

Productividad de soja en sistemas agrícolas en el Chaco central de Paraguay

*Trabajo final presentado para optar al título de
Especialista en Cultivos de Granos*

Omar Rodrigo Paredes Martínez
Ingeniero Agrónomo – Universidad Nacional de Asunción – 2016

Lugar de trabajo: Loma Plata, Boquerón -Paraguay



Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano
Facultad de Agronomía – Universidad de Buenos Aires



JURADO DE TRABAJO FINAL

Jurado

Daniela Evangelina Becheran
Ingeniera Agrónoma (FAUBA)
Doctora en Ciencias Agropecuarias (FAUBA)

Jurado

Juan Ignacio Cagnola
Ingeniero Agrónomo (FAUBA)
Doctor en Ciencias Agropecuarias (FAUBA)

Tutora

Deborah Paola Rondanini
Ingeniera Agrónoma (FAUBA)
Doctora en Ciencias Agropecuarias (FAUBA)

Fecha de defensa del Trabajo Final: 10 de Noviembre de 2022

Dedicatoria

A mi familia y a todas las personas que acompañaron directa e indirectamente este trabajo.

Producción derivada del Trabajo Final:

-Paredes Martínez OR, Morel Yurenka A, Rodrigues C, Rondanini DP. Adaptabilidad de variedades de soja al chaco paraguayo. 7° Congreso de la Soja del Mercosur, Mercosoja 2019. Rosario, 4-5 Septiembre 2019. Disponible en: <http://www.mercosoja2019.org.ar/trabajos-presentados/>

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto de Biotecnología Agrícola, en especial a la Ing. Agr. MSc. Estela Ojeda por ayudarme para tener la oportunidad de cursar este postgrado en la FAUBA.

A la Cooperativa Chortitzer, en especial al Ing. Agr. MSc. Ariel Benítez por ayudar en la siembra, manejo del cultivo, medición de variables, etc.

A mis compañeros del área de mejoramiento de soja, en especial al Ing. Agrop. Ariel Duarte, Arturo Penayo y Agr. Aníbal Morel por su colaboración en el trabajo

Al PhD. Claiton Rodrigues, Ing. Agr. Jenny Dueck e Ing. Agr. Natalia Escobar por sus recomendaciones al principio de este trabajo

Y en especial a la Dra. Deborah Rondanini, por su incansable apoyo desde el día 1 para la realización de este trabajo.

Índice general

1. Resumen	8
2. Introducción	9
2.1 Soja en el sistema agrícola paraguayo	11
2.2 Caracterización ambiental del Chaco Central	12
2.3 Colonización y caracterización productiva del Chaco Central	15
2.4 Mejoramiento genético para nuevos ambientes	16
2.5 Componentes del rendimiento de soja	18
2.6. Objetivo e Hipótesis	22
3. Metodología	23
3.1. Genotipos y condiciones del cultivo	23
3.2 Variables analizadas	25
3.3. Diseño experimental y análisis de los datos	27
4. Resultados y discusión	28
4.1. Fenología y condiciones ambientales exploradas	28
4.2. Rendimiento en grano en líneas experimentales de soja	30
4.3. Cobertura, NDVI y biomasa en etapas reproductivas en líneas experimentales de soja	33
4.4. Estructura de plantas y componentes del rendimiento en líneas experimentales de soja	39
4.5. Rendimiento en aceite y proteína	44
5. Conclusiones	45
6. Bibliografía	46

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución geoespacial de la soja zafra 2018/19 en la Región Oriental de Paraguay. (CAPECO, 2019)	10
Figura 2. Distribución espacial de la soja zafra 2018/19 en la Región Occidental de Paraguay. (NEUFELD, 2019)	10
Figura 3. Destino de las exportaciones de soja en granos. (CAPECO, 2019)	11
Figura 4. Mapa pluviométrico del Paraguay. (DMH, 2019)	13
Figura 5. Histórico de Precipitación, ETP, ETR y balance en el Chaco Central. Grupo Palmeiras, 2018	13
Figura 6. Mapa de temperatura media anual de Paraguay. (DMH, 2019)	14
Figura 7. Esquema de los componentes del rendimiento en el cultivo de soja. (Kantolic et al, 2003)	19
Figura 8. Esquema del ciclo de cultivo de soja indicando los estadios de desarrollo (según la escala fenológica de Fehr y Caviness, 1977) y la dinámica de aparición de hojas, vainas y granos. Fuente: A. Kantolic (2014)	20
Figura 9. Relación entre (a) el número de granos por planta y la tasa de crecimiento durante el periodo R1-R5, (b) la biomasa reproductiva en R5 y la tasa de crecimiento en R1-R5, y (c) el número de granos por planta y la biomasa reproductiva en R5, en dos genotipos de soja (líneas rojo y azul) en Zavalla, provincia de Santa Fe, Argentina. Fuente: Masino et al (2018).	21
Figura 10. Forma de medición y fórmula para la determinación de NDVI (Gutierrez et al 2011).	26
Figura 11. Fenología (R1= Floración, R8= Madurez) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo)	29
Figura 12. Rendimiento en grano (13,5% humedad) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Cada punto es el promedio de 3 parcelas.	30
Figura 13. Rendimiento en grano (13,5% humedad) y fenología (R1= Floración, R8= Madurez) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). La línea punteada= indica el rinde promedio de los 6 testigos comerciales (1060 kg/ha).	30
Figura 14. Nivel de cobertura del cultivo (% de superficie) en dos momentos fenológicos (R1= Floración, R5= inicio de llenado de granos) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo).	33
Figura 15. Rendimiento en grano (13,5% humedad) en función del cambio en la cobertura entre R1 y R5 en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo).	34
Figura 16. Valores del índice de vegetación de la diferencia normalizado (NDVI) medidos en R5 en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo).	35
Figura 17. Rendimiento en grano (13,5% humedad) en función del NDVI en R5 en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). En rojo los testigos comerciales y en blanco las líneas experimentales.	36
Figura 18. Biomasa seca aérea en R5 (kg/ha) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo).	37

Figura 19. Número de ramas por hectárea en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo).	39
Figura 20. Número de vainas por hectárea en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo).	40
Figura 21. Número de granos por hectárea en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo)	40
Figura 22. Peso de 100 granos (g) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Las líneas horizontales indican los genotipos que superaron los 11 gramos por 100 semillas. Evaluado en Loma Plata, Boqueron (Chaco Paraguayo).	41
Figura 23. Rendimiento en proteína (kg de proteína/ha) y en aceite (kg de aceite/ha) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo).	45

Lista de Fotografías

Fotografía 1. Vista general de las parcelas de soja evaluadas en Loma Plata (Boquerón, Paraguay) y condición de anegamiento por excesivas lluvias en marzo 2019.	28
--	----

Índice de Tablas

Tabla 1. Destino de la soja paraguaya e industrialización de los granos. (CAPECO, 2019)	11
Tabla 2. Análisis del suelo en la parcela experimental.	23
Tabla 3. Características de las líneas experimentales y testigos (datos promedio Región Oriental)	24
Tabla 4. Características ambientales de 2019 en Loma Plata (Boquerón, Paraguay)	28
Tabla 5. Resumen de valores de altura de planta, despeje y densidad final de plantas a cosecha en líneas de soja evaluadas en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo)	38
Tabla 6. Coeficientes de correlación entre componentes del rendimiento en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo).	42
Tabla 7. Comparación de atributos en las líneas de soja de mayor rendimiento evaluadas en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo).	43

1. Resumen

La región occidental, o Chaco, es una gran llanura árida y seca con extensas zonas inundables en la época húmeda estival. No se cuenta con líneas de soja nacionales adaptadas a esta región. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue analizar la productividad y adaptabilidad de cultivares de soja en un sistema en secano en el Chaco central paraguayo. Se realizó un ensayo en la Cooperativa Chortitzer Ltda, en Loma Plata, Departamento Boquerón, Paraguay (22° 28' S, 59° 55' O, 133 m.s.n.m.). El 19/1/2019 se sembraron 25 líneas experimentales RR1 del Instituto de Biotecnología Agrícola (INBIO) y el Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) y 6 testigos comerciales (todos RR y dos de ellos Bt).

Se observó variabilidad en la fenología de las líneas evaluadas, a pesar de ser de los grupos de madurez VI y VII. La etapa siembra-floración (S-R1) varió entre 30 y 50 días, con R1 desde 18/2/19 (líneas precoces) hasta 10/3/19 (extensas). El rendimiento en grano no se asoció con el largo del ciclo, pero fue más probable superar el rinde promedio de los testigos con 35-40 días a R1 y 103 días a R8. El aumento de cobertura del suelo entre R1 y R5 (proxy de la tasa de crecimiento en el periodo crítico) no resultó en diferencias significativas entre genotipos, tampoco el NDVI en R5.

El rendimiento en grano se ubicó en el rango de 800 a 1600 kg/ha. Estos valores resultaron bajos, asociados a las condiciones climáticas de excesivas lluvias que retrasaron la fecha de siembra y causaron anegamiento en las etapas post-floración. Las líneas 19, 22 y el testigo T4 tuvieron los menores rindes (800 kg/ha) mientras que las líneas 23, 9, 13, 6 y 25 fueron competitivas, sin diferencias contra los mejores testigos (T6 y T5). El componente que más se asoció al rendimiento fue el número de granos ($r=0,82$). La composición de los granos fue estable, con 22,6-24,0 % de aceite y valores anormalmente bajos (26,1-27,8 %) de proteína.

Se concluye que: i) existen líneas experimentales promisorias para el Chaco central paraguayo, con rendimientos competitivos respecto a los testigos comerciales, y ii) algunas líneas; como la número 23; con elevada biomasa a R5, número de vainas y peso de grano, parecen adaptarse mejor a suelos con alta frecuencia de inundación. Estos resultados preliminares, en un año con excesos hídricos y bajos rendimientos, deberán confirmarse en un mayor número de años y localidades del Chaco central paraguayo. Su utilidad en sistemas de rotación en los arrozales chaqueños surge como un tema de interés para próximas investigaciones.

Palabras clave: *Glycine max* L., rendimiento, adaptabilidad, período crítico, número de granos, sistemas áridos, anegamiento.

2. Introducción

2.1. Soja en el sistema agrícola paraguayo

En Paraguay la soja (*Glycine max* L. Merrill) fue introducida alrededor de 1921, expandiéndose como cultivo de producción agrícola recién en la década del '60 e intensificándose su producción a partir de 1968 (Morel, 2017). Actualmente, la soja es el principal cultivo del Paraguay con una producción de 8.512.008 tn en un área cultivada 3.544.245 ha en la zafra 2018/19, lo cual indica un rendimiento promedio nacional de 2401 kg/ha. Se debe tener en cuenta que la zafra 2018/19 fue de una mala cosecha, ya que el año anterior la producción superó las 10 millones de tn.

La República de Paraguay está dividida por el río homónimo en dos grandes regiones: al oeste, la occidental o Chaco, y al este, la oriental; cada una con características diferentes en cuanto al relieve, clima y vegetación. Las principales zonas de producción se encuentran en la región oriental del país (Figura 1), sobre todo en la ecorregión del bosque atlántico paranaense. Los departamentos con mayor superficie de cultivo de soja en la zafra 2018/19 fueron: Alto Paraná con 949.400 has, Itapúa con 768.906 has, Canindeyú con 640.331 has, Caaguazú con 427.338 has y San Pedro 319.701 has. Por el contrario, en la región occidental del país, la superficie dedicada a la soja es de apenas 30.000 has, concentrada en el Chaco central: en los departamentos Boquerón, Alto Paraguay y Presidente Hayes (Figura 2).

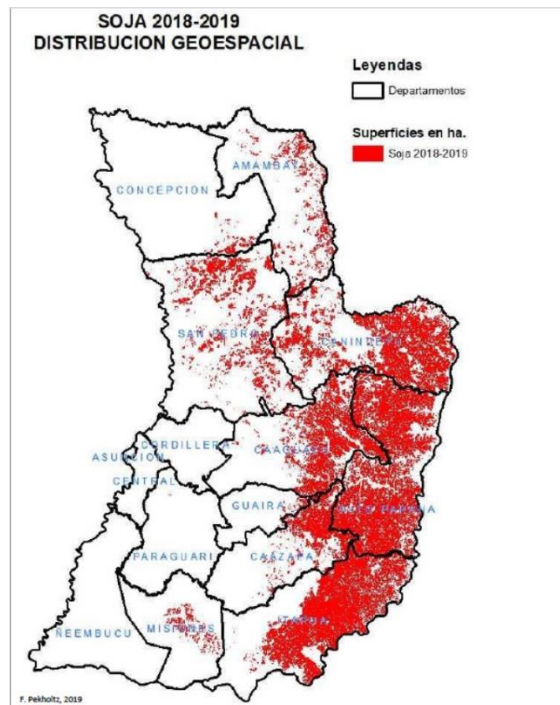


Figura 1. Distribución geoespacial de la soja zafra 2018/19 en la Región Oriental de Paraguay. (CAPECO, 2019)

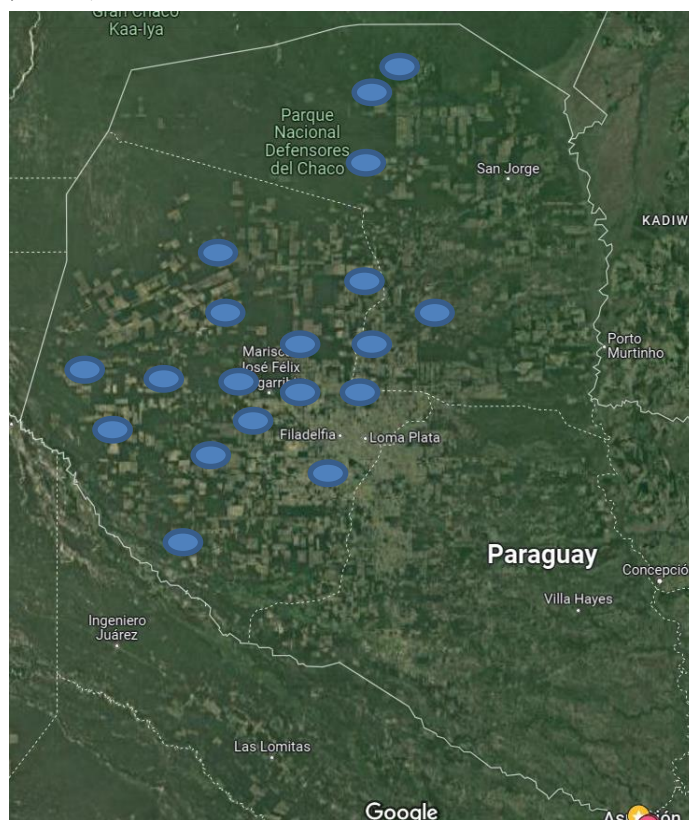


Figura 2. Distribución espacial de la soja zafra 2018/19 (círculos celestes) en la Región Occidental de Paraguay. (NEUFELD, 2019)

Paraguay es el cuarto mayor exportador y quinto mayor productor de soja a nivel mundial (CAPECO, 2019), el destino de la soja se detalla en la Tabla 1. Los principales productos obtenidos de la industrialización de la soja son la harina y el aceite. El principal país destino de los granos de soja es la Argentina, seguida de Rusia y la Unión Europea (Figura 3). Arce *et al.* (2011) explican que la estructura productiva del Paraguay se mantuvo anclada en el sector primario, aumentando la expansión del área cultivada. Además, señalan que el cultivo de soja aparece con un rol determinante en la generación de divisas, lo cual puede ser verificado a partir de un análisis de las cuentas nacionales.

Tabla 1. Destino de la soja paraguaya e industrialización de los granos (CAPECO, 2019)

Destino de soja (en toneladas de granos)			
Exportación	Industria	Semilla	Total
4.888.651	3.373.357	250.000	8.512.008

Industrialización de la soja (en toneladas de granos)					
Exportación			Consumo Interno		
Harina	Aceite	Total	Harina	Aceite	Total
2.151.516	613.143	2.764.659	486.958	121.740	608.698

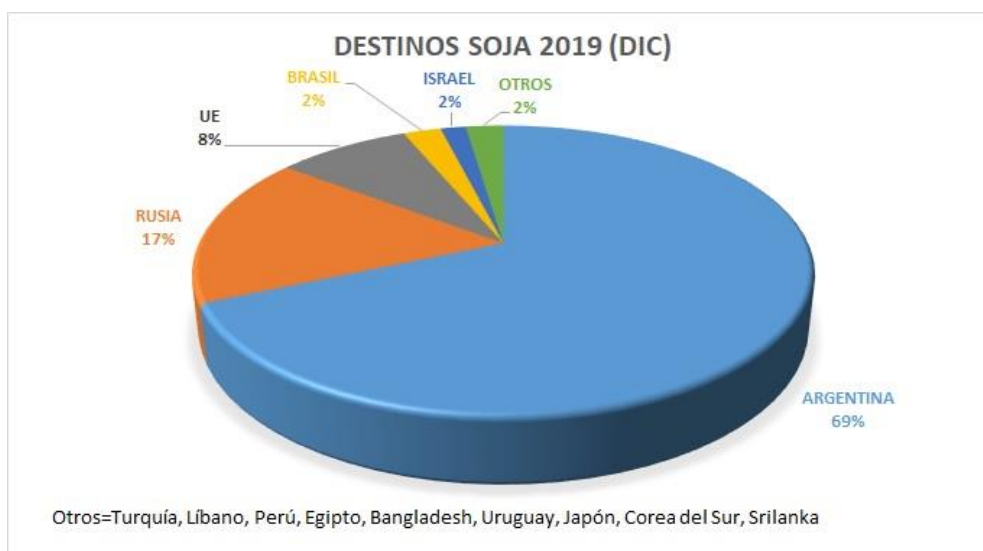


Figura 3. Destino de las exportaciones de soja en granos (CAPECO, 2019)

La siembra de soja en la región oriental inicia normalmente en septiembre y abarca hasta octubre, y la cosecha se realiza en enero o febrero. Posterior a esta cosecha, se realiza la

siembra de segunda o zafrina, muchos productores optan por volver a sembrar soja a pesar de no ser técnicamente recomendable, mientras que otros siembran maíz (*Zea mays*). La zafrina se cosecha en abril o mayo, y luego se inicia la siembra de trigo (*Triticum aestivum*), canola (*Brassica napus*) o abonos verdes como avena (*Avena sativa*), nabo forrajero (*B. napus x B. oleracea*), entre otros.

La región occidental o Chaco es una región tradicionalmente de ganadería extensiva. Con respecto a la agricultura, el algodón (*Gossypium hirsutum*) es el cultivo principal, también se siembra maní (*Arachis hypogaea*) y sésamo (*Sesamum indicum*). La soja es un cultivo que ingresa como una alternativa para rotar con pasturas, la siembra se inicia en el mes de diciembre con las primeras lluvias, continúa en enero e inclusive inicios del mes de febrero. Los cultivos de invierno no están tan extendidos en el Chaco debido a la sequía en esa época, aunque hay establecimientos que practican el consorcio de abonos verdes como avena negra (*Avena strigosa*), nabo forrajero, trigo, etc.

2.2 Caracterización ambiental del Chaco Central

La región occidental o Chaco comprende el 60 % del territorio. Es una gran llanura árida y seca que, sin embargo, conserva la mayor parte de la riqueza ecológica y biológica del país (Redes Chaco, 2015). Esta región tiene extensas zonas que se inundan en la época de lluvias estivales. Toda esta inmensa planicie apenas se ve alterada por unas pocas elevaciones de escasa importancia. Los suelos son Cambisoles (WRB-FAO, 2015) o Inceptisoles (USDA-Soil Taxonomy), con textura limosa y moderados problemas de salinidad. El paisaje es generalmente plano con vegetación espinosa (Barboza et al. 1998).

En general se registran las precipitaciones en el bajo Chaco con 1.400 mm (promedio) disminuyendo hacia la frontera con Bolivia, en el oeste, a aproximadamente 500 mm (Figura 4) (MAG/ BGR, 1998). La precipitación media anual es de 850 mm, fluctuando entre 400-1200 mm en años muy secos o excesivamente húmedos, respectivamente. Las lluvias se concentran en los meses de verano, de noviembre a marzo (DMH, 2019). El clima es semiárido cálido, por un largo tiempo existe un régimen deficitario de humedad (Figura 5) porque la evaporación potencial es mayor que la precipitación (MAG/ BGR, 1998).

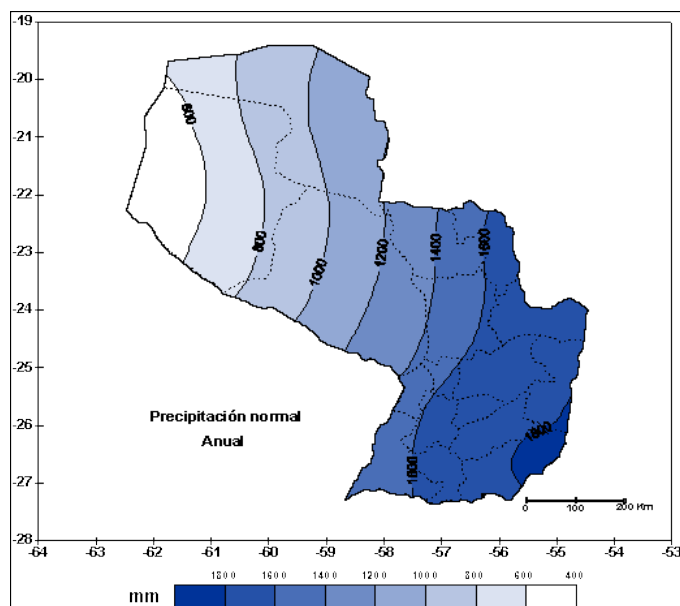


Figura 4. Mapa pluviométrico del Paraguay. (DMH, 2019)

En esta zona se registran muy altas temperaturas, las cuales generan altas tasas de evapotranspiración potencial y relativa (ETP y ETR) las que, conjuntamente con el régimen pluviométrico, determina un clima semiárido. Analizando el promedio de las precipitaciones y la evapotranspiración potencial media anual, se verifica un balance hídrico negativo en gran parte del territorio chaqueño en los últimos años (Figura 5).

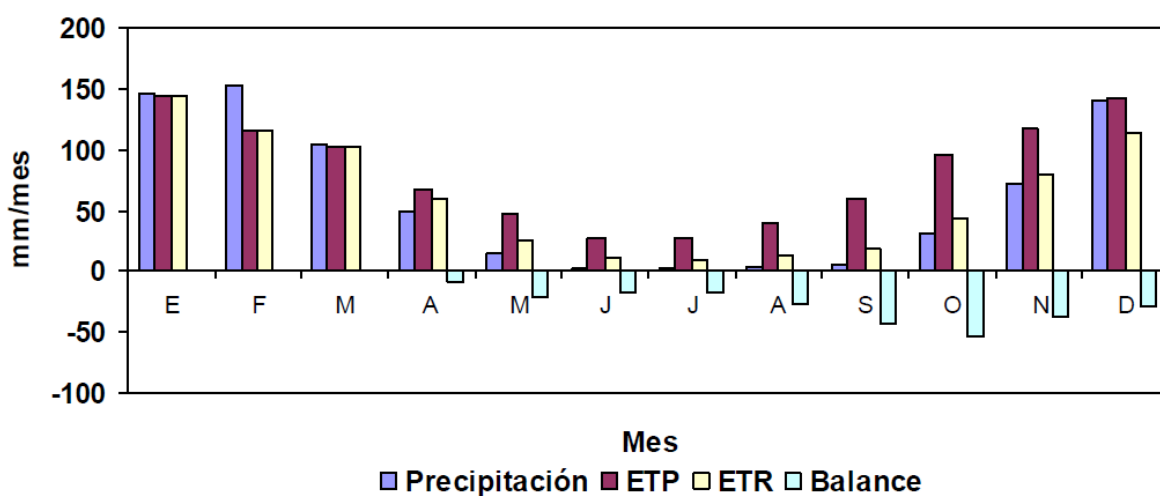


Figura 5. Histórico de Precipitación, ETP, ETR y balance en el Chaco Central. Fuente: Grupo Palmeiras, 2018.

El promedio anual de temperatura es de 25°C (Figura 6) pero alcanza temperaturas máximas de 40 a 45°C en enero. Las variaciones estacionales y la amplitud térmica diaria son marcadas. La temperatura del verano en el Chaco central a menudo se encuentra por encima de los 40°C, mientras que en junio y julio la temperatura puede descender hasta bajo cero. Las estaciones meteorológicas de Mariscal Estigarribia y del Fortín Pratt Gill, en el centro y al noroeste del Chaco paraguayo respectivamente, han registrado temperaturas de verano de hasta 46°C, mientras que en el invierno estas mismas estaciones han registrado temperaturas tan bajas como los -7°C (RENSHAW, 1996).

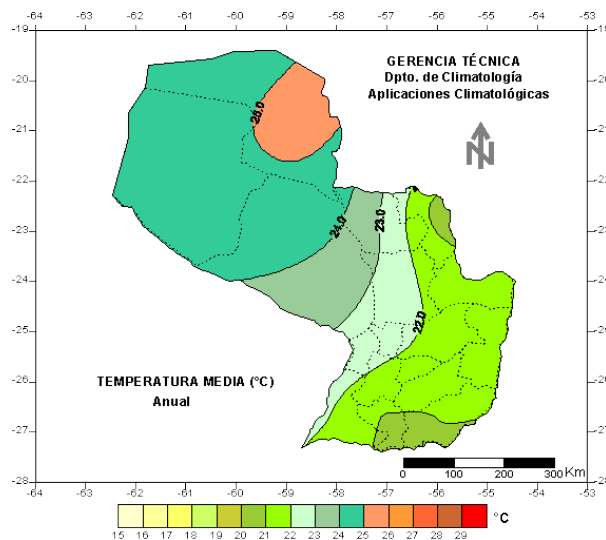


Figura 6. Mapa de temperatura media anual de Paraguay. (DMH, 2019)

El clima chaqueño se caracteriza por dos cuadros meteorológicos alternantes:

- **Cuadro con vientos dominantes del sector noroeste:** Estos vientos, dominantes durante el verano y asociados a bajas presiones, traen masas de aire calientes muy húmedas en el estío y muy secas durante el invierno. En el verano, con humedad relativa elevada y masas de aire inestables, se producen precipitaciones aisladas, mientras que el invierno se caracteriza por tormentas de viento norte sin lluvia y baja humedad relativa del aire. Un viento muy violento proveniente del norte es casi siempre signo de un próximo cambio meteorológico.
- **Cuadro con vientos dominantes del sector sureste:** Estos vientos traen masas de aire frías y secas. Están asociados a sistemas de alta presión y, por lo tanto, predomina la estabilidad de las masas de aire. En invierno, la temperatura puede bajar hasta 0°C en las noches de cielo despejado. Este es el cuadro dominante durante el invierno.

La sucesión de los cuadros de viento norte y viento sur se debe a la llegada de un frente frío acompañado, a menudo, de fuertes vientos. Durante el paso del frente frío se dan generalmente precipitaciones de importancia, tanto en intensidad como en duración. Estas son lluvias típicas en el verano, capaces de generar anegamientos temporarios. La posición y la circulación estacional de las altas presiones de origen subtropical y de las bajas de origen ecuatorial explican la alternancia de estos cuadros peculiares del clima chaqueño, caracterizados por los veranos lluviosos y los inviernos secos (Redes Chaco, 2015).

2.3 Colonización y caracterización productiva del Chaco central

Comunidades menonitas de origen alemán inmigraron en 1926/27 al Chaco paraguayo (1743 personas), para fundar un nuevo asentamiento al que llamaron Colonia Menno. Para dirigir esta emigración desde Canadá y el asentamiento en el Chaco, se fundó en noviembre de 1922 un “Comité de Previsión”, nombre que se originó en Rusia para el asentamiento en las estepas ucranianas a partir de 1788. Discrepancias y conflictos internos motivaron el surgimiento de una administración paralela a partir de 1933, que fue reconocida legalmente por el gobierno paraguayo como “Sociedad Civil Colonizadora Chortitzer Komitee”. Esta administración civil fue responsable de todos los asuntos de la Colonia Menno, como por ejemplo la venta y el transporte de productos, el comercio (compra y venta de productos agrícolas y de mercancías de uso cotidiano), el registro de marcas de comercio, de vacunos y de fábricas y realizar actos inherentes a una personería jurídica (Cooperativa Chortitzer, 2019)

La agricultura fue la base de la economía de la Colonia Menno. Al inicio se quiso sembrar trigo, como los antepasados en Rusia y Canadá, pero el clima diferente y la composición del suelo exigieron una reorientación, y se empezó a sembrar cultivos tropicales, como algodón, sorgo (*Sorghum bicolor*), sandías (*Citrullus lanatus*), maní, mandioca (*Manihot esculenta*) y porotos (*Phaseolus vulgaris*), que en el Chaco obtenían altos rendimientos. El aislamiento casi completo en el Chaco evitó un desarrollo económico acelerado y continuo, debiéndose luchar en las primeras décadas contra el clima duro (especialmente sequías prolongadas), las hormigas y langostas, como la falta de caminos, medios de comunicación y transporte adecuados. También la Guerra del Chaco (1932 – 1935) afectó significativamente el desarrollo de la colonización.

La zona es tradicionalmente ganadera orientada a la producción de carne y leche, con el tiempo los productores tuvieron la necesidad de implementar un sistema de rotación de cultivos con pastura, por consiguiente, el área agrícola aumentó con el maní y con el algodón.

La soja surge también como una alternativa que cada día se incorpora más a este sistema de rotación. La soja puede constituirse en una opción para el pecuarista chaqueño en cuanto a rotación de sus pasturas. Introducir soja no implicará reducir el hato ganadero, sino que permitirá el complemento de la agricultura con la ganadería. Asimismo, es posible una producción sustentable mediante la rotación de una gramínea con la soja. La gramínea puede ser maíz o sorgo, cuyo rastrojo es muy bueno como cobertura y luego se cultivará *gaton panic* (*Panicum maximum*) que es una forrajera megatérmica (Dueck y Portz, 2014).

Uno de los desafíos de la introducción de soja en el Chaco es la determinación de fechas de siembra y densidades para las variedades que están ingresando desde la Región Oriental del Paraguay en el sistema de producción chaqueño. También la generación de colonias de bacterias o nódulos en las raíces de la soja a través de la inoculación de la semilla, ya que no se consiguen un número razonable de nódulos, los técnicos de la cooperativa afirman que es por la alta temperatura del suelo, que impide el desarrollo de muchas de las bacterias que pueden realizar la simbiosis con soja (Passerieu, 2012). Los análisis de suelo muestran adecuados contenidos de fósforo de 70 a 140 ppm (Tabla 2). Las condiciones físicas de los suelos del chaco central son relativamente buenas, los hacen aptos para la producción de cultivos y pasturas implantadas, aunque presentan algunas limitaciones (pH, salinidad). No está difundida la práctica de fertilización por tratarse de campos nuevos con suelos fértiles, pero en los establecimientos donde se utiliza la inoculación se observan aumentos de rendimiento del orden del 10% (Passerieu, 2017).

2.4 Mejoramiento genético para nuevos ambientes

La soja posee un elevado potencial de productividad, adaptabilidad y rentabilidad, por lo que es importante disponer de variantes genotípicas que permitan elevados y estables rendimientos en diferentes latitudes, fechas de siembra, tipos de suelo, etc (Morel, 2017). Mariotti *et al.* (1976) definieron la adaptabilidad como la capacidad de los genotipos para responder ventajosamente a la mejora del medio ambiente, y la estabilidad se refiere a la capacidad de los genotipos para exhibir un comportamiento predecible de acuerdo con las variaciones ambientales. Morais (1980) define este último concepto como estabilidad del comportamiento y no fenotípico, y es lo que le interesa al obtentor, ya que está asociado con el concepto de adaptabilidad, es decir, la estabilidad de un genotipo determinado también determina fiabilidad en los parámetros de adaptabilidad estimados. Los nuevos materiales genéticos buscan no solo mayor potencial, sino también mayor estabilidad del rendimiento en diferentes ambientes. El desafío es poder diseñar una intensificación sustentable de la

agricultura. La intensificación agrícola sustentable involucra estrategias de manejo de los sistemas de producción y de los cultivos que permitan incrementar la producción de granos haciendo un uso eficiente de los recursos del ambiente (Salica, 2019; Andrade, 2021).

En Paraguay el mejoramiento genético del cultivo de la soja se inició en 1980, con la realización de los primeros cruzamientos artificiales de materiales introducidos de los Estados Unidos, Japón y Brasil, en el Centro de Investigación Capitán Miranda. Sojapar, acrónimo de soja paraguaya, es el resultado de la alianza estratégica entre Instituto Paraguayo de Tecnología Agraria (IPTA) y el Instituto de Biotecnología Agrícola (INBIO), para el desarrollo del Programa de Fortalecimiento de la Investigación de Soja en Paraguay. Como resultado del programa de mejoramiento, fueron lanzadas las variedades convencionales: Uniala y Aurora (1997), CRIA- 2 y CRIA-3 (2001), CRIA-4 y CRIA-5 (2005), CRIA-6 (2008), CM422 Milagrosa (2010). Las variedades transgénicas (RR1, evento 40-3-2) fueron la SOJAPAR 19 (2016), SOJAPAR R24 (2017) y SOJAPAR R34 (2018), SOJAPAR R49 Y SOJAPAR R75 (2019). La mayoría de estas variedades están adaptadas principalmente a la región sojera oriental, y muy pocas presentan algo de adaptación a la región occidental, entre ellas se encuentra la SOJAPAR R75, con un grupo de madurez de 7.5 y una alta rusticidad.

La meta de los fitomejoradores es producir cultivares con rendimientos en grano altos y estables a través de los ambientes de producción (Hallauer, 2007). Esto constituye un gran desafío pues dichos rasgos complejos dependen fuertemente del ambiente, del genotipo y de sus interacciones. Una adecuada definición del ambiente productivo y la caracterización del comportamiento de los genotipos en forma integrada contribuirá a una mejor comprensión de la productividad media (adaptación) de los distintos genotipos y probables variaciones (estabilidad) de la misma, constituyendo una información básica para reducir el error al momento de seleccionar. La selección de cultivares en un entorno muy variable resulta compleja, cuando las condiciones de temperatura, radiación y distribución de precipitaciones varían ampliamente de una campaña a otra (Zuil, 2017).

Un rasgo genotípico de suma importancia para lograr adaptabilidad del cultivo de soja se relaciona con su sensibilidad al fotoperiodo (duración de horas de luz en un ciclo de 24hs). El efecto principal del fotoperiodo es el de inducir la floración. La soja es una planta de día corto (PDC), es decir que al acortarse la duración de los días (menor fotoperíodo) se adelanta el inicio de la floración. El fotoperiodo influye y regula la mayor parte de los eventos reproductivos condicionando el inicio y final de las diferentes fases, y la tasa con que progresan los cambios dentro de la planta. Hartwig (1979) sugirió que, en condiciones de días cortos, se necesita un mínimo de 45 días (dependiendo de la temperatura) desde la

emergencia a inicio de la floración (R1) para permitir el crecimiento vegetativo suficiente para producir rendimientos de semillas aceptables. La obtención de cultivares que retrasen la floración en días cortos, a través de elevada sensibilidad fotoperiódica, es un objetivo importante para aumentar los rendimientos bajo esas condiciones y para ampliar los rangos de latitud y épocas de siembras a los que pueda adaptarse un nuevo cultivar (Kiihl y García, 1989).

El conocimiento de los procesos y mecanismos determinantes del crecimiento y rendimiento de los cultivos en los distintos ambientes es necesario para aumentar la producción de manera sustentable ya que nos orienta en la elección de prácticas de manejo más apropiadas (Andrade et al. 2005; Andrade et al., 2010), guía al mejorador en la obtención de genotipos de mayor potencial de rendimiento más eficientes y mejor adaptados a ambientes actuales y futuros (Edmeades et al., 2004; Andrade et al., 2009; Hall y Sadras, 2009) y brinda información para un manejo eficiente y adecuado de recursos e insumos, con una menor dependencia de insumos no renovables y/o contaminantes. Así, para efectivizar la contribución de la especialidad a los programas de mejoramiento genético se deben identificar los caracteres relevantes para el desempeño de los cultivos en los ambientes de producción, encontrar variabilidad en sus expresiones, que dicha variabilidad sea heredable, y que se puedan monitorear fácilmente (Andrade et al. 2009).

2.5 Componentes del rendimiento de soja

Superada la fase de establecimiento del cultivo (entre siembra y aproximadamente V1 en la escala de Fehr y Caviness, 1977) el período crítico para la definición del rendimiento de un cultivo de soja abarca los períodos de floración, fructificación y comienzos del llenado de granos incluyendo, aproximadamente, la fase R3 (inicio de formación de vainas) a R6 (semilla completamente desarrollada) (Monzón et al., 2021). Este período está principalmente relacionado con el momento en que se define el número de granos por unidad de superficie (Board y Tan, 1995; Board et al., 1995; Egli y Zhenwen, 1991; Jiang y Egli, 1993; Jiang y Egli, 1995, Egli, 1997). Debido a que tanto el número como el peso de las semillas en soja están usualmente limitados por fuente (Egli, 1999; Egli, 1998; Borrás et al., 2004; Egli, 2004; Egli y Bruening, 2006), cuando ocurren reducciones en el crecimiento del cultivo durante el período crítico, se reduce el rendimiento.

La fenología del cultivo debe ser ajustada para que el nivel de recursos (radiación, agua y nutrientes) y la sanidad del cultivo sean óptimas durante el período crítico. En soja, la

duración de una fase (habitualmente medida en días) depende de la temperatura y del fotoperiodo.

La producción de biomasa, o crecimiento, depende de la oferta de recursos (luz, agua, nutrientes), la eficiencia de captura por parte del cultivo y la eficiencia de conversión de dichos recursos en biomasa. La soja es una especie con metabolismo fotosintético C3, con menor eficiencia de uso de la radiación (EUR) que las plantas C4 (ej. maíz), de modo tal que las hojas alcanzan un nivel de saturación de luz, a menores niveles que las C4, y maximizan la EUR en rangos de temperatura menores que las C4 (Toledo, 2018).

El rendimiento del cultivo de soja resulta de dos componentes numéricos principales que no son plenamente independientes entre sí: el número de granos que se establecen por unidad de área y el peso unitario que alcanzan (Figura 7). A su vez, el número de granos por área se pueden desagregar en distintos subcomponentes, que se definen secuencialmente durante el ciclo del cultivo (Figura 8). Las variaciones en número de granos están estrechamente relacionadas con cambios en el rendimiento, a diferencia de la relación entre el peso de los granos y el rendimiento, que no es tan robusta (Kantolic et al, 2003).

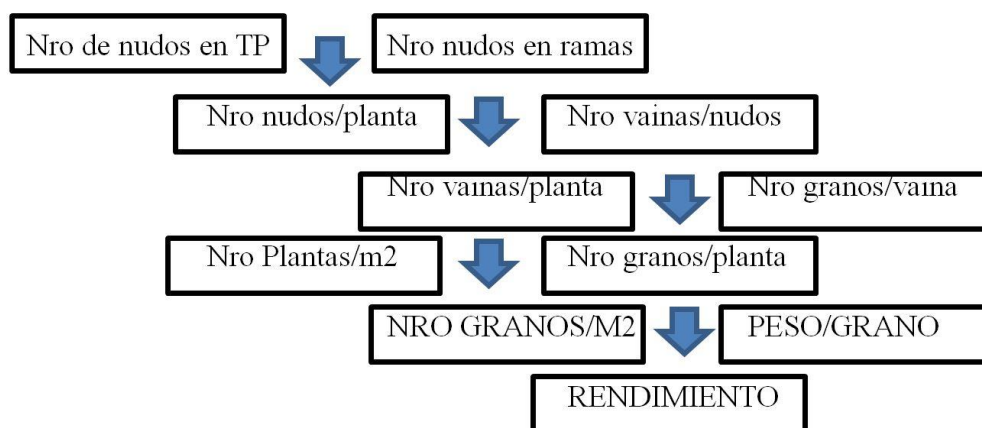


Figura 7. Esquema de los componentes del rendimiento en el cultivo de soja. (Kantolic et al, 2003)

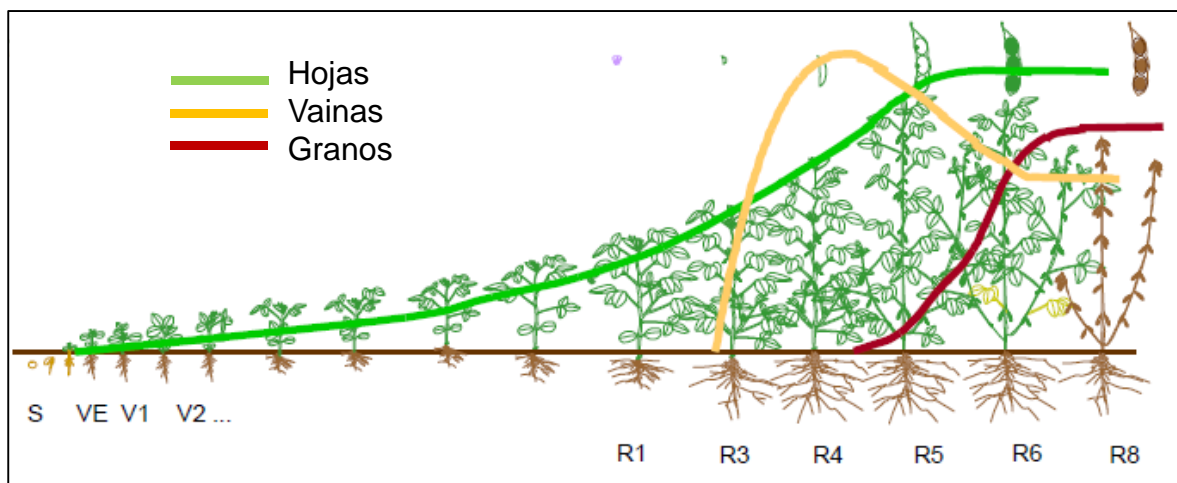


Figura 8. Esquema del ciclo de cultivo de soja indicando los estadios de desarrollo (según la escala fenológica de Fehr y Caviness, 1977) y la dinámica de aparición de hojas, vainas y granos. Fuente: A. Kantolic (2014)

El número de nudos depende del número de plantas emergidas por unidad de área, cuántos nudos aparecen en el tallo principal de cada una de ellas, cuántas ramificaciones poseen y cuántos nudos tienen esas ramificaciones. La aparición de nudos en el tallo principal comienza en emergencia y progresa hasta después de la floración (variedades indeterminadas). También cerca de floración comienza el crecimiento de las ramificaciones que continúan durante gran parte del periodo reproductivo. El número de nudos que se diferencian en el tallo principal depende principalmente de las condiciones fotoperiódicas previas a la floración y el hábito de crecimiento del genotipo (determinado o indeterminado). El número de nudos que se diferencian en las ramificaciones está asociado a las condiciones de fotoperiodo previas y posteriores a la floración, y la supervivencia de estos nudos está condicionado por la tasa de crecimiento del cultivo y factores ambientales que la regulan.

El número de vainas por nudo depende de cuántas inflorescencias se desarrollan en cada nudo y cuántas vainas se establecen en cada inflorescencia. El número de vainas por nudo es el resultado de los fenómenos de generación y mortandad de frutos. La soja produce más primordios florales de los que puede fijar (menos del 50% de las flores se convierten en vainas aún en condiciones favorables). Debido a la fuerte dependencia del número de vainas por nudo de la tasa de crecimiento del cultivo, este sub componente muestra una marcada variabilidad frente a cambios del ambiente. Trabajos recientes en la región núcleo pampeana

han mostrado una fuerte relación entre el número de semillas, la tasa de crecimiento durante el período crítico R1-R5 y la biomasa reproductiva en R5 (Masino et al., 2018) para canopeos con diferentes arreglos espaciales, indicando la importancia de maximizar la tasa de crecimiento en las etapas reproductivas de soja para alcanzar elevados rendimientos (Figura 9).

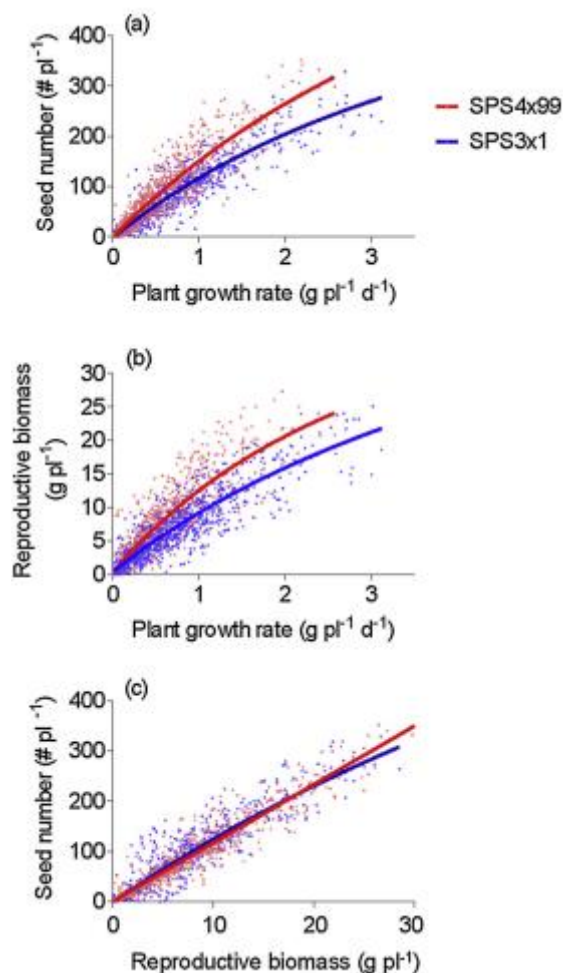


Figura 9. Relación entre (a) el número de granos por planta y la tasa de crecimiento durante el periodo R1-R5, (b) la biomasa reproductiva en R5 y la tasa de crecimiento en R1-R5, y (c) el número de granos por planta y la biomasa reproductiva en R5, en dos genotipos de soja (líneas rojo y azul) en Zavalla, provincia de Santa Fe, Argentina. Fuente: Masino et al (2018).

El número de granos por vaina tiene un control genético importante, puede variar de 1 a 4 granos por vaina y es mucho más estable ante variaciones ambientales. En cambio, el peso de los granos de soja puede variar en un rango amplio, entre 80 a 400 mg, siendo los valores más frecuentes entre 140 y 170 mg. El peso final del grano puede describirse como una función de su tasa de crecimiento y de la duración del periodo de llenado. Ambos

atributos están gobernados genéticamente y varían de acuerdo a las condiciones ambientales. La tasa de crecimiento de los granos puede variar de acuerdo al genotipo y a factores ambientales (temperatura, radiación, nitrógeno, relación fuente/destino, etc).

Así, el rendimiento puede ser analizado a través de varios componentes numéricos, los cuales pueden tener diferente relevancia de acuerdo al genotipo y al ambiente explorado. La necesidad de obtener variedades adaptadas a nuevos ambientes de producción hace necesario conocer cómo se conforma el rendimiento en ellas. Las variedades desarrolladas por el Programa de Investigación de la Soja de IPTA-INBIO se focalizaron en su mayoría para la región oriental. Debido a la demanda creciente de variedades de soja que puedan tolerar situaciones de estrés, el programa también empezó a desarrollar líneas experimentales que puedan generar ganancias en el Chaco central.

2.6. Objetivo e Hipótesis

Objetivo General

- Identificación de materiales más promisorios; con mayor o igual rendimiento que alguno de los testigos comerciales del ensayo; para el desarrollo en la ecorregión del Chaco central.

Objetivos específicos

- Evaluación de los componentes del rendimiento en diferentes líneas experimentales.
- Evaluación de atributos vegetativos para determinar el comportamiento de las líneas en el Chaco central.
- Obtención de datos de fenología de las líneas experimentales y su relación con los atributos vegetativos y reproductivos.

Hipótesis

- Existe al menos una línea Sojapar promisorio; con mayor o igual rendimiento que alguno de los testigos comerciales del ensayo; para el desarrollo en la ecorregión Chaqueña.

3. Metodología

3.1. Genotipos y condiciones del cultivo

3.1.1 Condiciones del cultivo

El ensayo experimental se realizó en un lote de la colonia menonita en la cooperativa Chortitzer Komitee Ltda, en Loma Plata, Dpto Boquerón, Paraguay 22° 28' S, 59° 55' O, 133 m.s.n.m.) en un suelo Cambisol éutrico, CMe, de textura franca, con 1,8% de materia orgánica, buena provisión de P, S, K y Mg y con moderada limitación por salinidad (ICASA, 2019). El análisis del suelo se detalla en la Tabla 2.

Análisis de Suelo		Fecha: 23/11/2018		
pH en Agua	pH	V Sat. Bases	CTC	M.O.
6,78	6,92	83,94%	9,96 meq/100g	1,81%
P	K	Ca	Mg	Al
75,90 ppm	252,50 ppm	4,86 meq/100g	2,60 meq/100g	0,12 meq/100g
H+Al (Ac)	Na	S	Zn	Mn
1,60 meq/100g	59,30 ppm	37,78 ppm	3,03 ppm	78,70 ppm
Cu	Fe	K/CTC	Ca/CTC	Mg/CTC
1,03 ppm	84,50 ppm	6,5%	48,8%	26,1%
Al/CTC	H/CTC	Ca/Mg	Ca/K	Mg/K
1,2%	14,9%	1,9	7,5	4,0
Arena	Arcilla	Limo	Tipo de suelo	Muy alto
37,34%	24,66	38,00%	Franco	P, K, Mg, S
Alto	Medio	Bajo		
V, Zn, Mn	M.O.,Ca, Fe	Ac, Al, Na, Cu		

Tabla 2. Análisis del suelo en la parcela experimental.

La siembra se realizó sobre un lote manejado bajo el sistema de siembra directa durante los últimos tres años antes de sembrar, a una densidad de 10 semillas por metro lineal (equivalente a 20 semillas/m²) con 0,45 m de distancia entre hileras. La parcela contaba con 4 surcos de 8 metros de largo. Las mediciones fueron realizadas sobre los 2 surcos centrales, descartando medio metro en cada extremo de la unidad experimental y las dos líneas externas, por el efecto borde. Las semillas fueron tratadas con Fungicidas Fludioxonil + Metalaxil y el insecticida Fipronil. Las semillas fueron inoculadas con *Bradyrhizobium japonicum* No se realizó fertilización alguna y hubo un control químico de las malezas: 2 semanas antes de la siembra se aplicó glifosato sal potásica al 66% a una dosis de 2 litros/ha.

Luego se aplicaron los insecticidas acetamiprid+ benzoato de emamectina + lufenuron, como también los herbicidas fomentafen + fluazifop-p un mes después de la siembra. Se realizó otra aplicación con acetamiprid + benzoato de emamectina +lufenuron dos meses después de la siembra.

3.1.2 Descripción de las líneas

Se sembraron 25 líneas experimentales de soja elegidas en base a su grupo de madurez, las cuales son de ciclo medio a largo en el Sur de la Región Oriental (Latitud 27°12' S y Longitud 55°48' O), donde se encuentra el Programa de Mejoramiento de Soja de IPTA/INBIO (Tabla 3). Los 6 testigos comerciales son: BMX- POTENCIA RR (T1), M-6410 Ipro (T2), SOJAPAR R24 (T3), SOJAPAR R19 (T4), DM 8277 IPRO (T5), NS 7209 IPRO (T6), las cuales fueron elegidas por presentar buena aceptación por los agricultores chaqueños. Los cultivares difieren entre sí por el ciclo desde VI a VIII, también poseen diferentes tecnologías (INTACTA y RR1). Las líneas experimentales son resistentes a la roya asiática de la soja (*Phakopsora pachyrhizi*) y tienen buen comportamiento frente a podredumbre carbonosa del tallo (*Macrophomina phaseolina*).

Tabla 3. Características de las líneas experimentales y testigos (datos promedio Región oriental)

Nro	MATERIALES	DÍAS A	CICLO	ALTURA		PESO DE 100 granos (gr)	Ciclo	Tecnología
		Floración	Total (días)	Plantas (cm)	Vainas (cm)			
1	BMX- POTENCIA RR (T1)	45	134	97	15	13.8	VI Largo	RR1
2	SP15128	47	124	88	17	13.9	VI Medio	RR1
3	SP15212	46	131	92	15	13.9	VI Largo	RR1
4	SP16005	43	124	85	15	14.8	VI Medio	RR1
5	SP14642	43	122	85	17	12.9	VI Medio	RR1
6	SP14657	46	123	84	17	13.3	VI Medio	RR1
7	SP14658	52	130	105	15	13.1	VI Largo	RR1
8	SP14675	53	133	93	16	14.6	VI Largo	RR1
9	SP15127	46	125	87	17	13.6	VI Medio	RR1
10	M-6410 Ipro (T2)	46	128	92	16	13.4	VI Largo	INTACTA
11	SP15129	52	129	85	17	12.5	VI Largo	RR1
12	SP15028	42	123	112	15	13.2	VI Medio	RR1
13	SP15214	47	130	105	14	13.7	VI Medio	RR1

14	SP15033	45	123	83	17	12.7	VI Medio	RR1
15	SP15135	41	137	75	12	13.9	VII Medio	RR1
16	SP15211	52	130	99	18	13.3	VI Largo	RR1
17	SP15201	45	131	82	16	13.5	VI Largo	RR1
18	SP 17079	45	124	78	16	13.6	VI Medio	RR1
19	SP 17080	45	125	85	15	12.6	VI Medio	RR1
20	SP 17081	46	126	89	14	12.6	VI Largo	RR1
21	SP 17083	42	125	80	16	13.8	VI Medio	RR1
22	SP 17087	53	135	89	16	13.8	VII Corto	RR1
23	SP 17088	52	135	80	15	13.6	VII Corto	RR1
24	SP 17089	52	136	95	17	13.6	VII Corto	RR1
25	SP 17090	53	135	101	18	14.2	VII Corto	RR1
26	SP 17091	42	137	78	12	14.5	VII Medio	RR1
27	SP 17092	53	136	98	20	13.1	VII Corto	RR1
28	SOJAPAR R24 (T3)	47	128	100	16	17,0	VI Largo	RR1
29	SOJAPAR R19 (T4)	47	132	110	16	15,0	VI Largo	RR1
30	DM 8277 IPRO (T5)*	s/d	112	120	s/d	15,5	VIII Largo	INTACTA
31	NS 7209 IPRO (T6)	41	135	110	s/d	18,5	VI Largo	INTACTA

3.2 Variables analizadas

3.2.1 Fenología (días a R1 y a R8)

Para la fenología se utilizó la escala de Fehr y Caviness (1971), donde se registraron los eventos de emergencia, R1 para conocer la floración y R8 para conocer el ciclo a madurez fisiológica. Las observaciones se realizaron 2 veces por semana desde la emergencia a cosecha.

3.2.2 Cobertura en R1 y R5

Se midió la cobertura vegetal verde utilizando la aplicación móvil Canopeo (desarrollado por la Universidad de Oklahoma). Su funcionamiento se basa en la colorimetría, ofreciendo unos resultados *in situ* mucho más precisos que los exámenes visuales. La toma de las imágenes fue realizada a una distancia superior a 60 cm del suelo. La medición se realizó en los estadios R1 y R5 en un sitio al azar dentro de cada unidad experimental.

3.2.3 NDVI en R5

Dentro de cada unidad experimental, en la misma ubicación donde se midió cobertura, se midió el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (*NDVI*) en R5 utilizando un medidor *GreenSeeker* (desarrollado por la Universidad de Oklahoma). Es un sensor terrestre portátil que toma una lectura de la reflectancia del cultivo para determinar el *NDVI* según muestra la Figura 10. Entre varios usos, este índice permite supervisar variaciones de la cobertura vegetal verde durante el crecimiento del cultivo (Gutiérrez et al., 2011).



Figura 10. Forma de medición y fórmula para la determinación de *NDVI*. (Gutierrez et al., 2011)

RED ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) es la radiación roja incidente sobre la superficie vegetal y NIR ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) es la radiación infrarroja cercana reflejada por ella. El *GreenSeeker* utiliza diodos que emiten la luz con base en la cual se calcula el *NDVI*. La luz incidente natural es separada de la producida por el instrumento electrónicamente. Una señal de voltaje permite cuantificar las fracciones de NIR y RED provenientes de los diodos.

3.2.4 Biomasa aérea en R5

Se tomaron muestras de plantas en 1 metro lineal por genotipo (en total 31 muestras) que fueron llevadas al laboratorio de la Facultad de Ciencias Veterinarias de la Universidad Nacional de Asunción (UNA) para obtener materia seca a 60° C. Dado que este servicio de secado es restringido y arancelado, no se incluyeron las repeticiones por genotipo, para la muestra se tomaron plantas de cada repetición y se juntaron como una sola muestra por genotipo.

3.2.5 Altura de planta y altura de inserción de la primera vaina

Medición de altura total y primera vaina (despeje) desde el suelo en las plantas previo a la cosecha mediante el uso de una cinta métrica.

3.2.6 Rendimiento en grano

A madurez, se trillaron 12 metros lineales de cada unidad experimental, de los surcos centrales de cada parcela (equivalentes a 5,4 m² de área). Se determinó la humedad de los grano con humedímetro y se pesó en una balanza de precisión. El rendimiento (peso de granos por unidad de área) ajustado al 13,5% de humedad se obtuvo multiplicando el peso por el coeficiente de corrección, obtenido con la siguiente fórmula:

$$\text{Coeficiente de corrección al 13,5\%} = (100 - H) / (100 - 13,5)$$

donde H= es la humedad dada por el humedímetro de granos

3.2.7 Ramas y vainas por planta

Se seleccionaron 10 plantas por unidad experimental y se contaron cuantas ramas tenía cada planta, luego se sacó un promedio de ramas por planta. Se contaron la cantidad total de vainas de cada planta, luego se realizó un promedio

3.2.8 Peso de 100 semillas

Se determina la humedad de las semillas, luego se seleccionan al azar 100 semillas, y se pesaron en una balanza de precisión.

3.2.9 Proteína y aceite

Se realizó la medición indirecta a través de la reflectancia en el infrarrojo cercano (Near-InfraRed - NIR) para cada muestra de 500 g por genotipo, usando el equipo Infratec TM1241 (Foss Analytics).

3.3. Diseño experimental y análisis de los datos

Las líneas se aleatorizaron en un diseño en bloques completamente aleatorizado (DBCA) con 3 repeticiones. La unidad experimental fue la parcela de 8 x 2 m. Los datos se analizaron mediante estadística descriptiva y la diferencia entre medias se determinó mediante análisis de varianza y prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5%. La correlación entre los componentes del rendimiento se analizó mediante el Análisis de Correlación de Pearson con una significancia del 5%. Se utilizó el programa estadístico Infostat (www.infostat.com.ar).

4. Resultados y discusión

4.1. Fenología y condiciones ambientales exploradas

La temporada 2019 fue calurosa y extremadamente húmeda (Tabla 4). Las lluvias del mes de enero retrasaron la siembra (19/1/19) y las lluvias torrenciales de marzo y abril anegaron toda la región durante varios días desde el muestreo del 20 de marzo hasta la cosecha, las variedades de GM VII y VIII se encontraban en el estadio fenológico R2, mientras que las variedades de GM VI se encontraban en R3. En un año usual la precipitación es de 900 mm anuales, distribuidos principalmente en los meses de enero (137,5 mm), febrero (112,5 mm), marzo (137,5 mm), abril (87,5 mm) y mayo (62,5 mm). En los meses de marzo y abril hubo una precipitación dos veces mayor a la normal, por lo que se acumuló agua sobre la superficie del suelo (Fotografía 1).

Tabla 4. Características ambientales de 2019 en Loma Plata (Boquerón, Paraguay)

	Enero-19	Febrero-19	Marzo-19	Abril-19	Mayo-19
Fotoperiodo promedio (h)	13,2	12,8	11,8	11,5	11,0
Temperatura mínima (°C)	23	23	21	20	17
Temperatura máxima (°C)	37	35	31	30	26
Precipitaciones (mm)	91	93	278	178	66



Fotografía 1. Vista general de las parcelas de soja evaluadas en Loma Plata (Boquerón, Paraguay) y condición de anegamiento por excesivas lluvias en marzo 2019.

Se observó variabilidad en la fenología de los genotipos evaluados y se correlaciona con los GM de cada genotipo (Figura 11). La etapa siembra-floración (S-R1) varió entre 30-50 días, con R1 desde 18/2/19 (líneas precoces) hasta 10/3/19 (extensas). La etapa floración-

madurez (R1-R8) varió entre 56-70 días, y el ciclo total (S-R8) varió entre 96 y 115 días, finalizando entre el 25/4/19 al 14/5/19.

Se observaron 4 testigos comerciales precoces (30 días a R1 y 96 días a R8) y dos testigos de ciclo más extendido (T5 y T6). Las líneas 25 y 27 resultaron las de mayor ciclo, con 50 días a R1 y 115 días a R8, superando en una semana a los testigos más largos. Estas líneas de ciclo más largo posiblemente tengan mayor sensibilidad al fotoperiodo y/o menor fotoperiodo umbral, lo cual se asocia a la presencia de distintos genes de madurez (Cober et al. 2014).

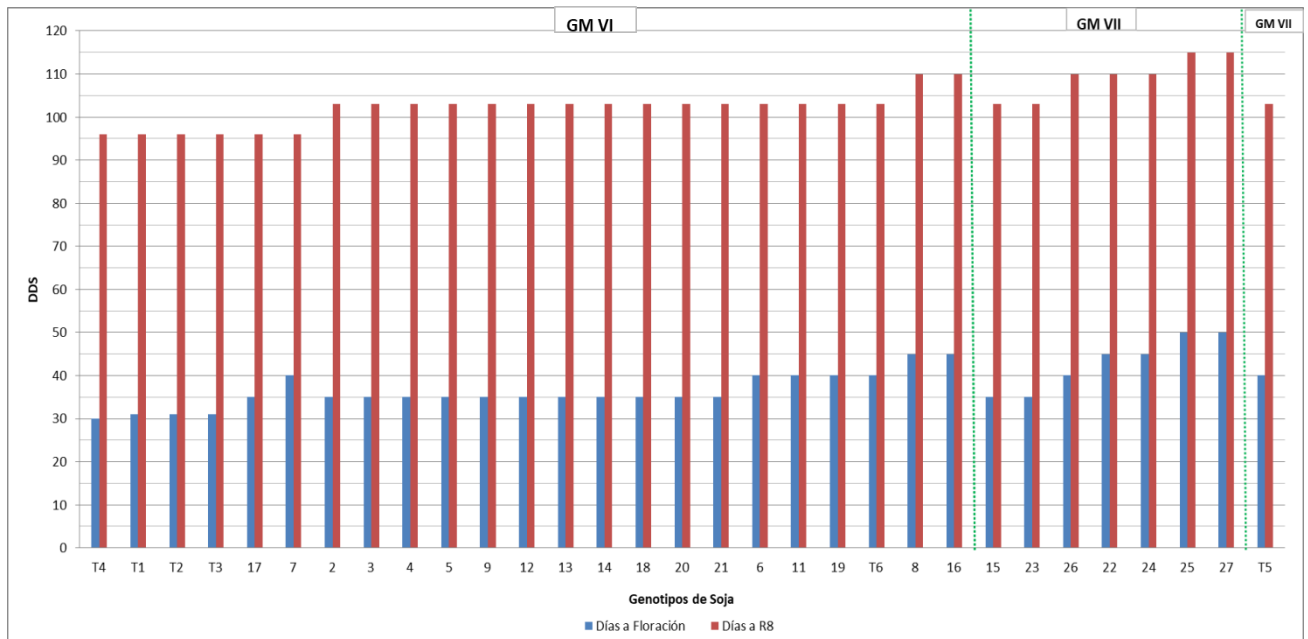


Figura 11. Fenología: Días después de la siembra (DDS) a R1 (Floración) y a R8 (Madurez) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Las líneas verdes punteadas dividen a los genotipos según su grupo de maduración (GM)

4.2. Rendimiento en grano en líneas experimentales de soja

El rendimiento en grano (expresado al 13,5 % de humedad) se ubicó en el rango de 800 a 1600 kg/ha (Figura 12). Estos valores resultaron bajos, asociados a las condiciones climáticas que retrasaron la fecha de siembra y causaron anegamiento en las etapas post-floración. También se observó variabilidad en el rinde entre parcelas del mismo genotipo, asociado a condiciones edáficas y del micro relieve. Pese a la baja productividad (asociada al año y la parcela) el rendimiento varió significativamente ($p < 0,0001$) entre líneas. Las líneas

19, 22 y el testigo T4 tuvieron los menores rindes (800 kg/ha) mientras que las líneas 23, 9, 13, 6 y 25 fueron competitivas, sin diferencias contra los mejores testigos (T6 y T5).

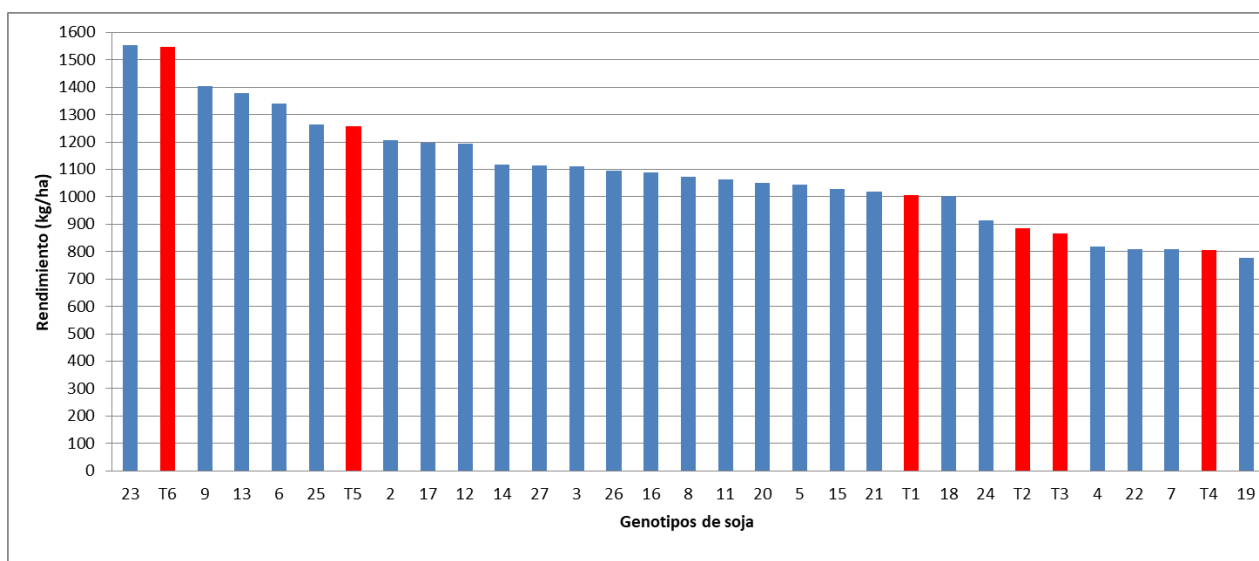


Figura 12. Rendimiento en grano (13,5% humedad) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Cada punto es el promedio de 3 parcelas. Las columnas rojas indican a los testigos comerciales.

El rendimiento en grano no se asoció con el ciclo (Figura 13) aunque fue más probable superar el rinde promedio de los 6 testigos (1060 kg/ha, línea punteada en Figura 13) con 35-40 días a R1 y 103 días a R8. Las bases funcionales de ello deberán ser analizadas en un mayor número de años, localidades y fechas de siembra (incluyendo fechas más tempranas que la evaluada aquí), para confirmar que efectivamente esta duración de ciclo optimiza el rendimiento de soja en el Chaco paraguayo (Kantolic y Slafer, 2001).

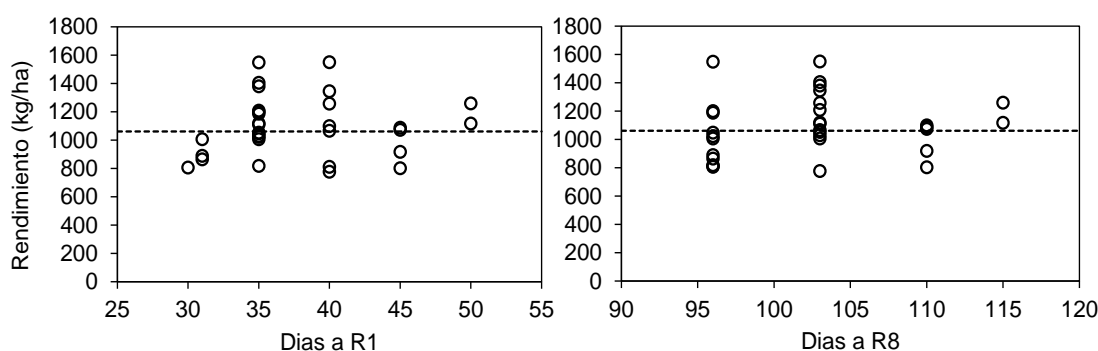


Figura 13. Rendimiento en grano (13,5% humedad) y fenología (R1= Floración, R8= Madurez) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). La línea punteada= indica el rinde promedio de los 6 testigos comerciales (1060 kg/ha).

Los rendimientos de soja registrados en años anteriores en las parcelas experimentales de la Cooperativa Chortitzer varían de acuerdo a las condiciones climáticas que se presentan en la zafra. En la zafra 2017/2018 se obtuvo el menor promedio de rinde en los ensayos, llegando solamente a los 1587 kg/ha, a causa de una fuerte sequía en periodo crítico. Sin embargo, hubo años, como la zafra 2014/15, donde se lograron en promedio 3242 kg/ha, lo cual demuestra que existe un potencial interesante para apostar por la soja en esa zona.

En la zafra 2018/19 en siembra del 15 de enero del 2019 el rinde de soja se ubicó en el rango de 1432 kg/ha a 443 kg/ha, con un promedio de 960 kg/ha. Claramente, el exceso de lluvia en marzo y abril de 2019 (Tabla 3) fue un factor negativo que afectó el comportamiento de las líneas y de los testigos comerciales. Los ensayos de la cooperativa son sembrados en 3 tipos de suelos: regosol, cambisol y luvisol, en los cuales en años donde la precipitación es mucho mayor a lo normal los cambisoles y luvisoles no pueden infiltrar con tanta rapidez el agua a causa de un gran porcentaje de limo y arcilla en los primeros horizontes del suelo. En contraste, los regosoles tienen una textura más arenosa lo cual permite una mayor infiltración del agua de lluvia, y los ensayos de la cooperativa donde hubo mayores promedios de rendimiento en 2019 se encontraban en regosoles. Esa heterogeneidad de suelo tan característica de esa región, así como también las precipitaciones tan variables entre parcelas vecinas hacen que el Chaco central sea una región con rendimientos de soja muy diferentes en un mismo año.

A nivel regional, los rendimientos de ensayos de variedades comerciales adaptadas a la región de Loma Plata en la zafra 2017/2018 dieron como promedio 2369 kg/ha, considerando fechas de siembra temprana (27 de diciembre), normal (15 de diciembre) y tardía (6 de febrero), sembrado en una parcela con buena permeabilidad del suelo. Mientras tanto en los ensayos de la Cooperativa Fernheim, distante a unos 50 km al noroeste de estos ensayos, en la zafra 2018/19 se obtuvo en promedio 1110 kg/ha y en la zafra 2017/18 en promedio 2342 kg/ha.

La región de Loma Plata cuenta con características edafo-climáticas similares con algunas regiones de la misma latitud o ecorregión. Por ejemplo, con el noreste de la provincia de Salta – Argentina tiene similar fotoperiodo y temperatura. Comparativamente, la localidad de Embarcación, en Salta (23°13'S, 64°06'O) en la zafra 2018/19 obtuvo un promedio de rinde de 4446 kg/ha (RECSO 2018/19). En Mosconi (22°36'S, 63°49'O) se obtuvo 3282 kg/ha en la zafra 2017/18 y en Ballivián (22°56'S, 63°52'O) se obtuvieron 3057 kg/ha (EEAOC, 2019).

Con el Departamento de Santa Cruz – Bolivia, Boquerón comparte la ecorregión del Chaco, cuyos suelos son muy similares, ricos en nutrientes, la diferencia estaría en el régimen de precipitación que es mayor en Santa Cruz, aquí en la zafra 2015/16 como promedio se registró 2140 kg/ha y en la zafra 2016/17 se registró 2580 kg/ha (ANAPO, 2016). El estado de Mato Grosso do Sul – Brasil cuenta con localidades con latitudes similares a Loma Plata. Allí también la diferencia está en el régimen de lluvias (cantidad y momento) y el tipo de suelo, mientras que la temperatura y horas luz son muy parecidas. En la localidad de Dourados (22°13'S, 54°48'O) en la zafra 2018/19 en promedio se registró 3972 kg/ha de soja, en Bonito (21°07'S, 56°28'O) fue de 4518 kg/ha y en Antonio Joao (22°12'S, 55°56'O) se llegó a 4380 kg/ha (Fundacao MS, 2021). Estos valores muestran el potencial de rendimiento de la zona, con variedades comerciales adaptadas y buen manejo agronómico.

4.3. Cobertura, NDVI y biomasa en etapas reproductivas en líneas experimentales de soja

Se ha determinado que parte de la ganancia genética en soja está asociada a mejoras en el aumento de la intercepción de la radiación solar (Koester et al., 2014). El desarrollo del área foliar permite aumentar la cobertura del suelo y la eficiencia de intercepción de la radiación, lo cual influye en la cantidad de radiación fotosintéticamente activa (RFA) interceptada y la acumulación de materia seca en los cultivos. Por ello, en este ensayo se analizó la cobertura del suelo en R1 y R5 (Figura 14), considerando que estos estadios fenológicos abarcan el período crítico para la definición del rendimiento en soja.

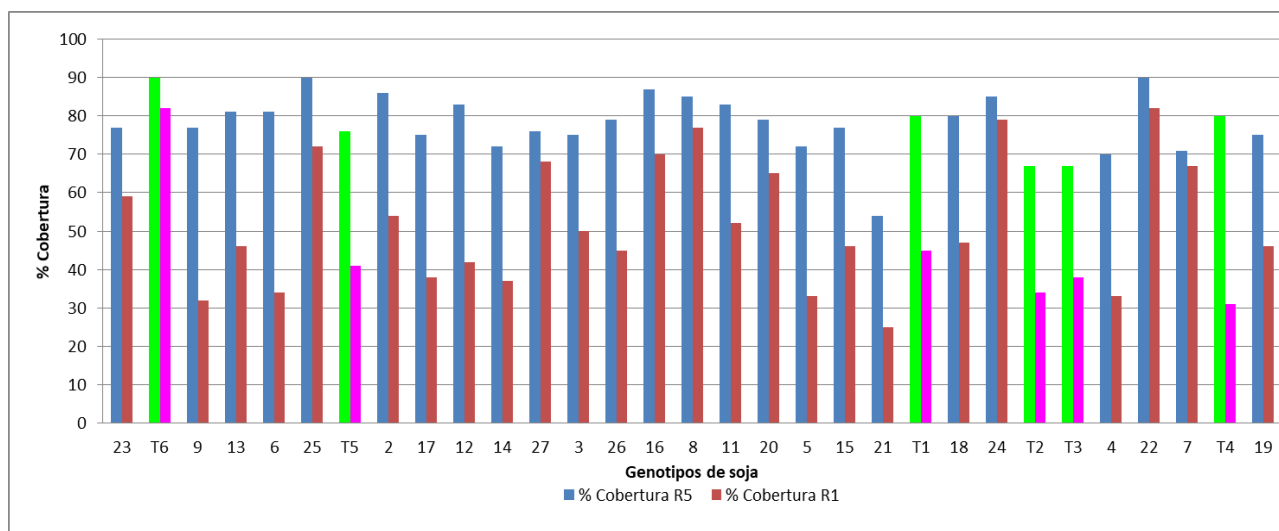


Figura 14. Nivel de cobertura del cultivo (% de superficie) en dos momentos fenológicos (R1= Floración, R5= inicio de llenado de granos) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). El nivel de cobertura de los testigos en R5 y R1 están en color verde y rosa respectivamente.

En R1 se observó una importante variabilidad en el nivel de cobertura entre los genotipos evaluados, con todas las líneas superando valores de cobertura del 30%, a excepción de la línea 21 (Figura 15). Los mayores valores de cobertura en R1 fueron del 80%, en el testigo comercial T6 y las líneas 24 y 22. En R5, la variabilidad entre genotipos fue menor, promediando un valor de cobertura del 80% (Figura 15). La línea 21 tuvo un excepcionalmente bajo valor de cobertura en R5 (no alcanzó el 60%) asociado al poco crecimiento por anegamiento. Los porcentajes de cobertura de canopeo más elevados (90%) en R5 se dieron en los genotipos T6, 25 y 22.

Uno de los objetivos productivos es lograr el canopeo cerrado (95% de intercepción de la radiación solar incidente, con un índice de área foliar cercano a 4) en plena floración (Rizzo, 2000). En este experimento ninguno de los cultivares pudo llegar a ese valor en floración, solo se acercaron 3 genotipos pero ya en R5. Esto podría deberse al retraso en la fecha de siembra y al estrés que sufrieron las plantas por la inundación del terreno por las lluvias, durando el anegamiento varios días.

Las diferencias (delta) en el porcentaje de cobertura entre R1 y R5 indican el aumento del área foliar que ocurrió en este periodo crítico para la definición del rendimiento. Estos valores se ubicaron en el rango de 25 a 90 puntos porcentuales, con extremos de gran

aumento de la cobertura en la línea 9 (de 32% a 77%, delta 45%) y escaso aumento en las líneas 24 (de 79% a 85%, delta 6%) y línea 22 (de 82% a 90%, delta 8%) que ya tenían elevada cobertura en R1. En la línea 7 no hubo prácticamente aumento de cobertura (71-67=4). Dado que durante el periodo de R1 a R5 muchos genotipos permanecieron anegados por las extraordinarias lluvias, las diferencias en el aumento de la cobertura entre R1 y R5 pueden deberse a la diferente capacidad que tiene cada genotipo para tolerar las situaciones de inundación en el periodo crítico. En este sentido, la línea 9 resulta interesante para confirmar su capacidad de crecimiento foliar en anegamiento. Además de la capacidad de la planta de tolerar el anegamiento, es necesario evaluar la capacidad de los rizobios de sobrevivir al anegamiento en etapas reproductivas, lo cual podría sostener la provisión de nitrógeno para el crecimiento foliar.

Se analizó la posible asociación entre el rendimiento en grano y el incremento de la cobertura entre R1 y R5 (como aproximación al crecimiento del cultivo en el período crítico), sin observar una asociación clara ($R^2=0.0046$) (Figura 15).

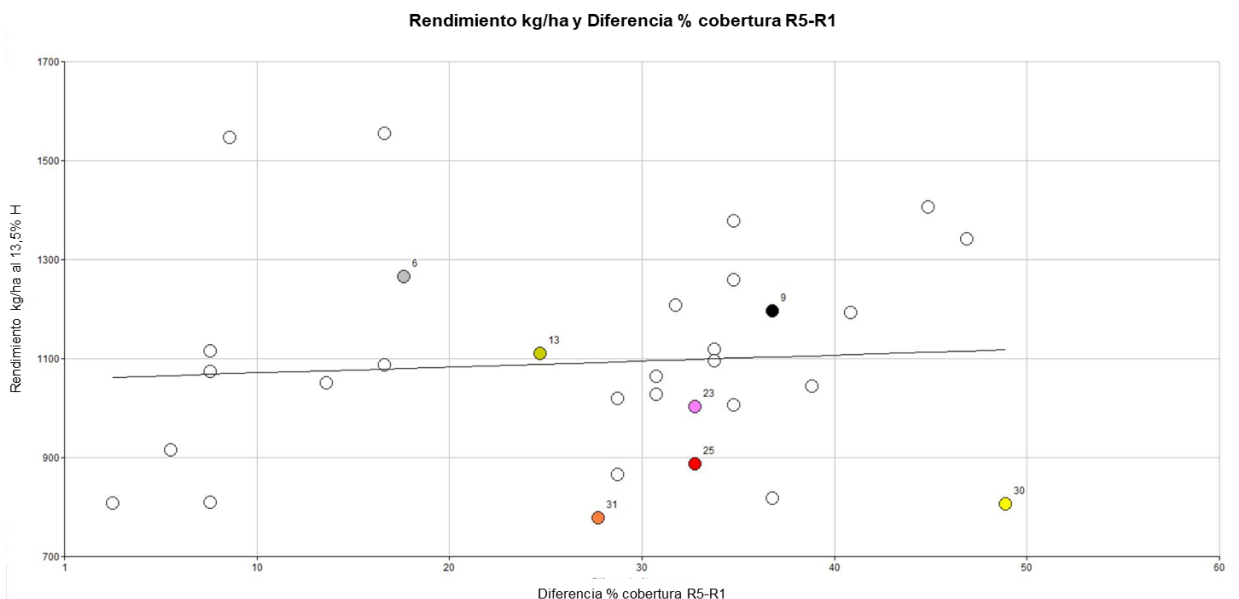


Figura 15. Rendimiento en grano (13,5% humedad) en función del cambio en la cobertura entre R1 y R5 en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). En color se indican los Testigos comerciales. Cada punto es el promedio de 3 repeticiones. $R^2=0.0046$

El NDVI permite, mediante el espectro de luz que emite el canopeo, estimar la cobertura y el verdor de la cubierta vegetal, el cual tiene influencia sobre la eficiencia de conversión de la radiación interceptada en biomasa, o sea, la EUR. Este índice se midió en el

estadio de R5, al final del periodo crítico (Figura 16). Los valores de NDVI en R5 variaron entre 0.90 y 0.80. Son excepciones los tratamientos T2, 7 y 21. La línea 7 tuvo notoriamente inferior NDVI, con un 70% de cobertura (ver Figura 18) demostrando una fuerte senescencia foliar y una baja tolerancia al stress por anegamiento.

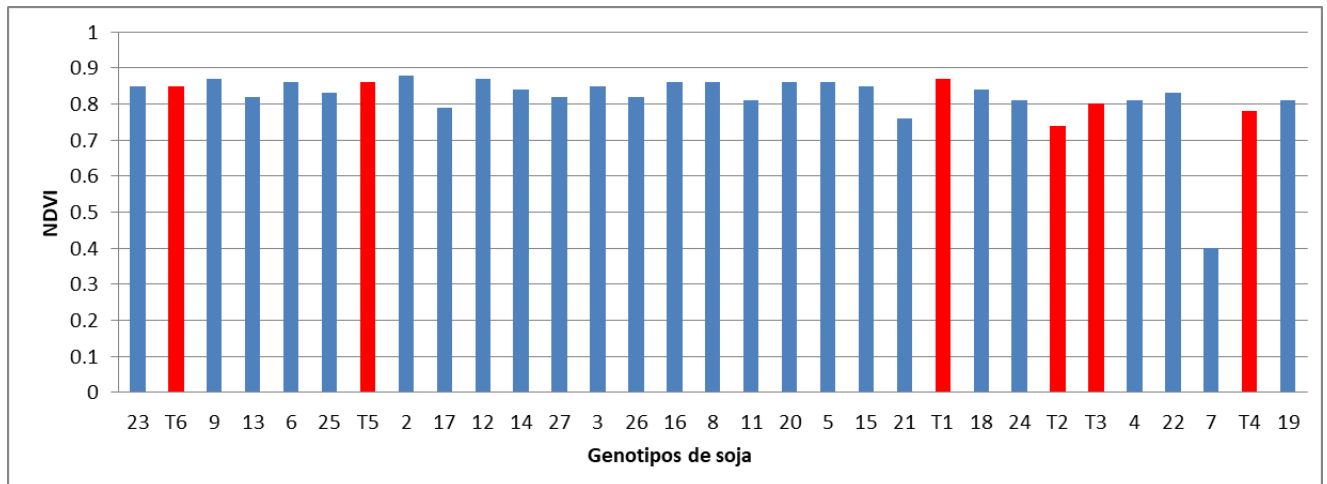


Figura 16. Valores del índice de vegetación de la diferencia normalizado (NDVI) medidos en R5 en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Las columnas en rojo corresponden a los testigos comerciales.

Cuando se comparan los valores de NDVI observados con la bibliografía, fueron muy similares a los valores de NDVI en soja en el estadio R5 en Londrina, Paraná – Brasil (23°18'36"S, 51°09'46"O) los cuales rondaban los 0.88 en la zafra 2012/13 (Crusiol et al., 2013). En este estudio hubo una estabilización del NDVI desde R2 a R6. También concuerdan con los resultados de Della Justina (2014) en Cascavel, Paraná – Brasil (24° 57' 20.99" S 53° 27' 19.01" O) (alrededor de 0.85) y de Morlin (2018) quien obtuvo valores NDVI promedios de 0.86 en R4 en Jaboticabal, San Pablo – Brasil (21° 15' 19" S 48° 19' 21" O). En Paraguay, en la campaña 2020/2021 se informaron valores bajos de NDVI (0.45) asociados a fallas en la siembra y deficiente crecimiento del cultivo (Baranski, 2021).

Una de las críticas al NDVI es que se satura y pierde poder de discriminación cuando se cierra el canopeo. Por eso, en este experimento se midieron ambas variables, cobertura y NDVI, en R5. Como se mencionó arriba, los valores de cobertura en R5 promediaron 80%, y no se observó una clara relación entre la cobertura y el NDVI. Esto puede observarse en el genotipo 21, que tuvo baja cobertura y alto NDVI, y en el mencionado genotipo 7, que tuvo

bajo NDVI con 70% de cobertura. Se han propuesto mejoras en la medición del NDVI (Ovado et al., 2016), complementándolo con reflectancias en el verde como el índice de cociente (SR) y el índice de la diferencia verde normalizada (GNDVI) y también con otros índices de verdor (SPAD, etc). Cuando el NDVI en R5 se asoció con el rendimiento en grano (Figura 17) se observó que existen líneas experimentales que con igual NDVI que otras tienen un rendimiento superior, por ejemplo, el tratamiento 9 y el testigo 1, donde el tratamiento 9 tuvo un rendimiento de 1196 kg/ha y el T1 con 1006 kg/ha, ambos con NDVI de 0.87. Sin embargo, existen casos en donde los testigos con igual NDVI que las líneas experimentales tuvieron un rendimiento superior, por ejemplo, el T5 (1258 kg/ha) comparando con los tratamientos 8 (1073 kg/ha) y 16 (1080 kg/ha), todos ellos con 0.86 de NDVI. En el mismo sentido, el T6 (1547 kg/ha) y la línea 23 (1555 kg/ha) obtuvieron entre 400 a 500 kg más que las líneas 3 (1110 kg/ha) y 15 (1027 kg/ha), todas con NDVI 0.85. Los demás testigos (T3, T4 y T5) se ubicaron entre los de peor rendimiento (865 kg/ha, 806 kg/ha y 886 kg/ha respectivamente) y también con NDVI bajos (0.80, 0.78 y 0.74 respectivamente) (Figura17).

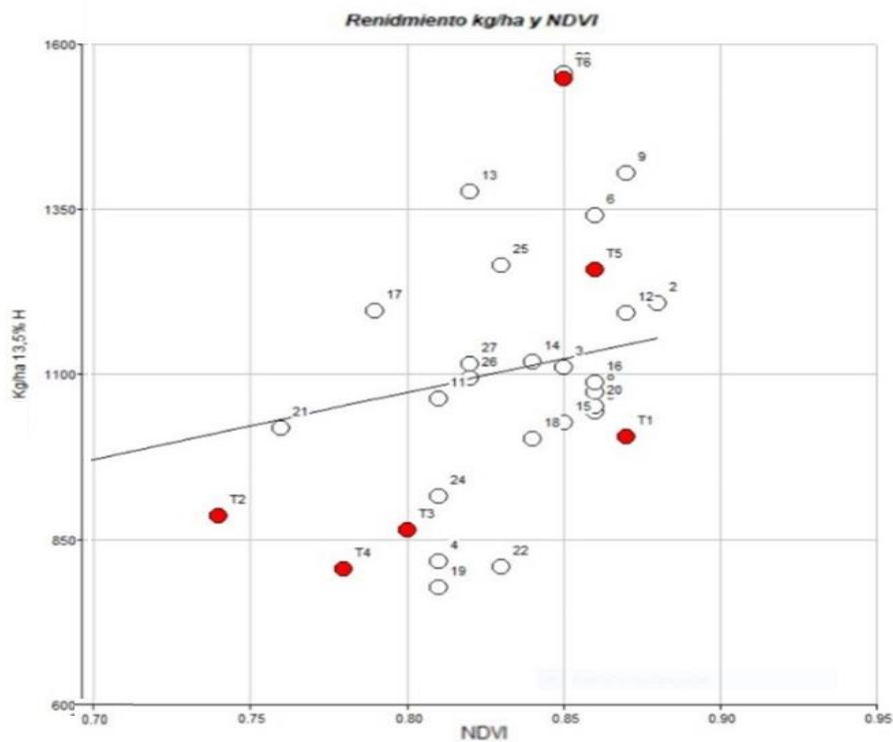


Figura 17. Rendimiento en grano (13,5% humedad) en función del NDVI en R5 en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). En rojo los testigos comerciales y en blanco las líneas experimentales. La línea 7 es un outlier muy afectado por el anegamiento.

Está bien determinado que el rendimiento de soja se asocia positivamente con la tasa de crecimiento del cultivo en el periodo crítico (Kantolic, 2004) y trabajos recientes han mostrado una fuerte relación entre el número de semillas, la tasa de crecimiento durante el período crítico R1-R5 y la biomasa reproductiva en R5 (Masino et al., 2018). Por ello, se analizó la biomasa seca en R5 mediante muestreos destructivos en los genotipos de soja estudiados. La biomasa seca aérea en R5 varió de 16600 kg/ha y 5800 kg/ha (Figura 18). Los genotipos 23 y 6 tuvieron altos valores de biomasa aérea (16600 kg/ha y 15000 kg/ha respectivamente) y se encuentran entre los genotipos de mayor rendimiento en grano. El genotipo 19 es el de menor rendimiento en grano y también es el que tiene menor biomasa aérea por ha (5800 kg/ha).

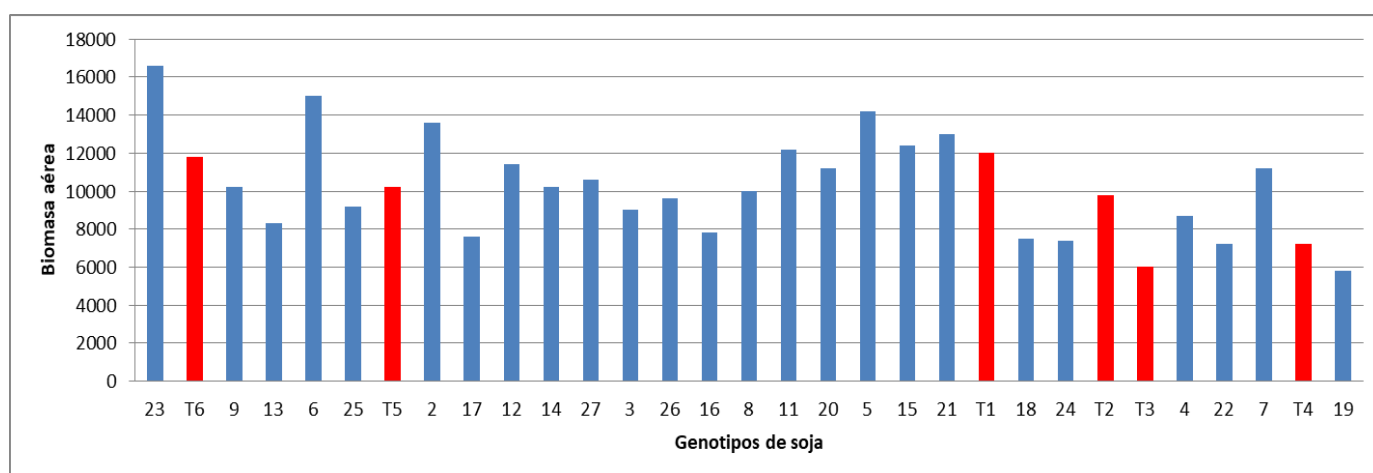


Figura 18. Biomasa seca aérea en R5 (kg/ha) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Las columnas en rojo corresponden a los testigos comerciales.

La biomasa de soja en R5 en el CNEA de Ezeiza, Argentina (34°50'52.33 S ; 58°31'43.28"O;) en la zafra 2002/03, en un sistema de siembra directa (al igual que en este experimento) fue de 9000 kg/ha (Barrios, 2014), bastante similar al promedio de este experimento (10222 kg/ha). Sin embargo, estos valores son relativamente bajos comparados con los experimentos de Díaz (2009), que en Paraná - Argentina (31° 43' 59" S; 60° 31' 48" O) en la zafra 2006/07 obtuvo 10000 kg/ha de materia seca, disminuyendo en la zafra 2007/08 a sólo 7500 kg/ha de materia seca de soja debido a menores precipitaciones durante el ciclo del cultivo. Si la biomasa a R5 se expresa por planta, en el ensayo se observan valores de 162 a 499 g/planta, los cuales son muy superiores al rango de 30 a 50 g/planta observados en ensayos en Rosario, Argentina (33°01'S, 60°53'O) por Masino et al (2018) como se muestra en la Figura 9 de la Introducción. A pesar de que en los ensayos de la literatura se

utilizaron grupos de madurez más bajos (GM III a V), su duración de ciclo fue comparable con los observados en esta tesis en el Chaco central paraguayo, con 30 días a R1 y 90-120 días a R8 (ver Figura 11). Cabe mencionar que los valores de biomasa en esta tesis fueron medidos sobre un número limitado de plantas por genotipo y sin repeticiones (debido al costo de secada en la UNA) por lo cual, estas mediciones deberán repetirse en nuevos ensayos, con mayor robustez.

4.4. Estructura de plantas y componentes del rendimiento en líneas experimentales de soja

A cosecha se determinaron características estructurales de las líneas experimentales de soja estudiadas, midiendo la altura, el despeje y el número de ramas por planta. También se determinó la densidad de plantas a cosecha (Tabla 5).

La densidad de plantas final varió de 9 a 13 plantas/m². Los valores en altura variaron de 79 a 52 cm, con un promedio de 66 cm, y los de altura del despeje 19 a 11 cm con un promedio de 13 cm. Los valores de altura de planta fueron interesantes considerando que una soja con una densidad normal en esta región (de 20 a 24 plantas/m²) obtienen alturas promedio muy similares a la de este experimento. Considerando una densidad final muy baja (12 plantas/m²) una altura de 66 cm promedio indica el buen desarrollo vegetativo, y cabe resaltar que la etapa vegetativa no estuvo afectada por el exceso de agua, no así el periodo reproductivo.

Tabla 5. Resumen de valores de altura de planta, despeje y densidad final de plantas a cosecha en líneas de soja evaluadas en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo)

	Altura (cm)	Despeje (cm)	Densidad final (pl/m ²)
Mínimo	52	11	9
Máximo	79	19	13
Promedio	66	13	12

La mayoría de los genotipos contó con un número de ramas que oscila entre 9 y 3 ramas por planta (Figura 19) lo que multiplicado por la densidad de plantas equivale a 400 mil y 800 mil ramas por ha. La línea 8 con tuvo la mayor cantidad de ramas por planta con 9 ramas y las líneas con menores ramas (3 ramas por planta) fueron las líneas 4, 5, 17 y 21. (Figura 20).

Generalmente estas variedades en años normales superan las 5 ramas por planta (equivalente a un millón y medio de ramas por ha, con densidades de 30 plantas por m²), ya que estas líneas se caracterizan por una alta capacidad para ramificar. Un ensayo realizado por Berden Prates y Rabery (2008) en San Lorenzo, Paraguay (25°20'22"S, 57°30'31"O) en el año 2007/08, en variedades de soja comerciales sembradas a una densidad de 30 plantas por m² obtuvo 5,21 ramas por planta, levemente superior al de este experimento.

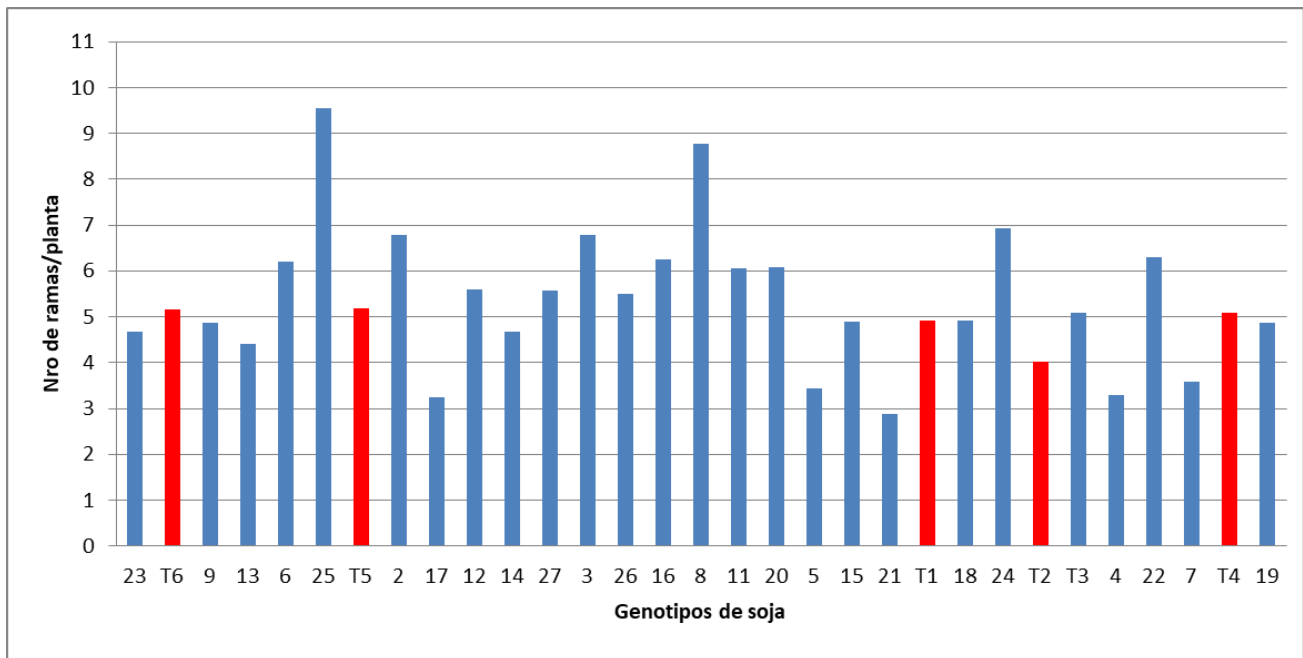


Figura 19. Número de ramas por planta en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Las columnas en rojo corresponden a los testigos comerciales.

Se analizaron los componentes numéricos del rendimiento, a través del número de vainas y granos por unidad de superficie, y el peso promedio de 100 granos. Respecto al número de vainas, la mayoría de los genotipos obtuvieron entre 400 a 600 de vainas por metro cuadrado (m²) (Figura 20) lo que equivale a 18 a 27 vainas por planta aproximadamente. El genotipo 7 tuvo menos de 400 vainas por m², mientras que los genotipos T6, 2, 14, 3, 26, 8, 20, 24, T2, 12 superaron las 600 vainas por m² (Figura 22). El máximo número de vainas por ha lo obtuvo la línea 20, con 1000 vainas por m², lo que equivale a 45 vainas por planta. Estos valores resultan inferiores a los obtenidos por Berden Prates y Rabery (2008) en Paraguay, que superaron las 1200 vainas por m² y a los obtenidos en INTA Rio Primero, donde obtuvieron 1300 vainas por m², en los cuales se obtuvieron rendimientos en grano ampliamente superiores a los de este experimento.

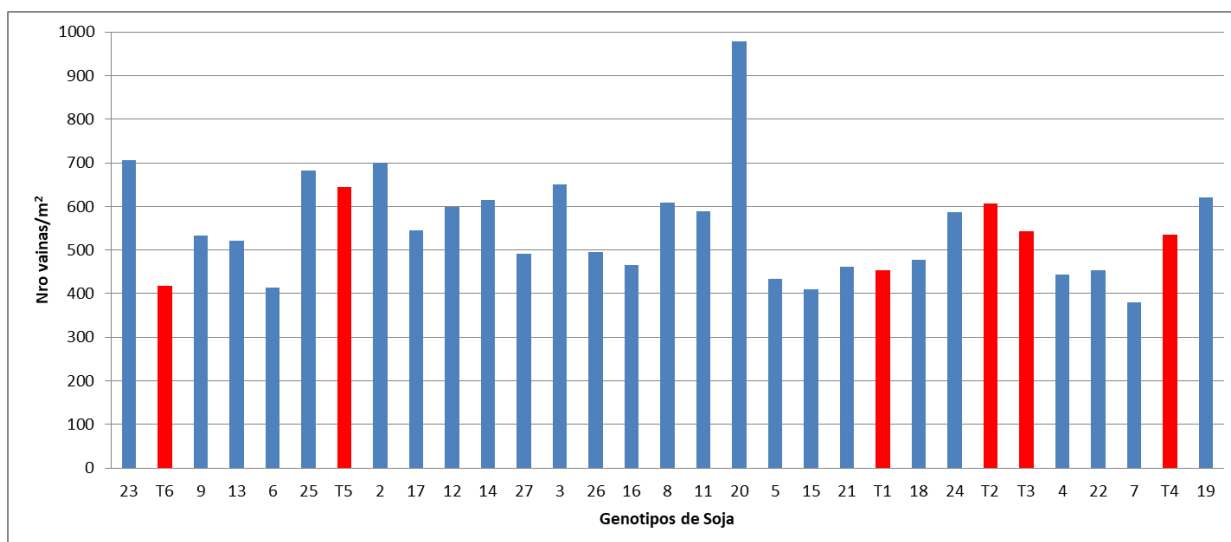


Figura 20. Número de vainas por m² en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Las columnas en rojo corresponden a los testigos comerciales.

El número de granos por unidad de superficie se ubicó mayormente entre los 900 y 1300 granos por m² (Figura 21). Los genotipos que superaron 1300 granos por m² fueron las líneas 9, 13, 27, 20 y 24, mientras que los que no alcanzaron los 900 granos por m² fueron T5, 4, 22, 7 y 19 (Figura 21). Comparando con la bibliografía, en INTA Rio Primero se obtuvo un promedio de 1900 granos por m², ampliamente superior a los promedios de este experimento. En cambio, Berden Prates y Rabery (2008) en Paraguay obtuvieron en promedio, valores comparables al promedio de este experimento (106 granos por planta).

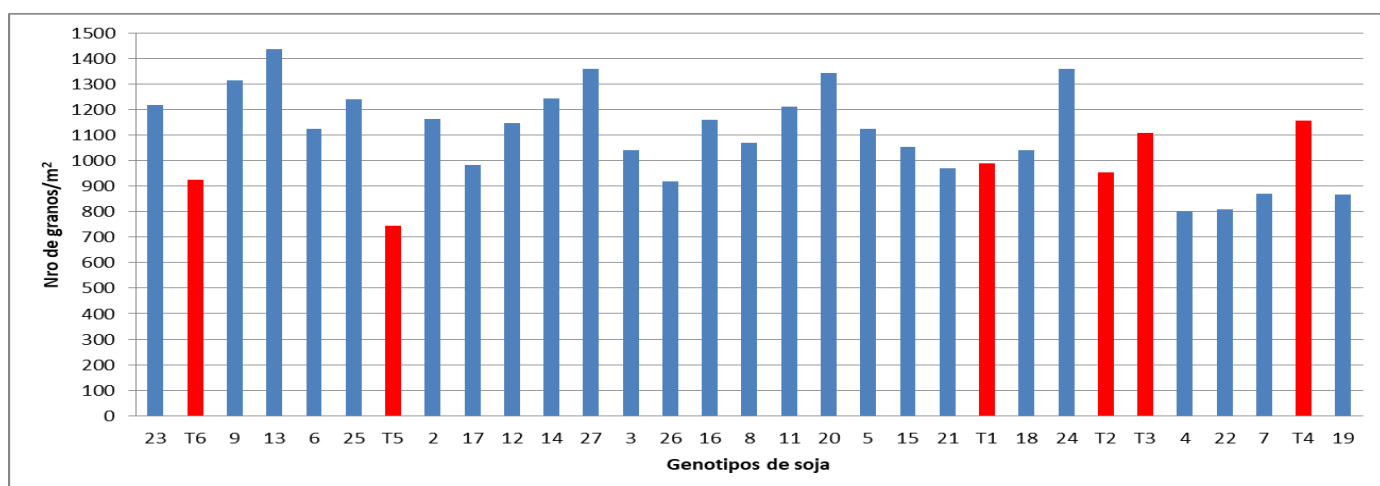


Figura 21. Número de granos por metro cuadrado (m²) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Las columnas en rojo corresponden a los testigos comerciales.

Al dividir el número de granos por hectárea por el número de vainas por hectárea, se puede estimar el número de granos por vaina. Estos valores se ubicaron en el rango de 3 a 1 granos por vaina, con los mayores valores en los genotipos 5, 6, 13, 15 y 27 con 3 granos por vaina. Este atributo es modificado en menor medida por el ambiente, comparado con el número de vainas y de granos. Por lo cual identificar genotipos con alto número de granos por vaina puede resultar de interés para el mejoramiento genético, especialmente para ambientes adversos (con anegamiento) como el experimentado en este ensayo.

Respecto al peso promedio de 100 granos, la gran mayoría de los genotipos osciló entre 9 y 11 gramos (Figura 22), con un promedio de 10 gramos. Estos valores resultaron más bajos que los normalmente alcanzados por estas líneas, que varían de 14 a 17 gramos en condiciones normales (ver Tabla 2). Las líneas T3, T6, 6, 17 y 23 obtuvieron los mayores pesos de 100 granos (> 11 gramos). Por otro lado, las líneas T4, 11 y 20 obtuvieron pesos de 100 granos < 9 gramos (Figura 23).

Para los ensayos de Berden y Rabery (2008) en Paraguay el peso promedio de 100 granos fue de 12,9 g, muy similar a lo alcanzado por el genotipo 23 (12,6 gramos). En los ensayos de la Cooperativa Chortitzer en los años anteriores se obtuvieron en promedio: año 2016 a nivel productor 13,2 gramos por 100 granos, año 2016 en los ensayos 14,17 gramos por 100 granos. En el año 2017 ensayos 11,2 gramos por 100 granos y en INBIO/Chortitzer año 2018 en ensayos 11,2 gramos por 100 granos. Cabe resaltar que algunas de las líneas de este experimento (6, 17 y 23) alcanzaron los promedios del ensayo de INBIO/Chortitzer.

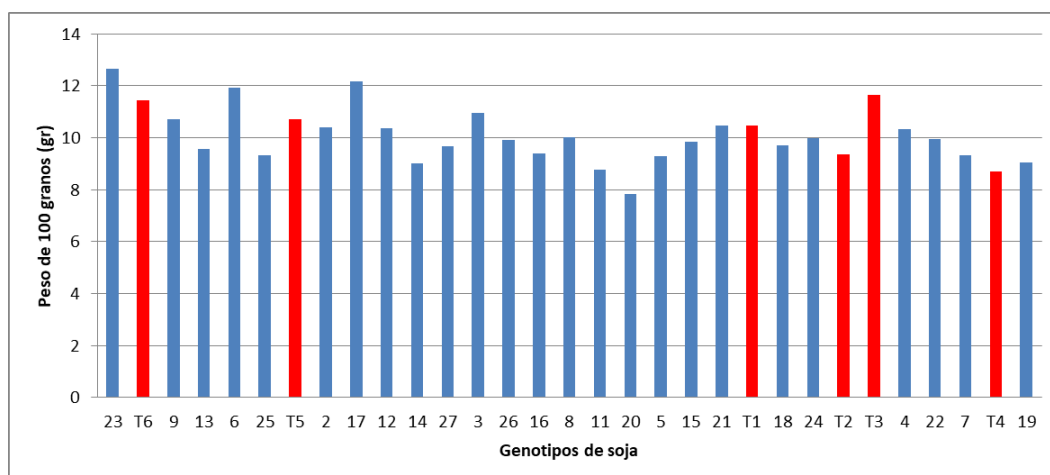


Figura 22. Peso de 100 granos (g) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Las columnas en rojo corresponden a los testigos comerciales.

Tal como se esperaba, el componente que más se asoció al rendimiento en grano fue el número de granos, como lo muestra el elevado coeficiente de correlación entre variables

(Tabla 6). Las principales variaciones en el rendimiento están asociadas al número de granos: el manejo y el mejoramiento deberían dar prioridad al control de los mecanismos que regulan el número de granos e identificar las situaciones en las que maximizar el peso de los granos resulte prioritario (Fernández, 2010). El rendimiento del cultivo de soja está fuertemente asociado al número de granos por unidad área (NG) y, en menor medida al peso de granos (P100). Sobre esta base se apoyan la mayoría de las metodologías de estimación de rendimiento (Guarino, 2017).

En un rango amplio de condiciones agronómicas, el número de granos es el componente que mejor explica las variaciones en la productividad del cultivo, cercano al 80% de la variación en el rendimiento está explicado por la modificación del número de granos, y alrededor del 30% por la variación del peso de granos (Toledo, 2018). En este ensayo, el 67% de la variabilidad del rinde se explicó por su asociación lineal con el número de granos.

Tabla 6. Coeficientes de correlación entre componentes del rendimiento en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo).

	Rendimiento en grano	Número de vainas	Número de granos	Peso de 100 granos
Rendimiento en grano	1	0,25	0,00	3,5E -03
Número de vainas	0,14	1	0,05	0,35
Número de granos	0,82	0,23	1	0,03
Peso de 100 granos	0,34	-0,11	-0,25	1

Al comparar entre sí las características de las cinco líneas experimentales de mayor rendimiento en este ensayo (Tabla 7) se puede observar que cada una de ellas alcanza elevado rendimiento a través de una combinación particular de atributos. Para la línea 23, de mayor rinde, se destaca la elevada biomasa a floración, el mayor número de vainas y peso de granos. Por otro lado, la línea 25 tuvo ciclo más largo, más ramas y vainas, pero menor peso de grano (Tabla 7).

Tabla 7. Comparación de atributos en las líneas de soja de mayor rendimiento evaluadas en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Las flechas y el signo igual indican valores mayores, menores o iguales al promedio de todas las líneas.

Línea	23	9	13	6	25
Días a R1	35	35	35	40	50
Días a R8	Entre 95 a 105				115
Cobertura a R5	>80%				90
Biomasa a R5	↑	=	↓	↑	=
Ramas por planta	5-6				9
Nro de Vainas	↑	=	=	↓	↑
Nro de Granos	=	↑	↑	=	=
Granos/vaina	=	=	↑	↑	=
Peso de 100 granos	↑	=	↓	↑	↓

4.5. Contenido de aceite y proteína

A diferencia de la variabilidad en los rendimientos, el contenido de aceite y proteína resultaron muy estables. La concentración de aceite en los granos tuvo valores entre 22,6 y 24,0 %, dentro de rango esperado en líneas de soja. En cambio, la concentración de proteína en los granos obtuvo valores anormalmente bajos para una leguminosa, entre 26,1 y 27,8 %.

Generalmente los valores de proteína en Paraguay son muy superiores (39,3% de proteína en el grano) para niveles de rendimiento en grano de 3000 kg/ha (Benavidez et al., 2007). La soja argentina se caracteriza por tener alto contenido de aceite y baja proteína. El contenido de proteína en soja de primera en una buena campaña (2016/2017) fue de 36 % y en la de segunda de 37,5 %. En general, cuando los factores ambientales son favorables y se establece un elevado rendimiento en grano, la concentración de proteína en los granos disminuye (efecto de dilución) y aumenta la concentración de aceite en los granos (Cuniberti, 2017).

En los genotipos ensayados en Loma Plata 2019, los rendimientos en grano fueron bajos y también resultaron bajos los valores de concentración de proteína y aceite, indicando que el exceso de lluvias en etapas reproductivas afectó el normal crecimiento de los granos y

la acumulación de reservas en ellos. Los bajos valores de peso de 100 granos alcanzados por los genotipos (ver Figura 23) apoyan la noción de un deficiente llenado de los granos (ya sea por acortamiento anticipado de la duración y/o por la reducción de la tasa de llenado).

Los días lluviosos provocan una reducción de la radiación incidente (a causa de la nubosidad) y reducción la capacidad fotosintética del cultivo. Esto es especialmente crítico en soja, un cultivo oleaginoso que produce una biomasa energéticamente costosa (aceite y proteína de los granos) y que está limitado por fuente tanto en el periodo crítico como en el llenado de granos (Borrás et al., 2004). También es posible hipotetizar un efecto negativo del anegamiento sobre la actividad nitrogenasa de los rizobios, lo cual afectaría la disponibilidad de nitrógeno en el momento de mayor demanda, que es el llenado de los granos.

A partir del análisis del contenido de aceite y de proteína de los granos y de los valores de rendimiento en grano, se calculó el rendimiento en aceite (kg de aceite por hectárea) y el rendimiento en proteína (kg de proteína por hectárea) expresados al 13,5% de humedad (Figura 23). Estos valores copiaron la curva de rendimiento en grano. Solo superaron los 400 kg de proteína/ha los genotipos T6 y 23. En aceite también estos tratamientos son los únicos que superan los 350 kg de aceite /ha, asociado a sus altos niveles de rendimiento en grano (ver Figura 25). De 300 a 400 kg/ha de proteína se encuentran los genotipos T5, 2, 6, 9, 12, 13, 17, 25 (Figura 24) y el resto obtuvo menos de 300 kg de proteína/ha. Con respecto al rendimiento en aceite, entre 350 kg/ha y 300 kg/ha se encuentran las líneas 6, 9, 13 y 25. Menor a 200 kg/ha de aceite los tratamientos T4, 4, 7, 19, 22. El resto de los genotipos los valores de aceite oscilan entre 300 kg/ha y 200 kg/ha.

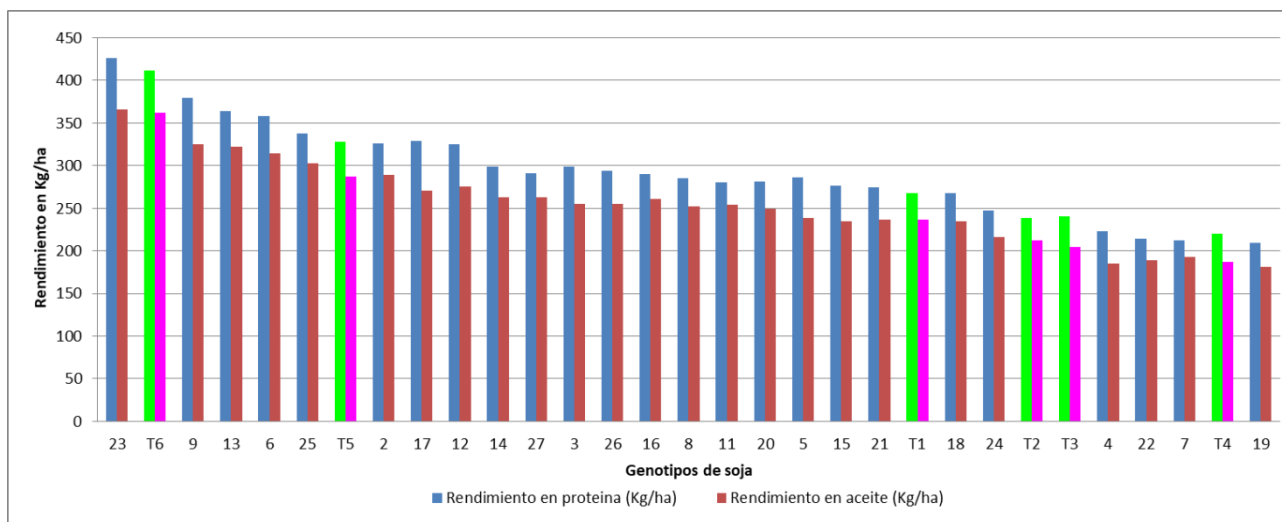


Figura 23. Rendimiento en proteína (kg de proteína/ha) y en aceite (kg de aceite/ha) en 25 líneas experimentales y 6 testigos comerciales de soja evaluados en Loma Plata, Boquerón (Chaco paraguayo). Las columnas en verde y rosa corresponden al rendimiento en kg/ha de proteína y aceite respectivamente de los testigos comerciales

5. Conclusiones

1) Existen líneas experimentales promisorias para el Chaco central paraguayo, con rendimientos competitivos respecto a las variedades comerciales, como las líneas 23, 9, 13, 6 y 25 que fueron competitivas, sin diferencias contra los mejores testigos comerciales (T6 y T5). Estos resultados preliminares deberán confirmarse en un mayor número de años y localidades del Chaco central paraguayo.

2) Las líneas, si bien obtuvieron bajos rendimientos, para el sistema de producción chaqueño puede generar una cierta ganancia, ya que el costo de producción es muy bajo. Además, son opciones para rotación de cultivos o pasturas en una ecorregión tan dinámica como el chaco. La rusticidad frente a diferentes situaciones tan extremas, como lo son el exceso hídrico o stress hídrico es una característica deseable para líneas y variedades que quieren posicionarse comercialmente en el chaco paraguayo.

3) El crecimiento vegetativo fue una característica para resaltar de estas líneas, la mayoría de las cuales, a pesar de las condiciones adversas, tuvieron una aceptable cobertura y alto NDVI en R5. La intercepción de la radiación en soja en este tipo de ambiente puede mejorar con una mayor densidad de siembra.

4) El aumento de cobertura entre R1 y R5 no resultó un índice asociado al rendimiento. Tampoco el NDVI en R5. Esto dificultaría la estimación indirecta de la tasa de crecimiento del cultivo en el periodo crítico de soja a través de mediciones rápidas y sencillas.

5) Las líneas de mayor productividad en condiciones de excesos hídricos, como la 23 con elevada biomasa a R5, número de vainas y peso de grano, podrían adaptarse a suelos con alta frecuencia de inundación (cambisoles, luvisoles). La línea tiene un ciclo muy acorde a lo que se utilizan los productores de soja en el chaco, fue uno de los mejores en los atributos vegetativos como biomasa y cobertura al compararla con las demás líneas y muy competitiva frente a los testigos comerciales ya introducidos en el chaco paraguayo. Ante las situaciones ambientales extremas como temperatura e inundación resistió y fue la que aprovechó con mayor eficiencia de los recursos del ambiente. Su utilidad en sistemas de rotación en los arrozales chaqueños podría ser un tema de interés para próximas investigaciones o suelos de los arrozales chaqueños.

6. Bibliografía

- Acosta, J; Braga, N. 1983. Avaliação de dez cultivares de soja pelo índice de colheita. Pesquisa Agropecuária Brasileira. v.18, n.3, mar. 1983. Consultado el 28 de junio de 2021. Disponible en <https://seer.sct.embrapa.br/index.php/pab/article/view/15201/9026>
- Anapo. 2016. Adaptación regional avanzada de 16 líneas y variedades de soja. Disponible en <https://www.anapobolivia.org/publicaciones.php?op=1&tipo=5&id=852>. Consultado el 4 de diciembre de 2019
- Andrade F., V. Sadras, C. Vega, and L. Echarte. 2005. Physiological determinants of crop growth and yield in maize, sunflower and soybean. Applications to crop management, modeling and breeding. J. Crop Improvement 14:51-101.
- Andrade, F; Sala, R; Pontaroli, A; León, A. 2009. Integration of biotechnology, plant breeding and crop physiology. Dealing with complex interactions from a physiological perspective. Chapter 11 in V. Sadras and D. Calderini (Eds). Crop Physiology. Applications for genetic Improvement and agronomy. Academic Press. Elsevier. Amsterdam. 581pp.
- Andrade F; Abbate, P; Otegui, M; Cirilo, A; Cerrudo, A. 2010. Ecophysiological basis for crop management. The Americas Journal of Plant Science & Biotechnology 4:23-34. ISSN 1752-3877. Consultado el 20 de marzo de 2020. Disponible en http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/32966/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Andrade, F. 2021. Los desafíos de la agricultura global. Disponible en: <https://intainforma.inta.gob.ar/los-desafios-de-la-agricultura-global/>
- Arce; Herken; Krauer; Ovando. 2011. La Economía del Paraguay entre 1940-2008: Crecimiento, Convergencia Regional e Incertidumbres. Centro de Análisis y Difusión

- de la Economía Paraguaya. Asunción. Consultado el 28 de junio del 2020 Disponible en: http://209.177.156.169/libreria_cm/archivos/pdf_43.pdf
- Baigorri, H; Scarafoni, R.; Masiero, B. 1995. Comportamiento de cultivares de grupos de madurez III al VII en 5 fechas de siembra entre octubre y febrero en Marcos Juárez. Parte 2: Crecimiento. 1° Congreso Nacional de Soja y 2° Reunión Nacional de Oleaginosas. Pergamino (Bs. As.). Tomo I: p. 214-221
- Baranski, D. 2021. Paraguay, optimizando el monitoreo del cultivo de soja Campaña 2020/21. Consultado el 28 de junio de 2021. Disponible en https://site.geoagro.com/casos_de_uso/validacion-a-campo-de-indices-verdes/
- Barboza, F.; Hoffmann, R; Netto, A. 1998. Tomo III Documentación Suelos. En: Proyecto Sistema ambiental del Chaco. Cooperación Técnica Paraguayo-Alemana. San Lorenzo, 1998. Consultado el 18 de diciembre de 2019 Disponible en: <http://www.geologiadelparaguay.com.py/PSAC-TomoIII.PDF>
- Barrios, M. 2014. Relación de raíz/biomasa total de Soja (*Glycine max*) en dos sistemas de labranza. *Terra Latinoamericana*, 32(3), 221-230. Consultado el 27 de junio de 2021 Disponible en http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792014000300221&lng=es&tlng=es
- Basile. 2017. Estudio de la interacción genotipo ambiente en ensayos de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] para la identificación de mega ambientes entre Argentina y Estados Unidos. Consultado el 16 de octubre del 2020. Disponible en <https://rephip.unr.edu.ar/handle/2133/14474>
- Benavidez, R.; Gonzalez, E; Fresoli, D; Santos, D; Soro, M . 2007. Evolución del contenido de proteína y aceite en grano de soja en Argentina entre las campañas 1999-2000 y 2005-2006. Prosoja. Revista Agromensajes de la Fac. de Agronomía de la UNR. Publicación cuatrimestral de la Facultad de Ciencias Agrarias UNR. Distribución gratuita ISSN: 16698584. U
- Berdén, J.; Rabery, S. 2013. ESPACIAMIENTO ENTRE HILERAS PARA VARIEDADES DE SOJA DE CICLO PRECOZ SPACING BETWEEN ROWS FOR EARLY CYCLE SOYBEAN VARIETIES. *Investigación Agraria*, [S.l.], v. 10, n. 1, p. 53-58, ago. 2013. ISSN 2305-0683. Consultado el 28 de junio de 2021. Disponible en: <http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/63>.
- Board, J; Tan, Q. 1995. Assimilatory capacity effects on soybean yield components and pod number. *Crop Sci.* 35: 846-851.
- Board, J.; Wier, A; Boethel, D. 1995. Source strength influence on soybean yield formation during early and late reproductive development. *Crop Sci.* 35: 1104-1110.
- Borrás, L.; Slafer, G; OTEGUI, M. 2004. Seed dry weight response to source-sink manipulations in wheat, maize and soybean: a quantitative reappraisal. *Field Crops Res.* 86: 161-146.
- Capeco. 2019. Consultado el 17 de diciembre de 2019. Disponible en: www.capeco.org.py
- Castro, S. 2013. Estabilidad de rendimiento y mecanismos ecofisiológicos asociados con la fijación de granos en híbridos de maíz y en sus líneas parentales. Tesis de Magister Scientiae, UNMP
- Ciampitti I; García, F. 2007. Requerimientos nutricionales, absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I Cereales, Oleaginosos e Industriales. *Informaciones Agronómicas* N° 33, Archivo Agronómico N° 11. IPNI Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. Consultado el 28 de junio del 2021. Disponible en [http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/\\$webindex/E036AC788900A6560325728E0069FF05](http://www.ipni.net/ppiweb/ltams.nsf/$webindex/E036AC788900A6560325728E0069FF05).
- Cober, E. R.; Curtis, D. F.; Stewart, D. W.; Morrison, M. J. 2014. Quantifying the effects of photoperiod, temperature and daily irradiance on flowering time of soybean isolines. *Plants* (Basel, Switzerland), 3: 476–497. <https://doi.org/10.3390/plants3040476>

- Cooperativa Chortitzer. 2019. Consultado el 19 de diciembre de 2019. Disponible en <https://www.chortitzer.com.py/visitenos/historia/>
- Crusiol, L; Neiverth, W; Rio, A; Sibaldelli, R; Ferreira, L; Carvalho, J; Nepomuceno, A; Neumaier, N; Farias, J. 2013. NDVI de estádios de desenvolvimento da soja BRS 284 em condições de campo Embrapa. Consultado el 21 de marzo del 2020. Disponible en: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/964365/1/NDVIdeestadiosdesenvolvimentodasojaBRS284emcondicoesdecampo.pdf>
- Cuniberti, M. 2017. La soja 2017 tuvo alto contenido de aceite y bajo de proteína. Consultado el 28 de junio de 2021. Disponible en <https://www.infocampo.com.ar/la-soja-2017-tuvo-alto-contenido-de-aceite-y-bajo-de-proteina/>
- Della Justina, D. 2014. Dinamica espectral da soja por meio do NDVI utilizando sensores orbital e terrestres. Tesis Maestria en Ingeniería Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Parana. Cascavel, PR - BR. Consultado el 20 de diciembre de 2019. Disponible en http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2650/1/_diego_della_justina.pdf
- Díaz M. G., Kuttel W., López R., Peltzer, H. , Caviglia, O. 2009. Producción de biomasa y calidad de silaje de maíz y soja en intercultivos en surco. INTA. Paraná, Ar. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta-produccion-de-biomasa-y-calidad-de-silaje-de-mai.pdf>. Consultado el 27 de junio de 2021"
- DMH. 2019. Consultado el 19 de diciembre de 2019. Disponible en: <http://www.meteorologia.gov.py/publicaciones/>
- Dueck y Portz. Abc Rural, 2014. Soja en el chaco. Consultado el 19 de diciembre de 2019. Disponible en: <https://www.abc.com.py/edicion-impresa/suplementos/abc-rural/soja-en-el-chaco-1282235.html>
- Edmeades G;McMaster, G; White, J; Campos, H. 2004. Genomics and the physiologists: bridging the gap between genes and crop response. *Field Crop Res.* 90:5-18.
- EEAOC. Soja en el NOA 2019. Consultado el 27 de marzo del 2021 Disponible en <https://www.eeaoc.gob.ar/?publicacion=soja-en-el-noa-2019>
- Egli, D; Zhen-Wen, Y. 1991. Crop growth rate and seeds per unit area in soybeans. *Crop Sci.* 31: 439-442.
- Egli, D. 1997. Cultivar maturity and response of soybean to shade stress during seed filling. *Field Crops Res.* 52: 1-8
- Egli, D. 1998. Seed biology and the yield of grain crops. CAB International, UK. 178 pp.
- Egli, D. 1999. Variation in leaf starch and sink limitations during seed filling in soybean. *Crop Sci.* 36: 1361-1368
- Egli, D. 2004. Seed-fill duration and yield of grain crops. *Adv. Agron.* 83: 243-279.
- Egli, D; Bruening, W. 2006 a. Temporal profiles of pod production and pod set in soybean. *Europ. J. Agron.* 24 : 11-18.
- Fehr, W; Caviness, C. 1977. Stages of soybean development. Ames, IA: Agriculture and Home Economics Experiment Station and Cooperative Extension Service, Iowa State University, EE.UU. Special Report 80. 11 p
- Fonts,C; Andrade, F; Grondona, M; Hall, A; León, A. 2008. Phenological characterization of near-isogenic sunflower families bearing two QTL for photoperiodic response. *Crop Sci.* 48:1579-1585
- Fundacao Mato Grosso. 2019. Consultado el 20 de junio del 2020. Disponible en <https://www.fundacaoms.org.br/publicacoes/tecnologia-e-producao-safra/tecnologia-e-producao-soja-safra-2018-2019>
- Guarino, G. 2017. Como podemos estimar el rendimiento en soja. *Revista Chacra.* Consultado el 28 de junio de 2021. Disponible en:

<https://www.revistachacra.com.ar/nota/11669-como-podemos-estimar-el-rendimiento-de-soja/>

- Gutiérrez, M; Piedra, E; Rodríguez, W; Araya, J.M. El GreenSeeker y el estado de salud de los cultivos. *Agronomía Mesoamericana*. 22(ed2):p 397-403. Consultado el 20 de diciembre de 2019. Disponible en http://www.mag.go.cr/rev_mesov22n2_397.pdf
- Hall, A; Sadras, V. 2009. Whither crop physiology? Chapter 21 in V. Sadras and D. Calderini (Eds). *Crop Physiology. Applications for genetic Improvement and agronomy*. Academic Press. Elsevier. Amsterdam. 581pp.
- Hallauer, A. 2007. History, contribution, and future of quantitative genetics in plant breeding: Lessons from maize. *Crop Sci*. 47:S4-S19.
- Hartwig, E; Kihl, R. 1979. Identification and utilization of delayed flowering character in soybeans for short-day conditions. En: *Field Crops Research*, Vol. 2.
- ICASA. 2019. Consultado el 18 de agosto de 2019. Disponible en <http://www.icasa.com.py>
- Jiang, H; Egli, D. 1995. Soybean seed number and crop growth rate during flowering. *Agron. J*. 87: 264-267.
- Kantolic, A; Slafer. 2001. *Field Crops Res* 72, 109-111
- Kantolic, A. 2014. Capítulo 2. Bases funcionales de la determinación del rendimiento en soja. En: *Soja. Claves para una producción rentable y sostenible. Manual Técnico CREA*. 80 p. Consultado el 4 de noviembre de 2020. Disponible en <https://www.crea.org.ar/soja-claves-para-una-produccion-rentable-y-sostenible/>
- Kantolic, A; Giménez, P; De la Fuente, E. 2003. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad de soja. En: *Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo*. 2da edición. Ed: A. Pascale, Buenos Aires. pp 181-189
- Kihl, R; Garcia, A. 1989. The use of the juvenile trait in breeding soybean cultivars". En: *IV Conferencia mundial de Investigaciones en soja*. Buenos Aires, Vol.2.
- Koester, R.P.; Skoneczka, J.A.; Cary, T.R., Diers, B.W., Ainsworth, E.A. 2014. Historical gains in soybean (*Glycine max* Merr.) seed yield are driven by linear increases in light interception, energy conversion, and partitioning efficiencies. *J Exp Bot*. 65:3311-3321.
- Lopez, M. A.; Freitas Moreira, F.; Rainey, K. M. (2021). Genetic relationships among physiological processes, phenology, and grain yield offer an insight into the development of new cultivars in soybean (*Glycine max* L. Merr). *Frontiers in Plant Science*, 12: 651241.
- MAG/BGR. 1998. Proyecto Sistema Ambiental del Chaco. Inventario. Evaluación y Recomendaciones para la Protección de los Espacios Naturales en la Región Occidental del Paraguay. Tomo 1. Informe Final. 140 p.
- Mariotti, J; Oyarzabal, E; Osa, J; Bulacio, A; Almada, G. 1976. Análisis de estabilidad y adaptabilidad de genótipos de caña-de-azúcar. I: interacciones dentro de una localidad experimental. *Revista Agronomica del Noroeste Argentino*, v.13, p.105-127. Consultado el 7 de febrero de 2020. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2007001100008&script=sci_arttext
- Martínez, D.; Baigorri, H; Giayetto, O. 1999. Analisis del crecimiento de cultivares de soja de grupos de madurez III al VII en 4 fechas de siembra, en Villa Mercedes (San Luis). Primer Congreso de Soja del Mercosur: Mercosoja'99. Rosario (Sta. Fe). Argentina. Junio de 1999. p. 1-2
- Martínez, D; Baigorri, H; Bologna, S; Bongiovanni, M; Amitrano, V; Escudero, S. 2001. Crecimiento de cultivares de soja de GM III al VII en fechas de siembra de octubre a diciembre en Villa Mercedes, campañas agrícola 1998/99 y 1999/00. *Avances en la Producción Vegetal del NOA*. p 339-346. Consultado el 28 de junio de 2021.

- Disponible en https://www.researchgate.net/figure/Indice-de-Cosecha-IC-de-seis-cultivares-de-soja-Fig-8-Indice-de-Cosecha-IC-de-seis_fig1_320456852
- Masino, A; Rugeroni, P; Borrás, L; Rotundo, J. 2018. Spatial and temporal plant-to-plant variability effects on soybean yield. *European Journal of Agronomy* 98: 14–24.
- Monzon, J; La Menza, N; Cerrudo, A; Canepa, M; Rattalino, J; Specht, J; Andrade, F; Grassini, P. 2021. Critical period for seed number determination in soybean as determined by crop growth rate, duration, and dry matter accumulation. Consultado el 20 de diciembre de 2019 *Field Crops Research*. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378429020313009>
- Morais, O.P. Adaptabilidade, estabilidade de comportamento e correlações fenotípicas, genotípicas e de ambiente em variedades e linhagens de arroz (*Oryza sativa* L.). 1980. 70p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Consultado el 7 de diciembre de 2020 Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2007001100008&script=sci_arttext
- Morel, W. 2017. Nuevas variedades de soja. IPTA/INBIO. Capitan Miranda. Paraguay.
- Morlin, F. 2018. Sensores de dossel do monitoramento da variabilidade temporal das culturas da soja e do ameindoim. Tesis de doctorado. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, SP-Br. Consultado el 28 de junio de 2021. Disponible en https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/155945/carneiro_fm_dr_jabo.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Neufeld, E. 2019. Integración Agrícola Ganadera. Bahia Negra, PY. Consultado el 20 de diciembre de 2019. Disponible en <https://greencommoditiesparaguay.org/wp-content/uploads/2018/12/2.-Egon-Neufeld-Se-viene-la-soja-PNUD-2.pdf>
- Ovado, G.; de la Casa, A; Bressanini, L; Martínez, J; Miranda, C; Miretti, D; Melano, F; Moglia, J. 2016. 45 Jornadas Argentinas de Informática. Bs As, 5-9 Sep. Consultado el 28 de junio de 2021. Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/jaiio_45_ovando_presentacion.pdf
- Passerieu, C. 2012. Siembra de soja en terreno semi áridos del chaco. Consultado el 8 de agosto de 2019. Disponible en: <https://www.ultimahora.com/siembra-soja-tambien-se-expande-terrenos-semiaridos-del-chaco-n549866.html>
- Passerieu, C. 2017. La soja en el chaco. Consultado el 8 de agosto de 2019 Disponible en <http://www.elagro.com.py/agricultura/la-soja-en-el-chaco-paraguayo-puede-venir-para-quedarse-segun-experto/>
- Passerieu, C. 2018. Grupo Palmeiras. Consultado el 20 de diciembre del 2019. Disponible en <https://greencommoditiesparaguay.org/wp-content/uploads/2018/12/3.-Presentaci%C3%B3n-CAP-PNUD-2811.pdf>
- Redes Chaco. 2015. Consultado el 6 de junio de 2020 Disponible en: <http://www.redeschaco.org/index.php/el-gran-chaco-2/chaco-paraguayo/componente-natural/clima>
- Renshaw, J. 1996. Los Indígenas del Chaco Paraguayo: Economía y Sociedad. Editora Asunción.
- Rizzo, F. 2000. Pautas de manejo para lograr rendimientos elevados y estables. *Revista Agromercado (Suplemento Soja)*. Consultado el 20 de noviembre de 2019. Disponible en: http://www.agrobit.com.ar/Info_tecnica/agricultura/soja/AG_000039so.htm
- Salica. 2019. Evaluación de rendimientos en distintos sistemas de siembra de soja en Formosa. Disponible en http://amanecerrural.com.ar/es/nota_tecnica/08371-evaluacion-de-rendimientos-en-distintos-sistemas-de-siembra-de-soja-en-formosa
- Tester, M; Langridge P. 2010. Breeding Technologies to increase crop production in a changing World. *Science* 327:818-822.
- Toledo. 2018. Ecofisiología, rendimiento y calidad de soja. FCA- UNC

- Tuberosa, R; Salvi, S. 2009. QTL for agronomic traits in maize production. Handbook of maize: its biology. In J. Bennetzen and S. Hake (Eds). Springer. London. Pp. 501-541.
- Tuberosa R., S. Salvi, S. Giuliani, M. Sanguineti, E. Frascaroli, S. Conti, and P. Landi. 2011. Pp. 179-204 in Root Genomics. A. Costa de Oliveira and R. Varshney (Eds). Springer. London.
- WRB-FAO. 2015. World Soil Resources Reports 106, FAO, Rome 2015. ISBN 978-92-5-108369-7. Consultado el 10 de marzo de 2020 Disponible en: <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/es/>
- Zuil, S. 2017. Elección de cultivares de soja en el NEA. Revista Voces y Ecos. Reconquista, Argentina. Consultado el 10 de marzo de 2020 Disponible en https://inta.gob.ar/sites/default/files/vye38_3_eleccion_de_cultivares_de_soja_en_el_nea.pdf