerdan con las conclusiones obtenidas por Luque et al. (2010), quienes tampoco encontraron relación entre las subregiones de la RECSO y los mega-ambientes definidos por el método *GGE biplot* basado en regresión genotípica (GREG). Esto se debe a que los criterios utilizados para agrupar los ambientes de evaluación fueron diferentes. La RECSO utiliza criterios tales como las características agroclimáticas (tipo de suelo, temperaturas, distribución de precipitaciones, latitud, etc.) para clasificar los distintos ambientes de evaluación, mientras que el “*Cluster analysis*” agrupa ambientes con similar

IGA de manera analítica a través del cálculo de las distancias (Bernardo 2010). Esta falta de asociación indicaría que la porción predecible (Genotipo \times Localidad) de la IGA sería de menor importancia que la porción impredecible (Genotipo \times Año) y que, por lo tanto, no existe razón para dividir la región. Por otra parte, los valores de repetibilidad calculados (datos no presentados) para el mega-ambiente en estudio oscilaron alrededor de 0.80 dentro de cada año y subgrupo de madurez para los datos obtenidos de la RECSO y SR, similares a los reportados por de la Vega y Chapman (2006), sugiriendo que no es necesario dividir la región en subregiones para lograr una selección efectiva. Existen publicaciones que reportan resultados opuestos, como los publicados por Ouyang et al. (1995) y Roozeboom et al. (2008), quienes propusieron separar en diferentes mega-ambientes las regiones estudiadas en sus trabajos. Esto indicaría que en estas regiones (Iowa y Kansas, respectivamente) y para los cultivos utilizados (maíz y trigo, respectivamente) la porción impredecible (Genotipo \times Año) de la IGA fue menos importante que la predecible (Genotipo \times Localidad), dando como resultado una mejora en la efectividad de la selección si se divide la región en diferentes mega-ambientes.

Tabla 6. . Agrupamientos establecidos en el GM IV largo para las diferentes localidades, campañas y fechas de siembra (FS). Se indica, para cada uno de los ambientes, el índice ambiental (IA) y la subregión de la RECSO a la que pertenece.

Conglomerado	Subregión	Ambiente	Campaña	FS	IA (kg ha ⁻¹)
1	6	9dJ9R4L3	2008/09	10/11/2008	1260
1	6	FON9R4L2	2008/09	26/10/2008	2090
1	6	BCQ9R4L3	2008/09	05/11/2008	2160
1	6	SAL9R4L2	2008/09	30/10/2008	2468
1	4	OLI8R4L2	2007/08	20/12/2007	2507
1	6	SAL9R4L3	2008/09	04/12/2008	2600
1	5	VCÑ9R4L4	2008/09	15/12/2008	2930
1	4	PER8R4L2	2007/08	08/11/2007	3532
1	4	MAC10R4L3	2009/10	27/11/2009	3727
1	4	MJ10R4L6	2009/10	24/11/2009	3878
1	4	OLI9R4L3	2008/09	03/12/2008	3934
1	4	OLI8R4L1	2007/08	06/12/2007	3945
1	6	9dJ8R4L1	2007/08	30/11/2007	3975
1	4	OLI10R4L3	2009/10	27/11/2009	4014
1	4	PER8R4L1	2007/08	29/11/2007	4185
1	5	VCÑ8R4L1	2007/08	24/11/2007	4366
1	6	9dJ10R4L3	2009/10	11/11/2009	4624
1	6	SAL8R4L1	2007/08	17/11/2007	4699
1	5	JOV7R4L1	2006/07	09/11/2006	4738
1	4	PER10R4L3	2009/10	05/11/2009	4910
1	6	SAL10R4L3	2009/10	06/11/2009	5190
1	4	VT7R4L1	2006/07	15/11/2006	5367
1	4	MJ10R4L2	2009/10	23/10/2009	5484
2	4	OLI9R4L5	2008/09	09/02/2009	1368
2	4	MJ8R4L3	2007/08	27/12/2007	1727
2	4	MJ9R4L2	2008/09	24/10/2008	2307
2	4	MAC9R4L3	2008/09	06/12/2008	2764
2	4	MJ9R4L3	2008/09	02/12/2008	3036
2	6	FON7R4L1	2006/07	18/11/2006	3458
2	4	MJ7R4L3	2006/07	12/12/2006	3701
2	6	FON8R4L1	2007/08	06/11/2007	3710
2	4	PER9R4L4	2008/09	23/12/2008	3771
2	6	BCQ10R4L3	2009/10	03/12/2009	3929
2	4	MJ8R4L2	2007/08	06/12/2007	4269
2	5	VCÑ7R4L1	2006/07	30/11/2006	4370
2	6	FON10R4L2	2009/10	10/12/2009	4454
2	6	BCQ8R4L1	2007/08	13/11/2007	4585
2	6	SAL7R4L1	2006/07	04/11/2006	4789
2	4	MAC7R4L1	2006/07	10/11/2006	5081
2	6	BCQ7R4L1	2006/07	14/11/2006	5214
3	5	JOV8R4L1	2007/08	23/11/2007	2739
3	5	JOV9R4L3	2008/09	12/11/2008	3000
3	4	OLI7R4L2	2006/07	04/01/2007	3486
3	4	VT9R4L3	2008/09	14/11/2008	3536
3	4	PER7R4L1	2006/07	08/11/2006	3729
3	4	OLI7R4L1	2006/07	30/11/2006	4186
3	4	PER7R4L2	2006/07	11/11/2006	4678
3	4	VT8R4L1	2007/08	14/11/2007	5756

Conclusiones

El número de ambientes necesarios para lograr una precisión deseada dentro de cada año de evaluación está acotado entre 5 y 10. Por lo tanto, 10 ambientes de evaluación por año serían suficientes para la obtención de una precisión de 250 kg ha⁻¹ o menos.

Existe una tendencia a que los niveles de IGA registrados sean más bajos en los años *Niña* y que, por ende, se requiera un menor número de ambientes para lograr la precisión deseada.

El incremento del número de Localidades dentro de cada campaña no reemplaza al efecto de diferentes años sobre la IGA.

Los efectos de la IGA resultaron independientes del nivel de rendimiento de cada ambiente.

Los conglomerados no tuvieron relación con las subregiones propuestas por la RECSO.

No se encontró un agrupamiento claro entre los ambientes de evaluación analizados a través de las diferentes campañas, éste fue solo parcial entre dos o tres de ellos. Por lo tanto, se debe tomar a toda la región estudiada como un único mega-ambiente y analizar su IGA.

Las IGA expresadas por los GM IV corto y largo fueron diferentes, ya que tan solo dos ambientes del total analizado (**JOV-VT**) mantuvieron similar IGA para ambos subgrupos de madurez en los *Cluster analysis*, a través de las campañas.

Agradecimientos

Quiero agradecer de manera general a todas las personas y entidades que, directa o indirectamente, colaboraron con la realización de este trabajo. Particularmente quiero realizar un agradecimiento a las dos personas que han ejercido gran influencia sobre mis conocimientos teóricos y prácticos, como así también en mi formación como persona. Ellos son mi tutor Juan Carlos Suárez y mi jefe Roberto Wright. Juan Carlos me transmitió una enorme cantidad de conceptos teóricos y prácticos sobre mejoramiento genético vegetal, pero además dedicó un gran esfuerzo para guiarme en la realización de este trabajo, aportando valiosas sugerencias y correcciones. Roberto Wright es quién me transmitió el “arte” del mejoramiento genético vegetal y los lineamientos generales para la realización del trabajo. Además quiero agradecer a mi directora de especialización María Elena Otegui por su incondicional presencia para la corrección del trabajo, como así también ante cualquier consulta que surgiera. También quiero agradecer el apoyo inconmensurable de mi novia Jimena. Por último, deseo agradecerle a Coop. Criaderos Santa Rosa (por el financiamiento del total de mis estudios), a mi familia, amigos, a Ignacio Colonna por su aporte de ideas para abordar la temática en cuestión, a mis compañeros de especialización y a mis evaluadoras Laura Puhl y Gabriela Abeledo. A todos, gracias.

Bibliografía

- Andriani, J. M., Andrade, F. H., Suero, E. E. y Dardanelli, J. L. 1991. Water deficits during reproductive growth of soybean. I. Their effects on dry matter accumulation, seed yield and its components. *Agronomie* 11: 737-746.
- Bernardo, Rex. 2010. Breeding for quantitative traits in plants. Stemma Press. Woodbury, Minnesota.
- Brennan, P. S., Byth, D. E., Drake, D. W., De Lacy, I. H. and Butler, D. G. 1981. Determination of the Location and Number of Test Environments for a Wheat Cultivar Evaluation Program. *Aust. J. Agric. Res.*, 32, 189-201.
- Carter, T. E., Jr., Burton, J. W., Cappy, J. J., Israel, D. W., and Boerma, H. R. 1983. Coefficients of variation, error variances, and resource allocation in soybean growth analysis experiments. *Agron. J.* 75: 691-696.

- Cooper, M., Rajatasereekul, S., Immark, Fukai, S. and Basnayake, J. 1999. Rainfed lowland rice breeding strategies for Northeast Thailand I. Genotypic variation and genotype x environment interactions for grain yield. *Field Crops Res.* 64: 131-151.
- Cooper, M., Rajatasereekul, S., Somrith, B., Sriwisut, S., Immark, S., Boonwite, C., Suwanwongse, A., Ruangsook, S., Hanviriyapant, P., Romyen, P., Porn-uraisanit, P., Skulkhu, E., Fukai, S., Basnayake, J. and Podlich, D. W. 1999. Rainfed lowland rice breeding strategies for Northeast Thailand II. Comparison of intrastation and interstation selection. *Field Crops Res.* 64: 153-176.
- de La Vega A y de la Fuente E. 2003. Elección de genotipos. En: *Producción de Granos: Bases funcionales para su manejo*. E.H. Satorre et al. (Eds) pp. 319-345. Editorial Facultad de Agronomía de Buenos Aires. Buenos Aires.
- de la Vega, A. J. and Chapman, S. C. 2006. Defining Sunflower Selection Strategies for a Highly Heterogeneous Target Population of Environments. *Crop Sci.* 46: 136-144.
- de la Vega, A. J. and Chapman, S. C. 2010. Mega-Environment Differences Affecting Genetic Progress for Yield and Relative Value of Component Traits. *Crop Sci.* 50: 574-583.
- De Luca, P. y de la Fuente, E. 2007. Análisis de la interacción genotipo-ambiente de cultivares de soja en la región pampeana Norte. Trabajo de coronación para optar por el título de especialista en cultivos de grano. Escuela para graduados Alberto Soriano. Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., Gonzalez, L., Tablada, M. y Robledo C.W. (2008). *InfoStat, versión 2008*, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Fehr, W. R. 1987. Principles of cultivar development. Macmillan Publishing Company, New York.
- Fuentes, F. H., Masiero, B. y Suárez, J. C. 2006. Programa para la elección de variedades de soja. PROVAR. INTA C. R. Córdoba – EEA Marcos Juárez.
- Giménez, F., Lúquez, J. y Suárez, J.C. 2001. Estabilidad y adaptabilidad de cultivares de soja para rendimiento en el sudeste de la provincia de Buenos Aires. *Rev. Fac. Agron. La Plata* 104: 93-103.
- Roozeboom, K. L., Schapaugh, W. T., Tuinstra, M. R., Vanderlip, R. L. and Milliken, G. A. 2008. Testing Wheat in Variable Environments: Genotype, Environment, Interaction Effects, and Grouping Test Locations. *Crop Sci.* 48: 317-330.
- Lin, C and Butler, G. 1988. A data-based approach for selecting locations for regional trials. *Can. J. Plant Sci.* 68: 651-659.
- Loomis, R. S. and Connors, D. J. 1992. *Crops ecology: Productivity and management in agricultural systems*. Cambridge University Press. Melksham, England. 538 p.

- Lúquez, J., Capurro, M. and Erazzú, L. Genotype-environment interactions, megaenvironments and winner genotypes and environments for soybean grain yield in Argentina. 2010. Rev. Fac. Agron. Balcarce 109: 31-36.
- Masiero, B. y Castellano, S. 1991. Programa para el análisis de la interacción genotipo-ambiente usando el procedimiento IML de SAS. Actas Primer Congreso Latinoamericano de Sociedades de Estadística. Valparaíso, Chile.
- Ouyang, Z., Mowers, R. P., Jensen, A., Wang, S. and Zheng, S. 1995. Cluster analysis for genotype x environment interaction with unbalanced data. Crop Sci. 35: 1300-1305.
- Red Nacional de Evaluación de Cultivares de soja, RECSO. 2010. Resultados de ensayos de la campaña 2006/07, 2007/08, 2008/09 Y 2009/10. INTA C. R. Córdoba – EEA Marcos Juárez.
- Shukla, G. K. 1971. Some statistical aspects of partitioning genotype-environment components of variability. A.R.C. Unit of Statistics, 21 Buccleuch Place, University of Edinburgh. Edinburgh.
- Suárez, J. C. 2010. Análisis de la interacción Genotipo – Ambiente en Experiencias por el método de Shukla. EXPIGA. Pergamino. Buenos Aires.
- Weikai, Y. and Rajcan, I. 2002. Biplot Analysis of Sites and Trait Relations of Soybean in Ontario. Crop Sci. 42: 11-20.