

TESIS FINAL DE GRADUACIÓN

**RESPUESTA A LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA DEL MAÍZ SEGÚN EL
ESTADO HÍDRICO DEL SUELO EN DISTINTOS AMBIENTES DE LA REGIÓN
SEMIÁRIDA PAMPEANA.**

Autores: Andrada Juan Pablo – Parramón Pablo Martín.

Director: Elke Noellemeyer.

Carrera: Ingeniería Agronómica.

Institución: Facultad de Agronomía – Universidad Nacional de La Pampa.

Año: 2013.

INDICE

Resumen.....	3
Introducción.....	4
Materiales y métodos.....	8
Resultados y discusión.....	12
Conclusión.....	18
Bibliografía.....	19

Resumen

El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de las diferentes densidades de siembra sobre la respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada, y como ésta es afectada por las características del suelo y la disponibilidad hídrica en los distintos ambientes (loma y bajo). Para esta evaluación, se realizaron 2 ensayos a campo, ubicándose uno próximo a la localidad de Doblas y otro próximo a la localidad de Trebolares, ambas ubicadas al este de la provincia de la Pampa, distantes a 211 km. Los lotes donde se practicaron tales ensayos, tenían marcadas diferencias topográficas, originando ambientes distintos (loma y bajo). Se sembró un cultivo de maíz con dos densidades distintas (D1=densidad baja: 60.000 sem. /ha; D2=densidad alta: 85.000 sem. /ha) y fertilización distinta (F1=sin fertilizar: 0kg/ha de N y F2=fertilización alta con 120 kg/ha de N en forma líquida, producto comercial Solmix, tio-sulfato de amonio con 32% de N). Se tomaron muestras en tres fechas a lo largo del cultivo y se midieron contenidos de humedad y nitratos en varios puntos de muestreo en las dos transectas formadas por los ambientes bajo y loma. No hubo diferencias significativas de rendimiento entre tratamientos y transectas. Hubo diferencias significativas en los contenidos de agua útil para las transectas, siempre con mayores valores en el bajo. No hubo diferencias significativas en los contenidos de NO_3^- entre tratamientos fertilizados y no fertilizados. Tampoco se registraron diferencias significativas en contenidos de NO_3^- entre transectas para los tratamientos. Las condiciones de muy bajas precipitaciones para ambos sitios y la ocurrencia de granizo en Doblas posiblemente fueron las causantes de la falta de respuesta a los tratamientos experimentales. Sin embargo, se observó que las condiciones agro-climáticas y edáficas del sitio Doblas fueron muy poco favorables, y que las posibilidades de obtener aumentos de productividad en estas condiciones serían muy bajas.

Palabras claves: nitratos, disponibilidad de agua, rendimiento.

Introducción

En la mayor parte de la Región Semiárida Pampeana, se comprueba que las precipitaciones durante el ciclo de los cultivos no cubren los requerimientos de uso consuntivo de los mismos. En estas condiciones, la capacidad de retención de agua (CRA) y los contenidos de agua útil (AU) a la siembra poseen una significativa influencia en la productividad (Quiroga et al. 2012). Por esto, es necesario realizar un buen manejo de agua contemplando su captación, almacenamiento y eficiencia de uso por parte del cultivo.

El cultivo de maíz se desarrolla en la región semiárida pampeana en la época primavera-estival. En meses de verano (diciembre, enero, febrero), se producen déficit hídricos debido a las altas temperaturas y las mínimas precipitaciones que se registran. Este estrés hídrico repercute en el cultivo, ya que coincide con la época de floración del mismo, afectando así, los procesos de generación y definición del rendimiento.

Los procesos de déficit se pueden atenuar realizando una adecuada Eficiencia en la Utilización de Agua (EUA), tanto en el barbecho como durante el ciclo del cultivo. La captación y almacenamiento de agua en el barbecho, afectan el crecimiento en los primeros estadios del cultivo de maíz, pudiendo asegurar la disponibilidad de agua en el periodo crítico. Así también, la longitud del barbecho está directamente correlacionado con el rendimiento del cultivo de maíz, asociado a un incremento en el nivel de nitratos (NO_3^-) y contenido de agua a la siembra en el suelo (Micucchi y Alvarez, 2004).

Otro factor preponderante en el cultivo de maíz es la disponibilidad de los nutrientes. Uno de gran trascendencia es el nitrógeno (N). Este es un macro nutriente que llega a las raíces de la planta a través de un proceso denominado “flujo masal”, o transporte en la solución del suelo siguiendo un gradiente hídrico (el N es llevado por el flujo transpiratorio de la planta). A mayor contenido de agua en el suelo, concentración de nutriente en la solución, tasa transpiratoria de la planta y temperatura del suelo y aire, mayor será la absorción de N por la planta (Uhart y Echeverria, 2000).

Una buena fuente de nitrógeno para las plantas es la materia orgánica (MO), a partir de la cual se generan formas asimilables para el cultivo como nitrato (NO_3^-) y amonio (NH_4^+), siendo el primero el de mayor predominancia en los suelos de esta región.

La relación entre el N acumulado en pre y post floración permite estimar la importancia de la removilización del nitrógeno durante el llenado de granos. El nitrógeno es acumulado en partes vegetativas hasta 10-15 días posteriores a la floración para luego ser removilizados hacia los granos.

La incidencia de la disponibilidad del N sobre el rendimiento en grano puede ser analizada a través de sus componentes ecofisiológicos: eficiencia de intercepción de la radiación incidente, eficiencia de conversión de la radiación incidente en materia seca y eficiencia de la partición de la materia seca producida hacia los granos cosechables (Uhart y Echeverría, 2000).

El N es el nutriente más comúnmente deficiente para la producción de maíz.

Las deficiencias de nitrógeno pueden reducir la Tasa de Crecimiento Continuo (TCC) durante el periodo comprendido entre 15 días prefloración y 15 días postfloración, lapso durante el cual se determina el número de granos/m². También así, se ve afectado el peso de los granos.

Por esto, en función de las demandas nutricionales para rendimientos máximos y de la oferta edáfica de la región, el maíz no cubre sus requerimientos de N (Bono y Romano, 2007).

Para incrementar la oferta de este nutriente en el suelo se requieren de técnicas como la fertilización.

En el caso de la fertilización nitrogenada, se busca obtener el máximo ingreso por la aplicación de fertilizante, por lo que aplicaciones excesivas de este nutriente no son deseables desde el punto de vista económico y ambiental. Por lo tanto, estas prácticas deben adecuarse a las necesidades del cultivo en cada sistema en que se desarrolla. Para ajustar la dosis correcta debemos generar un método de balance de nitrógeno, ya que nos permite establecer umbrales y discriminar entre sitios con distintas probabilidades de respuesta a esta práctica (Barraco y Díaz Zorita, 2005). Estos métodos de diagnóstico para la fertilización nitrogenada, predicen la probabilidad de respuesta a partir de la disponibilidad de N en el suelo y/o en planta, y el requerimiento previsto para un determinado nivel de rendimiento (García y Daverede, 2008).

La fertilización nitrogenada en maíz se realiza a la siembra, al estado de 6-8 hojas o en algunos casos partiendo la dosis entre estos dos momentos (Bono y Romano, 2007). Si bien la determinación del contenido de nitratos en el suelo al momento de la siembra es utilizado frecuentemente como método de diagnóstico en la Región Pampeana, resulta de poca utilidad en condiciones de altas pérdidas de nitrógeno por lixiviación o en abundantes aportes por mineralización. La determinación de nitratos en estadios de V6 es uno de los métodos de diagnósticos más utilizados, porque no solo representa la oferta de N mineral presente a la siembra del cultivo, sino también los aportes por mineralización y pérdidas de este nutriente durante las primeras etapas del cultivo (Barraco y Díaz Zorita, 2005).

Otro factor relevante para el cultivo de maíz, es la densidad de siembra. La elección de la densidad de plantas es clave para optimizar la productividad de los sistemas agrícolas, en especial cuando la disponibilidad hídrica es escasa para un buen desarrollo de los cultivos.

La densidad óptima para lograr máximos rendimientos es la mínima densidad que permite lograr coberturas adecuadas para interceptar el máximo de radiación incidente durante los periodos críticos en que se determina el rendimiento y que posibilita maximizar la partición de la materia seca hacia estructuras reproductivas durante dichos momentos (Andrade y Sadras, 2000). Esta densidad depende de condiciones como: disponibilidad hídrica en el suelo, fecha de siembra y de las particularidades fisiológicas de la especie o genotipo.

En maíz, se pueden identificar 3 situaciones de distinta oferta de recursos donde la densidad óptima es diferente. En condiciones de buena oferta ambiental, la densidad óptima es cercana a 80.000 PL/Ha y disminuciones en la densidad provocan mermas de rendimiento. En situaciones de oferta media, densidades entre 55.000 y 80.000 PL/Ha no producen cambios significativos en el rendimiento, mientras que en situaciones de baja oferta ambiental generadas por déficit hídrico, el incremento de densidad por encima de 50.000 PL/Ha provoca una disminución en el rendimiento (Andrade et al. 1996). Por esto, densidades superiores a la óptima producen una disminución acentuada del rendimiento por gran cantidad de individuos que sufren abortos de granos y de espigas. En cambio, densidades inferiores a la óptima explican bajos rendimientos por su escasa plasticidad vegetativa y reproductiva.

En ambientes sin restricciones de agua y nitrógeno, los mayores rendimientos de maíz se obtienen con altas densidades, logrando una buena cobertura y un alto número de granos fijados. Por otra parte, en ambientes de recursos limitantes, la tasa de crecimiento de la planta en floración es baja, lo cual produce que una alta proporción de individuos dentro del cultivo sufra aborto de espigas y de granos, afectando el rendimiento. Este inconveniente se puede resolver, usando una menor densidad de plantas que aumente la disponibilidad de recursos por individuo y por lo tanto, el número de granos fijados.

Además, una práctica que permite manipular las variables preponderantes en el rendimiento de maíz mencionadas anteriormente dentro de un lote, es el uso de la agricultura por ambientes. Para ello, es necesario tener en cuenta el concepto de sitio específico: "Adecuación de la aplicación de recursos y de prácticas agronómicas a los requerimientos de suelo y cultivos tal como éstos varían en el espacio y en el tiempo dentro de un potrero" (Whelan y Mc Bratney, 2000).

Este tipo de agricultura, constituye un conjunto de innovaciones que requiere adecuar los criterios de cada área georeferenciada dentro de un mismo lote. El manejo de esta tecnología permite expresar el potencial genético de un cultivo en un determinado ambiente, en regiones donde la calidad de las tierras es altamente variable en escalas espaciales a nivel de potrero, y en las cuales las condiciones agroecológicas imponen diferentes grados de limitaciones para la producción de cultivos. Es por este motivo que el manejo sitio-específico resulta en mayores

beneficios tanto económicos como ambientales en regiones marginales, tales como la región subhúmeda y semiárida pampeana (Alvarez, et al. 2011).

En este tipo de regiones es importante efectuar un barbecho previo a la siembra del cultivo, ya que el 64% de las precipitaciones tienen lugar durante la etapa del cultivo y el 36% restante durante el barbecho (Fernández et al., 2008).

Por último, una práctica que se realiza para evitar las altas pérdidas de agua en el barbecho es el cultivo de cobertura (CC). Esta práctica consiste en sembrar un cultivo con el fin de generar cobertura entre dos cultivos de cosecha y favorecer los balances de carbono en los sistemas agrícolas. Además tienen un efecto positivo sobre la eficiencia de uso de agua (EUA) de los sistemas de producción, sobre todo en regiones donde ocurren precipitaciones durante el barbecho invernal y éstas en su mayoría no son utilizadas por los cultivos de verano, debido a que el agua del suelo se pierde por evaporación (Fernández et al., 2008)

Los efectos que tienen los cultivos de cobertura (CC) son los de proveer cobertura al suelo, disminuir pérdidas por evaporación, acumular N y P en su biomasa y favorecer la acumulación de agua útil y el rendimiento de los cultivos de verano. Por este motivo, se podría suponer que la práctica de los CC aumente la disponibilidad de agua para el cultivo siguiente (Fernández et al., 2012).

El objetivo del presente trabajo es evaluar el efecto de las diferentes densidades de siembra sobre la respuesta del cultivo a la fertilización nitrogenada, y como ésta es afectada por las características del suelo y la disponibilidad hídrica en los distintos ambientes (loma y bajo).

Materiales y métodos

Los ensayos estuvieron ubicados en 2 sitios. El primero se encuentra próximo a la localidad de Trebolares (noreste de la provincia de La Pampa, Departamento Marcó), entre las isohietas 800-850 mm anuales. El establecimiento rural se llama “El May-Ju” (Figura 1).

La subzona agroecológica donde se ubica este predio rural se denomina “planicie medanosa pampeana”. Las geoformas son ondulaciones arenosas con sentido N-S y medanos aislados. Intercaladas entre ondulaciones existen planicies arenosas de aproximadamente 3 a 4 km de ancho. Hay frecuentes áreas deprimidas con lagunas temporarias. El sedimento arenoso de presencia variable, es de textura franco arenosa fina. A partir de 1,1 m de profundidad, contiene un 2% de carbonato de calcio en concreciones y en masa. El perfil dominante es: A-AC-C y la tosca se encuentra por debajo de los 2 metros. El suelo superficial (capa arable), posee buen contenido de materia orgánica que en algunos casos supera el 2% y se encuentra bien estructurado. Presenta drenaje algo excesivo, permeabilidad rápida, escurrimiento casi nulo y capa freática profunda (Lorda, et al., 2008).



Figura 1: Ubicación del sitio experimental “El May Ju”, Trebolares, La Pampa. Latitud Sur: 35°34’, Longitud Oeste: 63°30’.

El segundo predio rural en el cual se entabló el otro ensayo, se llama “Flor de Liz” (Figura 2), ubicado próximo a la localidad de Doblas (centro este de la Provincia de La Pampa, Departamento Atreuco), entre las isohietas 700-800 mm anuales. Este predio se localiza en la Subzona agroecológica II C “planicie con tosca medianosa”, caracterizada por suelos con gran heterogeneidad y evolución. Los grandes grupos de suelos predominantes en el área a nivel de Orden, son los Molisoles y los Entisoles. Estos suelos de baja evolución son de pocos horizontes (generalmente A-AC-C-Tosca), con bajos de niveles de materia orgánica, bajo índice de lavado de bases, poco contenido de arcillas desarrolladas “in situ”. Los suelos evolucionaron sobre una capa de carbonato de calcio bien consolidada (tosca), limitando la profundidad de los mismos. A veces la tosca puede aflorar impidiendo el normal desarrollo de cultivos. Son de textura franco arenosa muy fina con 16% de arcilla y hasta un 32% de limo. Poseen baja capacidad de retención de humedad y en épocas de sequía prolongada son muy susceptibles a la erosión eólica. La fertilidad se halla empobrecida, tanto desde el punto de vista físico como el químico. Los nutrientes críticos son el nitrógeno y fósforo (Lorda, et al., 2008).



Figura 2: Ubicación del sitio experimental “Flor de Liz”, Doblas, La Pampa. Latitud Sur: 37°13’, Longitud Oeste: 64°01’.

En los establecimientos se ubicaron los ensayos donde existe una marcada diferencia de relieve, existiendo una loma (L), de textura más arenosa, con capa freática profunda y un bajo (B) de textura más fina, con capa freática cercana a la superficie. Luego se sembró un cultivo de maíz con los siguientes tratamientos, contemplando 3 factores en el diseño del ensayo:

1. Ambiente: L=loma; B=bajo.
2. Densidad de siembra: D1=densidad baja (60.000 sem. /ha); D2=densidad alta (85.000 sem. /ha).
3. Fertilización: F1=sin fertilizar (0kg/ha de N); F2=fertilización alta (120 kg/ha de N en forma líquida (producto comercial Solmix (tio-sulfato de amonio), 32% de N).

La fecha de siembra del cultivo de maíz alrededor del 9 de diciembre de 2010 en ambos sitios. En cuanto al diseño experimental, se utilizó un diseño en franjas apareadas con cuatro repeticiones, con las parcelas divididas por el factor ambiente. El ancho de la parcela estuvo determinado por el ancho de labor de la sembradora disponible y el largo de las mismas posee un mínimo de 100 metros, logrando atravesar las diferencias topográficas. En cada transecta del sitio Trebolares, se dividió la superficie en dos. La mitad de cada parcela se sembró con un cultivo de cobertura, mientras que en la otra mitad se realizó un barbecho químico. El cultivo de cobertura consistió en un cultivo de centeno que fue sembrado en las primeras semanas de Mayo y se deseco con una aplicación de glifosato en Septiembre.

D ₂	D ₂	D ₁	D ₁	D ₂	D ₂	D ₁	D ₁	D ₁	D ₂	D ₁	D ₂	D ₂	D ₁	D ₁	D ₂
F ₂	F ₁	F ₁	F ₂	F ₂	F ₁	F ₁	F ₂	F ₂	F ₂	F ₁	F ₁	F ₁	F ₁	F ₂	F ₂
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
						Transecta 1 (loma)									
						Transecta 2 (bajo)									

N→

Figura 3: Diseño del ensayo experimental.

En este diseño, los tratamientos fueron D 1: 60000 sem/Ha y D 2: 85000 sem/Ha. F1: Sin Fertilizante; F2: 120kg/ha aplicado en V6 del cultivo de maíz. Cada número corresponde a los puntos de muestreo en cada transecta.

En el sitio de Trebolares se realizó una caracterización de los suelos con el fin de poder describir su perfil.

Tabla 1: Caracterización de los perfiles de suelo en Loma y Bajo en el sitio Trebolares. (Datos extraídos de Bagnato y Forestello, 2011).

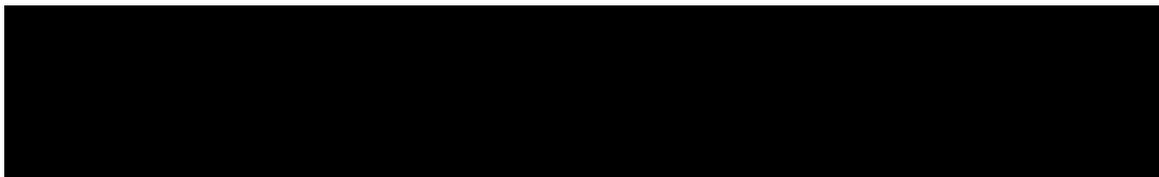
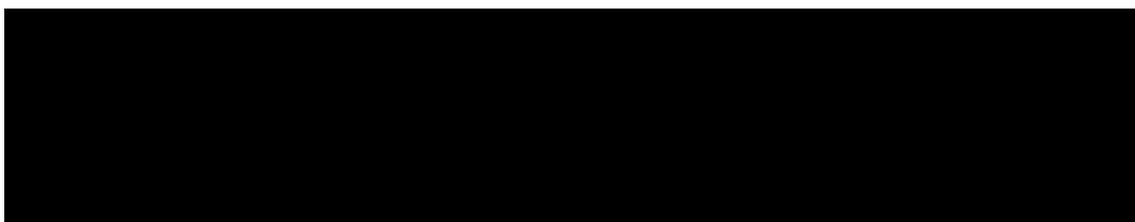


Tabla 2: Caracterización de los perfiles de suelo en Loma y Bajo en el sitio Doblas. (Datos extraídos de Echeagaray y Vazquez, 2011).



Durante el ciclo del cultivo se realizaron muestreos de suelo para determinar las siguientes variables:

1. Contenido hídrico gravimétrico a intervalos de 20 cm de profundidad, hasta 1.20 m.
2. Contenido de nitratos a intervalos de 20 cm de profundidad, hasta 1.20 m.
Determinación por extracción con agua destilada y sulfato de calcio, valoración colorimétrica (Cataldo et al. ,1975).

Los muestreos se realizaron en tres oportunidades a lo largo del ciclo fenológico del cultivo. Los valores del contenido hídrico (%Humedad), fueron convertidos a mm de agua útil, considerando la profundidad de muestreo y la densidad aparente para cada situación de muestreo, descontando el valor del Punto de Marchitez Permanente.

El rendimiento del cultivo se determinó obteniendo el rendimiento de granos del cultivo a madurez fisiológica. Se cortaron 2 surcos de plantas enteras y 1.90 m lineales, con 3 repeticiones por parcela. La trilla se realizó con máquina estacionaria luego del secado del material en estufa a 60°C hasta peso constante.

El análisis estadístico de las variables agua útil, contenido de nitratos y rendimiento fueron analizados por ANOVA con el software Info/Stat (Di Rienzo et al., 2009). Las medias de los resultados obtenidos fueron comparadas mediante un test LSD Fischer con $\alpha=0.05$, considerando como variables principales ambiente, densidad del cultivo, fertilización y disponibilidad hídrica.

Resultados y Discusión

1. Trebolares:

Tabla 3: Rendimiento de Maíz en Trebolares con y sin cultivo de cobertura

Ambiente	promedio	Rendimiento (Kg ha ⁻¹)	
		Con cultivo de cobertura	Sin cultivo de cobertura
Loma	5755a	4773b	6756a
Bajo	6208a	6015a	6400a

No se observaron diferencias significativas entre las transectas loma y bajo con respecto a l rendimiento del cultivo de maíz (Tabla 3). Pero los resultados indicarían que existió interacción entre los efectos del cultivo de cobertura y la posición altimétrica en el potrero. En los puntos de muestreo donde se realizó un cultivo de cobertura, existió una diferencia significativa en los rendimientos entre ambas transectas, siendo el bajo el lugar donde mayor rendimiento se produjo. En la transecta Bajo fue indistinto realizar cultivos de cobertura. Este fenómeno probablemente se deba a mayor acumulación de agua en el perfil del bajo por poseer una textura mas fina, capaz de retener más agua. En cambio, en la loma fue contraproducente esta práctica ya que en las parcelas con cultivo de cobertura tuvieron menor rendimiento que las que tuvieron antecesor barbecho. Esto se explicaría por la mayor disponibilidad hídrica en las parcelas sin cultivo de cobertura, y el uso consuntivo que representan éstos. Esto, sumado a las bajas precipitaciones ocurridas en el ciclo del cultivo de maíz, puede explicar estas diferencias en rendimiento.

Analizando los valores de precipitaciones de la campaña 2010/11, se puede constatar que las precipitaciones fueron bajas para el ciclo del cultivo (Tabla 4) comparando con los datos históricos mensuales (1921-2009). Esto originó rendimientos más bajos de lo que potencialmente puede rendir el cultivo de maíz en el área.

Tabla 4: Precipitaciones mensuales de la localidad de Trebolares años 2010/2011 e históricas.
Fuente: Administración Provincial de Agua, Provincia de La Pampa.

	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	TOTAL
mm/mes 2010- 2011	0	42	58	10	15	75	15	67	282
mm/mes 1921- 2009	21	44,2	81	84,9	91,6	86,1	81,9	112,4	603,1

Analizando los valores de agua útil, se constató que hubo una diferencia significativa entre el agua útil promedio, siendo mayor la cantidad de la misma acumulada en la transecta bajo. Se percibió un mismo resultado para la misma transecta con y sin cultivo de cobertura (Tabla 5). Este fenómeno, es producto del escurrimiento de agua hacia el bajo, siguiendo el desnivel topográfico, generando así mayor acumulación. Se observaron menores contenidos hídricos de los suelos con cultivos de cobertura.

Tabla 5: Agua útil (%) hasta 1,2 m de profundidad en floración en el cultivo de maíz en Trebolares.

Ambiente	Agua útil (%)		
	promedio	Con cultivo de cobertura	Sin Cultivo de cobertura
Loma	39,9b	38,62b	40,16b
Bajo	61,8a	57,71 ^a	65,94a

Se observó en la transecta loma que el contenido hídrico fue mayor en la profundidad 0-20 cm., disminuyendo con el aumento de profundidad (Fig. 4). Esto se reflejaría el efecto de la textura arenosa que caracteriza el suelo de la loma, y lo cual generó mayor cantidad de macroporos, que permitieron mayor drenaje profundo.

En el caso del bajo, el agua acumulada fue mucho mayor que en la loma, siendo la profundidad de mayor acumulación de agua útil, de 0-20 cm (Fig. 4). Si observamos, no tuvo la misma dinámica de disminución de agua con aumento de la profundidad ya que de 70-120 cm fue el nivel medio de agua acumulada. Esto se explica por la textura más fina existente en todo el perfil, lo cual permitió mayor retención de agua. También, un fenómeno que pudo influir en el alto contenido de agua disponible en profundidad, fue la existencia de un nivel freático cercano a la última profundidad de muestreo (cercano al 1,5-2 m. de profundidad).

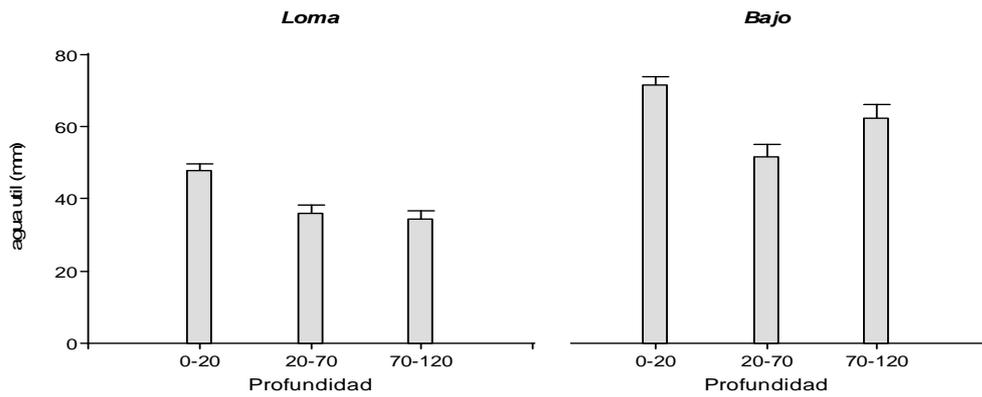


Figura 4: Agua útil a floración en diferentes profundidades del suelo en Loma y Bajo, Trebolares.

En la transecta loma a la profundidad 0-20 cm, se encontraron diferencias significativas en los contenidos de nitratos en el suelo entre tratamientos fertilizado y no fertilizado con valores medios de 76,3 y 27,7 kg ha⁻¹ respectivamente (Tabla 6), mientras que en el bajo no se hallaron diferencias entre tratamientos. Los valores de las dos transectas a mayores profundidades no reflejaron el efecto del tratamiento ya que no se hallaron diferencias significativas entre fertilizado y control.

Tabla 6: N de nitratos Trebolares 15/03 en madurez fisiológica

Profundidad (cm)	N de nitratos (kg.ha ⁻¹)			
	Loma		Bajo	
	Fertilizado	Sin fertilizar	Fertilizado	Sin fertilizar
0-20	76,3a	27,7b	52,4a	32,1a
20-70	52,9a	64,3a	32,7a	30,2a
70-120	43,4a	34,6a	40,1a	47,5a

No se hallaron diferencias significativas en rendimientos entre tratamientos fertilizados y no fertilizados y entre transectas (Tabla 7). Tampoco hubo diferencias significativas en rendimientos con la práctica de cultivos de cobertura. No se encontraron diferencias significativas en rendimientos con distintas densidades de siembra, aún entre transectas y prácticas de cultivos de cobertura.

Tabla 7: Rendimiento de maíz en función de la densidad de plantas y la fertilización nitrogenada.

	Rendimiento (Kg ha ⁻¹)			
	Con Cultivos de Cobertura		Sin Cultivos de Cobertura	
	Loma	Bajo	Loma	Bajo
Fertilizado	4987a	6300a	6237a	6800a
Sin fertilizar	4519a	5731a	7275a	6000a
D 1	5094a	5614a	6750a	6328a
D 2	4412a	6328a	6762a	6455a

En el sitio experimental “El May Ju” de Trebolares, no se encontraron diferencias significativas en rendimientos promedio de maíz entre transectas. En las parcelas donde se realizaron cultivos de cobertura, hubo diferencias significativas en rendimientos entre transectas, siendo el bajo el lugar donde mayores resultados se obtuvieron. En aquellos lugares donde no se realizó la práctica de cultivos de cobertura, no se hallaron diferencias significativas entre los rendimientos obtenidos en ambas posiciones topográficas. Comparando la posición loma y bajo, hubo diferencias significativas entre los contenidos de agua útil, siendo éstos mayores en la transecta bajo. Existió un mismo comportamiento en cuanto al contenido de agua útil promedio, con o sin cultivos de cobertura como antecesores.

De acuerdo a las distintas profundidades de muestreo, en la transecta loma hubo mayor contenido hídrico en profundidades de 0-20 cm., disminuyendo a medida que aumenta la profundidad. En la transecta bajo, existió mayor acumulación de agua de 0-20 cm. También, en la profundidad de 70-120 cm., se encontró un alto contenido hídrico, probablemente por efecto del nivel freático.

No hubo diferencias significativas en los contenidos de NO_3^- entre tratamientos fertilizados y no fertilizados. Tampoco existieron diferencias significativas en contenidos de NO_3^- entre transectas para los tratamientos. Se registró un solo valor diferente en la loma sin fertilizar, con menor contenido de NO_3^- en la profundidad de 0-20 cm.

2. Doblas:

En la localidad de Doblas y durante la campaña 2010/11 las lluvias fueron escasas en los meses de siembra, así como también en el periodo alrededor de la floración en donde el cultivo requiere aproximadamente 6 mm diarios de agua (Figura 5). Esto trajo su efecto, ya que el cultivo sufrió estrés hídrico en el momento crítico. Las precipitaciones altas de Enero, no alcanzaron para compensar el bajo rendimiento producto del estrés sufrido en dicho estado fenológico.

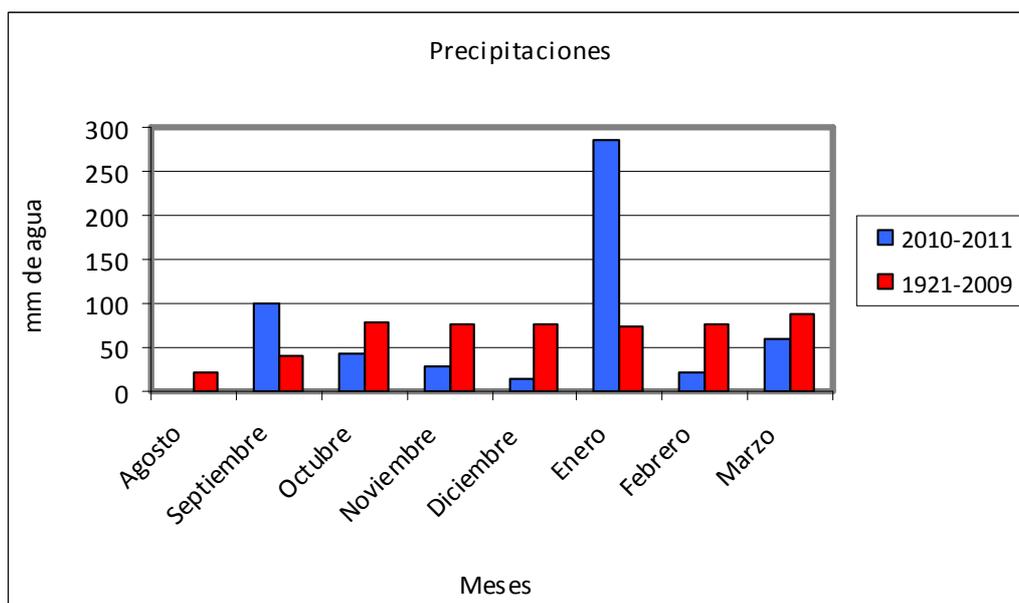


Figura 5: Precipitaciones mensuales de la localidad de Doblas años 2010/2011 e históricas. Fuente: Administración Provincial de Agua, Provincia de La Pampa.

Como se puede observar, existieron diferencias significativas en el contenido de agua en el suelo entre las dos transectas (Tabla 8). Esto se explicaría por el fenómeno de escurrimiento del agua hacia el bajo por el desnivel topográfico.

Tabla 8: Agua útil (%) hasta 1,2 m de profundidad en floración en el cultivo de maíz en Doblas.

Ambiente	Agua útil (%) Promedio
Loma	33,6b
Bajo	39,0a

Se observó mayor rendimiento en el ambiente de Loma (Tabla 9), contrario a lo esperado, aun habiendo mayor disponibilidad hídrica en el Bajo (Tabla 8). Esto se podría explicar por la ocurrencia de un fenómeno de granizo que fue impactante para el cultivo, ya que se perdieron plantas y espigas.

Tabla 9: Rendimiento de Maíz en Doblas.

Ambiente	Rendimiento (Kg ha ⁻¹) Promedio
Loma	2941a
Bajo	1841b

No se pudieron constatar diferencias significativas de rendimientos en tratamientos fertilizados y sin fertilizar (Tabla 10). Esto fue así porque el fenómeno de granizo se produjo en Enero, poco después de haber sido fertilizado el cultivo y no logró ser captado el nitrógeno por muchas plantas, ya que se perdieron, aun en proceso de formación de la espiga. El menor stand de plantas resultante, generó el rendimiento final.

Tabla 10: Rendimiento de Maíz en Doblas en función de la fertilización nitrogenada

	Rendimiento (Kg ha ⁻¹) Promedio
Fertilizado	2533a
Sin fertilizar	2250a

En el sitio experimental, “Flor de Liz”, ubicado en Doblas, se encontraron diferencias significativas entre el porcentaje de agua útil entre las dos transectas, siendo éste mayor en el bajo. Hubo diferencias significativas entre rindes promedio entre transectas, siendo mayor en

la loma. No se hallaron diferencias significativas entre rendimientos promedio entre tratamientos fertilizados y sin fertilizar.

Por último, comparando ambos sitios experimentales, existieron algunas diferencias en cuanto a las características edáficas que luego se vieron reflejadas en los resultados de producción. Comparando la textura de ambos suelos, se observó un predominio de la fracción arena, dado que los sitios forman parte del oeste arenoso pampeano, pero el sitio experimental de Trebolares posee mayor porcentaje de limo+arcilla. Esto generó mayor retención de agua para los cultivos y además, considerando que posee mayores contenidos de MO, resulta en una mayor fertilidad potencial y actual. También, entre los sitios existe una diferencia en cuanto a su régimen pluviométrico. Doblas está ubicado entre las isohietas 700-800 mm anuales mientras que el sitio de Trebolares en las isohietas 800-850 mm anuales.

Por todo esto, el sitio Trebolares posee mayor potencial productivo que el sitio de Doblas y ello se vio reflejado no sólo en los rendimientos, sino también en rendimientos en función del agua útil acumulada. A floración los contenidos de agua útil para Doblas fueron 33,6 y 39,0 % en Loma y Bajo respectivamente, y los rendimientos correspondientes fueron 2941 y 1841 kg/ha. En cambio, los valores para Trebolares fueron 39,9 y 61,8 % de agua útil y 5755 y 6208 kg/ha para Loma y Bajo respectivamente. Esto evidencia que con contenidos hídricos similares en la posición loma de ambos sitios, se lograron rendimientos muy diferentes, el sitio Trebolares casi duplicando el rendimiento de Doblas.

Esto sería un indicio de que no en todos los lotes en que haya diferencias topográficas, la agricultura por ambiente es una herramienta útil para aumentar la productividad de un sistema agrícola. El régimen pluviométrico y la textura del suelo pueden imponer restricciones severas de modo que la posibilidad de obtener mayores rendimientos a través del manejo sitio específico estaría muy limitada.

Conclusiones

Los datos obtenidos en la campaña 2010-2011 en las localidades de Trebolares y Doblas no permitieron afirmar que el rendimiento del cultivo de maíz respondió a la fertilización nitrogenada ni a la variación de la densidad de plantas. Este hecho se podría atribuir en el caso de Doblas a la incidencia de un fenómeno meteorológico de granizo, el cual dejó al cultivo dañado en gran proporción y llevó a que los resultados entre distintos tratamientos y en distintos ambientes no difieran. En Trebolares, se puede atribuir a las escasas precipitaciones

percibidas por el cultivo durante su ciclo fenológico, lo cual tuvo incidencia directa en los rendimientos.

Agradecimientos

Agradecemos a la Ing. Agr. Elke J. Noellemeyer por dirigirnos en nuestro Trabajo Final de Graduación, así como también la colaboración del Ing. Agr. Sergio Abascal, Ing. Agr. Ramiro Bagnato y la Ing. Agr. Ileana Frasier.

Bibliografía

- Administración Provincial de Agua, Provincia de La Pampa. www.lapampa.gov.ar consultado por última vez el septiembre de 2013.
- Álvarez, C.; A. Quiroga; A. Corro Molas; C. Lienhard, 2011. Manejo sitio específico para el cultivo de soja en la región semiárida Pampeana. V Congreso de Soja Mercosoja 2011. Actas.
- Andrade F.H., y Sadras V.O., 2000a. Efectos de la sequía sobre el crecimiento y rendimiento de los cultivos. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. (Eds) F.H. Andrade y V.O. Sadras. EEA-INTA Balcarce, Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. pp. 173-206.
- Andrade F.H., y Sadras V.O., 2000b. Densidad de plantas y espaciamiento entre hileras. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. (Eds) F.H. Andrade y V.O. Sadras. EEA-INTA Balcarce, Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. pp. 97-133.
- Andrade, F.; Cirilo, A.; Uhart, S.; Otegui, M., 1996. Densidad de plantas. En: Ecofisiología del cultivo de maíz. Editorial La Barrosa-EEA Balcarce, CERBAS, INTA-FCA, UNMP (Eds). Dekalb Press. Buenos Aires. Pp 227-250.
- Bagnato, R., Forestello. 2011. Tesis final de graduación. Relación entre el índice de verdor y nitrógeno disponible en maíz en diferentes ambientes de la región semiárida pampeana.
- Barraco M., Díaz Zorita M. 2005. Momento de fertilización nitrogenada en cultivos de maíz en haplustoles típicos. Ciencia del Suelo, 23, Nº 2, p.197-203. ISSN 1850-2067.

- Bono A., Romano N. 2007. EEA INTA Anguil. Publicación Técnica Nº 71: 60-63pp y 72-83pp. ISSN 0325-2132. Noviembre 2007.
- Cataldo, D.A., M. Haroon, L.E. Schrader y V.L. Youngs. 1975. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 6: 71-80.
- Di Rienzo, J.A., F. Cazanoves, M.G. Balzarini, L. González, M. Tablada, C.W. Robledo. 2009. InfoStat Versión 2009. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Etchegaray, J., Vazquez M. 2011. Tesis final de graduación. Efectos de la humedad edáfica y la disponibilidad de nitratos sobre el rendimiento de maíz en dos ambientes de la Región Semiárida Pampeana.
- Fernández, R., A. Quiroga, E. Noellemeyer. 2012. Cultivos de cobertura, ¿Una alternativa viable para la región semiárida pampeana? *Ciencia del Suelo* 30, 2, 137-150.
- Fernández R., E. Noellemeyer, D Funaro, A. Quiroga, N. Peinemann. 2008. Disponibilidad de agua, nitrógeno y azufre en barbechos con y sin control de malezas en distintos niveles de residuos. *Ciencia del Suelo*. 27: 57-66. ISSN 0326-3169.
- García, F. y Daverede, I. 2008. Diagnóstico para recomendación de fertilización nitrogenada en cultivos de interés agronómico. XI Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. IPNI Cono Sur, www.ipni.net/lasc.
- Lorda H., Roberto Z., Bellini Saibene Y., Sipowicz A., Belmonte M. L. 2008. Descripción de zonas y subzonas agroecológicas RIAP. Área de influencia EEA Anguil. *Boletín de Divulgación Técnica* Nº 96. ISSN 0325-2167. Octubre de 2008.
- Micucchi, F., Alvarez C. 2004. El agua en los sistemas extensivos. Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua. Simposio Nacional sobre o Uso dá Agua na Agricultura, Septiembre. Passo Fundo, Brasil.
- Quiroga A., Fernández R., Azcarate P., Bono A., Gaggioli C. 2012. EEA INTA Anguil. Publicación Técnica Nº 89: 39-54 pp. ISSN 0325-2132. Julio de 2012.
- Uhart, S.; Echeverria, H.E. 2000. Diagnóstico de la fertilización. En: Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. (Eds) F.H. Andrade y V.O. Sadras. EEA-INTA Balcarce, Fac. de Ciencias Agrarias UNMP. pp. 235-268.
- Whelan, B. M., McBratney, A.B. 2000. The null hypothesis of precision agriculture management. *Precisión Agriculture* 2: 265-279.