

2016



FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Métodos cuantitativos para la para la investigación agropecuaria



MÉTODOS CUANTITATIVOS PARA LA INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA

Delimitación de zonas homogéneas de manejo en base a características del suelo y fertilización diferencial con nitrógeno en trigo (*Triticumaestivum* L.)



Autores: Aguirre, Leandro

Minetti, Rafael Nicolás

Oses Palomeque, Andrés

Rista, Eric Marcel

Tognocchi, Francisco Bruno

Tutora: Dra. Mónica Balzarini

Diciembre de 2016

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Agradecimientos.....	4
Resumen.....	5
Palabras Clave.....	5
Introducción.....	6
Objetivos.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
Materiales y métodos.....	9
Descripción del ensayo.....	9
Delimitación de áreas homogéneas.....	10
Fertilización diferencial.....	15
Conclusión.....	20
Referencias.....	21
Bibliografía.....	22
Anexo.....	23

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

Figuras

Figura 1: Ubicación geográfica de los ensayos.....	10
Figura 2: Matriz de diagramas de dispersión de variables en lote “La Elda”	11
Figura 3: Mapa de zonas homogéneas lote A.....	12
Figura 4: Mapa de zonas homogéneas lote B.....	13
Figura 5: Mapa de zonas homogéneas lote “La Elda”	14
Figura 6: Mapa de zonas homogéneas lote L25.....	15
Figura 7: Rendimiento según zonas homogéneas, bajo tres tratamientos de N. en el lote “La Elda”	16
Figura 8: Medias de rendimiento lote A según zonas homogéneas y dosis de nitrógeno.....	18
Figura 9: Medias de rendimiento lote B según zonas homogéneas y dosis de nitrógeno.....	18
Figura 10: Medias de rendimiento lote “La Elda” según zonas y dosis de nitrógeno.....	19
Figura 11: Medias de rendimiento L25 según zonas homogéneas y dosis de nitrógeno.....	19

Tablas

Tabla 1: Localización de los ensayos.....	10
Tabla 2: Prueba de hipótesis según ensayo.....	23
Tabla 3: Medias de ensayos por zona y tratamiento.....	24

AGRADECIMIENTOS

- ❖ Al INTA Manfredi, por la colaboración con la base de datos.
- ❖ A la tutora Dra. Mónica Balzarini el acompañamiento y la evacuación de dudas a la hora de realizar el presente trabajo.
- ❖ A Pablo Paccioletti Pablo y Franca Giannini por su ayuda desinteresada.
- ❖ A nuestras familias, amigos y compañeros por el acompañamiento incondicional.

RESUMEN

En el presente trabajo se realizó un estudio sobre 5 lotes agrícolas de trigo en los que se aplicaron tres tratamientos (80, 125 y 170 kg/ha) de fertilización con nitrógeno a la siembra. Se dividieron los lotes en zonas homogéneas en base a características del suelo y topografía (conductividad eléctrica, profundidad del horizonte petrocálcico y altura sobre el nivel del mar). En cada lote se analizó la conveniencia de realizar una fertilización nitrogenada variable al momento de siembra. El análisis de los rendimientos indicó diferencias significativas entre zonas y entre tratamientos de fertilización, pero los efectos de tratamientos fueron los mismos en las distintas zonas. Se concluye, para estos lotes, que no es necesario realizar manejo sitio específico respecto a fertilización nitrogenada.

Palabras Clave: Agricultura de precisión, fertilización variable, zonas homogéneas, sitio específico.

INTRODUCCIÓN

La agricultura de precisión es una tecnología de información basada en el posicionamiento satelital a partir del cual se obtienen datos georreferenciados de los lotes y, junto con el registro de otras variables, se busca conocer las causas de la variabilidad en los rendimientos expresados por los cultivos para un posterior manejo. (Bragachini *et al.*, 2004)

En los sistemas de agricultura de precisión, se delimitan zonas homogéneas dentro de los lotes agrícolas para realizar un manejo diferencial entre ellas cuando se esperan respuestas diferentes entre zonas. Para definir cada zona homogénea es necesario contar con datos de factores que afecten los rendimientos y cuyo efecto pueda ser modificable con un manejo diferencial. Este manejo diferencial se puede realizar con sistemas, por ejemplo, de siembra de precisión, actualmente en desarrollo en la industria nacional¹. La capacitación de actores implicados en este tipo de tecnologías es fundamental para una correcta implementación de las mismas.^{2,3}

En cuanto a la toma de información, actualmente se utilizan máquinas cosechadoras que permiten medir el rendimiento de los cultivos en los lotes de producción agrícola. A partir de los mismos y mediante sistemas de posicionamiento global que llevan acoplados, se pueden elaborar mapas de rendimiento que permiten observar la variabilidad espacial del mismo y comparar rendimientos bajo distintos manejos. Es imperante el trabajo conjunto entre los productores y los prestadores de dicha tecnología para la toma de dicha información.⁴

Entre los factores que afectan los rendimientos de los cultivos, existen aquellos que lo hacen de manera constante año a año, principalmente aquellos relacionados a las características del terreno y a las propiedades del suelo. Así mismo existen otros factores que los afectan de manera temporal, tales como patógenos, insectos y clima que pueden perjudicar los rendimientos un año y no encontrarse al año siguiente. Para la delimitación de zonas homogéneas usualmente se usan datos de propiedades edáficas y topográficas que son más estables. (Peralta *et al.* 2012)

La topografía del terreno explica la variabilidad de rendimientos, ya que afectan la distribución de las partículas minerales del suelo, la materia orgánica y la distribución del agua (debido a la acumulación y al flujo de la misma, que afecta a su vez la tasa de infiltración).⁵ Mediante modelos de elevación digital realizados con los GPS y los sistemas de información geográfica se pueden observar la distribución espacial de la elevación del terreno, y es una vía de información para definir las áreas homogéneas.

Otro factor medible del terreno es la profundidad a la que se encuentra el horizonte petrocálcico conocido como “tosca” el cual da un indicio de la capacidad de almacenaje del agua, la que a su vez incide de manera directamente proporcional al rendimiento.

Las mediciones de conductividad eléctrica (CE), que se capturan mediante el uso de sensores proximales, responden fuertemente al contenido de arcilla y de humedad, fundamentalmente en suelos no salinos. El uso de la CE ha demostrado ser eficaz en la delimitación de zonas de manejo en diferentes países donde se desarrolla la agricultura extensiva de precisión. (Peralta *et al.*, 2004) Los aumentos en los valores de la misma generan mermas de rendimiento.

A partir de la delimitación de zonas homogéneas en un lote agrícola realizada en base a los datos anteriores, se puede establecer entonces un manejo particular para cada una.⁶ Los sistemas de siembra de precisión se basan principalmente en la densidad y la fertilización variable. En cuanto a la fertilización, se puede considerar el nitrógeno como el más importante de los nutrientes esenciales para las plantas, debido a las elevadas cantidades en que es demandado durante el crecimiento de los cultivos, a que es habitualmente deficitario en los suelos agrícolas y la creciente preocupación por la preservación del ambiente.^{7,8,9} (Bongiovanni *et al.*, 2006) Por ello es importante implementar prácticas de manejo que hagan un uso más eficiente de los insumos, aplicándolos en los lugares y en las cantidades que los cultivos que lo requieran.¹⁰

En cuanto al cultivo de trigo, el deterioro de las propiedades bioquímicas de los suelos, asociado a la intensificación de la agricultura y la siembra directa, hace necesario

ahondar en el estudio del comportamiento de aquel cultivo bajo distintos manejos.¹¹ La fertilización nitrogenada es la más importante ya que además de comprometer los rendimientos tiene alta incidencia en la calidad del trigo, en lo que se refiere fundamentalmente a la proteína (gluten).¹² (Sierra *et al.*, 1999)

Teniendo en cuenta que el aumento de la rentabilidad siempre se encuentra entre los objetivos de los productores¹³, experiencias realizadas por Koch (2004) establecieron que el potencial de mejora de la rentabilidad debido a la aplicación variable de insumos como el nitrógeno depende de 1) la identificación de áreas en el campo en el que los aportes adicionales de insumos aumentara los ingresos en una escala mayor que los costos adicionales que genere dicho aporte y/o 2) la identificación de áreas en las que la reducción de los insumos disminuirá los costos en una escala que es mayor que la reducción potencial de ingresos correlacionado con un menor rendimiento de grano. (Bragachini *et al.*, 2013) En base a esto, se toma como criterio que al realizar una fertilización diferencial con nitrógeno, aplicar mayores dosis en aquellas zonas del terreno en donde incremente de manera significativa el rendimiento y menores dosis en aquellas en donde la fertilización no genere respuestas significativas, para de esta manera disminuir el costo invertido en la fertilización.¹⁴

Es preciso por lo tanto definir las variables que en el todo el continuo de su variación dentro de un lote determinen áreas en que la fertilización con nitrógeno genere incrementos significativos en el rendimiento, y zonas en las que produciría una mínima respuesta. A su vez estas variables normalmente están mutuamente influenciadas entre sí, y en conjunto pueden determinarlas áreas homogéneas susodichas. En este trabajo se usará la topografía, la CE y la profundidad de la tosca como variables en conjunto para determinar zonas homogéneas y en se señalara si es adecuada una fertilización diferencial con N.

OBJETIVOS

Objetivo general: Evaluar la implementación de tecnologías de agricultura de precisión con siembra bajo fertilización nitrogenada variable.¹⁵

Objetivos específicos:

- Definir zonas homogéneas en base a las propiedades del suelo de conductividad eléctrica (CE), profundidad del horizonte petrocálcico y altura sobre el nivel del mar en 5 lotes agrícolas.
- Determinar la aptitud de la delimitación de zonas homogéneas con las variables expuestas para realizar una fertilización diferencial con nitrógeno a la siembra de trigo.
- Comunicar a los públicos de interés (productores, investigadores, industrias de maquinaria agrícola) la viabilidad de las tecnologías de siembra con manejo sitio específicos, a fin de generar un marco adecuado para evaluar su implementación y desarrollo, fundamentalmente en la zona en que fue realizado el ensayo.^{16, 17}

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del ensayo

Se utilizaron datos pertenecientes a 5 ensayos provistos por el INTA Manfredi¹⁶, realizados en lotes ubicados en las provincias de Buenos Aires y la Pampa (Figura 1 y Tabla 1). Cada ensayo fue diseñado en bloques al azar, integrados por tres tratamientos distintos, fertilizados cada uno con una cantidad equivalente de nitrógeno a 80, 125 y 170Kg por hectárea. Para cada lote se encuentran disponibles los datos de CE, la profundidad de la tosca, la altitud sobre el nivel de mar (a.s.n.m.) y los rendimientos de trigo (equivalentes a toneladas por hectárea y tomados en el momento de la cosecha) para cada unidad experimental. Cada unidad experimental a su vez se encuentra georreferenciada con coordenadas planas X e Y. Se procedió a trabajar cada ensayo por separado con la misma metodología. El análisis de los datos se realizó con el software InfoStat. (Di Rienzo *et al.*, 2016)



Figura 1: Ubicación geográfica de los ensayos. (sobre imagen Google maps©2016)

Tabla 1: Localización de los ensayos.

Lote	Coordenadas	Ubicación	Rendimiento medio de trigo (Tn/ha)
A	37°11'51,2"S 62°24'36,8"O	Guaminí, centro-oeste de Buenos Aires	4,28
B	37°11'53,7"S 62°24'35,7"O		3,76
La Elda	37°41'47,1"S 65°01'14,7"O	General Hacha, centro-este de La Pampa	3,85
L11	37°56'48,3"S 65°08'48,8"O		3,03
L25	37°54'57,4"S 65°07'56,1"O		3,55

Delimitación de áreas homogéneas

Las variables de CE, profundidad de la tosca y la a.s.n.m. medidas en cada lote afectan en conjunto a los rendimientos de trigo y a su vez están correlacionadas entre ellas, como se observa en la matriz de diagramas de dispersión realizada para uno de los ensayos (figura 2), observándose lo mismo en todos los ensayos.

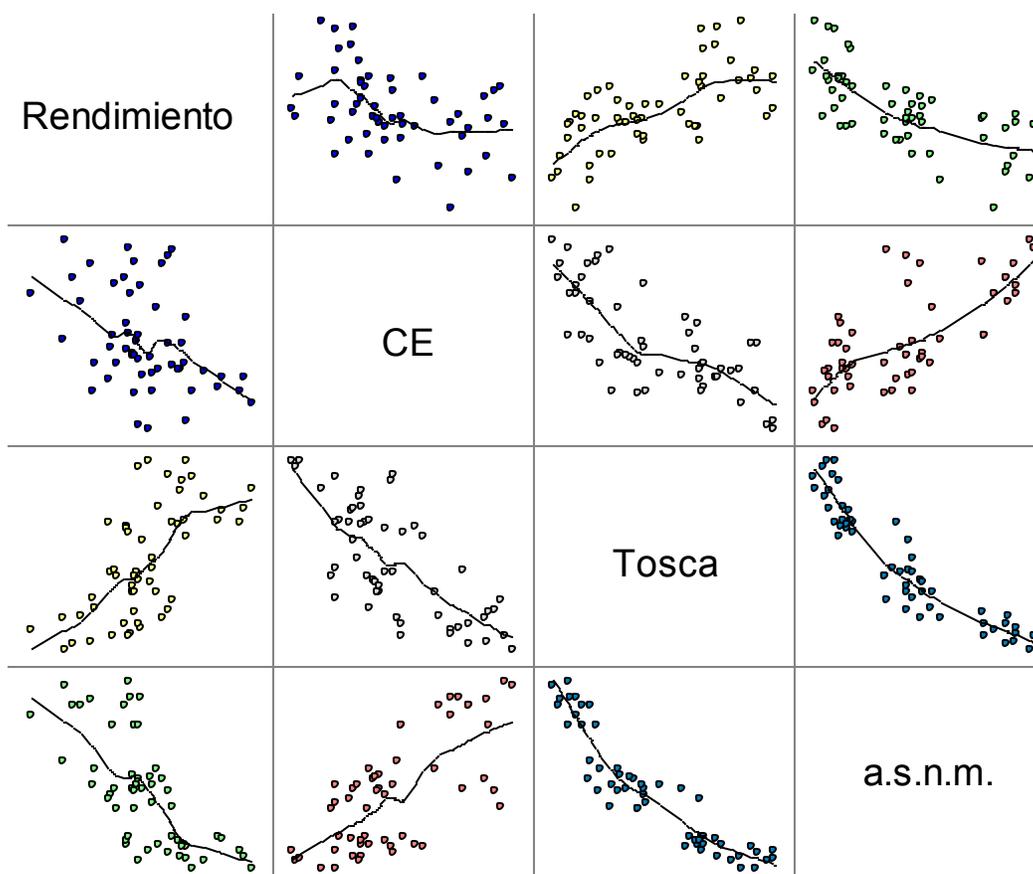


Figura 2: Matriz de diagramas de dispersión de variables en lote “La Elda”.

Para definir áreas homogéneas de manejo es preciso crear grupos de sitios con características similares de CE, profundidad de la tosca y a.s.n.m. Estos grupos se deben encontrar agrupados espacialmente para delimitar las áreas y facilitar el posterior manejo diferencial. Para identificar las zonas dentro de cada lote, se hizo un análisis de conglomerados (Di Rienzo *et al.*, 2016) agrupando las unidades experimentales en base a estas características del terreno y añadiendo las coordenadas polares X e Y como variables, para así lograr que los conglomerados se encuentren agrupados espacialmente. Se buscó generar tres conglomerados para establecer tres zonas homogéneas de manejo. Cada conglomerado fue definido posteriormente como zona (1,2 y 3) y cargado a la tabla de datos.

Como era de esperar debido a las características de las variables, los sitios pertenecientes a cada zona formaron grupos de áreas homogéneas dentro del terreno, como se comprobó mediante un diagrama de dispersión de las zonas sobre las coordenadas planas definidas por cada punto.

En los lotes A y L25 se procedió a repetir el proceso para dividirlos en 2 zonas debido a que alguna de las zonas contenía muy bajo número de sitios y por lo tanto se correspondía con superficies pequeñas dentro de un área homogénea mayor dentro del lote. El lote 11 por su homogeneidad en las variables no se consideró pertinente dividirlo en áreas distintas. Se generaron mapas de zonas homogéneas para cada lote (figuras 3, 4, 5 y 6).

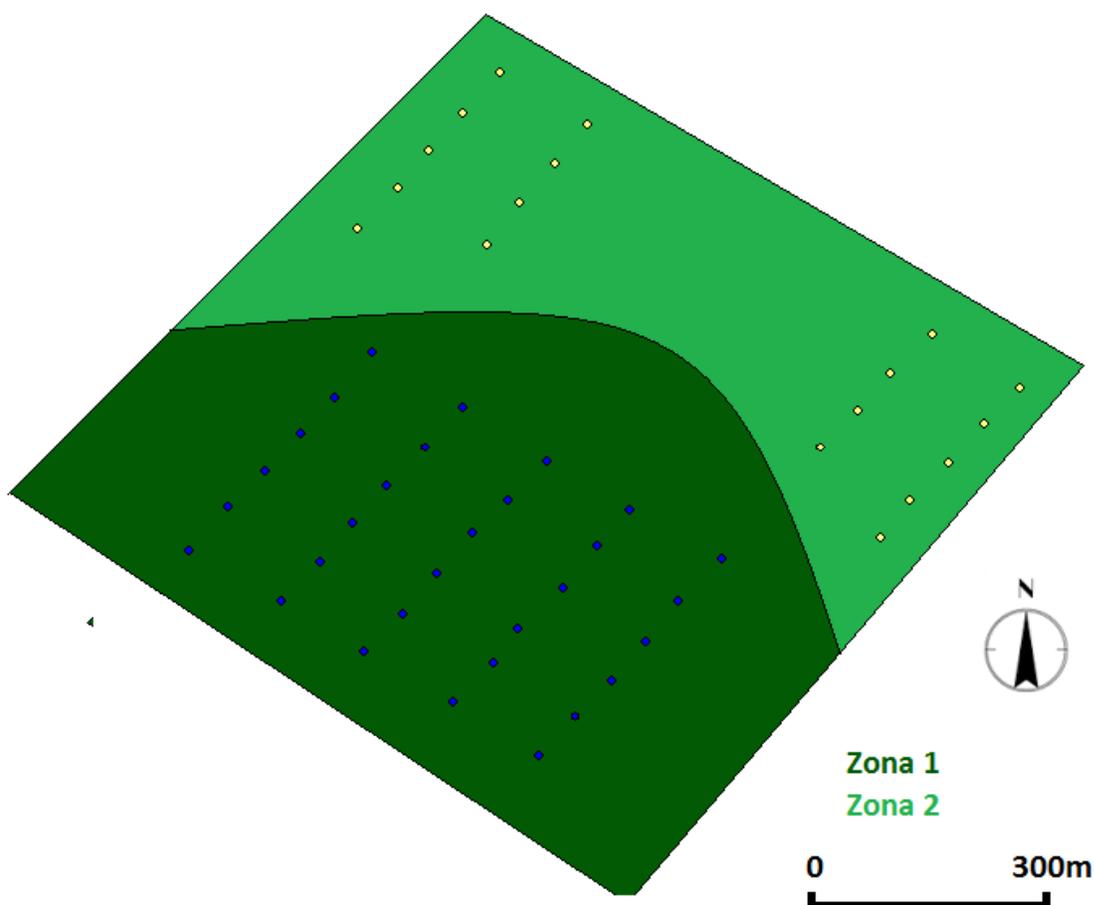


Figura 3: Mapa de zonas homogéneas lote A.

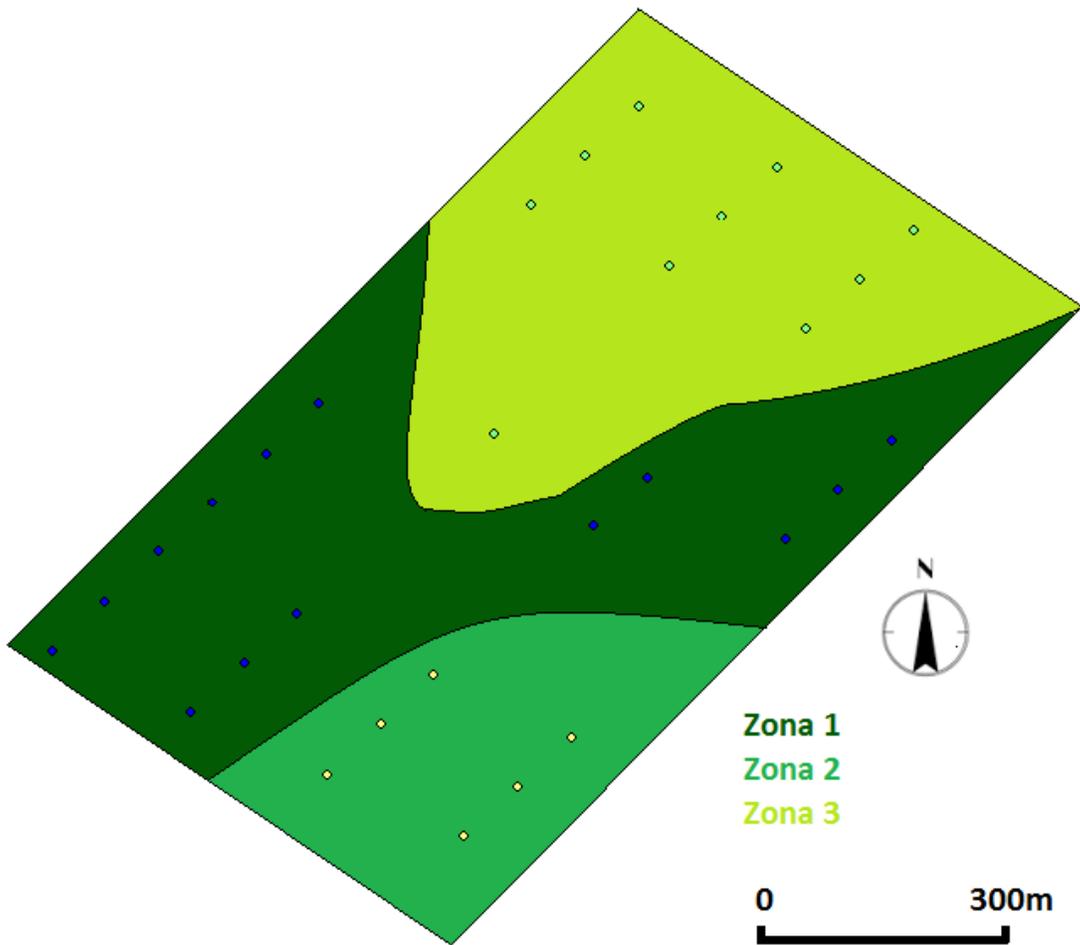


Figura 4: Mapa de zonas homogéneas lote B.

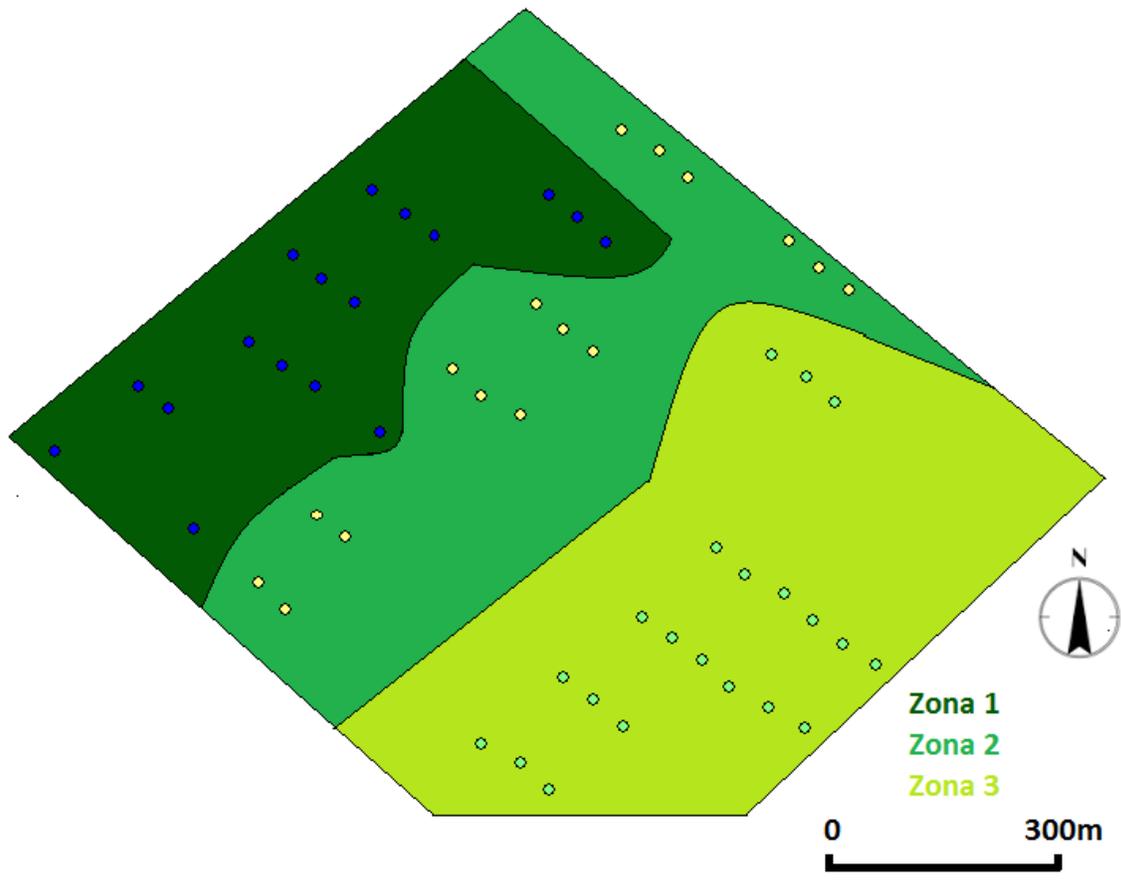


Figura 5: Mapa de zonas homogéneas lote "La Elda".

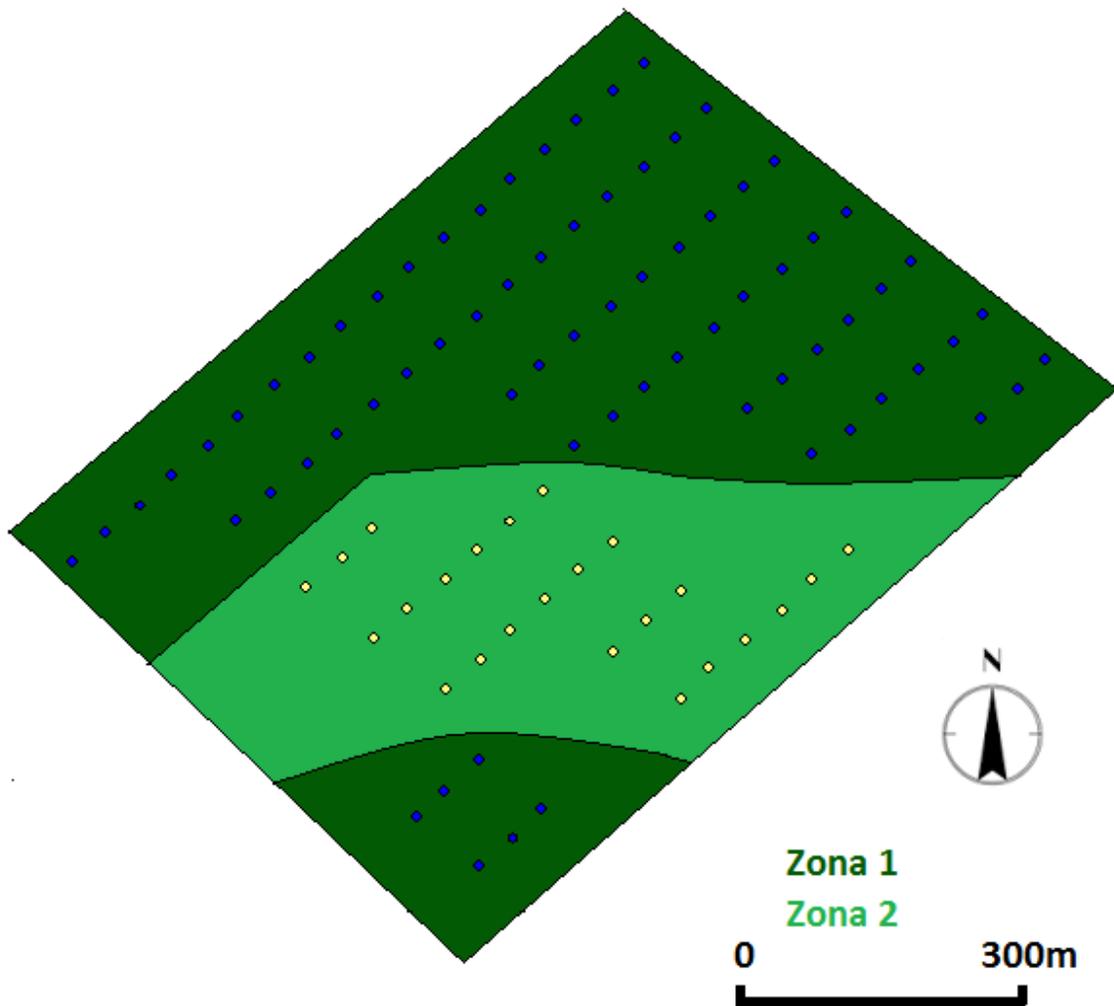


Figura 6: Mapa de zonas homogéneas lote L25.

Fertilización diferencial

Tras definir las áreas homogéneas es necesario determinar si se recomienda una fertilización diferencial con nitrógeno entre ellas. Si alguna zona no se aprecia diferencias significativas en el rendimiento debido a la fertilización, será recomendable la fertilización con la menor dosis de nitrógeno. Si por otro lado en una zona se producen aumentos significativos ante un nivel de dosis, se recomienda fertilizar con esa dosis. Si se cumple cualquiera de los anteriores supuestos por igual en las todas las zonas homogéneas en

que se dividió el lote, la fertilización nitrogenada diferencial entre ellas carece de sentido, siendo recomendable fertilizar con la misma cantidad de nitrógeno todo el lote, previo estudio para comprobar cuál dosis es la conveniente. El rendimiento entre zonas fue diferente e independiente de la diferencia entre tratamientos (Figura 7).

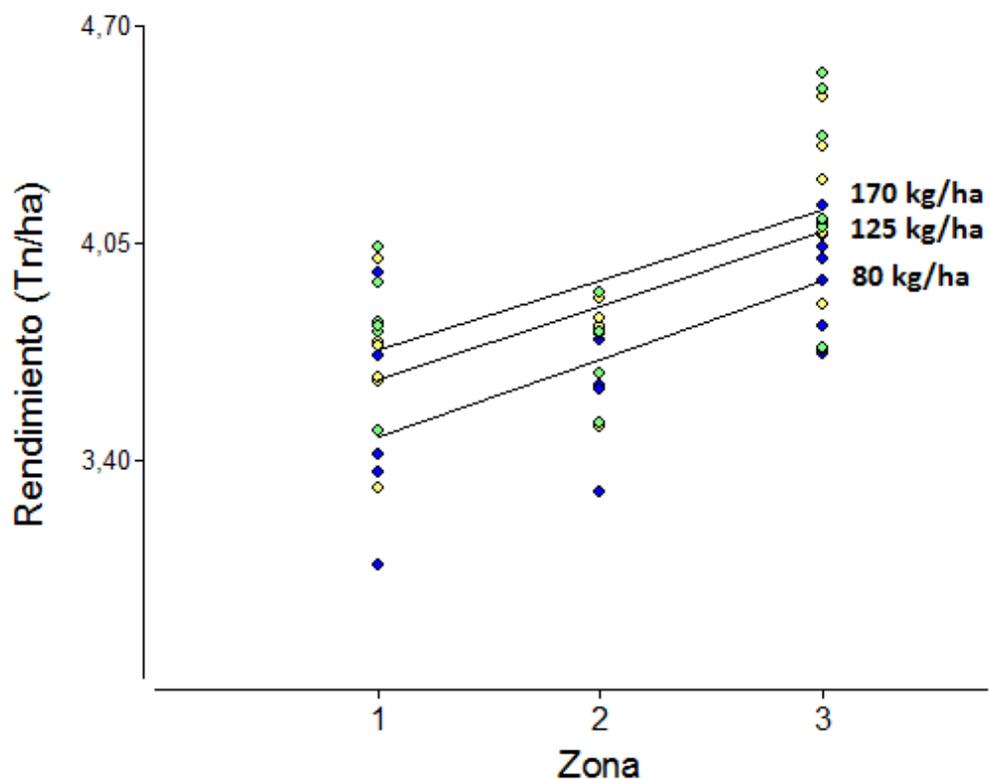


Figura 7: Rendimiento según zonas homogéneas, bajo tres tratamientos de N. en el lote “La Elda”.

Para determinar la respuesta diferencial a la fertilización en cada área homogénea se compararon los efectos en el rendimiento de cada tratamiento de nitrógeno en cada zona por separado. De existir una interacción entre las características de cada zona y los diferentes niveles de fertilización es necesario comprobar si ésta incide sobre el rendimiento de trigo de manera significativa.

Las propiedades del suelo y la topografía influyen sobre el rendimiento debido a las características de las variables usadas para delimitar cada zona homogénea, por un lado, y por otro la fertilización nitrogenada también incide per se en el mismo. Como se dijo, cada tratamiento de fertilización puede interaccionar su vez con las características edáficas de cada zona, y si esa interacción produce diferencias significativas en el rendimiento, se justifica una fertilización diferencial por área homogénea.

Para dilucidar lo anterior se realizó una prueba de hipótesis tras generar con los datos un modelo lineal general y mixto. Para comprobar si el modelo utilizado está bien ajustado se realizó el diagnóstico con el gráfico de QQ-plot, en el que al observar solo pequeñas anomalías, se concluye que se cumple el supuesto de normalidad de los errores. El gráfico de valores residuales versus valores predichos tampoco indica problemas de heterocedasticidad. Se utilizó en el modelo la correlación espacial gaussiana en base a la observación de las medidas de ajuste menores en comparación con otras correlaciones.

La hipótesis planteada a comprobar es que al menos uno de los tratamientos presenta diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento de trigo debido a la zona, a la dosis de nitrógeno y a la interacción entre la zona y la fertilización con nitrógeno. La hipótesis nula indica que no hay diferencias significativas entre tratamientos. La hipótesis se ha de comprobar con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. Los valores de p para la interacción dosisN: Zona obtenidos para los cuatro lotes sometidos al estudio determinan que al ser mayor al nivel de significancia de 0,05 se acepta la hipótesis nula y por lo tanto no hay una diferencia estadísticamente significativa en los tratamientos debido a la interacción entre la dosis y la zona homogénea en que está ubicado cada tratamiento. Si se observaron diferencias estadísticamente significativas debido al efecto de la zona y la dosis (tabla 1 en Anexo). Las diferencias del rendimiento entre zonas y tratamientos se pueden visualizar en las medias de cada ensayo particionadas por estas variables. La fertilización creciente incrementa en similar proporción el rendimiento en cada zona (Figuras 7, 8, 9 y 10).

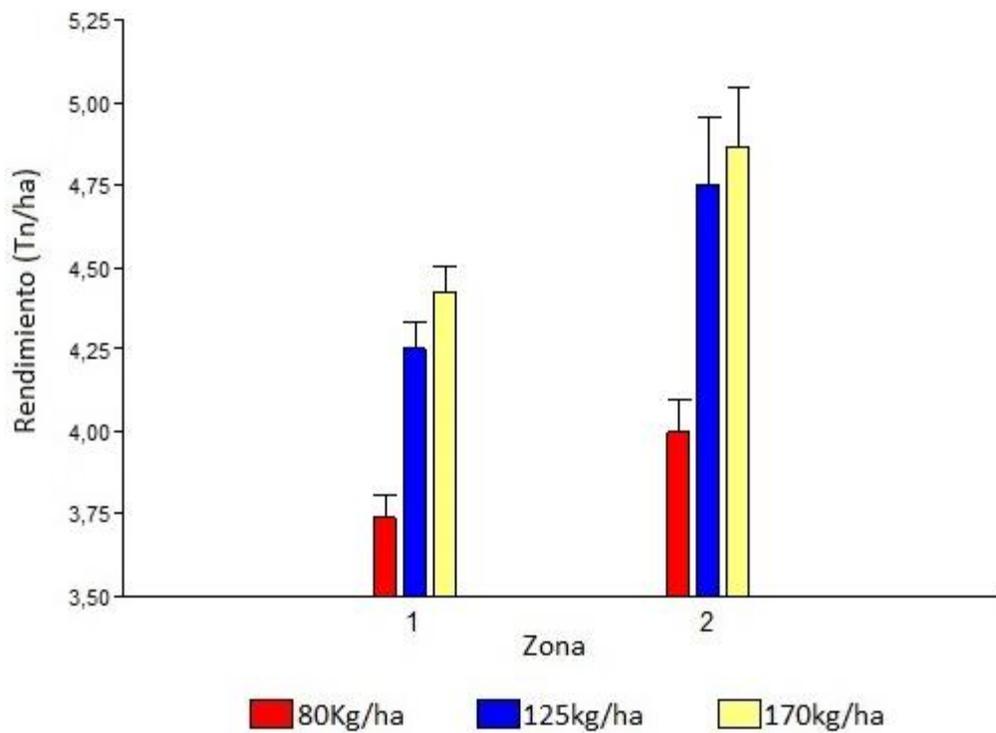


Figura 8: Medias de rendimiento lote A según zonas homogéneas y dosis de nitrógeno.

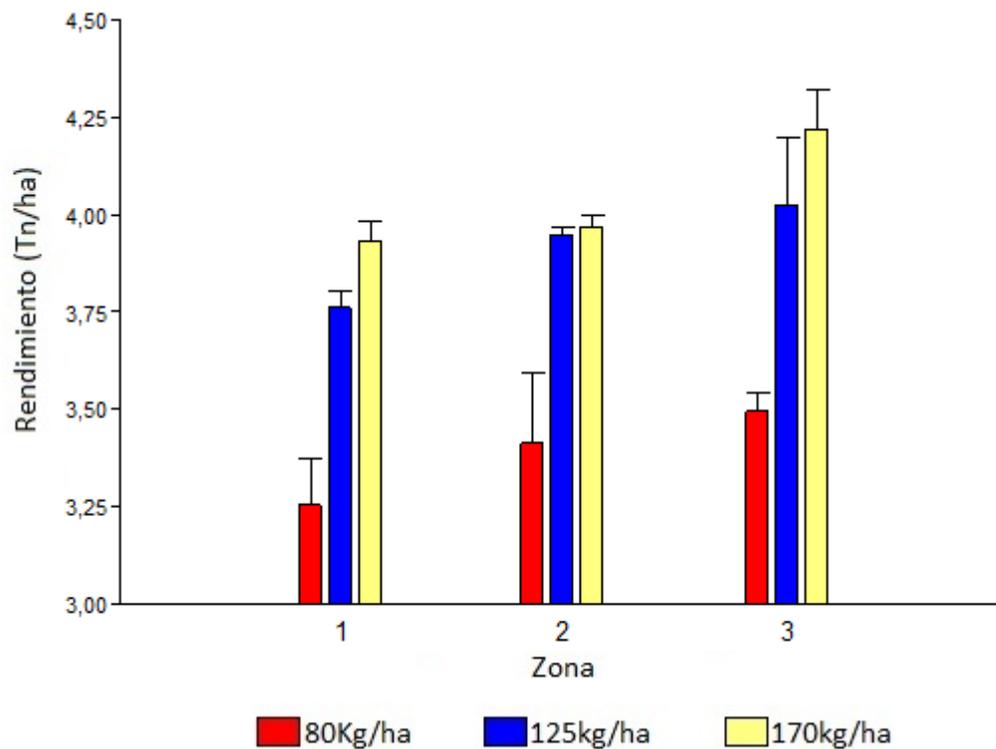


Figura 9: Medias de rendimiento lote B según zonas homogéneas y dosis de nitrógeno.

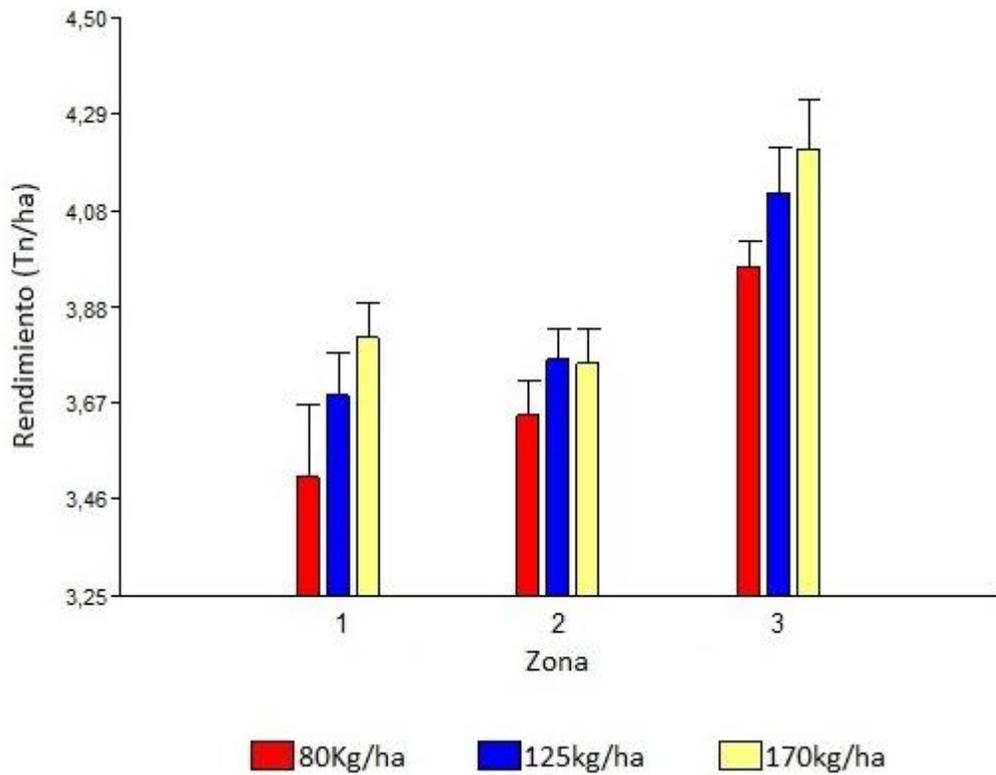


Figura 10: Medias de rendimiento lote “La Elda” según zonas y dosis de nitrógeno.

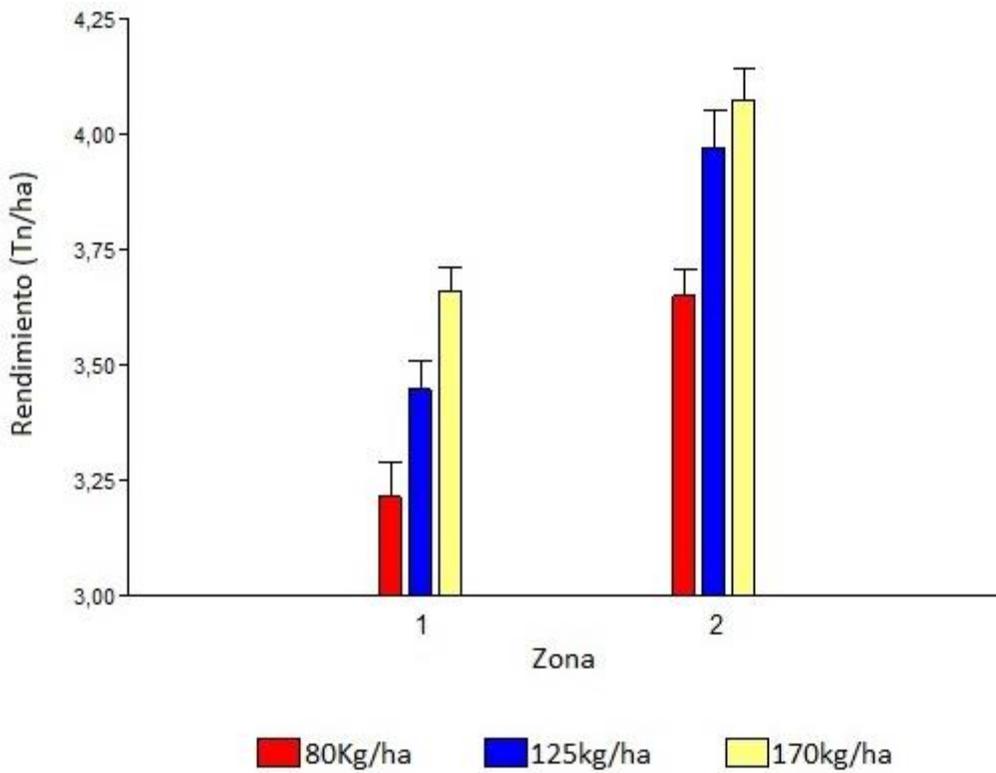


Figura 11: Medias de rendimiento L25 según zonas homogéneas y dosis de nitrógeno.

CONCLUSIÓN

No se justifica una fertilización diferencial con nitrógeno a la siembra bajo la delimitación de zonas homogéneas propuesta para ningunos de los lotes analizados. Si bien en cada zona incrementando la dosis de nitrógeno se aumenta el rendimiento, este incremento es similar en cada zona, no empleando el criterio propuesto de aplicar menores dosis en la/s que el aumento en el rendimiento debido al mismo no sea significativo. Fuera de este criterio una aplicación diferencial en la zonificación propuesta se puede realizar con el fin de homogeneizar el rendimiento en el lote, o bien destinar mayores dosis de nitrógeno en los lugares que potencialmente generen mayor rendimiento con respuestas marginales mayores. Según este estudio se concluye que las variables conductividad eléctrica aparente, profundidad de la tosca y altitud, si bien son útiles para delimitar zonas diferentes, no conformaron zonas de manejo distintas en estos lotes para cultivar trigo.

REFERENCIAS

- ¹ Indicador Ethos (Iarse) nº 36: Apoyo al desarrollo de los proveedores.
- ² Indicador Ethos (Iarse) nº 27: Compromiso con el desarrollo profesional.
- ³ Indicador Ethos (Iarse) nº 45: Educación y concientización ambiental.
- ⁴ Indicador Ethos (Iarse) nº 7: Participación de las partes interesadas.
- ⁵ Indicador Ethos (Iarse) nº 42: Uso sustentable de los recursos: agua.
- ⁶ Indicador Ethos (Iarse) nº 18: Mapeo de los impactos de las operaciones y gestiones de riesgos.
- ⁷ Indicador Ethos (Iarse) nº 39: Sistema de gestión ambiental.
- ⁸ Indicador Ethos (Iarse) nº 40: Prevención de la contaminación.
- ⁹ Indicador Ethos (Iarse) nº 41: Uso sustentable de los recursos: materiales.
- ¹⁰ Indicador Ethos (Iarse) nº 8: Modelo de negocios.
- ¹¹ Indicador Ethos (Iarse) nº 44: Uso sustentable de la biodiversidad y restauración de los hábitats naturales.
- ¹² Indicador Ethos (Iarse) nº 31: Relacionamiento con el consumidor.
- ^{13, 14} Indicador Ethos (Iarse) nº 2: Propuestas de valor.
- ¹⁵ Indicador Ethos (Iarse) nº 35: Compromiso con el desarrollo de la comunidad y gestión de las acciones sociales.
- ¹⁶ Indicador Ethos (Iarse) nº 14: Participación de las políticas públicas.

BIBLIOGRAFÍA

- Bachmeier, O. A., E. V. Buffa, S. B. Hang y A. A. Rollan. 2011. Temas de Edafología. SIMA Editora, Córdoba.
- Bongiovanni, R., E. Chartuni Mantovani, S Best, A. Roel. 2006. Agricultura de precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y sustentable. Procisur, Latinoamérica.
- Bragachini, M., A. Mendez, F. Scaramuzza, J. P. Velez y D. Villarroel. Dosificación variable de insumos, protocolo de trabajo. <http://www.agriculturadeprecision.org/>. Consultado 01-12-2016
- Bragachini, M., A. Mendez y F. Scaramuzza. 2004. Agricultura de precisión y siembra variable de insumos en tiempo real mediante el uso de GPS. <http://www.agriculturadeprecision.org/>. Consultado 01-12-2016
- Chartuni Mantovani, E. y C. Magdalena. 2014. Manual de agricultura de precisión. IICA, Montevideo.
- Di Rienzo, J.A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. Gonzalez, M. Tablada y C. W. Robledo. InfoStat versión 2016. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Melchiori, R.J., P.A. Barbagelata, C. Christiansen y A. Von Martin. Manejo sitio específico de nitrógeno en maíz: evaluación del n-sensor.
- Peralta, N., J. L. Costa, M. Castro Franco y M. Balzarini. 2012. Delimitación de zonas de manejo con modelos de elevación digital y profundidad de suelo.

ANEXO

Tabla 2: Prueba de hipótesis según ensayo.

	numDF	denDF	F-value	p-value	
La Elda	(Intercept)	1	28	6163.80	<0.0001
	Zona	2	28	8.34	0.0014
	dosisN	2	28	20.54	<0.0001
	Zona:dosisN	4	28	0.91	0.4690
A	(Intercept)	1	28	3629.49	<0.0001
	Zona	1	14	7.47	0.0162
	dosisN	2	28	134.03	<0.0001
	Zona:dosisN	2	28	3.15	0.0582
B	(Intercept)	1	12	7991.19	<0.0001
	Zona	2	12	4.34	0.0383
	dosisN	2	12	56.05	<0.0001
	Zona:dosisN	4	12	0.62	0.6538
L25	(Intercept)	1	60	5342.73	<0.0001
	dosisN	2	60	67.56	<0.0001
	Zona	1	30	18.95	0.0001
	dosisN:Zona	2	60	0.38	0.6823

Tabla 3: Medias de ensayos por zona y tratamiento.

Lote	Zona	Dosis N (Kg/ha)	Media Rend. (Tn/ha)
La Elda	1	80	3.51
		125	3.68
		170	3.81
	2	80	3.64
		125	3.76
		170	3.75
	3	80	3.96
		125	4.12
		170	4.22
L25	1	80	3.22
		125	3.45
		170	3.66
	2	80	3.65
		125	3.97
		170	4.08
A	1	80	3.74
		125	4.25
		170	4.42
	2	80	4.00
		125	4.75
		170	4.87
B	1	80	3.26
		125	3.76
		170	3.93
	2	80	3.42
		125	3.95
		170	3.97
	3	80	3.49
		125	4.03
		170	4.22