



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA ARGENTINA

Ingeniería Agronómica

**EVALUACIÓN DEL RENDIMIENTO Y SU ESTABILIDAD EN
DISTINTAS VARIETADES DE SOJA ANTE CAMBIOS EN
LA FECHA DE SIEMBRA**

Trabajo final de graduación para optar por el título de:
Ingeniero Agrónomo

Autor: Emilia Campaño

Tutora: Ing. Agr. Dra. Daniela Becherán

Fecha de defensa: 15/04/2024

ÍNDICE

Introducción:	5
Importancia del cultivo de soja en Argentina y el mundo:	5
Generación del rendimiento:	6
Fenología	7
Efecto del ambiente sobre la generación del rendimiento:	8
Objetivos:	10
Hipótesis:	10
Materiales y métodos:	11
Estructura del experimento	11
Mediciones realizadas:	13
Análisis de los datos:	13
Condiciones ambientales y Fenología	14
Rendimiento y componentes numéricos	16
Rendimiento y Biomasa	22
Conclusiones:	25
Anexos:	26
Anexo I:	26
Anexo II:	27
Anexo III:	27
Anexo IV:	28
Anexo V:	28
Anexo VI:	29
Bibliografía:	30

FIGURAS:

Figura 1: Componentes del rendimiento	6
Figura 2: Respuesta de la tasa de desarrollo a la temperatura.....	9
Figura 3: Segunda fecha de siembra (17/11/2021)	12
Figura 4: Foto del ensayo 18/02/2022.....	12
Figura 5: Medición de los estadios fenológicos,	13
y cosecha de las parcelas en R8.....	13
Figura 6: Condiciones ambientales para la campaña 2021- 2022.	14
Figura 7: Etapas fenológicas.	15
Figura 8: Rendimiento (gr/m ²) en función del Peso de Mil (gr) para las distintas fechas de siembra y genotipos.....	16
Figura 9: Rendimiento (gr/m ²) en función del Número de granos (m ²) para las distintas fechas de siembra y genotipos.....	17
Figura 10: Rendimiento (gr/m ²) por fecha de siembra y grupo de madurez.....	18
Figura 11: Rendimiento (gr/m ²) en función de la Biomasa (gr/m ²) para las distintas fechas de siembra y genotipos.....	22
Figura 12: Peso de mil granos (gr) en función de la Biomasa (gr/m ²) para las distintas fechas de siembra y genotipos.....	23
Figura 13: Número de granos (m ²) en función de la Biomasa (gr/m ²) para las distintas fechas de siembra y genotipos.....	24

TABLAS:

Tabla 1: Análisis de la varianza y Test de Tukey entre rendimiento y fecha de siembra: grupo de madurez.....	19
Tabla 2: Análisis de la varianza y Test de Tukey para número de granos, fecha de siembra, genotipo, y la interacción fecha de siembra: genotipo	20
Tabla 3: Análisis de la varianza y Test de Tukey entre peso de mil granos, fecha de siembra, genotipo, y la interacción fecha de siembra: genotipo	21

Resumen:

La producción de soja (*Glycine max*) ha experimentado un crecimiento notable las últimas décadas, esto se atribuye a nuevas tecnologías, que permitieron su desarrollo en diversas zonas productivas; así como también a su valor en los mercados internacionales. Argentina, actualmente (2023), se encuentra como tercer país productor y explotador de soja, primer exportador de aceite y segundo exportador de harina de soja. Para obtener una buena producción, es importante saber, que el rendimiento está formado por el producto entre el número de granos por unidad de superficie y el peso de los granos; y puede estar afectado por diversos factores de producción tales como la fecha de siembra, suelo, condiciones climáticas como radiación y temperatura, entre otros. El objetivo general de este trabajo fue evaluar el rendimiento para diferentes cultivares de soja ante variaciones en la condiciones ambientales provocadas por diferentes fechas de siembra. Para poder llevarlo a cabo, se realizó un ensayo a campo en la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, en el cual se trataron tres genotipos de diferente Grupo de Madurez (III, V, VI), todos con habito de crecimiento indeterminado, en cuatro fechas de siembra distintas. Como diseño experimental, se usaron parcelas divididas completamente al azar, con dos repeticiones de cada grupo en cada fecha de siembra. Se registraron las condiciones ambientales (radiación, temperatura y precipitaciones) por medio de una estación meteorológica automática ubicada cerca del ciclo experimental. Los resultados revelaron que no existen diferencias significativas para el rendimiento entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, el número de granos demostró ser la variable más influyente en el rendimiento, mientras que el peso de mil no mostro una relación clara. Se observó una mayor producción de biomasa en los genotipos de las primeras fechas de siembra, coincidiendo sus etapas reproductivas con los mayores meses de radiación y temperatura.

Palabras clave: *Glycine max*, rendimiento, fecha de siembra, grupo de madurez, condiciones ambientales.

Introducción:

Importancia del cultivo de soja en Argentina y el mundo:

En las últimas décadas, la producción agrícola ha experimentado un crecimiento significativo, desplazando la actividad ganadera. El cultivo de soja ha surgido como uno de los más destacados tanto a nivel nacional como global (Cadenazzi, 2009). Su expansión se aceleró en los años noventa con la liberación de semillas transgénicas, consolidándose como líder (Teubal y Giarraca, 2005). A esto también se le sumó el incremento del valor de esta en los mercados internacionales, ya que, a diferencia de otros cultivos, la soja se exporta casi en su totalidad: como grano, aceite, harina u otros derivados, siendo ésta una de las principales razones por la cual es elegida por los productores (Bolsa de Cereales, 2023).

A nivel mundial, Argentina, Brasil y Estados Unidos son los principales productores, liderando la producción mundial durante la última campaña (2022/23) con 369,6 millones de toneladas (Mtn), encabezada por Brasil con 154 Mtn, seguido por Estados Unidos con 116 Mtn y Argentina con 21 Mtn (FAO, 2023; Bolsa de Cereales, 2023). A nivel nacional, durante la misma campaña, la superficie implantada fue de 16,2 millones de hectáreas (Mha), registrando un rendimiento promedio de 15,4 quintales por hectárea (qq/ha). En comparación con la campaña anterior (21/22), donde la producción total alcanzó 46 Mtn, y el rendimiento fue de 27,9 qq/ha. Esta merma, que sufrió la producción de una campaña a la otra, se atribuye al impacto de la sequía que afectó a la totalidad del país (Bolsa de Cereales, 2023).

Argentina, actualmente se encuentra como el tercer país líder en la producción y exportación mundial de soja, y se destaca como principal exportador de aceite de soja a nivel global (Bolsa de Cereales, 2023). Sin embargo, tras la última campaña afectada por la sequía, Argentina fue superada por Brasil en la producción de harina de soja a nivel mundial, quedando en segundo lugar (Bolsa de Comercio de Rosario).

En 2023, en cuanto a las exportaciones, se registraron 11,74 Mtn de harina, 2,47 Mtn de aceite y 0,91 Mtn de grano. El resto se destinó a la molienda, abasteciendo al mercado interno, especialmente en la cadena de consumo animal para bovinos, porcinos, aves u otras cadenas alimenticias (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2023). Los destinos principales para las exportaciones de harina fueron países asiáticos como Vietnam, Indonesia y Malasia, y algunos europeos como Italia y Turquía. Por su parte, el

aceite, tuvo como mercados principales India y China, mientras que los granos fueron destinados principalmente a China. En el caso del biodiesel, las exportaciones se dirigieron principalmente a Países Bajos, Bélgica y Canadá (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2023).

Generación del rendimiento:

El rendimiento del cultivo de soja se ve afectado por distintos factores de producción, tales como la elección de la fecha de siembra, los genotipos y la interacción de las semillas con el entorno de crecimiento, incluyendo el tipo de suelo y condiciones climáticas (Kantolic, 2008).

Este rendimiento (Y) puede entenderse como el producto de dos componentes principales: el número de granos por unidad de área ($NG\ m^{-2}$) y el peso de los granos (PG), y puede ser representado con la siguiente ecuación $Y = NG \times PG$ (Kantolic y Satorre, 2004).

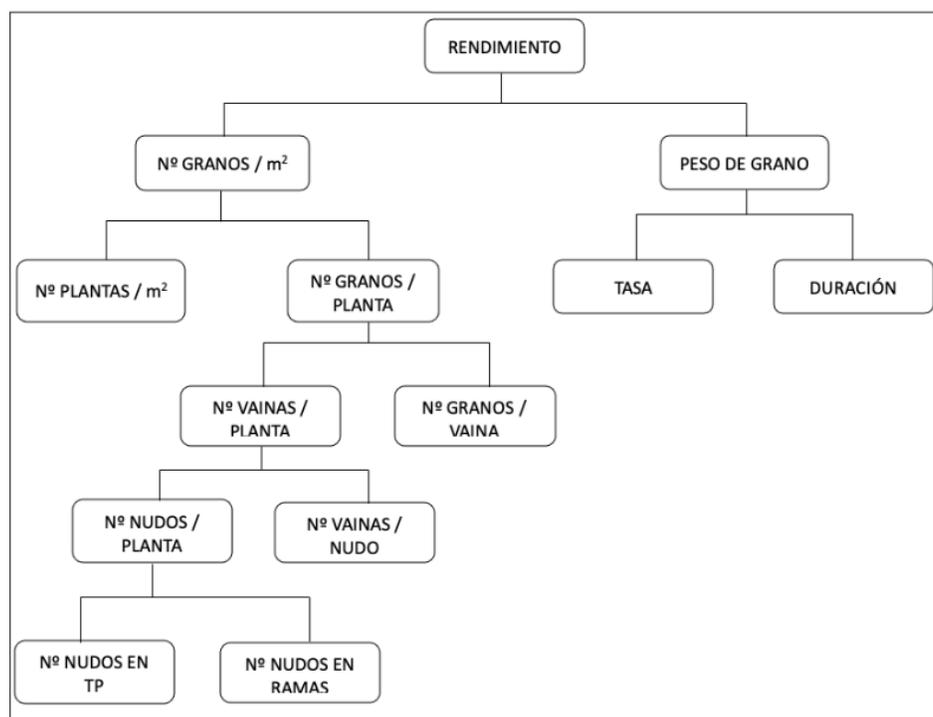


Figura 1: Componentes del rendimiento

El número de granos por unidad de superficie es el componente principal del rendimiento, desglosándose en varios subcomponentes que se desarrollan de manera secuencial a lo largo del ciclo, permitiendo compensaciones entre ellos. Estos subcomponentes resultan

de procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo que ocurren y se ven definidos por factores genéticos como el hábito de crecimiento y la sensibilidad fotoperiódica; y factores ambientales del ciclo (Egli, 1998).

Uno de los subcomponentes es el número de nudos, el cual está compuesto por la cantidad de nudos que se diferencian y aparecen tanto en el tallo principal como en ramas (Nico et al., 2015), dependiendo de la sensibilidad al fotoperiodo (Kantolic y Slafer, 2005) y al hábito de crecimiento del genotipo (Gai et al., 1984). En variedades con hábito de crecimiento determinado, el número de nudos que se diferencian en el tallo principal se vincula con las condiciones fotoperiódicas previas a la floración; mientras que el número de nudos que se diferencian en las ramas dependen de las condiciones fotoperiódicas post-floración (Raper y Kramer, 1987). En cuanto a las variedades con crecimiento indeterminado, la aparición de nudos continua hasta después de la floración (Carlson y Lersten, 1987).

Otro subcomponente es el número de vainas por nudo, que resulta del balance entre la generación y mortandad de flores y frutos. Relacionándose la producción de flores con la duración del periodo de floración, y la mortandad con la tasa de crecimiento y su división hacia los órganos reproductivos del cultivo (Egli, 1998).

El número de granos por vaina también forma parte de los subcomponentes. Tiene un alto grado de control genético, ya que una vaina puede contener entre 1 y 4 granos (Egli, 1998), con la posibilidad de aborto durante su desarrollo (Kantolic et al., 2021).

Por su parte, el peso de los granos, varía ampliamente, oscilando entre 80 y más de 400 mg (Kantolic et al., 2021). Este peso está determinado por la tasa de crecimiento y la duración del periodo de llenado. Y a su vez, estos dos atributos dependen de la variedad, y pueden variar según las condiciones ambientales a las que se presenten (Kantolic y Satorre, 2004).

Fenología

Para el seguimiento fenológico del cultivo, se utiliza la escala desarrollada por Fehr y Caviness (1977), la cual describe las etapas vegetativas y reproductivas que ocurren en el tallo principal. El estado vegetativo comienza con la emergencia (VE), continua con la etapa cotiledonar (VC), y los estados que siguen, se definen de acuerdo con la aparición de hojas, teniendo en cuenta el número de nudos que presentan hojas totalmente desarrolladas. Se considera que una hoja está totalmente desarrollada cuando los bordes de los folíolos de la hoja superior no se tocan. Posteriormente, el estado reproductivo inicia con la apertura

de la primera flor (R1), R2 plena floración, R3 comienzo y plena fructificación, R5 comienzo de llenado de granos, R6 máximo tamaño de semilla, R7 comienzo de madurez, y R8 culmina con madurez completa (Kantolic et al., 2021). Mencionado esto, es importante destacar que existe un periodo crítico, el cual abarca las etapas reproductivas del cultivo (desde R4 a R6), y define los componentes de número y peso de granos. Por lo tanto, para maximizar el rendimiento, es necesario que el cultivo llegue con una estructura mínima de canopeo a dicho periodo, asegurando así una eficiente captura y utilización de los recursos disponibles (Baigorri, 2004).

Efecto del ambiente sobre la generación del rendimiento:

Los principales factores del ambiente que modifican el desarrollo del cultivo son la temperatura y el fotoperiodo (Miralles et al., 2021).

La temperatura regula el desarrollo a lo largo de todo el ciclo. Se establece una temperatura base por debajo de la cual la tasa de desarrollo es nula, y existe un rango óptimo de temperaturas en la cual la tasa de desarrollo alcanza su punto máximo (Kantolic, 2008). Asimismo, influye de manera significativa en el crecimiento y establecimiento de los órganos reproductivos. En condiciones de bajas temperaturas, se puede generar el desarrollo de malformaciones en flores, y favorecer el aborto y separación de vainas (Thomas y Rapter, 1981; Hume y Jackson, 1981; Crozier y Thomas, 1993).

Las temperaturas cardinales para que haya desarrollo durante la etapa vegetativa son: temperatura base (T_b) de 8°C , temperatura óptima (T_o) de $30-35^{\circ}\text{C}$, y temperatura máxima (T_m) de 40°C ; y para la etapa reproductiva: T_b de 7°C , T_o de $20-25^{\circ}\text{C}$, y T_m de 40°C . Estas temperaturas tienden a disminuir a medida que avanza el ciclo. Se puede establecer una temperatura óptima promedio de 25°C tanto para el desarrollo vegetativo como reproductivo (Kantolic, 2004).

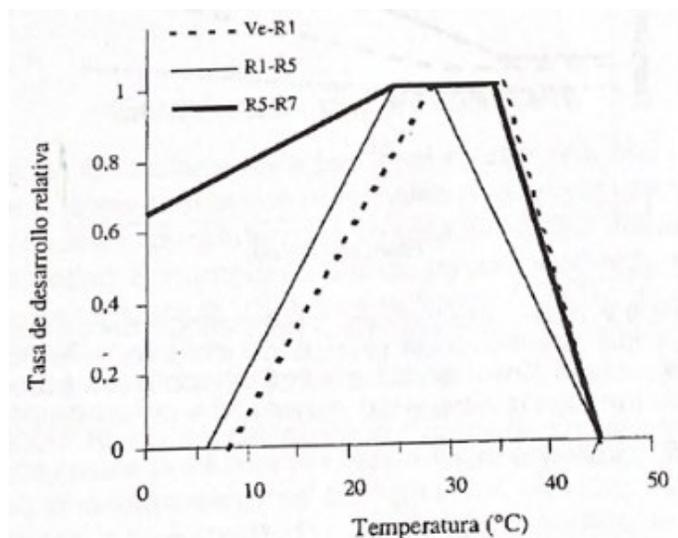


Figura 2: Respuesta de la tasa de desarrollo a la temperatura. (Tomado del Libro Producción de granos, Satorre et al. 2003)

La figura 2 muestra la respuesta de la tasa de desarrollo (expresada en valores relativos) a la temperatura, para las etapas emergencia- floración (Ve-R1), floración- comienzo de llenado de granos (R1-R5) y comienzo de llenado- comienzo de madurez (R5-R7). La tasa toma valores entre 0 y 1, si se encuentra dentro de un rango óptimo toma valor 1. Y si las temperaturas son menores o mayores, la tasa disminuye y llega a ser nula (Kantolic et al., 2021).

En cuanto, al fotoperíodo, su principal efecto reside en inducir la floración en soja, siendo esta una planta de días cortos con respuesta cuantitativa. Es decir, que se induce a florecer cuando el largo del día es más corto que su umbral fotoperiódico (Kantolic, 2008).

A su vez, los días largos retrasan la iniciación floral y disminuyen la tasa de desarrollo de primordios florales demorando el momento de floración (Thomas y Rapter, 1983; Caffaro y Nakamaya, 1988). El fotoperíodo también modifica el número de ramas y de nudos, tanto en variedades determinadas como indeterminadas (Caffaro y Nakamaya, 1988). Y tiene algunos efectos sobre el número y tamaño de los órganos reproductivos que se forman (Kantolic y Slafer, 2007).

A diferencia de la temperatura, el fotoperíodo no afecta durante todo el ciclo, ya que la planta tiene una fase juvenil en la cual es insensible a dicho estímulo, y comprende desde la emergencia hasta la etapa V2. Una vez superada la fase juvenil, las plantas son sensibles por el resto del ciclo (Kantolic y Satorre, 2004).

Por otro lado, la radiación solar, influye sobre el crecimiento del cultivo durante todo el ciclo. Se debe lograr una estructura de canopeo efectiva, la cual resulta fundamental para maximizar la radiación incidente, y así favorecer a una mayor fotosíntesis (Sinclair et al., 1991; Jones et al., 1991; Kantolic et al., 2003). Para optimizar la tasa de crecimiento durante el período crítico, es esencial orientar las prácticas de manejo hacia el momento en el cual la radiación incidente alcanza su punto máximo (Kantolic y Satorre, 2004).

La ocurrencia de las fases de floración y fructificación con condiciones óptimas, como alta radiación, temperaturas elevadas y fotoperiodos largos, que permiten lograr una alta tasa de crecimiento del cultivo durante un largo periodo crítico, van a resultar en un mayor número de granos y, por ende, en un mejor rendimiento del cultivo (Kantolic, 2008).

Objetivos:

El objetivo general del trabajo es caracterizar el rendimiento de granos y sus componentes para diferentes cultivares de soja, evaluando su estabilidad ante variaciones en las condiciones ambientales provocadas por modificaciones en la fecha de siembra.

Los objetivos específicos son:

- (i) Determinar variaciones en el rendimiento para diferentes variedades de soja bajo diferentes condiciones ambientales dadas por fecha de siembra
- (ii) Determinar variaciones entre los componentes del rendimiento para diferentes variedades de soja bajo diferentes condiciones ambientales dadas por fecha de siembra
- (iii) Identificar las estrategias para la construcción del rendimiento en granos en las diferentes variedades y su interacción con el ambiente.

Hipótesis:

Las hipótesis por poner a prueba son:

- (i) No hay diferencias significativas en el rendimiento de las diferentes variedades de soja sembradas en distintas fechas.
- (ii) No hay diferencias significativas en los componentes del rendimiento entre las variedades de soja sembradas en diferentes fechas.

(ii) No hay interacción significativa entre las estrategias de construcción del rendimiento en granos y las diferentes variedades de soja bajo diversas condiciones ambientales dadas por la fecha de siembra.

Materiales y métodos:

Estructura del experimento

El ensayo se llevó a cabo en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires (34°35'S, 58°29'O) combinando como tratamientos los siguientes factores:

- Cultivar: se utilizaron 3 variedades, todas con hábito de crecimiento indeterminado, abarcando los grupos de madurez cortos (GM III), intermedios (V) y largos (GM VI). Los genotipos fueron NS3821STS (GM III), NS5421STS (GM V), y NS6483 (GM VI), todos con tecnología RR1.
- Fecha de siembra: se realizaron cuatro fechas de siembra. Una fecha de siembra intermedia (FS1) el 25/10/2021; una segunda fecha como óptima (FS2) el 17/11/2021; otra fecha (FS3) como tardía el 13/12/2021; y la última fecha más tardía (FS4) el 29/12/2021.

Las semillas fueron inoculadas antes de la siembra con *Bradyrhizobium* sp.

El cultivo se estableció mediante el uso de una sembradora experimental formando franjas, y así dando lugar a una estructura de cultivo a nivel de lote. Cada franja tuvo un ancho de 1,4 metros y una longitud de 3 metros, lo que determinó las dimensiones de cada parcela correspondiente a una variedad específica. Cada parcela estuvo compuesta por cuatro surcos, separados por una distancia de 0,35 metros, lo que resultó en una densidad de 35 plantas por unidad de área.

El experimento se realizó utilizando un diseño de parcelas divididas completamente al azar con dos repeticiones de cada genotipo en todas las fechas de siembra. Además, se hicieron riegos complementarios a las precipitaciones y con control de plagas, malezas y enfermedades.



Figura 3: Segunda fecha de siembra (17/11/2021)



Figura 4: Foto del ensayo 18/02/2022



Figura 5: Medición de los estadios fenológicos, y cosecha de las parcelas en R8

Mediciones realizadas:

Para cumplir con los objetivos se realizaron las siguientes mediciones:

- (x) Fenología: Se registró la fenología del cultivo siguiendo la escala de Fehr y Caviness et al. (1977).
- (xx) Condiciones ambientales: a lo largo del ciclo se registraron las condiciones ambientales por medio de una estación meteorológica automática (EMA-FAUBA) ubicada cerca del sitio experimental.
- (xxx) Rendimiento y sus componentes numéricos:
Muestreo para determinar componentes numéricos del rendimiento
Al momento de madurez, se cosecho una superficie pequeña 0,5 m por parcela una vez iniciada la madurez de cosecha para determinar:
 - Número de granos y peso de granos
 - Rendimiento
 - Biomasa total

Análisis de los datos:

Los datos obtenidos se analizaron estadísticamente utilizando el método de ANOVA con InfoStat (Di Rienzo et al., 2011.) La comparación de medias se realizó utilizando la prueba de Tukey ($p < 0,05$). Las asociaciones entre diferentes variables se establecieron por medio de análisis de regresión.

Resultados y Discusión:

Condiciones ambientales y Fenología

Al analizar la modificación de la fecha dentro del intervalo examinado, se evidencia un aumento en la radiación solar de octubre a diciembre, seguido de un descenso (Figura3). Este patrón se refleja también en las temperaturas, dando lugar a la aceleración del desarrollo y la consiguiente reducción de las fases del ciclo en cada genotipo. Aunque no se representa en el gráfico, es importante destacar que a partir del 21 de diciembre se inicia la disminución de la duración de los días, lo que contribuye a este fenómeno.

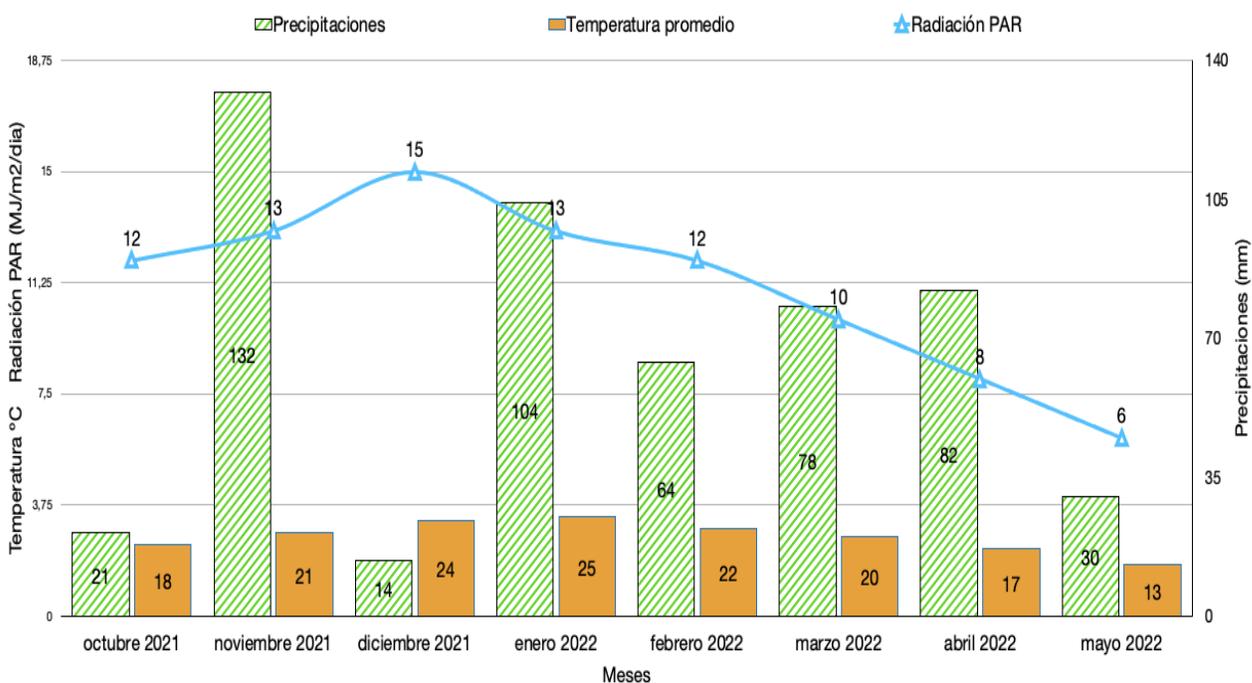


Figura 6: Condiciones ambientales para la campaña 2021- 2022.

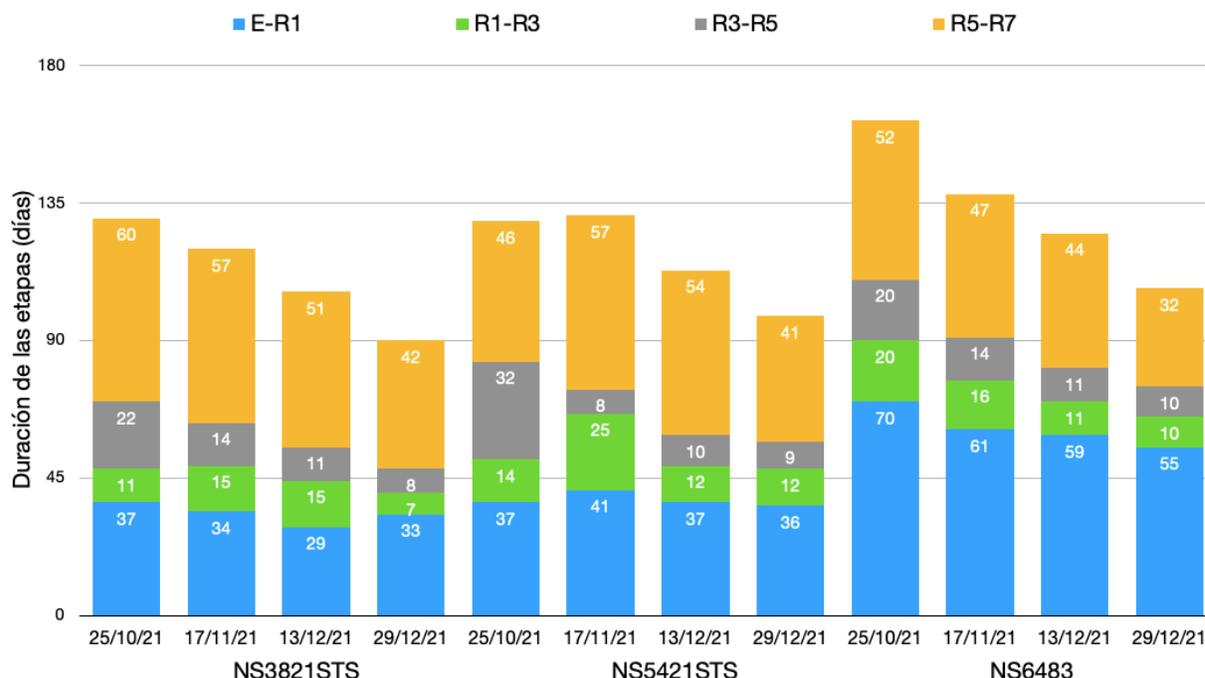


Figura 7: Etapas fenológicas. Etapas: emergencia (E); inicio de floración (R1); inicio de formación de vainas (R3); inicio de llenado de granos (R5); madurez fisiológica (R7). Genotipos: NS3821STS (GM III); NS5421STS (GM V); NS6483 (GM VI)

La duración de la fase vegetativa (Emergencia – Floración) del genotipo NS6483 (GM VI) en la primera fecha de siembra fue considerablemente mayor en comparación con los otros dos genotipos, NS3821STS (GM III) y NS5421STS (GM V). Esto se debe a que, al tratarse de un grupo de madurez VI largo, el adelanto en la fecha de siembra contribuyó al alargamiento de dicha fase.

En cuanto a la etapa R1-R3, que coincide con el inicio de la fase reproductiva marcada por el comienzo de la floración, se observó que el genotipo GM V mostró una duración más extensa, alcanzando 25 días en la fecha de noviembre, que fue la segunda fecha de siembra (FS2).

En relación con la etapa R3-R5, considerada crítica para el rendimiento, se evidenció que el genotipo GM V experimentó una duración máxima en la fecha de siembra temprana. Esto también se observó en los demás grupos de madurez, con una duración de 20-22 días. Al comparar estos resultados con las condiciones climáticas, se deduce que esta etapa tuvo una mayor oferta ambiental debido a una mayor radiación y precipitaciones, lo que se traduce en un mayor rendimiento, un aspecto que se abordará en la siguiente sección.

Finalmente, en la etapa R5-R7, se observa un acortamiento de esta fase desde la primera fecha de siembra hasta la última para todos los grupos.

Rendimiento y componentes numéricos

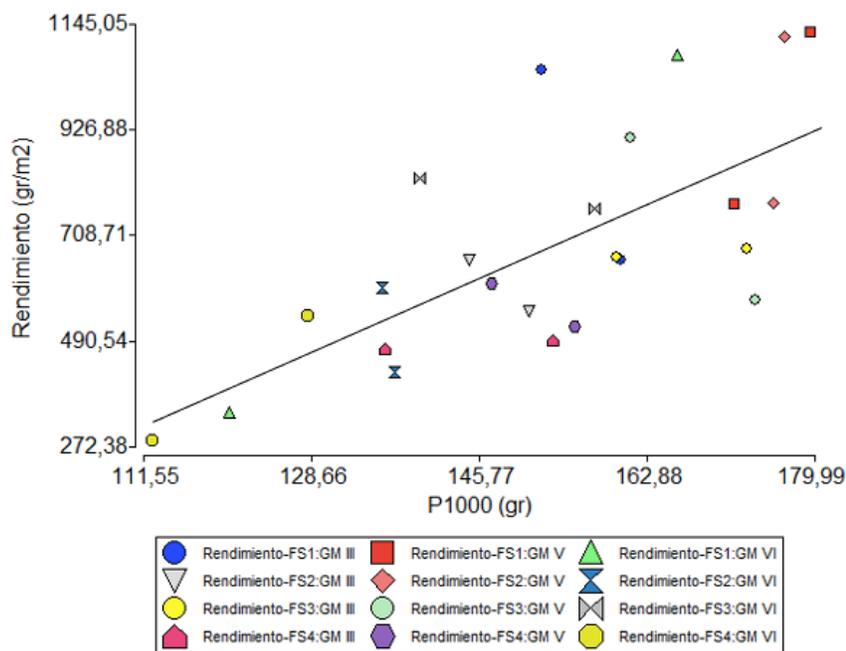


Figura 8: Rendimiento (gr/m^2) en función del Peso de Mil (gr) para las distintas fechas de siembra y genotipos.

La correlación entre el rendimiento y el peso de mil es positiva, como se ilustra en la Figura 5. No obstante, no es posible establecer una relación lineal clara entre el rendimiento y el peso de mil, ya que el valor de R^2 es de 0,47. Este coeficiente sugiere que la variabilidad en el rendimiento no se explica completamente por el peso de mil, lo que indica la inexistencia de una relación robusta entre ambas variables.

Es evidente que hay una significativa dispersión en la distribución de los valores, lo cual refleja la variabilidad inherente en la relación entre el rendimiento y el peso de mil.

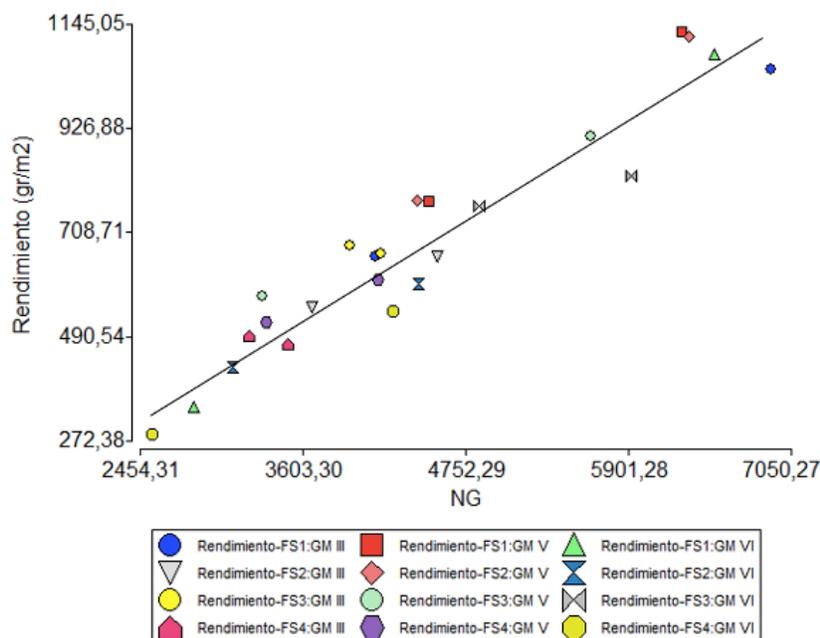


Figura 9: Rendimiento (gr/m²) en función del Número de granos (m⁻²) para las distintas fechas de siembra y genotipos.

Al analizar el rendimiento en relación con el número de granos (Figura 6), se evidencia una respuesta positiva. El valor de R², que alcanza 0,92, subraya una correlación altamente significativa entre ambas variables. Este resultado pone de manifiesto que, conforme aumenta el número de granos, el rendimiento también experimenta un incremento, siendo el número de granos el factor que mejor explica las variaciones en el rendimiento. Esto coincide con trabajos previos (Egli, 1998) donde el número de granos es la variable que mejor se asocia con el rendimiento.

La dispersión de los valores es notablemente baja, destacando que el genotipo GM V generalmente registró los valores más elevados, a excepción de su última fecha de siembra (FS4).

Se realizó una evaluación más exhaustiva a través de un análisis estadístico para ver la respuesta del rendimiento en cada combinación de genotipo y fecha de siembra.

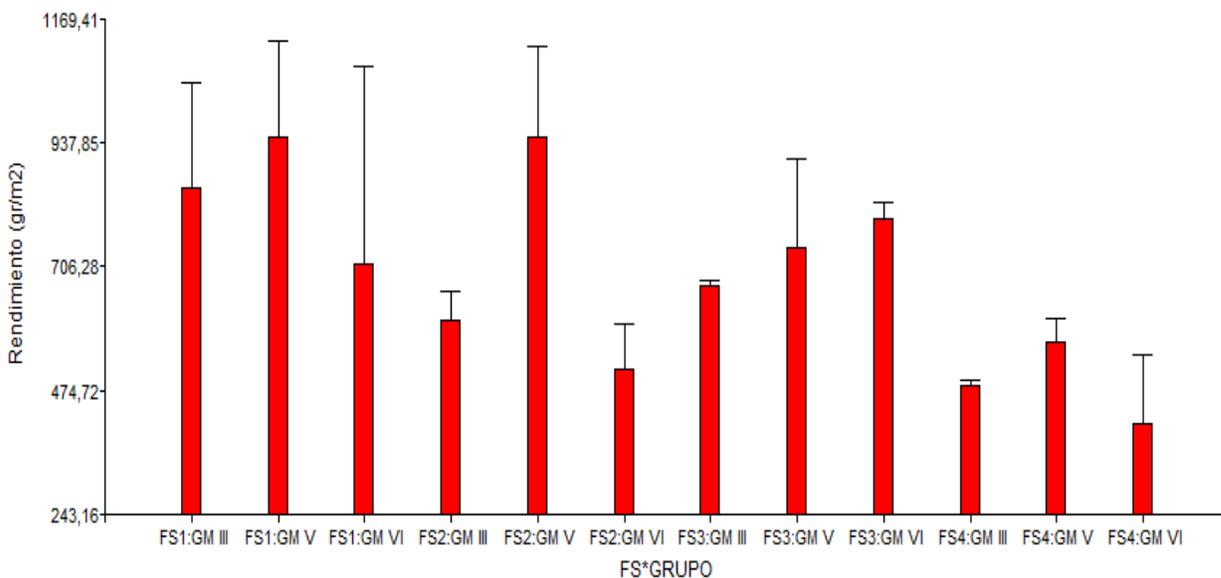


Figura 10: Rendimiento (gr/m²) por fecha de siembra y grupo de madurez

Es evidente que las fechas más tardías (Figura 7) tuvieron menor rendimiento comparadas con las fechas más tempranas. Dentro de ellas podemos destacar que el genotipo GM V, fue el que mejor rendimiento obtuvo en todas las fechas, ya que al ser un cultivar de ciclo medio, tuvo una mayor estabilidad y plasticidad para adaptarse a las distintas fechas de siembra.

En cuanto al GM III, al ser de ciclo corto tuvo mayor rendimiento en la FS1, ya que al adelantar la fecha de siembra su periodo crítico (R4-R6) ocurrió con mayor radiación solar, temperaturas elevadas, y fotoperiodos largos.

Por su parte, el GM VI de ciclo largo, también obtuvo un buen rendimiento en la FS1. Si bien se trata de un ciclo largo, al adelantar la fecha de siembra, permitió que se alargaran las etapas logrando que su periodo crítico ocurra también con una mayor radiación y temperatura.

Tabla 1: Análisis de la varianza y Test de Tukey entre rendimiento y fecha de siembra: grupo de madurez

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
NG	24	0,54	0,12	32,17	
Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	695673,57	11	63243,05	1,29	0,3328
FS : GM	695673,57	11	63243,05	1,29	0,3328
Error	587834,85	12	48986,24		
Total	1283508,42	23			
Test: Tukey Alfa: 0,05 DMS: 48,10136					
Error: 146,7911 gl:12					
FS : GM	Medias	n	E.E.		
FS4 : GM VI	414,12	2	156,50	A	
FS4 : GM III	485,09	2	156,50	A	
FS2 : GM VI	513,23	2	156,50	A	
FS4 : GM V	564,63	2	156,50	A	
FS2 : GM III	605,98	2	156,50	A	
FS3 : GM III	672,12	2	156,50	A	
FS1 : GM VI	710,49	2	156,50	A	
FS3 : GM V	742,95	2	156,50	A	
FS3 : GM VI	795,32	2	156,50	A	
FS1 : GM III	855,49	2	156,50	A	
FS2 : GM V	947,23	2	156,50	A	
FS1 : GM V	949,94	2	156,50	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)					

En la Tabla 1, se observa que no hay diferencias significativas en el rendimiento en la interacción entre los genotipos y las distintas fechas de siembra. No obstante, se destaca una variación notable en el rendimiento según las distintas combinaciones, siendo evidente que las fechas más tardías tienden a asociarse con un rendimiento menor en comparación con las fechas más tempranas.

Número de granos

Tabla 2: Análisis de la varianza y Test de Tukey para número de granos, fecha de siembra, genotipo, y la interacción fecha de siembra: genotipo

Análisis de la varianza					
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
NG	24	0,42	0,00	29,41	
Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1469318,35	11	1336028,94	0,79	0,652
FS	8952965,39	3	2984321,8	1,75	0,2093
GENOTIPO	1164322,33	2	582161,16	0,34	0,7169
FS*GENOTIPO	4579030,64	6	763171,77	0,45	0,8327
Error	20414546,64	12	1701212,22		
Total	35110865,00	23			
Test: Tukey Alfa: 0,05 DMS: 2235,70425					
Error: 1701212,2203 gl: 12					
FS	Medias	n	E.E.		
FS4	3497,06	6	532,48	A	
FS2	4413,76	6	532,48	A	
FS3	4634,57	6	532,48	A	
FS1	5191,41	6	532,48	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
Test: Tukey Alfa: 0,05 DMS: 1739,85430					
Error: 1701212,2203 gl: 12					
GENOTIPO	Medias	n	E.E.		
III	4256,81	8	461,14	A	
VI	4301,15	8	461,14	A	
V	4744,64	8	461,14	A	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					
Test: Tukey Alfa: 0,05 DMS: 48,10136					
Error: 146,7911 gl:12					
FS	GENOTIPO	Medias	n	E.E.	
FS4	III	3360,47	2	922,28	A
FS4	VI	3387,36	2	922,28	A
FS4	V	3743,35	2	922,28	A
FS2	VI	3762,67	2	922,28	A
FS3	III	4043,27	2	922,28	A
FS2	III	4108,23	2	922,28	A
FS3	V	4477,46	2	922,28	A
FS1	VI	4671,59	2	922,28	A
FS2	V	5370,39	2	922,28	A
FS3	VI	5382,97	2	922,28	A
FS1	V	5387,35	2	922,28	A
FS1	III	5515,28	2	922,28	A
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)					

No existen diferencias significativas entre el número de granos y la interacción con la fecha de siembra y genotipo (tabla 2).

Pero se observa que los genotipos de la última fecha de siembra obtuvieron menor cantidad de granos, lo que llevo a que tengan menor rendimiento.

Peso de granos

Tabla 3: Análisis de la varianza y Test de Tukey entre peso de mil granos, fecha de siembra, genotipo, y la interacción fecha de siembra: genotipo

Análisis de la varianza						
Variable	N	R ²	R ² Aj	CV		
P1000	24	0,77	0,57	7,93		
Cuadro de Análisis de la varianza (SC tipo III)						
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	
Modelo	6035,34	11	584,67	3,74	0,0161	
FS	1759,77	3	596,59	4,00	0,0347	
GENOTIPO	3751,02	2	1875,51	12,78	0,0011	
FS*GENOTIPO	524,54	6	87,42	0,6	0,7289	
Error	1761,49	12	146,79			
Total	7796,83	23				
Test: Tukey Alfa: 0,05 DMS: 20,76754						
Error: 146,7911 gl: 12						
FS	Medias	n	E.E.			
FS4	138,75	6	4,95	A		
FS2	153,54	6	4,95	A	B	
FS1	158,30	6	4,95	A	B	
FS3	160,87	6	4,95		B	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)						
Test: Tukey Alfa: 0,05 DMS: 16,16157						
Error: 146,7911 gl: 12						
GENOTIPO	Medias	n	E.E.			
VI	137,12	8	4,28	A		
III	153,77	8	4,28		B	
VI	167,70	8	4,28		B	
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)						
Test: Tukey Alfa: 0,05 DMS: 48,10136						
Error: 146,7911 gl:12						
FS	GENOTIPO	Medias	n	E.E.		
FS4	VI	120,27	2	8,57	A	
FS2	VI	136,51	2	8,57	A	B
FS1	VI	143,09	2	8,57	A	B
FS4	III	144,71	2	8,57	A	B
FS2	III	147,83	2	8,57	A	B
FS3	VI	148,63	2	8,57	A	B
FS4	V	151,28	2	8,57	A	B
FS1	III	156,14	2	8,57	A	B
FS3	III	166,41	2	8,57	A	B
FS3	V	167,58	2	8,57	A	B
FS1	V	175,68	2	8,57		B
FS2	V	176,28	2	8,57		B
Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)						

En la tabla 3, se demuestra que no hay diferencias significativas entre el peso de mil con la interacción fecha de siembra y genotipo. Se puede observar que el peso de los granos fue muy variado en cada genotipo. Como reportaron (Kantolic y Satorre, 2004) el peso está determinado por la tasa de crecimiento y la duración del periodo de llenado, y a la vez, estos dos atributos dependen de la variedad.

Rendimiento y Biomasa

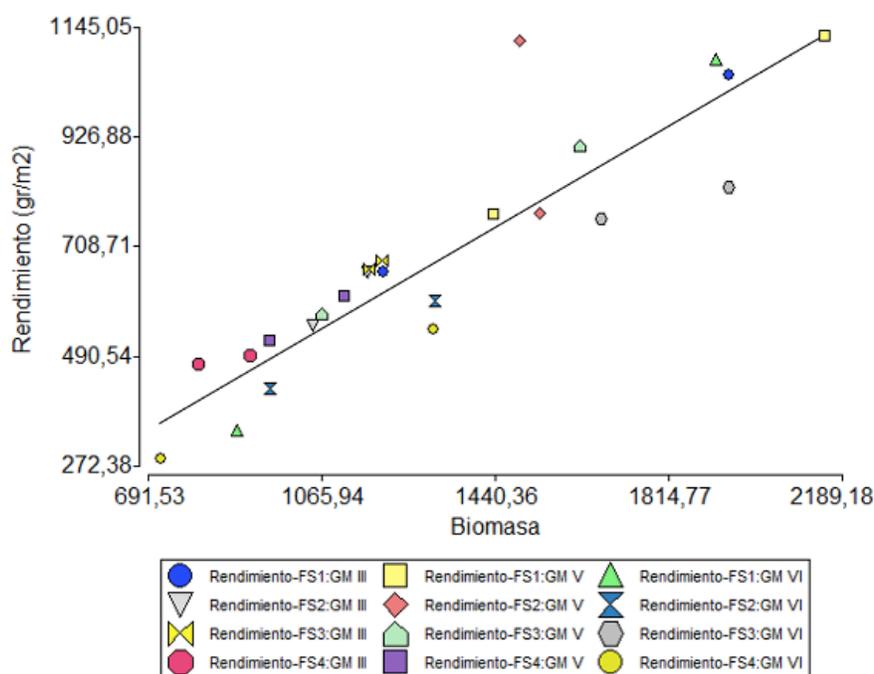


Figura 11: Rendimiento (gr/m^2) en función de la Biomasa (gr/m^2) para las distintas fechas de siembra y genotipos

Al analizar la figura 8, en lo que respecta a la correlación entre el rendimiento y la biomasa, se puede apreciar una respuesta positiva. El valor de R^2 es de 0,81 lo que evidencia una correlación significativa entre ambas variables. Dicho resultado demuestra que, a medida que aumenta la biomasa, también lo hace el rendimiento.

El incremento en la producción de biomasa, estuvo relacionada con la radiación interceptada, en línea con los trabajos de (Kantolic y Satorre, 2004). En este caso, las etapas reproductivas de las dos primeras fechas de siembra, ocurrieron en los meses de

mayor radiación. Esto genero un aumento en la biomasa de todos los genotipos, y por ende, un aumento en el rendimiento.

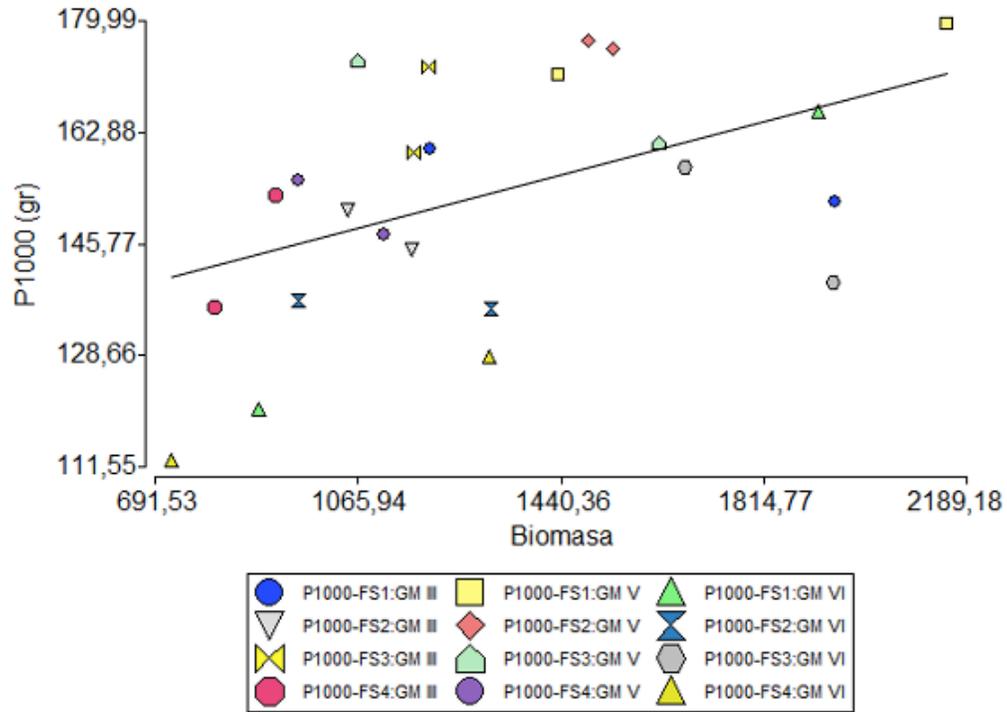


Figura 12: Peso de mil granos (gr) en función de la Biomasa (gr/m²) para las distintas fechas de siembra y genotipos

No es posible establecer un relación lineal entre el peso de mil y la biomasa (figura 9), ya que el valor de R^2 es de 0,24. Este coeficiente indica la inexistencia de una relación entre ambas variables.

La distribución de los valores tiene una gran dispersión, lo cual demuestra la gran variabilidad en la relación entre el peso de mil y la biomasa.

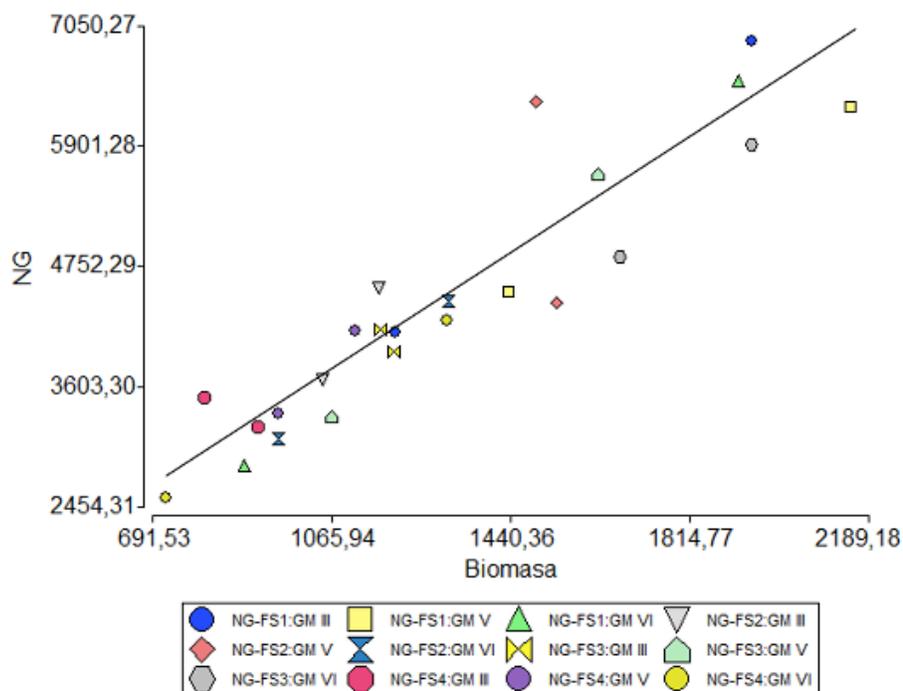


Figura 13: Número de granos (m^{-2}) en función de la Biomasa (gr/m^2) para las distintas fechas de siembra y genotipos

La figura 10 ilustra una respuesta positiva en la relación entre el número de granos y la biomasa. El valor de R^2 , alcanza 0,86, deja en evidencia que existe una correlación significativa entre ambas variables.

La distribución de los valores muestra que los genotipos en las primeras fechas de siembra, se adaptaron mejor, y lograron una alta tasa de desarrollo del cultivo generando así un mayor número de granos, incrementando también la biomasa, y por lo tanto, obteniendo un mayor rendimiento. Por ejemplo, el GM V en FS1, obtuvo buenas condiciones ambientales durante sus etapas reproductivas, lo cual llevó a que tenga un mayor número de granos, y por ende, generar mayor biomasa. Lo mismo ocurrió, para los genotipos GM III y GM VI.

Conclusiones:

En base a los análisis realizados:

- No se observan diferencias significativas en el rendimiento de las diferentes variedades de soja sembradas en distintas fechas.
- No se establece una relación clara entre el rendimiento y el peso de mil.
- Se identifica una correlación altamente significativa entre el rendimiento y el número de granos.
- Se evidencia una respuesta altamente significativa en la relación entre el rendimiento y la biomasa.

Anexos:

Anexo I: Descripción de los estados de soja según Ferh y Caviness

- VE: Emergencia de los cotiledones
- VC: Cotiledones desplegados
- V1: Hojas unifoliadas totalmente expandidas
- V2: Dos nudos sobre el tallo principal con hojas totalmente desarrolladas comenzando por el nudo de hojas unifoliadas
- V(n): Número de nudos sobre el tallo principal con hojas totalmente expandidas
- R1: Una flor abierta en cualquier nudo del tallo principal
- R2: Una flor abierta en uno de los 2 nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada
- R3: Una vaina de 5 mm de largo en uno de los cuatro nudos superiores, con hojas totalmente desplegadas
- R4: Una vaina de 2 cm de largo en uno de los cuatro nudos superiores, con hojas totalmente desplegadas
- R5: Una vaina con una semilla de 3 mm de largo, en uno de los cuatro nudos superiores, con hojas totalmente desplegadas.
- R6: Las vainas tienen semillas verdes que llenan completamente la cavidad del fruto, en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal hojas totalmente desplegadas
- R7: Una vaina normal ha alcanzado su color de madurez, en cualquier nudo del tallo principal
- R8: el 95% de las vainas han alcanzado el color típico de madurez

Anexo II: Análisis de regresión lineal simple. Variable dependiente: Rendimiento (gr/m²). Variable regresora: peso de mil (gr)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Rendimiento (gr/m ²)	24	0,47	0,45	35813,37	319,98	323,51

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-662,42	305,35	-1295,67	-29,17	-2,17	0,0411		
Peso de mil	8,83	1,98	4,72	12,95	4,45	0,0002	19,83	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	608503,05	1	608503,05	19,83	0,0002
Peso de mil	608503,05	1	608503,05	19,83	0,0002
Error	675005,37	22	30682,06		
Total	1283508,42	23			

Anexo III: Análisis de regresión lineal simple. Variable dependiente: Rendimiento (gr/m²). Variable regresora: número de granos (m⁻²)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Rendimiento (gr/m ²)	24	0,92	0,91	5927,91	275,65	279,18

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-123,83	53,96	-235,74	-11,93	-2,29	0,0316		
Nº granos totales	0,18	0,01	0,16	0,21	15,60	<0,0001	243,23	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1177044,83	1	1177044,83	243,23	<0,0001
Nº granos totales	1177044,83	1	1177044,83	243,23	<0,0001
Error	106463,58	22	4839,25		
Total	1283508,42	23			

Anexo IV: Análisis de regresión lineal simple. Variable dependiente: Rendimiento (gr/m²). Variable regresora: Biomasa (gr/m²)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
Rendimiento	24	0,81	0,80	13146,98	295,70	299,23

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	-12,76	75,79	-169,93	144,41	-0,17	0,8678		
Biomasa	0,53	0,06	0,42	0,65	9,65	<0,0001	93,04	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1038047,52	1	1038047,52	93,04	<0,0001
Biomasa	1038047,52	1	1038047,52	93,04	<0,0001
Error	245460,90	22	11157,31		
Total	1283508,42	23			

Anexo V: Análisis de regresión lineal simple. Variable dependiente: Peso de mil (gr). Variable regresora: Biomasa (gr/m²)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
P1000	24	0,24	0,20	324,43	206,38	209,92

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	123,22	11,79	98,77	147,67	10,45	<0,0001		
Biomasa	0,02	0,01	4,7E-03	0,04	2,62	0,0155	6,88	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1857,13	1	1857,13	6,88	0,0155
Biomasa	1857,13	1	1857,13	6,88	0,0155
Error	5939,70	22	269,99		
Total	7796,83	23			

Anexo VI: Análisis de regresión lineal simple. Variable dependiente: número de granos(m²). Variable regresora: Biomasa (gr/m²)

Análisis de regresión lineal

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
NG	24	0,86	0,85	278077,14	368,40	371,94

Coefficientes de regresión y estadísticos asociados

Coef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
const	664,61	344,68	-50,21	1379,42	1,93	0,0668		
Biomasa	2,87	0,25	2,35	3,39	11,41	<0,0001	130,14	1,00

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	30033794,67	1	30033794,67	130,14	<0,0001
Biomasa	30033794,67	1	30033794,67	130,14	<0,0001
Error	5077070,32	22	230775,92		
Total	35110865,00	23			

Bibliografía:

Baigorri, H; Ciampitti, I.A; García, F.O. Manejo del cultivo de soja. En: Baigorri, H; Ciampitti, I.A; García, F.O (eds). Manual del cultivo de soja. International Plant Nutrition Institute, Buenos Aires, 1º edición, pág: 17- 31.

Baigorri, H. Criterios generales para la elección y el manejo de cultivares en el cono sur. En: Díaz-Zorita, M y Duarte, G (eds). Manual práctico para la producción de soja. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, 1ª edición, 2004, pág: 40- 77.

Bolsa De Cereales de Buenos Aires, 2023.

Boote, K.J; J.W. Jones and G. Hoogenboom. 1997. Simulation of crop growth: CROPGRO model. En: R.M. Peart and R.B. Curry (Ed). Agricultural systems modeling. M. Dekker, NY.

Cadenazzi, G. 2009. La historia de la soja en Argentina. De los inicios al boom de los '90.

Caffaro, S.V. and F. Nakayama. 1988. Vegetative activity of the main stem terminal bud under photoperiod and flower removal treatments in soybean. Aust. J. Plant Physiol. 15: 475- 480.

Carcedo, A.J.P; Adee, E; Sassenrath, G; Dooley, S; Lingenfelter, J; Ciampitti, I.A. Article: Integrating Field Data and a Modeling Approach to Inform Optimum Planting Date × Maturity Group for Soybeans under Current and Future Weather Conditions in Kansas Emmanuela van Versendaal.

Carlson, J.B., Lersten, N.R. 1987. Morphology. En: Wilcox (Ed). Soybeans: improvement, production and uses, 2nd. Edition. Agronomy Monograph no. 16. ASA CSSA SSA, Madison, Wi. Pp:99- 134.

Crozier, T.S. and J.F. Thomas, 1993. Normal floral ontogeny and cool temperature induced aberrant floral development in *Glycine max* (Fabaceae). Am. J. Bot. 80: 429- 448.

Di Rienzo, JA; F Casanoves; MG Balzarini; L Gonzalez; M Tablada & CW Robledo. 2011. InfoStat Versión 2011 Grupo InfoStat. FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. <http://www.infostat.com.ar>.

Egli, D.B. 1998. Seed biology and the yield of grain crops CAB International, Madison.

FAO, 2023

Gai, J.Y., Palmer, R.G., Fehr, W.R. 1984. Bloom and pod set in determinate and indeterminate soybeans grown in China. *Agronomy Journal* 76: 979- 984.

Giarraca, N y Teubal, M. (eds). El campo argentino en la encrucijada. Estrategias y resistencias sociales, ecos en la ciudad. Editorial Alianza, Buenos Aires, 2005.

<https://eac.unr.edu.ar/wp-content/uploads/archivos/manejo%20soja.pdf>, septiembre, 2023.

https://www.indec.gob.ar/uploads/informesdeprensa/complejos_09_23312BB213E9.pdf,

Noviembre, 2023.

https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2023/10/inta_crbsasnorte_eepergamino_colussi_brasil_bate_record_de_expo.pdf, Noviembre, 2023.

<https://www.bcr.com.ar/es/mercados/investigacion-y-desarrollo/informativo-semanal/noticias-informativo-semanal/brasil-lidera>, Noviembre, 2023.

Hume, D.J. and A.K.H. Jackson. 1981. Pod formation in soybeans at low temperature. *Crop Science* 21: 933- 937.

Jones, J.W.; K.J. Boote; S.S. Jagtap and J.W. Mishoe. 1991. Soybean development. In: R.J. Hanks and J.T. Ritchie (ed). *Modelling plant and soil systems*. ASA, Madison, WI. Pp. 71- 90.

Kantolic, A.G y Satorre, E.H. Elementos centrales de eco fisiología del cultivo de soja. En: Díaz-Zorita, M y Duarte, G (eds). *Manual práctico para la producción de soja*. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, 1ª edición, 2004, pág: 20- 37.

Kantolic, A.G; Giménez, P. I y de la Fuente, E.B. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En: Pascalle, A.J, (ed). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, 8ª reimpresión, 2021, pág: 167- 200.

Kantolic, A.G. 2008. Control Ambiental y genético de la fenología del cultivo de soja: Impactos sobre el rendimiento y la adaptación de genotipos. Revista de la Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, 28: 63- 88.

Kantolic, A.G. and G.A. Slafer. 2007. Development and seed number in indeterminate soybean as affected by timing and duration of exposure to long photoperiod after flowering. Ann. Bot. 99: 925- 933.

Kantolic, A.G. y Slafer, G.A. 2005. Reproductive development and yield components in indeterminate soybean and affected by post-flowering photoperiod. Field Crops Research 93: 212 – 222.

Miralles, D.J; Windauer, L.B; Gómez, N.V. Factores que regulan el desarrollo de los cultivos de granos. En: Pascalle, A.J, (ed). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Editorial Facultad de Agronomía, Buenos Aires, 8ª reimpresión, 2021, pág: 61-70.

Nico, M., Miralles, D.J., and Kantolic, A. G. 2015. Post-flowering photoperiod and radiation interaction in soybean yield determination: Direct and indirect photoperiodic effects. Field Crops Research, vol. 176: 45-55.

Raper, C.D., Kramer, P.J. 1987. Stress physiology. En: Wilcox (Ed). Soybeans: improvement, production and uses, 2nd. Edition. Agronomy Monograph no. 16. ASA CSSA SSA, Madison, Wi. Pp: 589- 641.

Sinclair, T.R.: S. Kitani; K. Hinson; J.Bruniard and T. Horie. 1991. Soybean flowering date: linear and logistic models based on temperature and photoperiod. Crop Sci. 31: 786- 790.

Thomas, J.F. and C.D. Raper, Jr. 1981. Day and night temperature influence on carpel initiation and growth in soybeans. *Bot. Gaz* 142: 183 – 187.

Thomas, J.F. and C.D. Raper, Jr. 1983. Photoperiod and temperature regulation of floral initiation and anthesis in soya bean. *Ann. Bot.* 51: 481- 489.