

Análisis de la variabilidad espacial de la rentabilidad del cultivo de soja en una propiedad del Distrito de Villeta - Departamento Central

Analysis of the spatial variability of the yield of soybean crop in a property of the District of Villeta - Central Department

Juan Jose Bonnin^{1*}, María Gloria Cabrera Romero², Rubén Franco Ibars¹, Henry David Rivas Ullón³ y Sergio Manuel Chamorro Díaz¹

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Area de Ingeniería Agrícola. San Lorenzo, Paraguay.

² Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Agrarias, Área de Economía Rural. San Lorenzo, Paraguay.

³ Universidad París Diderot, Unidad de Formación e Investigación en Geografía, Historia, Economía y Sociedades. Paris, Francia.

* Autor para correspondencia (jose.bonnin@hotmail.com)

Recibido: 31/07/2016; Aceptado: 25/10/2016.

10.18004/investig.agrar.2017.junio.16-27

RESUMEN

El objetivo de la investigación fue crear un mapa de la variabilidad espacial de la rentabilidad de la soja, a través de datos de productividad del cultivo, a fin de analizar la viabilidad económica del mismo. El trabajo se realizó durante la zafra 2014/2015, en la agro-ganadera Querencia (Villeta-Central). La variedad de soja utilizada fue Syn 1161RR. La implantación del cultivo fue en una superficie de 21,03 ha, en un sistema de siembra directa, donde la fertilización, control de malezas, enfermedades y plagas fueron realizadas de acuerdo con las recomendaciones y necesidades del cultivo. Para la obtención de la rentabilidad, primeramente, fue determinada la productividad del cultivo a través de un muestreo en malla, de modo a proporcionar el mayor número de puntos posibles para la caracterización del área. La localización y distribución geográfica de los puntos de muestreo se efectuó con un receptor GPS-Trimble. Se realizó un análisis exploratorio y análisis geoestadístico de los datos, a fin de la determinación de la dependencia espacial y generación de los mapas. La creación de un mapa de lucratividad, a partir de datos de la productividad, se mostró adecuada, permitiendo observar la variabilidad espacial del lucro, cuando comparado con el promedio del área, lo que permitió contar con una información precisa de la viabilidad económica del cultivo bajo esas condiciones. La productividad promedio fue de 3.753,33 kg ha⁻¹, superior a la media nacional, donde el 71,95% del área presentó un rendimiento de 2.403,11 a 4.267,17 kg ha⁻¹, con una rentabilidad de 409,93 a 969,15 US\$ ha⁻¹.

Palabras clave: *Glycine max* (L.), agricultura de precisión, costo de producción.

ABSTRACT

The aim of the research was to create a map of the spatial variability of the yield of soybean, through crop productivity data, in order to assess the economic viability of the crop. The work was conducted during the 2014/2015 harvest on the farm Querencia (Villeta-Central). The soybean variety used was Syn 1161RR. The implementation of the crop was in an area of 21.03 ha, in a system of direct seeding, where fertilization, weed control, pests and diseases were carried out in accordance with the recommendations and requirements of the crop. To obtain the yield, productivity was determined first, through mesh sampling, to provide the greatest possible number of points for the characterization of the area. The location and geographical distribution of the sampling points were performed with a Trimble GPS-receiver. An exploratory analysis and geostatistical analysis of the data were carried out in order to determine the spatial dependence and generation of maps. The elaboration of a profitability map, from productivity data, was adequate, allowing observing the spatial variability of profit, when compared to the average for the area, which allowed obtaining precise information of the economic viability of cultivation under these conditions. The average productivity was 3.753.33 kg ha⁻¹, higher than the national average, where 71.95% of the area presented a yield of 2.403.11 to 4267.17 kg ha⁻¹, with a profit of 409.93 to 969.15 US\$ ha⁻¹.

Key words: *Glycine max* (L.), precision agriculture, production cost.

INTRODUCCIÓN

El sector agrícola se constituye en un pilar importante de la actividad económica del Paraguay y es responsable del ingreso de divisas a la economía nacional. Destacándose el cultivo de soja como el primer producto de exportación, con una producción anual de 8,2 millones de toneladas (Zafra 2015/2016), posicionándose como el sexto exportador de grano a nivel mundial de acuerdo con USDA (2016), donde sus mayores mercados son la Unión Europea, Rusia, Turquía y Brasil, para los granos. Los derivados como aceite y pellets, se exportan a países de Sudamérica y Asia (IICA 2016). El cultivo de la soja se ha desarrollado con mayor preponderancia en la Región Oriental del Paraguay, presentando una tasa de crecimiento positiva y de acuerdo con la Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO), en la campaña agrícola 2014/2015, la superficie de soja producida totalizó unas 3.264.480 ha, con un rendimiento promedio de 2.452 kg ha⁻¹. El Departamento de Alto Paraná es el mayor productor, seguido por Itapúa y Canindeyú.

El sistema productivo paraguayo primario del cultivo de soja presenta una alta productividad por hectárea, consecuencia de la aplicación, principalmente, del sistema productivo de siembra directa, asociado a una buena calidad de semilla, el uso de maquinaria agrícola con tecnología de punta que permite en gran parte del territorio nacional hacer un buen manejo del suelo, una aplicación más eficiente de fertilizantes y un buen control de malezas, plagas y enfermedades. Por otro lado, esta mejoría en los rendimientos de granos, tornó los costos de producción bastante elevados y con una dependencia del agricultor al mercado, asociado a una incerteza y mudanzas significativas de los precios del grano a nivel nacional como internacional. En razón de esto, el productor debe tener un conocimiento y control eficiente de sus costos de producción, a fin de lograr su objetivo principal que es la obtención de un retorno financiero satisfactorio.

El productor agrícola es ante todo un tomador de decisiones, y muchas veces lo hace hasta en forma intuitiva, buscado la mejor opción para la distribución más eficiente de los recursos para aumentar la producción. Siendo así, el momento en que el agricultor decidió esa opción, él también está definiendo su costo de producción (Binger y Hoffman 1998). En la agricultura, el costo de producción puede ser definido como la suma de todos los recursos (insumos y servicios) utilizados en un proceso productivo, que pueden ser clasificados en costos fijos y

variables (Reis 2007). El costo total de producción puede ser definido como el total de los gastos realizados por la empresa con la combinación más económica de los factores, por medio de la cual es obtenida una determinada cantidad de producto (Castro et al. 2009).

La agricultura moderna requiere racionalización en la utilización de los medios de producción y en este contexto la fertilización, la aplicación de defensivos agrícolas, como la utilización de máquinas agrícolas, ocupan un papel fundamental y relevante para tal fin, en virtud de expresar el alto valor técnico y económico en una explotación agrícola (Santos 2010). Según Werner (2007), para realizar un análisis económico de una propiedad rural es necesario realizar un levantamiento detallado de la actividad productiva en relación a lo que se produce, además de todos los factores de costos relacionados a la cantidad producida. Bajo este enfoque, la agricultura de precisión es un conjunto de técnicas y metodologías que buscan optimizar el manejo del cultivo y la utilización de los insumos, proporcionando la máxima eficiencia económica, con vista a reducir impactos ambientales recurrentes en la actividad agrícola (Mapa 2011). Para Santi (2007), la agricultura de precisión es una nueva filosofía de gerenciamiento agrícola, que parte del levantamiento de datos a nivel de campo de los más variados aspectos, que a partir de técnicas y metodologías de análisis se torna en informaciones precisas y confiables para gerenciar un cultivo en forma localizada, llevando en cuenta el hecho de que cada región del área presenta necesidades distintas. Diversas definiciones ya han sido propuestas para la agricultura de precisión, pero todos convergen en el gerenciamiento, basado en la variabilidad espacial y temporal de los factores de producción, buscando lucro, sustentabilidad y reducción del impacto ambiental (Menegatti y Molin 2004).

La competitividad de las empresas envuelve la búsqueda constante por la eficiencia operacional, principalmente, en un escenario donde la demanda y el precio están sujetos a diversos factores externos, por ello, para que se torne viable económicamente una explotación agrícola, debe ser analizado desde el punto de vista de reducción de los costos operacionales (Minette 2008). De acuerdo con Molin (2004), muchos investigadores consideran que los mapas de productividad son el medio de información más completo que permite visualizar la variabilidad espacial del cultivo que, por su vez, es el momento en el cual los granos tienen mayor valor agregado. Siendo así, es analizado el uso más eficiente de los factores de producción relacionándolo con la eficiencia económica. Trabajos

realizados por Brusco et al. (2005), han demostrado la importancia de los mapas de lucratividad o de rentabilidad en un análisis económico del cultivo de soja, ya que permite al gerente agrícola poder contar con mayor información para la toma de decisiones para una intervención localizada en el área, buscando el mejor costo-beneficio para la empresa agrícola. Otro beneficio que puede obtenerse con estos mapas temáticos sería el control de la calidad en las operaciones mecanizadas, ya que un control detallado de las mismas permitiría un uso racional de los conjuntos mecanizados y una mayor eficiencia en la aplicación de los insumos agrícolas (Molin et al. 2006).

Otro recurso disponible para el análisis de la variabilidad espacial es la geoestadística, la misma surge como una de las técnicas más importantes, visto que ella podría propiciar la reducción de los costos y el aumento de la productividad de los cultivos, principalmente, cuando aplicada a cultivos económicamente expresivos, (Johnson y Richard Júnior 2005). La dependencia espacial puede ser estimada por el semivariograma que, a la vez, puede ser obtenido por medio de análisis geoestadístico de los datos (Carvalho et al. 2002). En este sentido, los mapas de

productividad son considerados una excelente herramienta para maximizar la rentabilidad de la cosecha de una propiedad agrícola (Amado et al. 2007a). Con base a lo expuesto, el objetivo de esta investigación fue crear un mapa de variabilidad espacial de la rentabilidad a través de los datos de productividad obtenida en la cosecha, a fin de evaluar la viabilidad económica del cultivo de soja en una propiedad agrícola.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación fue realizada durante la zafra de soja 2014/2015, en la agro-ganadera Querencia, localizada en el Distrito de Villeta, Departamento Central (Paraguay), con las coordenadas geodésicas de 25°33'23" latitud Sur, 57°26'51" longitud Oeste, con una altitud de 102 msnm (Datum WGS 84). El clima de la región es templado (Subtropical), con estación seca en el invierno y húmeda en el verano. La temperatura promedio durante el ciclo del cultivo fue en torno de 27°C, la humedad relativa promedio del aire de 71% y la precipitación acumulada fue de 917 mm. El suelo del área experimental, de acuerdo a López (1995), está clasificado como Ultisol, subordem: Udult, grande grupo: Paleudult, subgrupo: Rhodic Paleudult.

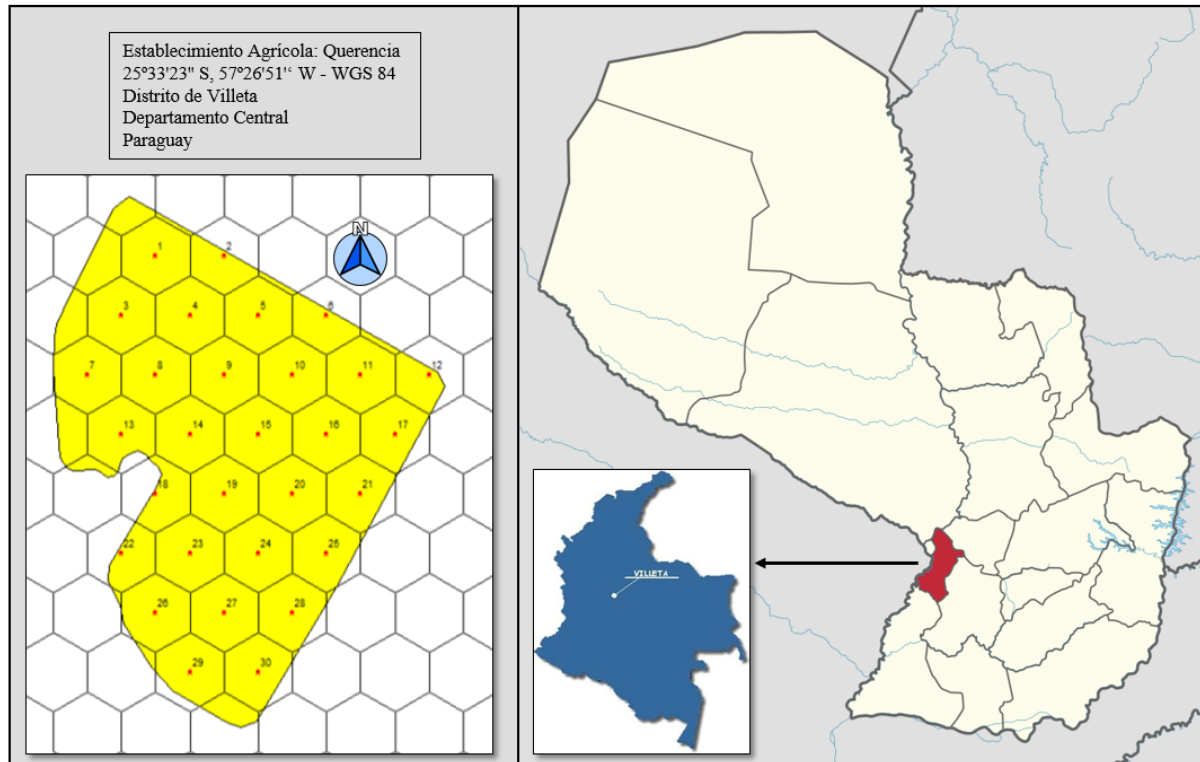


Figura 1. Área de investigación de 21,03 ha, con 30 puntos de muestreo. Villeta, Central.

El cultivo de soja utilizado fue de la variedad Syn 1161RR (Roundup Ready), genéticamente modificado, desarrollada por la empresa Syngenta Seeds LTDA, con un ciclo de maduración de 132 días, con una densidad de 16 semillas por metro, en espaciamiento de 0,45 m entre líneas, recomendado para la región. La implantación del cultivo fue en una superficie de 21,03 ha, en sistema de siembra directa. El manejo de la fertilización, control de plantas invasoras (malezas), enfermedades y plagas fueron realizadas de acuerdo con las recomendaciones y necesidades del cultivo, de forma uniforme para toda el área de estudio.

Con base al objetivo propuesto en el trabajo, primeramente, fue determinada la productividad del grano de soja (kg ha^{-1}) del área. Para la obtención de la productividad fue realizado un muestreo en malla, de modo a proporcionar el mayor número de puntos posibles para la mejor caracterización del área de estudio, de forma a configurar una mejor distribución espacial de los puntos, totalizando así 30 puntos de colecta (Figura 1). La localización y distribución geográfica de los puntos de muestreo fue realizado a través del software Fram Works™ Mobile (Trimble Navigation Limited), ejecutado a través de un receptor GPS Juno 3B de la marca Trimble.

En cada punto de muestreo fue delimitada una superficie de $3,9 \text{ m}^2$, a través de un marco rectangular, construido con dos tubos de PVC y dos cordones de nylon, con una dimensión de $3,9 \times 1 \text{ m}$, que coincide con el ancho de la plataforma de corte de la cosechadora New Holland modelo 8040, año 1988, con una potencia en el motor de 125 cv (92 kW) a 2100 rpm y sistema de trilla convencional. La regulación de los sistemas de trilla y limpieza de grano de la cosechadora fueron realizadas antes de la cosecha, de acuerdo con las recomendaciones del fabricante para el cultivo de soja. La velocidad media de desplazamiento durante a cosecha del área experimental fue de $5,50 \text{ km h}^{-1}$.

La cuantificación de la productividad fue realizada antes de la cosecha mecanizada, en forma manual, a través del marco PVC, que fue colocado en sentido transversal a la línea de siembra, donde posteriormente, se colectaron todas las plantas que se encontraban en la delimitación del marco de muestreo, de acuerdo con la metodología propuesta por Mesquita et al. (2006). Cada muestra colectada en el campo fue debidamente identificada e impermeabilizada en bolsa plástica, a fin de mantener inalteradas las mismas y luego enviadas al laboratorio de semillas de la FCA/UNA, para la determinación de la masa

y la humedad de los granos de soja, donde posteriormente la humedad fue uniformizada a 13% de acuerdo con la recomendación de Portella (2000) y por último cada muestra obtenida en cada uno de los puntos de cosecha fueron extrapolados para cada kg ha^{-1} .

Una vez obtenidos los valores de productividad de cada punto colectado del área de estudio, fue posible realizar un análisis de los costos de producción, donde fueron considerados los gastos operacionales, como semilla, fertilizantes, defensivos agrícolas, siembra mecanizada, pulverización mecanizada y cosecha mecanizada. La información de costos de producción fue estandarizada a la unidad de $\text{US\$ ha}^{-1}$, a fin de poder calcular el Lucro Bruto por hectárea, presentado en la Ecuación 1, donde se consideró el precio por kilogramo de soja en dólares en el tiempo que fuera comercializado. El lucro o perjuicio en cada punto de muestreo fue obtenido por la diferencia entre el Lucro Bruto y el Costo de Producción de la soja por medio de la Ecuación 2.

$$Lb = Pp * Pd \quad (1)$$

Dónde:

Lb: lucro bruto ($\text{US\$ ha}^{-1}$)
Pp: precio del producto ($\text{US\$ kg}^{-1}$)
Pd: productividad (kg ha^{-1})

$$LP = Lb - Cp \quad (2)$$

Dónde:

LP: lucro o perjuicio ($\text{US\$ ha}^{-1}$)
Lb: lucro bruto ($\text{US\$ ha}^{-1}$)
Cp: costo de producción ($\text{US\$ ha}^{-1}$)

Para el análisis de las variables estudiadas fue realizado primeramente un análisis exploratorio, con la finalidad de describir los parámetros estadísticos, que permitió identificar la tendencia, dispersión y distribución de los datos (homogeneidad y normalidad), a través del software estadístico InfoStat Profesional. Para este análisis se asumió que las observaciones eran independientes espacialmente, o sea las variaciones de un lugar a otro son consideradas aleatorias, no se tiene en cuenta su posición geográfica. Con este análisis se verificó principalmente si existía alguna discrepancia entre los valores mínimo y máximo, como también si los datos presentaban una distribución normal (valores de coeficientes de asimetría y curtosis próximos de cero) o no, de acuerdo con lo propuesto por Vieira y Paz-González (2003). El cálculo de la normalidad de las distribuciones de los datos de productividad y rentabilidad fue efectuado por la prueba de Shapiro-Wilk ya que es recomendada cuando la muestra no supera un tamaño de 50 datos.

El análisis espacial fue realizado sobre la óptica de la geoestadística, donde se tuvo en consideración los vecinos más próximos, con sus respectivas coordenadas geográficas de cada una de las muestras colectadas en el campo, para la generación de los semivariogramas y los modelos teóricos que mejor caracterizaba el fenómeno para el área experimental. Para la determinación de la estructura de la dependencia espacial de los parámetros analizados fue utilizado el software CR Campeiro 7 y finalmente fueron generados los mapas temáticos de las variables estudiadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El establecimiento agrícola objeto de estudio no lleva más de 3 años dedicado al cultivo de soja, bajo el sistema de siembra directa, donde inicialmente el sistema adoptado por el productor consistía en la desecación del área (control de plantas invasoras o malezas) que antecede a la siembra, luego es realizado la siembra y fertilización en la línea de siembra en la misma operación agrícola, posterior a la emergencia de la planta se lleva a cabo los controles de plagas y enfermedades de acuerdo a las recomendaciones para el cultivo hasta la fase final de la maduración de los granos y finalmente la cosecha mecanizada.

Para la determinación de los costos de producción fueron utilizados los gastos incurridos desde la desecación del área hasta la cosecha. El área de estudio comprendía una

superficie de 21,03 ha, donde los costos directos de producción total registrados para esta parcela fueron de 7.154 US\$, siendo el costo por hectárea del cultivo de soja de 340,19 US\$, conforme se puede observar en la Tabla 1 para la zafra 2014/2015. Se pudo verificar que las distribuciones de los costos de producción se concentraron en mayor proporción en los fertilizantes, con una participación del orden de 40,80% de los costos totales, lo que representó un costo directo de 138,80 US\$ ha⁻¹, seguidamente los costos referentes a los defensivos agrícolas, con el 24,97% de los costos totales, equivalente a 84,93 US\$ ha⁻¹, luego los costos de semilla, con una proporción de 15,78%, lo que dio un gasto de 53,67 US\$ ha⁻¹.

Con relación a los costos generados en la mecanización (Tabla 1), la cosecha mecanizada fue la más elevada (29,67 US\$ ha⁻¹), luego le siguieron los costos por pulverización, que en este caso fueron realizadas siete aplicaciones durante todo el ciclo del cultivo, lo que acarreo un gasto de capital de 15,58 US\$ ha⁻¹ y por último los gastos efectuados en la siembra. Esta información es importante para el productor, ya que le permite ver y evaluar, cómo puede disminuir estos costos a fin de maximizar su lucro en el futuro, sin detrimento o perjuicio de la productividad del cultivo.

Tabla 1. Estimativa de los costos directos de producción (US\$ ha⁻¹) del cultivo de soja para la zafra del 2014/2015. Villeta, Central.

Ítems	Costo Directo de Producción (US\$ ha ⁻¹)	Participación Porcentual (%)
Semilla	53,67	15,78
Fertilizante	138,80	40,80
Defensivo Agrícola	84,93	24,97
Siembra	17,53	5,15
Pulverización	15,58	4,58
Cosecha	29,67	8,72
Costo total por hectárea	340,19	100

En la Figura 2 se puede observar la distribución de los costos de producción del área analizada por orden de importancia. Como se puede ver los costos incurridos en fertilizante, defensivo agrícola y semilla representaron el 81,54% de los costos de producción, equivalente a 277,40 US\$ ha⁻¹. Godinho et al. (2016) analizó los costos de

producción del cultivo de soja bajo dos sistemas de manejo de suelo, donde pudieron observar una participación de 73,30% para los costos en insumos para el sistema de preparo de suelo convencional, ya para el sistema de siembra directa los gastos en insumos correspondieron a 60,80% de los costos. Los gastos ocasionados por la

utilización de sembradora, pulverizador y cosechadora, representaron el 18,46% del total, lo que significó un costo de capital de 62,79 US\$ ha⁻¹. Godinho et al. (2016) registró 20,10% en operaciones mecanizadas para el sistema convencional y 45,80% para siembra directa. De acuerdo

con Veiga (2000) y Milan (2004), los costos incurridos en la utilización de máquinas e implementos agrícolas puede llegar a representar entre un 20% a 40% de los costos de producción de una explotación agrícola totalmente mecanizada.

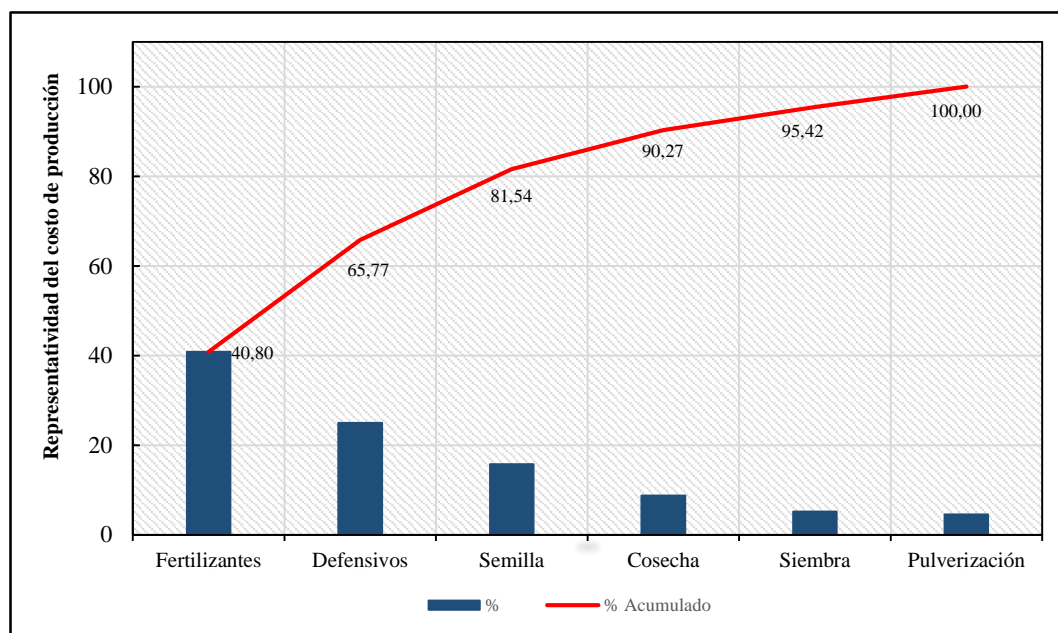


Figura 2. Orden de importancia de las categorías del costo operacional. Villeta, Central.

En la Tabla 2, se puede observar el análisis exploratorio (estadística descriptiva) que fuera realizado bajo los parámetros estudiados en esta investigación. Para este caso todos los parámetros presentaban una distribución normal (Shapiro-Wilk). La asimetría dio positivo para las variables productividad, no así para la rentabilidad. De acuerdo con Isaaks y Srivastava (1989), el coeficiente de asimetría detecta el grado de alejamiento de la media con relación a la moda y a la mediana. Este coeficiente es utilizado comúnmente para describir la distribución de la frecuencia de un muestreo. Con relación a la curtosis, para los valores de productividad, la distribución de frecuencia fue leptocúrtica, curtosis mayor que cero (positiva), lo que denota una tendencia de mayor homogeneidad de los datos, con mayor concentración en torno al promedio o la media de los datos obtenidos. Para el valor de lucratividad, la distribución de frecuencia fue platicúrtica, con curtosis menor que cero (negativa), lo que significa una mayor variabilidad en torno al promedio de los datos.

La productividad promedio de grano de soja en el área de estudio fue de 3.753,33 kg ha⁻¹, superior al promedio

nacional de 2.452 kg ha⁻¹ para la zafra 2014/2015 (CAPECO 2015). La productividad mínima registrada fue de 1.417,08 kg ha⁻¹, inferior al promedio nacional. Ya la máxima productividad observada fue de 6.131,23 kg ha⁻¹, un poco más que el doble de la media nacional. Para la variable lucro o perjuicio del área analizada, no fueron registrados valores negativos o perjuicio en ningunos de los puntos de muestreo realizados. Una vez pagado o cubiertos los costos de producción se evidenció los beneficios para el productor, donde la rentabilidad promedio fue de 815 US\$ ha⁻¹. El mayor lucro obtenido fue de 1.528,37 US\$ ha⁻¹ y el menor retorno financiero fue de 333,99 US\$ ha⁻¹. De acuerdo con la CAPECO (2015), la rentabilidad promedio a nivel país para la zafra 2014/2015 fue de 1.020,03 US\$ ha⁻¹. En este caso el retorno económico registrado en el área estudiada fue de 20,11% menor al registrado a nivel nacional. Este bajo retorno económico al productor se puede deber a varios factores, pero vale la pena recalcar el poco tiempo de consolidación que tiene la propiedad en el área de producción de soja, asociado a la fertilidad del área, lo que se puede observar perfectamente en los gastos incurridos en la fertilización (Tabla 1).

Tabla 2. Estadística descriptiva de las variables Productividad y Rentabilidad del cultivo de soja, zafra del 2014/2015. Villeta, Central.

Parámetros Estadísticos	Productividad (kg ha ⁻¹)	Lucro o Prejuicio (US\$ ha ⁻¹)
Promedio	3.753,33	815,00
Mínimo	1.471,08	130,32
Máximo	6.131,23	1.528,37
DS*	1.113,32	333,99
CV* (%)	29,66	40,98
Asimetría	0,25	-0,11
Curtosis	0,24	-0,10

*DS - Desvío-estándar, CV - Coeficiente de variación

La variabilidad de un atributo puede ser clasificado conforme la magnitud de su coeficiente de variación (CV) de acuerdo con Freddi et al. (2006) y según los límites propuestos por Warrick y Nielsen (1980), los coeficientes de variación pueden ser clasificados en: variabilidad baja ($CV < 12\%$), variabilidad media ($12\% < CV < 60\%$) y variabilidad alta ($CV > 60\%$). En este caso los dos parámetros analizados presentaban una variabilidad media ($12\% < CV < 60\%$), donde los coeficientes de variación registraron porcentajes de 14,16 a 46,35%, resultados semejantes fueron registrados por Milani et al. (2006). Trabajos realizados por Rosa Filho et al. (2009), en la determinación de la variabilidad espacial en la productividad de grano de soja registraron valores menores de coeficiente de variación (14%). Ya Johann et al. (2004), encontraron coeficiente de variación en el orden de 23% en la variación de rendimientos de soja. Resultados de coeficiente de variación elevados también fueron observados por Mesquita et al. (2002) cuando evaluaba productividad y pérdidas en la cosecha mecanizada de la soja. Estos resultados pueden ser justificados por la variabilidad de los datos obtenidos en el muestreo de campo, como también por la heterogeneidad encontrada por la rentabilidad, evidenciando que el área presentaba variación en lo referente al rendimiento, ya que para toda la superficie analizada fue considerado el mismo costo de producción, como era de esperar, ya que en el área no se realiza ninguna aplicación o distribución de insumos a tasa variable.

Con relación al comportamiento espacial de los datos, estos fueron analizados a través del semivariograma. Los parámetros tabulados en el análisis geoestadístico para cada una de las variables, pueden ser observados en la Tabla 3. El grado de dependencia espacial fue evaluado a través del porcentaje del efecto pepita en la meseta ($Co/(C_1+Co)$) y de acuerdo con los criterios propuestos por

Cambardella et al. (1994), en el cual establece que cuando el valor porcentual del efecto pepita con relación al valor máximo de la semivariancia es menor que el 25%, esta dependencia puede ser considerada alta, cuando esta relación asume una grandeza entre 25 a 75%, moderada y cuando la misma se presenta mayor que 75%, baja.

Los modelos teóricos que mejor se ajustaron a los semivariogramas experimentales para los datos de productividad y rentabilidad fueron del tipo exponencial, con un índice de dependencia espacial de 32,07% para ambos parámetros estudiados. La determinación del alcance es de suma importancia para la interpretación del semivariograma, ya que indica la distancia hasta donde los puntos muestreados están correlacionados entre sí, o sea, los puntos localizados en un área cuyo radio sea el alcance (Ao), son más semejantes entre sí, de lo que los separados por distancias mayores (Vieira y Paz-González 2003). Los valores del alcance para las variables analizadas fueron mayores que la distancia entre los puntos de muestreo adoptados en el trabajo (80 m). De acuerdo con Carvalho et al. (2002), para garantizar la dependencia espacial, los puntos de muestreo deberían ser colectados a una distancia equivalente a la mitad del valor del alcance, y en este caso se puede observar que la distancia de muestreo adoptado en la investigación fue superior a la mitad del alcance calculado para las dos variables.

Con base a los resultados del análisis geoestadístico anteriormente realizado a las dos variables que presentaban continuidad espacial y meseta definida, fue posible efectuar la interpolación y generación de los mapas a través del krigeado. Los resultados obtenidos en el trabajo nos proporcionaron una serie de informaciones con relación a la distribución espacial de la productividad de la soja y a través del mismo fue posible observar la distribución del lucro en el área. De acuerdo con Amado et al. (2007b), el mapa de productividad es una importante herramienta en la toma de decisión y evaluación del rendimiento del cultivo

a nivel de la propiedad agrícola. Mantovani (2006), considera al mapa de productividad como una de las alternativas más completas y viables para la discriminación o determinación de la variabilidad espacial en un cultivo comercial o de renta, lo que nos permite manejar o

transformar las prácticas de manejo del suelo, fertilidad y otros parámetros sumamente importantes para el aumento de la producción agrícola, a pesar que, para la generación de mapas de productividad confiables es fundamental tener cuidados operacionales y tratamientos de los datos bases.

Tabla 3. Parámetros de los modelos teóricos ajustados de los semivariogramas. Villeta, Central.

Variables Analizadas	Modelo	Efecto pepita Co	Meseta C ₁ +Co	Alcance Ao (m)	Co/C ₁ +Co (%)	Dep. Espacial
Productividad (kg ha ⁻¹)	Exponencial	397.469,50	1.239.471,00	101,77	32,07	Moderada
Lucrabilidad (US\$ ha ⁻¹)	Exponencial	35.772,26	111.552,40	101,77	32,07	Moderada

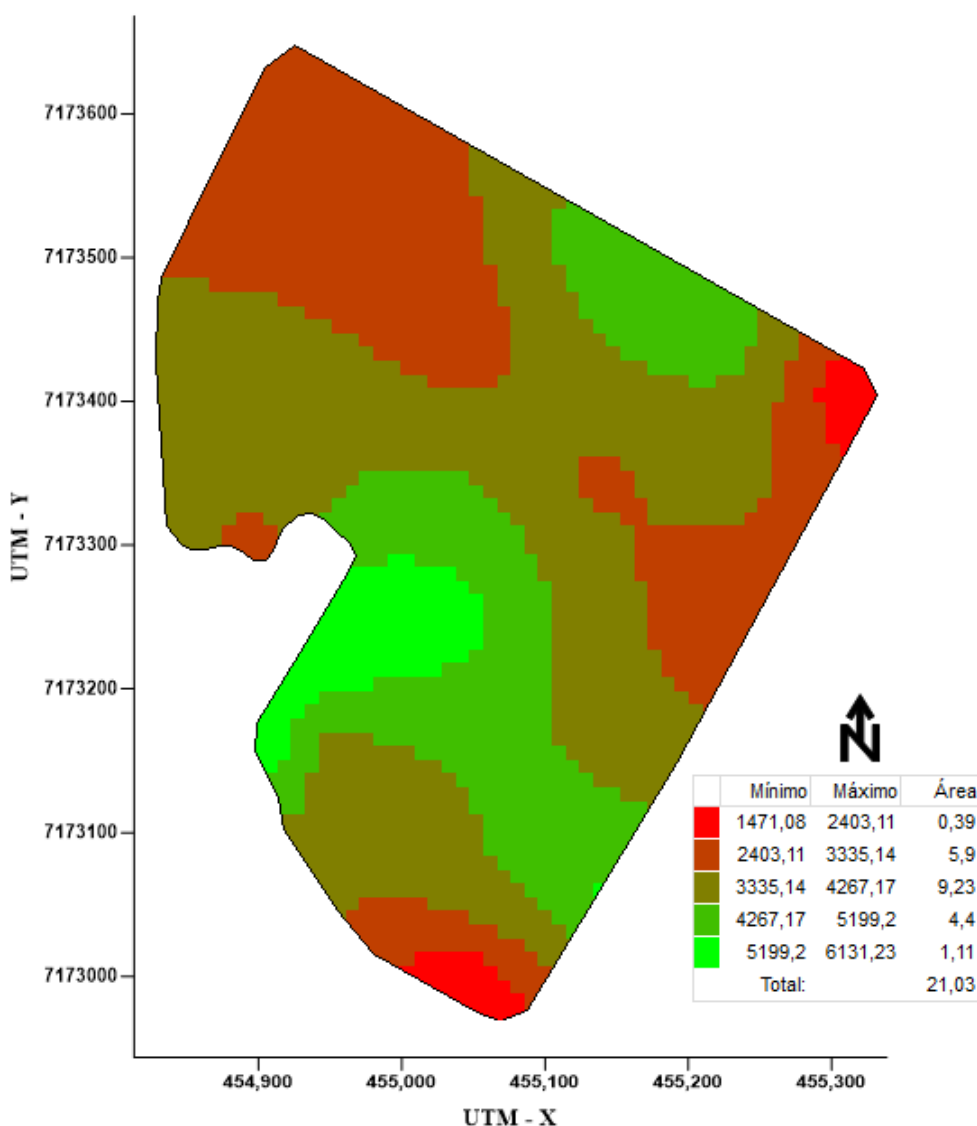


Figura 3. Mapa de la distribución espacial de la productividad de soja (kg ha⁻¹). Zafra 2014/2015. Villeta, Central. En el mapa de la Figura 3, es posible observar la variabilidad espacial de la productividad del grano de soja, donde se destaca dos áreas representativas, una con un rendimiento de 3.335,14 a 4.267,17 kg ha⁻¹ y otra de

2.403,11 a 3.335,14 kg ha⁻¹, representando una superficie de 9,23 e 5,90 ha respectivamente. Ambas superficies representan el 71,94% del área total. También se puede observar una tercera región interesante del campo experimental, donde presentó una producción de 2.403,11 a 3.335,14 kg ha⁻¹, en una superficie de 4,40 ha (20,92% del área total). El mayor rendimiento registrado por superficie fue de 5.199,20 a 6.131,23 kg ha⁻¹, en una pequeña área de 1,11 ha y la menor productividad

registrada estuvo entre 1.471,08 a 2.403,11 kg ha⁻¹, en una pequeña superficie de 0,39 ha. Cabe resaltar que el Departamento Central no es área sojera por excelencia, pero en los últimos años se ha venido sembrado este cultivo con un éxito relativo, ya que el área en esta región del país se caracteriza por presentar un suelo de baja fertilidad y a eso podemos sumarle el poco conocimiento sobre el cultivo en esta región, ya que la misma es por excelencia zona de caña de azúcar e hortalizas.

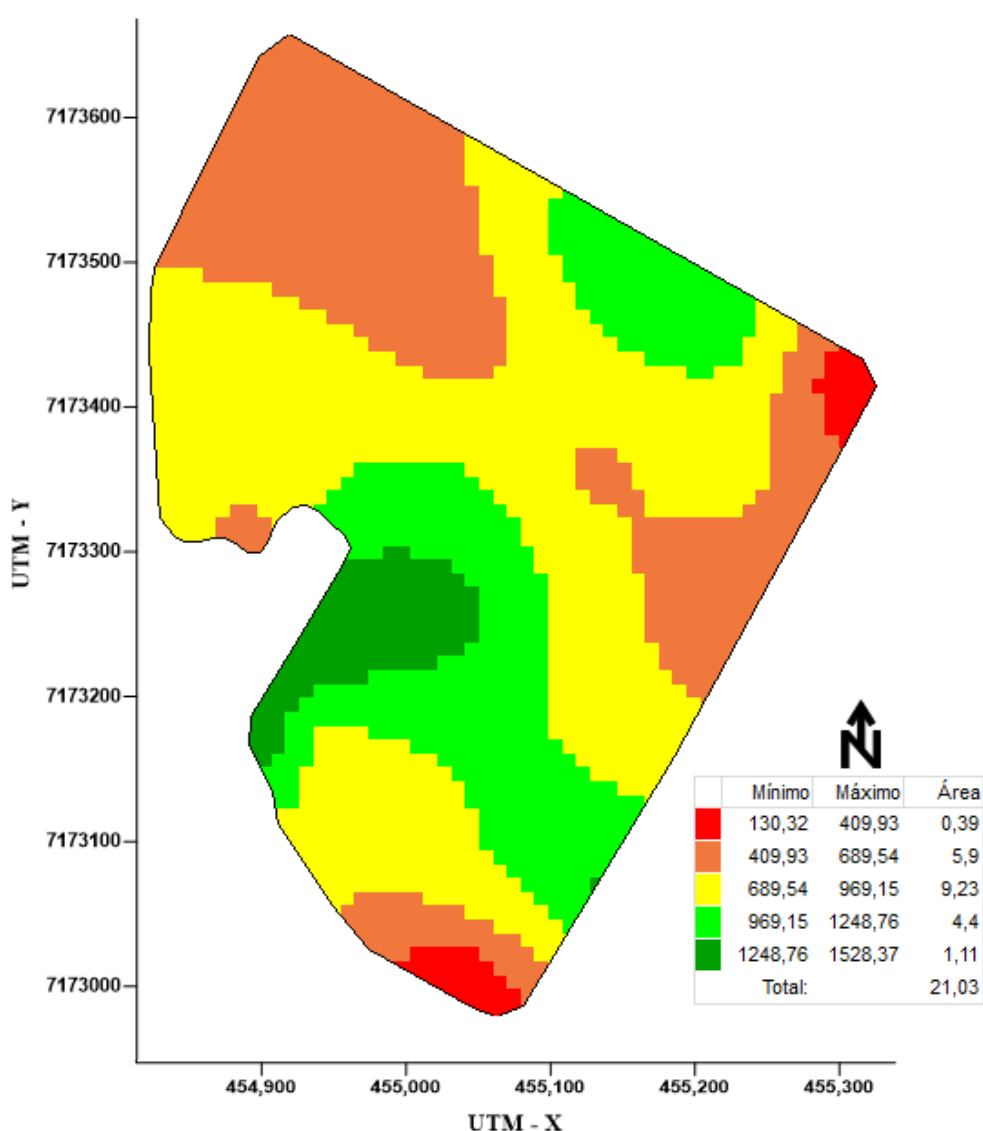


Figura 4. Mapa de la distribución espacial de la rentabilidad da soja (US\$ ha⁻¹). Zafra 2014/2015. Villeta, Central.

En publicaciones realizadas por la CAPECO (2015) y el IICA (2016) no registraron superficies de siembra de soja en esta región, pero a pesar de esto se puede hacer una comparación con las áreas de producción de este cultivo para la zafra 2014/2015, que de acuerdo con INBIO (2016)

el Departamento de Alto Paraná, considerado el mayor productor de soja del Paraguay, tiene una producción total de 2.453.393 toneladas y con un rendimiento promedio de 2.738 kg ha⁻¹ y el menor productor es el departamento de Guairá con un rendimiento de 2.394 kg ha⁻¹, ya el

departamento de Itapúa fue el que registro el menor rendimiento para esta zafra, con una producción de 2.024 kg ha⁻¹, a pesar que esta región produjo un rendimiento total de más de 1.279.700 toneladas para el año 2014/2015. Como podemos ver nuestra área analizada produjo un promedio general de 3.753,33 kg ha⁻¹ y si consideramos que el 71,94% del área total produjo entre 2.403,11 a 4.267,17 kg ha⁻¹, queda evidenciado que este cultivo podría tener un potencial de producción para este Departamento y es ahí donde las herramientas de la agricultura de precisión pueden jugar un papel preponderante para un uso racional y preciso de los insumos en función de un aumento de la producción.

Los mapas de lucro o perjuicio tienen una gran importancia en este contexto, ya que el productor puede hacer un análisis económico georreferenciado de la propiedad en función de los rendimientos obtenidos y verificar si es viable realizar correcciones o ajustes en el sistema de producción de un determinado cultivo antes de la próxima zafra, teniendo una expectativa de precio de venta del producto. Al analizar la distribución espacial de la rentabilidad del cultivo de soja (US\$ ha⁻¹) en el mapa de la Figura 4, es posible observar también un comportamiento igual al mapa de productividad del área, donde el 43,89% del área presentó un lucro en el orden de 689,54 a 969,15 US\$ ha⁻¹ y 20,06% una ganancia de 409,93 a 689,54 US\$ ha⁻¹, representando el 71,94% del área total. Estos resultados de lucros obtenidos en el área de estudio están por debajo del lucro promedio de la zafra 2014/2015 del cultivo de soja a nivel nacional, que fue de 1.020,03 US\$ ha⁻¹, a pesar que los rendimientos no fueron tan bajos como ya fue discutido anteriormente, pero ahí es donde se refleja la utilización de los mapas de lucro, que permiten hacer un buen análisis de los resultados obtenidos y en una futura zafra poder hacer un uso más racional de los insumos a fin de aumentar el rendimiento por hectárea, y a su vez generar mayor ingreso al productor. A pesar de que en una superficie de 15,13 ha se obtuvieron los lucros más representativos del área, en el restante del área se registraron valores superiores de rentabilidad en el orden de 969,15 a 1.248,76 US\$ ha⁻¹, para una superficie de 4,40 ha y la mayor ganancia en una superficie de 1,11 ha, con unos dividendos por hectárea de 1.248,76 a 1.528,37 US\$. Ya la menor rentabilidad fue de 130,32 a 409,93 US\$ ha⁻¹, en 0,39 ha, no registrándose perjuicio al productor.

CONCLUSIONES

La creación de mapas de rentabilidad, a partir de datos de la productividad obtenida en la cosecha, se muestra

adecuado, evidencia la variabilidad espacial del lucro del área estudiada, cuando comparado con el promedio del área total, lo que permite contar con información precisa de la viabilidad económica del cultivo bajo esas condiciones y en el futuro tomar los recaudos permitientes a fin de mejorar la relación costo/beneficio. La productividad promedio del área es 3.753,33 kg ha⁻¹, superior a la media nacional, para la zafra 2014/2015, donde el 71,95% del área total, presenta un rendimiento en el orden de 2.403,11 a 4.267,17 kg ha⁻¹, con una rentabilidad de 409,93 a 969,15 US\$ ha⁻¹.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Amado, TJC; Peres, RB; Costa, JA; Nicoloso, RS; Teixeira, TG. 2007a. A safra recorde analisada pelos mapas de rendimento no RS. *Revista Plantio Direto* (101):18-123.
- Amado, TJC; Santi, AL; Moreira, JH; Souza, LA. 2007b. Variabilidade espacial e temporal da produtividade de culturas sob sistema plantio direto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 42(8):1101-1110.
- Brusco, J; Godoy de Souza, E; Rodrigues Junior, FA; Johann, JA; Pereira, JO. 2005. Mapas de lucratividade da soja em sistemas de cultivo agricultura de precisão e cultivo convencional. *In Simpósio internacional de agricultura de precisão* (3, 2005, Sete Lagoas, Brasil). Sete Lagoas, Brasil, Embrapa Milho e Sorgo. 6 p.
- Cambardella, CA; Moorman, TB; Novak, JM; Parkin, TB; Konopka, AE. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:1501-1511.
- Carvalho, JRP; Silveira, PM; Vieira, SR. 2002. Geoestatística na determinação da variabilidade espacial de características químicas do solo sob diferentes preparos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 37:1151-1159.
- Castro, ER. 2009. Teoria dos custos. *In Santos, ML; Lírio, VS; Vieira, W da C. Microeconomia Aplicada*. 6 ed. Brasil, Suprema. 649 p.
- CAPECO (Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas). 2015. Ranking mundial (en línea). Paraguay, CAPECO. Consultado 25 nov. 2015. Disponible em <http://capeco.org.py/ranking-mundial-es>.

- Freddi, OS; Carvalho, MP; Veronesi, V; Carvalho, GJ. 2006. Produtividade do milho relacionada com a resistência mecânica à penetração do solo sob preparo convencional. *Engenharia Agrícola*. 26:113-121.
- Godinho, VP; Prado, EE; Utumi, MM; Oliveira, SJ. 2016. Estimativa de custos de produção de soja, em plantio direto e convencional, para a região do cerrado de Rondônia. Embrapa-Rondônia. Comunicado Técnico 184.. Consultado 25 may 2016. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/703060/1/cot184soja.pdf>.
- IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Paraguay). 2016. Ranking mundial (en línea). Paraguay, IICA. Consultado 20 ene. 2016. Disponível em: <http://capeco.org.py/ranking-mundial-es>.
- INBIO (Instituto de Biotecnología Agrícola, Paraguay). 2016. Estimación de superficie sembrada producción y productividad del cultivo de soja campana 2014-2015 (em línea). Paraguay, INBIO. Consultado 22 ene. 2016. Disponível em: http://www.inbio.org.py/uploads/Estimacion_de_superficie_sembrada,_produccion_y_productividad_del_cultivo_de_soja,_campana_2014-2015.pdf.
- Isaaks, EH; Srivastava, RM. 1989. An introduction to applied geostatistics. Oxford University Press, New York. 561 p.
- Johann, JA; Uribe-Opazo, MA; Souza, EG; Rocha, JV. 2004. Variabilidade espacial dos atributos físicos do solo e da produtividade em um Latossolo Bruno Distrófico da região de Cascavel, PR. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 8(2/3):212- 219.
- Johnson, RM; Richard Junior, EP. 2005. Sugarcane yield, sugarcane quality, and soil variability in Louisiana. *Agronomy Journal*. 97(3):760-771.
- López, GO. 1995. Clasificación de suelos de la región oriental. Paraguay MAG. Esc. 1:500.000.
- Mantovani, EC. 2006. Agricultura de precisão na Embrapa. Consultado 10 nov. 2015. Disponível em: http://www.ripa.com.br/fileadmin/user_upload/_temp/_Projeto_Agricultura_de_Precisao-Junho_2006.doc.
- Menegatti, LA; Molin, JP. 2004. Remoção de erros em mapas de produtividade via filtragem de dados brutos. *Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental* 8(1):126-134.
- Mesquita, CM; Costa, NP; Pereira, JE; Maurina, AC; Andrade, JGM 2002. Perfil da colheita mecânica da soja no Brasil. *Engenharia Agrícola* 22(3):398- 406.
- Mesquita, CM; Hanna, MA; Costa, NP. 2006. Crop and harvesting operation characteristics affecting field losses and physical qualities of soybeans. *Applied Eng. in Agriculture*. 22:325-333.
- Milani, L; Souza, EG; Uribe-Opazo, M.A; Gabriel Filho, A; Johann, JA; Pereira, JO. 2006. Unidades de manejo a partir de dados de produtividade. *Acta Scientiarum Agronomy*. 28:591-598.
- Milan, M. 2004. Gestão sistêmica e planejamento de máquinas agrícolas. Tese Livre-Docência. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba. 100 f.
- Molin, JP. 2004. Agricultura de precisão e seus poucos anos de história. *Campo Aberto* 17(77)12-15.
- Molin, JP; Milan, M; Nesrallah, MGT; Castro, CN; Gimenez, LM. 2006. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. *Engenharia Agrícola* 26(3):759-767.
- Minette, LJ; Silva, EN; Freitas, KE; Souza, AP; Silva, EP. 2008. Análise técnica e econômica da colheita florestal mecanizada em Niquelândia, Goiás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 12(6)659-665.
- Portella, JA. 2000. Colheita de grãos mecanizada: implementos, manutenção e regulagem. *Aprenda Fácil*. Viçosa .190 p.
- Reis, RP. 2007. Fundamentos de economia aplicada. Lavras: UFLA/FAEPE. 95 p.
- Santos, PM. 2010. Modelagem do desempenho em tração de conjuntos mecanizados visando ao dimensionamento do trator. Monografia (tese) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria/RS. 154 f.

- Santi, AL. 2007. Relações entre indicadores de qualidade do solo e a produtividade das culturas em áreas com agricultura de precisão. Tese Doutorado. Santa Maria, RS, Brasil, Universidade Federal De Santa Maria. 175 f.
- USDA (Departamento de Agricultura de Estados Unidos). USDA destaca el crecimiento de la cosecha paraguaya de soja (en línea). Consultado 10 ene. 2016. Disponível em <http://www.economia.com.py/economia/usda-mantiene-perspectivas-de-exportaci-2548.html>
- Veiga, CM. 2000. Modelo Empírico para a seleção de máquinas agrícolas na cultura da soja considerando a pontualidade na semeadura. Piracicaba, Brasil, Universidade de São Paulo. 75 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz",
- Vieira, SR; Paz-González, A. 2003. Analysis of the spatial variability of crop yield and soil properties in small agricultural plots. *Revista Bragantia* 62:127-138.
- Werner, V. 2007. Análise econômica e experiência comparativa entre agricultura de precisão e tradicional. Tese Doutorado. Santa Maria, RS Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. 133 f.
- Warrick, AW; Nielsen, DR. 1980. Spatial variability of soil physical properties in the field. *In Applications of soil physics*. Hillel, D. (Ed.). Academic Press, New York. p. 319-344