

Trabajo final de graduación

Efecto de la fertilización nitrogenada y de la época de siembra sobre el rendimiento de maíz en ambientes de loma, media loma y bajo.

Autores: Leguizamón, Aníbal Gastón – Pires, Eber Lucas

Director: Gili, Adriana A.

Co-director: Noellemeyer, Elke

Carrera: Ingeniería Agronómica

Institución: Facultad de Agronomía - Universidad Nacional de La Pampa

Año: 2014

Índice

Resumen.....	pág. 3
Palabras claves.....	pág. 3
Introducción.....	pág. 4
Materiales y Métodos.....	pág. 7
Resultados y discusión.....	pág. 15
Conclusiones.....	pág. 20
Bibliografía.....	pág. 21

Resumen

Cambios en la fecha de siembra del cultivo de maíz como así también diferencias topográficas del lote modifican la respuesta del mismo respecto al rendimiento en grano obtenido. El objetivo del trabajo fue estudiar en la región sub-húmeda pampeana, el efecto de la época de siembra y la utilización de la fertilización nitrogenada sobre el rendimiento en grano del cultivo, cuando se lo sitúa en situaciones en que el relieve no es homogéneo. Los experimentos fueron conducidos durante la campaña 2011/12 contemplando distintas épocas de siembra (Temprana y Tardía) y prácticas de manejo (fertilizado y no fertilizado) en un lote con marcadas diferencias en el relieve (Bajo, media loma y loma). El maíz sembrado tardíamente en el ambiente loma fue el que arrojó el mayor rendimiento en grano por hectárea, superando ampliamente el obtenido tempranamente en el ambiente loma y media loma, incluso el sembrado tardíamente en la media loma.

La respuesta del cultivo de maíz a los dos tratamientos ensayados difirió de acuerdo al ambiente, siendo la respuesta a la fecha de siembra mayor en la loma, mientras que la respuesta a la fertilización resultó mayor en la media loma. Estos resultados indican que la delimitación de zonas con distintos potenciales de producción a escala lote permite utilizar de forma más eficiente las características sitio-específicas del mismo y adecuar las prácticas de manejo que sean compatibles con una alta producción y sustentabilidad del ecosistema.

Palabras claves: Fecha de siembra, ambiente, fertilización.

Introducción

El crecimiento de la producción agrícola de los últimos 60 años estuvo fuertemente ligado a la expansión del área sembrada y en segunda medida, al aumento de los rendimientos (Bermúdez, 2011). La primera fuente de expansión está cada vez más restringida por la disponibilidad de tierras aptas, con la cual, para sostener el crecimiento en la producción de alimentos, este se tiene que basar en el aumento de los rendimientos, y esto supone lograr una mayor eficiencia en los procesos productivos. Por lo consiguiente, surge la necesidad de optimizar el manejo de la tecnología de producción y tener en cuenta las diferencias que existan en los ambientes productivos y diferenciar la tecnología cuando las respuestas a esta difieren. Pero es muy importante tener en claro que para manejar diferencialmente ambientes es necesario reconocer cuales son los factores (distintos según la zona) que determinan diferencias de productividad y de respuestas a la tecnología y luego estudiar cual es la estrategia apropiada para cada caso y a que escala es conveniente trabajar. A todo esto, es oportuno destacar que si bien existe una gama de factores diferentes, tanto bióticos como abióticos, que influyen sobre la variabilidad de la producción dentro de un lote, en reiteradas situaciones se encuentra que unos pocos de ellos son los que limitan en mayor medida la obtención de una buena producción (Roel *et al.*, 2004).

En el cultivo de maíz (*Zea mays L.*), los rendimientos han mostrado relaciones estrechas con varias propiedades de los suelos, tales como los contenidos de nutrientes, materia orgánica, textura y la capacidad de retención de humedad (Alvarez y Grigera 2004). Así mismo, Alvarez (2010) y Salvagiotti *et al.*, (2010), sugieren considerar durante el proceso de diagnóstico y posterior

recomendación de necesidades de fertilización como factor determinante la disponibilidad de nitrógeno (nitrógeno de nitratos en el suelos más el nitrógeno agregado al suelo como fertilizante), en un contexto de llevar adelante prácticas agronómicas que permitan corregir las limitaciones nutricionales que afectan la producción.

Los suelos de la Región Pampeana presentan diferencias muy marcadas en cuanto a sus propiedades físicas y químicas, siendo entre estas últimas, la disponibilidad de N uno de los factores edáficos que con mayor frecuencia, y en condiciones de adecuada disponibilidad hídrica, restringe el logro de altos rendimientos en grano de maíz. Por esta razón, la aplicación de fertilizantes nitrogenados en el cultivo del maíz es una de las estrategias de manejo más relevantes en la zona Sub-húmeda de la Argentina. Además el nitrógeno (N) es uno de los nutrientes con mayor respuesta sitio-específica (Bongiovanni, 2002). La posición en el relieve determina ambientes que poseen características netamente diferentes: en general los bajos representan las zonas de alto potencial de rendimiento. Los suelos son más profundos y de textura más fina lo cual resulta en mayor retención de agua y mejor fertilidad química que las lomas. Algunos bajos pueden tener una capa freática cercana a la superficie, lo cual puede constituir un factor beneficioso cuando la profundidad de ésta oscile entre 1,00 y 2,00 m y cuando no es salina y/o sódica (Nosetto et al., 2009). Las lomas, en cambio, representan zonas de bajo potencial de rendimiento, pudiéndose mencionar además, la media loma con características intermedias a los ambientes descriptos anteriormente (Zubillaga et al., 2006a). Siqueira et al. (2006) y Vieira et al. (2006), reportaron diferencias espaciales en el almacenamiento de agua de suelo, la infiltración tridimensional y conductividad

hidráulica saturada, asociadas a la cota relativa del lote. A su vez, estas diferencias son aún mayores en años con condiciones extremas de clima (Simmons et al., 1989; Kravchenko y Bullock, 2000).

Las características mencionadas anteriormente, de los sectores de bajo y loma, hacen que el cultivo esté sometido a diferentes condiciones de disponibilidad hídrica y nutricional a lo largo de su crecimiento. Zubillaga et al. (2006b) encontraron que la distribución espacial de algunas variables edáficas no fue aleatoria, sino que los sitios de mayor productividad coincidieron con los de mayores concentraciones de nitrógeno total, y humedad inicial. Otros autores también reportaron que los rendimientos en biomasa aérea y granos fueron mayores en los sectores de bajo que en los de loma, y que aplicaciones de bajas dosis de N no permitirán aprovechar las ventajas de la mayor acumulación de agua que se produce en los sectores bajos del lote (Dardanelli, 2002). Asimismo se hallaron respuestas diferenciales a la fertilización nitrogenada en maíz según zonas de manejo (Gregoret et al., 2006; Nanni et al., 2012). En estas condiciones, el tradicional manejo uniforme de los insumos no considera la posible existencia de variabilidad espacial en la disponibilidad de los recursos, pudiendo generar impactos negativos, tanto en términos ambientales como económicos (Pierce y Nowak, 1999). En efecto, la aplicación de dosis uniformes de N genera desajustes entre la oferta y las necesidades del cultivo (Huggins y Pan, 1993).

De acuerdo a lo citado se podría inferir que se debería hacer un uso diferencial de la fertilización nitrogenada según distintos ambientes determinados por la posición topográfica. Por otra parte, la adecuación de la fecha de siembra, de modo tal que las recargas de humedad del perfil producto de las lluvias

primaverales, podría situar al cultivo en mejores condiciones hídricas para aprovechar el aporte de nutrientes. La combinación de ambas prácticas permitiría mejorar la eficiencia en el uso de fertilizantes y el rendimiento del cultivo.

Objetivo:

El presente trabajo tiene como objetivo evaluar la incidencia de distintas decisiones de manejo en lo que respecta a época de siembra y fertilización nitrogenada en estadios avanzados del cultivo de maíz, en ambientes con características diferenciales (loma, media loma y bajo) de un lote de la región sub-húmeda pampeana.

Hipótesis:

El manejo de la fertilización nitrogenada en estadios fenológicos avanzados del cultivo de maíz, y la elección de una época de siembra tardía determinaría un aumento del rendimiento en grano en los ambientes bajo y media loma del lote, determinado por una mayor disponibilidad hídrica del perfil en particular, y de una mejor composición química y mineralógica en general respecto a la loma.

Materiales y métodos

Zona de estudio: El ensayo se desarrolló en la región sub-húmeda (Oeste de la Provincia de Buenos Aires y Noreste de la provincia de La Pampa) en un establecimiento rural llamado “El MayJu ” situado en cercanías de la localidad de Trebolares, Prov.de La Pampa, entre las isohietas de 800 – 600mm anuales (Figura 1). Dicha área de emplazamiento del ensayo presenta ciertas características que le atribuyen un paisaje y una aptitud diferencial respecto a zonas ubicadas hacia el sur de la provincia. En tal sentido, es de destacar su

régimen hídrico sub-húmedo seco, con una distribución de las precipitaciones con tendencia al régimen monzónico distinguiendo así dos épocas bien definidas: un periodo invernal benigno con temperaturas medias del mes más frío (julio) de 8°C, aunque las marcas mínimas pueden llegar a valores muy bajos (—13,6°C), siendo además la cantidad e intensidad de las lluvias prácticamente nulas aquí. En contraposición, una estación estival cálida con temperaturas medias del mes más cálido (enero) de 24°C, pudiéndose registrar temperaturas máximas absolutas muy superiores a dicho valor, que en suma a las medias a bajas probabilidades de ocurrencias de precipitaciones, genera un des-balance hídrico negativo producto de su acción conjunta que conlleva a una excesiva evapotranspiración del agua almacenada en el perfil, pudiendo alcanzar un déficit de hasta 180 mm en su pico máximo (enero) (INTA *et al.*, 1980). Así mismo, se presenta un periodo de recarga de agua del suelo debido a la ocurrencia de lluvias intensas y/o frecuentes fundamentalmente en el mes de octubre y/o marzo, junto con la presencia de temperaturas moderadas que limitan las pérdidas hídricas del perfil por evapotranspiración, que hacen factible dicho fenómeno. Además, otro parámetro climático de importancia a la hora de realizar una planificación agrícola son las ocurrencias de fenómenos adversos como las heladas. En tal sentido, y considerando valores de la localidad de General Pico (L.P) por ser la estación meteorológica más cercana, se considera un periodo libre de heladas de 220 días siendo la fecha media de ocurrencia de primera helada el 5 de mayo con un desvío de 20 a 25 días, mientras que la fecha media de ocurrencia de la última helada es el 28 de septiembre con un desvío de 20 a 25 días (Vergara y Casagrande, 2012).

Desde el punto de vista agro-climático es la subregión mejor dotada de toda la provincia; sus regímenes térmicos e hídricos son adecuados para obtener una buena producción agropecuaria.

Por otra parte, el relieve es de plano a suavemente ondulado, con médanos bien definidos. Los suelos predominantes pertenecen al orden Molisol, siendo estos profundos sin impedimentos físicos restrictivos, presentando un grado evolutivo mayor respecto a los situados más al sur de la provincia, con horizontes claramente definidos y en los cuales se observan una ganancia en el contenido de materia orgánica. No obstante, es importante aclarar que la subregión a la cual se pretende caracterizar es una de las más susceptibles a la erosión eólica debido a una serie de atributos particulares que le caracterizan, entre los cuales se pueden mencionar: el tipo de suelo presente, en relación a los tipos de explotaciones rurales existentes en el área los cuales son mayoritariamente sistemas agrícolas de cosecha, y destacando la existencia de vientos intensos en los meses de septiembre a diciembre procedentes predominantemente del N-NE y SSW.



Figura 1: imagen satelital indicando ubicación del establecimiento.

De lo anterior, habiendo realizado una descripción detallada de la zona, se desprende que el establecimiento en cuestión sujeto a tales características previamente mencionadas, se dedica en su totalidad a la producción agrícola tanto de cultivos invernales como estivales.

Dentro del mismo se seleccionaron las zonas que presentan diferencias significativas en lo que respecta a su topografía, pudiendo distinguir una situación de loma (L) con textura más arenosa y capa freática profunda, la media loma (ML) con características físicas y químicas intermedias, y una situación de bajo (B) con textura más fina y capa freática cercana a la superficie. Luego se procedió a la siembra de un cultivo de maíz con los siguientes tratamientos:

Tratamientos: Se contemplaron tres factores en el diseño de los ensayos:

1. Ambiente: L = loma; ML= media loma; B = bajo
2. Época de siembra: E₁= temprana; E₂ = tardía
3. Fertilización: F₁ = sin fertilización con N en V6; F₂ = fertilización con N en V6.

Refiriéndonos más específicamente a la implantación del cultivo de maíz, el mismo se desarrollo en dos épocas de siembra y con dos tratamientos distintos, como se detalla a continuación: La época de siembra temprano se realizó el día 15 de octubre de 2011, mientras que la siembra tardía se realizó el día 30 de diciembre de mismo año, utilizando en ambos casos el material híbrido DK 190 Triple PRO de ciclo completo y empleando una densidad de siembra de 60.000 semillas ha^{-1} con un distanciamiento entre surcos de 52,5 cm. Además, con el objetivo de evitar posibles deficiencias nutricionales sitio-específicas que pudiesen influir en la variable bajo estudio, se aplicó 140 kg ha^{-1} de fertilizante Superfosfato Triple de forma tal de homogeneizar la disponibilidad de este nutriente en la parcela seleccionada. Posteriormente, cuando el cultivo presentó 6 hojas completamente expandidas (V6), se fertilizó con Nitrógeno utilizando 236 Lt. ha^{-1} de UAN (100 kg N. ha^{-1}) y 4,7 Lt. ha^{-1} de Sulfato de Zinc (0,470 kg Zn. ha^{-1}) aplicado sobre la mitad de la faja del lado norte correspondiente a cada época de siembra, siendo el 27 de noviembre de 2011 y el 21 de enero de 2012 el momento de su aplicación en la siembra temprana y tardía, respectivamente.

Diseño Experimental: Se utilizó un diseño en franjas, sobre las cuales se aplicaron dos épocas de siembra (temprana y tardía) y a su vez, dos tratamientos diferentes sobre estas últimas (Fertilizado con N y no Fertilizado en V6), proyectadas de modo que cada tratamiento esté influenciado por el factor ambiente. El ancho de la franja es de 7m siendo está determinado por el ancho de labor de la sembradora disponible, mientras que el largo es de 180 m, atravesando las diferencias topográficas (Figura 2)

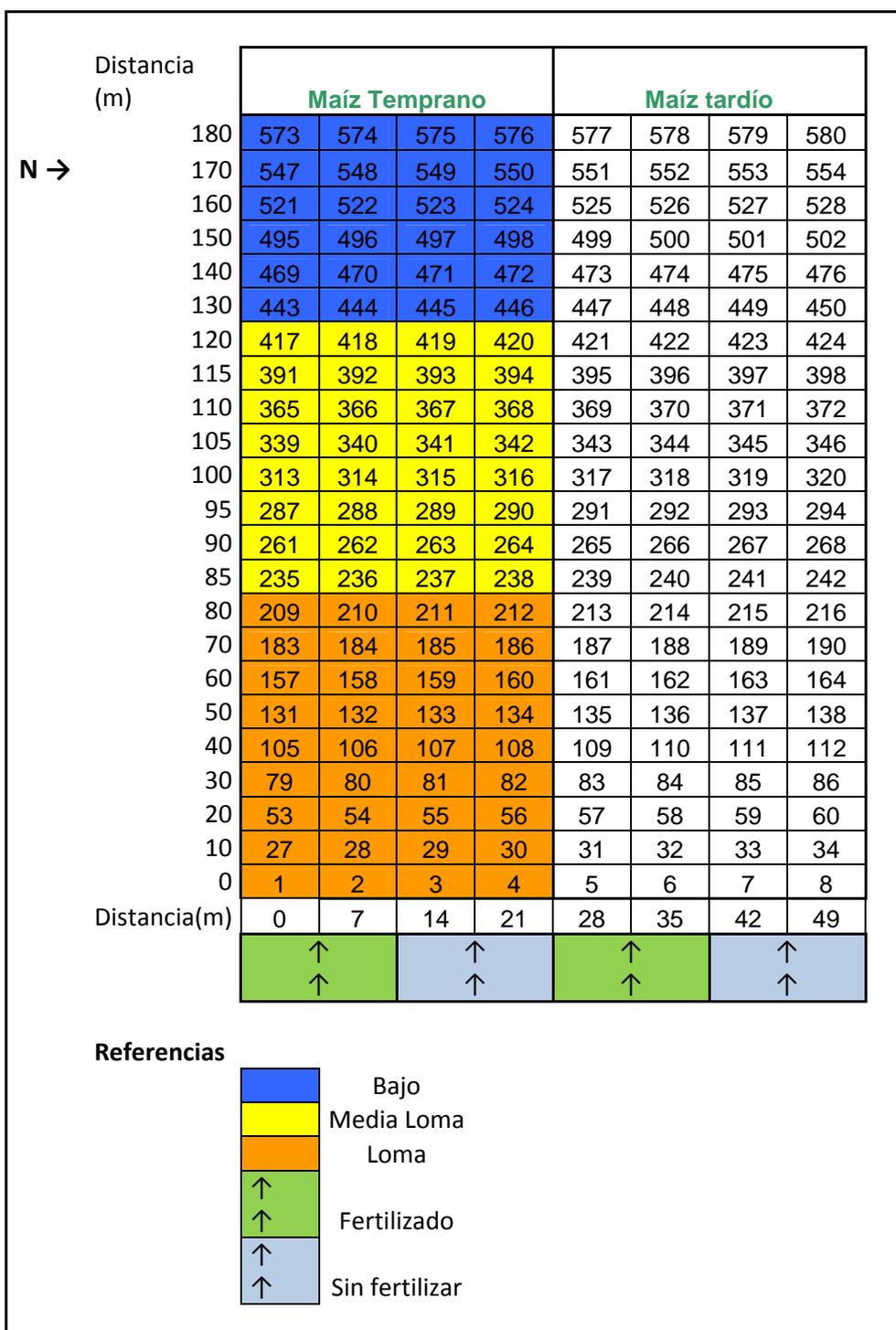


Figura 2: Esquema de distribución de los tratamientos

Caracterización de los suelos: En cada zona se abrirá una calicata con el fin de describir el perfil del suelo y tomar muestras con cilindros de acero cuyo volumen es conocido, en intervalos de profundidad de 20 cm para la determinación de:

1. Densidad aparente (DA), por el peso seco del volumen de suelo muestreado.
2. Textura, por el método de la pipeta de Robinson.
3. Punto de marchitez permanente (PMP), a tensión de 15 atm en mesa de tensión (Richards).
4. Capacidad de campo (CC), a tensión de 0.3 atm en mesa de tensión (Richards).
5. Contenido de carbono total (C), mediante digestión ácida con dicromato de K^+ a $120^{\circ}C$ y valoración colorimétrica.
6. Contenido de fósforo disponible (P) por el método de Bray y Kurtz I.
7. pH del suelo medido en una suspensión de suelo/ $CaCl_2$ 0.01N en una relación 1:2(p/v).
8. Conductividad eléctrica (CE) en conductímetro de celda de 1 cm.
9. Contenido hídrico a intervalos de profundidad de 20 cm, hasta profundizar 120 cm en el perfil del suelo. Determinación por el método gravimétrico.

Los muestreos se realizaron al momento de la siembra del maíz y en tres fechas sucesorias a lo largo del ciclo fenológico del cultivo (V6, VT/R1 y MF) (Ritchie y Hanway, 1982).

Análisis estadístico: Cada variable fue modelada mediante utilización de modelos lineales mixtos (Schabenberger y Pierce, 2002). Bajo el marco general de los modelos mixtos se pueden considerar distintos tipos de modelos, en general los modelos mixtos se presentan como aquéllos que permiten modelar conjuntos de datos en los que las observaciones no son independientes. Se va a considerar el siguiente modelo: $\mathbf{y} = \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{e}$, donde \mathbf{y} es un vector de observaciones, \mathbf{X} es la matriz de diseño en el caso del modelo de análisis de la varianza, $\boldsymbol{\beta}$ es el vector de parámetros (o efectos fijos) y \mathbf{e} es el vector de errores. Los modelos clásicos consideran que los términos de error (generalmente asociados a la parcela en experimentación agrícola) son independientes y tienen la misma varianza σ^2 .

Las dependencias espaciales entre parcelas de ensayos de campo es un fenómeno común en agricultura. En especial, la existencia de correlación espacial positiva, *i.e.* tendencia de observaciones que están en parcelas cercanas a ser más parecidas que las que están más lejos. Por lo tanto con el uso de estos modelos se va a considerar la presencia de dependencia espacial a través de la inclusión de la matriz $\text{Corr}\{d_{ij}\}$, donde $\text{Corr}\{d_{ij}\} = \text{Corr}\{e_i, e_j\}$, es la correlación espacial entre los errores asociados a las parcelas i y j y d_{ij} es la distancia entre la parcela i y la parcela j , es decir, la correlación entre los errores asociados a las parcelas i y j será función de la distancia entre ellas. El modelo de correlación más usado para datos de suelos es el modelo esférico:

$$\text{Corr}(d_{ij}) = \left[1 - 1.5 \left(\frac{d_{ij}}{\rho} \right) + 0.5 \left(\frac{d_{ij}}{\rho} \right)^3 \right]$$
 y fue el usado para analizar todas las variables en estudio. Posteriormente se realizaron pruebas de diferencia de

medias de Tukey, utilizando para ello el software estadístico InfoStat (Di Rienzo et al., 2008).

Resultados y Discusión

El período en estudio registró 1.222 mm de precipitaciones contemplando los meses de septiembre a junio, representando este dato un 35% más con respecto a la media histórica de la zona (785 mm). La particularidad del año en cuestión se da al observar una fuerte heterogeneidad en la distribución de las lluvias para los diferentes meses, siendo que para el mes de diciembre las precipitaciones acumuladas fueron del 28% de la media histórica y durante el mes de febrero las mismas alcanzaron los 468 mm. Es propicio destacar este valor debido a que la ocurrencia de lluvias abundantes en dicho mes, provocaron el anegamiento de ciertas áreas de la parcela, siendo el ambiente bajo el más afectado específicamente. (Figura 3).

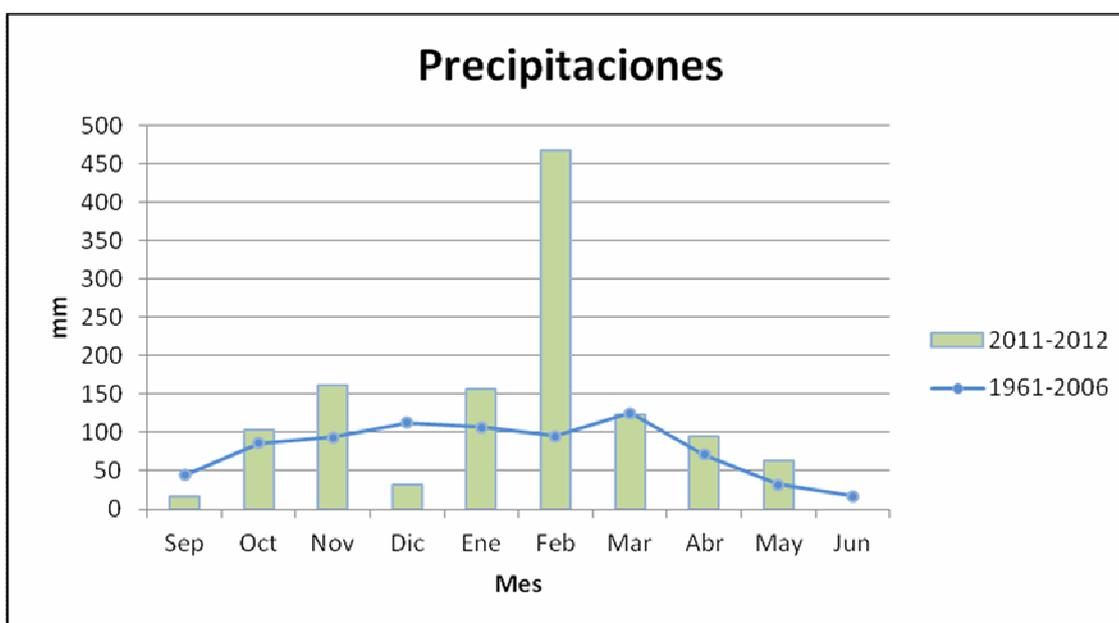


Figura 3: Distribución de las precipitaciones

Por otro lado, cuando se recurre al análisis e interpretación de las propiedades físicas-químicas del suelo bajo observación, se encuentran que existen diferencias que caracterizan los tres ambientes delimitados en este estudio. En tal sentido, se observó que el ambiente bajo difirió significativamente de los demás ambientes en las variables pH, contenido de fósforo disponible (ppm), conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y textura (% de Limo + Arcilla), no así en la variable MOT (%) que solo se diferenció del ambiente media loma. Del mismo modo, este último difirió además en los parámetros pH, contenido de fósforo y % de Limo + Arcilla con los restantes ambientes pero no lo hizo en lo referente a la conductividad eléctrica, situación en la cual solo varió significativamente respecto al bajo (Tabla 1).

Tabla 1: Valores medios de las variables edáficas en los ambientes Bajo, Media Loma y Loma.

<i>Ambiente</i>	<i>Variables estudiadas</i>				
	<i>pH</i>	<i>MOT (%)</i>	<i>P (ppm)</i>	<i>CE (dS/m)</i>	<i>L + Arc (%)</i>
Bajo	6,35 a	1,53 a	37,03 a	0,72 a	45,01 a
Media Loma	6,95 b	0,78 b	16,77 b	0,51 b	35,27 b
Loma	5,76 c	1,48 a	11,98 c	0,46 b	27,98 c

En lo referente a la acumulación de agua en el perfil de suelo, se determinaron diferencias significativas entre los tres ambientes considerados al momento de la siembra, siendo los mayores valores para el ambiente bajo (180 mm) y correspondiendo el menor valor registrado para la loma con 118 mm para la misma medición. Así mismo, no se registraron diferencias en el contenido hídrico entre los ambientes considerados para los tres momentos posteriores de medición, es decir, en V6, VT/R1 y R6 como se observa en la Tabla 2.a.

Tabla 2.a: Contenido hídrico del suelo en diferentes estados fenológicos del cultivo de acuerdo a la posición en el relieve.

	<i>Contenido Hídrico medio (mm)</i>			
<i>Ambiente</i>	AUT-Siembra	AUT-V6	AUT-VT	AUT-R6
Bajo	180,69 a	191,66 a	102,36 a	184,70 a
Media Loma	138,94 b	131,70 a	114,40 a	230,99 a
Loma	118,11 c	130,50 a	132,82 a	213,61 a

AUT = Agua útil Total

Del mismo modo, al evaluar el contenido de humedad del perfil de suelo en referencia a la época de siembra, se observaron diferencias significativas entre la época temprana y tardía para todos los momentos de medición, correspondiendo valores de acumulación hídrica de 156 mm y 131 mm respectivamente, para el primer estadio de muestreo. Posteriormente, para el resto de las determinaciones los mayores valores de humedad correspondieron a la época tardía por sobre la temprana, situación inversa a lo obtenido en el primer muestreo (Tabla 2.b).

Tabla 2.b: Contenido hídrico del suelo en diferentes estados fenológicos del cultivo de acuerdo a la fecha de siembra del cultivo de maíz.

	<i>Contenido Hídrico medio (mm)</i>			
<i>Cultivo</i>	AUT-Siembra	AUT-V6	AUT-VT	AUT-R6
Temprano	156,37 a	113,59 a	38,05 a	209,95 a
Tardío	131,94 b	207,49 b	234,79 b	248,93 b

AUT = Agua útil Total

Al analizar el comportamiento del rendimiento en grano (kg ha^{-1}) se observaron variaciones en cuanto a los tratamientos empleados para dicho estudio. En tal sentido, se encontraron diferencias del rendimiento con respecto a los distintos ambientes como así también a la fecha de siembra, no habiéndose encontrado diferencia cuando se analizó el factor fertilización.

Por otro lado, se obtuvieron diferencias del rendimiento cuando se analizó éste en función de la interacción entre dos variables como lo son ambiente y fecha de siembra o ambiente y fertilización, siendo que no hubo respuesta al analizar fecha de siembra y fertilización como así también la interacción de estas últimas con el ambiente.

Realizando un estudio más detallado respecto a la interacción ambiente y cultivo, se observó que el maíz sembrado tardíamente en la loma, rindió significativamente más que el maíz sembrado en forma temprana en la media loma y loma, como así también el sembrado tardíamente en la media loma, correspondiendo para estos últimos sitios valores entre 5.458 y 6.403 kg ha⁻¹ inferiores, respectivamente (Tabla 3).

Tabla 3: Efecto de la interacción ambiente y época de siembra sobre el rendimiento del cultivo de maíz

<i>Ambiente</i>	Cultivo	Rendimiento en grano (kg ha ⁻¹)
Loma	Maíz Tardío	10.558 a
Media Loma	Maíz Temprano	5.100 b
Loma	Maíz Temprano	4.183 b
Media Loma	Maíz Tardío	4.155 b

Como se mencionó anteriormente, se encontraron además diferencias en el rendimiento en grano obtenido al contemplar conjuntamente el factor ambiente y fertilización. En este contexto, se puede destacar que la producción obtenida en el ambiente Loma para el tratamiento fertilizado y no fertilizado, no fue significativamente distinto entre ambos pero si en comparación a los demás sitios de la parcela, correspondiéndole a este ambiente el mayor rendimiento logrado (7.041 y 7.700 kg.ha⁻¹, respectivamente). Además, es notable que el ambiente Media Loma sin fertilizar presentara la menor producción por hectárea, difiriendo significativamente del mismo ambiente fertilizado, en ambos casos sin alcanzar la productividad del ambiente Loma (Tabla 4).

Tabla 4: Efecto de la interacción ambiente y fertilización sobre el rendimiento del cultivo de maíz.

<i>Ambiente</i>	Fertilización	Rendimiento (kg grano ha ⁻¹)
Loma	SF	7.700 a
Loma	F	7.041 a
Media Loma	F	5.390 b
Media Loma	SF	3.865 c

Conclusiones:

La respuesta del cultivo de maíz a los dos tratamientos ensayados difirió de acuerdo al ambiente, siendo la respuesta a la fecha de siembra mayor en la loma, mientras que la respuesta a la fertilización resultó mayor en la media loma. Estos resultados indican que la delimitación de zonas con distintos potenciales de producción a escala lote permite utilizar de forma más eficiente las características sitio-específicas del mismo y adecuar las prácticas de manejo que sean compatibles con una alta producción y sustentabilidad del ecosistema.

Además, la identificación de distintos ambientes da la posibilidad de situar al cultivo en condiciones adecuadas humedad y fertilidad capaz de expresar su máximo potencial. No obstante, aquellas características particulares que le atribuyen al ambiente bajo el mayor potencial de rendimiento en un año normal a seco, pueden ser perjudiciales para aquellos años en que la intensidad y/o frecuencia de precipitaciones superen la media histórica. En estas situaciones, la correcta combinación de época de siembra, estrategia de fertilización y ambiente productivo definirá el resultado del cultivo.

Bibliografía

ÁLVAREZ R., y S. GRIGERA, 2004. Analysis of Soil Fertility and Management Effects on Yields of Wheat and Corn in the Rolling Pampa of Argentina. *J. Agronomy and CropScience* 191, 321-321.

ALVAREZ, R., 2010. Análisis económico de la metodología del balance y la de umbrales fijo para recomendar la fertilización nitrogenada de maíz. IX Congreso Nacional de Maíz (Argentina, Actas, pp. 261-263)

BERMÚDEZ M., 2011. Enfoque de una Agricultura por ambientes para el manejo de N y P. X Curso Internacional de Agricultura de Precisión y V Expo de Máquinas Precisas. Manfredi, Argentina.

BONGIOVANNI, R. 2002. A spatial econometrics approach to the economics of site-specific nitrogen management in corn production. PH.D. THESIS, DEPARTMENT OF AGRICULTURAL ECONOMICS, PURDUE UNIVERSITY, WEST LAFAYETTE, IN (EUA), 280 pp.

DARDANELLI, J. L. 2002. Utilización de modelos de simulación para el manejo sitio-específico. 3^{er} TALLER DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN DEL CONO SUR. PROCISUR. Carlos Paz (Argentina).

DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M. y ROBLEDO C.W. 2008. INFOSTAT, VERSIÓN 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

GREGORET, M. C.1; DARDANELLI, J.; BONGIOVANNI, R. y DÍAZ-ZORITA, M. 2006. Modelo de respuesta sitio-específica del maíz al nitrógeno y agua edáfica en un Haplustol. *CI. SUELO (ARGENTINA)* 24 (2), 147-159.

HUGGINS D.R. and W.L. PAN. 1993. Nitrogen efficiency component analysis: an evaluation of cropping system differences in productivity. *Agronomy Journal*. 85, 898-905.

INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA (INTA), PROVINCIA DE LA PAMPA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PAMPA (UNLPAM). 1980. Inventario Integrado de los Recursos Naturales de la provincia de La Pampa: clima, geomorfología, suelo y vegetación. 493 pp.

KRAVCHENKO A. N; BULLOCK D. 2000. Correlation of corn and soybean grain yield with topography and soil properties. *Agronomy. Journal* 92, 75-83.

NANNI L., RONCHI J., LOPEZ DE SABANDO M.J., FERNANDEZ F. y M.M. ZUBILLAGA. 2012. Variabilidad de la respuesta al Nitrógeno del Maíz según zonas de productividad a escala de lote. 1° Congreso de Valor Agregado en Origen: integración Asociativa del Campo a la Góndola. 1a ed. - Buenos Aires: Ediciones INTA. 7 pp.

NOSETTO, M.D., JOBBÁGY, E.G., JACKSON, R.B., SZNAIDER, G. A., 2009. Reciprocal influence of crops and shallow ground water in sandy landscapes of the Inland Pampas. *Field Crops Research*. 113, 138–148.

PIERCE F. and P. NOWAK. 1999. Aspects of precision agriculture. *In: D. Spark (Ed) Advances in Agronomy* 67. Academic Press. P 1-85.

RITCHIE, S. and HANWAY, J.J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Technol. Spec. Rep., 48 pp.

ROEL A., E. DEAMBROSI, R. MENDEZ, N. SALDAIN, S. ÁVILA, G. BELDERRAIN, L. CASALES, y O. BONILLA, 2004. Variabilidad Espacial del Rendimiento. Resultados Experimentales 2003-04, INIA XXXIII, 373.

SALVAGIOTTI, F; J. CASTELLARIN, F. FERRAGUTI, D. DIGNANI y H. PEDROL. 2010. Umbrales de respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz y dosis optimas económicas según potencial de producción. Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 5 ppp.

SCHABENBERGER O. and PIERCE F. 2002. Contemporary Statistical Models for the Plant and Soil Sciences. Taylor and Francis. CRC Press, 738 pp.

SIMMONS F.W., CASSEL D.K., DANIELS R.B. 1989. Landscape and soil property effects on corn grain yield response to tillage. Soil Science Society of America Journal 53, 534-539.

SIQUEIRA, G; GREGO R. G; VIEIRA S; CEDDIA M. 2006. Variabilidad espacial y temporal de la permeabilidad del suelo en el cultivo de Triticale en sistemas de siembra directa. ACTAS DEL XX CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO. SALTA (ARGENTINA). P.179

VERGARA, G.; CASAGRANDE, G. 2012. Volumen especial Agroclimático. Rev. Fac. Agron. 22 (1) pp.

VIEIRA, S.R; GREGO C. R; SIQUEIRA G.M; MIGUEL F. M; PAVLU F. A. 2006. Variabilidad espacial del almacenamiento de agua del suelo bajo siembra directa. ACTAS DEL XX CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO. SALTA (ARGENTINA). P. 178.

ZUBILLAGA M. M; CIPRIOTTI P. A; BARROS M. J. 2006a. Asociaciones espaciales entre el N mineralizado y otras variables edáficas a nivel de lote. ACTAS DEL XX CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO. SALTA (ARGENTINA). P. 247.

ZUBILLAGA M. M; CARMONA M; LATORRE A; FALCON M; BARROS M. J.2006b. Estructura espacial de variables edáficas a nivel de lote en Vedia- Provincia de Buenos Aires. ACTAS DEL XX CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO. SALTA (ARGENTINA). P.288.