

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

EFFECTO DE LA FALTA DE UNIFORMIDAD DE PLANTAS SOBRE EL
RENDIMIENTO EN GRANO DE SOJA A NIVEL DE PREDIOS

por

Nicolás RITORNI
Juan Andrés RODRÍGUEZ

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO
URUGUAY
2019

Tesis aprobada por:

Director:

Ing.Agr. Sebastián Ramón Mazzilli Vanzini

Ing.Agr. Oswaldo Ruben Ernst Benech

Ing. Agr. Andrés Locatelli Fagúndez

Fecha: 10 de abril de 2019

Autores:

Nicolás Ritorni Valentini

Juan Andrés Rodríguez Freire

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quisiéramos agradecer a nuestras familias, quienes gracias a su apoyo incondicional y constante aliento nos permitieron desarrollar el presente trabajo, así como la totalidad de la carrera.

Queremos también agradecer a nuestro director de tesis, el Ing. Agr. Sebastián Mazzilli, por la oportunidad de desarrollar el siguiente trabajo, así como por su apoyo, orientación y predisposición.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VI
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u>	3
2.1. SIEMBRA - EMERGENCIA.....	3
2.2. COMPETENCIA.....	5
2.3. UNIFORMIDAD.....	7
2.3.1. <u>Métodos de estudio de la uniformidad</u>	8
2.4. HIPÓTESIS.....	10
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	11
3.1. ETAPA DE CAMPO.....	11
3.1.1. <u>Localización y características de los sitios de muestreo</u>	11
3.1.2. <u>Determinaciones en campo</u>	12
3.2. ETAPA DE LABORATORIO Y DETERMINACIONES.....	13
3.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN.....	13
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	15
4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	15
4.1.1. <u>Régimen térmico de la zafra</u>	15
4.1.2. <u>Régimen hídrico de la zafra</u>	15
4.2. EFECTO DE LAS DIFERENTES VARIABLES SOBRE EL RENDIMIENTO POR UNIDAD DE SUPERFICIE.....	18
4.2.1. <u>Componentes numéricos del rendimiento</u>	18
4.2.2. <u>Respuesta a la población</u>	18
4.2.3. <u>Profundidad al horizonte C</u>	20
4.2.4. <u>Efecto del arreglo espacial</u>	21
4.2.5. <u>Efecto del área del polígono sobre el rendimiento</u>	25
4.2.6. <u>Efecto de la distancia entre plantas dentro del surco</u>	26

4.3. EFECTO DE LAS DIFERENTES VARIABLES SOBRE EL RENDIMIENTO POR PLANTA.....	27
5. <u>CONCLUSIONES</u>	31
6. <u>RESUMEN</u>	32
7. <u>SUMMARY</u>	33
8. <u>BIBLIOGRAFÍA</u>	34

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Características de los sitios de muestreo.....	11
 Figura No.	
1. Localización de sitios de muestreo 1 y 2	12
2. Localización de los sitios de muestreo 3, 4 y 5.....	12
3. Diagrama de punto de muestreo.....	13
4. Régimen térmico durante la zafra 16-17 en la zona de Mercedes, Soriano.....	15
5. Régimen hídrico para la zafra 16-17 en la zona de Mercedes, Soriano.....	16
6. Índice de bienestar hídrico INIA. GRAS durante la zafra 16-17.....	17
7. Relación entre número de vainas y rendimiento por unidad de superficie	18
8. Relación entre la población y el rendimiento por unidad de superficie.....	19
9. Relación entre la población y el rendimiento relativo por punto en cada sitio de muestreo	20
10. Relación entre profundidad de suelo al horizonte C y rendimiento por unidad de superficie	21
11. Relación entre población y área promedio del polígono correspondiente a cada planta.	22
12. Relación entre la distancia promedio entre plantas y el área promedio del polígono correspondiente a cada planta.	22
13. Relación entre la población y el CV del área de los polígonos.....	23
14. Relación entre la población y el CV de la distancia promedio entre plantas dentro del surco.....	24
15. Relación entre el área promedio del polígono correspondiente a cada planta y el rendimiento.....	25
16. Relación entre el área promedio del polígono correspondiente a cada planta y el rendimiento relativo	25
17. Relación entre el CV de la distancia promedio entre plantas dentro del surco y el rendimiento.....	26
18. Relación entre el número de vainas por planta y el rendimiento individual de cada planta.....	27
19. Relación entre el área del polígono y el rendimiento por planta.....	28
20. Relación entre el área del polígono y el rendimiento relativo	28

1. INTRODUCCIÓN

En la última década, en el Uruguay se ha dado un proceso de dinamización del sector agrícola, dado fundamentalmente por la expansión del cultivo de soja. Esta expansión en el país fue favorecida por el incremento de los precios internacionales de los productos derivados de los oleaginosos, la demanda del mercado chino y facilitada por la estandarización de las labores que incrementan la competitividad de frente a otros tipos de producción (Arbeleche et al., 2010).

La soja pasó de ser un cultivo sin importancia económica ni productiva a comienzos de la década del 90, a ser el cultivo con mayor área sembrada y uno de los principales productos exportables, llegando a desplazar en el año 2014 a la carne vacuna en valor de exportaciones. Este proceso llevó a que se pasaran de 577.800 ha en la zafra 2008/2009, a 1.140.000 ha en la zafra 2015/2016, pasando por el record nacional en 2014/2015 de 1.334.000 ha. Los rendimientos han tenido una tendencia a crecer, pero en general se encuentran estancados entre los 1.500 y los 2.500 kg ha⁻¹ (MGAP. DIEA, 2016).

En un país principalmente ganadero, esto acarrió una importante transformación de los sistemas productivos, las rotaciones agricultura/pasturas incrementaron la duración de su fase agrícola, o bien se convirtieron en sistemas de agricultura continua. El 90% del área de agricultura de secano se concentra en el litoral Oeste, región asociada a los suelos de mayor aptitud agrícola (departamentos de Colonia, Soriano, Rio Negro, Paysandú), habiéndose expandido progresivamente a otras zonas no tradicionalmente agrícolas, con suelos de calidad marginal.

Los aumentos en producción se han dado en base a los incrementos en área sembrada y no en base a incrementos de rendimiento, que se encuentran estancados y que presentan una gran variabilidad entre años. A partir de la zafra 2013/2014 se ha producido un descenso sostenido del precio de la soja, lo que trajo aparejado una disminución de la rentabilidad del cultivo, lo que lleva a la necesidad de disminuir los costos y aumentar los rendimientos con el objetivo de mejorar los beneficios obtenidos.

A nivel productivo es común observar que las plantas muestran patrones de distribución espacial que son en mayor o menor medida, irregulares, pudiendo deberse a factores mecánicos, bióticos o abióticos. Hay antecedentes en cultivos como cereales o colza, de que el rendimiento aumenta con la uniformidad de la distribución espacial de las plantas. Para este último, el valor de las correlaciones es positivo y alto, entre el área ocupada por planta y rendimiento en grano, número de granos y número de vainas. Al no existir información al respecto para el cultivo de soja en el país, es importante generar dicha información, para así cuantificar el problema y aportar en la búsqueda de soluciones.

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo principal cuantificar el impacto de la falta de uniformidad espacial de las plantas de soja en la línea de siembra, sobre el rendimiento final del cultivo. Para ello se eligieron chacras comerciales en la zona de la ciudad de Mercedes, pretendiendo así explicar la relación entre la población, la uniformidad espacial de la distribución, y el rendimiento.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. SIEMBRA – EMERGENCIA

La importancia de esta etapa radica en que, en este momento, se está determinando el arreglo espacial y la distribución de las plantas. Fassio et al. (2016) definen la distribución como el espacio que ocupa cada planta y a la forma del espacio que ocupa, es decir la distancia entre las hileras, y la distancia entre las plantas, dentro de la hilera. La siembra debe permitir establecer una población de plantas capaz de interceptar la mayor parte de la radiación incidente durante los periodos críticos, pero, además, lograr una distribución uniforme, que permita una explotación óptima de los recursos del ambiente evitando la excesiva competencia entre individuos muy próximos y la generación de espacios sin plantas donde no se aprovechen recursos (Tesouro et al., 2009).

Lograr una uniformidad que permita una buena capacidad de competencia o supresión de malezas es otro objetivo importante (Griepentrog et al., 2011). Mediante una distribución más equidistante, los rendimientos pueden aumentar, explicado por una mayor eficiencia de uso de la radiación solar interceptada para producir vainas y semillas, originando una mayor cantidad de nudos totales en plantas sembradas más uniformemente (Salvagiotti et al., 2010). La desuniformidad espacial de las plantas termina generando situaciones de competencia o de sub utilización de los recursos.

Diferentes tipos de sembradoras tienen diferentes niveles de exactitud en cuanto al espaciado de semillas dentro de la hilera, determinado por diferentes componentes de las máquinas. Sembradoras con sistema de medición a granel (a chorrillo) no permiten regular la distribución y la distancia media entre plantas dentro de la hilera. La siembra mediante equipos de precisión permite distribuciones mucho mejores, pero son utilizadas para cultivos más espaciados (como el maíz), y se torna costoso en cultivos menos espaciados como cereales u oleaginosos. En estos sistemas, las variaciones en distancia entre plantas son dadas por errores en la dosificación (faltante de semillas, o dobles semillas), o por la no emergencia de plantas (Griepentrog et al., 2011).

En un trabajo en maíz, la desuniformidad espacial del cultivo además de ser determinada por las condiciones ambientales en el periodo siembra a emergencia, la relación plantas logradas/semillas sembradas, y el tipo de sembradora, la velocidad a la que se realiza el proceso también tiene efecto en la uniformidad dentro del surco (Valentinuz et al., 2009).

Cavalheiro et al. (2002) en un trabajo sobre uniformidad realizado en el campo experimental del Departamento de ingeniería de la Universidad Federal de Lavras, Mato Grosso, para soja, encontraron que había un efecto significativo de la uniformidad de siembra sobre la productividad del cultivo, y se detectó un efecto lineal significativo con

la producción por planta. Los resultados señalan que la operación de siembra con mayor precisión en la deposición de la semilla es un aspecto importante. Según datos de este trabajo, reducciones en la uniformidad por encima del 50% pueden llegar a producir pérdidas en el entorno de los 103 kg ha⁻¹, efecto que se torna más importante cuando la densidad de plantas es baja (10 plantas/m lineal). La uniformidad fue determinada por reglas de madera previamente perforadas de acuerdo al nivel de uniformidad deseado, simulando diferentes porcentajes de espaciamentos respecto al promedio esperado según la Asociación Brasileña de Normas Técnicas en 1994. Los espaciamentos considerados fueron: menores que 0,5 veces, de 0,5 a 1,5 veces, y 1,5 veces mayores al espaciamento promedio. En estas condiciones el aumento de la uniformidad produjo un aumento de hasta 400 kg ha⁻¹. Las productividades más altas (2400 – 2500 kg ha⁻¹) fueron logradas con la combinación de uniformidades del 60 a 100%, y una densidad de 10 a 13 plantas por metro lineal. Sin embargo, según el presente trabajo, es muy difícil conseguir uniformidades de 60% o más con los mecanismos dosificadores de las sembradoras tradicionales, con principios mecánicos, lo que es coincidente con lo reportado por Griepentrog et al. (2011) que señalan que en máquinas con sistemas de dosificación mecánicos, el coeficiente de variación de la distancia entre individuos adyacentes puede ser igual a 1, lo que quiere decir que el desvío estándar es igual a la media de la distancia entre plantas en la hilera.

En cuanto a la emergencia de plantas, al verse afectada también provocara desuniformidad al establecer espacios vacíos. Tomando en cuenta la importancia del proceso de siembra, y que la mayoría del área de soja se siembra bajo la modalidad de siembra directa, se busca explicar cómo puede afectar esto la emergencia de las plantas. Sistemas de siembra directa, más allá de las ventajas operativas que presenta, se producen efectos que disminuyen la tasa de emergencia, tales como la compactación de las paredes del surco, la escasa generación de suelo suelto para cubrir la semilla y la ubicación a poca profundidad, o superficial, de la semilla (Baker, citado por Soza et al., 2000).

La variabilidad en la ubicación de la semilla además de responder a estos errores en la entrega por parte del equipo de siembra, también es afectada por la caída de semillas fuera del surco, el desplazamiento dentro del surco por rodado o el movimiento al ser cubiertas (Panning et al., 2000). La densidad estará condicionada entonces por la frecuencia de estos errores, variando según cual sea el error. Dosificaciones por encima aumentarán la densidad, y salteos u otros factores que determinen faltantes de plantas, la harán disminuir. En lo que respecta a la desuniformidad dentro de la línea, esta está condicionada por la dispersión en torno a una distancia de referencia entre plantas, por lo que cualquier situación que determine acercamiento o alejamiento entre plantas, hará que se incremente.

Los efectos analizados en sistemas de siembra directa, permiten hipotetizar sobre las dificultades del sistema para generar condiciones favorables para la

germinación e implantación. Aportando a esta teoría, en los trabajos de Borin y Sartori, citados por Soza et al. (2000), realizados en avena, maíz y soja, donde obtuvieron mayores emergencias con en siembras con labranza previa, en comparación a siembra directa.

2.2. COMPETENCIA

Los organismos en un agroecosistema no viven totalmente aislados de su entorno, el cual comparten con elementos no vivos, y con otros individuos de la misma, u otras especies, con los cuales interaccionan. Dentro de las interacciones más importantes, se encuentra la competencia, que se describe como aquella en la que ambos individuos salen desfavorecidos. La interferencia entre dos especies diferentes se conoce como competencia interespecífica, y la que se da entre individuos de la misma especie, intraespecífica, que es en la cual se centra este trabajo.

Por lo tanto, la competencia en sistemas agrícolas es considerado el proceso a través del cual las plantas comparten recursos provistos en forma insuficiente para satisfacer su demanda combinada (Satorre et al., 2003). En una comunidad de plantas, los patrones espaciales pueden afectar su establecimiento, estructura y funcionalidades al hacer variar los estreses ambientales a los que se exponen, la disponibilidad de los recursos y alterando la competencia entre las plantas de la comunidad (Amhadi et al., 2008). El rendimiento individual de cada planta dentro la comunidad depende en forma importante del nivel de competencia por los recursos que haya con sus plantas vecinas (Uriarte et al., citados por Yang et al., 2014). Cuando estos recursos son limitados, o cuando los individuos están distribuidos de forma desigual, la competencia se hará más intensa a media que el tamaño y número de esas plantas vecinas es mayor (Wilson y Tilman, citados por Yang et al., 2014).

Fassio et al. (2016) en un experimento con diferentes poblaciones a la siembra para soja, determinaron que la población de plantas cosechadas tuvo una respuesta cuadrática en función del número de plantas implantadas. Esto quiere decir que los incrementos fueron decreciendo con cada planta extra que se lograba implantar. En términos cuantitativos, a medida que se implantaron más de 45 pl m⁻², el número de plantas cosechadas no se incrementó producto de la competencia en la hilera. Esta competencia interespecífica entre las plantas de la hilera siempre será relevante con el aumento del número de plantas por metro lineal. En este experimento con diferentes poblaciones y cultivares, bajo riego y secano, para soja, identificaron en ambas situaciones, una disminución lineal del rendimiento al incrementarse la población a cosecha. En secano el rendimiento cayó 19,2 kg por cada planta m⁻² adicional cosechada, y bajo riego la disminución fue de 21,7 kg. Estos valores de respuesta son válidos para un rango de plantas a cosecha de 20 a 40 plantas m⁻². Tesouro et al. (2009) obtuvieron

como resultado que la producción de los capítulos de girasol resultó altamente dependiente del espacio disponible por cada planta, ya sea este expresado como la distancia media entre ellas, y expresado como el área de polígonos.

Durante el crecimiento de un cultivo, las plantas no solo interactúan o compiten por la captura de recursos del suelo (agua, nutrientes), sino que también censan y responden a señales del ambiente, que son modificadas por la densidad de plantas y su arreglo espacial. Cuantitativamente el efecto de este tipo de interacciones es menor al causado por la competencia, pero existen resultados experimentales que demuestran que pueden causar distorsiones en la morfología y la arquitectura de la planta, por ejemplo, la calidad de la luz medida como relación rojo/rojo lejano (R/RL), que puede ser afectada por la presencia de plantas vecinas muy cercanas (Satorre et al., 2003). La densidad de siembra y el arreglo espacial de las plantas van a determinar entonces cuán intenso será el efecto de la competencia. El área disponible para una planta queda definida por el espaciamiento entre surcos y el promedio de las distancias que la separan de sus vecinas dentro del surco (Martin et al., 2005). La densidad de siembra o población a siembra se define como el número de semillas por unidad de superficie, o por unidad de distancia en la línea, considerando en este caso la distancia entre líneas (Fassio et al., 2016).

La soja tiene una alta capacidad de compensación para producir granos en situaciones de bajas densidades, ya que aumenta significativamente el número de granos potenciales y disminuye el aborto de flores (Valentinuz, citado por Bodrero, 2003). El menor aborto de flores determina una mayor cantidad de vainas por nudos (Carpenter y Borad, 1997). A medida que la densidad aumenta el crecimiento y número de granos responden inversamente, disminuyendo como consecuencia de una menor oferta de recursos por individuo (Bodrero, 2003).

La soja es una especie con alta plasticidad a la densidad de siembra debido a la ya mencionada capacidad de compensación, y que es un aspecto de importancia menor en la definición del rendimiento (Satorre et al. 2003, Díaz Zorita y Duarte 2004). Andrade (1995), observó que la estabilidad del rendimiento frente a cambios en la densidad de plantas depende de la capacidad de los individuos para expresar los mecanismos de compensación cuando el número de plantas m^{-2} es bajo, y para producir granos cuando en situaciones de recursos limitados por planta. En otro aporte, Endres (1996), indica que, en el caso de la soja, la acumulación de plantas puede provocar el desarrollo de plantas más altas, menos ramificadas, con menor producción individual, diámetro de tallo reducido y por ende con mayor riesgo de vuelco. En tanto los espacios vacíos dejados en las líneas promueven el desarrollo de malezas y el establecimiento de plantas de soja de porte reducido, lo que puede acarrear disminuciones en productividad (Cavalheiro et al., 2002). En este mismo trabajo, Cavalheiro et al. (2002) concluyen que la productividad de la soja se ve incrementada con la reducción de la distancia entre

hileras asociado a una menor densidad de plantas dentro de la hilera, ya que cada variable aislada, no tuvo efecto.

2.3. UNIFORMIDAD

La mayoría de los trabajos previos sobre patrones espaciales se han dado sobre ecosistemas naturales, donde los organismos vivos adquieren patrones de distribución que les permiten optimizar la utilización de los recursos (Legendre y Fortin, 1989), y el estudio sobre los efectos en la productividad de los cultivos a campo ha sido limitado. Algunos estudios han demostrado que distribuciones desuniformes de las plantas puede influir negativamente en el rendimiento en grano de sorgo (*Shorgum vulgare*), trigo (*Triticum aestivum*), y maíz (*Zea mays*), en comparación con los rendimientos obtenidos bajo distribuciones uniformes (Larson y Vanderlip, Olsen et al., Tokatlidis y Koutroubas, citados por Yang et al., 2014).

Según Satorre et al. (2003), en cultivos agrícolas la uniformidad se refiere a la variabilidad de la distancia entre plantas en cultivos sembrados en hileras. López Pereyra et al. (1999) afirman que el impacto de la desuniformidad va a depender por un lado del tamaño, distribución espacial y frecuencia de los errores, y, por otro lado, de las condiciones ambientales. La mayoría de los trabajos sobre densidad de siembra se han realizado con plantas distribuidas uniformemente en la hilera, pero la situación en producción comercial es completamente diferente. Lo más común es que el productor sufra una merma en el stand de plantas y se encuentre con una distribución despereja (Ferraris et al., 2003).

Según Hühn (2001), los factores determinantes en un establecimiento desuniforme de plantas son los errores en los mecanismos de siembra, factores bióticos y abióticos. En tanto Griepentrog et al. (2011), aportan que los motivos destacados por los cuales el rendimiento potencial puede verse afectado ante distribuciones desuniformes, son la distribución no equitativa de recursos, competencia intraespecífica que comienza en los estadios tempranos del cultivo, y la ineficaz supresión de malezas dado el mal arreglo espacial del cultivo. Kachman y Smith, citados por D'Amico et al. (2011), señalan que la uniformidad de distribución de plantas no será igual a la distribución de semillas porque no todas las semillas se convierten en plantas. Por su parte Lauer y Rankin (2004), indican que esto no es solo dado por los errores del equipo de siembra, sino que hay que incluir también factores como la calidad de la semilla, el efecto de enfermedades y plagas y la calidad del ambiente para que permita una rápida emergencia y establecimiento.

En su trabajo en INTA Pergamino, Ferraris et al. (2003), buscaron determinar el comportamiento y la capacidad compensatoria de la soja ante una disminución importante del stand de plantas, con distribución regular o irregular en la hilera de siembra, y estudiar que componentes del rendimiento estaban involucrados en esa

compensación. El ensayo buscó simular una falla importante en la emergencia del cultivo, con una siembra a 52,5 cm entre hileras, con un testigo con 19 plantas/m lineal (distancia entre plantas de 0,053 m), y 8 tratamientos. Los cuatro primeros fueron con variaciones en la distancia entre plantas de 0.36, 0.24, 0.18 y 0.14 m, y cuatro tratamientos más con estas mismas distancias entre plantas, pero con saltos de 50 cm en los que no había plantas. Los datos de rendimiento de ambas distribuciones, uniforme y desuniforme (con saltos), pudieron ajustarse a una función, que represente la variación de los rendimientos con la variación de la distancia entre plantas. Dichas funciones se ajustaron a un modelo cuadrático, lo que significa que los rendimientos se incrementan proporcionalmente en forma decreciente con el aumento de la densidad de siembra hasta alcanzar un óptimo, para luego comenzar a descender ante densidades superiores. En la distribución uniforme, cabe destacar que no se alcanza el plateau, lo que significa que los espacios sin plantas causaron una merma en el rendimiento que no pudo recomponerse con el aumento de la densidad de siembra. Los rendimientos disminuyeron en mayor medida cuando la distribución es desuniforme, y la diferencia es más marcada en la zona en que las distancias entre plantas son mayores. Los máximos rendimientos en la distribución uniforme se alcanzan a un distanciamiento de 0,073 m entre plantas (densidad 13,6 plantas/m lineal). Las conclusiones de este trabajo indican que, ante buenas condiciones ambientales, reducciones pronunciadas en densidad causaron mermas de 31 y 39% en los rendimientos para distribuciones uniformes y desuniformes, respectivamente.

2.3.1. Métodos de estudio de la uniformidad

Diversos investigadores han estudiado la uniformidad solamente en base al espaciamiento entre las plantas dentro de la hilera, por lo cual el análisis ha sido unidimensional (Panning et al., 2000). Según Griepentrog et al. (2011), la suposición implícita es que un espaciamiento uniforme dentro la hilera va a resultar en un patrón espacial bidimensional más uniforme. Dentro de los métodos de análisis de estos patrones bidimensionales, se destacan los mosaicos de polígonos de Thiessen, que delimitan la zona en el plano más cercano a cada punto que a cualquier otro punto, para poder visualizar y cuantificar las áreas individuales disponibles para cada planta. Este será el método utilizado en el presente trabajo.

Otro método, mencionado por Griepentrog et al. (2009) como bien conocido y accesible para el estudio de la distribución espacial de las plantas, es el del índice de dispersión de Morisita. El mismo puede aplicarse a datos referenciados en un eje de coordenadas x/y. El método está basado en el conteo de cuadrados aleatorios o regulares, y se relaciona estrechamente con la relación varianza-media, así como con otros índices de dispersión. El índice de Morisita se puede calcular para diferentes tamaños de cuadrados, por lo que el método se puede llevar a cabo a diferentes escalas.

Algunos estudios llevados a cabo por Hühn (1999, 2000a, 2000b, 2003) tuvieron el objetivo de cuantificar la depresión del rendimiento (Y) causada por patrones de distribución de plantas desuniformes, utilizando para dicha cuantificación dos variables, que son el rendimiento por planta (S) y el área disponible para cada individuo (A), mediante la siguiente relación: $Y=S/A$. El área disponible para cada planta se estimó por medio de polígonos de Thiessen, que se definen como los polígonos más pequeños que pueden obtenerse por la unión de las perpendiculares de los puntos medios de las rectas que unen una planta determinada con cada una de sus competidoras vecinas.

Ese polígono, incluye todos los puntos más cercanos a la planta que a cualquier otra. El área que abarca ese polígono representa el área potencialmente disponible, y su magnitud simula la disponibilidad de recursos y factores de crecimiento para cada individuo. Los polígonos son mutuamente excluyentes y colectivamente exhaustivos de la superficie total. Los polígonos de Thiessen son una medida razonable y comparable del área bidimensional disponible, y pueden aportar variables independientes que permitan estimar el crecimiento de las plantas (Hühn, 2003). El efecto de la desuniformidad en la distribución sobre el rendimiento se puede expresar a través de la varianza del área de los polígonos, aunque este parámetro depende en forma importante de la tecnología de siembra y su precisión (Hühn, 2003). Mediante los trabajos previamente mencionados, llega a una aproximación teórica para estimar cuantitativamente la reducción del rendimiento causada por la distribución desuniforme, que se representa con la siguiente ecuación:

$$Y @ \frac{1}{k_1+k_2 \bar{A}} - \frac{k_1+k_2}{(k_1+k_2 \bar{A})^3} S^2_A$$

La ecuación expresa que el rendimiento (Y) es dependiente del área media de los polígonos (\bar{A}) y de la varianza de las áreas individuales por cada planta (σ^2_A), mientras que k_1 y k_2 son constantes determinadas experimentalmente. El rendimiento entonces depende la interacción aditiva de dos términos, el primero dependiente del área media de los polígonos y el segundo dependiente del área media y afectado por la varianza del área individual. Este segundo término es proporcional a la varianza, cuando esta tiende a 0, el término tiende a 0, y puede interpretarse como el efecto de la variabilidad del área individual por planta sobre el rendimiento. Este se reduce ante incrementos en la variabilidad de \bar{A} , ante menor variabilidad, lo que es lo mismo que decir mayor uniformidad, el rendimiento aumenta y tiende al valor del primer término de la ecuación. Aumentos en la uniformidad espacial se traducen en aumentos de rendimiento, que se explican por la menor interferencia entre los individuos. Se sugiere también que el patrón de distribución que genera la menor varianza de los polígonos de Thiessen es el representado por hexágonos equiláteros.

El número tamaño y proximidad las plantas vecinas son factores también a considerar más allá del área disponible al momento de medir el grado o la intensidad de la competencia, por lo que sería de gran aporte la inclusión de conceptos sobre espacio tridimensional disponible para cada individuo, además de la inclusión de medidas dinámicas, que no serán solo una foto del momento en el que se realiza la medida, por lo tanto el análisis debería considerar cambios y tendencias a lo largo del tiempo (Hühn, 2003).

Griepentrog et al. (2009, 2011) incluyen otros conceptos además del área del polígono. Según estos trabajos, la forma de los mismos, y la posición de la planta (excentricidad) también tendrían efecto. Fue objeto de estos trabajos la corrección por estos factores, ya que la utilización de recursos puede ser limitada cuando los polígonos son demasiado alargados y cuando la posición de la planta es excéntrica. Esto es común cuando se dan elevados valores de rectangularidad y coeficiente de variación. El coeficiente de variación representa la uniformidad dentro de la hilera. La rectangularidad (q) es la distancia entre hileras, dividida entre la distancia promedio entre plantas dentro de la hilera.

El rendimiento estimado basado solamente en las áreas de los polígonos fue más alto en condiciones de baja rectangularidad y alta uniformidad en la fila (bajo coeficiente de variación - CV). La uniformidad en la fila generalmente tenía un efecto más importante que la rectangularidad. Los rendimientos previstos mayores se consiguen para CV bajos (<0.4) y valores de rectangularidad entre 0.5 y 0.4. La corrección por forma se vuelve importante a altos valores de q , lo que es razonable ya que antes altos valores, y aunque la planta tenga alta plasticidad, el área disponible en un polígono muy alargado solo puede ser utilizada con un costo adicional para la planta (Griepentrog et al., 2011). La corrección por excentricidad se vuelve importante para altos valores de CV y bajos valores de rectangularidad, debido a que los altos valores de q resultan en patrones de polígonos muy alargados y con alta centralización de las plantas, y que son prácticamente independientes del CV (Griepentrog et al., 2011). Cuando las correcciones son incluidas, los rangos de excentricidad y que producen los rendimientos más altos se estrechan, y el rendimiento cae más bruscamente a medida que el patrón se desvía de la uniformidad (Griepentrog et al., 2011).

2.4. HIPÓTESIS

La hipótesis principal de este trabajo es que la falta de uniformidad en la distribución espacial de las plantas afecta el rendimiento de soja.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se llevó a cabo durante el periodo de cosecha de la zafra 2016 – 2017, durante la última semana del mes de abril. Consistió en el muestreo de varios puntos aleatorios en chacras comerciales, en el entorno de la ciudad de Mercedes, Soriano. A continuación, se detalla la metodología utilizada.

3.1. ETAPA DE CAMPO

3.1.1. Localización y características de los sitios de muestreo

Se seleccionaron cinco chacras comerciales, en las cuales se realizaron entre 2 y 4 sitios de muestreo, la cantidad de sitios relevados en cada chacra dependió de la operativa de cosecha en cada chacra completando un total de 15 puntos de muestreo. Para conocer de las características productivas de chacra, estas fueron georreferenciadas para conocer a qué clase de suelos CONEAT pertenece cada una, además de medir la profundidad del suelo al horizonte C. El muestreo fue realizado en zonas de la chacra que presentaran baja población buscando acentuar la falta de uniformidad.

Cuadro No. 1. Características de los sitios de muestreo.

Sitio	CONEAT	Profundidad (m)	Variedad	Fecha de siembra	Antecesor
1	10.11	0,90	NS 5258	30/11/2016	Colza
2	11.4	0,95	DM 6.8	30/10/2016	Barbecho
3	9.1	1,20	DM 6.8	15/11/2016	Barbecho
4	11.5	1,40	DM 6.2	30/11/2016	Raigrás
5	10.15	1,40	DM 6.2	30/11/2016	Raigrás

Los sitios de muestreo se localizaron en dos zonas diferentes. Los sitios 1 y 2 al Oeste de la ciudad de Mercedes, sobre el camino Luis Tuya (Figura No. 1) en la zona del parque Barón de Mauá, mientras que los sitios 3, 4 y 5 se localizaron aproximadamente a 9 km al Este de la ciudad de Mercedes sobre la ruta nacional 14 (Figura No. 2).



Figura No. 1. Localización de sitios de muestreo 1 y 2.



Figura No. 2. Localización de los sitios de muestreo 3, 4 y 5.

3.1.2. Determinaciones en campo

En cada sitio, se midió la distancia entre cada planta a lo largo de 4 metros, en 6 surcos consecutivos. En los dos surcos centrales, además de la medida anterior, se contaron y recolectaron las vainas de cada planta, colocándolas en una bolsa de papel debidamente identificada con el número de chacra y de sitio de muestreo. Se construyó

una planilla para este trabajo en la cual se anotaban los datos correspondientes a cada planta. La distancia entre surcos en todos los casos fue de 0,38 m (Figura No. 3).

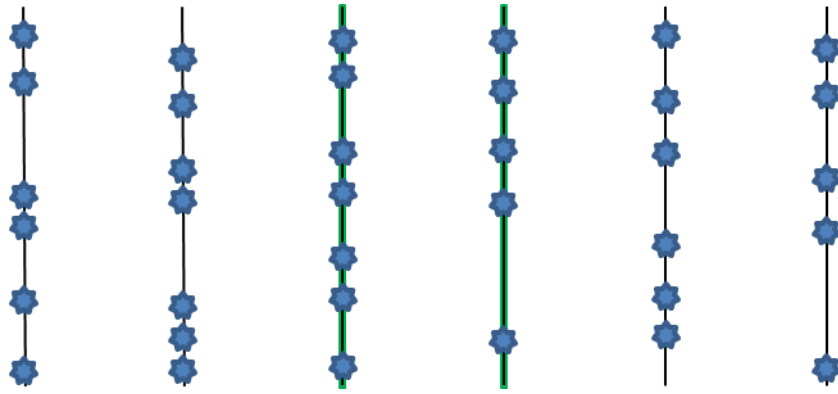


Figura No. 3. Diagrama de punto de muestreo, surcos resaltados en verde fueron los cosechados.

3.2. ETAPA DE LABORATORIO Y DETERMINACIONES

Las muestras fueron cosechadas a mano, abriendo las vainas y separando la semilla de materiales extraños mediante una zaranda, volviendo la semilla a la bolsa identificada correspondiente. Posteriormente cada muestra fue pesada, para determinar el rendimiento por planta. Previo a ser pesadas, todas las muestras fueron puestas en estufa a 60°C durante una hora, para uniformizar el nivel de humedad y disminuir su efecto en el peso de cada una.

Con esta información, se busca determinar el área disponible por cada planta, y su forma, mediante el uso de polígonos de Thiessen, su posición dentro del mismo y su relación con el rendimiento por planta. Para su construcción se utilizó el software de información geográfica ArcMap®. Se realizaron los polígonos para cada punto de muestreo, pudiendo obtener así el área ocupada por cada planta.

3.3. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

Se utilizaron dos variables principales con el fin de modelar y estimar los patrones de distribución de las plantas sobre el rendimiento de la chacra, estas fueron el rendimiento y el área individual por planta. Se asumió que las plantas nacieron todas el mismo día con el fin de eliminar la variabilidad temporal.

El área individual por planta fue estimada por medio de la construcción de polígonos de Thiessen, que son definidos como los polígonos más pequeños que se pueden obtener mediante la construcción de bisectrices perpendiculares a las líneas horizontales que unen el centro de una planta al centro de las plantas vecinas.

Para considerar el efecto sobre el rendimiento, fueron asociadas las variables calculadas con el rendimiento absoluto y el rendimiento relativo. El rendimiento absoluto se refiere a la cantidad de grano por unidad de superficie, obtenido en cada sitio de muestreo, mientras que el rendimiento relativo es resultado del cociente entre el rendimiento absoluto de un punto, dentro del sitio de muestreo, y la media del rendimiento absoluto de todos los puntos que componen ese sitio de muestreo.

El coeficiente de variación fue el indicador elegido para cuantificar la variabilidad existente en la distancia entre plantas y el área promedio ocupada por las plantas. Dicho indicador surge de la relación entre el desvío estándar de una muestra y su media, expresado en porcentaje. El desvío estándar indica que tan dispersos se encuentran los datos con respecto a la media, por lo que permite una visión de los mismos más acorde con la realidad. De esta manera, el coeficiente de variación permite comparar dispersiones de distribuciones diferentes, siempre que su media sea distinta. Por último, el rendimiento por hectárea de cada punto fue calculado a partir de la suma de los rendimientos individuales de cada planta.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

Los datos presentados corresponden a los registros de la estación meteorológica de INUMET situada en el ejido de la ciudad de Mercedes, ya que los sitios de muestreo se ubican en el área de influencia de dicha estación. De acuerdo al modelo de predicción fenológica de INIA, el periodo crítico se ubicó entre el 10 de febrero y el 15 de marzo, en promedio, para todos los sitios de muestreo.

4.1.1. Régimen térmico de la zafra

La zafra en estudio presentó temperaturas superiores a la media, siendo los meses más acentuados en esta diferencia diciembre, febrero y abril. En el resto de los meses la diferencia fue menos marcada. Las temperaturas durante todo el ciclo estuvieron dentro del rango óptimo para el desarrollo del cultivo.

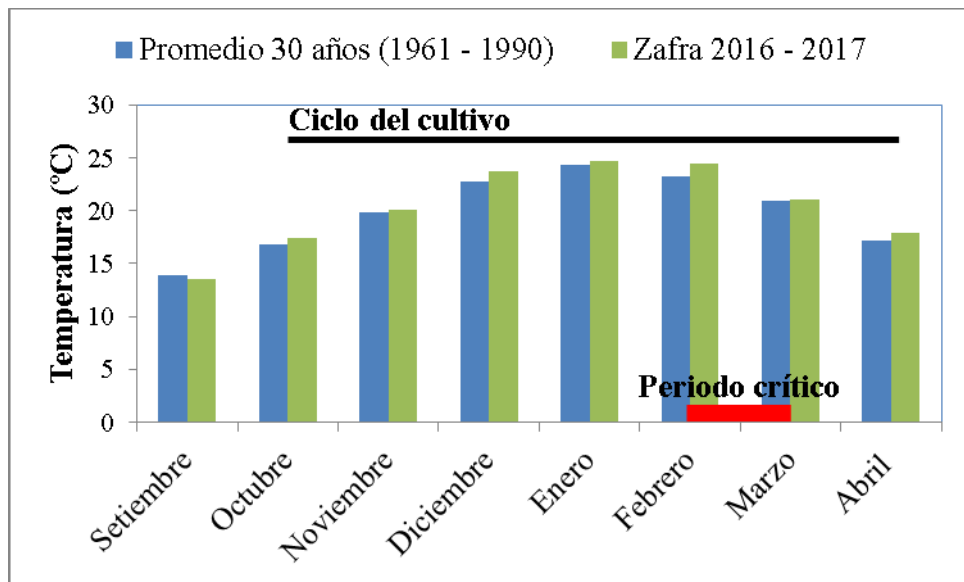


Figura No. 4. Régimen térmico durante la zafra 16-17 en la zona de Mercedes, Soriano.

4.1.2. Régimen hídrico de la zafra

Desde el punto de vista hídrico es probable que existieran déficits durante los meses de setiembre y octubre, lo que puede haber afectado el almacenamiento de agua en el suelo durante el barbecho para los cultivos de primera, y para los cultivos de

segunda, condicionar su disponibilidad hídrica en las primeras etapas del ciclo cuando en esta situación se suma el uso del agua por el cultivo de invierno presente.

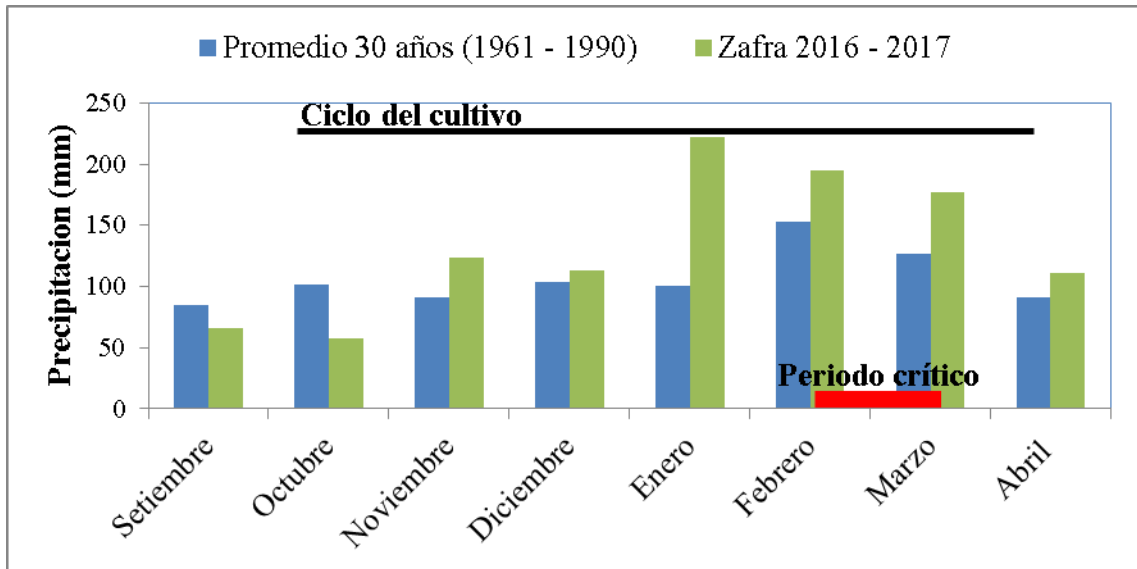


Figura No. 5. Régimen hídrico para la zafra 16-17 en la zona de Mercedes, Soriano.

Pese a esta situación, durante el ciclo del cultivo, las condiciones hídricas no fueron deficitarias, registrándose precipitaciones por encima del promedio, que habría favorecido la recarga de los suelos en los meses inmediatos (noviembre y diciembre). En los meses de enero, febrero y marzo, las precipitaciones estuvieron marcadamente por encima del promedio histórico, lo que es de especial importancia dado que en estos dos últimos meses se ubicó, en promedio, el periodo crítico de definición del rendimiento para este cultivo.

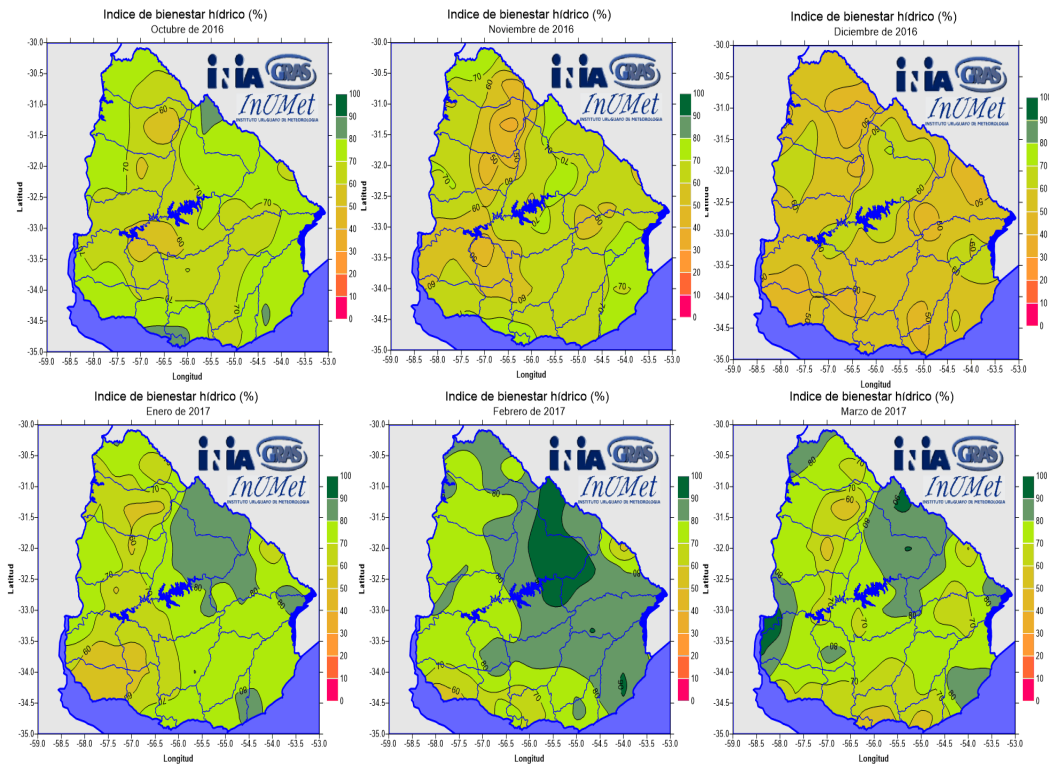


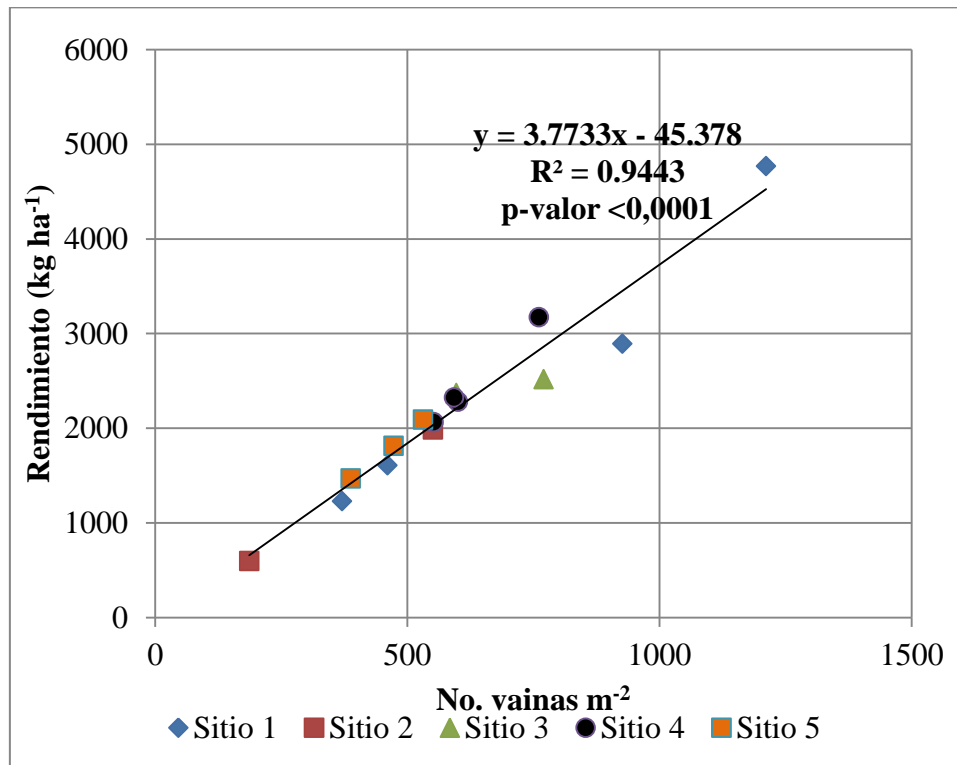
Figura No. 6. Índice de bienestar hídrico INIA. GRAS durante la zafra 16-17.

De acuerdo con los niveles de precipitación registrados a lo largo del ciclo, el Índice de bienestar hídrico generado por INIA. GRAS, resultó en valores que oscilaron entre el 50 y 100% a lo largo del ciclo para la zona de Mercedes. Cabe destacar los valores alcanzados en los meses en los que se ubicó el periodo crítico del cultivo (febrero y marzo), ubicándose ambos por encima de 70%. El modelo que genera este índice, utiliza como variables de entrada la precipitación efectiva, la ETP y la capacidad de retener agua del suelo. Como variable de salida está dicho índice, que resulta del porcentaje de la transpiración en función de la demanda potencial diaria. Valores del índice cercanos a 100 indican que la vegetación se encuentra en valores de transpiración cercanos a la demanda potencial, contrariamente, valores cercanos a 0 indican que la vegetación se encuentra en valores de transpiración muy por debajo de la demanda potencial, indicando que climatológicamente, se encuentra bajo stress hídrico (INIA. GRAS, 2017).

4.2. EFECTO DE LAS DIFERENTES VARIABLES SOBRE EL RENDIMIENTO POR UNIDAD DE SUPERFICIE

4.2.1. Componentes numéricos del rendimiento

Es posible comprender la variable rendimiento al evaluar los componentes numéricos que lo componen, número y peso de granos por unidad de superficie. Para el grupo de los datos evaluados, sea por unidad de superficie (Figura No. 7) o por planta individual (Figura No. 17), esta explicado en un 94% por el número de vainas, teniendo en cuenta que esto va a determinar el número de granos, principal componente del rendimiento. A mayor número de vainas, mayor es el rendimiento observado.



Cada punto corresponde a un punto de muestreo.

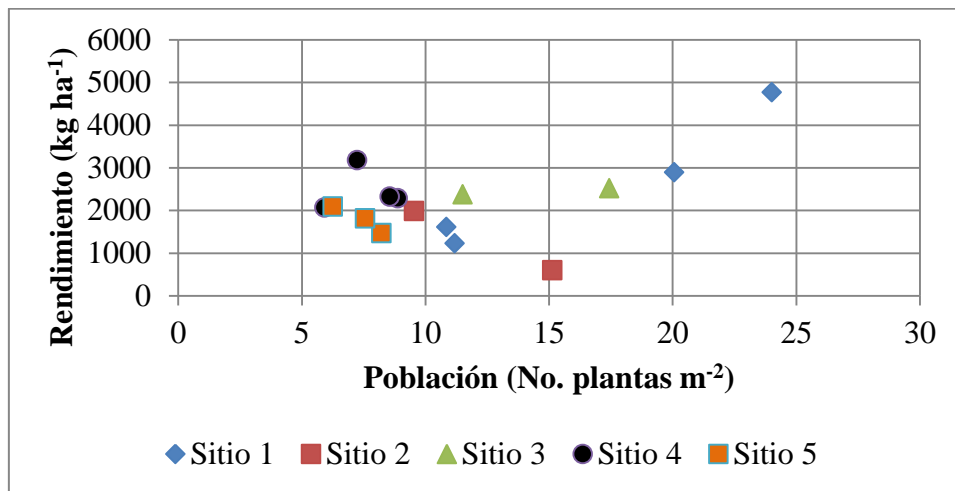
Figura No. 7. Relación entre número de vainas y rendimiento por unidad de superficie.

4.2.2. Respuesta a la población

Para los datos del trabajo no se detectó ninguna relación entre la población y el rendimiento para el cultivo de soja (Figuras No. 8 y No. 9). Estos datos se corresponden

con los presentados por Cavalheiro et al. (2002), Rodríguez et al. (2015) quienes aseguran que variaciones en la población por encima de 20 plantas m^{-2} no se asocian con aumentos en el rendimiento, y que el efecto individual de la densidad de plantas en la línea no es significativo, aunque para los datos del ensayo las poblaciones fueron tan bajas como 6 pl m^{-2} .

Si bien el año fue considerado como favorable desde el punto de vista climático, dado la no existencia de deficiencias hídricas durante todo el ciclo del cultivo, en especial durante el periodo crítico, la selección de sitios con poca población a la hora de realizar el muestro pueden haber dirigido el mismo a zonas de las chacras de baja calidad ambiental.



Cada punto corresponde a un punto de muestro.

Figura No. 8. Relación entre la población y el rendimiento por unidad de superficie.

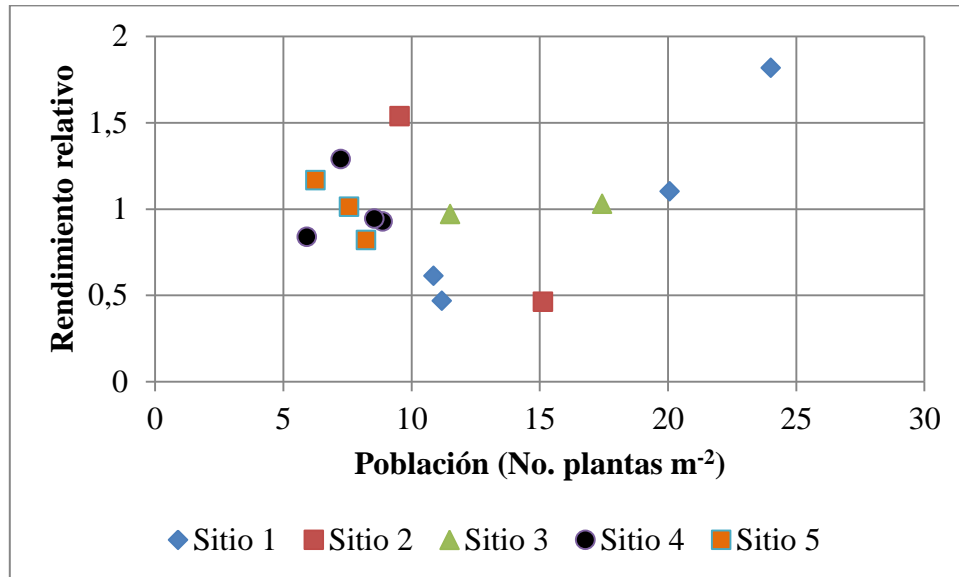


Figura No. 9. Relación entre la población y el rendimiento relativo por punto en cada sitio de muestreo.

El efecto de la población sobre el rendimiento en el cultivo de soja es poco importante en un amplio rango de situaciones, ya que la soja tiene la capacidad de compensar poblaciones subóptimas gracias a su capacidad de ramificación. Es poco sensible en comparación a poblaciones por encima de las óptimas (Alonso et al., 2015) y esta compensación es más probable que ocurra en años con buenas condiciones agroecológicas como los del periodo experimental (Bodrero, 2003). Este comportamiento se comprueba en todos los sitios, excepto el Sitio 1, donde se observa un aumento del rendimiento a medida que crece la población. En este sitio, la variedad sembrada corresponde a un grupo de madurez V, más corto que los utilizados en los demás sitios (VI largos). Este comportamiento sería acorde a los resultados obtenidos por Cepeda y Tarán, citados por Gaso (2017), quienes a nivel local reportaron respuesta en rendimiento al incremento de la densidad de siembra hasta 75 pl m² para grupos de madurez IV y V, en siembras de primera y sin deficiencias hídricas.

4.2.3. Profundidad al horizonte C

Esta variable fue considerada como forma de cuantificar los efectos ambientales. Es importante su influencia sobre el desarrollo del sistema radicular, el almacenamiento de agua o la capacidad de aporte de nutrientes. No obstante, no se

detectó ninguna relación entre esta variable y el rendimiento para los sitios en estudio (Figura 10).

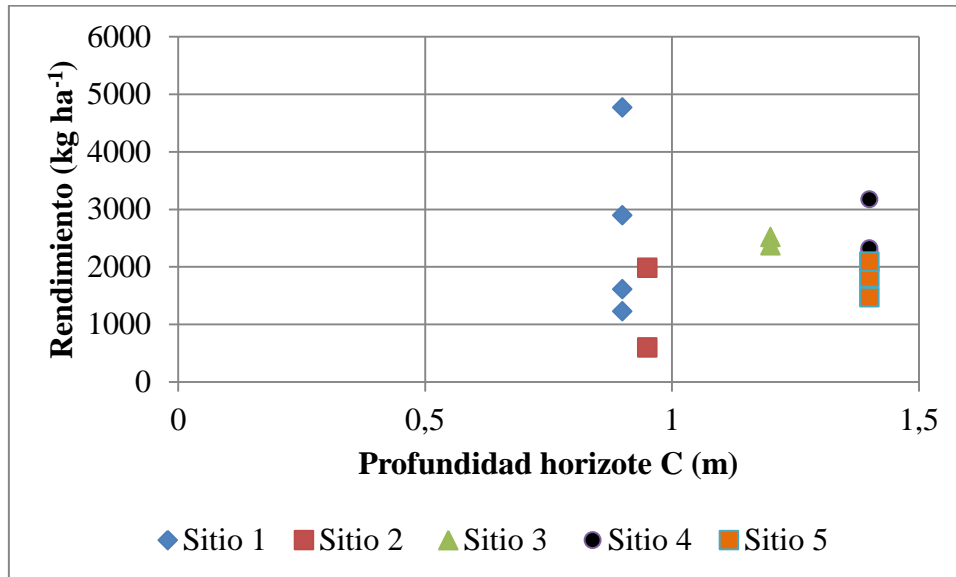


Figura No. 10. Relación entre profundidad de suelo al horizonte C y rendimiento por unidad de superficie.

4.2.4. Efecto del arreglo espacial

El número de plantas por unidad de superficie (población), y su distribución espacial, determinada por las distancias entre y dentro de la línea de siembra, son factores importantes para lograr un uso eficiente de los recursos disponibles para cada planta. Se aprecia que hay una relación importante entre la población y el área ocupada por cada planta, dado que un aumento en el número de plantas se traduce en una disminución del espacio disponible para cada una (Figura No. 11).

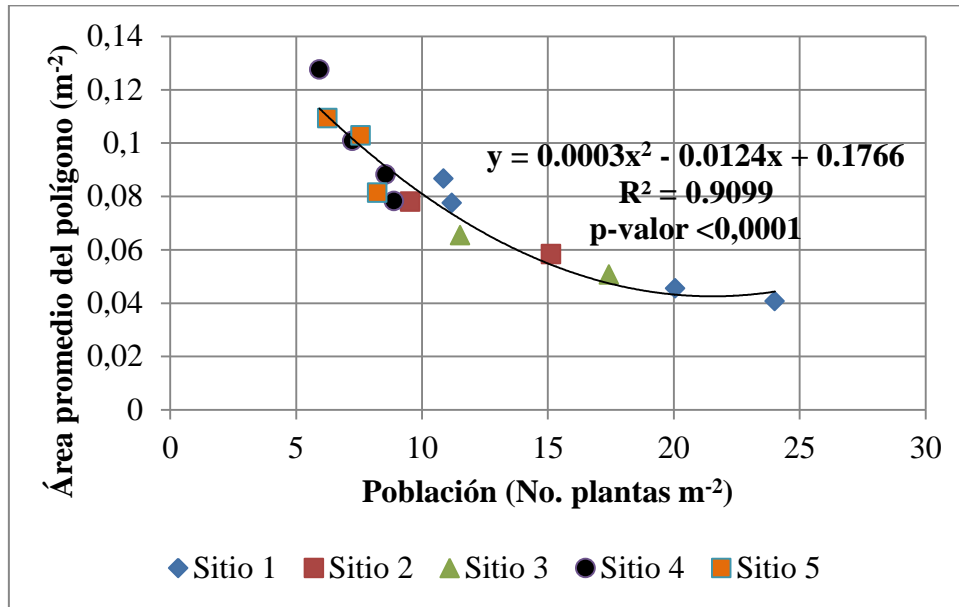


Figura No. 11. Relación entre población y área promedio del polígono correspondiente a cada planta.

Otra variable que tiene gran incidencia en el área de los polígonos es la distancia entre las plantas dentro de la línea de siembra. Hay una relación lineal positiva entre la distancia entre las plantas y el área disponible para cada una (Figura No. 12).

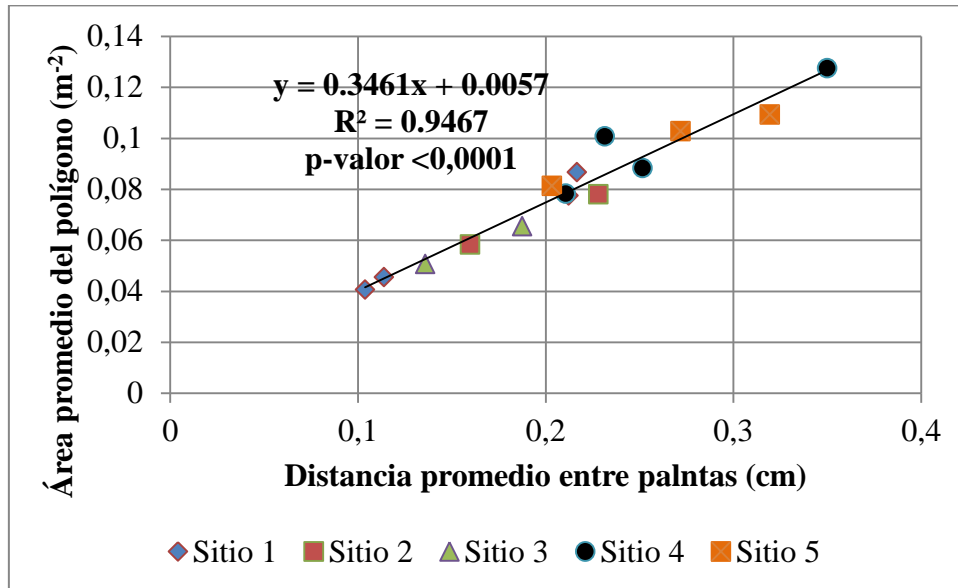


Figura No. 12. Relación entre la distancia promedio entre plantas y el área promedio del polígono correspondiente a cada planta.

No obstante, la variabilidad encontrada en el área de los polígonos no fue afectada por la población, por lo tanto, esta no fue determinante de la uniformidad espacial del cultivo como podía esperarse, suponiendo que una mayor población redundaría en una distribución más uniforme de las plantas (Figura No. 13). Lo mismo ocurre entre la población y el CV (%) de la distancia entre las plantas dentro de la línea de siembra (Figura No. 14), lo que indica que la población en estos casos analizados, no fue determinante de la uniformidad de distribución de plantas.

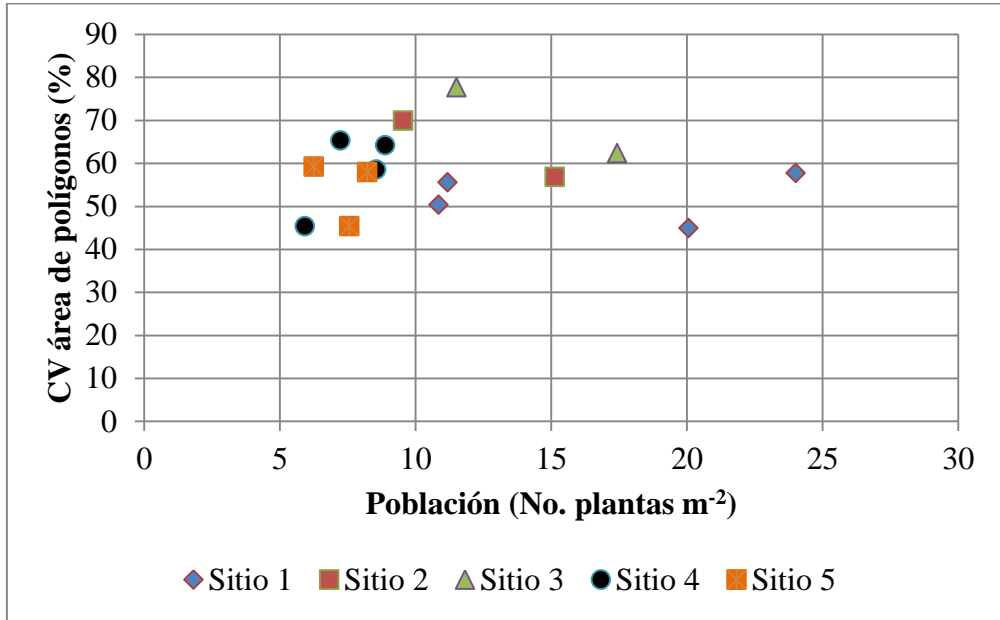


Figura No. 13. Relación entre la población y el CV del área de los polígonos.

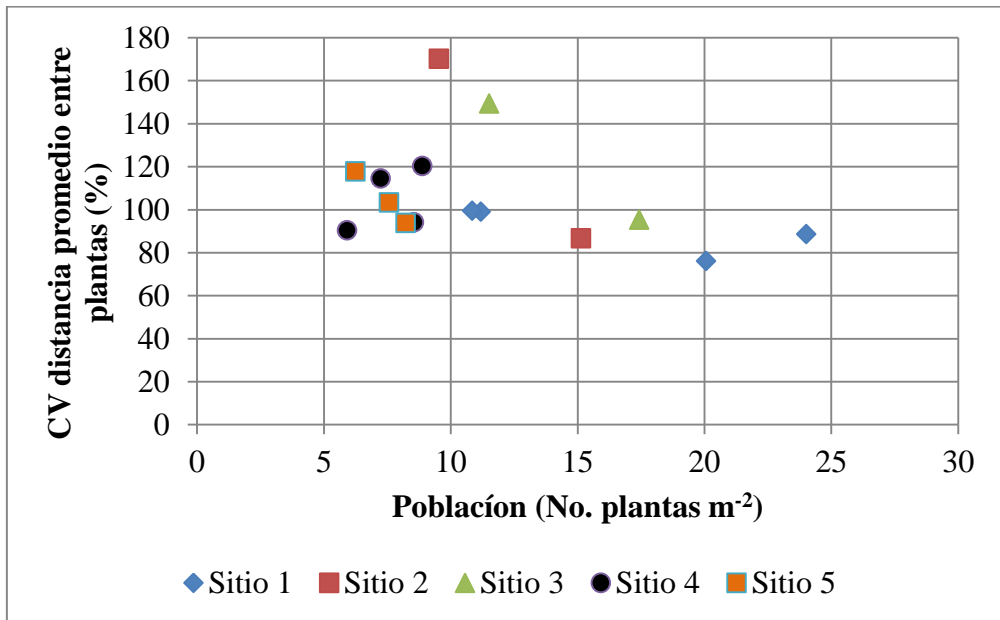
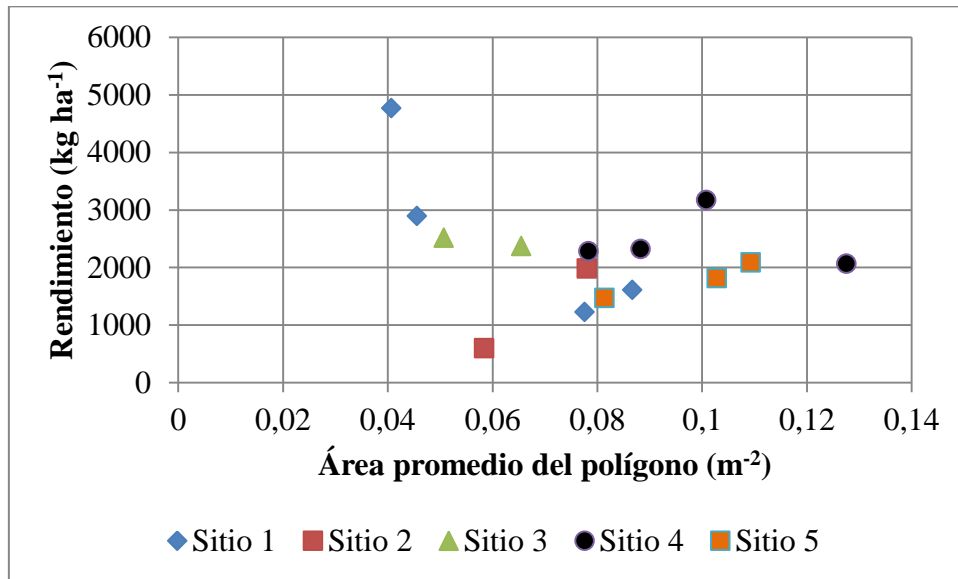


Figura No. 14. Relación entre la población y el CV de la distancia promedio entre plantas dentro del surco.

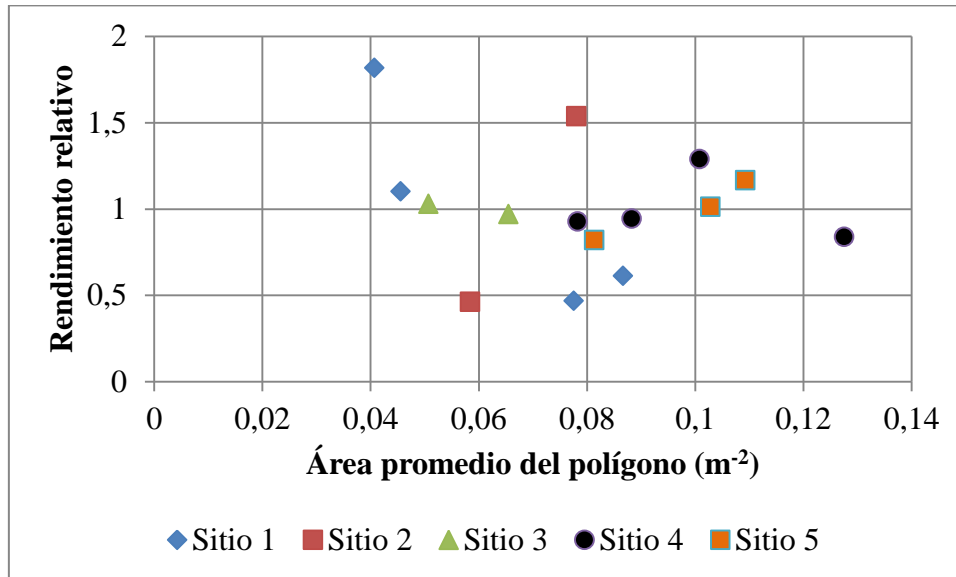
4.2.5. Efecto del área del polígono sobre el rendimiento

Las áreas de los polígonos de Thiessen son un indicador de la disponibilidad de recursos para el crecimiento y factores ambientales esenciales para cada planta (Hühn, 2003). Los datos de los diferentes sitios muestran que el área del polígono no tuvo efecto sobre el rendimiento por unidad de superficie, expresado tanto como rendimiento absoluto o rendimiento relativo (Figuras No. 15 y No. 16).



Cada punto corresponde a un punto de muestreo.

Figura No. 15. Relación entre el área promedio del polígono correspondiente a cada planta y el rendimiento.



Cada punto corresponde a un punto de muestreo.

Figura No. 16. Relación entre el área promedio del polígono correspondiente a cada planta y el rendimiento relativo.

4.2.6. Efecto de la distancia entre plantas dentro del surco

No se detectaron cambios en el rendimiento como consecuencia de cambios en la distancia media entre plantas (Figura No. 17), lo que indica que al menos utilizando las medidas de uniformidad utilizadas no fue posible relacionarlas con los cambios en los rendimientos obtenidos.

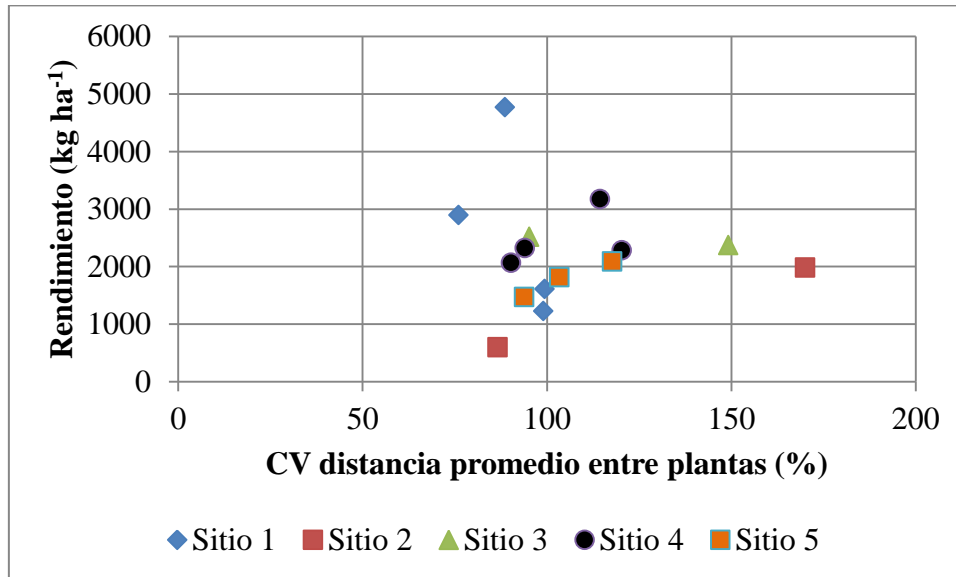


Figura No. 17. Relación entre el CV de la distancia promedio entre plantas dentro del surco y el rendimiento.

4.3. EFECTO DE LAS DIFERENTES VARIABLES SOBRE EL RENDIMIENTO POR PLANTA

El estudio del rendimiento individual de las plantas es relevante ya que a partir del mismo se construye el rendimiento del sitio, por lo tanto, es de utilidad identificar las variables que más contribuyen a su construcción. Dentro las variables medidas, el número de vainas es uno de los principales componentes numéricos del rendimiento en soja, determinante del rendimiento individual de cada planta. Los datos demuestran esta relación entre el número de vainas de cada planta y su rendimiento, siendo esta lineal y positiva, por lo tanto, aumentos en el número de vainas se traducirán en aumentos en el rendimiento. El valor promedio de vainas por planta fue de 45, pero con una variabilidad importante, encontrando valores desde 4 a 236 vainas.

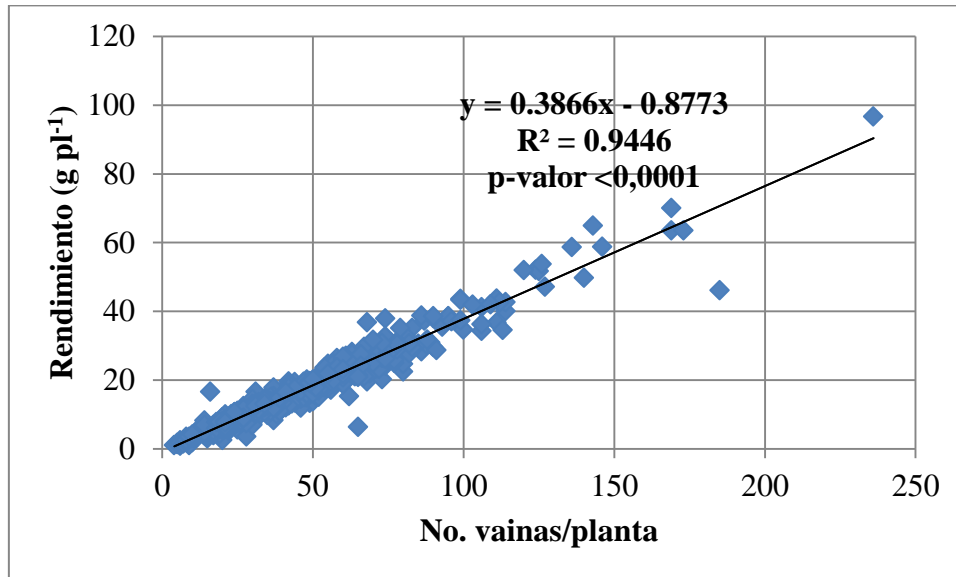


Figura No. 18. Relación entre el número de vainas por planta y el rendimiento individual de cada planta.

Buscando representar la relación entre el área del polígono disponible para cada planta y su rendimiento, tanto en términos absolutos como relativo, de manera de lograr comprender la respuesta en productividad de las mismas frente a cambios en el espacio disponible para cada una, se relacionaron los datos de rendimiento y área disponible de cada planta individual.

Como el objetivo de este trabajo fue encontrar una respuesta cuantificable entre el rendimiento y el área de los polígonos, un primer paso para la construcción de un modelo de respuesta que involucre a la población y la uniformidad es encontrar esta relación. No obstante, en oposición a lo esperado, los datos muestran que no se observó una relación entre las variables rendimiento y área del polígono determinado para cada planta (Figuras No. 19 y No. 20). Estos resultados permiten observar la gran capacidad de compensación mediante ramificación que poseen las plantas de soja, como fue mencionado en la revisión bibliográfica, especialmente en un año como en el que se llevó adelante este trabajo con condiciones ambientales muy favorables.

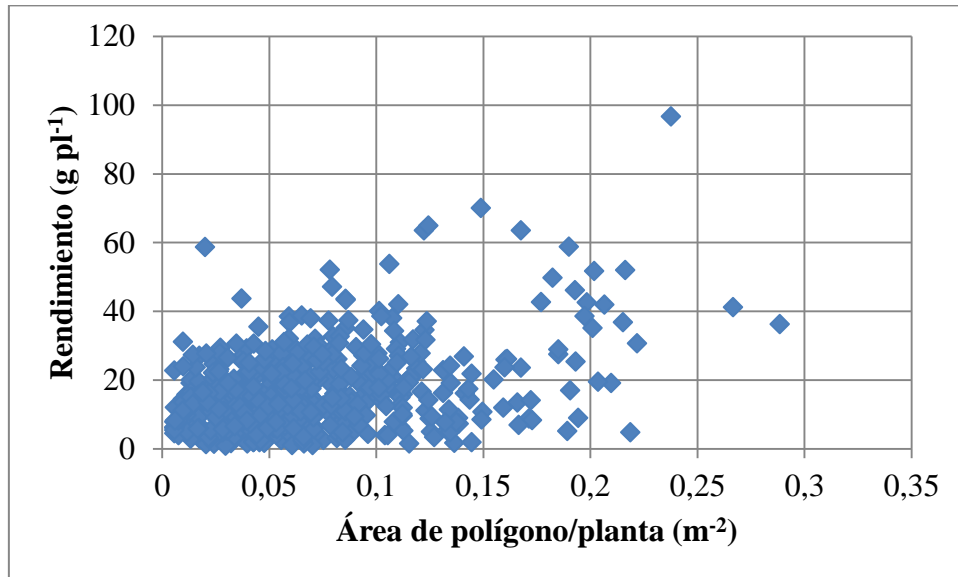


Figura No. 19. Relación entre el área del polígono y el rendimiento por planta. Cada punto corresponde a una planta.

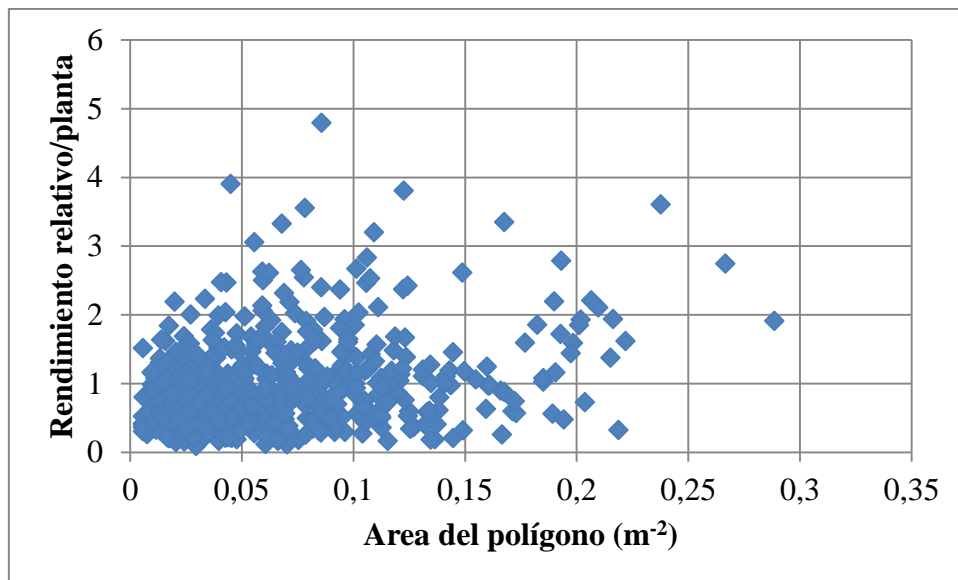


Figura No. 20. Relación entre el área del polígono y el rendimiento relativo. Cada punto corresponde a una planta.

Una vez analizada y discutida la información, surgen variables que podrían haber mejorado la estimación, tales como la uniformidad temporal del cultivo, la dinámica poblacional (emergencia y muerte de plantas), y evaluar otros factores además

del área del polígono que ocupa cada planta, como por ejemplo, y como se menciona en la bibliografía, la excentricidad, que hace referencia a la ubicación de la planta dentro del polígono.

5. CONCLUSIONES

La variable que tuvo mayor relación con el rendimiento, tanto por planta individual como por punto de muestreo, fue el número de vainas, que constituye uno de los componentes numéricos del rendimiento en soja, explicándolo en un 94% en ambos casos.

No se encontró relación entre la variable población y el rendimiento, con un rango que iba de las 6 a las 24 plantas m^{-2} .

En lo que respecta la uniformidad de distribución de las plantas, medida como el CV (%) de la distancia promedio entre plantas dentro de la línea y el CV (%) del área promedio de los polígonos, no se encontró relación de estas variables con el rendimiento.

El área del polígono correspondiente a cada planta no mostró tener relación directa con el rendimiento, pese a esto, sería de interés continuar evaluando otras características del polígono, como la excentricidad o su forma, de manera de confirmar si existe correlación con el rendimiento de la planta.

Finalmente se confirma la importancia del mecanismo de compensación sobre el crecimiento y concreción del rendimiento del cultivo, especialmente en condiciones ambientalmente favorables.

6. RESUMEN

El presente trabajo de tesis tuvo como objetivo principal cuantificar el impacto de la falta de uniformidad espacial de las plantas de soja en la línea de siembra, sobre el rendimiento final del cultivo. Para ello se eligieron chacras comerciales en la zona de la ciudad de Mercedes, en el departamento de Soriano, tres en la zona del kilómetro 9 de la ruta 14, y dos más en la zona del aeródromo Ricardo Detomasi, sobre el camino Luis Tuya, pretendiendo así explicar la relación entre la población, la uniformidad espacial de la distribución, y el rendimiento. La metodología de trabajo consistió en hacer un muestreo aleatorio en cada chacra, en donde se seleccionaron entre dos y cinco puntos de muestreo, conformándose un total de 15 unidades muestrales, registrándose en el punto la ubicación de cada planta dentro del surco a lo largo de cuatro metros lineales, en seis surcos, y cosechándose las plantas de los dos centrales. En laboratorio y posterior a la cosecha se determinaron algunos componentes numéricos del rendimiento. Posteriormente, y mediante la creación de polígonos de Thiessen por medio de un software de información geográfica, se pudo cuantificar el área ocupada por cada planta, y modelar la relación de esta variable con el rendimiento, así como otras variables determinadas. A nivel general, no se observó que la diferencia en rendimiento fuera atribuible directamente a la superficie de los polígonos, así como tampoco lo fue a los CV de la superficie de los polígonos y la distancia entre plantas, utilizados como medida de uniformidad de distribución. Contrario a lo esperado, el rendimiento individual de cada planta no tuvo relación con el área del polígono que ocupa, siendo de interés la evaluación de otras características del polígono, como su forma o la excentricidad. Finalmente, se confirma la importancia de la ramificación a la hora de mantener el rendimiento frente a distribuciones desuniformes, en especial bajo condiciones favorables para el cultivo.

Palabras clave: Soja; Rendimiento; Uniformidad; Arreglo espacial.

7. SUMMARY

The main objective of this thesis work was to quantify the impact of the lack of spatial uniformity of the soybean plants in the sowing line, on the final yield of the crop. For this, commercial farms were chosen in the area of the city of Mercedes, in the department of Soriano, three in the area of kilometer 9 of route 14, and two more in the area of the Ricardo Detomasi airfield, on the road Luis Tuya, trying to explain the relationship between population, spatial uniformity of distribution, and performance. The work methodology consisted in making a random sampling in each farm, where two or five sampling points were selected, a total of 15 sampling units being formed, registering the location of each plant in the furrow along the point, four linear meters, in six rows, and the plants of the two plants are harvested. In the laboratory and after the harvest, some numerical components of the yield were determined. Subsequently, and through the creation of Thiessen polygons through geographic information software, it was possible to quantify the area occupied by each plant, and to model the relationship of this variable with performance, as well as other determined variables. At a general level, it was not observed that the difference in yield was directly attributable to the surface of the polygons, nor was it to the CVs of the surface of the polygons and the distance between plants, used as a measure of uniformity of distribution. Contrary to what was expected, the individual performance of each plant was not related to the area of the polygon it occupies, being of interest the evaluation of other characteristics of the polygon, such as its shape or eccentricity. Finally, the importance of branching when maintaining performance against non-uniform distributions is confirmed, especially under favorable environmental conditions.

Keywords: Soybean; Performance; Uniformity; Spatial arrangement.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Ahmadi, E.; Ghassemzadeh, H. R.; Moghaddam, M.; Kim, K. U. 2008. Development of a precision seed drill for oilseed rape. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*. 32(5):451- 458.
2. Alonso, M.; Ballvé, R.; Satorre, E. H. 2015. Controlando la densidad y uniformidad de siembra de los cultivos. (en línea). *Cultivar Decisiones*. no. 87. 4 p. Consultado 16 ago. 2017. Disponible en https://www.agroconsultasonline.com.ar//documento.html?op=v&documento_id=628
3. Andrade, F. H. 1995. Analysis of growth and yield of maize, sunflower and soybean grown at Balcarce, Argentina. *Field Crops Research*. 41(1): 1-12.
4. Arbeletche, P.; Ernst, O.; Hoffman, E. 2010. La evolución de la agricultura en Uruguay. In: García Préchac, F.; Ernst, O.; Arbeletche, P.; Bidegain, M. P.; Pritsch, C.; Ferenczi, A.; Rivas, M. eds. *Intensificación agrícola: oportunidades y amenazas para un país productivo y natural*. Montevideo, Universidad de la República. CSIC. pp. 13-22.
5. Bodrero, M. 2003. Algunos factores genéticos y ambientales que influyen sobre el rendimiento de la soja. In: Jornada Nacional de la Soja (2003, Colonia). *Memorias*. Montevideo, INIA. pp. 1-13 (Actividades de Difusión no. 325).
6. Bustamante, M.; Espínola, A. 2015. Estudio del efecto de la población sobre el rendimiento en soja en condiciones hídricas no limitantes. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Universidad de la República, Facultad de Agronomía. 55 p.
7. Carpenter, A. C.; Board, J. E. 1997. Branch yield components controlling soybean yield stability across plant populations. *Crop Science*. 37: 885-891.
8. Cavalheiro, M. C.; De Rezende, P.; Salvador, N. 2002. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agronômicas da soja. (en línea). *Pesquisa Agropecuária Brasileira*. 37(8):1071-1077. Consultado 24 set. 2017. Disponible en http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-204X2002000800004&script=sci_arttext
9. D´Amico, J. P.; Tesouro, M. O.; Romito, A.; Paredes, D.; Roba, M. A. 2011. Desuniformidad de distribución espacial; caracterización de su impacto sobre el rendimiento de maíz (*Zea mays* L.). (en línea). *Revista de la Facultad de Agronomía (La Plata)*. 110 (1):50-62. Consultado 23 set. 2017. Disponible en

http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/15713/Documento_completo_.pdf?sequence=1

10. Díaz Zorita, M.; Duarte, A. G. 2004. Manual práctico para la producción de soja. Buenos Aires, Hemisferio Sur. 256 p.
11. Endres, V. C. 1996. Espaçamento, densidade e época de semeadura. *In*: Endres, V. C. ed. Soja: recomendações técnicas para Mato Grosso do Sul e Mato Grosso. Dourados, MS, EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste Dourados. pp. 82-85 (Circular Técnica no. 3).
12. Fassio, A.; Pérez, O.; Ibáñez, W.; Rabaza, C.; Vergara, G.; Sawchik, J.; Schusselin, M.; Silva, L. 2016. Soja: rendimiento con y sin riego a diferentes poblaciones de siembra. *Revista INIA*. no. 47: 22-26.
13. _____.; _____.; _____.; Ceretta, S.; Rabaza, C.; Vergara, G. 2017. Soja: adaptación de ciclos de madurez a diferentes épocas de siembra bajo condiciones de riego. *Revista INIA*. no. 48: 28-33.
14. Ferraris, G.; González, N.; Rivoltella, A. 2003. Densidad y distribución de plantas en soja: en qué caso es conveniente resembrar? (en línea). Pergamino, INTA. 7 p. Consultado 10 oct. 2017. Disponible en http://econoagro.com/images/stories/pdf/agricultura/cuando_resembrar_sj.pdf
15. Gaso, D. 2018. Respuesta del rendimiento de soja a la densidad de siembra en ambientes de productividad contrastante. (en línea). *Agrociencia (Uruguay)*. 22(2):24-35. Consultado 13 abr. 2019. Disponible en http://www.scielo.edu.uy/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2301-15482018000200024&lng=es&nrm=iso.
16. Griepentrog, H. W.; Olsen, J. M.; Weiner, J. 2009. The influence of row width and seed spacing on uniformity of plant spatial distributions. (en línea). *In*: International Conference on Agricultural Engineering (67th., 2009, Hannover). Innovations to meet future challenges. Düsseldorf, VDI Verlag GmbH. pp. 265-270. Consultado 5 oct. 2017. Disponible en <http://www.jacobweiner.dk/download/griepentrog-et-al-2009.pdf>
17. _____.; Nielsen, J.; Olsen, J.; Weiner, J. 2011. Simulating the influence of crop spatial pattern on canola yield. (en línea). *In*: European Conference on Precision Agriculture (8th., 2011, Czech Republic). Proceedings. Prague, s.e. pp. 180-190. Consultado 5 oct. 2017. Disponible en http://www.jacobweiner.dk/download/griepentrog_et_al_2011.pdf

18. Hühn, M. 1999. Experimental results on the effects of non-regular spatial patterns of plants on yield per area. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 182: 89- 97.
19. _____. 2000a. Non-regular spatial patterns of plants and their effect on several agronomic traits per area. *European Journal of Agronomy*. 2000. 12(1):1-12.
20. _____. 2000b. Notes on the effect of non-regular spatial patterns of plants on yield per area based on a logarithmic relationship between single plant yield and individual area. *Journal of Agronomy and Crop Science*. 184: 133-136.
21. _____. 2001. Effects of nonregular spatial distribution of plants on yield per Area: a theoretical approach with applications to winter oilseed rape (*Brassica napus* L.). *Journal of Agronomy and Crop Science*. 187: 241-250.
22. _____. 2003. Estimating yield depression caused by nonuniformity of spatial plant patterns. *Crop Science*. 43 (1): 421-425.
23. INIA. GRAS (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria. Unidad de Agro-clima y Sistema de Información, UY). 2017. Programa de información climática GRAS. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 5 set. 2017. Disponible en <http://www.inia.uy/gras/Clima>
24. Jiang, H.; Egli, D.B. 1995. Soybean seed number and crop growth rate during flowering. *Agronomy Journal*. 87: 264-267.
25. Lauer, J. G.; Rankin M. 2004. Corn response to within row plant spacing variation. *Agronomy Journal*. 96: 1464 – 1468.
26. Legendre, P.; Fortin, M. 1989. Spatial pattern and ecological analysis. (en línea). *Plant Ecology*. 80:107–138. Consultado 11 set. 2017. Disponible en <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00048036>
27. López Pereira, M.; Trapani, N.; Sadras, V. 1999. Densidad, distanciamiento entre hileras y uniformidad del cultivo de girasol. *Cuaderno de Actualización Técnica*. CREA. 30 (62): 34-39.
28. Martin, K. L.; Hodgen, K. W.; Freeman, R.; Melchiori, D. B.; Arnall, R. K.; Teal, R. W.; Mullen, K.; Desta, S. B.; Philips, M. L.; Soile, M. L.; Stone, O.; Caviglia, F.; Solari, A.; Bianchini, D. D.; Francis, J. S.; Schepers, J. L.; Raun, W. R. 2005. Plant to plant variability in corn production. *Agronomy Journal*. 97: 1603-1611.
29. MGAP. DGRN (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección General de Recursos Naturales, UY). 2016. Grupos CONEAT. (en línea). Montevideo. s.p. Consultado 10 set. 2017. Disponible en

<http://www.mgap.gub.uy/unidad-organizativa/direccion-general-de-recursos-naturales/suelos/coneat/grupos-coneat>

30. _____. DIEA (Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca. Dirección de Investigaciones Estadísticas Agropecuarias, UY). 2016. Anuario estadístico 2016. Montevideo. 198 p.
31. Panning, J. W.; Kocher, M.; Smith, J.; Kachman, S. 2000. Laboratory and field testing of seed spacing uniformity for sugarbeet planters. (en línea). Applied Engineering in Agriculture. 16(1): 7-13. Consultado 5 oct. 2017. Disponible en <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1151&context=biosysengfacpub>
32. Rodríguez, H.; De Battista, J.; Arias, N.; García, E.; Sosa, F.; Alaluf, C.; Rochás, M. 2015. Efectos de la reducción de la densidad de siembra en soja. (en línea). Concepción del Uruguay, Argentina, INTA. 4 p. Consultado 16 ene. 2017. Disponible en <https://inta.gob.ar/documentos/efectos-de-la-reduccion-de-la-densidad-de-siembra-en-soja>
33. Salvagiotti, F.; Enrico, J. M.; Bodrero, M.; Bacigaluppo, S. 2010. Producción de soja y uso eficiente de los recursos. INTA. Para Mejorar la Producción. no. 45:151-154.
34. Satorre, E.; Benech, R.; Slafer, G.; De la Fuente, E.; Miralles, D.; Otegui, M.; Savin, R. 2003. Producción de granos: bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, UBA. Facultad de Agronomía. 783 p.
35. Soza, E. L.; Tourn, M. C.; Smith, J.; del Olmo, F.; Gitard, J. 2000. Eficiencia de implantación de la secuencia anual trigo-soja, mediante los sistemas de siembra directa y con labranza previa. (en línea). Revista de la UBA. Facultad de Agronomía. 20:181-186. Consultado 16 ene. 2017. Disponible en <http://ri.agro.uba.ar/cgi-bin/library.cgi?e=d-00000-00---off-0rfa--00-2----0-10-0---0---0direct-10---4-----0-11--10-es-50---20-about--00-3-1-00-00--4--0--0-0-01-10-0utfZz-8-00&a=d&c=rfa&cl=CL2.20.2&d=2000sozael>
36. Tesouro, M. O.; Casartelli, M.; D´amico, J.; Loyde, G.; Paredes, D.; Roba, M.; Romito, A. 2009. Desuniformidad de distribución de girasol (*Helianthus annuus* L.): impacto sobre la producción individual y el rendimiento del cultivo. (en línea). Buenos Aires, INTA. 8 p. Consultado 23 set. 2017. Disponible en <https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-desuniformidad.pdf>
37. Valentinuz, O.; Di Orio, C. L.; Cabada, S. 2009. Velocidad de siembra y desuniformidad espacial en dos híbridos de maíz. Revista Científica Agropecuaria. 13 (supl.1): 17-24.

38. Vega C. R. C.; Andrade F. H.; Sadras V. O. 2001. Reproductive partitioning and seed set efficiency in soybean, sunflower and maize. *Field Crops Research*. 72: 163-178.
39. Yang, C.; Gan, Y.; Gulden, R.; Harker, N.; Irvine, B.; Kutcher, R.; May, W. 2014. Up to 32 % yield increase with optimized spatial patterns of canola plant establishment in western Canada. (en línea). *Agronomy for Sustainable Development*. 34:793-801. Consultado 23 set. 2017. Disponible en <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs13593-014-0218-5>