

2019

Métodos Cuantitativos para la Investigación Agropecuaria

ENSAYOS DE FERTILIZACIÓN Y DENSIDAD DE SIEMBRA VARIABLE EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN



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

INTEGRANTES

MARINO, Nahuel

MILANI, Mauro

SEQUEIRA, Fernando

TRUCCO, Carlos

TUTORES

BALZARINI, Mónica

PACCIORETTI, Pablo

Índice de Contenido

Índice de tablas.....	3
Índice de Figuras.....	3
Agradecimientos.....	4
Resumen.....	5
Introducción	6
Objetivos	8
General.....	8
Específicos	8
Materiales y Métodos	9
Datos	9
Análisis Estadístico	10
Resultados.....	11
Discusión	17
Conclusión	18
Bibliografía	19

Índice de tablas

Tabla 1 Número de parcelas (n) estudiadas en cada lote de productor, Dosis de Nitrógeno en kg/ha y Densidad de siembra utilizada en plantas/ha.....	10
Tabla 2 Comparación de modelos para cada uno de los lotes analizados.....	11
Tabla 3 p-valores obtenidos para cada una de las variables nitrógeno (N), densidad (D) zona (Z) analizadas en cada lote.	12
Tabla 4 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de dosis de nitrógeno (kg/ha). Productor B.	12
Tabla 5 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de dosis de nitrógeno (kg/ha). Productor E.	12
Tabla 6 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de la densidad (pl/ha). Productor B.	13
Tabla 7 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de la densidad (pl/ha). Productor E.	13
Tabla 8 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de la densidad (pl/ha) y las zonas. Productor C.	14
Tabla 9 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de dosis de nitrógeno (kg/ha) y las zonas. Productor C.....	14
Tabla 10 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de la densidad (pl/ha) y las zonas. Productor D.....	15
Tabla 11 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de dosis de nitrógeno (kg/ha) y las zonas. Productor D.	15
Tabla 12 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de dosis de nitrógeno (kg/ha) y densidad de siembra (pl/ha). Productor A.....	16
Tabla 13 Dosis de nitrógeno (kg/ha) y densidad (pl/ha) que expresaron mejor respuesta para cada uno de los lotes.	16

Índice de Figuras

Figura 1 Ubicación en Illinois (Estados Unidos) de los lotes en los que se realizaron los ensayos.	9
---	---

Agradecimientos

A la cátedra de Estadística y Biometría de la Facultad de Ciencias Agropecuarias por brindarnos espacio y las herramientas necesarias para llevar a cabo el trabajo de investigación.

A nuestra tutora Ing. Agr. MSc Mónica Balzarini y co-tutor Ing. Agr. Pablo Paccioretti por el tiempo dedicado en el seguimiento y el desarrollo del trabajo.

Esta investigación fue subsidiada por un Proyecto Agrícola Coordinado del Programa de Seguridad Alimentaria USDA-NIFA-AFRI, titulado "Uso de tecnología de precisión en ensayos de campos de productores para permitir el manejo de fertilizantes a partir del uso intensivo de datos" (*"Using Precision Technology in On-farm Field Trials to Enable Data-Intensive Fertilizer Management"*), (Número 2016-68004-24769), y también un subsidio para la innovación en la conservación del USDA-NRCS del Programa de ensayos en campos de productores, titulado "Mejora de la sustentabilidad económica y ecológica de la producción de cultivos de EE. UU. a través de la experimentación de precisión en campos de productores" (*"Improving the Economic and Ecological Sustainability of US Crop Production through On-Farm Precision Experimentation"*) (número de subsidio NR213A7500013G021).

Resumen

La agricultura de precisión surge como herramienta de gestión que permite optimizar el uso de los recursos disponibles. Estas tecnologías permiten recolectar información, tanto de características de suelo como de rendimiento del cultivo y asignarle su posición en el terreno. Esta información puede ser utilizada para agrupar, en sentido multivariado, zonas dentro del lote con características de sitio similares y evaluar si se justifica un manejo diferencial entre zonas en relación a diferentes niveles de aplicación de insumos agronómicos, como por ejemplo dosis de nitrógeno y densidad de siembra. En base a datos provenientes de ensayos de dosificación variable realizados en campos de productores, se evaluará la respuesta del rendimiento de maíz a la densidad de siembra y dosis variable de fertilización. La importancia del análisis de ensayos realizados en campos de productores radica en brindar información para ajustar las dosis de insumos a aplicar para cada lote y si la respuesta del rendimiento ante diferentes dosis es diferente para cada zona del lote. Este trabajo muestra la importancia de conocer para cada lote de producción el óptimo de incorporación de fertilizante nitrogenado y la densidad adecuada, que permita eficientizar la utilización de los insumos. En general, los máximos rendimientos no se lograron con las mayores dosis de nitrógeno ni con las mayores densidades de siembra; no se observó efecto de interacción entre las dosis de nitrógeno y densidad, pero si hubo efecto de interacción de las dosis con la zonificación. Se destaca la importancia y el valor de la información generada en esta interacción ya que se permitirá llevar un manejo diferencial del lote optimizando la utilización de los insumos utilizados.

Palabras Claves: Dosificación variable, Maíz, Zonificación, Zonas de manejo, Datos espaciales.

Introducción

Estados Unidos es el más grande productor y exportador de maíz (*Zea mays L.*), cosecha aproximadamente 200 millones de toneladas anuales y exporta 20% de las mismas. Ocupa el primer lugar en la producción de cultivos transgénicos, entre los más importantes destaca la soja, canola, algodón y maíz, destinando 50% de esta producción al cultivo de este último grano. (González Merino, A. & Ávila Castañeda, J. F. 2014). De acuerdo con el *Agricultural Research Service* del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (ARS/USDA), es el cultivo más biodiverso (Agricultural Research Service, 2010). Esta característica ha sido un aspecto esencial de gran interés para la biotecnología moderna. Es por ello que está siendo usado no sólo como alimento humano, sino para la producción de biocombustibles, plásticos y medicamentos, entre otros productos.

En cultivos como el maíz, los cuales son sensibles a la fertilización nitrogenada y a la variación en la densidad de siembra, identificar niveles óptimos de insumos aplicados implica maximizar la rentabilidad del productor y reducir el impacto ambiental originado por la pérdida provocada por la aplicación en excesos (Kablan et al., 2017). Encontrar la dosis de nitrógeno 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). Los productores de maíz reconocen que son necesarias concentraciones adecuadas de nitrógeno (N) en la planta para obtener altos rendimientos, sin embargo el dilema está en conocer que cantidades aplicar para lograr estas concentraciones (Below 2002). La cantidad de nitrógeno necesario que debe estar disponible para incrementar el rendimiento en grano del cultivo, presenta gran variabilidad según el ambiente y el tipo de suelo (Kablan et al., 2017).

La variabilidad espacial de las propiedades del suelo y de los rendimientos de los cultivos intralote ha sido reconocida desde los inicios de la agricultura. Las tecnologías de precisión nacen de la creciente conciencia de que el manejo tradicional de la agricultura basado en la generalización y en los promedios conlleva a un pobre entendimiento del proceso de producción, resulta costoso y es causa de impactos ambientales negativos (Blackmore et. al., 1995). La tecnología de Agricultura de Precisión (AP), permite medir y manejar la variabilidad espacial para aumentar la eficiencia productiva y disminuir el impacto ambiental. (Ortega, R. y Flores, L., 1999). La AP ha sido definida como el uso de tecnologías de información para la toma de decisiones de manejo técnica, económica y ambientalmente adecuadas para la producción agrícola (CAPUC, 2002), la utilización de estas herramientas permite la obtención y análisis de datos georreferenciados, mejorando el diagnóstico, la toma de decisiones y la eficiencia de uso de los recursos (Proyecto AP, INTA Manfredi, 2000). Dicha tecnología se introdujo en la Argentina, al igual que en Estados Unidos, por medio de herramientas como el

monitoreo de rendimiento y los banderilleros satelitales, dado que presentan beneficios que son rápidamente demostrables (Bragachini et al., 2002).

El manejo sitio específico se refiere a la aplicación de prácticas diferenciales dentro del área de interés de acuerdo a un conjunto de características particulares de cada sector dentro de la zona bajo consideración (Ortega Blu 2007). Identificar la variabilidad subyacente dentro del lote permite delimitar áreas homogéneas con características de sitio similares. (Gambaudo et al., 2008). Un aumento en la intensificación a nivel manejo sitio específico de la densidad acompañada de un adecuado nivel de fertilización permite lograr altos rendimientos en grano (Ogando et al., 2017). Por esto es importante, en los sistemas agrícolas, conocer las variables que afectan el rendimiento, entre ellas densidad y dosis de nitrógeno.

La adopción del maíz dentro de los planteos productivos está mayoritariamente condicionada por la rentabilidad que el cultivo le aporta a la empresa agropecuaria. En este sentido, la relación de precios entre el Nitrógeno y el grano de maíz cobra gran relevancia en la definición de los niveles de nitrógeno a aplicar (Álvarez et al., 2003). En maíz, la densidad de siembra es una de las prácticas de manejo que mayor impacto produce sobre el margen bruto, dado que condiciona tanto los costos directos como los rendimientos (Martínez Bologna et al., 2014).

Objetivos

General

- Determinar la dosis de nitrógeno y densidad de siembra adecuada en el cultivo de maíz, que garantice la sustentabilidad de la empresa agropecuaria mediante la optimización de los recursos.

Específicos

- Delimitar zonas dentro del lote y determinar si se justifica o no realizar manejo diferencial.
- Evaluar la interacción entre las variables dosis de nitrógeno y densidad de siembra que otorgue el mayor rendimiento.

Materiales y Métodos

Datos

Se analizaron datos provistos por la Universidad de Illinois correspondientes a cinco ensayos de dosificación variable conducidos en campos de productores de Illinois, Estados Unidos (Figura 1 Ubicación en Illinois (Estados Unidos) de los lotes en los que se realizaron los ensayos.. Las bases de datos contaban con información de rendimiento de maíz (kg/ha), densidad (N° plantas/ha) y dosis de nitrógeno aplicado (kg/ha) como así también información del sitio en el que se realizaron los mismos como conductividad eléctrica (a 50 cm y 1 m) y la altimetría que fueron utilizados para la delimitación de zonas de manejo de cada uno de los lotes.

Los ensayos se realizaron bajo un diseño en bloques completamente aleatorizados, con 16 tratamientos en cada lote los cuales fueron determinados por la combinación de los niveles de dosis de nitrógeno y densidades de siembra. Los establecimientos se encontraban ubicados en la región Centro Oeste del país conocido como el cinturón maicero estadounidense. Esta región está caracterizada por presentar tierras relativamente planas, con suelos fértiles, profundos, y con alto contenido en materia orgánica. El clima de esta región cuenta con veranos húmedos y cálidos, donde las mayores precipitaciones se concentran entre los meses de abril y noviembre.

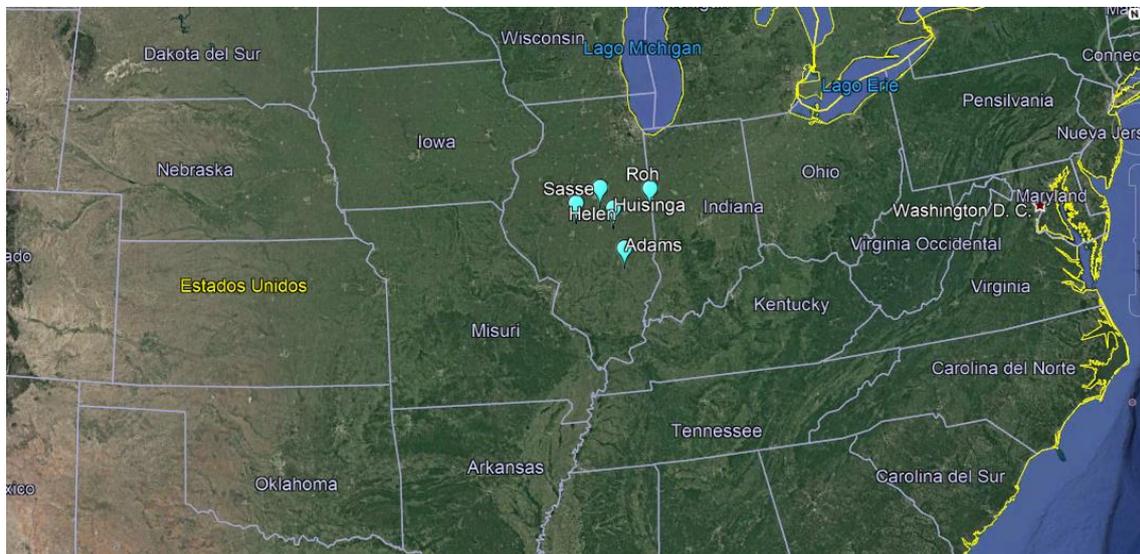


Figura 1 Ubicación en Illinois (Estados Unidos) de los lotes en los que se realizaron los ensayos.

Tabla 1 Número de parcelas (n) estudiadas en cada lote de productor, Dosis de Nitrógeno en kg/ha y Densidad de siembra utilizada en plantas/ha

Productor	Parcelas (n)	Nitrógeno	Densidad
A	216	140	27000
		160	31000
		180	35000
		200	39000
B	220	140	30000
C	160	160	34000
		180	38000
		200	42000
D	256	160	28000
E		180	32000
		200	36000
		220	40000

Análisis Estadístico

Se procedió a la determinación de zonas de manejo a través de la Clasificación KM-sPC (Córdoba 2014) la cual permite realizar una clasificación multivariada espacial. Para determinar el número óptimo de zonas sugerido a partir de esta evaluación, se observó el Índice de Resumen que resume la información brindada por los índices de Xie Beni, Fukuyama Sugeno, el Coeficiente de Partición y Entropía de Partición, donde el menor valor indicaba el número de grupos sugeridos para cada lote de estudio quedando delimitados para todos los lotes dos grupos.

Se efectuó la evaluación en cada uno de los lotes de estudio con el propósito de determinar la dosis óptima de nitrógeno, densidad de siembra y si existe efecto de interacción de las mismas con las zonas demarcadas, esto mediante Modelos Lineales Mixtos con un nivel significancia de $\alpha=0,05$. La importancia del estudio de la correlación existente entre las variables que integran el tratamiento y las zonas que fueron delimitadas radica en adaptar dosis y densidades diferenciales para cada zona de manejo logrando una mayor eficiencia en el uso de los insumos.

Se ajustaron dos modelos lineales, uno suponía que los errores eran independientes mientras que para el otro se suponían con una correlación espacial exponencial. Ambos incluían el efecto fijo de la densidad de siembra, dosis de nitrógeno, de la zona y sus interacciones; como efecto aleatorio se especificó al bloque. En casos donde los datos sugerían varianzas heterogéneas se corrigió mediante el método VarExp.

El criterio de información de Akaike (AIC) y Bayesiano (BIC) fue utilizado para la elección del mejor modelo de ajuste, mientras que para la comparación de medias se utilizó LSD de Fisher.

Resultados

Se procedió a evaluar el efecto de los tratamientos en las dos zonas que quedaron determinadas para cada lote ajustándose dos modelos. El modelo seleccionado para cada uno de los lotes fue el de menor valor de AIC Y BIC. En la Tabla 2 Comparación de modelos para cada uno de los lotes analizados. se muestra la comparación de los modelos ajustados, observándose que los lotes de los Productores A y D se ajustan mejor al modelo que asume que los errores son independientes; mientras que los lotes de los Productores B, C y E se ajustaron de mejor manera al modelo que contemplaba los efectos de correlación espacial.

Tabla 2 Comparación de modelos para cada uno de los lotes analizados.

Productor	Heteroscedasticidad	Errores Independientes		Correlación Espacial	
		AIC	BIC	AIC	BIC
A	No	1007,97	1074,08	1007,69	1079,09
B	No	988,56	1085,83	982,30	1082,12
C	Si	838,23	934,12	805,50	907,03
D	No	1709,20	1825,19	1707,02	1829,84
E	Si	1371,71	1485,19	1350,55	1470,70

Teniendo en cuenta las variables nitrógeno (N), densidad (D) zona (Z) y las interacciones entre las mismas se muestra en la siguiente tabla los p-valores que se obtuvieron en cada uno de los modelos seleccionados, resaltando los valores de aquellas variables que mostraron significancia. Se observó en dos lotes la interacción de los tratamientos con las zonas de manejo delimitadas, mientras que en un único lote se evidencio el efecto de la interacción de la densidad con la dosis de nitrógeno. En dos lotes se procedió a analizar la densidad de siembra y la dosis de nitrógeno por separado porque no se manifestó interacción, limitando esto la obtención de información más precisa del análisis en comparación con los que si manifestaron.

Tabla 3 p-valores obtenidos para cada una de las variables nitrógeno (N), densidad (D) zona (Z) analizadas en cada lote.

Productor	N	D	Z	N x D	N x Z	D x Z	N x D x Z
A	0,2413	0,0070	0,1620	0,0214	0,6239	0,2017	-
B	0,0001	0,0127	0,6360	0,6838	0,3412	0,0913	0,7254
C	0,0001	0,0001	0,4493	0,4503	0,0389	0,0014	0,1342
D	0,0001	0,0001	0,0422	0,4074	0,0006	0,0416	0,1398
E	0,0001	0,0002	0,0606	0,8459	0,0982	0,6846	0,1142

Efecto Nitrógeno.

Los lotes de los productores B y E mostraron efectos significativos para la dosis de nitrógeno. En el caso del productor B, estadísticamente no habría diferencias significativas en el rendimiento cuando se fertiliza con dosis de nitrógeno entre 180 y 200 kg/ha (Tabla 4).

Tabla 4 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de dosis de nitrógeno (kg/ha). Productor B.

Dosis Nitrógeno	Media	EE	Significancia	
200	14728	124	A	
180	14593	124	A	B
160	14526	122		B
140	14324	124		C

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

En el caso del Productor E, tratamientos con la dosis de nitrógeno más elevada (220 kg/ha) fue la que presentaron mayor rendimiento promedio, mientras que las demás dosis de nitrógeno no presentaron diferencias estadísticas (Tabla 5).

Tabla 5 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de dosis de nitrógeno (kg/ha). Productor E.

Dosis Nitrógeno	Media	EE	Significancia	
220	15064	69	A	
160	14862	70		B
180	14862	69		B
200	14725	69		B

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Efecto Densidad.

Los lotes de los Productores B y E mostraron efectos significativos para la densidad de siembra. Para el Productor B, la densidad de 42.000 pl/ha no presentó diferencia estadística con 38000 pl/ha (Tabla 6).

Tabla 6 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de la densidad (pl/ha). Productor B.

Densidad	Media	EE	Significancia	
42000	14661	122	A	
38000	14593	126	A	B
34000	14459	125		B
30000	14392	123		B

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Con respecto a la densidad, en el ensayo del Productor E, no se observaron diferencias significativas con las densidades de 32.000, 36.000 y 40.000 pl/ha pero si con la menor densidad utilizada (Tabla 7).

Tabla 7 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de la densidad (pl/ha). Productor E.

Densidad	Media	EE	Significancia	
40000	14997	67	A	
36000	14930	67	A	
32000	14862	71	A	B
28000	14795	72		B

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

Efecto de la interacción del tratamiento con la zona.

Del total de ensayos analizados, en dos (Productores C y D), pudo observarse efecto de la interacción. El mismo se observó entre la zona con la densidad y el nitrógeno para ambos lotes justificándose el manejo diferencial. En el lote del Productor C no se observaron diferencias significativas en la zona 1 y 2 en cuanto al rendimiento entre las densidades de 34.000, 38.000 y 42.000 pl/ha, pero si entre estas y la menor densidad utilizada. La densidad de 42000 pl/ha no presenta el mismo comportamiento en cuanto al rendimiento en ambas zonas. En cuanto a la densidad más baja (30000 pl/ha) ambas zonas presentan la menor respuesta al rendimiento (Tabla 8).

Tabla 8 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de la densidad (pl/ha) y las zonas. Productor C.

Zona	Densidad	Medias	EE	Significancia		
1	38000	15468	110	A		
1	42000	15400	134	A		
2	38000	15266	92	A	B	
2	34000	15199	89	A	B	
1	34000	15199	154	A	B	C
2	42000	15131	94		B	C
2	30000	14997	94			C
1	30000	14930	159			C

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Con respecto a la zona 1, en el Productor C, se observó que la dosis más alta que corresponde a 200 kg/ha no presenta diferencia con las demás siendo conveniente desde el punto de vista agronómico utilizar una dosis de nitrógeno de 160 kg/ha.

En la zona 2 se obtuvo el mayor rendimiento con la dosis de nitrógeno más alta correspondiente a 200 kg/ha.

En ambas zonas la dosis más baja utilizada de 140 kg/ha presenta la menor respuesta (Tabla 9).

Tabla 9 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de dosis de nitrógeno (kg/ha) y las zonas. Productor C.

Zona	Dosis N	Medias	EE	Significancia		
1	180	15400	108	A		
2	200	15333	87	A		
1	160	15333	136	A	B	
1	200	15266	132	A	B	
2	180	15266	89		B	
2	160	15131	91		B	C
2	140	14862	101			C
1	140	14862	171			C

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

En la zona 1, en campo del Productor D, el mayor rendimiento se obtuvo con una densidad de 32000 pl/ha. Para la zona 2 el menor rendimiento se obtiene con una densidad de 40000 pl/ha, siendo conveniente utilizar una densidad de 28000 pl/ha ya que no se observan diferencias en el rendimiento cuando se compara con las densidades de 32000 y 36000 pl/ha. La densidad de 40000 pl/ha no presenta el mismo comportamiento en cuanto al rendimiento en ambas zonas. (Tabla 10)

Tabla 10 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de la densidad (pl/ha) y las zonas. Productor D.

Zona	Densidad	Medias	EE	Significancia	
1	32000	15737	122	A	
2	32000	15333	114	B	
1	40000	15266	118	B	
2	36000	15266	115	B	
1	36000	15266	128	B	
2	28000	15266	112	B	
1	28000	15199	124	B	C
2	40000	14930	118	C	

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

En la zona 1 la dosis de nitrógeno que presento la mejor respuesta en cuanto a rendimiento es la de 200 kg/ha, pero teniendo en cuenta la optimización de los insumos sería conveniente utilizar una dosis de 180 kg/ha. En la zona 2 tuvo mayor respuesta en cuanto al rendimiento la dosis de 220 kg/ha. (Tabla 11)

Tabla 11 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de dosis de nitrógeno (kg/ha) y las zonas. Productor D.

Zona	Dosis N	Media	EE	Significancia		
2	220	15737	114	A		
1	200	15468	129	A	B	
1	220	15400	124	B	C	
1	180	15400	118	B	C	D
2	200	15266	111	B	C	D
1	160	15131	121	C		D
2	180	15131	119	D		
2	160	14728	115	E		

Medias con letra común no son significativamente diferentes (p<0,05)

Efecto de la interacción entre nitrógeno y densidad.

Este efecto solo pudo observarse en un único lote correspondiente al productor A, mostrando la combinación optima de estas variables.

Las combinaciones de nitrógeno y densidad que presentaron la mejor respuesta en cuanto al rendimiento fueron las de 200 kg/ha - 35000 pl/ha y 160 kg/ha – 39000 pl/ha.

Se observa que las combinaciones de 180 kg/ha – 27000 pl/ha y 200 kg/ha – 27000 pl/ha no muestran marcadas diferencias en cuanto al rendimiento con las combinaciones mencionadas anteriormente y además permiten un uso racional de los insumos. La decisión para la elección de combinaciones será en función de los costos de los insumos utilizados. (Tabla 12)

Tabla 12 Comparación de medias y Error Estándar (EE) del rendimiento (kg/ha) en función de dosis de nitrógeno (kg/ha) y densidad de siembra (pl/ha). Productor A.

Nitrógeno	Densidad	Medias	EE	Significancia		
200	35000	10357	680	A		
160	39000	10357	640	A		
180	35000	9953	703	A	B	
200	39000	9886	662	A	B	
140	39000	9886	662	A	B	
180	31000	9819	645	A	B	
160	35000	9684	720	A	B	
180	27000	9684	664	A	B	C
200	27000	9146	666	A	B	C
140	35000	8810	666		B	C
140	31000	8810	663		B	C
140	27000	8743	665		B	C
180	39000	8743	662		B	C
200	31000	8608	664		B	C
160	27000	8406	803		B	C
160	31000	8339	715			C

Medias con letra común no son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

En la Tabla 13 se muestran, para cada uno de los lotes aquellas combinaciones de nitrógeno y densidad que obtuvieron mayor rendimiento, con menor cantidad de insumo aplicado, lo cual permitiría un uso racional de los insumos y recursos naturales, resaltando en color aquellos donde sería conveniente realizar un manejo diferencial.

Tabla 13 Dosis de nitrógeno (kg/ha) y densidad (pl/ha) que expresaron mejor respuesta para cada uno de los lotes.

Productores	Zona 1		Zona 2	
	Nitrógeno	Densidad	Nitrógeno	Densidad
A	180	27.000	180	27.000
B	180	38.000	180	38.000
C	160	34.000	200	34.000
D	180	32.000	220	28.000
E	220	32.000	220	32.000

Discusión

Existe un comportamiento diferencial en cada uno de los lotes en los que se realizaron los tratamientos observándose que dosis y densidades más altas utilizadas no garantizan un mayor rendimiento, y que el mismo está sujeto a las condiciones físico-químicas del suelo. Se observó que existe un componente microambiental que permite delimitar zonas en dos de los cinco lotes evaluados ejerciendo un impacto en los rendimientos alcanzados. En concordancia con Kablan (2017), el manejo de la fertilización nitrogenada y la variación de la densidad de siembra afectan el rendimiento del cultivo, el cual presenta gran variabilidad según el ambiente y el tipo de suelo, repercutiendo en los indicadores económicos del productor y en el impacto ambiental.

Considerando el trabajo realizado por F.Bellow (2002) son necesarias concentraciones adecuadas de nitrógeno en la planta para obtener altos rendimientos, pero en contraste con los resultados obtenidos no siempre está garantizada la respuesta a la fertilización dada la dependencia con el nivel de nutrientes y tipo de suelo.

En la mayoría de los casos estudiados se evidencia que las menores densidades se corresponden con el menor rendimiento. Las menores densidades de siembra no permiten interceptar altos niveles de radiación dado que el maíz tiene fijado genéticamente el número total de granos. Con respecto a la más alta densidad no mostró una marcada diferencia en el rendimiento comparadas con las densidades medias utilizadas pero si con la más baja densidad evaluada en los tratamientos, excepto en los lotes de los productores C y D donde el mejor rendimiento se alcanza con una densidad intermedia. Esto puede deberse a la competencia intraespecífica existente y a la no interacción entre la densidad y la dosis de nitrógeno adecuada.

Como establece Ortega et al., (1999), es necesario conocer las diferentes zonas o ambientes de cada sistema de producción, pero en contraste y como se pudo observar en los resultados obtenidos a pesar de la existencia de zonas delimitadas no siempre se justifica un manejo diferencial dado que los rendimientos alcanzados son similares. La aparición de la Agricultura de Precisión brinda la oportunidad de medir con mayor nivel de detalle la variabilidad en el rendimiento facilitando la determinación de densidad y dosis de fertilizante a aplicar por unidad de área.

Conclusión

A partir de lo analizado en el trabajo se pudo observar que el cultivo de maíz presenta distinta respuesta en cada uno de los lotes ante la variabilidad de dosis de nitrógeno y densidades de siembra, no permitiendo la extrapolación de los resultados a otro productor. Esto dificulta la realización de una recomendación, manifestándose la necesidad de efectuar ensayos cuando se plantea como objetivo una mejora en la producción considerando las variaciones microambientales de cada lugar en particular.

Se destaca la importancia de la agricultura de precisión dado que permite un manejo específico de los lotes por zonas eficientizando la utilización de los insumos garantizando la sustentabilidad del medio ambiente y de la empresa agropecuaria. Este análisis previo de cada ambiente permite acercar el rendimiento real al rendimiento potencial valorando no solo las tecnologías de insumo, sino también la importancia de las tecnologías de procesos disponibles en la actualidad.

La utilización de la estadística espacial a través de InfoStat nos permitió procesar datos georreferenciados, generar ajuste de modelos para evaluar la necesidad de la delimitación de zonas en cada uno de los lotes. La utilización de estos datos generados por los monitores de rendimiento constituye una práctica de gran utilidad entre los productores, dado que permiten la generación de mapas de rendimiento y permite eficientizar el manejo para futuras campañas.

Bibliografía

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,

Below, F. E. (2002). Fisiología, nutrición y fertilización nitrogenada de maíz. Instituto de la Potasa y el Fósforo. *Informaciones Agronómicas*, (54), 3-9.

Córdoba, M. A. (2014). Herramientas estadísticas para el monitoreo y uso de la variabilidad espacial del rendimiento y propiedades de suelo intralote.

Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión 2018. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>

Gambaudo, S., Fontanetto, H., Beccria, G., Boretto, D., Albrecht, J., & Tron, L. (2008). Recuperación de suelos halomorficos mediante la Agricultura de Precisión. *Información técnica de cultivos de verano. Publicación Miscelánea*, (112).

García, F. O. (2002). Beneficios potenciales del uso de las herramientas de Agricultura de Precisión en el diagnóstico y aplicación de fertilizantes. 3er Taller de Agricultura de Precisión del Cono Sur. Argentina: PROCISUR.

González Merino, A., & Ávila Castañeda, J. F. (2014). El maíz en Estados Unidos y en México: Hegemonía en la producción de un cultivo. *Argumentos (México, DF)*, 27(75), 215-237.

Kablan, L. A., Chabot, V., Mailloux, A., Bouchard, M.-É., Fontaine, D., & Bruulsema, T. (2017). Variability in Corn Yield Response to Nitrogen Fertilizer in Eastern Canada. *Agronomy Journal*, 109(5), 2231. <https://doi.org/10.2134/agronj2016.09.0511>

Martínez Bologna, G., Castro, S., Cerliani, C., Balboa, G., Naville, R., & Espósito, G. (2014). Densidad de siembra de maíz asociada a la variabilidad espacial del suelo. In XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Bahía Blanca, Buenos Aires, Argentina.

Ogando, F. A., Raspa, F. A., Pita, M., Alvarez, C., & Vega, C. R. C. (2017). INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN ENTRE LA DENSIDAD POBLACIONAL Y LA DISPONIBILIDAD DE NITRÓGENO SOBRE EL RENDIMIENTO DE MAÍZ SEMBRADO EN VERANO.

Ortega, R., Flores, L., INIA, C. Q., de Recursos Naturales, D., & Ambiente, M. (1999). Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico. Ministerio de Agricultura, Instituto de investigaciones agropecuarias. CRI Quilamapu. (Chile), 13-46.