



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES

Trabajo Final de Grado

Manejo sitio-específico de cultivares de soja.

Alumna: González, Camila Lucía

N° de legajo: 28011/2

Email: gonzalezcamilalucia@gmail.com

DNI: 39.802.174

Tel.: (02352) - 15401500

Fecha de entrega:

Directora: Ing. Agr. Chamorro, Adriana (FCAYF-UNLP).

Co directora: Ing. Agr. Girón, Paula (EEA INTA General Villegas).

Lugar de realización: Estación Experimental Agropecuaria INTA General Villegas

21	INDICE	
22	RESUMEN.....	3
23	INTRODUCCIÓN	4
24	Hipótesis:	11
25	Objetivo	11
26	MATERIALES Y MÉTODOS	12
27	Sitio experimental y tratamientos.....	12
28	Registro de datos y cálculo de variables.....	14
29	Datos Meteorológicos.....	14
30	Fenología.....	14
31	Biomasa aérea.....	14
32	Radiación interceptada.....	14
33	Eficiencia en el Uso de la Radiación	15
34	Eficiencia en el Uso del Agua.....	16
35	Rendimiento	16
36	Procesamiento de los datos.	17
37	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
38	Fenología del cultivo. Condiciones de desarrollo	17
39	Producción de biomasa y rendimiento	20
40	Eficiencia en el uso de radiación y agua para biomasa y rendimiento	24
41	CONCLUSIONES.....	28
42	BIBLIOGRAFÍA.....	29
43	Anexo: Reseña fotográfica realizada en el TFC.....	35

44

45

RESUMEN

Con el objetivo de evaluar el comportamiento productivo de cultivares de soja de distintos grupos de madurez (GM) en distintas zonas de manejo (ZM) y explicarlo a través de variables ecofisiológicas, se condujeron dos ensayos en la EEA INTA General Villegas. Las hipótesis fueron que: a) el rendimiento de soja es mayor en la posición de loma o media loma (*Hapludol entico*, *H. típico*) respecto a la posición de bajo (*H. thapto* y *H. thapto Ca*), b) en el ambiente de bajo las variedades más precoces presentan un menor rendimiento que las más tardías y en el ambiente de loma o media loma ocurre la situación inversa, y c) las diferencias en productividad entre ambientes y cultivares se asocian a la eficiencia del uso del agua (EUA), lo cual también determina diferencias en la eficiencia en el uso de la radiación (EUR). Los tratamientos fueron tres variedades de soja de distinto GM (IIIC, IVC y VC) y cuatro zonas de manejo (*H. thapto Ca*, *H. thapto*, *H. típico* y *H. éntico*). El rendimiento promedio de ambos ensayos fue de 3692 kg ha⁻¹. Los mayores rendimientos se encontraron en el *Hapludol éntico* y el *Hapludol típico*, con 4011 y 4096 kg ha⁻¹, respectivamente, lo cual permitió aceptar la primera hipótesis. La interacción GM*ZM fue significativa. En el *H. éntico* se diferenciaron el GM IIIC y el IVC, este último rindió +17%. En el *H. típico* los cultivares más tardíos se diferenciaron del IIIC, rindiendo en promedio +16% que el IIIC. El GM IIIC en el *H. thapto Ca* tuvo mayores rendimientos (en promedio +10% vs IVC y VC). En cambio, en el *H. thapto*, el GM VC presentó mayor rendimiento (+22% vs IIIC y IVC). Esta interacción, no permitió aceptar la segunda hipótesis. En general, las diferencias de rendimiento entre las distintas ZM como entre GM se relacionaron con diferencias en la EUA y/o la EUR, sin embargo, en el *H. thapto* los GM tuvieron diferentes rendimientos, pero con valores de EUR y EUA similares que indican la existencia de otros condicionantes del rendimiento. Se resalta la

necesidad de continuar este tipo de estudios a fin de predecir el comportamiento de los distintos cultivares en los distintos ambientes para tomar las mejores decisiones agronómicas.

INTRODUCCIÓN

Importancia del cultivo de soja

La demanda de alimentos y aceites vegetales, el aumento en el estándar de vida y el uso de cultivos para usos industriales irá creciendo en las próximas décadas (Salvagiotti, 2009). En este contexto, la soja (*Glycine max* (L.) Merr.) juega un rol central, y el aumento en la producción estará ligado a las posibilidades de incrementar el área sembrada o de intensificar la producción de granos por unidad de superficie. Existen limitaciones para incrementar la superficie cultivada, lo que produciría conflicto con otros ecosistemas, o se alterarían aquellos con alto grado de fragilidad. Entonces, el desarrollo de tecnologías que maximicen la producción de los cultivos por unidad de superficie y que minimicen los impactos negativos sobre el ambiente será la salida más sustentable para sostener esta demanda (Salvagiotti, 2009).

Argentina es uno de los cuatro países productores de soja más importantes del mundo junto con Estados Unidos, Brasil y China (FAO, 2020), siendo el primer exportador mundial de aceite y de harina proteica (BCR, 2019). Desde su comienzo en la década de los '60, este cultivo tuvo un incremento notable en la superficie sembrada. En los últimos diez años se registró un promedio de 18 millones de hectáreas, con un rendimiento

nacional de 2812 kg ha⁻¹ y una producción estimada de 51 millones de toneladas (MAGyP, 2020).

El aumento en la producción de soja en nuestro país durante los últimos años ha estado explicado en gran parte por la expansión de la frontera agrícola y el reemplazo de la superficie destinada a otras actividades con la agricultura (Salvagiotti, 2009). Asimismo, los rendimientos por unidad de superficie se han mantenido en aumento en las últimas campañas. El uso de genotipos con mayor adaptación ambiental, sumado a la incorporación de resistencia específica a insectos y tolerancia a herbicidas de amplio espectro, han permitido disminuir los efectos negativos ocasionados por factores bióticos y abióticos sobre el rendimiento, sumado a un mejor manejo nutricional de cultivos han contribuido a sostener este crecimiento (Salvagiotti, 2009).

El cultivo en Argentina ocupa una extensa área que abarca desde los 23° LS en el norte a los 39° LS en el sur, concentrada principalmente en la Región Central Pampeana Norte (Cuniberti et al., 2003).

La soja en el noroeste de la provincia de Buenos Aires

La soja es el cultivo de mayor importancia en el noroeste bonaerense. En esta región, la superficie promedio sembrada con cultivos agrícolas en los últimos 10 años fue de 2,4 millones de has, distribuyéndose un 61,3% para la soja, 22,3% para el maíz, 9,8% para trigo y 6,6% para girasol (MAGyP, 2020).

El partido de General Villegas se encuentra ubicado en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, en la tradicional región denominada de Invernada, que en años recientes adicionó otras producciones (leche, cereales y oleaginosos) (Caimi et al., 2011). Integra

una llanura de escasa pendiente, dentro de la región subhúmeda pampeana en la que predominan los suelos con aptitud de uso agrícola-ganadero y ganadero- agrícola clasificados como Hapludoles. Sin embargo, se alternan suelos con buena profundidad y buen drenaje con horizontes endurecidos, que limitan el desarrollo radicular de las plantas (Caimi et al., 2011).

El rendimiento promedio de la soja en los últimos 3 años fue de 2832 kg ha⁻¹ (MAGyP, 2020). La producción de granos tiene como destino principal la exportación y en menor proporción el consumo interno. General Villegas dispone de una aceitera que procesa un importante volumen local de soja y girasol que se destinan a la exportación (Caimi et al., 2011).

Manejo sitio-específico de la soja

La producción de granos en soja está ligada a la capacidad del cultivo de capturar los recursos que estén disponibles (agua, nutrientes, radiación, CO₂). El momento durante el ciclo del cultivo en que esos recursos estén disponibles determinará las variaciones en el rendimiento del cultivo, dado que afectará de diferente manera la definición de los dos principales componentes del rendimiento del cultivo: el número de semillas y el peso de las mismas (Salvagiotti, 2010).

Según Álvarez et al. (2011), las variaciones en los rendimientos de soja pueden explicarse a partir de los efectos del genotipo, del ambiente y de su interacción. Generalmente el efecto ambiental explica la mayor parte de las variaciones del rendimiento. A su vez, las diferencias en longitud de ciclo de los cultivares de soja

pertenecientes a distintos grupos de madurez (GM) permiten explorar distintas ventanas agroclimáticas cuando son sembrados en la misma fecha y en un mismo lote.

Sin embargo, existe abundante evidencia nacional e internacional que demuestra que los lotes de producción presentan desuniformidad espacial. Si bien esta heterogeneidad espacial ha sido ampliamente reconocida desde inicios del siglo pasado (Harris, 1920), recién a comienzos de la década del '90, comenzaron a desarrollarse tecnologías para manejar la variabilidad espacial y temporal de los factores determinantes de la producción agrícola (Pierce y Nowak, 1999).

La agricultura por ambientes constituye un conjunto de innovaciones que requiere adecuar los criterios de manejo a cada área georeferenciada dentro de un mismo lote.

Los términos “manejo por ambientes” y “manejo sitio-específico” fueron desarrollados en el contexto de Agricultura de Precisión (Quiroga, 2012).

El manejo diferencial por ambientes cobra especial interés en regiones donde la calidad de las tierras es altamente variable en escalas espaciales a nivel intralote, y en las cuales las condiciones agro-ecológicas imponen diferentes grados de limitaciones para la producción de cultivos (Noellemeyer y Quiroga, 2012).

Una de las primeras aproximaciones al manejo sitio-específico de los cultivos fue el uso de mapas de rendimiento para determinar zonas con distinto potencial productivo y el manejo diferencial de la nutrición mineral a través de una fertilización variable. La adopción de estas tecnologías ha ganado popularidad en los últimos años en Argentina debido, entre otras causas, al alto peso de los fertilizantes en los costos de producción de los cultivos que ha favorecido la difusión de este tipo de manejo. Su objetivo principal ha sido el de aumentar la eficiencia en el uso de los nutrientes mediante herramientas

de diagnóstico y técnicas de aplicación que contemplen la variabilidad espacial de los lotes de producción, la variabilidad temporal (o interanual) y la interacción entre ambas (Pagani, 2019).

Se ha afirmado que el manejo sitio-específico resultará en mayores beneficios económicos y ambientales, en regiones marginales, como la región subhúmeda y semiárida pampeana las cuales se caracterizan por presentar limitaciones en la disponibilidad de agua para los cultivos y poseer grandes diferencias en la capacidad de retención de este recurso de los suelos. Estos factores se conjugan para determinar que el potencial productivo de las tierras sea muy heterogéneo en el paisaje (loma y bajo) y a nivel intralote (Noellemeyer y Quiroga, 2012).

En este contexto, Ferraris y Mousegne (2017), han observado cómo la gran variabilidad existente en el régimen de precipitación y en el suelo determina cambios interanuales y sitio-específicos en el comportamiento de los distintos GM de soja a la fecha de siembra (FS) y la respuesta a la fertilización, en el norte de Buenos Aires. Estos autores afirman que el estudio de las interacciones entre las distintas variables resulta una aproximación que contribuye a ajustar el manejo del cultivo, el cual podría cambiar año tras año.

Sin embargo, en el noroeste bonaerense (NOB) es escasa la información acerca de los cultivares de soja que se pueden utilizar en diferentes zonas de manejo (ZM) dentro de los lotes; entendiendo como ZM a una subregión dentro de un lote que expresa una combinación homogénea de los factores limitantes de rendimiento para los cuales es apropiada un cultivar único (Doerge, 1999).

Álvarez et al. (2011) señalaron que, en zonas semiáridas o subhúmedas, suelen asociarse altos rendimientos de cultivos de secano con posiciones bajas del terreno y

posiciones con pendientes suaves, mientras que los menores rendimientos se registran en posiciones elevadas del terreno o con pendientes pronunciadas, hecho que han relacionado con la disponibilidad de agua en uno y otro ambiente.

No obstante, en el NOB la situación sería algo diferente ya que los suelos, en superficie, son arenosos a franco arenosos, con moderada capacidad de almacenaje de agua y, según la posición que ocupan en el relieve, tienen diferente aptitud productiva. En lomas y áreas de relieve ondulado, se encuentran *Hapludoles Énticos*, de textura arenosa y baja retención hídrica y en posiciones de media loma, hay *Hapludoles Típicos*, de textura franco-arcillo-arenosa y mayor retención de humedad. En relieves suavemente ondulados se encuentran los *Hapludoles Thapto Árgicos*, caracterizados por la presencia de un horizonte B textural enterrado, a diferentes profundidades y de diferentes espesores y, a veces, con altas concentraciones de sodio o calcio. Mientras que los *Hapludoles Énticos* y *Típicos*, en general, presentan capacidad de uso II y III, los *Hapludoles Thapto Árgicos* presentan capacidad de uso III, IV o V con moderada capacidad de producción agrícola (Girón, 2019).

El rendimiento en soja muestra gran dependencia de la disponibilidad hídrica durante el período comprendido entre la generación de vainas y el llenado de granos (Torrión et al., 2014), por lo que este período es considerado crítico para el déficit hídrico, y según la escala de Fehr y Caviness (1977) corresponde al comprendido entre los estados R4.5 y R5.5. Las propiedades del suelo (físicas y químicas) en interacción con las variables climáticas (disponibilidad de radiación y agua) determinan diferentes ambientes para el cultivo de soja (Salvagiotti, 2010).

204 Entre los cultivares comerciales de soja, existe un rango muy amplio en la duración del
205 ciclo, y por esta razón se agrupan en GM que se denominan con números desde el 0
206 hasta el X. Los GM más altos tienen una mayor duración del ciclo, siendo más largas
207 todas sus etapas de crecimiento, lo que les otorga una mayor plasticidad y capacidad de
208 recuperación frente a condiciones adversas (Baigorri, 2004). Por otro lado, los cultivares
209 más precoces son demandantes de buenas condiciones ambientales (hídricas, lumínicas
210 y edáficas), ya que, en un periodo más corto de crecimiento deben completar sus
211 requerimientos. A pesar de esto, debido a su ciclo más corto, en fechas de siembra
212 normales para una determinada zona, ubican el período de llenado de los granos, crítico
213 para la determinación del rendimiento, en mejores condiciones de fotoperíodo, radiación
214 y temperatura, lo cual les otorga un mayor potencial de rendimiento que a los cultivares
215 de ciclo más largo (Baigorri, 2004).

216 Estas características diferenciales entre los ciclos permitirían pensar que en el NOB, en
217 la posición topográfica de bajo, donde el cultivo podría sufrir limitaciones para el
218 crecimiento, se comportarían mejor los cultivares de ciclo más largo que los más
219 precoces.

220 Paralelamente, en la ubicación topográfica de loma, y particularmente media loma, se
221 esperaría que los cultivares precoces presenten mayores rendimientos.

222 Los mejores comportamientos esperados, tanto en la posición de loma o media loma
223 como para los distintos cultivares en cada ambiente, se relacionarían con un mejor uso
224 de los recursos disponibles, particularmente, del recurso limitante, en este caso, el agua.

225 Pero además, dado que el contenido hídrico tiene efecto sobre el uso de la radiación
226 (Sinclair y Muchow, 1999) también se espera que esos mejores comportamientos se

relacionen con una mayor eficiencia en su uso. Por lo tanto, el logro de altos rendimientos en soja estará ligado también a la capacidad de captura de radiación por parte del canopeo. Es decir, el desarrollo del área foliar del cultivo permitirá una mayor intercepción de la radiación solar incidente, determinando una mayor disponibilidad de fotosintatos en el momento de definición del número y peso de los granos y, por lo tanto, mayores rendimientos (Salvagiotti, 2009).

Hipótesis:

- En el noroeste de la provincia de Buenos Aires, el rendimiento de soja es mayor en la posición de loma o media loma (*H. éntico*, *H. típico*) respecto a la posición de bajo (*H. thapto* y *H. thapto Ca*).
- En el ambiente de bajo (*H. thapto* y *H. thapto Ca*) las variedades de ciclo más corto presentan un menor rendimiento que las de ciclo más largo y en el ambiente de loma o media loma (*H. éntico*, *H. típico*) ocurre la situación inversa.
- Las diferencias en productividad entre ambientes y cultivares se asocian a la eficiencia del uso del agua, lo cual también determina diferencias en la eficiencia en el uso de la radiación.

Objetivo

- Evaluar el comportamiento productivo de cultivares de soja de distintos GM en diferentes ambientes o zonas de manejo y explicarlo a través de variables ecofisiológicas (acumulación de materia seca, uso del agua y la radiación, índice de cosecha).

248

249 **MATERIALES Y MÉTODOS**250 **Sitio experimental y tratamientos.**

251 El ensayo se llevó a cabo en dos lotes de producción de la EEA INTA General Villegas
 252 (34° 52' 00" S 62°45'53" O) en la campaña 2019/2020.

253 Previo a la implantación del cultivo y con la finalidad de determinar distintas ZM se realizó
 254 un relevamiento con una rastra Veris 3100® (Veris Technologies, Salina, KS, USA) y un
 255 GPS RTK de doble frecuencia Trimble 5700 (Trimble 5700, USA) en toda la superficie
 256 de cada lote. De esta manera se obtuvieron mapas de conductividad eléctrica aparente
 257 (CEa) de 0 a 90 cm (CEa90) de profundidad y de elevación con precisión
 258 subcentimétrica.

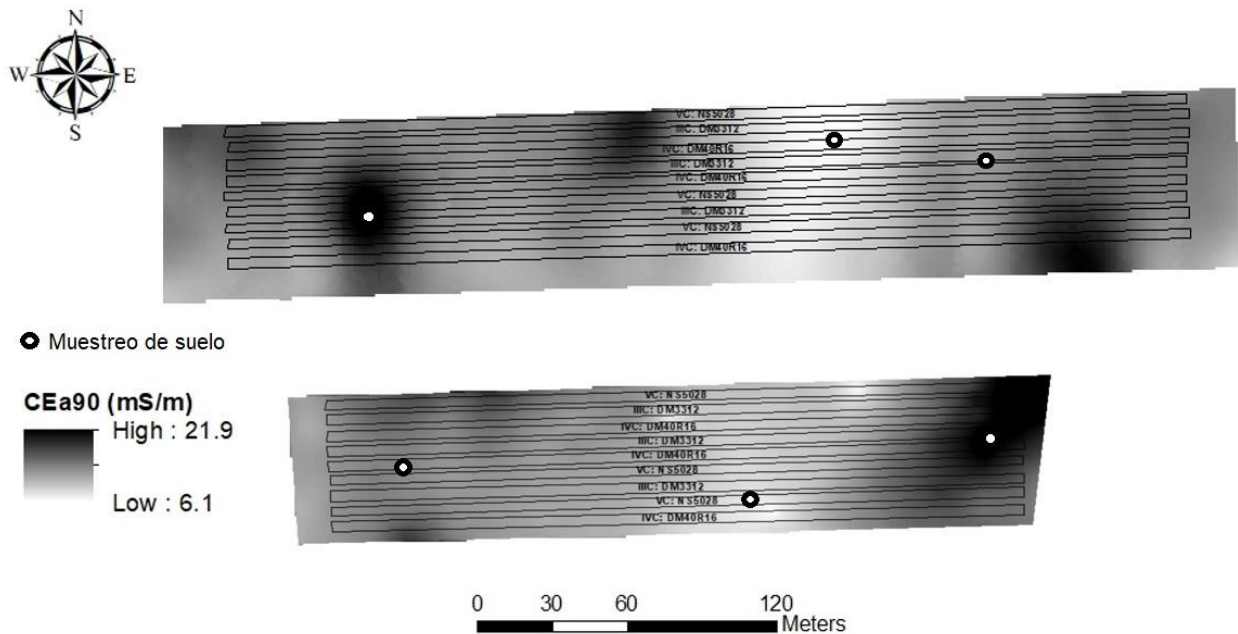
259 Delimitadas las distintas ZM se realizó una caracterización de suelos en cada uno de los
 260 sitios. En el Sitio 1 se encontraron tres tipos de suelos: *Hapludol éntico*, *Hapludol típico*,
 261 y *Hapludol thapto Ca* (presencia de calcrete a partir del metro de profundidad), y en el
 262 Sitio 2: *Hapludol éntico*, *Hapludol típico* y *Hapludol thapto árgico*. En cada ZM se
 263 muestreó y determinó el contenido de materia orgánica (MO), arcilla y arena en 0-20 cm
 264 de profundidad. Debido a que los suelos *H. típicos* y *énticos* de ambos lotes eran
 265 similares se promediaron estos valores (Tabla 1).

266 Tabla 1: Caracterización de suelo 0-20 cm de profundidad en los parámetros de materia orgánica
 267 (MO), Arcilla, y Arena para cada una de las zonas de manejo (ZM) delimitadas.

ZM	MO (%)	Arcilla (%)	Arena (%)
<i>H. éntico</i>	1.7	4.9	69.4
<i>H. típico</i>	2.3	6.9	58.7
<i>H. thapto</i>	2.2	7.9	52.3
<i>H. thapto Ca</i>	2.1	8.6	48.8

268

269 Los tratamientos consistieron en tres cultivares de soja de distinto GM: III corto
 270 (DM3312), IV corto (DM40R16) y V corto (NS5028) que se sembraron en franjas de
 271 manera tal de cruzar las distintas ZM, y el largo total de la franja fue igual al largo del lote
 272 (Figura 1) utilizando una metodología similar a la empleada por Girón (2019). La siembra
 273 se realizó el 5 de noviembre de 2019 con una sembradora neumática de 16 surcos con
 274 un distanciamiento entre hileras de 0,40 m, siendo maíz el cultivo antecesor. La densidad
 275 de siembra fue de 16 semillas por metro lineal (400000 semillas ha⁻¹).



276
 277
 278
 279
 280 Figura 1: Distribución espacial de los bloques y la aleatorización de los cultivares para el Sitio 1
 281 (arriba) y para el Sitio 2 (abajo). (General Villegas, 2019-20)
 282

Registro de datos y cálculo de variables

Datos Meteorológicos

Se registraron las precipitaciones (mm) y la temperatura media diaria (°C), entre septiembre del 2019 y marzo del 2020, por decena. Las mediciones se realizaron en la estación meteorológica automática ubicada a 1500 m de distancia del ensayo.

Fenología

De forma periódica se registraron las fechas de las etapas fenológicas de cada uno de los cultivares en: VE, R1, R3, R5, R7 y R8 según Fehr y Caviness (1977). Las observaciones se realizaron en la parte central de cada sub-parcela, evitando los bordes.

Biomasa aérea

En los estados R1, R3, R5 y R7 se realizaron cortes de material vegetal de 1 m lineal de surco con la finalidad de calcular biomasa aérea en kg ha^{-1} en los distintos tratamientos. El material se colocó en estufa con ventilación forzada a 100°C hasta alcanzar peso seco constante y se registró el peso seco.

Se calculó la tasa de crecimiento diaria como el cociente entre la biomasa producida en los períodos VE-R1, R1-R3, R3-R5 y R5-R7, y la duración en días de los mismos.

Radiación interceptada

Para estimar la radiación solar incidente sobre el cultivo (R_i , MJ m^{-2}) se consideraron los datos de radiación global, registrados por la estación meteorológica antes mencionada, y se los multiplicó por un factor de 0,4 (Birch et al., 1999). La sumatoria diaria de R_i , afectada por la eficiencia de intercepción del cultivo (E_i), permitió obtener la Radiación fotosintéticamente activa interceptada por el cultivo (RFA) (Gallo y Daughtry, 1986) para un período determinado.

306

$$307 \quad RFAi = \sum Ri \times Ei$$

308

309 La Ei se determinó mediante el empleo de un sensor lineal cuántico (Ceptómetro,
 310 Cavadevices®) de 1 m de longitud de zona sensora. De acuerdo con la técnica de Gallo
 311 y Doughtry (1986), colocando el sensor por encima del cultivo se tuvo la radiación
 312 incidente (I_0) y posicionado por debajo del dosel, en forma perpendicular a los surcos se
 313 obtuvo la radiación transmitida (I_t).

$$314 \quad Ei = (I_0 - I_t) / I_0$$

315

316 I_0 e I_t fueron registrados cada 14 días a partir de R1. Por cada unidad experimental se
 317 tomaron tres lecturas, en días totalmente despejados y en horas de máxima radiación
 318 (11.30 - 14:00 hs).

319 **Eficiencia en el Uso de la Radiación**

320 La Eficiencia en el Uso de la Radiación (EUR) se calculó para la producción de biomasa
 321 y para el rendimiento como la relación entre la biomasa acumulada en R7 o el
 322 rendimiento y la radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) acumulada hasta
 323 R7 (Sinclair y Muchow, 1999).

324

$$325 \quad EUR_B = \text{Biomasa} / RFAi \text{ (g MS MJ}^{-1} \text{ m}^{-2}\text{)}$$

$$326 \quad EUR_R = \text{Rendimiento} / RFAi \text{ (g grano MJ}^{-1} \text{ m}^{-2}\text{)}$$

Eficiencia en el Uso del Agua

Se midió la humedad del suelo a la siembra y en madurez fisiológica hasta 2 m de profundidad con la finalidad de evaluar el consumo de agua de cada cultivar en cada ZM y calcular la eficiencia en el uso de agua (EUA). La EUA (kg mm^{-1}) se estimó en términos para producción de biomasa (EUA_B), kg MS mm^{-1} y de rendimiento (EUA_R). La EUA_B se calculó como el cociente entre la biomasa acumulada en VE-R7 y el uso consuntivo del agua (UC), es decir, el agua evapotranspirada por el cultivo durante el ciclo (agua útil en VE – agua útil en R7 + precipitaciones ocurridas durante VE-R7). El agua útil en mm de cada capa, se calculó afectando el porcentaje de humedad con la densidad aparente y restando el contenido de agua en punto de marchitez permanente (PMP). La EUA_R se calculó considerando la relación entre el rendimiento en grano y el UC (kg grano mm^{-1} , EUA_R)

Rendimiento

La cosecha se realizó el día 30/4/2020 con una cosechadora equipada con monitor de rendimiento y DGPS (“Sistema de Posicionamiento Global Diferencial”). Los mapas de rendimiento generados fueron procesados mediante el programa ArcGIS 10.2.2 (ESRI, 2015) para corregir y eliminar los valores de rendimiento defectuosos. La información de rendimiento generada fue analizada con el mismo software a una escala espacial considerablemente menor a las de las franjas completas con el objetivo de estudiar la variabilidad espacial del cultivar dentro de cada sitio. Por esta razón, las franjas fueron divididas en transectas de 40 m de longitud y se promediaron los puntos de rendimiento de cada transecta para cada franja y cultivar. El rendimiento en grano se expresó al 14% de humedad.

351 Se calculó el índice de cosecha (IC) como el cociente entre el rendimiento en g m⁻² y la
352 biomasa generada a R7 en g m⁻².

353 **Procesamiento de los datos.**

354 Los datos fueron analizados con modelos mixtos, considerando como efectos fijos al
355 cultivar y zonas de manejo y como efectos aleatorios al sitio y al bloque dentro del sitio
356 (RStudio Team, 2020). Para el test de comparaciones múltiples se utilizó el test de LSD
357 ($\alpha = 0,05$).

358 **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

359 **Fenología del cultivo. Condiciones de desarrollo.**

360 El registro fenológico para los distintos cultivares se presenta en la Tabla 2. La duración
361 del ciclo fue de 123, 127 y 141 días para los GM IIIC, IVC y VC, respectivamente. La
362 duración del período crítico para la determinación de rendimiento del cultivo (R4-R5.5,
363 Toledo, s/f) fue de 31 días para el IIIC, 39 días para IVC y 40 días para VC. Si bien esta
364 duración no varió demasiado entre GM, la fecha de ocurrencia fue diferente, comenzando
365 el 11/1/2020 para el IIIC, 13/1/2020 para el IVC y el 22/1/2020 para el VC. El periodo de
366 llenado de granos (R5-R7) fue de 26 días para el IIIC, 33 días para IVC y 32 días para
367 VC, iniciándose más tarde en este último (13/2/2020) con respecto a los GM IIIC y IVC
368 (31/1/2020 y 2/2/2020). De esta manera, se ubicó el período de llenado de los granos del
369 GM VC en condiciones menos favorables de temperatura y radiación respecto a los otros
370 GM evaluados.

371

Tabla 2: Fechas de ocurrencia de los distintos estados fenológicos del cultivo según Fehr & Caviness (1977). VE: emergencia, R1: inicio de floración, R3: inicio de fructificación, R5: inicio de formación de semilla, R7: inicio de maduración, R8: plena madurez.

GM	Siembra	VE	R1	R3	R5	R7	R8
IIIC	5-nov-19	13-nov-19	22-dic-19	3-ene-20	31-ene-20	26-feb-20	6-mar-20
IVC	5-nov-19	13-nov-19	23-dic-19	4-ene-20	2-feb-20	6-mar-20	12-mar-20
VC	5-nov-19	13-nov-19	30-dic-19	14-ene-20	13-feb-20	16-mar-20	24-mar-20

Las precipitaciones en el ciclo del cultivo comprendidas desde el 5 de noviembre hasta el 30 de marzo fueron de 622 mm (Figura 2), las cuales habrían sido suficientes, ya que, según Salvagiotti (2010), las necesidades de agua del cultivo para una soja de primera siembra varían entre 500 y 600 mm. Sin embargo, hubo diferencias entre cultivares en el agua recibida durante el periodo crítico (R4-R5.5): el GM IIIC se vio particularmente beneficiado por la caída de 149,4 mm, mientras que los GM IVC y VC recibieron 79,1 y 87,1 mm respectivamente.

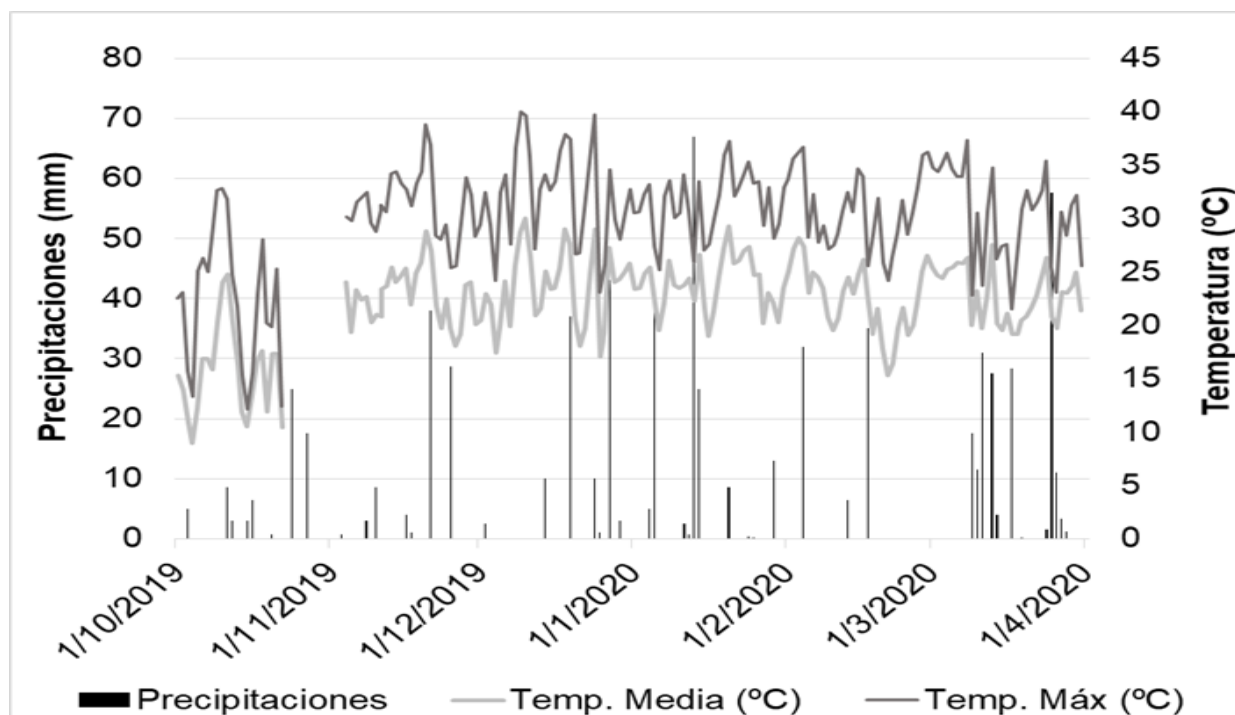


Figura 2: Precipitaciones (barras verticales negras) y temperatura media (línea gris claro) y máxima (línea gris oscuro) desde el 1 de octubre de 2019 al 1 de abril de 2020 (General Villegas).

Por otro lado, entre los días 18 de febrero y 8 de marzo, se registraron condiciones térmicas que, unidas a las condiciones hídricas, pudieron tener efecto sobre los rendimientos obtenidos. Durante estos 20 días no se produjeron precipitaciones y, además, las temperaturas fueron elevadas. El promedio de temperaturas máximas para el período fue de 32°C, con 11 días que superaron ese valor y picos de temperaturas de 36 y 37°C. Cabe señalar, que el rango de temperaturas óptimas para el establecimiento de vainas y el crecimiento de los granos se encuentra por debajo de los 30°C (Kantolic et al., 2003). Según Ergo (2013) la combinación del estrés térmico con el hídrico durante el llenado de granos en soja, producen alteraciones en la fuente fotosintética observándose una aceleración del proceso de senescencia foliar y modificaciones en los

contenidos de las distintas variables bioquímico-fisiológica. Estos efectos se traducen en alteraciones sobre el rendimiento y sus componentes (número y peso de granos). De acuerdo con los registros fenológicos, el llenado de los granos del GM VC se habría visto más afectado por estas condiciones que en los GM más precoces.

Producción de biomasa y rendimiento

La biomasa acumulada promedio de ambos ensayos fue de 1178, 2366, 7225 y 10862 kg ha⁻¹ para los estadios R1, R3, R5 y R7, respectivamente, algo más baja que la obtenida previamente (Girón *et al.*, 2017). Además, para esta variable se encontró interacción entre GM*ZM ($P<0,01$, Figura 3).

En las ZM *H. éntico* la acumulación de biomasa fue similar para los tres GM, pero en el *H. típico*, el GM que acumuló mayor biomasa fue el VC. Es decir, aunque ambos suelos corresponden a la posición de loma o media loma, el comportamiento de los GM fue algo diferente. Lo mismo ocurrió en la posición de bajo, ya que en la ZM *H. thapto*, los GM IIIC y VC fueron los que acumularon mayor biomasa, pero en el suelo con limitante en la profundidad efectiva por presencia de carbonato a partir del metro de profundidad, los GM que mayor biomasa acumularon fueron el IIIC y IVC.

La mayor acumulación de biomasa del GM VC en el *H. típico* se debería principalmente a la mayor duración de ciclo (de la Vega y de la Fuente, 2003) ya que en este tipo de suelo el cultivo no habría encontrado grandes limitaciones para su crecimiento. Los ambientes con limitaciones crecientes habrían permitido la diferenciación en el crecimiento de los GM. Así, en el *H. thapto Ca*, el ambiente con mayores limitaciones, la mayor biomasa acumulada de los GM IIIC y IVC pudo deberse a que estos cultivares al ser de ciclo más corto pudieron mantener altas tasas de crecimiento durante el período

crítico, en cambio el VC al tener desplazado el período crítico más adelante, las altas temperaturas y falta de precipitaciones a fines de ciclo perjudicaron su tasa de crecimiento.

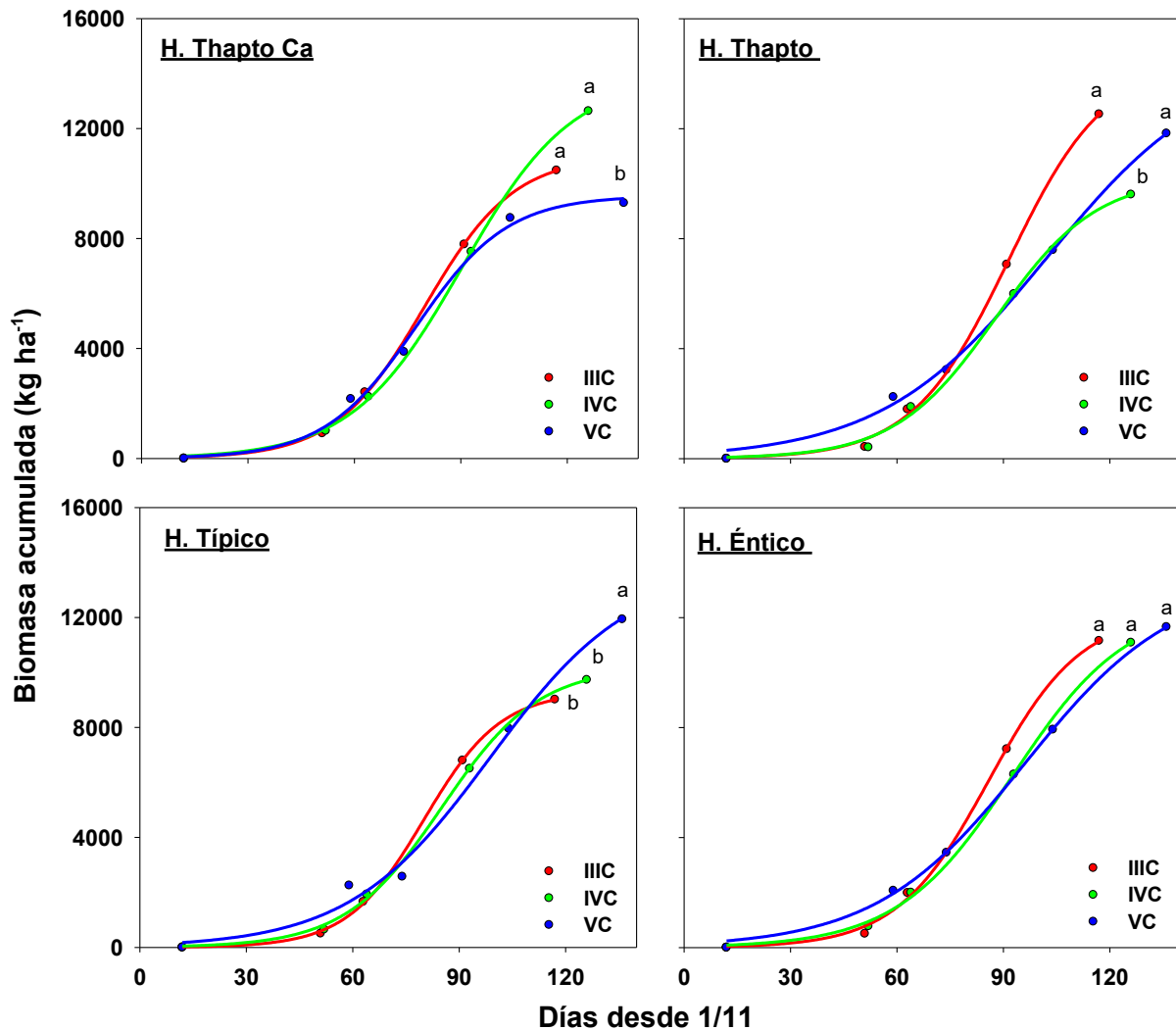


Figura 3: Evolución de la acumulación de biomasa para los tres grupos de madurez de soja: IIIC, IVC y VC en cuatro zonas de manejo: *H. thapto Ca*, *H. thapto* (correspondientes a zonas topográficas de bajo), *H. típico* y *H. éntico*. (Correspondientes a zonas topográficas de loma y media loma) (General Villegas, 2019-20).

La producción de granos no se comportó exactamente de la misma manera que la producción de biomasa debido a diferencias en los índices de cosecha. El rendimiento promedio de ambos ensayos fue de 3692 kg ha⁻¹, también algo más bajos que los obtenidos en ensayos previos (Girón *et al.*, 2015, 2017, Vicente, 2020). De acuerdo con lo planteado en las hipótesis del trabajo, se observó que la soja registró mayores rendimientos en la posición de loma y media loma que en los bajos. Los valores alcanzados fueron de 4011 y 4096 kg ha⁻¹ en los suelos *Hapludol éntico* y *Hapludol típico* respectivamente, contra 3220 y 3442 kg ha⁻¹ en *Hapludol thapto* y *Hapludol thapto* con Ca respectivamente.

Se encontró interacción significativa ($P<0,01$) entre GM*ZM, por lo tanto, se evaluaron los efectos principales del GM dentro de la variable ZM (Figura 4).

En la posición de loma y media loma se observó que tanto en el suelo *H. éntico* como en el *H. típico*, el mayor rendimiento correspondió al GM IVC, el cual se diferenció significativamente del GM IIIC. La diferencia fue que en el *H. típico* el GM VC se comportó como el IVC y en el *H. éntico* tuvo un rendimiento intermedio entre el GM IIIC y el IVC sin diferenciarse de ninguno de ellos. Este comportamiento fue inesperado, si bien el GM IV rindió más que el VC, el GM IIIC fue el que registró los menores rendimientos, incluso, a pesar de haber registrado la mayor cantidad de precipitaciones durante el período crítico.

En la posición de bajo, el comportamiento de los cultivares fue diferente. Mientras que en el suelo *H. thapto* el mayor rendimiento correspondió al GM VC, en el *H. thapto* Ca fue para el GM IIIC. En el *H. thapto*, la explicación podría ser la mayor plasticidad de los materiales de ciclo más largo y por lo tanto su mejor comportamiento frente a condiciones

más limitantes para el crecimiento (Baigorri, 2004). Si bien el horizonte thapto presenta cierta impedancia en el desarrollo radical, el cultivo es capaz de atravesarlo, a diferencia de lo que ocurre con la capa de calcrete (Rampo, com. pers), y el GM VC al tener mayor duración de ciclo tendría la capacidad de desarrollar sistemas radicales profundos, logrando mayor captación de agua sin tener una merma significativa en el rinde a diferencia de los cultivares de ciclo más cortos (de la Vega et al., 2003).

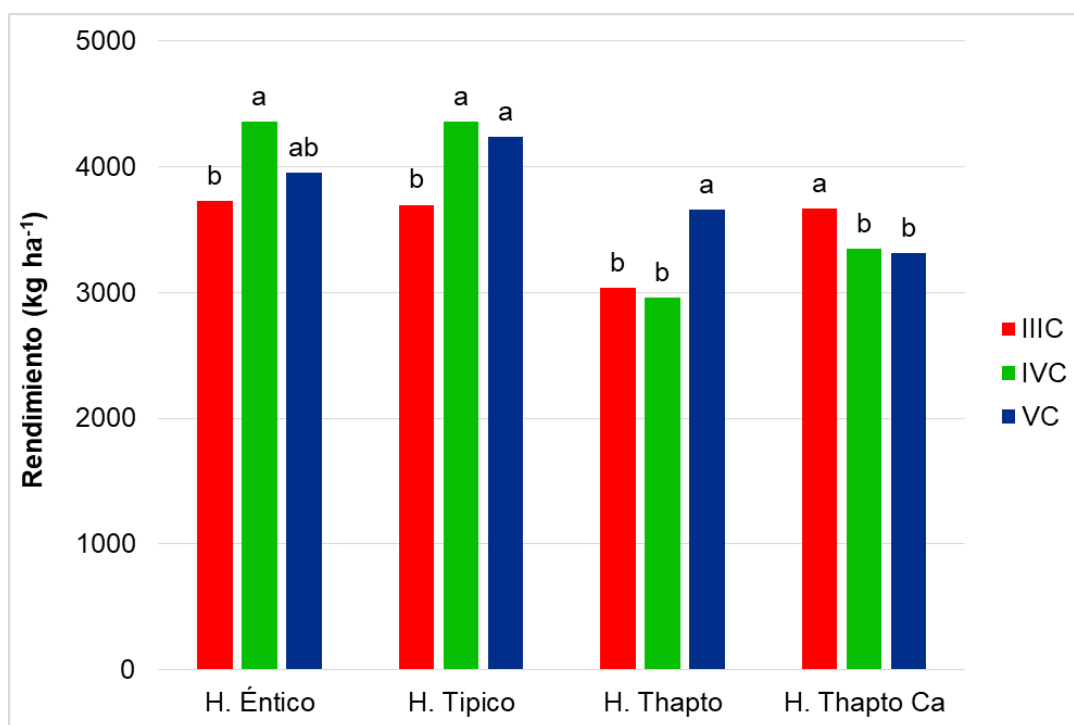


Figura 4: Rendimiento de tres grupos de madurez de soja: IIIC, IVC y VC en cuatro zonas de manejo: *H. thapto Ca*, *H. thapto* (correspondientes a zonas topográficas de bajo), *H. típico* y *H. éntico* (correspondientes a zonas topográficas de loma y media loma) (General Villegas, 2019-20).

Letras distintas indican diferencias significativas entre los GM dentro de cada ZM.

En el *H. thapto Ca* el mayor rendimiento del GM IIIC pudo deberse a que su período crítico, a diferencia del IVC y VC, ocurrió previo a elevadas temperaturas y consecutivos días con déficit hídrico (Figura 2).

Eficiencia en el uso de radiación y agua para biomasa y rendimiento

La EUR_B promedio de ambos ensayos fue de 1,35 g de MS MJ⁻¹ m⁻² (Tabla 3). Los valores obtenidos son, en general, un poco más bajos que los registrados en ensayos previos (Girón *et al.*, 2017), probablemente debido a los menores valores de biomasa alcanzados. En la ZM *H. thapto Ca* el promedio de los GM IIIC y el IVC presentaron una EUR_B de +43% respecto del GM VC. En la ZM *H. thapto* el GM IIIC presentó una EUR_B de +42% respecto de los GM IVC y VC. En la ZM *H. típico* no se encontraron diferencias significativas en la EUR_B ($P>0,05$) y el promedio para los tres GM fue de 1,26 kg de MS mm⁻¹. En la ZM *H. éntico* el GM IIIC presentó +16% en la EUR_B que el promedio de los GM IVC y VC.

La EUR_R promedio de ambos ensayos fue de 0,46 g de grano MJ⁻¹ m⁻² (Tabla 3). En la ZM *H. thapto Ca* el GM IIIC presentó +27% en la EUR_R respecto el promedio de los GM IVC y VC. En las ZM *H. thapto* y *H. típico* no presentaron diferencias significativas entre los GM ($P>0,05$) y las EUR_R fueron en promedio de 0,40 y 0,51 g de grano MJ⁻¹ m⁻², respectivamente. En la ZM *H. éntico* los GM IIIC y IVC presentaron en promedio +18% en la EUR_R respecto el GM VC.

La EUR_B fue similar entre ZM, pero la EUR_R fue mayor en el *H. típico* y *éntico* que en el *H. thapto* y *thapto Ca*.

La EUA_B promedio de ambos ensayos fue de 19,29 kg de MS mm^{-1} (Tabla 3). Los datos aquí registrados son algo más bajos de los citados por Girón *et al.* (2017) y Vicente (2020) probablemente por los menores valores de biomasa obtenidos en este ensayo. En la ZM *H. thapto Ca* los GM IIIC y IVC se diferenciaron significativamente del VC, obteniendo una EUA_B de +36%. En la ZM *H. thapto* el GM IIIC presentó una EUA_B de +25% respecto al promedio de IVC y VC. Tanto en el *H. típico* como en el *H. éntico* no se encontraron diferencias significativas entre los GM ($P < 0,05$) y las EUA_B fueron en promedio de 19,04 y 19,37 kg de MS mm^{-1} , respectivamente.

La EUA_R promedio de los dos ensayos fue de 6,58 kg de grano mm^{-1} (Tabla 3). Los valores encontrados se encuentran dentro del rango de los citados previamente (Della Maggiora *et al.*, 2000 Micucci y Álvarez, 2003, Álvarez *et al.*, 2011, Faraldo *et al.*, 2011, Vicente, 2020).

En la ZM *H. thapto Ca* el GM IIIC presentó una EUA_R de +20% respecto al promedio de IVC y VC. En la ZM *H. thapto* no hubo diferencias significativas entre los GM ($P < 0,05$) con un promedio de 5,36 kg de MS mm^{-1} . En la ZM *H. típico* el GM IVC se diferenció significativamente +15% respecto del promedio de los GM IIIC y VC. En la ZM *H. éntico* el GM IVC presentó diferencias significativas respecto al promedio de los GM IIIC y VC, obteniendo una EUA_R de +18%.

Al igual que lo observado en la EUR, si bien los valores promedio de EUA_B no mostraron grandes diferencias entre ZM, la EUA_R registró mayores valores en los *H. típico* y *éntico* que en los *H. thapto* y *thapto Ca*.

Tabla 3: EUA_B (Eficiencia en el uso del agua para biomasa, en kg de MS mm^{-1}), EUA_R (Eficiencia en el uso del agua para rendimiento, en kg de grano mm^{-1}), EUR_B (Eficiencia en el uso de la radiación para biomasa, en g de MS $MJ^{-1} m^{-2}$) y EUR_R (Eficiencia en el uso de radiación para rendimiento, en g de grano $MJ^{-1} m^{-2}$) para tres GM y 4 zonas de manejo (ZM).

ZM	GM	EUA_B	EUA_R	EUR_B	EUR_R
<i>H. thapto Ca</i>	<i>IIIC</i>	20,13 a	7,10 a	1,42 a	0,50 a
	<i>IVC</i>	23,37 a	6,16 b	1,54 a	0,41 b
	<i>VC</i>	16,02 b	5,71 b	1,04 b	0,37 b
<i>H. thapto</i>	<i>IIIC</i>	21,81 a	5,31 a	1,77 a	0,43 a
	<i>IVC</i>	16,80 b	5,14 a	1,17 b	0,36 a
	<i>VC</i>	18,12 b	5,64 a	1,33 b	0,41 a
<i>H. típico</i>	<i>IIIC</i>	17,67 a	7,26 b	1,29 a	0,53 a
	<i>IVC</i>	18,51 a	8,41 a	1,17 a	0,53 a
	<i>VC</i>	20,95 a	7,38 b	1,31 a	0,47 a
<i>H. éntico</i>	<i>IIIC</i>	20,26 a	6,89 b	1,53 a	0,51 a
	<i>IVC</i>	19,62 a	7,73 a	1,34 b	0,53 a
	<i>VC</i>	18,24 a	6,19 b	1,30 b	0,44 b

Letras distintas indican diferencias significativas entre los GM dentro de cada ZM.

En términos generales, se puede decir que, en cada ZM, el GM que obtuvo el mayor rendimiento, es el que registró las mayores EUA_R y EUR_R . Sin embargo, no en todos los casos las diferencias de rendimiento pudieron explicarse por diferencias en estas

variables. En el *H. thapto*, si bien el GM VC rindió más que los más precoces, los tres registraron valores de EUA_R y EUR_R similares.

A diferencia de los resultados aquí obtenidos, estudios realizados por Alvarez et al. (2011) en la región semiárida pampeana registraron mayores rendimientos en la posición de bajo respecto de la de loma. Los autores indicaron que los mayores rendimientos obtenidos en el bajo se deberían a la mayor EUA del cultivo como consecuencia de una mayor disponibilidad hídrica, especialmente, durante el periodo crítico. La diferencia fundamental con nuestro ensayo es que dicho ambiente (en la posición de bajo) no presentaba limitantes para el desarrollo de las raíces. De manera similar, Tellería citado por Bragachini (2003), en el sur de Córdoba, también observó respuestas diferenciales entre genotipos según la posición topográfica. Este autor, identificó los bajos como zonas de alto potencial de rendimiento y las lomas como zonas de menor potencial productivo, asociado esto a la capacidad de retención hídrica de los suelos. En la loma, los cultivares correspondientes al GM VI mostraron un mejor comportamiento respecto al GM IV, asociado a su estabilidad y plasticidad. En los bajos, las variedades de ciclo más corto (grupos III y IV) se comportaron mejor que las de ciclo más largo, estas últimas, incluso, registraron mayor incidencia de vuelco y enfermedades generando importantes pérdidas de rendimiento.

Adicionalmente, Faraldo et al. (2011) analizando la EUA y la EUR de distintos cultivos en La Pampa, resaltan la importancia de la distribución de las lluvias y su coincidencia con el período crítico de los cultivos como la característica de mayor influencia en la EUA y EUR, particularmente en zonas donde el agua es un recurso limitante, sobre todo cuando se trata de cultivos estivales, generalmente sometidos a altas demandas atmosféricas.

Esto indica que los resultados, tanto de los autores citados previamente como de los presentados aquí, pueden variar sustancialmente entre campañas en función de la distribución de las precipitaciones.

Los resultados presentados confirman el comportamiento diferencial de los distintos cultivos de soja en los distintos ambientes, aunque no siempre de acuerdo a lo esperado según las hipótesis planteadas. Por este motivo resulta fundamental obtener datos concretos de este cultivo para diferentes zonas, años, ambientes definidos por relieve, variedades, distanciamientos entre hileras, variabilidad espacial de acuerdo a la fertilidad del suelo, régimen de lluvias etc. Se considera necesario continuar realizando este tipo de ensayos en distintas localidades y profundizar el estudio de la ecofisiología de cultivos a fin de predecir su comportamiento en los distintos ambientes para poder tomar las mejores decisiones agronómicas.

CONCLUSIONES

Los resultados logrados permiten aceptar la primera hipótesis ya que se obtuvieron mayores rendimientos en la posición de loma y media loma (*H. entico*, *H. típico*) respecto a los bajos (*H. thapto* y *H. thapto Ca*).

La segunda hipótesis no se acepta ya que se registró interacción ZM x GM: en el ambiente de bajo, donde se esperaba que los cultivos más precoces obtuviesen los rendimientos más bajos, el comportamiento de los GM fue diferente según el tipo de suelo, en el *H. thapto* el mayor rendimiento correspondió al GM IVC, pero en el *H. thapto Ca* el GM más productivo fue el IIIC. Y mientras que en los ambientes de media loma y

loma (*H. típico* y *H. éntico*) se esperaba el mayor rendimiento con los cultivares más precoces, los que mejor se comportaron fueron los de GM IVC.

La tercera hipótesis no es rechazada ya que, en términos generales, la diferente productividad entre ambientes y cultivares se relacionó con diferencias en la eficiencia de uso de agua y radiación.

Estos ensayos permitieron evaluar la importancia en la elección del GM dentro de cada ZM confirmado a partir de la interacción existente entre las variables. Sin embargo, los resultados pertenecen a una sola campaña caracterizada por estrés térmico e hídrico a fin de período crítico, que afectaron principalmente el rendimiento en las ZM con limitantes más severas (*H. thapto* Ca y *H. thapto*). Por lo tanto, es necesario realizar este tipo de ensayos durante más campañas productivas donde se evalúen distintas condiciones de precipitaciones y temperaturas para establecer resultados más robustos de la interacción GM*ZM.

BIBLIOGRAFÍA

Álvarez C., A. Quiroga; A. Corro Molas y C. Lienhard. 2011. “Manejo sitio específico para el cultivo de soja en la región semiárida Pampeana”. Mercosoja 2011. Quinto Congreso de la soja del Mercosur, Rosario, Argentina. Disponible en: https://www.maquinac.com/wp-content/uploads/2015/07/Acsoja_Manejo_sitio_especifico_en_soja.pdf Último acceso: enero de 2021.

- 586 **Baigorri, H. 2004.** Criterios generales para la elección y el manejo de cultivares en el
587 cono sur. En: Manual práctico para la producción de soja. M. Díaz-Zorita & G. A. Duarte.
588 Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, pp: 39-77.
- 589 **BCR. 2020.** Fotografía del mercado mundial y local del aceite de soja. Disponible en:
590 [https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-](https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/fotografia-del#:~:text=Exportaciones%20de%20Aceite%20de%20Soja,de%20mercado%20menores%20al%2010%25)
591 [semanal/noticias-informativo-semanal/fotografia-](https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/fotografia-del#:~:text=Exportaciones%20de%20Aceite%20de%20Soja,de%20mercado%20menores%20al%2010%25)
592 [del#:~:text=Exportaciones%20de%20Aceite%20de%20Soja,de%20mercado%20menores%20al%2010%25](https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/fotografia-del#:~:text=Exportaciones%20de%20Aceite%20de%20Soja,de%20mercado%20menores%20al%2010%25).
593
- 594 **Birch C.J, Hammer G.L, Rickert K.G. 1999.** Dry matter accumulation and distribution in
595 five cultivars of maize (*Zea mays*): relationships and procedures for use in crop modeling.
596 Aus. J. Agric. Res. 50: 513-527
- 597 **Bragachini, M., von Martini, A., Méndez, A. 2003.** “Potencialidad de la información de
598 los Mapas de Rendimiento en la Interpretación del Manejo de Factores de Rendimiento
599 y su Respuesta Sitio Específica en el Cultivo de Soja”. Disponible en:
600 <file:///C:/Users/ACER/Downloads/Potencialidad-Informacion-Mapas-Rendimiento.pdf>.
601 Último acceso: enero 2021
- 602 **Caimi, R.; Justo, A.M.; Calcaterra, C.P.; Basail, J.O.; Pellegrino, R. L.; Fangio,**
603 **J.R.; Tosi, J. C.; Quiroz García, J. L.; García, O. M.; Álvarez, R. M.; Otero, A.;**
604 **Salvarredi, G.; Grioni, C. M.; Geandet, A.; Scocco, N.; Tenaglia, R.; Botta, F. L.;**
605 **Antoniolli, E. R.; Alturria, L.; Keller, D.; Sabalaín, C. K. de; García, M.; Spinelli**
606 **Zinni, F.; Colombet, H. y Alsina, F.C. (Coord.) 2011.** Sustentabilidad de PyMES
607 agropecuarias. Buenos Aires, Santa Fe y Mendoza, Argentina Disponible en:
608 https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-sustentabilidad_completo.pdf Último

609 acceso: diciembre 2020

610 **Cuniberti, M. Herrero, R. Baigorri, H. Croato, D. Masiero, B. Parra, R. Vicentini, R.**

611 **Piatti, F. 2003.** “Factores que afectan la composición de ácidos grasos de la soja en

612 Argentina” En: Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo. Buenos Aires.

613 Pp.36.

614 **de la Vega, J., E. de la Fuente 2003.** “Elección de genotipos” En: Producción de Granos.

615 Bases funcionales para su manejo. Buenos Aires. Pp.319-345.

616 **Della Maggiora, A.I., J.M. Gardiol y A.I. Irigoyen. 2000.** “Requerimientos hídricos”. En:

617 Andrade, F. H. &Sadras, V. O.: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Ed.

618 Médica Panamericana S.A. EEA INTA Balcarce-Facultad de Ciencias Agrarias UNMP.

619 pp. 155-172.

620 **Doerge, T.A. 1999.** Management Zone Concepts. S.I: Potash & Phosphate Institute. Site-

621 Specific Management Guidelines 2, 4 p.

622 **Ergo, V. 2013.** “Estrés térmico y/o hídrico durante el llenado de grano en soja: impacto

623 sobre el funcionamiento de la fuente y su efecto sobre el rendimiento”. Disponible en:

624 https://inta.gob.ar/sites/default/files/tesina_veronica_ergo.pdf. Último acceso: enero

625 2021.

626 **ESRI. 2015.** ArcGIS Desktop: Release 10, in: ESRI (Ed.), Redlands, CA.

627 **FAO. 2020.** Base de datos estadística de la Food and Agriculture Organization or the

628 United Nations. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>

629 Consultado el 8 de agosto de 2020.

630 **Faraldo, M.L., G.T Vergara, G.A. Casagrande, J.P. Arnaiz, H. Mirasson y C. Ferrero.**

631 **2011.** “Eficiencia en el uso del agua y radiación en maíz, girasol y soja, en la región

632 oriental de la pampa, argentina". *Agronomía Tropical*, 61(1), 47-57. Disponible en:
 633 [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2011000100005&lng=es&tlng=es)
 634 [192X2011000100005&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0002-192X2011000100005&lng=es&tlng=es). Último acceso: enero 2021.

635 **Fehr W.R., Caviness C.E. 1977.** Stages of soybean development. Cooperative
 636 Extension Service, Agriculture and Home Economics. Iowa State University Special
 637 Report 80: 929–931.

638 **Ferraris, G., Mousegne, F. 2017.** Respuesta diferencial a la fertilización en soja según
 639 ambiente productivo, fecha de siembra y grupo de madurez. Disponible en:
 640 [https://inta.gob.ar/sites/default/files/respuesta_diferencial_a_la_fertilizacion_en_soja_se](https://inta.gob.ar/sites/default/files/respuesta_diferencial_a_la_fertilizacion_en_soja_segun_ambiente_productivo_fechas_de_siembra_y_grupos_de_madurez_0.pdf)
 641 [gun_ambiente_productivo_fechas_de_siembra_y_grupos_de_madurez_0.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/respuesta_diferencial_a_la_fertilizacion_en_soja_segun_ambiente_productivo_fechas_de_siembra_y_grupos_de_madurez_0.pdf). Último
 642 acceso: junio de 2020.

643 **Gallo K.P. y Daughtry C.S. 1986.** Techniques for measuring intercepted and absorbed
 644 photosynthetically active radiation in crop canopies. *Agronomy J.* 78:752-756.

645 **Girón, P. 2019.** Evaluación de dos cultivares de soja en distintos ambientes productivos
 646 a nivel intra-lote. Mercosoja 2019 "Reformular la soja para impulsar la cadena del
 647 conocimiento". Rosario, Argentina.

648 **Girón, P., M. Rampo, M. Barraco, W. Miranda. 2017.** "¿Cuál es el impacto en el
 649 rendimiento al atrasar la fecha de siembra y modificar el distanciamiento entre hileras en
 650 cultivares de soja?" Disponible en:
 651 https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mt2017_giron_rendimiento_soja_1.pdf Último
 652 acceso: diciembre de 2020.

653 **Girón, P., W. Miranda, M. Barraco, A. Lardone. 2015.** "Evaluación de distintas fechas
 654 de siembra de soja en función de grupos de madurez y espaciamiento entre hileras".

655 Disponible en: https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_mt2015_evaluacion_fs.pdf
656 Último acceso: diciembre de 2020.

657 **Harris, J.A. 1920.** Practical universality of field heterogeneity as a factor influencing plot
658 yields. Journal of Agricultural Research, Washington, v. XIX, n.7, p. 279-314, 1920

659 **Kantolic A.G, P.I. Giménez y E.B. de la Fuente. 2003.** “Ciclo ontogénico, dinámica del
660 desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja”. En: Producción de cultivos
661 de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. EH Satorre, RL Benech A, GA Slafer,
662 EB de la Fuente, DJ Miralles, ME Otegui, R Savin. Cátedras de Cerealicultura y Cultivos
663 Industriales, Departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad
664 de Buenos Aires: 165-201

665 **MAGyP, 2020.** Disponible en
666 <http://datosestimaciones.magyp.gob.ar/reportes.php?reporte=Estimaciones>. Consultado
667 el 8 de agosto de 2020.

668 **Micucci F. y C. Álvarez. 2003.** “El agua en los cultivos extensivos III: Impacto de las
669 prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua”. Archivo agronómico N° 8.
670 Informaciones Agronómicas N° 20. INPOFOS Cono Sur, Argentina.

671 **Noellemeyer, E, A. Quiroga. 2012.** Manejo sitio-específico para mejorar la eficiencia de
672 uso de agua de los cultivos en la región semiárida pampeana. PICT-2010-1872

673 **Pagani, A. 2019.** Llevando la agricultura de precisión al lote. Actas del Simposio de
674 Fertilidad 2019. Rosario, 8 y 9 de mayo de 2019:78-87.

675 **Pierce, F.J., Nowak, P. 1999.** Aspects of precision agriculture. Adv Agron. 67:1-85

676 **Quiroga, A. 2012.** Avances de la agricultura por ambientes en la región semiárida
677 pampeana. Disponible en: <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp->

678 inta_agricultura_por_ambientes_liviano.pdf#page=21. Consultado el 15 de agosto de
679 2020.

680 **RStudio Team. 2020.** RStudio: Integrated Development Environment for R. RStudio,
681 PBC, Boston, MA. Disponible en: <http://www.rstudio.com/>

682 **Salvagiotti, F. 2009.** Manejo de soja de alta producción. Disponible en:
683 https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-manejo_soja_alta_produccion.pdf
684 Consultado el 8 de agosto de 2020.

685 **Salvagiotti, F. 2010.** Producción de soja y uso eficiente de los recursos. Disponible en:
686 [https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-produccion-de-soja-y-uso-eficiente-de-los-](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-produccion-de-soja-y-uso-eficiente-de-los-recursos.pdf)
687 [recursos.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-produccion-de-soja-y-uso-eficiente-de-los-recursos.pdf). Consultado el 15 de agosto de 2020.

688 **Sinclair T.R. y Muchow R. 1999.** Radiation Use Efficiency. *Advances in Agronomy*
689 65:215-265.

690 **Torrion, J., Setiyono, T., Graef, G., Cassman, K., Irmak, S., Specht, J. 2014.** Soybean
691 Irrigation Management: Agronomic impacts of deferred, deficit and full-season strategies.
692 *Crop Science*, 54, 2782-2795.

693 **Vicente, C. 2020.** "Atrasar la siembra y modificar la distancia entre hileras: ¿Cómo
694 impacta en el rinde de soja?" Disponible en: <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/99099>
695 Último acceso: diciembre de 2020.

696

697

Anexo: Reseña fotográfica realizada en el TFC



Foto 1. Medición de radiación incidente.



Foto 2. Posterior al corte de biomasa.



704
705 **Foto 4.** Recorrida por la EEA INTA General Villegas.



706
707 **Foto 5.** Ensayo en estadio fenológico R7-R8