



UNC

Universidad
Nacional
de Córdoba



FCA

Facultad de Ciencias
Agropecuarias

Metodos cuantitativos para la investigación agropecuaria

Efecto de la densidad de siembra y dosis nitrogenada en maíz (*Zea mays* L.) en ensayos conducidos bajo agricultura de precisión.

Fernandez, Leonela

Meneguini, Noelia

Roco, Rodolfo

Ing. Agr. Córdoba., Mariano Augusto

Ing. Agr. Vettorello, Cecilia Inés

2018



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución – No Comercial – Sin Obra Derivada 4.0 Internacional.

Índice de contenido

AGRADECIMIENTOS.....	3
RESUMEN	4
INTRODUCCIÓN	5
OBJETIVOS	6
Objetivo General:.....	6
Objetivo Específico:.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
Área de Estudio	7
Datos	7
Análisis Estadísticos.....	9
RESULTADOS.....	9
DISCUSIÓN.....	13
CONCLUSIÓN	14
BIBLIOGRAFÍA.....	15

Índice de tablas y figuras

Figura 1 Localización de los lotes experimentales. Fuente: Google Earth.....	7
Figura 2 Distribución de los tratamientos en los sitios experimentales.	8
Figura 4 Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno.....	10
Figura 5 Rendimiento promedio según densidad de siembra.	11
Figura 6 Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno.....	11
Figura 7 Rendimiento promedio según densidad de siembra.	12
Figura 8 Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno.....	12
Figura 9 Rendimiento promedio según densidad de siembra.	13
Tabla 1 Dosis de nitrógeno y densidad de siembra utilizadas en cada lote experimental.	9
Tabla 2 Comparación de los modelos ajustados.....	10
Tabla 3 Tratamiento que expresó mejor comportamiento el rendimiento en lotes agrícolas...	13

AGRADECIMIENTOS

A nuestro tutor Ing. Agr. Mariano Córdoba por la predisposición y el acompañamiento en el desarrollo del trabajo.

A nuestra co-tutora Ing. Agr. Cecilia Vettorello por la dedicación constante en el seguimiento del mismo.

A Pablo Paccioletti por el asesoramiento permanente en la confección del presente trabajo.

A la Universidad Nacional de Córdoba, Facultad de Ciencias Agropecuarias por formarnos como futuros profesionales.

A nuestras familias, amigos y compañeros por el apoyo incondicional.

RESUMEN

La agricultura de precisión permite optimizar la gestión tanto económica como productiva de una empresa agropecuaria. A partir de esta herramienta se analizaron tres bases de datos provenientes de ensayos de dosificación variable en el cultivo de maíz en campos de productores en Illinois, Estados Unidos. Se evaluaron los rendimientos promedios en relación a distintas densidades de siembra y diferentes dosis de nitrógeno, con el objetivo de poder determinar las dosis adecuadas para mejorar los rendimientos, preservando la sustentabilidad. Los resultados que se observaron fueron que los máximos rendimientos se logran con las mayores dosis de nitrógeno pero no así con las mayores densidades de siembra.

Palabras claves: Ensayos de productores, Rendimiento, Maíz, Modelos lineales general, dosificación variable.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz es el de mayor área sembrada y cosechada del mundo. Además, es el más producido y consumido. Tiene la particularidad de contar con la más amplia cantidad de países participantes. Su producción como materia prima (grano), los productos de su transformación, la tecnología para la producción del cereal y sus derivados son elementos centrales en las negociaciones entre países y bloques del mundo (MAIZAR, 2018).

Los principales países productores a nivel mundial en orden de importancia son Estados Unidos, China, Brasil, Argentina y Ucrania (Actualitix, 2018). Según el USDA, (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos), la producción de maíz en Brasil alcanzaría los 97 millones de toneladas y 40 millones en Argentina, por lo que a nivel Mercosur se superaría en 19% al anterior récord productivo de la campaña 2014/2015 (Infocampo, 2018). En este contexto la Agricultura de Precisión (AP) brinda la posibilidad de mejorar la eficiencia y productividad de los sistemas agrícolas.

La AP es una tecnología de información basada en el posicionamiento satelital; consiste en obtener datos georeferenciados de los lotes para un mejor conocimiento de la variabilidad de rendimiento expresada por los cultivos en los diferentes sitios del mismo. Estos sitios pueden presentar distintos tipos de variabilidad: por topografía, por génesis de suelo o por distinto tipo de manejo (INTA Manfredi, 2005). Las tecnologías de AP pueden ayudar a mejorar los márgenes económicos, a través del aumento del rendimiento (calidad y cantidad), de una reducción en la cantidad de insumos a utilizar o de ambos, es decir, aplicar las cantidades correctas de insumos en el momento y lugar adecuado, permitiendo satisfacer una de las exigencias de la agricultura moderna: el manejo óptimo de grandes extensiones (García y Flego, 2012).

Los diferentes avances en materia de tecnología aplicada a la agronomía, incentivó a la apertura de nuevas fronteras para el desarrollo de investigaciones, las cuales constantemente arrojan resultados superiores, permitiendo que nuevos productores adopten la AP como instrumento para mejorar tanto la capacidad productiva del establecimiento, el cuidado de los recursos renovables como así también los no renovables. El cultivo de maíz presenta actualmente un alto potencial de rendimiento que, para poder expresarlo, sin incrementar excesivamente los costos de producción, es necesario adecuar prácticas de manejo como la fertilización y densidad de siembra. (Cacciavillani, et al., 2017)

Dentro de la fertilización uno de los elementos minerales con mayor impacto en el crecimiento y rendimiento del maíz, es el nitrógeno (N). Esta condición ocurre porque las plantas requieren cantidades relativamente grandes de N y la mayoría de los suelos no tiene suficiente N en forma disponible. Cuando el N es aplicado en dosis mayores a las requeridas produce un

perjuicio económico, daños ambientales por pérdida del nutriente a capas inferiores del perfil del suelo y/o contaminación de aguas profundas con nitrato (Below, 2002).

El maíz es un clásico ejemplo de un cultivo en el que el rendimiento en grano es máximo a un nivel de población definido (Ferry y Janick, 1971). En consecuencia, la elección de la densidad de siembra constituye uno de los aspectos de manejo que incide en el rendimiento final; diferenciándose de otros cultivos, como trigo, soja, o girasol que tienen una mayor capacidad de ajuste ante variaciones en la densidad (Vallone et al., 2011).

En la mayoría de los casos de cultivos de maíz bien manejados y con las densidades correctas, se alcanzan las coberturas necesarias para una máxima interceptación de luz. Por ello las ventajas en reducir la distancia entre surcos resultan generalmente de reducida magnitud (Cirilo, 2004). Encontrar la dosis de N y la cantidad de semillas a sembrar óptima por unidad de superficie es uno de los desafíos a los que se enfrentan los sistemas agrícolas (Echeverría et al., 1983).

OBJETIVOS

Objetivo General:

- Evaluar el efecto del manejo por dosis variable de nitrógeno y densidad de siembra en maíz en lotes agrícolas bajo agricultura de precisión.

Objetivos Específicos:

- Evaluar modelos estadísticos alternativos para evaluar el efecto de fertilización nitrogenada y densidad de siembra en el cultivo de maíz.
- Determinar la dosis de nitrógeno y densidad de siembra que permita maximizar los rendimientos en lotes agrícolas comerciales de maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El cinturón maicero de Estados Unidos se encuentra en la región del Medio Oeste del país y se conforma por los estados de Iowa, Illinois, Indiana, Nebraska oriental, Kansas oriental, Minnesota meridional y partes de Misuri. La región se caracteriza por una tierra relativamente plana y suelos fértiles y profundos, altos en materia orgánica. Las llanuras ocupan la mayor parte del estado; el terreno es ligeramente ondulado y en el sur el suelo tiene un alto contenido arcilloso. El clima de esta región cuenta con veranos húmedos y cálidos siendo la temperatura máxima promedio de 23 °C, los inviernos son fríos, ventosos y parcialmente nublado durante todo el año, la temperatura máxima promedio diaria es menor a los 6°C. Las mayores precipitaciones se concentran entre los meses de abril y noviembre.

Datos

Los datos recolectados provinieron de tres establecimientos de Illinois, Estados Unidos (Figura 1).

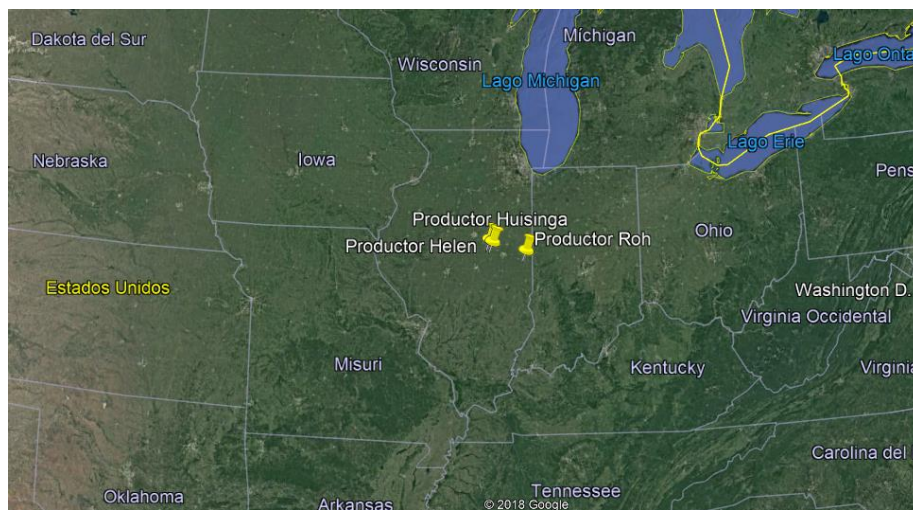


Figura 1 Localización de los lotes experimentales. Fuente: Google Earth.

Los ensayos fueron realizados siguiendo un diseño en bloques completamente aleatorizados (Figura 2). Los tratamientos consistieron en la combinación de diferentes dosis de nitrógeno y densidades de siembra, quedando conformados por 16 tratamientos en cada lote. En los lotes I y II, se repitieron los mismos tratamientos, no así en el lote III (Tabla 1). Para cada parcela se registraron valores de conductividad eléctrica aparente a las profundidades (50 cm y 100 cm) y elevación del terreno. Los datos de rendimiento fueron determinados usando monitor de rendimientos acoplados a las cosechadoras.

En la Figura 2 se representa la distribución espacial de los bloques en cada uno de los lotes experimentales.

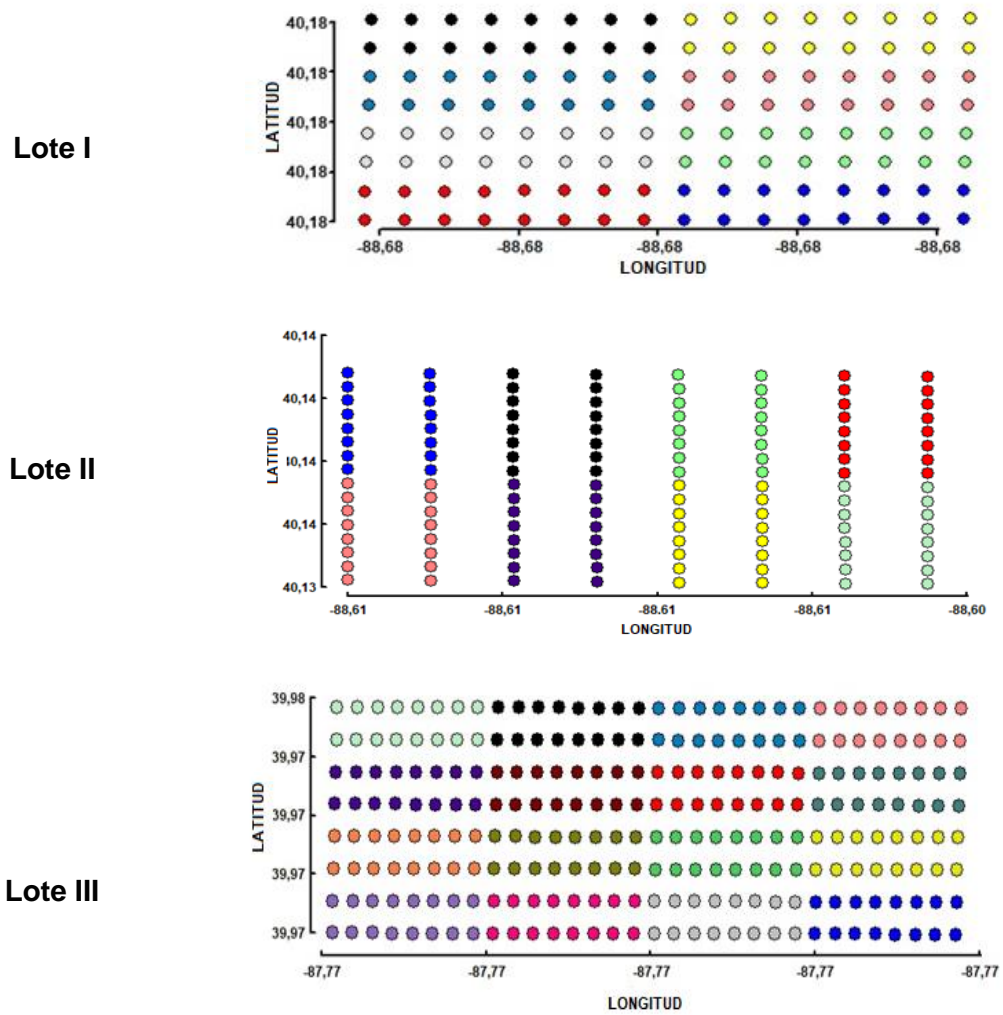


Figura 2 Distribución de los tratamientos en los sitios experimentales.

Tabla 1 Dosis de nitrógeno y densidad de siembra utilizadas en cada lote experimental.

Lotes	n	Dosis de Nitrógeno (Kg/ha)	Densidad de Siembra (pl./ha)
I	179	140	30.000
		160	34.000
		180	38.000
		200	42.000
II	160	140	30.000
		160	34.000
		180	38.000
		200	42.000
III	256	160	28.000
		180	32.000
		200	36.000
		220	40.000

Análisis Estadísticos

La evaluación de dosis óptima de nitrógeno, densidad de siembra se llevó a cabo mediante un análisis de la varianza bajo el enfoque de los modelos lineales mixtos (Di Rienzo et al., 2011). Uno de los modelos ajustados incluyó el efecto fijo de dosis de N, densidad y su interacción, especificando como efecto aleatorio al bloque. También se incluyeron efectos fijos de las covariables conductividades eléctrica aparente y la elevación. Se ajustó además un modelo que incluyó los mismos términos anteriores, pero incluyendo una estructura de correlación espacial exponencial a nivel del término de error del modelo ajustado. El criterio de información de Akaike y Bayesiano (West et al., 2015) fueron utilizados para la selección del modelo de mejor ajuste. Para la comparación de medias se utilizó el test LSD de Fisher con un nivel de significancia de $\alpha=0,05$.

RESULTADOS

Para los tres lotes las covariables no fueron significativas en ninguno de los modelos evaluados (con y sin estructura espacial), por lo que se procedió al ajuste de los modelos sin incluir covariables ambientales. En la Tabla 2 se muestra la comparación de los modelos ajustados con y sin correlación espacial. Se observa que para los tres lotes el modelo que incluyó

la estructura de correlación espacial del tipo exponencial fue el de mejor ajuste según los criterios de AIC y BIC.

Tabla 2 Comparación de los modelos ajustados.

LOTES	Correlación Espacial	AIC	BIC
I	Si	1175,28	1234,06
	No	1182,46	1238,15
II	Si	918,04	974,47
	No	941,87	995,32
III	Si	1789,19	1855,32
	No	1793,38	1856,03

Lote I

Los resultados mostraron efectos significativos para la dosis de nitrógeno ($p < 0,0001$) y densidad de siembra ($p = 0,0177$). La Figura 4 muestra que con la dosis de 200 kg/ha de N se expresan los mayores rendimientos, mientras que con las dosis de 160 y 180 kg/ha los rendimientos son menores y no se observaron diferencias significativas entre ellas. Aplicándose 140 kg/ha, el rendimiento disminuye considerablemente.

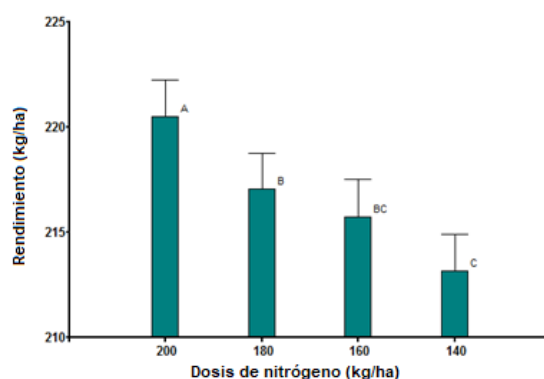


Figura 3 Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno.

Con respecto a la densidad de siembra, como se pudo evidenciar en la siguiente Figura 5, con 42000 plantas/ha y 38000 pl/ha se obtienen los mayores rendimientos y con 30000 plantas/ha los menores rendimientos.

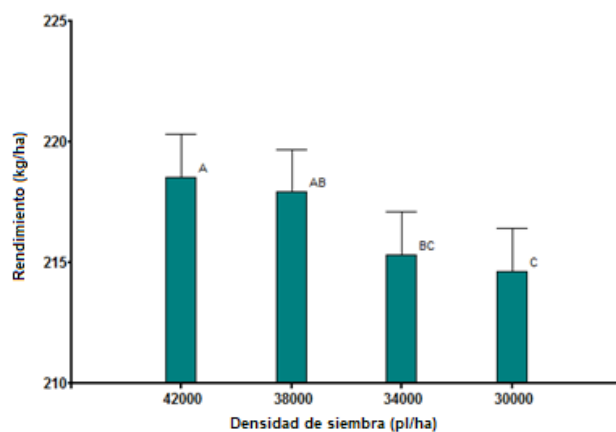


Figura 4 Rendimiento promedio según densidad de siembra.

Lote II

Los resultados mostraron efectos significativos para la dosis de nitrógeno y densidad de siembra ($p < 0,0001$). La Figura 6 muestra que las dosis de 200 y 180 kg/ha de nitrógeno, no mostraron diferencias significativas a nivel del rendimiento. También, se expresaron los menores rendimientos con la menor dosis de N (140 kg/ha).

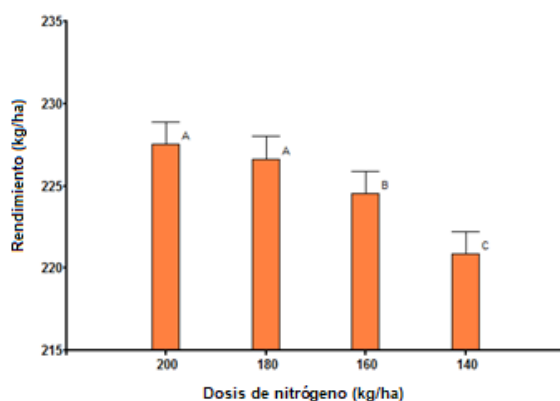


Figura 5 Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno.

Se observó que con 38000 pl/ha se expresó el mejor comportamiento en el rendimiento promedio, pero a su vez, plantaciones de 34000 pl/ha los rendimientos fueron inferiores al anterior pero no mostrando diferencias significativas.

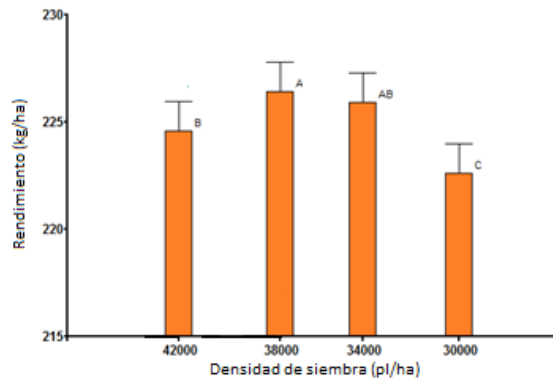


Figura 6 Rendimiento promedio según densidad de siembra.

Lote III

Los resultados mostraron efectos significativos para la dosis de nitrógeno ($p < 0,0001$) y densidad de siembra ($p = 0,0001$). Al analizar el comportamiento de las variables en estudio con el rendimiento, se manifestó el mismo comportamiento que los lotes anteriores. Como se observa en la Figura 8 a medida que se incrementan las dosis de N, aumentan los rendimientos. Siendo la dosis de 220 kg/ha estadísticamente diferentes a las restantes.

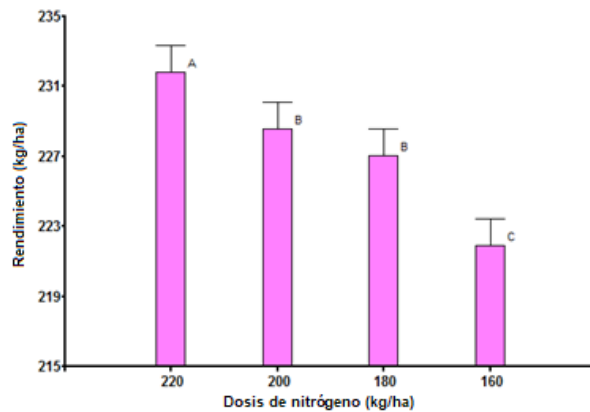


Figura 7 Rendimiento promedio según dosis de nitrógeno.

Con respecto al número de pl/ha, aquellas densidades extremas expresan los menores rendimientos, siendo la densidad de 32000 pl/ha la de mayor rendimiento.

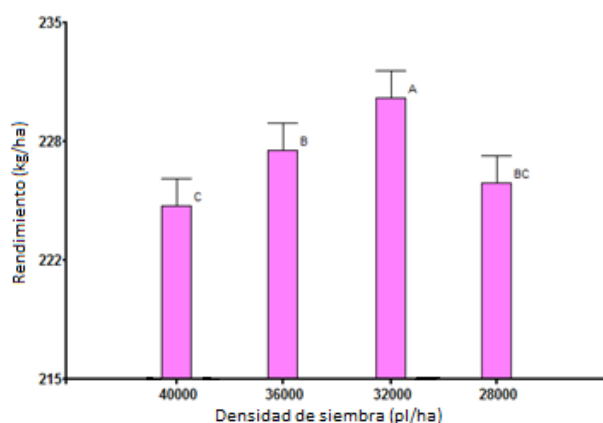


Figura 8 Rendimiento promedio según densidad de siembra.

En la Tabla 3 se muestra un resumen de las mejores combinaciones de dosis de N y densidad para cada lote evaluado.

Tabla 3 Tratamiento que expresó mejor comportamiento el rendimiento en lotes agrícolas.

	LOTE I	LOTE II	LOTE III
DOSIS DE NITRÓGENO (kg/ha)	200	180	220
DENSIDAD DE SIEMBRA (pl/ha)	38000	34000	32000

DISCUSIÓN

Los resultados mostraron un comportamiento diferencial en los lotes experimentales respecto al rendimiento obtenido ante los cambios en dosis de N y densidad de siembra. En concordancia con lo propuesto por Garcia y Flego (2012), la AP es una herramienta importante para manejar en forma diferencial la aplicación de insumos. La incorporación de la estructura espacial es importante para el análisis estadístico ya que los modelos con correlación espacial fueron los de mejor ajuste. Para poder realizar la modelación es crucial contar con información georeferenciada, siendo posible la misma utilizando las tecnologías de AP en la recolección y procesamiento de los datos.

Considerando al trabajo realizado por Ferry y Janick (1971), ante cambios en el número de plantas por hectáreas el rendimiento se ve afectado de manera directa. Esto se explica debido a que el cultivo no presenta plasticidad siendo importante definir la densidad de siembra en cada situación determinada tal como lo afirma Vallone et. al (2011).

Como mencionan Echeverría et. al. (1983) es una situación desafiante para los sistemas productivos determinar las cantidades convenientes a aplicar de fertilización

nitrogenada y semillas a utilizar para ser eficiente en la producción. Se necesitarían más años de evaluación para poder obtener una mejor estimación de N y densidades óptimas, incluyendo modelos de regresión que permitan derivar estos valores máximos .

CONCLUSIÓN

- Los modelos estadísticos que incorporaron la información espacial fueron lo de mejor ajuste.
- Utilizar datos georreferenciados debiera ser una práctica común en sistemas agrícolas modernos.
- El cultivo en estudio es sensible a las variaciones en la densidad de siembra y fertilización nitrogenada reflejándose en el rendimiento logrado el cual también es dependiente de cada lote en particular.

BIBLIOGRAFÍA

MAIZAR, Asociación Maíz y Sorgo Argentino (2018). El maíz, primero en el mundo. Retrieved November 12, 2018, from www.maizar.org.ar

Maíz, producción mundial (2016). Retrieved November 12, 2018, from <https://es.actualitix.com/pais/wld/maiz-paises-productores.php>

Infocampo (2018). Estiman una producción mundial de maíz de 1.067 millones de toneladas. Retrieved November 12, 2018, from <http://www.infocampo.com.ar>

INTA Manfredi, (2005). Proyecto Agricultura de Precisión. Retrieved November 12, 2018, from <http://www.agriculturadeprecision.org/descargaltem.asp?item=%2Farticulos%2Fdosis%2Dvariable%2FDosis%2DVariable%2DInsumos%2DTiempo%2DReal%2Epdf>

Garcia, E., & Flego, F. (2012). Agricultura de Precisión [Ebook] Retrieved November 13, 2018, from <https://www.palermo.edu/ingenieria/downloads/pdfwebc&T8/8CyT12.pdf>

Cacciavillani, M. Capaldi, G. Salvadori, A. Valfre, G. (2017). Evaluación del impacto de prácticas de manejo sobre el rendimiento del cultivo de maíz. Retrieved November 13, 2018

Below, F. (2002). Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada del maíz. *Informaciones Agronómicas* N° 54, p. 3. Retrieved November 14, 2018

Ferry, RL y Janick, J. (1971). Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la presión poblacional. *Crop Science* 11: 220 – 224. Retrieved November 14, 2018

Vallone, P. Gudelj, V. Galarza, C. Masiero, B. Ferreira, L. Canale, A. (2011). Ensayo de densidad y distancia de siembra de maíz. Retrieved November 14, 2018

Cirilo, A. (2004). [Online] Retrieved November 15, 2018, from http://www.syngentaenvivo.com.ar/2014/manual/files/maiz_fecha_y_densidad_de_siembra.htm&strip=1&vwsr=0

Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo., A., Echeverría, H., Sainz Rozas, H., & Barbieri, P. (1983). Ciencia del suelo. Ciencia del suelo (Vol. 26). Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Retrieved November 15, 2018, from http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672008000200009

West T.B., Welch K.B., Galecki A.T. 2015. Linear mixed models: a practical guide using statistical software. 2 ed. Chapman & Hall/CRC

Di Rienzo, J. A., Casanoves, F., Balzarini, M. G., Gonzalez, L. A., Tablada, E. M., Robledo, C. W. (2011). Infostat Software Estadístico. Córdoba, Argentina: URL <http://www.infostat.com.ar>. Retrieved December 11, 2018