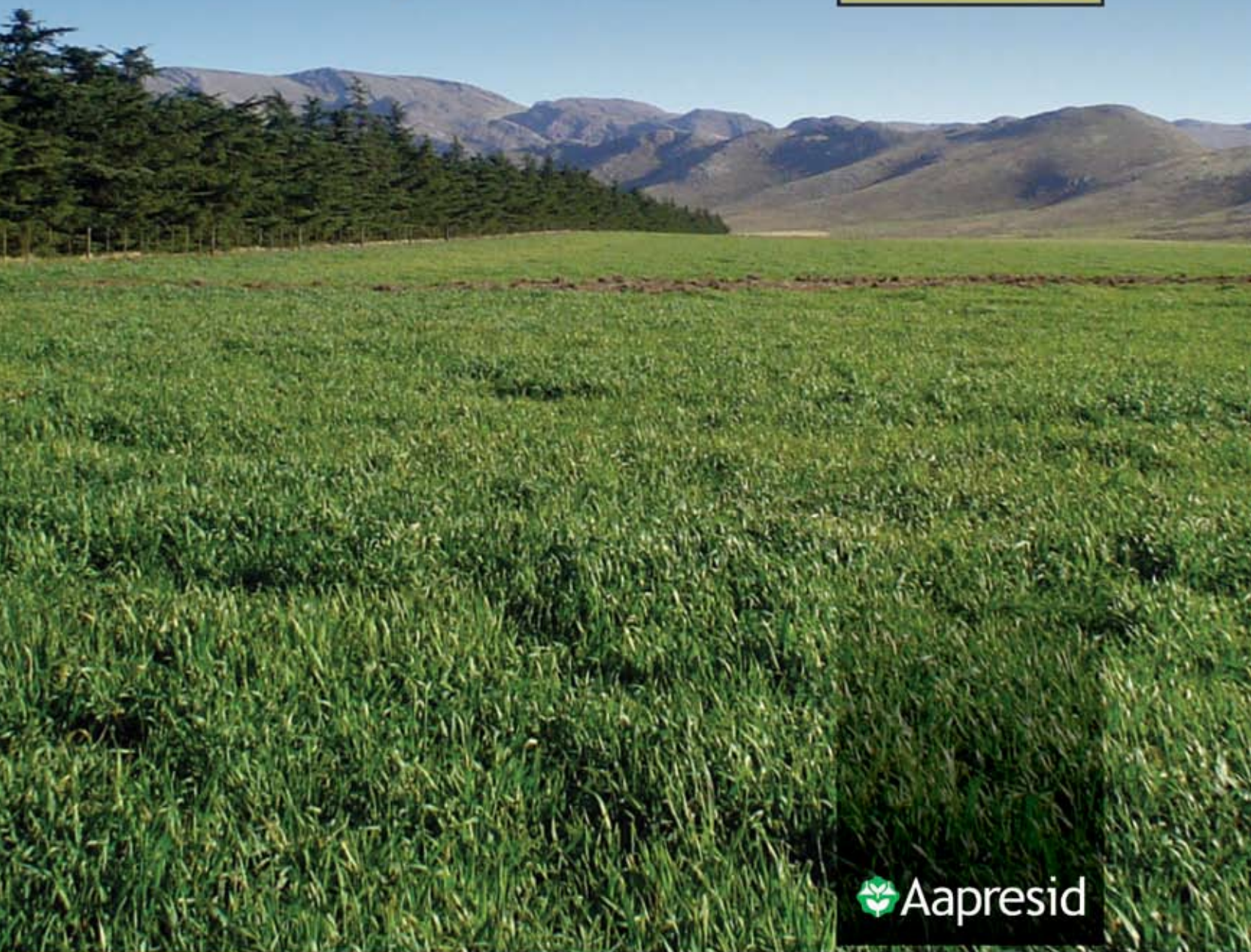



Sistemas Productivos

del Sur y Sudoeste Bonaerense.

en
Sd
octubre 2007



 **Aapresid**

Mosaic



- EL SÚPER FOSFATO SIMPLE DE MAYOR CALIDAD DEL MERCADO.
- EL ÚNICO PRODUCIDO EN ARGENTINA.
- CON TODO EL RESPALDO Y TECNOLOGÍA DE MOSIAC.

FERTILIZANTE

SSP
SUPER FOSFATO SIMPLE

La siembra directa en los sistemas productivos del Sur y Sudoeste Bonaerense

EDITOR RESPONSABLE:
JUAN A. GALANTINI

REVISORES:
MARÍA ROSA LANDRISCINI
LILIANA G. SUÑER
JULIO O. IGLESIAS

Año 2007

ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE PRODUCTORES EN SIEMBRA DIRECTA.
Paraguay 777, Piso 8, Of. 4 (S2000 CV0) Rosario.
Tel/Fax: [0341] 426 0745.
e-mail: aapresid@aapresid.org.ar
www.aapresid.org.ar



Comisión de
Investigaciones Científicas
Gobierno de la Provincia
de Buenos Aires



CERZOS

CONICET
U N S

 **Aapresid**

LOS TRABAJOS PRESENTADOS EN ESTA PUBLICACIÓN REFLEJAN EN SU MAYORÍA LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL PROYECTO “LAS FRACCIONES ORGÁNICAS EN LOS SUELOS BAJO SIEMBRA DIRECTA”. ESTE PROYECTO FUE REALIZADO EN FORMA CONJUNTA CON LOS PRODUCTORES DE LA REGIONAL BAHÍA BLANCA DE AAPRESID. CONTÓ CON LA PARTICIPACIÓN DE INVESTIGADORES (CIC Y CONICET), DOCENTES Y ESTUDIANTES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DEL SUR, EL APOYO DEL CERZOS Y DE EMPRESAS RELACIONADAS CON EL SECTOR.



LAS SIGUIENTES EMPRESAS E
INSTITUCIONES SON SOCIAS DE AAPRESID
Y HACEN POSIBLE SUS ACTIVIDADES:

EMPRESAS:

Agricultores Federados Argentinos
Agrocorredora Cereales S.A
Agrometal S.A.I
Agroservicios Pampeanos S.A
Apache S.A
Asociados Don Mario S.A
Balettrini y Cia S.A
Banco de Inversion y Comercio Exterior S.A (BICE)
BASF Argentina S.A
Bayer S.A
Banco de Galicia y Bs. As. S.A
Bioceres S.A
Buck S.A
Carlos Mainero y Cia. SAICFI
Chemtura Quím. Agr. S.A.C.I
Cinter S.R.L
Compañía Argentina de Semillas S.A
Crinigan S.A Inoculantes
Crompton
Crucianelli S.A
Dow Agrosciences
Fertiva Latinoamericana S.R.L (Compo)
Grimaldi Grassi S.A
Grupo La Redención-Sofro
HSBC Bank Arg. S.A
Ing. John Deere Arg. S.A
Industrias Erca S.A
IPESA
La Segunda Coop. Ltda. Seguros Generales
Laboratorio Biagro S.A
Magan Argentina S.A
Mercobras S.A
Metalfor S.A
Minerales del Recreo S.A
Monsanto Arg. S.A
Mosaic de Argentina S.A
Nidera S.A
Nitragin Arg. S.A
Nitrasoil Arg. S.A
Nufarm S.A
Palaversich y Cia S.A.C (Baremburg)
Palo Verde S.R.L
Pannar RSA PTY Ltd Suc. Arg.
Petrobras Energía S.A (Pasa Fertilizantes)
Pioneer Argentina S.R.L
Pla S.A
Plastar San Luis
Produce S. A
Profertil S.A
Relmó S.A
Rizobacter Argentina S.A
Rhom and Haas Arg. S.R.L (Agrofresh)
San Cristóbal S.M. S.G
Sancor Coop. de Seguros Ltda.
Santander Río S.A
Speedagro S.R.L
Summit Agro Arg. S.A
Sursem S.A
Syngenta Agro S.A
VHB Repuestos Agrícolas S.A
Yara Argentina S.A
YPF S.A (YPF Fertilizantes)

**ASOCIACIONES DE PAÍSES
MIEMBROS DE CAAPAS**

Aapresid (Argentina) - FBPDNP (Brasil)
ANAPO (Bolivia) - FPASIDIAS (Paraguay)
AUSID (Uruguay) - CTCIC (Estados Unidos)

Índice de contenidos

Prologo	8	Efecto de largo plazo sobre el P edáfico	30	Efecto de la aplicación foliar de N	62
“La vida se parece más a los cuentos que a las cuentas”	8	Conclusiones	31	Eficiencia de Uso del N foliar	64
¿Porqué estudiar las fracciones de la materia orgánica del suelo?	9	Bibliografía Consultada	31	Conclusiones	64
				Bibliografía Consultada	65
La Siembra directa y el suelo	10	Rotación de cultivos en SD	32	Momento de fertilización y la dinámica del N:	
Efectos de largo plazo sobre la materia orgánica del suelo	11	Efecto de las rotaciones con leguminosas y la fertilización	33	Un caso de estudio	66
Introducción	11	Introducción	33	Introducción	66
Aspectos metodológicos	12	Aspectos metodológicos	33	Aspectos metodológicos	67
Resultados obtenidos y Discusión	12	Resultados obtenidos y Discusión	33	Sitio de estudio y análisis	67
Calidad y distribución de la MO	12	Conclusiones	35	Calculo de la eficiencia en el uso del Nitrógeno	67
Balance de la MO del suelo	13	Bibliografía Consultada	35	Cálculo del balance de agua	67
La SD y las pérdidas de suelo	14	Contenido y calidad de la materia orgánica particulada del suelo	36	Resultados obtenidos y Discusión	67
Conclusiones	14	Introducción	36	Componentes del rendimiento	69
Bibliografía Consultada	15	Relación con la productividad	36	Contenido de proteína	69
Efectos de largo plazo sobre el espacio poroso del suelo	16	Aspectos metodológicos	37	Contenido de N en planta a cosecha	70
Introducción	16	Resultados obtenidos y Discusión	37	Conclusiones	70
Importancia de la estructura del suelo	16	Conclusiones	39	Bibliografía Consultada	70
Espacio poroso y dinámica del agua	17	Bibliografía Consultada	40	Los herbicidas y el ambiente	72
Aspectos metodológicos	17	Fertilización del trigo en SD	45	Interacción del Metsulfuron	
Resultados obtenidos y Discusión	18	Las fracciones orgánicas como herramienta de diagnóstico	46	- materia orgánica en suelos con siembra directa	73
Conclusiones	19	Introducción	46	Introducción	73
Bibliografía Consultada	19	Aspectos metodológicos	47	Aspectos metodológicos	74
Efectos de corto plazo sobre el espacio poroso en sistemas mixtos	20	Resultados obtenidos y Discusión	47	Resultados obtenidos y Discusión	74
Introducción	20	Conclusiones	48	Conclusiones	75
Aspectos metodológicos	20	Bibliografía Consultada	49	Bibliografía Consultada	76
Resultados obtenidos y Discusión	21	Fertilización con Azufre	50	Calidad panadera del trigo	77
Conclusiones	23	Importancia y funciones del S.	50	Efecto del nitrógeno y del azufre sobre la calidad del trigo SD	78
Bibliografía Consultada	23	Ciclo del Azufre	51	Introducción	78
Cambios en la distribución y orientación de los diferentes tamaños de poros	24	Formas de S en el suelo	51	¿De qué depende la calidad de la harina?	78
Introducción	24	Aspectos metodológicos	51	Propiedades de la harina de trigo.	78
Aspectos metodológicos	24	Resultados obtenidos y Discusión	51	Importancia del Azufre en la calidad panadera.	79
Resultados obtenidos y Discusión	24	Conclusiones	51	Parámetros asociados a la calidad.	79
Bibliografía Consultada	24	Bibliografía Consultada	53	Conclusiones	80
Estratificación de las formas de fósforo en Siembra Directa y su relación con la disponibilidad para los cultivos	28	Balance nutricional y productividad del trigo	59	Bibliografía Consultada	81
Introducción	28	Introducción	59	Parámetros de calidad de muestras comerciales de trigo (2002/3 a 2004/5)	82
Aspectos metodológicos	28	Aspectos metodológicos	60	Introducción	82
		Ubicación y tratamientos	60	Aspectos metodológicos	83
		Resultados obtenidos y Discusión	61	Resultados obtenidos y Discusión	83
		Balance de nutrientes e Índices DRIS	61	Conclusiones	84
		Efecto sobre el rendimiento y la calidad	62	Bibliografía Consultada	84

Prólogo

“LA VIDA SE PARECE MÁS A LOS CUENTOS QUE A LAS CUENTAS”
FERNANDO SAVATER.

Cuando vemos el excelente trabajo que el Dr. Juan Galantini et al. han hecho, no podemos menos que admirarlo, tanto por su exhaustivo y riguroso contenido, como por ver la transformación producida a nuestra inquietud disparadora de los estudios.

Y eso último es el comienzo del cuento. A fines del año 2002, en nuestra última reunión del año en la que programamos las actividades del año próximo, discutimos varias ideas y propuestas. Finalmente nos pusimos de acuerdo en reconocer que en nuestro Semiárido Sudoeste bonaerense, la escasez de agua y la erraticidad de las lluvias que generan frecuentes sequías estacionales, nos obligaba a buscar una agricultura basada más en el conocimiento que en los insumos, ya que sabíamos de los también erráticos retornos adecuados al gasto efectuado, especialmente en fertilizantes.

Generamos entonces una VISIÓN que fue ampliamente COMPARTIDA por todos, fortaleza que a lo largo del tiempo se hizo necesaria para ejercer la tenacidad. Decía un dirigente que los argentinos suelen tener una gran iniciativa pero una mala “terminativa”. Y esto no debía pasarnos.

Todos los años, la Regional hace un “retiro” de dos días en el Hogar Funke, a mitad de año. En julio de 2003, luego de algunas exploraciones de Miembros con hombres de la investigación, nos reunimos con ellos para analizar una propuesta conceptual del Dr. Alberto Quiroga (INTA Anguil). Nos acompañaron entonces los Doctores (UNS) Ramón Rosell, Marcelo Sagardoy y Juan Galantini. La propuesta tuvo como concepto central entender la utilidad de los Indicadores Multivariados de Suelos — con experiencia práctica positiva en el Oeste Bonaerense y La Pampa — especialmente en lo atinente a Materia Orgánica en sus divisiones de particulada y no particulada (Jóven y Vieja también). El objetivo era encontrar en la particulada (Jóven) una herramienta de diagnóstico para apreciar los aportes de nutrientes por mineralización durante el cultivo, la gran incógnita de todo planteo. La relación de este refinamiento en el tratamiento de la MO con Nitrógeno y humedad, sería la información a obtener a través de la investigación.

Terminada la Jornada, todos nos fuimos pensando y para fin de año, aceptamos el plan de trabajo presentado por el Dr. Juan Galantini y manos a la obra!!

El proyecto de 40 lotes anuales (2 o 3 por campo de la Regional), cada uno con sus rotaciones diferentes en suelos ya “establecidos” en SD (nada de transi-

ciones) resultó de una magnitud fenomenal para la extracción de muestras de suelo, plantas y grano, lo que se tradujo en una gran consistencia en los datos y conclusiones extraídas. Ver las curvas sostenidas por nubes de puntos no puede menos que enorgullecernos por la calidad.

A su vez, vivimos con intensidad esa figura del conocimiento representado por círculos, donde a mayor radio mayor conocimiento pero también mayor perímetro que representa la frontera con el desconocimiento, es decir mayor conciencia de ese desconocimiento y causal de nuevas inquietudes.

Pero no solo eso, la dinámica de tanta información nos hizo pensar y sentir, alguna vez, que la “vaca se había vuelto toro”. Mucho es lo aprendido en términos de búsqueda permanente de equilibrio entre nuevas inquietudes (al final superiores a las del comienzo), capacidades de procesamiento y manejo, recursos y tiempos. En síntesis, una gran lección sobre diseño técnico-científico que nos hace formular una pregunta cuya respuesta puede ser de utilidad para quienes quieran seguir un camino similar; ¿Cómo lo haríamos hoy?

En el transcurso de estos años, se ha ido robusteciendo la relación Productores de la Regional — Investigadores UNS, a la manera de un círculo virtuoso que hace que ya antes de la publicación de este trabajo hayamos delineado las nuevas vías de investigación, corolarias del esfuerzo producido y de mutuo interés. Creemos que el capital social de ambas partes, más la homogeneidad de manejo tecnológico — Siembra Directa Establecida — y la cantidad y variedad de situaciones, conforman un Banco de posibilidades extraordinario que estamos convencidos debemos explotar, tanto para el beneficio productivo y crecimiento individual y grupal de ambos actores como para satisfacer ese anhelo de contribución, que tanto bien hacen y tantas nuevas oportunidades ofrece.

Para el final solo nos queda agradecer en primer lugar a Juan Galantini y colaboradores, que han resultado ser una legión y con quienes nos sentimos tan unidos. También especialmente a los notables ajenos que nos han acompañado en esta aventura y algunos de ellos hasta nos han hecho de monitores del proyecto a lo largo de estos años, Dr. Alberto Quiroga, Dr. Ramón Rosell, Dr. Marcelo Sagardoy, Ing. Agr. Agustín Bianchini, Dr. Fernando García, Dr. Rodolfo Gil, Ing. Agr. Mercedes Ron, entre otros.

CARLOS RODRIGUEZ, RICARDO OCHOA, JULIO MAYOL
REGIONAL BAHÍA BLANCA DE AAPRESID

¿Porqué estudiar las fracciones de la materia orgánica del suelo?

La importancia de la materia orgánica ha sido reconocida desde hace mucho tiempo, ya que modifica en forma directa e indirecta muchas de las propiedades del suelo haciéndolo más “fértil”, tanto desde el punto de vista químico y físico como biológico.

La materia orgánica participa activamente en la formación de la estructura del suelo, modificando la distribución del espacio poroso, la actividad de los microorganismos, la resistencia a la compactación, a la erosión eólica o hídrica, así como la dinámica y la retención del agua.

La materia orgánica es determinante de la fertilidad química del suelo, ya que es un elemento clave en el ciclado de los nutrientes, influye sobre las propiedades químicas que modifican la disponibilidad de nutrientes (el pH y las características ácido-base) y favorece la disponibilidad de los micronutrientes. También tiene la capacidad de retener sustancias tóxicas (sean metales pesados o compuestos orgánicos de origen antrópico), modifica el color del suelo cambiando su comportamiento térmico y es una de las reservas más importantes de carbono del planeta por lo que tiene un papel importante en el secuestro del CO₂ atmosférico y en el cambio climático.

Por lo tanto, la materia orgánica es un elemento clave a tener en cuenta para el funcionamiento sustentable de los sistemas productivos.

La materia orgánica del suelo está constituida por una variedad importante de compuestos de complejidad variable en continuo estado de transformación y sin límites definidos. Este material varía desde los residuos animales y vegetales recientemente incorporados hasta la compleja estructura del humus alcanzada luego de siglos. Estos compuestos orgánicos tienen diferentes propiedades, dinámica y funciones en el suelo.

Por ello, es importante estudiar separadamente las diferentes fracciones orgánicas para comprender como funciona el suelo.

La siembra directa es un sistema muy joven en comparación con los miles de años en que el suelo ha sido laboreado. Uno de los cambios más importantes que se produce al suspender las labranzas es una reubicación de la materia orgánica y una disminución de la velocidad de descomposición. Los cambios en el ambiente edáfico ocasionan beneficios en la conservación del suelo, de los nutrientes, en la dinámica del agua, en la biología y la biodiversidad del suelo. Estos efectos favorables pueden ser más o menos importantes, dependiendo de las características del suelo, del clima, del manejo, etc. Evidentemente, la siembra directa tiene algunos aspectos ventajosos respecto a la labranza convencional y otros que pueden ser mejorados con un estudio más detallado y profundo del funcionamiento del sistema.

La siembra directa es un importante paso en la conservación de los recursos naturales pero quedan muchos aspectos a mejorar.

Frecuentemente las regiones marginales para la producción agrícola intensiva (con alta productividad y altos insumos) también lo son para la investigación, los proyectos y los recursos económicos asignados. La forma de optimizar el funcionamiento de estos sistemas productivos es a través del conocimiento. En el año 2002, un inquieto grupo de productores de la Regional Bahía Blanca de AAPRESID se preguntaba ¿Qué está pasando en nuestros suelos con la siembra directa? ¿Cómo podemos generar modelos de manejo adaptados a esta región, en donde predomina la variabilidad y la incertidumbre climática y económica?

Investigadores del CERZOS y del Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur, aceptamos el desafío de generar el conocimiento y contribuir a responder esas inquietudes. Se aunaron esfuerzos entre AAPRESID, CIC, CONICET e INTA, se integraron los estudios químicos y físicos del suelo, cultivos y productividad y se monitoreó la evolución del proyecto mediante reuniones periódicas con productores, profesionales, etc.

Deseamos que los conceptos actualizados que se presentan en esta publicación contribuyan a la interpretación del acontecer diario y promuevan la discusión generadora de nuevas ideas, inquietudes y propuestas. Los frutos del esfuerzo realizado son muchos y no se agotan en estos cinco años de trabajo.

Se debe destacar el esfuerzo realizado por los autores de los trabajos y la valiosa contribución del resto del personal que participó de diferentes maneras: los productores que abrieron generosamente las tranqueras de sus campos y brindaron apoyo e información indispensable, los pasantes que colaboraron en las distintas etapas del trabajo tanto de campo como de laboratorio y las instituciones como el CERZOS, el Dpto. de Agronomía (UNS), AAPRESID, CIC y CONICET que aportaron la infraestructura y el apoyo económico.

Es importante aunar voluntades e ideas en busca de un objetivo común.

La ciencia busca responder preguntas o hipótesis. Una vez verificadas, sea positiva o negativamente, es un paso importante en la senda del conocimiento, el que generará nuevas hipótesis, abriendo un abanico de posibilidades para el futuro.

Pensamos que éste es el camino hacia una agricultura sustentable y trabajar juntos es la forma de recorrerlo.

DR. JUAN ALBERTO GALANTINI



LA SIEMBRA DIRECTA Y EL SUELO

ROTACIÓN DE CULTIVOS EN SD

FERTILIZACIÓN DEL TRIGO EN SD

LOS HERBICIDAS Y EL AMBIENTE

CALIDAD PANADERA DEL TRIGO

Efectos de largo plazo sobre la materia orgánica del suelo.

- JUAN GALANTINI • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) – CERZOS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA.
- JULIO IGLESIAS • DPTO. AGRONOMÍA - UNS.
- CAROLINA MANEIRO • LABORATORIO DE HUMUS (LAHBIS).
- CRISTIAN KLEINE • EA. CERRO NAPOSTA, TORNQUIST (BA).

Introducción

Una característica de los sistemas en siembra directa (SD) es la ausencia de labranzas y una adecuada cantidad de rastrojos en la superficie del suelo. Esto permite controlar la erosión hídrica en tierras con relieve ondulado y la erosión eólica en suelos arenosos de las regiones semiáridas. La acumulación de materia orgánica (MO) en superficie genera una cobertura que mejora las propiedades físicas e hídricas del suelo disminuyendo el impacto de las gotas de lluvia y mejorando el sistema poroso.

Uno de los efectos más marcados de la SD es la redistribución de la MO dentro del perfil. La estratificación de la MO que produce la no remoción del suelo puede utilizarse como indicador de la calidad y el funcionamiento del sistema (Franzlembers, 2002; Galantini et al., 2004a). Numerosos estudios han puesto en evidencia la acumulación superficial del material orgánico y de los nutrientes menos móviles como el fósforo (Krüger, 1996; Galantini, 2001; Venanzi et al., 2002; Galantini et al., 2004a).

El cambio de un sistema con labranzas tradicionales a uno con SD produce una serie de modificaciones en el suelo que pueden ser caracterizadas por distintas etapas llegando a estabilizarse luego de 20 años (Moraes Sa, 2003). La estratificación de la materia orgánica comienza con la suspensión del laboreo y depende de factores naturales (tipo de suelo, condiciones climáticas, etc.) y el manejo (cantidad, calidad y distribución de los residuos de cultivos, aplicación de fertilizantes, rotación, etc.).

En nuestro país, la SD se inició en la década del 70 con una expansión acelerada durante los últimos años de la mano de la soja. Por esto, existen pocos estudios que analicen los efectos de la siembra directa en el sur de la provincia de Buenos Aires, en especial que tengan antigüedad suficiente como para evaluar los efectos de largo plazo. Por ello, es importante analizar en detalle los pocos ejemplos existentes.

Desde el punto de vista agropecuario, la sustentabilidad está relacionada con la capacidad productiva (agronómica y económica) del sistema, así como la preservación de los recursos naturales involucrados (suelo, agua, biodiversidad, etc.). En este sentido, el suelo es el recurso más sensible en los sistemas de producción y su calidad se mide por sus propiedades químicas, físicas y biológicas.

Diversos autores consideran a la MO del suelo como el mejor indicador de la calidad y productividad del sistema (Campbell et al., 1999; Karlen, Cambardella, 1996; Doran, Parkin, 1994). Sin embargo, el simple valor de MO no es en todos los casos un buen síntoma del estado y evolución del sistema. Esto se debe a que algunos factores naturales tienen un efecto mayor sobre los equilibrios de la MO que las prácticas de manejo. La textura y la relación temperatura - disponibilidad hídrica influyen marcadamente sobre el contenido de MO del suelo (Álvarez, Lavado, 1998; Galantini et al., 2002). Por otro lado, es de esperar que la pérdida de MO produzca un efecto que inicialmente es benéfico para la producción de los cultivos, ya que se liberan los nutrientes contenidos en ella. Mientras que los efectos adversos sobre las propiedades físicas del suelo sólo se observan cuando la MO cae por debajo de ciertos umbrales críticos.

Otro aspecto importante, es que no toda la MO del suelo tiene la misma estructura y función. En este sentido, es posible diferenciar dos fracciones con características diferentes: la MO humificada o asociada a la fracción mineral (MOM), que se caracteriza por su mayor grado de transformación, por ser menos dinámica y tener una activa participación en la formación de los complejos órgano-minerales, y la MO joven o particulada (MOP), que es menos transformada y más dinámica, con activa participación en los ciclos de los nutrientes. Tanto la MO como el carbono orgánico (CO), que representa casi la mitad de la MO, son modificados por los sistemas de labranza y tienen consecuencias sobre el desarrollo del cultivo. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de 18 años con diferentes labranzas sobre la cantidad, calidad y distribución de la MO del suelo.

Aspectos metodológicos

El establecimiento Hogar Funke, ubicado en proximidad de la localidad Tornquist (BA), ha mantenido parte de un lote con dos manejos diferentes desde el año 1986. La mayor parte en siembra directa (SD) y una franja con labranza convencional (LC) desde el inicio. Detalles del sitio, manejo, etc. se encuentran publicados por (Kleine, Puricelli, 2001; Galantini et al., 2006). Por las características del sitio, el tiempo transcurrido y los manejos aplicados es un ejemplo interesante para ver los efectos en el largo plazo de las diferentes labranzas sobre algunas propiedades del suelo. Por este motivo, es importante remarcar que las muestras fueron tomadas en el estadio de macollaje del trigo, en un año con escasa precipitación durante el barbecho.

Resultados obtenidos y Discusión

Calidad y distribución de la MO

El contenido de MO del suelo varió en la profundidad 0-20 cm, durante el pe-

riodo 1986-2003 (Figura 1). Esto se debió a diferentes factores que influyeron sobre su dinámica, tales como momento del año (fue diferente según cultivos), densidad aparente (fue cambiando con el tiempo), profundidad efectiva de muestreo (que es dependiente del cultivo anterior y de la humedad del suelo), variabilidad en la cantidad y distribución de los residuos.

El valor promedio en SD fue alrededor de 15% más elevados que en LC, con caídas importantes en algunos años y una tendencia estable a ligeramente negativa en ambos sistemas.

Sin embargo, se observó que la dinámica de la MO fue coincidente con la cantidad de lluvias. En este sentido, al igual que otros trabajos realizados en la región se observó que las lluvias pueden tener un efecto diferente según su magnitud y distribución. Las que se producen durante el ciclo del cultivo anterior, aumentan la productividad y el aporte de materia seca al suelo (aumento de MO), mientras que las que se producen durante el barbecho (Barb en la Figura 1) estimulan la mineralización (disminuyen la MO), y las que se producen

FIGURA 1 | Variación del contenido de materia orgánica en un suelo con 18 años en labranza convencional (LC) y siembra directa (SD). Barb, lluvias durante el periodo de barbecho; Cult, lluvias durante el periodo de cultivo; SD, materia orgánica en siembra directa; LC, materia orgánica en labranza convencional.

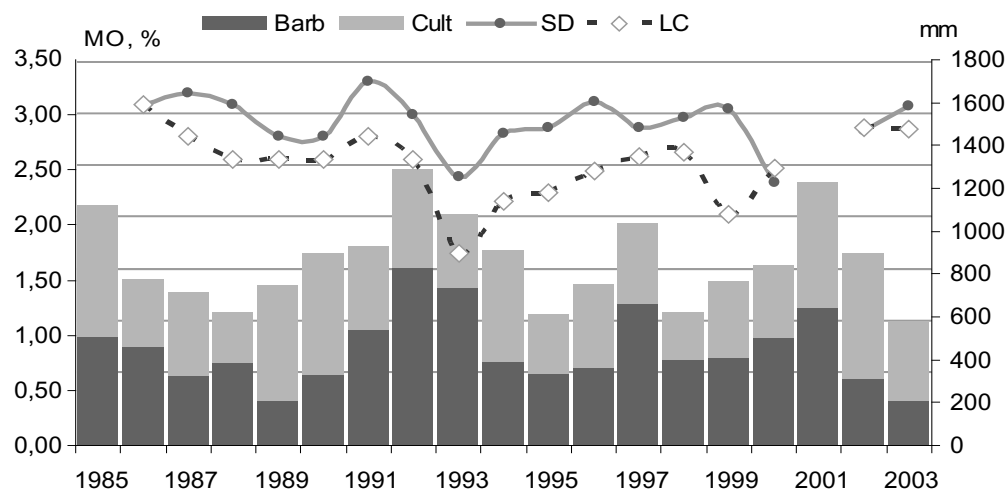


FIGURA 2 | Distribución de la materia orgánica humificada o asociada a la fracción mineral (MOM) y joven o particulada (MOP) luego de 18 años con siembra directa (SD) y labranza convencional (LC).

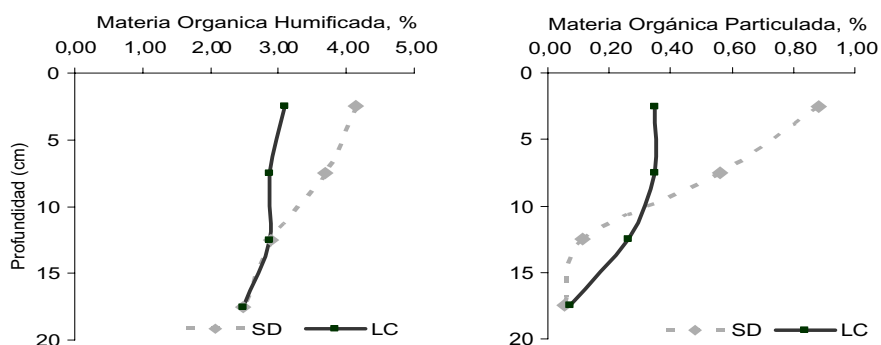


TABLA 1 | Relación C:N en las fracciones orgánicas de un suelo en SD y LC.

Profundidad cm	SD			LC		
	C:N-MOM	C:N-MOP	C:N-MOT	C:N-MOM	C:N-MOP	C:N-MOT
0-1	15,7	13,4	14,2	15,4	8,2	14,4
0-5	13,7	25,4	13,5	14,2	21,9	13,9
5-10	14,6	9,9	13,1	13,6	25,1	13,9
10-20	13,2	9,7	12,3	13,3	20,3	12,9
0-20	13,5	19,3	12,9	13,6	22,0	13,4

a partir de la siembra (Cult en la Figura 1) tendrán un efecto positivo sobre el desarrollo del cultivo y el aporte de MO al suelo (aumentando la MO). Esto significa que para estudiar la dinámica de la MO en el tiempo, deberían considerarse también estos aspectos.

El contenido de MO en los 20 centímetros superficiales, determinado en el año 2003 (Figura 2), confirmó la diferencia entre sistemas de labranza, por lo que resulta importante analizar en detalle su origen. Estas diferencias se localizaron en los primeros centímetros del suelo, debido a un aumento significativo de la MO en las muestras obtenidas entre 0 y 5 cm de profundidad en SD. Por debajo de esta profundidad, los valores en SD fueron menores que en LC, como consecuencia de la homogeneización de la MO que realiza la labranza, incorporando y mezclando los residuos en la profundidad laboreada.

No se observaron diferencias significativas entre ambos sistemas de labranza en el contenido de MO menos transformada (MOP) en los 0-20 cm, pero sí en su distribución. Las diferencias fueron a favor de la SD en superficie (0-5 cm) y a favor de LC en la profundidad (5-10 cm).

La dinámica de la transformación de los residuos cambia en SD. La velocidad de descomposición disminuye en superficie, debido a que el material aéreo queda expuesto a variaciones naturales de humedad y temperatura, mientras que las raíces muertas se encuentran en un medio en el que predomina la protección física. Sin embargo, el mayor contenido de humedad del suelo en SD, junto con la menor variación en el régimen de temperaturas, podrían favorecer los procesos de humificación de estos residuos.

La MO más resistente, MOM, mostró una tendencia semejante a la MO total. Los resultados ponen en evidencia una rápida humificación del material orgánico que ingresa al suelo. Esta característica ha sido determinada en estudios previos de suelos en la región semiárida (Galantini et al., 2004b; Venanzi et al., 2002) y observada en lotes de productores, en los que existe una desaparición acelerada de la cobertura en la medida que el sistema de SD se estabiliza.

La diferencia en el contenido de N, en las distintas profundidades y fracciones de suelo, siguió una tendencia idéntica a la MO. El efecto acumulado por los diferentes sistemas de labranza desde 1986 produjo diferencias significativas en el contenido de N en el suelo, particularmente en la fracción más resistente de la MO, y una estratificación localizada en los 0-5 cm.

Las diferencias en el contenido de N de la MOP fueron significativas en la capa superficial (0-1cm), como consecuencia de las diferencias en la localización del aporte de residuos entre ambas labranzas. Una parte significativa del N de los residuos queda inmovilizada en la superficie en SD, mientras que en LC está distribuida en la capa laboreada.

Otro aspecto importante para caracterizar el estado orgánico del suelo, además de la distribución de las fracciones orgánicas, es su calidad. En este sentido la relación carbono:nitrógeno (C:N) del material orgánico pone en evidencia su grado de transformación, así como la magnitud del aporte de N durante su descomposición. Relaciones mayores de 25-30 son características de materiales orgánicos con menor transformación, los que producen la inmovilización del N disponible. La relaciones bajas (alrededor de 10) se encuentran en materiales más transformados. También se debe tener en cuenta que este es un parámetro dinámico muy influenciado por las condiciones de manejo y ambientales. En general, se observó una tendencia a menores relaciones C:N en la MO total (MOT) en SD, mientras que en la MOM las relaciones fueron semejantes en ambos sistemas de labranza (Tabla 1). Las diferencias más importantes se observaron en la MOP, donde los valores fueron superiores en LC indicando que esta fracción es menos transformada y que su aporte de N durante el proceso de mineralización va a ser menor.

La relación C:N de la MOP fue más baja en la profundidad 0-1 cm de ambos sistemas de labranzas, posiblemente como consecuencia de la acumulación de N disponible y mayor grado de transformación bajo condiciones de escasa precipitación, donde la limitante fue el agua y no el N.

En términos generales, si bien luego de 18 años con SD la acumulación de MOP en 0-20 cm no fue significativa, presentó un alto grado de transformación y mayor contenido de N. Esta mejor "calidad" podría ser una importante fuente de N y compensar su disponibilidad en condiciones de no labranza del suelo.

Balance de la MO del suelo

La diferente densidad aparente de los sistemas de labranza estudiados puede enmascarar los verdaderos efectos de las labranzas sobre las fracciones orgánicas. Más aún, la comparación de masas de suelos diferentes puede llevar a conclusiones erróneas. Por esto se calcularon los contenidos de MO y N (kg o

TABLA 2 | Cantidad de MO y N (Ton/ha) de un suelo bajo SD y LC.

	MOM	MOP	MOT	CO	Nt
Ton/ha					
SD					
0-1	5,22	1,11	6,33		0,26
0-5	23,20	3,54	26,74		1,14
5-10	20,82	0,83	21,65		0,96
10-20	35,55	0,78	36,33		1,65
0-20	79,57	5,14	84,71	49,1	3,75
LC					
0-1	3,42	0,39	3,81		0,15
0-5	15,97	1,94	17,91		0,75
5-10	19,42	1,78	21,20		0,89
10-20	33,66	0,99	34,66		1,53
0-20	69,06	4,71	73,77	42,8	3,16

toneladas por ha) en cada una de las profundidades y en el horizonte A (0-22 cm). Al considerar la densidad aparente se confirmaron las tendencias y se ampliaron las diferencias encontradas entre sistemas de labranza (Tabla 2). La cantidad de MO total en los primeros 20 cm de suelo varió entre 84,7 y 73,8 Ton/ha para SD y LC, respectivamente, valores que equivalen a 49,4 y 42,8 Ton/ha de CO total. Esto implica, que la LC produjo una pérdida adicional de 6,3 Ton/ha de CO en el período considerado o el equivalente a aproximadamente 350 kg de CO por ha/año.

El aporte medio de materia seca en SD fue alrededor de 4300 Ton/ha/año (Kleine, Puricelli, 2001), o el equivalente a 1600 kg de C por ha⁻¹ año⁻¹ (asumiendo 10% de humedad y 42% de C en la materia seca). La variabilidad del nivel de MO entre los diferentes años sugiere que el balance en el suelo estaría más influenciada por cambios en los factores que regulan la descomposición que por las diferencias en los aportes de material orgánico (Galantini, Rosell, 2006). Este es un aspecto que requiere de estudios más detallados.

La diferencia en el contenido de MO originada por el sistema de labranza estuvo acompañada por una pérdida de N equivalente a 600 kg ha⁻¹, lo que representa anualmente 33 kg de N ha⁻¹. Una gran parte del N extra (110 kg de N ha⁻¹) que presentó el suelo en SD se encontraba inmovilizado en la profundidad 0-1 cm.

La SD y las pérdidas de suelo

Las mediciones de la profundidad del horizonte A en los diferentes puntos de muestreo fue en promedio 22 ± 1 cm, no encontrándose diferencias importantes entre los sistemas de labranza. En base a los resultados obtenidos, teniendo en cuenta la profundidad del suelo y la densidad aparente, se calculó la masa

de suelo (Ton/ha) del horizonte A en cada sistema de labranza. Como la masa de suelo del horizonte, originalmente debió ser idéntica, la diferencia entre los valores indicaría pérdidas de suelo. En SD se determinó 3058 Ton/ha, mientras que en LC 2848 Ton/ha. La diferencia fue 210 Ton/ha, indicando que en los 18 años el sistema de LC presentó una pérdida de suelo adicional respecto a SD equivalente a 11,7 Ton/ha/año. Esto sería consecuencia del incremento de los procesos erosivos. Esta mayor pérdida de suelo y de CO compromete el potencial productivo en el largo plazo y representa una disminución de la reserva de nutrientes. En este suelo y sólo para el caso de N, la pérdida fue equivalente 73 kg de urea ha/año, lo que representa un costo oculto de la LC, ya que se debería agregar esa cantidad para mantener el mismo nivel de fertilidad en ambos suelos.

Conclusiones

Luego de 18 años de labranza en un Argiudol Típico del sur bonaerense la concentración de MO disminuyó y su calidad se modificó en relación con la SD.

La SD produjo una estratificación de la fracción lábil de la MO, por acumulación superficial de los residuos, y un aumento de la MOM, resultado de una mayor humificación. Si bien la concentración de MOP en 0-20 cm fue semejante, su ubicación y calidad (relación C:N) fueron diferentes.

La LC produjo una pérdida adicional de suelo por erosión, equivalente a 11,7 Ton/ha/año, una pérdida adicional de 6,3 Ton CO total /ha, equivalente a 350 kg de CO ha/año, y una pérdida de N equivalente a 73 kg/ha/año de urea. Estas pérdidas representan una disminución de la reserva de nutrientes y comprometen el potencial productivo en el largo plazo.

Bibliografía

- Alvarez R., R.S. Lavado. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma* 83: 127-141.
- Campbell C.A., V.O. Biederbeck, B.G. McConkey, D. Curtin, R.P. Zenter. 1999. Soil quality-effect of tillage and fallow frequency. *Soil Biol. Biochem.* 31:1-7.
- Doran J.W., T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In: *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment* (Eds. Doran J.W. et al.). SSSA, ASA, Madison WI, USA, 3-22.
- Franzluebbers A.J. 2002. Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil Till. Res.* 66: 95-106
- Galantini J.A. 2001. Contenido y calidad de las fracciones orgánicas del suelo bajo rotaciones con trigo en la región semiárida pampeana. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 30: 125-146.
- Galantini J.A., J.O. Iglesias, L. Cutini, H. Krüger, S. Venanzi. 2004b. Sistemas de labranzas: efecto sobre las fracciones orgánicas. XIX CACS, Paraná. Resumen pág. 80, CD-ROM, 10 págs.
- Galantini J.A., R.A. Rosell. 2006. Long-term fertilization effects on soil organic matter quality and dynamics under different production systems in semiarid soils. *Soil Till. Res.* 87: 72-79.
- Galantini J.A., R.A. Rosell, G. Brunetti, N. Senesi. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo* 20: 17-26.
- Galantini J.A., N. Senesi, G. Brunetti, R. Rosell. 2004a. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123: 143-152.
- Karlen D.L., C.A. Cambardella. 1996. Conservation strategies for improving soil quality and organic matter storage. *Adv. Soil Sci.* 395-420
- Kleine C., A. Puricelli. 2001. Comparación de los rendimientos y algunos parámetros químicos luego de varios años bajo LC y SD en el SO de Buenos Aires. *INPOFOS* 12: 15-19.
- Krüger H.R. 1996. Sistemas de labranzas y variación de propiedades químicas en un Haplustol Entico. *Ciencia del Suelo* 14: 53-55.
- Moraes Sa J.C. 2003. Rastrojos: Alimento del suelo. X Congreso Nacional de AAPRESID, 135-138.
- Papendick R.I., J.F. Parr. 1997. No-till farming. The way of the future for a sustainable dryland agriculture. *Ann. Arid Zone* 36:193-208.
- Venanzi S., J. Galantini, J. Iglesias, M. Barreiro, A. Albin, A. Rausch, M. Ripol, H. Kruger. 2001. Distribución y calidad de la materia orgánica del suelo. V Congreso Nacional de Trigo.

Efectos de largo plazo sobre el espacio poroso del suelo.

- JUAN GALANTINI • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) – CERZOS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA.
- JULIO IGLESIAS • DPTO. AGRONOMÍA - UNS.
- LEANDRO SANTIAGO • LABORATORIO DE HUMUS (LAHBIS).
- CRISTIAN KLEINE • EA. CERRO NAPOSTA, TORNQUIST (BA).

Introducción

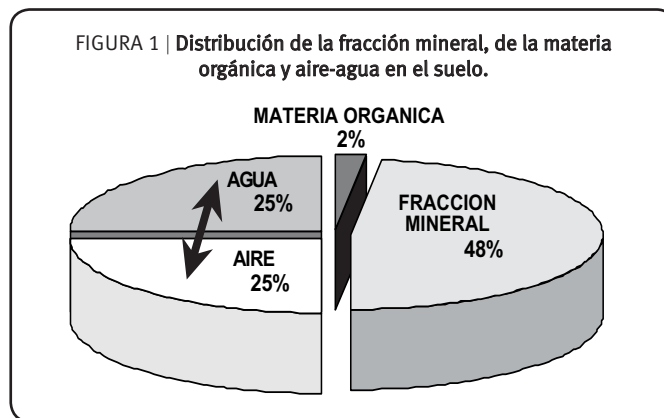
El suelo es la parte superficial de la corteza terrestre que se origina de la descomposición de la roca madre por medio de procesos físicos, químicos y biológicos. Según Jenny (1941), el desarrollo del suelo es función del material original, del clima, de los organismos vivos, del relieve y del tiempo, medido en siglos. Su importancia radica en que es el medio que sustenta a los vegetales y el lugar de donde obtienen el agua y los nutrientes, además de ser el hábitat de la flora y fauna edáfica. El suelo es una inmensa reserva de energía, actuando como una batería biológica que regula el intercambio de energía, además de modificar la provisión de nutrientes, la dinámica del agua, la actividad de compuestos tóxicos, etc. Es importante destacar que el suelo es el resultado final de un equilibrio que tardó miles y miles de años en alcanzarse. En la medida que se destruye ese equilibrio se tardará mucho tiempo en lograr uno nuevo.

El suelo está formado por una fase sólida (materia orgánica y fracción mineral) y una fase gaseosa (donde aire y agua se encuentran en un equilibrio dinámico). La proporción promedio de cada una de ellas se presenta en la Figura 1, si bien existe una amplia variabilidad:

- Materia orgánica, son restos vegetales y animales, con un mayor o menor grado de descomposición, transformados por la acción de los microorganismos. Su contenido puede variar entre el 0,5 al 5 %.
- Fracción mineral, formada las arcillas, limos, arenas. Puede representar entre el 40 y 60% del suelo.
- Espacio poroso, ocupado por agua y aire, los que varían su proporción dependiendo del contenido de humedad del suelo.

Importancia de la estructura del suelo

Las partículas elementales (arena, limo y arcilla) junto con la materia orgánica como cementante se asocian en agregados formando la estructura del suelo. La estructura afecta las características físicas del suelo definiendo el balance



entre el espacio con sólido y con aire, es decir su porosidad. Ella es la que permite la circulación del agua, la renovación del aire y la penetración de las raíces. Es importante que las fases del suelo se encuentren en un adecuado equilibrio para el buen funcionamiento del mismo. Si bien la estructura edáfica no afecta directamente el desarrollo de los cultivos, lo hace a través de factores que están íntimamente relacionados, como temperatura, compactación, disponibilidad de agua y de aire.

Una correcta provisión de agua y nutrientes se efectiviza gracias a un espacio poroso adecuado en cuanto a su distribución, tamaño y continuidad, que permita la circulación del agua, crecimiento de las raíces y la disponibilidad de los nutrientes. Es conveniente que la porosidad se encuentre entre 40 % y 60%. Cuando los valores son menores a 40% se pueden crear condiciones para la asfixia de las raíces o contenidos de agua fuertemente retenida, de manera tal que no esta disponible para las plantas. En cambio si es mayor de 60% supondría una dificultad para el contacto entre el suelo y las raíces del cultivo.

Una buena estructura, además de permitir la emergencia de las plántulas luego de su germinación al evitar el "planchado", disminuye la erosión hídrica produ-

cida por el escurrimiento superficial. Una buena porosidad asegura una mayor infiltración del agua de las lluvias y rápida eliminación de los excesos.

Un adecuado intercambio gaseoso entre suelo y la atmósfera, favorece el desarrollo de las raíces de las plantas y la actividad de los microorganismos, produciendo mayor exploración del suelo y mayor disponibilidad de nutrientes.

Espacio poroso y dinámica del agua

Las características del espacio poroso afectan la infiltración, la capacidad de almacenamiento de agua, el movimiento y distribución de gases y el desarrollo de las raíces (Lal, 1994; Kay; Vandenbygaart, 2002; Eynard et al., 2002).

En los poros de un tamaño mayor de 30 μm de radio, el agua circula libremente por efecto de la gravedad. Por debajo de 20 μm no pueden penetrar los protozoos. Cuando el tamaño es menor de 1 μm no pueden penetrar los pelos radiculares y por debajo de 0,2 μm la actividad de las bacterias resulta imposible. Es necesario manejar el suelo de tal manera que se generen poros de diversos tamaños posibles. Al aumentar la capacidad de retención de agua de ese suelo, se permitirá que las plantas y los microorganismos edáficos resistan mejor los períodos con déficit hídricos.

Las labranzas inadecuadas y/o el tránsito excesivo favorecen la degradación de la estructura del suelo, modificando el equilibrio entre los diferentes tamaños de poros y su continuidad (Iglesias et al., 1996). La disminución de la macroporosidad, principalmente por falta de bioporos, la inestabilidad de los poros y su discontinuidad, son aspectos claves en las regiones semiáridas, donde la sustentabilidad depende de la eficiencia en el uso de las escasas y erráticas precipitaciones.

En este sentido una meta primaria en el manejo del suelo es el desarrollo y mantenimiento óptimo de la estructura porosa para la producción del cultivo. Además, las diferencias observadas en las propiedades físicas del suelo entre sistemas de cultivo son usualmente transitorias porque los poros grandes creados por la labranza rápidamente colapsan luego del impacto de las lluvias y los ciclos secos (Ahuja et al., 1998).

Los efectos de la labranza sobre la densidad aparente no son consistentes en el tiempo y en muchos casos contradictorios. En algunos casos se detectaron

diferencias significativas entre suelos bajo diferentes labranzas (Gantzer, Blaque, 1978), mientras que en otros no (Tollner et al., 1984).

La acelerada expansión de la SD hizo que pocos estudios analicen los efectos de la siembra directa en el sur de la provincia de Buenos Aires, y en especial que tengan la antigüedad suficiente como para evaluar los efectos de largo plazo. Teniendo en cuenta la importancia del espacio poroso y los cambios que se producen en el sistema durante la SD, surgen preguntas claves como ¿Cuáles son los efectos de las labranzas en el largo plazo sobre la densidad aparente, la capacidad de retener agua y la distribución de los diferentes tamaños de poros? El objetivo del presente trabajo fue cuantificar los cambios luego de 18 años con SD y labranza convencional.

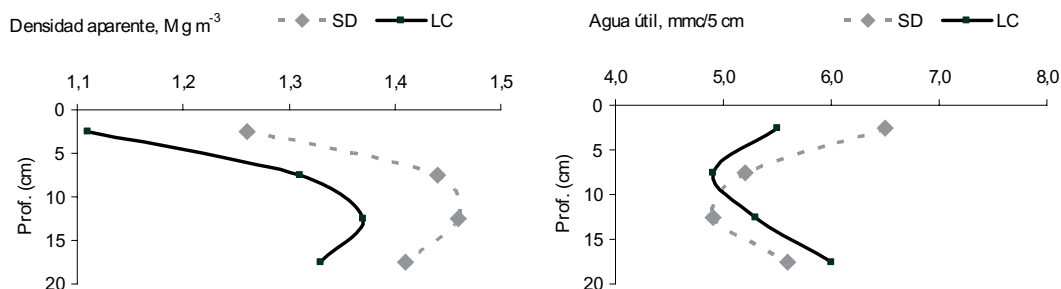
Aspectos metodológicos

En la localidad de Tornquist, próximo a Sierra de la Ventana, se encuentra la estancia Cerro Napostá Grande perteneciente a la Fundación Hogar Funke. En ella, desde 1986, se encuentra un potrero con dos sistemas de labranza diferentes: una franja realizada con labranza convencional (LC) dentro de un lote con siembra directa (SD). Detalles con las características del sitio y del manejo se encuentran publicados (Kleine, Puricelli, 2001; Galantini et al., 2006). El modelo de 18 años con diferentes labranzas es un ejemplo interesante para observar los efectos de largo plazo sobre algunas propiedades físicas del suelo. Para ello se tomaron muestras de suelo con su estructura, sin alterarla durante el muestreo, a las profundidades 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm, utilizando cilindros de acero de volumen conocido. En ellas se determinaron la densidad aparente, el agua útil, la porosidad total y la distribución de los diferentes tamaños de poros.

Para la clasificación de los tamaños de poros se aplicó un criterio importante en la región, que es la dinámica del agua. En base a ella, los poros se clasificaron teniendo en cuenta los límites clásicos que definen la disponibilidad del agua para los cultivos, capacidad de campo y punto de marchitez permanente. Se dividieron en las clases macro, meso y microporos, las que están relacionadas con el flujo de agua, su almacenamiento y con el agua no disponible, respectivamente (Iglesias et al., 1996).

- Macroporos (MP), mayores de 9 μm , son los que permiten el flujo primario de agua durante la infiltración y el drenaje, por lo tanto tienen un mayor

FIGURA 2 | Variación de la densidad aparente (DA) y capacidad de agua útil (CAU) en un suelo con 18 años en SD y en LC.



control sobre la aireación del suelo. Los MP se dividieron en grandes (MPg) (mayores de $30\ \mu\text{m}$) y pequeños (MPp) ($30\text{-}9\ \mu\text{m}$), los que tendrían características diferentes en cuanto a velocidad de drenaje (Iglesias et al., 1998)

- Mesoporos (mP) poseen un diámetro equivalente entre $9\ \text{y}\ 0,2\ \mu\text{m}$, correspondiendo a los límites entre capacidad de campo (CC) y punto de marchitez permanente (PMP), importantes en el almacenamiento de agua y la actividad microbiana.
- Microporos (μP) con diámetro equivalente menor a $0,2\ \mu\text{m}$, permiten retener el agua en forma no disponible para las plantas.

Resultados obtenidos y Discusión

La densidad aparente (DA) del suelo fue mayor en SD que en LC en todas las profundidades (Figura 2). Si bien las diferencias más importantes se encontraron en los primeros centímetros del suelo y en ningún caso llegó a valores limitantes para el desarrollo de las raíces (Venanzi et al., 2002).

La capacidad de retener agua útil (CAU) mostró diferentes tendencias entre labranzas (Figura 2). En los primeros cm de suelo, la CAU fue mayor en SD, mientras que en los 10-20 cm fue mayor en LC. Sin embargo al considerar la capacidad total de retener AU, en los 0-20 cm no se encontraron diferencias entre sistemas de labranza. La DA y la CAU están relacionadas con la porosidad del suelo. Se observó una mayor porosidad total (PT) en el suelo en los primeros centímetros en LC, mientras que en 10-15 cm las diferencias no fueron significativas (Figura 3). Esto se debe al aumento de los poros superficiales artificialmente generados por la labranza; mientras que en la profundidad 10-15 cm los poros son destruidos por el pasaje de la maquinaria y se produce la compactando el suelo. Se logra una mayor capacidad de captar el agua de las lluvias, pero limitando el flujo de la misma en profundidad.

Los MPg, de flujo rápido fueron mayores en LC que en SD, principalmente en los primeros 10 cm superficiales (Figura 4). Por debajo de esa profundidad, las diferencias fueron menores.

Se observó que a pesar de encontrarse diferencias entre los sistemas, la cantidad de agua que puede retener el suelo en SD no fue mucho menor que en LC. Existe otro efecto a tener en cuenta en LC, la superficie del suelo descubierta

FIGURA 3 | Variación de la porosidad de aireación en un suelo con 18 años en SD y en LC.

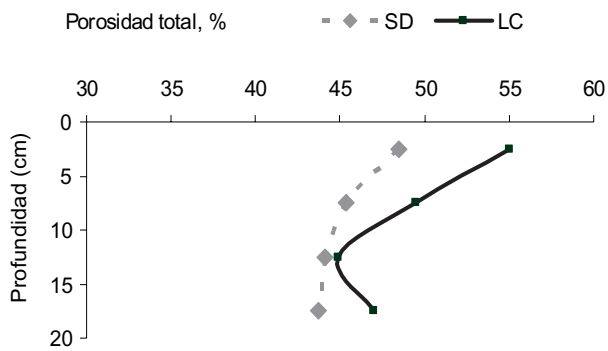
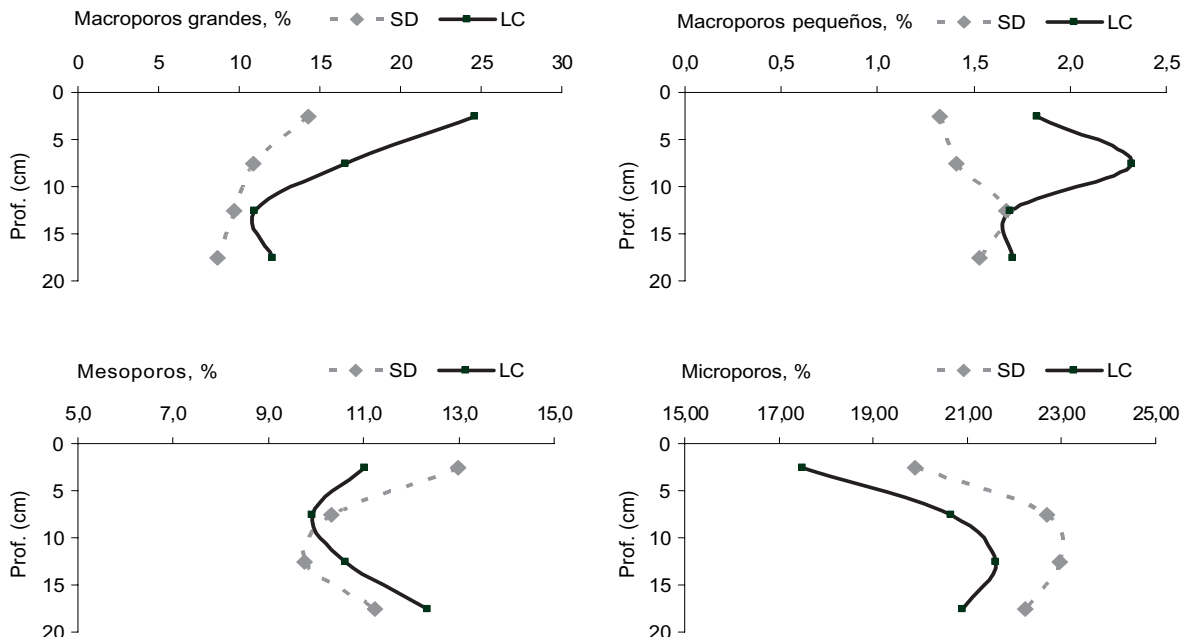


FIGURA 4 | Variación de los diferentes tamaños de poros en un suelo con 18 años en SD y en LC.



favorece el sellado superficial de los poros. Por tal motivo, si bien debajo de la superficie existe la posibilidad de un flujo rápido, en superficie puede existir un impedimento para la penetración del agua.

Los MPp, mostraron una tendencia semejante, con diferencias entre sistemas en los primeros 10 cm. Debe destacarse que si bien el muestreo fue realizado 2 meses después de la siembra del trigo, la dinámica de los poros a lo largo del año en LC fue mayor que en SD. Las diferencias entre sistemas pueden variar en función del momento de muestreo, ya que la macroporosidad artificialmente lograda en LC es menos estable que la existente en SD (Arranz et al., 2004).

En la capa superficial se observó más cantidad de mP, capaces de retener agua útil, en SD que en LC, mientras que en profundidad fueron más en LC que en SD.

Los μP , aquellos capaces de retener el agua no disponible para los cultivos, fue ligeramente mayor en todas las profundidades en SD que los encontrados en LC.

Conclusión

La distribución de los diferentes tamaños de poros puso en evidencia que los cambios más importantes se produjeron en los macroporos grandes, mientras que en el resto no se observaron diferencias.

La LC produjo un aumento en la porosidad total y disminución de la densidad aparente en los 10 cm superficiales, como consecuencia de la mayor cantidad de macroporos artificialmente generados por la labranza. Estas diferencias no afectaron la capacidad de retener agua útil para los cultivos.

Bibliografía

- Arranz C., J.A. Galantini, J.O. Iglesias, H. Krüger, S. Venanzi. 2004. Sistemas de labranza: efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de poros. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Parana, Resumen pág. 43, CD-ROM, 10 págs.
- Galantini J.A., J.O. Iglesias, L. Cutini, H. Krüger, S. Venanzi. 2004b. Sistemas de labranzas: efecto sobre las fracciones orgánicas. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Parana. Resumen pág. 80, CD-ROM, 10 págs.
- Galantini J.A., J.O. Iglesias, C. Maneiro, L. Santiago, C. Kleine. 2006. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense. Efectos de largo plazo sobre las fracciones orgánicas y el espacio poroso del suelo. Revista de Investigaciones Agropecuarias (RIA) — INTA 35: 15-30
- Hassink J., L.A. Bowman, K.B. Zwart, J. Bloem, L. Brussard. 1993. Relationships between soil texture, physical protection of organic matter, soil biota, and C and N mineralization in grassland soils. *Geoderma* 57: 105-128.
- Iglesias J.O., J.A. Galantini, A.M. Miglierina, M.R. Landriscini, R.A. Rosell. 1998. Cambios en la distribución del espacio poroso debidos al sistema de labranza y al tránsito en un Hapludol típico de la Región Subhúmeda Argentina. *Rev. Fac. Agronomía (UBA)* 18 (1-2): 19-26.
- Iglesias J.O., J.A. Galantini, R.A. Rosell, A.M. Miglierina, M.R. Landriscini. 1996. Cambios en la distribución del espacio poroso en un Entic Haplustoll con diferentes secuencias de cultivos en la región semiárida Argentina. *Agricultura Técnica* 56 (1): 43-48.
- Jenny H. 1941. *Factors of soils formation*. McGraw-Hill, New York
- Karlen D.L., C.A. Cambardella. 1996. Conservation strategies for improving soil quality and organic matter storage. *Adv. Soil Sci.*
- Kay B.D., A.J. Vandenbygaart. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organic matter. *Soil Till. Res.* 66:107-118.
- Kleine C., A. Puricelli. 2001. Comparación de los rendimientos y algunos parámetros químicos luego de varios años bajo LC y SD en el sudoeste de Buenos Aires. *Informaciones Agronómicas INPOFOS* 12: 15-19.
- Klute A. 1986. Water Retention: Laboratory Methods. p. 635-661. In: A. Klute (ed.). *Methods of Soil Analysis. Part 1*. 2nd edition Agron. Monogr. 9. ASA and SSSA, Madison, WI.
- Lal R. 1994. *Methods and guidelines for assessing sustainable use of soil and water resources in the tropics*. USDA-The Ohio State University. SMSS Technical Monograph No. 21.
- Richards L.A. 1947. Pressure-membrane apparatus-construction and use. *Agricultural Engineering* 28: 451-454.
- Venanzi S., J. Galantini, J. Iglesias, M. Barreiro, A. Albin, A. Rausch, M. Ripol, H. Krüger. 2001. Sistemas de labranzas: 1. Distribución y calidad de la materia orgánica del suelo. Presentado en el V Congreso Nacional de Trigo, Carlos Paz, 25 al 28 de septiembre.

Efectos de corto plazo sobre el espacio poroso en sistemas mixtos.

- ROBERTO KIESSLING • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) – CERZOS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA.
- JUAN GALANTINI • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) – CERZOS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA
- JULIO IGLESIAS • LAHBIS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS.
- HUGO KRUGER • EEA – INTA BORDENAVE.
- SANTIAGO VENANZI • EEA – INTA BORDENAVE.

Introducción

Los sistemas productivos se han intensificado en las últimas décadas en el mundo y en especial en nuestro país. Esto produjo una importante reducción de las pasturas semi permanentes y la implementación de rotaciones cada vez más cortas. Los sistemas basados en el desarrollo de mayor número de cultivos por unidad de tiempo se ven seriamente obligados a la utilización de sistemas de labranzas conservacionistas para disminuir el impacto que pudieran ocasionar en el suelo. La siembra directa alcanzó los 16 millones de hectáreas en la campaña 04/05 (Roberts, Johnston, 2005). La mayor eficiencia de uso del agua de lluvias y la conservación del recurso suelo se encuentran entre las ventajas más importantes de este sistema. Sin embargo, en la región semiárida Pampeana, donde predominan los sistemas productivos mixtos (agrícolas-ganaderos), donde la fragilidad de los sistemas y el riesgo de erosión son mayores, estos sistemas conservacionistas no se encuentran tan difundidos.

Entre los factores responsables que limitan la adopción de la SD podría incidir el interrogante del efecto del pisoteo animal sobre las propiedades físicas del suelo (compactación).

Sólo debido al tráfico de vehículos y herramientas, se estima que en el mundo existen 68 millones de has de suelos compactados (Flowers, Lal, 1998). La compactación del suelo produce un aumento de la densidad aparente, destruye y debilita su estructura, reduciendo la porosidad total. El sistema poroso del suelo impacta directamente sobre las entradas y salidas de agua, en la entrada y difusión de los gases y calor, y en el desarrollo y crecimiento de las raíces. De todas las propiedades del suelo, la porosidad es tal vez la más fácil y frecuentemente alterada por la labranza, tránsito o pastoreo. Es una degradación

difícil de localizar porque no evidencia marcas sobre la superficie del suelo. La porosidad determina la capacidad de almacenaje y el movimiento del agua en los suelos. En este sentido es importante la cantidad total de poros así como la forma, tamaño, continuidad y distribución. Agronómicamente, la distribución de los diferentes tamaños incide sobre la velocidad con que se infiltra el agua, sobre la cantidad que puede retener y mantener disponible para los cultivos y sobre el agua no disponible. Generalmente los bioporos, generados por raíces o zoofauna edáfica, son más continuos y más estables que los macroporos creados por las labranzas, resultando más efectivos para el movimiento del agua y del aire y para el crecimiento de nuevas raíces.

La relación entre la porosidad y el agua en el suelo regula el estado hídrico del suelo, afectando la mineralización del carbono orgánico y nitrógeno del suelo, el desarrollo y rendimiento de los cultivos y la respuesta a la fertilización, es decir, la sustentabilidad de los sistemas productivos de la región semiárida Pampeana. El objetivo del presente trabajo fue cuantificar el efecto del pastoreo animal directo en un suelo bajo dos sistemas de labranzas: siembra directa (SD) y labranza convencional (LC), sobre la porosidad total y la distribución de los diferentes tamaños de poros.

Aspectos metodológicos

El estudio se llevó a cabo sobre un ensayo de labranzas iniciado en 1998, en la Estación Experimental de Bordenave del INTA. El diseño fue de 4 bloques aleatorizados con dos sistemas de labranza (LC y SD) y con tres dosis de fertilizantes (0, 30 y 60 kg de N ha⁻¹ año⁻¹), divididas en 1) con pastoreo directo y 2) con corte. Se siguió una rotación: trigo – avena/soja y en este estudio se seleccionaron los tratamientos SD y LC con 30 kg de N ha⁻¹año⁻¹. Durante el

año 2004, cuando los tratamientos estaban con avena, se tomaron muestras de suelos sin disturbar con cilindros de volumen conocido a las profundidades 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm antes de iniciar el pastoreo y al finalizar el mismo. Sobre estas muestras se determinaron la densidad aparente y la distribución de los diferentes tamaños de poros.

Resultados obtenidos y Discusión

La densidad aparente antes del pastoreo fue menor en LC, en los primeros 10 cm de profundidad, como consecuencia de las labores de preparación de la cama de siembra (Figura 1). Luego del pastoreo no hubo diferencias significativas entre sistemas de labranza en los 20 cm de perfil. En LC se evidenció, antes y después del pastoreo, una capa más densa entre los 10-15 cm, quizá como consecuencia del sellado que producen las herramientas por debajo de la profundidad de trabajo o por efecto del pisoteo.

En cuanto a la porosidad total del suelo (PT), antes del pastoreo fue mayor en

LC sólo entre los 5-10 cm, diferencias que desaparecieron luego del mismo (Figura 2). Este redujo la PT en los primeros 10 cm de profundidad, aunque esta pérdida fue mayor en LC.

La porosidad no tiene toda la misma función en el suelo, por lo que cambios en contenido total de poros poco nos dice sobre los cambios en la funcionalidad del sistema (Iglesias et al., 1996). Por este motivo, el análisis de los diferentes tamaños de poros permite conocer con mayor detalle efecto del pastoreo sobre la dinámica del agua y el crecimiento del cultivo.

Los macroporos (MP) son los que permiten la aireación y el movimiento gravitacional del agua, por lo tanto, su cantidad, distribución y continuidad está relacionada con la capacidad del suelo para captar el agua de las lluvias y el adecuado intercambio gaseoso.

Antes del pastoreo, se observaron diferencias en la macroporosidad debidas al sistema de labranza (Figura 3). En los 10 cm superficiales la macroporosidad

FIGURA 1 | Distribución de la densidad aparente bajo diferentes labranzas, antes y después del pastoreo.

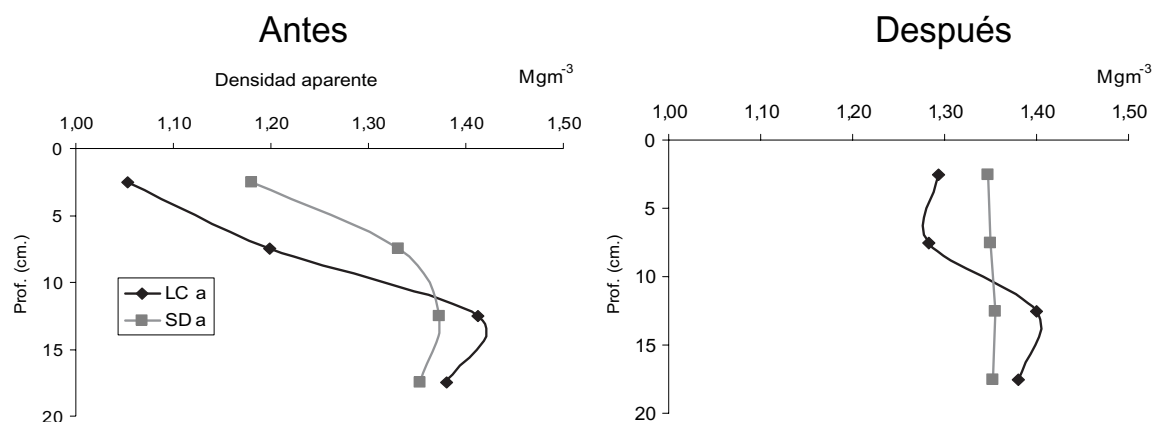


FIGURA 2 | Distribución de la porosidad total bajo diferentes labranzas, antes y después del pastoreo.

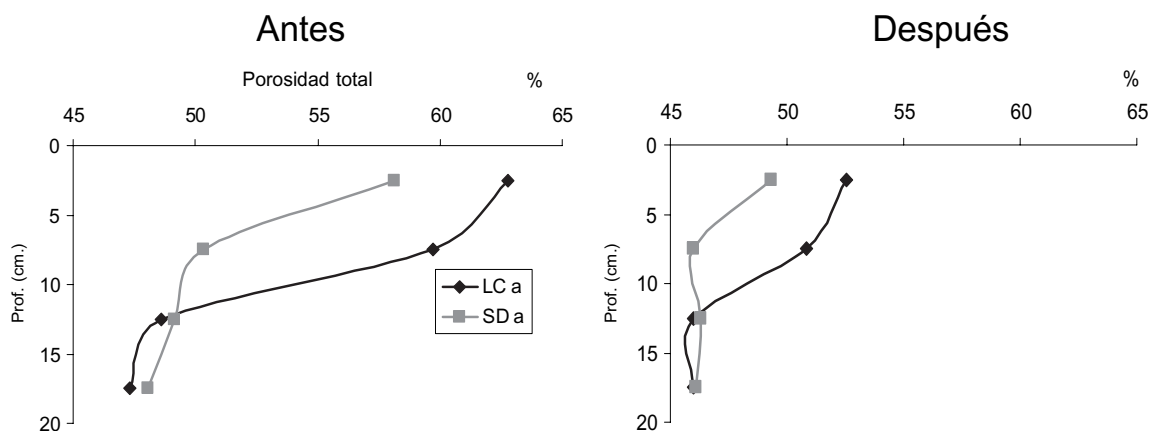
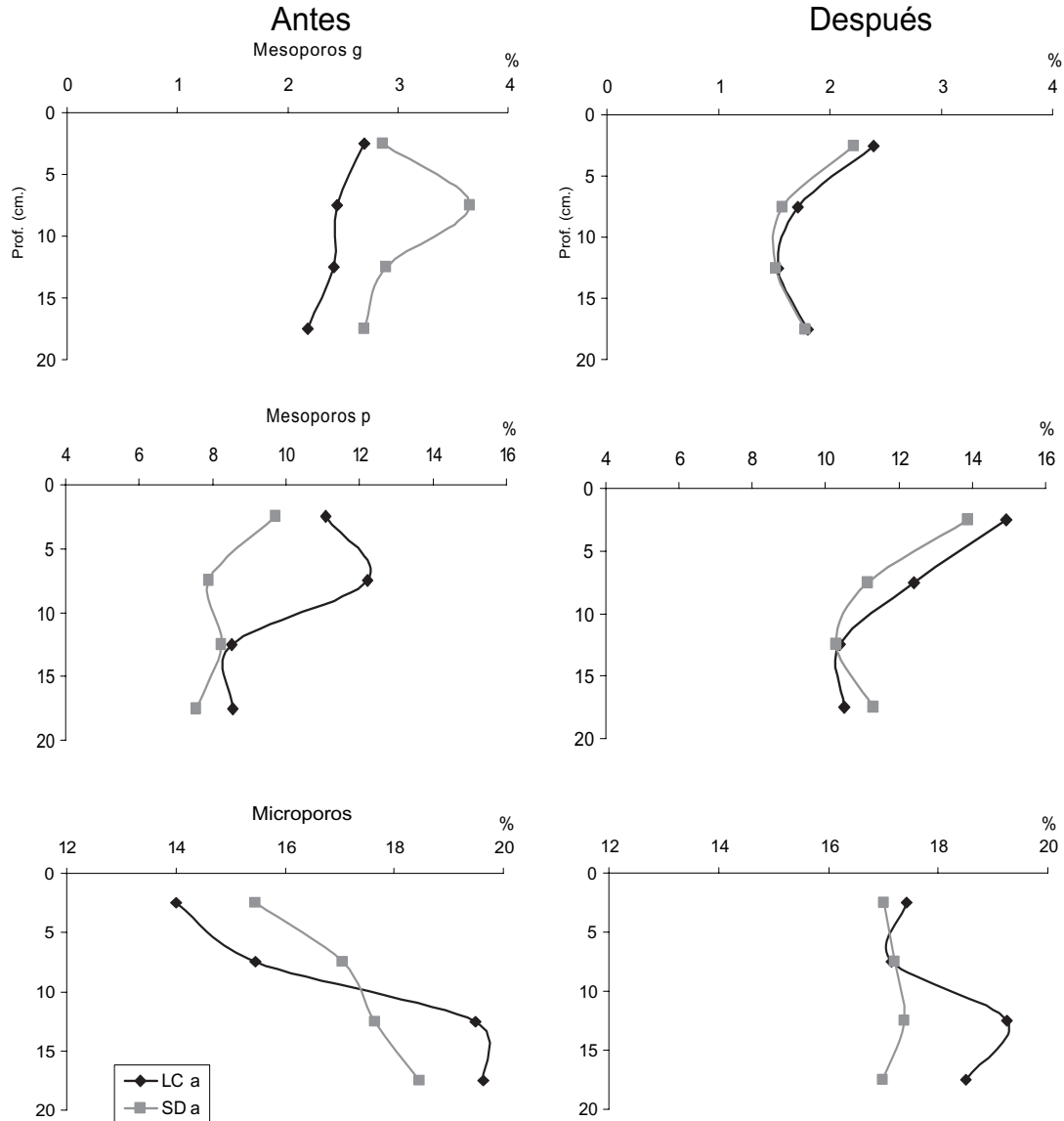


FIGURA 3 | Distribución de mesoporos grandes (g), mesoporos pequeños (p) y microporos del suelo bajo diferentes labranzas, antes y después del pastoreo.



fue mayor en LC por efecto de las labores, mientras que en profundidad fue mayor en SD, quizás beneficiado por la acción de los organismos del suelo y las raíces de cultivos previos. Esta mayor macroporosidad en los 10 cm superficiales en LC con frecuencia no produce efectos beneficiosos en la infiltración del agua de lluvia, ya que ante una lluvia intensa en LC se puede producir el efecto de “planchado”. Este sellado del suelo superficial limita la capacidad para infiltrar lluvias posteriores. La mayor cobertura de residuos observada en SD tiende a evitar este problema. El pastoreo redujo significativamente los MP en los primeros 5 cm en ambos sistemas. En LC dicha disminución tuvo un efecto más profundo, siendo mayor que en SD para los 5-10 y 10-15 cm, generando en esta última profundidad una pérdida de MP con posibles implicancias sobre la circulación del agua hacia las profundidades inferiores.

Los mesoporos (mP) son los que tienen la capacidad de retener el agua disponible para los cultivos, conformando el “tanque” de reserva que tiene el suelo.

No se encontraron diferencias entre sistemas de labranzas en los dos momentos (antes y después del pastoreo). En ambos sistemas los mP aumentaron luego del pastoreo, siendo el aumento mayor en SD, aunque de forma no significativa. Si bien la capacidad de retener agua útil en el suelo aumentó, el espacio poroso accesible a los microorganismos disminuyó.

Los poros de menor tamaño en el suelo o microporos (μP) se caracterizan porque el agua contenida en ellos no se encuentra disponible para los cultivos y son demasiado pequeños para la actividad de los microorganismos.

Previo al pastoreo no hubo diferencias significativas sobre los μP entre los sistemas de labranza. El pastoreo incrementó los microporos en 0-5 cm en SD y en 0-10 cm en LC. Esto implica una menor capacidad de retención de agua útil para los cultivos en LC.

Conclusiones

Luego de 6 años (3 ciclos de pastoreo), la LC tendió a valores más altos de porosidad total en superficie antes del pastoreo, mientras que en SD predominaron los macroporos en profundidad.

El efecto del pastoreo sobre la porosidad fue diferente, disminuyeron los macro y aumentaron los microporos en LC, respecto a la SD. Estos resultados sugieren que en SD la porosidad es más estable.

En ambos sistemas se observó mayor cantidad de poros de almacenamiento de agua luego del pastoreo, como consecuencia de una disminución de los macroporos. Esto podría dificultar la infiltración de las erráticas precipitaciones y disminuir la actividad microbiana. También se produjo un aumento de los microporos, mayor agua no disponible para los cultivos, el aumento fue mayor en LC.

Los resultados obtenidos indicarían que la ganadería en SD puede ser sustentable, siempre que se evite el sobrepastoreo, se mantenga cobertura, se impida el pisoteo animal en condiciones húmedas del suelo, etc. Más aún, permitiría incrementar el número y la diversidad de especies en las rotaciones, con beneficios para la dinámica de la materia orgánica y los microorganismos del suelo.

Bibliografía

- Arranz C., J.A. Galantini, J.O. Iglesias, H. Krüger, S. Venanzi. 2004. Sistemas de labranza: Efecto del pastoreo animal sobre la distribución del tamaño de poros. XIX CACS, 22-25 junio Paraná pág. 43.
- Flower M.D., R. Lal 1998. Axle load and tillage effects on selected soil physical properties and soybean yield on a Mollic Achraqualf in northwest Ohio. Soil Tillage Research 48: 21-35.
- Iglesias J.O., J.A. Galantini, R.A. Rosell, A.M. Miglierina, M.R. Landriscini. 1996. Cambios en la distribución del espacio poroso de un suelo Entic Haplustoll con diferentes secuencias de cultivos de la región Semiárida Argentina. Agricultura Técnica 56 (1): 43-48.
- Roberts T.L., A.M. Johnston. 2006. Intensidad de cultivo, rotaciones y tecnología de fertilización para la producción sustentable de trigo. Informaciones Agronómicas N° 29: 1-9.

Cambios en la distribución y orientación de diferentes tamaños de poros.

- JULIO IGLESIAS • DPTO. AGRONOMÍA. UNS, BAHÍA BLANCA.
- JUAN GALANTINI • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC), CERZOS - DPTO. AGRONOMÍA - UNS
- LEANDRO SANTIAGO • LABORATORIO DE HUMUS (LAHBIS)

Introducción

La cantidad, distribución y continuidad de los poros en el suelo condicionan el flujo de aire y gases, así como el desarrollo de organismos del suelo y la exploración de la raíces (Iglesias et al., 1996; Kay et al., 2002). Como se ha comentado en trabajos anteriores, el equilibrio de los diferentes tamaños de poros es fundamental para un buen desarrollo de los cultivos y este equilibrio lleva más tiempo alcanzarlo en los sistemas en siembra directa (SD). Si bien existe información sobre las características del espacio poroso en SD, pocos trabajos abordan el estudio de la orientación de los poros y si lo hacen recurren a técnicas de análisis micromorfológico (Pagliai et al., 1983; Shipitalo, Protz, 1987; Drees et al., 1994; van den Bygaart et al., 1999) citados por Sasal et al., 2004.

La distribución natural y orientación de los poros es alterada principalmente por las labranzas. En estos casos, se originan por las fracturas de los agregados, con orientación aleatoria y dependiente de la labor (herramienta, velocidad, etc.), de las características de la fase sólida y de la reorganización posterior. En siembra directa los poros son formados principalmente por la acción de raíces y la zoofauna edáfica (principalmente lombrices) con una orientación preferencialmente vertical (Hill et al., 1990; Pierce et al., 1994). En suelos en siembra directa algunos autores han encontrado que la porosidad tiende a ser horizontal, pudiendo dificultar la dinámica de agua y gases (Moraes Sa, 2003). Ball et al. (1994) encontraron mayor cantidad de poros con orientación vertical en el suelo arado, mientras que en SD predominaron los poros con orientación horizontal.

Este estudio preliminar tuvo como objetivo determinar la importancia de la macro porosidad horizontal en los primeros 5 cm de suelos en SD de nuestra región.

Aspectos metodológicos

El presente trabajo se realizó en varios establecimientos de la red de productores de la regional Bahía Blanca de AAPRESID. Los 7 sitios fueron identificados como IRA 7, IRA 10, KIE 3, WEN 2, FK NN, FK SD, MAY B..

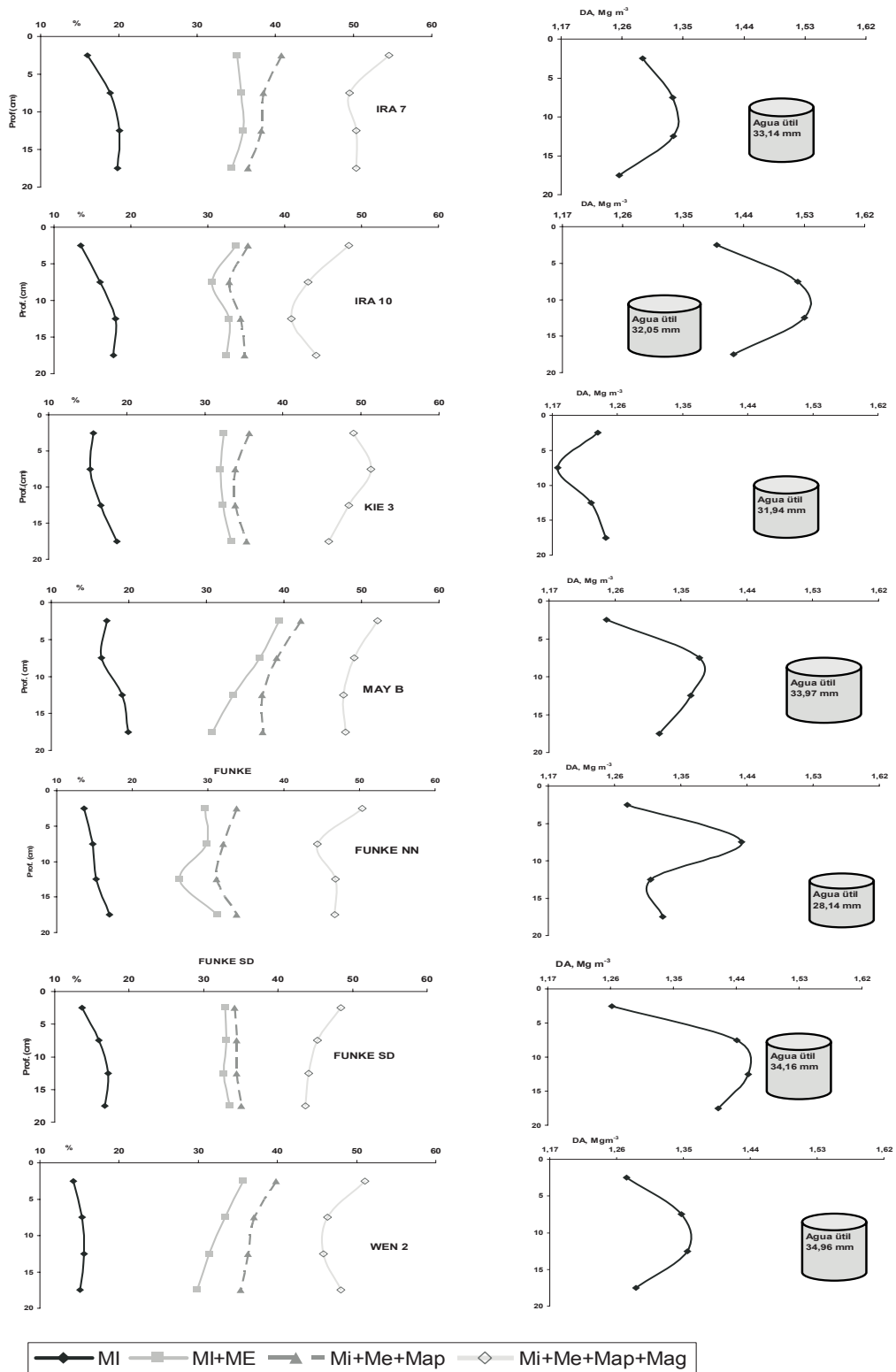
El muestreo de suelos se realizó a las profundidades 0-5, 5-10, 10-15 y 15-20 cm. Se utilizaron cilindros de 100 cm³ de volumen. En los primeros 5 centímetros superficiales, de cada sitio, se tomaron 10 muestras no disturbadas, 5 en forma horizontal y otras 5 en forma vertical. En cada una de las profundidades siguientes se tomaron 5 muestras no disturbadas. Se determinó: densidad aparente (DA), capacidad de retención hídrica del perfil y porosidad mediante olla y membrana de presión (Klute, 1986). Se calculó el contenido de macroporos grandes MPg (poros mayores de 30 μm), macroporos pequeños MPp (poros entre 30 y 9 μm), mesoporos mP (poros entre 9 y 0,2 μm) y microporos μP (poros menores 0,2 μm).

Resultados obtenidos y Discusión

Para caracterizar los diferentes sitios estudiados, en la Figura 1 se presenta la distribución de los diferentes tamaños de poros, la densidad aparente y la capacidad de almacenamiento de agua útil, en los primeros 20 cm de cada uno de los suelos analizados.

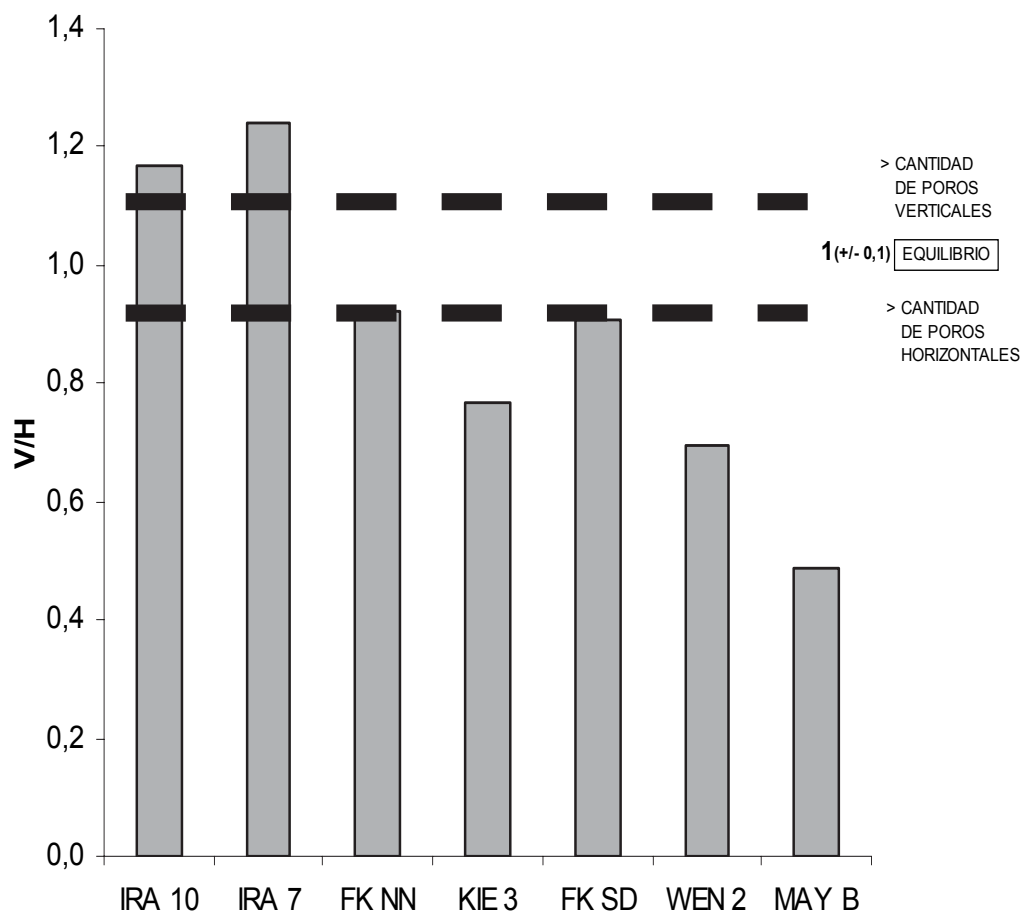
En general, la cantidad de microporos aumenta con la profundidad, asociado al aumento del material fino y a la disminución de la materia orgánica, indicando que esta porosidad está asociada a las características texturales del suelo. Los mesoporos son más variables y dinámicos en el tiempo, ya que son el re-

FIGURA 1 | Distribución del espacio poroso, densidad aparente (DA) y agua útil en el perfil en los sitios estudiados.



MP: macroporos / MP: mesoporos / MP: microporos / p: pequeños / g: grandes.

FIGURA 2 | Distribución de la relación poros verticales /poros horizontales en función de la fracción fina del suelo.



sultado del equilibrio entre la formación (por desarrollo de raíces, bioactividad, etc.) y su destrucción (tránsito, colapso natural, etc.).

Los cambios en el contenido de macroporos se reflejan en los mesoporos y en la densidad aparente del suelo, siendo determinados por los equilibrios naturales y por el manejo.

La densidad aparente es un indicador importante para determinar capas compactadas, las cuales pueden representar un impedimento físico para el desarrollo de los cultivos (Venanzi, Kruger, 2004).

Evidentemente, una de las mayores ventajas de la SD en las regiones semiárida y subhúmeda es favorecer la captación del agua de lluvia, almacenarla y mantenerla para los períodos de déficit. Un manejo no adecuado, que produzca compactación de las capas subsuperficiales, limitará el flujo de ingreso a las capas más profundas, perdiendo parte de las ventajas del sistema. En los diferentes sitios de estudio se encontraron capas más densas entre los 5 y 15 cm de profundidad.

La capacidad de almacenaje de agua útil para los cultivos en los 0-20 cm de los diferentes suelos osciló entre 32 y 34 mm. Sólo en el sitio FK NN fue menor posiblemente por su gran cantidad de macroporos.

En la Figura 2 se muestra la distribución de la relación entre los macroporos verticales/macroporos horizontales (MV/MH) ordenando los sitios por su contenido de fracción fina (limo, arcilla y arenas muy finas). Se observó que la relación tiende a disminuir en la medida que la fracción fina aumenta. Es decir, en la medida que predominan los materiales finos (principalmente arcillas y limos) aumenta la cantidad de poros horizontales respecto de los verticales. Cuando la relación es un valor mayor que 1 se favorecerá la formación de poros verticales en cambio cuando la relación es menor que 1, predominarán los poros horizontales. En la mayoría de los casos analizados, los valores estuvieron alrededor de 1 por las características de los suelos de esta región.

Sin embargo, en los casos de suelos de texturas finas que pueden presentar una orientación preferencial, este aspecto se debería tener en cuenta durante la determinación de la distribución del espacio poroso.

Bibliografía

- Drees L.R., A.D. Karathanasis, L.P. Wilding, R.L. Blevins. 1994. Micromorphological characteristics of long-term no-till and conventionally tilled soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 508-517
- Hill R.L., M. Meza-Monsalvo. 1990. Long-term wheel traffic effects on soil physical properties under different tillage system. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:865-870.
- Iglesias J., J. Galantini, R. Rosell, A. Miglierina, M. Landriscini. 1996. Cambios en la distribución del espacio poroso de un suelo Entic Haplustoll con diferentes secuencias de cultivos de la región semiárida de Argentina. *Agricultura Técnica*. Vol 56: 43-48.
- Kay B.D., A.J. VandenBygaart. 2002. Conservation tillage and depth stratification of porosity and soil organica matter. *Soil & Tillage Research* 66: 107-118.
- Moraes Sa J.C. 2003. Rastrojos: Alimento del suelo. X Congreso Nacional de AAPRESID, Rosario (SF), 135-138.
- Pagliai M., M. LaMarca, G. Lucamante. 1983. Micromorohometric and micromorphological investigation of a clay loam vitiviculture under zero and conventional tillage. *J Soil Sci.* 34: 391-403
- Pierce F.J., M.C. Fortín, M.J. Staton. 1994. Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Sci. Am. J.* 58:1782-1787
- Sasal M.C., A.E. Andriulo, M.A. Taboada. 2004. Orientación de poros en Argiudoles bajo siembra directa continua. CACS. Paraná
- Shipitalo M.J., R. Protz. 1987. Comparison of morphology and porosity of a soil under conventional and zero tillage. *Can J. Sci.* 67:445-456
- Van den Bygaart R., R. Protz, D. Tomlin. 1999. Changes in pore structure in a no-till chronosequence of silt loam soils, southern Notario. *Can. J. Soil Sci.* 79:149-160
- Venanzi S., H. Kruger. 2004. Crecimiento del cultivo de avena en función de la densidad aparente del suelo. IV Congreso Nacional de Trigo, Bahía Blanca (actas en CD)

Estratificación de las formas de fósforo en siembra directa y su relación con la disponibilidad para los cultivos.

- LILIANA SUÑER • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) – CERZOS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA.
- JUAN GALANTINI • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) – CERZOS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA.
- PATRICIO VARELA • LAHBIS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS.
- RAMÓN ROSELL • CONICET – DPTO. AGRONOMÍA.

Introducción

La falta de perturbación del suelo y el aporte de los residuos en siembra directa (SD) producen grandes cambios en la dinámica y distribución de la materia orgánica y en los nutrientes asociados a ella, en especial los poco móviles como es el caso del P (Franzluebbers, 2002). La acumulación superficial de residuos y la aplicación de fertilizantes fosfatados provoca una marcada estratificación de este nutriente, aumentando la concentración de sus formas disponibles en superficie (0-10 cm), (Calviño et al., 2000). Además existe en SD mayor variabilidad espacial de nutrientes derivada de la falta de homogeneización de la mezcla fertilizante-suelo producida por el laboreo y por aplicaciones localizadas. Esta estratificación en SD, principalmente del P, genera algunas dudas en cuanto al muestreo del suelo y al diagnóstico del requerimiento de fertilizante. ¿Es necesario redefinir la profundidad y la cantidad de submuestras dentro del muestreo de suelos? ¿Es necesario considerar otras formas de P disponibles para las plantas? (Essington, Howard, 2000). Se ha sugerido una profundidad de muestreo menor a la convencional (0-7,5 cm) como forma de no subestimar la disponibilidad para los cultivos. Pero al cambiar la profundidad de muestreo es necesario proceder a calibrar estos valores para interpretarlos correctamente en términos de disponibilidad para el cultivo y redefinir niveles críticos. Sin embargo, Zamuner et al. (2004) encontraron que a pesar de las diferencias en la estratificación del P extraíble (Pe), los niveles críticos en SD coincidieron con aquellos para labranza convencional (LC).

Así como otros nutrientes, el reciclaje de P a través de la biomasa microbiana es influenciado por los cambios en las propiedades físicas y químicas del suelo bajo SD. El mayor contenido de agua, de C y de N orgánicos que hay en SD se

refleja en una mayor población microbiana con respecto al suelo en LC. El contenido de P en la biomasa microbiana es mayor en los suelos bajo SD (Six et al., 2002). En los suelos altamente meteorizados con deficiencia de P, la disponibilidad para las plantas puede depender más del reciclaje del P orgánico (Po) de la biomasa microbiana que del P inorgánico (Tiessen, Shang, 1998). Estudios realizados en el sudeste de la provincia de Buenos Aires, mostraron incrementos significativos en el P de la biomasa microbiana a 0-20 cm de profundidad después de 8 años de SD en un suelo Argiudol Típico (Zamuner et al., 2004). Al incrementarse la actividad biológica en el suelo con SD, comienzan a predominar las fracciones orgánicas de P. En general, se observa que del P total edáfico, en suelos tropicales entre el 50 y 75 % corresponde a fracciones orgánicas (Moraes Sá, 2004), en cambio en suelos de regiones templadas entre el 30 y 40% del P total es orgánico (Suñer et al., 2005). Ferrari (2005) mostró una interesante contribución del fósforo orgánico para nutrir al cultivo de soja. El Po puede ser aprovechado por las plantas, pero sólo una pequeña parte es cuantificada por el método de Bray-Kurtz, el cual es el análisis de suelo más utilizado para el diagnóstico de la fertilización con P. El objetivo del presente trabajo fue evaluar los equilibrios y estratificación de las diferentes formas de P en suelos en siembra directa y su relación con el Pe.

Aspectos metodológicos

Se muestrearon 50 lotes con trigo pertenecientes a productores de la regional Bahía Blanca de AAPRESID. Se analizó el fósforo extraíble (Pe), inorgánico (Pi), orgánico (Po) y total (Pt) a las profundidades 0-1, 0-5, 5-10 y 10-20 cm. En la Tabla 1 se observan los valores medios ponderados para la profundidad 0-20 cm de cada forma de fósforo en cada uno de los sitios. La Figura 1 presenta

TABLA 1 | Valores medios ponderados (0-20 cm) de Pe, Po, Pi y Pt de los sitios experimentales analizados.

Sitio	Pe	Po	Pi	Pte
	ppm			
Kiessling	31	197	344	948
Inchausti	7	184	149	576
Navarro	4	196	282	782
Laurlund	5	169	212	743
Casali	9	108	241	632
Irastorza	7	151	161	564
Hogar Funke	18	243	354	928
Frayssinet	6	367	221	956
Emilia	7	272	206	797
Wendorff	8	288	354	880
Rigotti	6	305	194	772

FIGURA 1 | Variación del Pe en función de la profundidad de suelo.

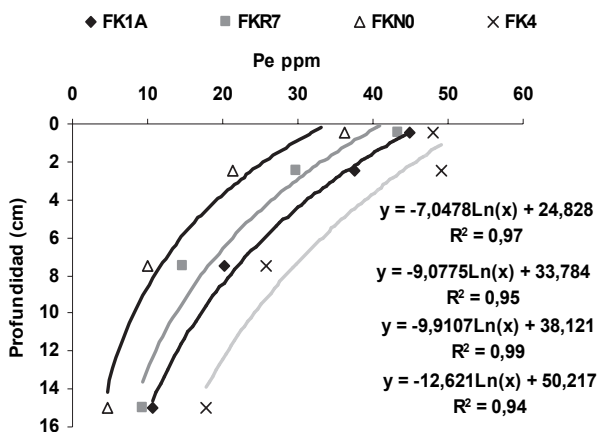
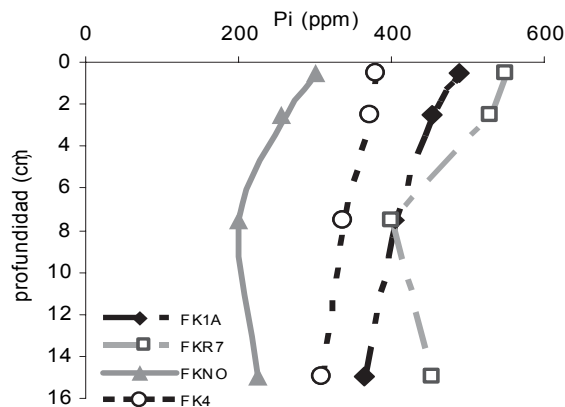


FIGURA 2 | Variación del Pi en función de la profundidad de suelo.



la variación de Pe con la profundidad para cuatro de los suelos estudiados. La acumulación superficial de residuos produjo niveles más altos de Pe en superficie; un comportamiento similar fue observado en suelos de Bordenave (Rausch et al., 2001).

FIGURA 3 | Variación del Po en función de la profundidad de suelo.

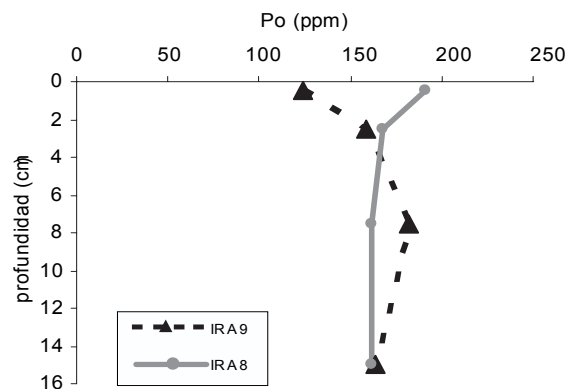
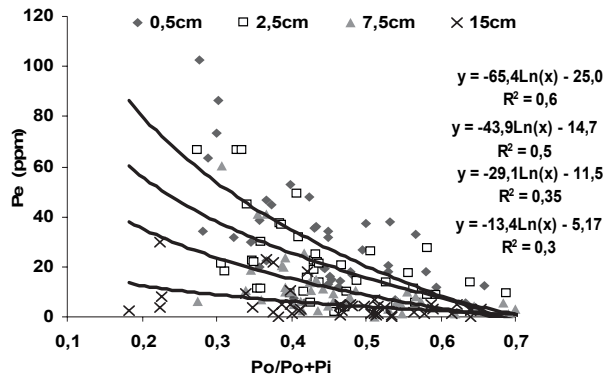


FIGURA 4 | Variación del contenido de Pe en función de las relaciones Po/Po+Pi.



El contenido de Pi disminuyó en forma menos marcada con la profundidad que el Pe (Figura 2). El contenido de Po en superficie (0-1 cm) presentó dos comportamientos diferentes, uno con un aumento respecto a los valores en profundidad y otro con una disminución, como consecuencia de una diferencia en la cantidad de residuos en ambos lotes (Figura 3). Las relaciones Po/Po + Pi estuvieron de acuerdo con el contenido de Pe de los suelos, ajustándose una ecuación logaritmo natural para explicar este comportamiento (Figura 4). Cuanto mayor fue la proporción de Po del suelo menor fue el Pe. Tal situación podría deberse a que el aumento del Po implica una disminución del Pi, siendo la fracción inorgánica de P lábil la principal fuente de Pe.

El equilibrio de la relación Pe y Po/Po + Pi cambió en las diferentes profundidades. Para una misma proporción de Po, el nivel de Pe observado aumentó en la medida que consideramos capas más superficiales. Por ejemplo, para el conjunto de los suelos analizados, el nivel de Pe esperado en un suelo con una relación de 0,4 (i.e., 40% del Po es orgánico) será aproximadamente: 39, 28, 18, y <10 para las profundidades 0-1, 0-5, 5-10 y 10-20 cm, respectivamente.

Estos resultados indicarían que en superficie el Po realiza un aporte signi-

TABLA 2 | Contenido de Po, Pi y Pt en un suelo bajo SD y LC.

Profundidad cm	Pe	Po	kg ha ⁻¹	
			Pi	Pt
SD				
0-5	32,9	155,5	216,6	408,0
5-10	21,1	120,1	225,4	498,9
10-15	6,7	123,7	169,2	468,1
15-20	6,6	123,6	169,2	468,1
Horizonte A	69,9	572,5	848,0	2030,4
LC				
0-5	16,2	140,6	198,0	316,5
5-10	16,6	100,1	215,8	465,8
10-15	6,3	112,1	169	450
15-20	6,3	112,1	168	449,7
Horizonte A	47,9	509,8	816,9	1861,6

ficativamente mayor al Pe que en profundidad. Esto podría asociarse a la mayor actividad microbiana y a la mayor cantidad de productos orgánicos de fácil descomposición. Evidentemente, el método Bray-Kurtz está fuertemente asociado a la fracción inorgánica del P y si bien una pequeña parte de la fracción orgánica está incluida, en siembra directa, este método no reflejaría la verdadera disponibilidad para los cultivos. Las diferencias serán mayores en la medida que mayor sea el tiempo bajo SD y mayor sea la reserva de P en la fracción más lábil de la materia orgánica (materia orgánica particulada o asociada a la fracción gruesa del suelo). En estudios previos (Suñer et al., 2005) se estudió la dinámica del P del suelo; la mayor parte del P contenido en la materia orgánica joven o particulada (asociada a la fracción gruesa del suelo) fue transformado en el proceso de mineralización de la MO. En siembra directa se observó que el contenido de P de la fracción gruesa es el que sufre mayores cambios, para incorporarse a la fracción fina del suelo por la acción de los microorganismos, o a la solución del suelo. Es decir que cuantificar el Po asociado a la fracción gruesa podría ser un indicador complementario de la fertilidad fosfórica potencial del suelo.

Efecto de largo plazo sobre el P edáfico

Se analizaron los datos obtenidos de un ensayo formado por dos parcelas, una bajo labranza convencional y otra bajo siembra directa (Galantini et al., 2007). Luego de 18 años con labranzas diferentes, LC produjo una disminución neta de todas las formas de P analizadas.

Las diferencias en los contenidos Po, Pi y Pt, para el horizonte A, en los dos sistemas de labranza fueron 63, 31, y 169 kg ha⁻¹ respectivamente (Tabla 2). La magnitud de los cambios y su redistribución en las profundidades estudiadas fue diferente para Po que para el Pi. El cambio en el contenido de Po (63 kg P ha⁻¹) fue el doble que el de Pi (31 kg P ha⁻¹). Las formas inorgánicas del P del suelo se encuentran en forma relativamente lábil (Pi) y en formas y/o lugares muy poco disponibles. Estas formas no disponibles en el corto plazo u ocluidas (Po_{ocl}) lentamente pasan a Pi.

Al considerar el cambio en el Pt (169 kg P ha⁻¹) se vio que la labranza puso disponible una gran parte del Po_{ocl} (75 kg P ha⁻¹, Pt-(Po+Pi) que finalmente se

TABLA 3 | Diferencia total y anual en el contenido de Po, Pi y Pt entre sistemas de labranza.

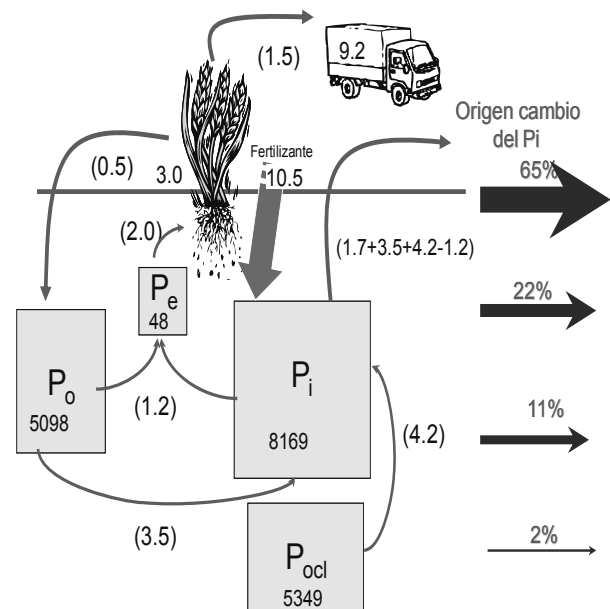
Profundidad cm	Pe	Po	kg ha ⁻¹	
			Pi	Pte
0-5	16,6	14,9	18,6	91,5
5-10	4,5	20,0	9,6	33,2
10-15	0,35	11,6	1,3	18,4
15-20	0,35	11,5	1,2	18,4
Horizonte A	22,0	62,7	31,1	168,8
kg ha⁻¹ año⁻¹				
0-5	0,92	0,83	1,03	5,08
5-10	0,25	1,11	0,53	1,85
10-15	0,02	0,64	0,07	1,02
15-20	0,02	0,64	0,07	1,02
Horizonte A	1,22	3,48	1,73	9,38

Contenido de P (kg ha⁻¹) de los diferentes compartimentos en LC, flujos relativos a SD entre compartimentos (entre paréntesis (SD-LC)/18 en kg ha⁻¹ año⁻¹). El origen del cambio del Pi indica las pérdidas relativas en las profundidades 0-1, 1-5, 5-10 y 10-20 cm.

perdió del sistema. El cambio en el contenido de Po (63 kg P ha⁻¹) fue el doble entre sistemas de labranza que el de Pi (31 kg P ha⁻¹). Sin embargo cuando se comparó con el cambio en el Pt (169 kg P ha⁻¹) se vio que fue significativamente menor, indicando que existió una pérdida de formas difícilmente accesibles o Po_{ocl}, las que las labranzas pondrían en condición de entrar al ciclo más dinámico del P edáfico.

Desde el punto de vista del cambio anual de las formas de P en el horizonte A, las diferencias fueron alrededor de 3,5; 1,7 y 9,4 kg ha⁻¹año⁻¹ para Po, Pi y Pt

FIGURA 5 | Contenido de P de los diferentes compartimentos en labranza convencional (kg/ha) y flujos relativos a la siembra directa (kg/ha/año)



respectivamente (Tabla 3). El cambio en el P_{oc1} fue 4,2 kg ha⁻¹año⁻¹, lo que estaría indicando una transferencia de las formas inorgánicas resistentes de P a las más lábiles, y aún así la reserva de P_i disminuyó a razón de 1,7 kg ha⁻¹. En la Figura 5 se presentan esquemáticamente los resultados obtenidos en las Tablas 1 y 2. Las cajas representan los contenidos (kg ha⁻¹) de los diferentes compartimentos estudiados en el sistema LC y las flechas llenas los principales flujos entre ellos. Los valores entre paréntesis son el cambio promedio anual respecto de SD, calculado como $(P_{xSD} - P_{xLC}) / 18$ en kg ha⁻¹ año⁻¹. La LC estimuló los flujos desde el P_{oc1} y P_o al P_i , así como las pérdidas de P_i , principalmente desde los primeros 0-5 cm de suelo (65 + 22%). Por otro lado, la SD estimuló el aumento del P_e , así como el reciclado (P en los residuos de cosecha y exportación (P en grano)).

Conclusiones

La siembra directa produce una estratificación de las formas de P, modifica la proporción de las formas orgánicas en las diferentes profundidades y cambia la relación entre las formas orgánicas y las disponibles.

La SD produce mayor ciclado y exportación del P, manteniendo la fracción oculta no disponible. El aumento de la MO en superficie hace que el P_e aumente en los primeros centímetros del suelo. La SD disminuye los flujos del P de las formas menos disponibles a las de mayor labilidad, y disminuye las pérdidas de las formas inorgánicas en superficie (por erosión) y de las orgánicas en la profundidad laboreada (por mineralización de la MO).

Bibliografía

- Calviño P., H. Echeverría, M. Redolatti. 2000. Trigo en siembra directa en el Sudeste Bonaerense: Diagnostico de necesidades de nitrógeno en función de la fertilización fosfatada. Actas XVII Congreso Argentino Ciencia del Suelo. III-14.
- Essington M., D. Howard. 2000. Phosphorus availability and speciation in long-term no-till and disk-till soil. *Soil Science* 165: 2 144-152
- Ferrari M. 2005. Fósforo en soja: el aporte de la fracción orgánica lábil del suelo". Actas XIII Congreso Nacional de Aapresid, Rosario, Santa Fe.
- Franzluebbers A.J. 2002 Soil organic matter stratification ratio as an indicator of soil quality. *Soil & Tillage Research* 66: 95-106.
- Galantini J.A., L.G. Suñer, J.O. Iglesias. 2007. Sistemas de labranza en el sudoeste bonaerense: Efectos de largo plazo sobre las formas de fósforo en el suelo. RIA INTA, en prensa
- Moraes Sá J.C. 2004. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: Fósforo na Agricultura Brasileira (eds.) T.Yamada & Abdalla, S. R. S., São Pedro-SP, Associação Brasileira para a Pesquisa da Potassa e Fosfato, Piracicaba-SP, p. 201-222, 726 p.
- Rausch A., J. Galantini, J. Iglesias, A. Albin, M. Barreiro, S. Venanzi, H. Kruger. 2001. Sistemas de labranzas: 2. Disponibilidad del P. V Congreso Nacional de Trigo, Carlos Paz, Córdoba.
- Six J., C. Feller, K. Denef, Stephen, H. Moraes Sá, A. Albrecht. 2002. Soil organic matter, biota and aggregation in temperate and tropical soils-Effects of no tillage. *Agronomie* 22 755-775.
- Suñer L.G., J.A. Galantini, R.A. Rosell. 2005. Cambios del fósforo en suelos bajo diferentes rotaciones de cultivos. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur INPOFOS* N° 25.
- Tiessen H, C. Shang. 1998. Organic matter turnover in tropical land use systems. 1-14. In *Carbon and nutrient dynamics in natural and agricultural tropical ecosystems*. CAB International.
- Zamuner E., L.I. Picone, H.E. Echeverría. 2004. Formas de fósforo en un suelo bajo labranza convencional y siembra directa. XIX Congreso Argentino Ciencia del Suelo. Paraná (ER).



LA SIEMBRA DIRECTA Y EL SUELO

ROTACIÓN DE CULTIVOS EN SD

FERTILIZACIÓN DEL TRIGO EN SD

LOS HERBICIDAS Y EL AMBIENTE

CALIDAD PANADERA DEL TRIGO

Efecto de las rotaciones con leguminosas y la fertilización.

- GABRIELA MINOLDO • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) – CERZOS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA.
- JUAN GALANTINI • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) – CERZOS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA.
- JULIO IGLESIAS • LAHBIS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS.

Introducción

El avance de la agricultura sobre la ganadería ha disminuido el contenido de materia orgánica (MO) del suelo, con el consiguiente efecto negativo sobre la disponibilidad de nutrientes, principalmente N, P y S, y el potencial productivo de los sistemas (García, 2005). En las regiones semiárida y subhúmeda, donde las lluvias generalmente son escasas y variables, un suministro adecuado de nutrientes permitirá maximizar la eficiencia en el uso del agua. Estos nutrientes deben ser aportados por la MO y la fertilización.

En el S y SO bonaerense, el trigo es el cultivo de invierno que ocupa la mayor superficie. En siembra directa (SD) se observó una respuesta generalizada al agregado de N que varía en la medida que las dosis aumentan (Galantini et al., 2006). Es por esto que, el manejo de la fertilización en SD requerirá una especial atención en lo que se refiere a las características del suelo, clima y manejo agronómico, que en conjunto influyen marcadamente sobre la eficiencia de uso de los nutrientes. En relación al manejo agronómico, es de suma importancia la secuencia de cultivos ya que modifica la cantidad y calidad de la MO del suelo y con ello el aporte de nutrientes para los cultivos futuros.

Se han observado importantes efectos de las leguminosas consociadas sobre las propiedades químicas del suelo (Miglierina et al., 2000), sobre la nutrición y el balance nutricional (Landriscini et al., 1997), así como sobre la productividad del cultivo de trigo implantado posteriormente, equivalente a la aplicación de 64 kg de N y 16 kg de P ha⁻¹ (Galantini et al., 1992). Todo esto es consecuencia del aporte de N atmosférico realizado por las leguminosas mediante fijación simbiótica y las características de su rizosfera, que incrementan la disponibilidad de fósforo.

Cabe destacar que la mejora en la conservación del agua con la SD ha dado mayor flexibilidad a los sistemas de producción, pudiendo diversificar los planteos e incluir oleaginosas (canola, girasol), legumbres (arveja, habas, lenteja) y forrajeras (avena, vicia) como parte de la rotación basada en trigo.

Una forma simple de estimar el aporte de N de una leguminosa es calcular el Valor de Reemplazo de Fertilizante, que es aquella dosis de fertilizante a la cual el trigo iguala en rendimiento al trigo con antecesor leguminosa y sin fertilizante. Este simple índice permite estimar el aporte de N de las leguminosas, si bien no considera los efectos de rotación a nivel químico, físico y biológico del suelo los cuales pueden ser muy importantes dentro del sistema.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto que tienen diferentes antecesores sobre el balance de nitrógeno y agua del suelo, sobre la respuesta a la aplicación de fertilizante y sobre el rendimiento.

Aspectos metodológicos

Para evaluar el efecto combinado de distintos antecesores y la fertilización sobre el rendimiento del trigo candeal (*Triticum durum* cv. Facón), en 2005 se plantearon ensayos de fertilización en 4 lotes contiguos pertenecientes al establecimiento “Cumelén” de Javier Irastorza, partido de Coronel Dorrego (38°48'S; 61°37'O). Estos sitios integran la red de ensayos de fertilización de la Regional Bahía Blanca de AAPRESID. Todos los lotes fueron cultivados con trigo candeal y los antecesores fueron: girasol, colza/soja, arveja y vicia. Las dosis de N consistieron en 30 kg ha⁻¹ como base durante la siembra y 0, 25, 50 y 100 kg ha⁻¹ en macollaje en forma de urea. En cada uno de los lotes se determinó el contenido de N de nitratos, S de sulfatos y la humedad en el perfil (el que presentó una capa de tosca limitante entre los 40 y 60 cm). Se analizó el contenido de materia orgánica particulada (MOP) en 0-20 cm.

Resultados obtenidos y Discusión

Las características climáticas del año en que se realizó la experiencia fueron particulares, ya que fue una de las sequías más intensas registradas. Las precipitaciones fueron escasas tanto antes la siembra, lo que no permitió la

recarga del perfil en los barbechos cortos, como durante el ciclo del cultivo (Figura 1). Si bien esta situación tan adversa es poco frecuente y hace que los resultados obtenidos no puedan ser extrapolados, se pudieron realizar interesantes observaciones:

- El cultivo antecesor produjo efectos significativos sobre el contenido de N disponible, la humedad del suelo y la materia orgánica particulada (Tabla 1).
- El contenido de N disponible en el suelo a la siembra del trigo fue mucho mayor después de las leguminosas de invierno. La cantidad fue adecuada (arveja, 132 kg ha⁻¹) a excesiva (vicia, 161 kg ha⁻¹) para los requerimientos normales del trigo. Esta disponibilidad de N fue consecuencia de la actividad fijadora de las leguminosas, de la mayor descomposición de residuos debido a su calidad y la mayor duración del periodo en barbecho así como del posible efecto de estimulación del N sobre la descomposición de la MO nativa.
- La humedad en el suelo fue mucho menor después de los cultivos de verano, consecuencia del mayor uso y la ausencia de precipitaciones en el corto barbecho.
- El doble cultivo colza/soja redujo el agua disponible para el cultivo siguiente, pero a la vez aumento la cantidad de N disponible. Se observaron aproximadamente 50 kg de N adicionales luego de la soja con respecto al girasol. A diferencia de lo ocurrido con los antecesores vicia y arveja, una fracción mucho menor de N, podría estar originada por la descomposición de residuos y la mineralización de la MO nativa. Esto se debería al corto periodo de barbecho y a la escasa humedad prevaletiente durante el mismo.
- El contenido de MO particulada (MOP) no mostró grandes diferencias entre antecesores al momento de la siembra del trigo. Seguramente, el aporte de las leguminosas de invierno contó con tiempo, nitrógeno y humedad para una activa descomposición la que brindó una cantidad muy alta de N disponible a la siembra. Por otro lado, si bien los aportes de los cultivos de verano no fueron grandes, no tuvieron el tiempo, ni el agua para su descomposición.

TABLA 1 | Contenido de N como nitratos, S como sulfatos, humedad y MOP al momento de la siembra del trigo con los diferentes antecesores.

	girasol	colza/soja	arveja	vicia
N-NO ₃ (kg ha ⁻¹)	30	80	132	161
Humedad (%)	18	15	25	20
UC, mm	251	220	330	265
MOP, Mg ha ⁻¹	6,0	4,8	4,1	5,3
S-SO ₄ (ppm)	11,7	10,5	13,3	12,7

UC, Uso consuntivo de agua; MOP, Materia orgánica particulada

Aproximadamente en el periodo de hoja bandera pudieron distinguirse claramente los antecesores de verano e invierno analizando la producción de materia seca (Figura 2).

Las leguminosas de invierno mostraron un comportamiento inverso. El antecesor arveja produjo una cantidad de N adecuada para la máxima producción de materia seca (MS) del trigo y la fertilización no tuvo efecto alguno.

FIGURA 1 | Precipitación mensual durante el año 2005, Establecimiento Cumelen de J. Raistorza.

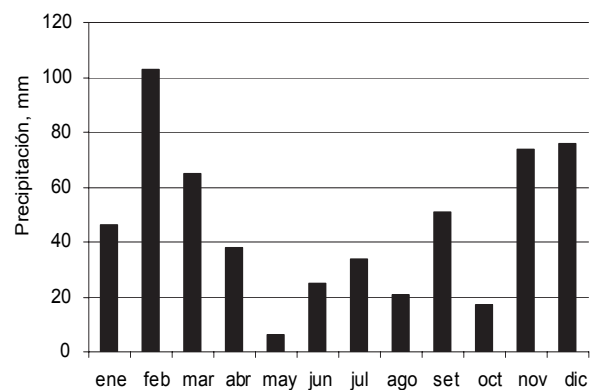


FIGURA 2 | Producción de material seco del trigo durante hoja bandera para los diferentes antecesores y dosis aplicadas.

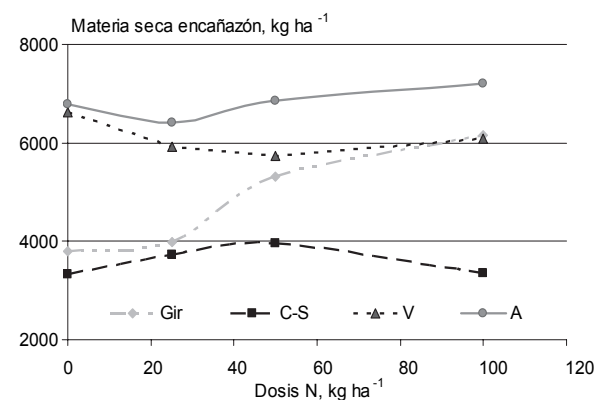
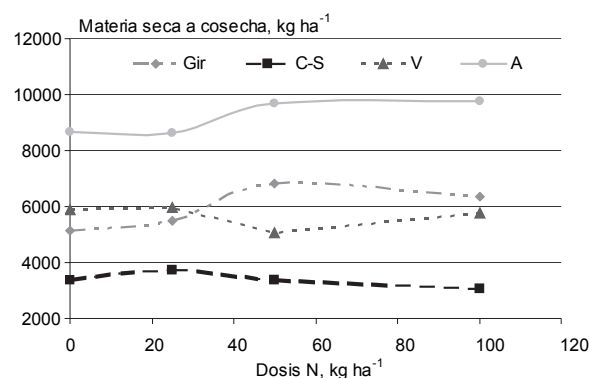


FIGURA 3 | Producción de material seco del trigo durante madurez fisiológica para los diferentes antecesores y dosis aplicadas.



En cambio, en el antecesor vicia el N a la siembra resultó excesivo, por lo cual cualquier aplicación adicional produjo un efecto depresor sobre el rendimiento de la MS.

El antecesor colza/soja, con menor cantidad de agua y mayor de N, produjo la misma cantidad MS en el testigo pero no se observó respuesta a la aplicación de N, como ocurrió con el girasol. Es decir que, para la cantidad de agua dispo-

nible, el N al inicio fue suficiente para alcanzar la máxima producción de MS. En cambio, los 30 kg de N aplicados a la siembra no permitieron maximizar la producción de MS. La fertilización mejoró la eficiencia de utilización de la escasa cantidad de agua disponible.

Los resultados de MS total aérea en hoja bandera y madurez fisiológica fueron prácticamente idénticos, entre todos los antecesores (Figura 3). La única diferencia fue el aumento de MS producida en el trigo con arveja como antecesor, que contó con mayor cantidad de agua al momento de la siembra y adecuados niveles de N. En cambio, el trigo con antecesor vicia, por su menor dispo-

nibilidad de humedad y excesivo N, produjo una cantidad significativamente menor de MS a cosecha. A nivel de lote, el rendimiento en grano obtenido por el productor fue 2400 kg ha⁻¹, para los antecesores arveja y vicia, y 1100 kg ha⁻¹ para los antecesores girasol y colza/soja.

Conclusiones

En situaciones de muy baja disponibilidad hídrica, los barbechos cortos no permiten acumular el agua necesaria para el cultivo siguiente, de forma tal que no puede ser aprovechado el favorable efecto de las leguminosas como antecesores sobre el N del suelo.

Bibliografía

Galantini J., G. Minoldo, M.R. Landriscini, R. Fernandez, J. Cachiarelli, J.O. Iglesias. 2006. Trigo: Fertilización con nitrógeno y azufre en el sur y sudoeste bonaerense. *Informaciones agronómicas del Cono Sur. INPOFOS Informaciones Agronómicas* 29: 23-25.

Galantini J.A., J.O. Iglesias, A.M. Miglierina, R.A. Rosell, A. Glave. 1992. Rotación y fertilización en sistemas de producción de la región semiárida argentina. I. Productividad (calidad y rendimiento) del trigo. *Rev. Fac. Agronomía (U.B.A.)* 13 (1) 67-75

García F.O. 2005. INPOFOS CONO SUR. www.inpofos.org.ar

Landriscini M.R., J.A. Galantini, R.A. Rosell. 1997. Determinación de normas para la aplicación del sistema DRIS en el cultivo de trigo de la región semiárida Bonaerense. *Ciencia del Suelo* 15: 17-21.

Miglierina A.M., J.O. Iglesias, M.R. Landriscini, J.A. Galantini, R.A. Rosell. 2000. The effects of crop rotations and fertilization on wheat productivity in the Pampean semiarid region of Argentina. 1. Soil physical and chemical properties. *Soil Tillage Research* 53: 129-135.

Contenido y calidad de la materia orgánica particulada del suelo.

- JUAN GALANTINI • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) – CERZOS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA.
- MARÍA LANDRISCINI • CONICET, DPTO. AGRONOMÍA - UNS
- CAROLINA HEVIA • LAHBIS, DPTO. AGRONOMÍA.

36

ROTACIÓN DE CULTIVOS EN SD

Introducción

La materia orgánica (MO) del suelo es un elemento clave para mantener la productividad de los agrosistemas. Sin embargo, en pocos casos se ha observado una relación cuantitativa directa entre la MO y la productividad. Lucas (1977) encontró que el rendimiento potencial del maíz y el contenido de MO del suelo estaban relacionados. Bauer y Black (1994) obtuvieron 15,6 kg de trigo ha⁻¹ por cada Mg de MO del suelo (0-0,305 m), dentro del rango 64-142 Mg MO ha⁻¹. En los suelos de la región semiárida pampeana la MO explicó el 27% de la variabilidad de los rendimientos de trigo (Díaz Zorita, 1994). Estos ejemplos representan condiciones particulares y poco extrapolables, motivo por el cual el contenido de MO es poco utilizado como herramienta de diagnóstico durante la fertilización. Esto se debe principalmente a que:

- la pérdida de MO favorece inicialmente a los cultivos pero existen umbrales a partir de los cuales se ven los efectos adversos de esa pérdida;
- generalmente el efecto es indirecto;
- hay factores que modifican el contenido de MO más que las prácticas de manejo;
- no toda la MO tiene la misma función.

Si bien estos aspectos explican la baja relación encontrada, el último punto es de suma importancia. Esto se debe a que no toda la fracción orgánica del suelo contribuye de la misma forma a la productividad de los cultivos, la mayor parte interviene sólo indirectamente. La MO se encuentra en el suelo en un continuo estado de transformación, donde no existen límites definidos y desde el punto de vista conceptual es importante fijarlos. Se pueden definir varios compartimentos discretos con una relación negativa entre tamaño y velocidad de descomposición, donde las fracciones más abundantes se descomponen más lentamente (Smith et al., 1999).

La facilidad con que se descomponga (o labilidad) de cada uno de estos com-

partimentos dependerá de la composición química, de la relación C:N, del estado de humificación y de su posición dentro de la matriz del suelo (Goldchin et al., 1995).

La variación de las fracciones lábiles, que representan una pequeña pero muy activa parte de la materia orgánica, será muy difícil de detectar si se analiza el total de MO y no las diferentes fracciones. Estas fracciones son indicadores sensibles del efecto de los diferentes manejos agronómicos y sus contenidos de N, P, K, S, etc. están directamente relacionados con la disponibilidad de nutrientes para los cultivos (Gregorich, Ellert, 1993).

Desde el punto de vista de la fertilidad del suelo, se pueden diferenciar dos fracciones con características, composición y funciones diferentes: la MO humificada o asociada a la fracción mineral del suelo (MOM) y la joven o particulada (MOP). Esta última es la fracción más dinámica y se relaciona directamente con la disponibilidad de nutrientes para el cultivo (Galantini, Rosell, 1997; Galantini, 2005). La dinámica de la liberación de los nutrientes contenidos en ella dependerá del balance entre los procesos de mineralización e inmovilización producto de la actividad de las bacterias y hongos descomponedores (Salas et al., 2003).

Relación con la productividad

En uno de los primeros estudios realizados para evaluar el efecto de las fracciones orgánicas, Galantini et al. (1992) analizaron tres secuencias diferentes de cultivos de la región semiárida pampeana: cultivos anuales con trigo, campo natural con trigo y pastura con trigo. Se observaron pequeñas diferencias en el contenido de MO total del suelo entre las secuencias (coeficiente de variación, CV= 2%), las que no reflejaban las características tan marcadamente diferentes de los sistemas de producción, ni las diferencias en el rendimiento del trigo (Tabla 1). Sin embargo, las diferencias en la cantidad de MOP eran importantes (CV= 23%), así como la cantidad estimada de MOP descompuesta

TABLA 1 | Contenido de MOT y MOP y estimación del N mineralizado.

	MOT		MOP		N Mineralizado	
	Determinada	Estimada	Mineralizada	N-MOP	N-MOM	
	Mg ha ⁻¹			Kg ha ⁻¹		
Cultivos - trigo	53.4	9.7	1.9	88.4	14.2	
Natural - trigo	52.3	6.4	1.3	64.5	7.9	
Pastura - trigo	54.4	10.2	2.7	133.6	15.1	

N-MOP, Nitrógeno mineralizado o liberado de la materia orgánica particulada
 N-MOM, Nitrógeno mineralizado o liberado de la materia orgánica asociada a la fracción mineral o humificada.

(mineralizada) durante el ciclo del cultivo siguiente y el N liberado (CV=37 %). En este sentido, la mayor parte del N que se midió en el cultivo siguiente (cerca del 88%) provenía de la mineralización de la MOP y sólo una pequeña fracción de la mineralización de la MO humificada.

Estos resultados estarían indicando que el contenido de MOP es sensible para detectar diferencias entre los sistemas de producción y aporta la mayor parte del N que necesita el cultivo siguiente a través de su mineralización.

En base a los antecedentes presentados, se postula que la MOP es una reserva importante de nutrientes potencialmente disponible que varía en contenido y calidad en función del cultivo antecesor. Para confirmar esta afirmación, se analizaron suelos de una red de ensayos de fertilización en campos de productores a fin de:

- Cuantificar la MOP presente en los 0-20 cm de suelo y el contenido de nutrientes en ella presente;
- Evaluar el efecto del cultivo antecesor sobre la cantidad y calidad de la MOP.

Aspectos metodológicos

Durante los años 2003 y 2004 se tomaron muestras de 85 suelos de una red de ensayos de fertilización con N y S en lotes de productores de la Regional Bahía Blanca de AAPRESID. Los ensayos se ubicaron en los partidos de Bahía Blanca, Coronel. Dorrego, Tornquist, Pigüé, Coronel. Suárez y Coronel. Pringles, abarcando una amplia variabilidad de suelos y de cultivos antecesores. Se tomaron muestras compuestas (10 submuestras) de suelos durante la siembra del trigo a la profundidad 0-20 cm.

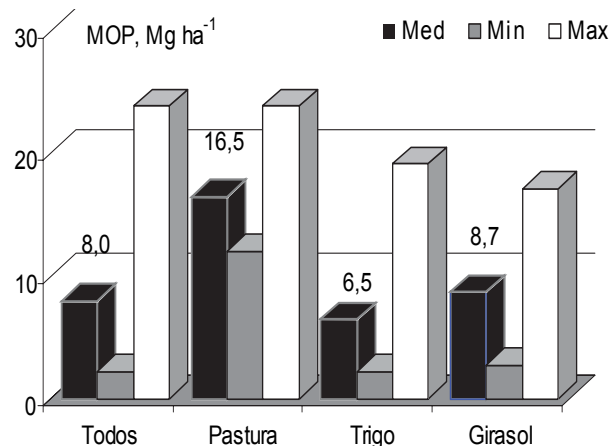
Se realizó un fraccionamiento físico de la MO por tamizado en húmedo usando un diámetro de partícula de 100 µm (Galantini, 2005). Sobre la fracción gruesa (100-2000 µm) se determinó el contenido de MOP y de N. En la misma fracción gruesa se realizó una separación por densidad en agua, separando las arenas de la MOP. El material obtenido se secó, se homogeneizó y se determinaron los contenidos de P, K y S. Todos los nutrientes analizados fueron evaluados en función de su concentración (una idea de la calidad de la MOP) y de su cantidad,

transformando la concentración a toneladas (Mg) o kg ha⁻¹ de nutrientes presentes en la MOP utilizando la densidad aparente obtenida o estimada (1,20 Mg m⁻³). Los resultados se agruparon según el cultivo antecesor en: antecesor trigo, antecesor girasol y antecesor pasturas. Estas últimas fueron 8, la mitad pasto llorón y la otra mitad de consociadas con alfalfa.

Resultados obtenidos y Discusión

El contenido de MOP promedio para los 85 suelos analizados fue 8,0 Mg ha⁻¹, variando entre 2,2 y 23,9 Mg ha⁻¹ (Figura 1). Estos valores corresponden al final del barbecho y siembra del trigo, por lo que no son los valores máximos esperables en la cosecha, en suelos sin cultivar o con pasturas. El máximo valor encontrado en una pastura de 36 años fue de 36 Mg ha⁻¹. Teniendo en cuenta el cultivo antecesor los tres grupos (antecesor pastura, antecesor trigo o antecesor girasol) presentaron valores diferentes, con promedios 16,5; 6,5 y 8,7 Mg ha⁻¹ de MOP, respectivamente.

FIGURA 1 | Contenido medio, mínimo y máximo de la MOP (Mg ha⁻¹) de los suelos estudiados (0-20 cm).



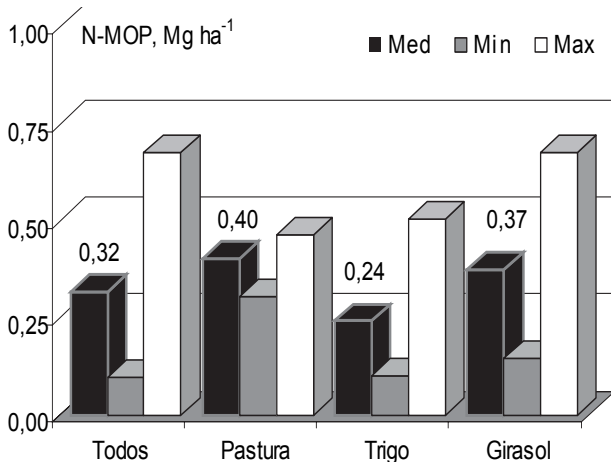
En promedio, los suelos con antecesor pastura tuvieron aproximadamente el doble de MOP que aquellos con antecesor trigo o girasol. La variabilidad encontrada en los resultados fue menor para el antecesor pastura que para el trigo o el girasol. En algunos casos el antecesor trigo presentó altos valores de MOP, consecuencia de alguna pastura en su historia reciente. Esto pone de manifiesto que el efecto de la pastura sobre el nivel de MOP perdura por varios años. Las diferencias encontradas en el contenido de MOP en suelos con girasol o trigo como antecesor, podrían relacionarse a la elección de mejores suelos para el girasol y a los barbechos estivales y más largos para el trigo. Durante el barbecho del trigo la humedad y temperatura favorecen la mineralización de los residuos y de la MOP, mientras que en el girasol el cultivo está en crecimiento, interceptando la energía y consumiendo el agua y los nutrientes disponibles. En el primer caso, las condiciones son favorables para la descomposición, mientras que en el segundo hay aportes de materia seca (raíces) y condiciones desfavorables.

Considerando que la MOP es la fracción más lábil de la MO, es importante conocer su contenido en los suelos, pero también el aporte de nutrientes que puede hacer.

El contenido medio de N, P, K y S en la MOP fue 320, 7,7, 47,7 y 25,5 kg ha⁻¹, respectivamente, representando una importante reserva de nutrientes. La variabilidad encontrada indicaría diferencias sustanciales en la fertilidad potencial de los suelos estudiados.

El contenido de N para el promedio de los suelos fue 320 kg ha⁻¹, con promedios de 400, 240 y 370 kg ha⁻¹ para los antecesores pasturas, trigo y girasol, respectivamente (Figura 2). Si bien no todo el N está disponible para el cultivo y se requieren estudios más profundos para determinar ese valor, representa una importante fuente de nutrientes potencialmente disponible cuando se compara con los requerimientos de los cultivos. Las condiciones climáticas favorables para el desarrollo de los cultivos también lo son para los procesos de mineralización de las fracciones orgánicas. Estos dos procesos están en cierto modo sincronizados, por lo que sólo es necesario conocer qué parte de los requerimientos no son satisfechos.

FIGURA 2 | Contenido medio, mínimo y máximo de N (Mg ha⁻¹) en la MOP de los suelos estudiados (0-20 cm).



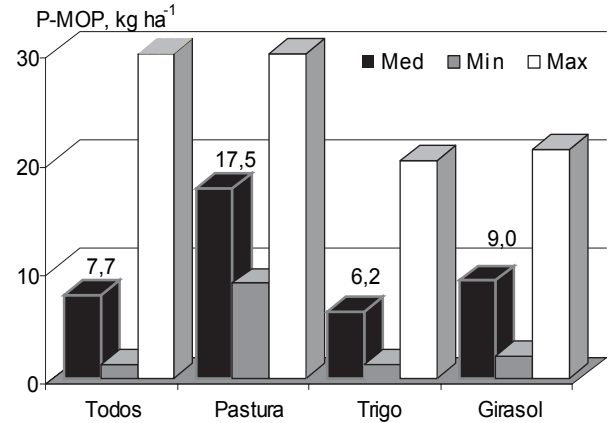
El contenido promedio de P en la MOP fue de 7,7 kg ha⁻¹, siendo de 17,5 para el antecesor pastura, 6,2 para el trigo y 9,0 para girasol. (Figura 3).

Algunos estudios han encontrado que los suelos con antecesor pastura generalmente presentan muy bajos valores de P disponible (Echeverría et al., 1993), posiblemente debido a que una parte importante del P medianamente lábil está en la fracción orgánica, como sugieren los datos obtenidos.

Por otro lado, si bien la cantidad de P en la MOP es importante, para satisfacer los requerimientos de los cultivos es necesario el aporte de las formas inorgánicas.

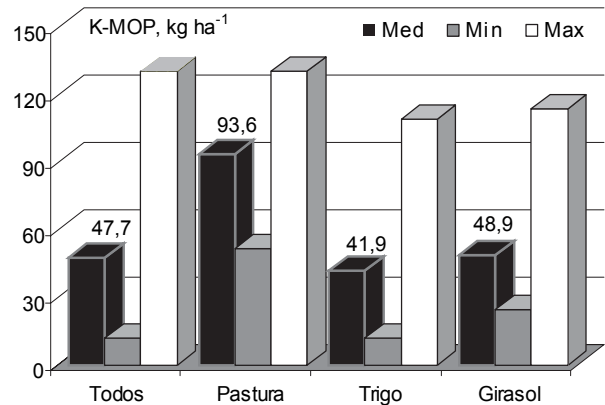
El contenido de K siguió las oscilaciones anteriormente mencionadas y las cantidades fueron importantes, desde 50 hasta más de 90 kg ha⁻¹. (Figura 4)

FIGURA 3 | Contenido medio, mínimo y máximo de P (Mg ha⁻¹) en la MOP en los suelos estudiados (0-20 cm).



De la misma forma que para los otros nutrientes mencionados, la MOP es una importante fuente de S. En promedio se observó 25,5 kg de S ha⁻¹, la que sería una cantidad importante para el cultivo de trigo (Figura 5). Este puede ser uno de los factores que enmascara la respuesta a la aplicación de fertilizantes con S. En la mayoría de estos ensayos de fertilización con S se han observado respuestas en el desarrollo inicial del cultivo, con diferencias en el color y en la producción de materia seca del trigo (Galantini et al., 2006), posiblemente en coincidencia con períodos de menores temperaturas en donde la mineralización de las fracciones orgánicas es menor. Al final del ciclo estas diferencias no se observaron.

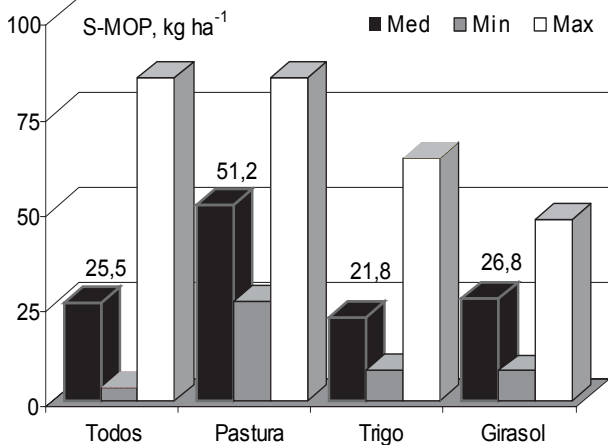
FIGURA 4 | Contenido de K (Mg ha⁻¹) en la MOP en los 0-20 cm de los suelos en estudio según diversos cultivos antecesores.



En promedio para los 85 suelos de la región en estudio se determinó que cada tonelada la MOP aporta a la reserva de nutrientes potencialmente disponibles:

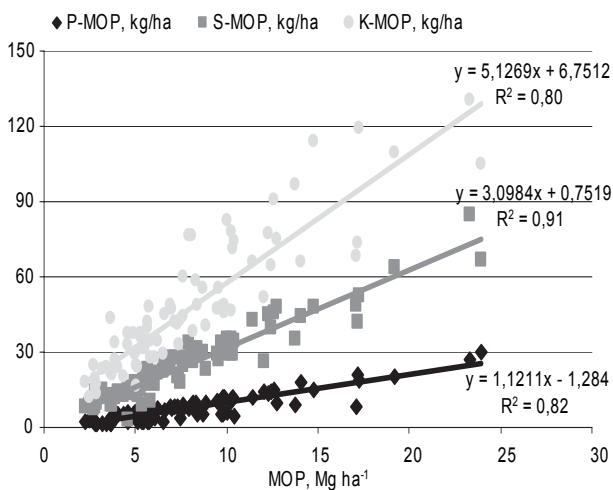
	N	P	K	S
kg ha ¹	40	1	6	3

FIGURA 5 | Contenido medio, mínimo y máximo de S (Mg ha⁻¹) en la MOP de los suelos estudiados (0-20 cm).



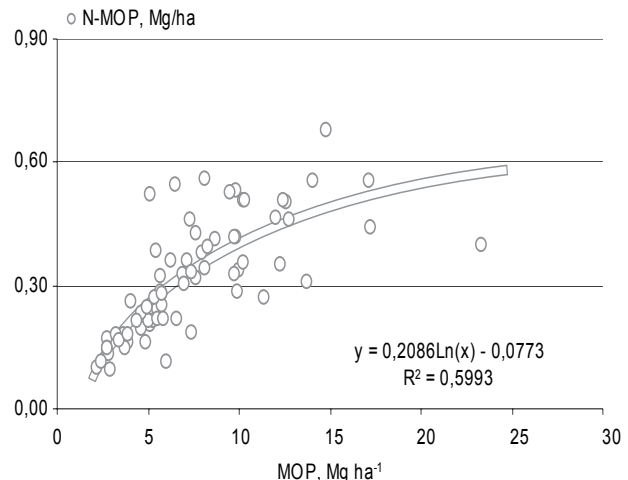
La variación del contenido de estos nutrientes estuvo principalmente asociada a la variación en el contenido de MOP que fue aproximadamente 10 veces más alto en el suelo con mayor contenido (23,9 Mg ha⁻¹) que en el de menor (2,2 Mg ha⁻¹).

FIGURA 6 | Relación entre la MOP y los contenidos de P, K y S.



Las relaciones entre la MOP y los contenidos de P, K y S fueron lineales, altamente significativas y con ajustes elevados (R² = 0,82, 0,80 y 0,91, respectivamente), indicando que la principal fuente de variación fue el contenido de MOP (Figura 6). En el caso del contenido de N, el mejor ajuste se obtuvo con el modelo logarítmico (R²=0,60), aunque fue menor que los obtenidos para el P, K y S, poniendo en evidencia una mayor variabilidad de la concentración de N en la MOP. Se pudo observar (Figura 7) que por debajo de 5 Mg de MOP ha⁻¹ la relación fue lineal y la variabilidad fue menor, mientras que para valores mayores la variabilidad aumentó y la relación cambió. Estas diferencias podrían asociarse al déficit de

FIGURA 7 | Relación entre la MOP y el contenido de N.



N en suelos de baja fertilidad que limitarían el ritmo de acumulación y descomposición del material orgánico que entra al suelo.

En general, los suelos con antecesor pastura contuvieron más del doble de N, P, K y S que los de antecesores trigo y girasol. En estos suelos, la variabilidad de MOP y sus nutrientes fue baja, debido a su alta fertilidad y al menor número de situaciones consideradas, por ser un antecesor poco común en la región. Por otro lado, si bien los contenidos más altos de N en la MOP estuvieron asociados a las pasturas, existieron importantes diferencias debidas a la calidad de las mismas. Los puntos correspondientes a pasturas con leguminosas (principalmente alfalfa) se ubicaron por encima de la línea promedio y aquellas con pasto llorón (*Eragrostis curvula*) por debajo de la misma.

Los resultados pusieron en evidencia el efecto del cultivo antecesor por lo que se necesita continuar con los estudios para determinar el efecto de la secuencia previa y los cambios en las relaciones C:N:P:K:S.

Conclusiones

La cantidad de MOP del suelo es muy variable y representa una importante reserva nutricional para los cultivos, pudiendo asociar su calidad con los contenidos de N, P, K y S. El cultivo antecesor sería el principal responsable de esa variabilidad como de los macronutrientes contenidos en ella.

En los suelos estudiados cada tonelada de MOP almacenada equivale, en promedio, a una reserva de 40, 1, 6 y 3 kg de N, P, K y S ha⁻¹, respectivamente.

Las pasturas serían responsables de los mayores contenidos de MOP y nutrientes a la siembra del cultivo siguiente, con alta variabilidad del contenido de N, dependiendo de la calidad de la pastura.

Bibliografía

- Bauer A., A.L. Black. 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58:185-193.
- Echeverría N., T.Grossi, C.A.Purricelli, H. Pelta. 1993. Evolución de cuatro parámetros del suelo en dos manejos contrastados., *Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.* p305.
- Galantini J.A., R.A. Rosell, A.E. Andriulo, A.M. Miglierina, J.O. Iglesias. 1992. Humification and N mineralization of crop residues in semi-arid Argentina. *The Science of the Total Environment (Holanda)*, 117/118: 263-270
- Galantini J.A., R.A. Rosell. 1997. Organic fractions, N, P, and S changes in a semiarid Haplustoll of Argentine under different crop sequences. *Soil and Tillage Research* 42: 221-228.
- Galantini J.A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: Manual "Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios" (Eds. L. Marban y S. Ratto) AACs. Capítulo IV parte 2, 95-106.
- Galantini J.A., Minoldo G., Landriscini M.R., Fernandez R., Cachiarelli J., Iglesias J.O. 2006. Trigo: Fertilización con N y S en el sur y sudoeste bonaerense. *Informaciones agronómicas del Cono Sur. INPOFOS Informaciones Agronómicas* 29: 23-25.
- Goldchin A., J.M. Oades, J.O. Skjemstad, P. Clarke. 1995. Structural and dynamic properties of soil organic matter as reflected by ¹³C natural abundance, pyrolysis and ¹³C NMR spectrometry in density fractions of an Oxisol under forest and pasture. *Aust. J. Soil Res.* 33: 59-76.
- Gregorich E., B.H. Ellert. 1993. Light fraction and macroorganic matter in mineral soils. In: M.R. Carter (Ed.) *Soil Sampling Methods of Analysis*, Lewis Publisher, Boca Raton, pp. 175–203.
- Lucas, R.E., J.B. Holtman, and J.L. Connor. 1977. Soil carbon dynamics and cropping practices. pp. 333–451. In *Agriculture and Energy* (W. Lockeretz, ed.). Academic Press. New York, NY.
- Salas A.M., E. T. Elliott, D. G. Westfall, C. V. Cole, J. Six. 2003. The Role of Particulate Organic Matter in Phosphorus Cycling. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 67: 181 – 189.
- Smith H.J., H. Fischer, M. Wahlen, D. Mastroianni, B. Deck. 1999. Dual modes of the carbon cycle since the last glacial maximum. *Nature* 400:248-250.



LA SIEMBRA DIRECTA Y EL SUELO

ROTACIÓN DE CULTIVOS EN SD

FERTILIZACION DEL TRIGO EN SD

LOS HERBICIDAS Y EL AMBIENTE

CALIDAD PANADERA DEL TRIGO

Las fracciones orgánicas como herramienta de diagnóstico.

- JUAN GALANTINI • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC), CERZOS - DPTO. AGRONOMÍA - UNS.
- MARÍA LANDRISINI • CONICET, DPTO. AGRONOMÍA - UNS.
- JULIO IGLESIAS • DPTO. AGRONOMÍA - UNS
- GABRIELA MINOLDO • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC), CERZOS. DPTO. AGRONOMÍA - UNS.
- RODRIGO FERNÁNDEZ • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC), CERZOS. DPTO. AGRONOMÍA - UNS.

Introducción

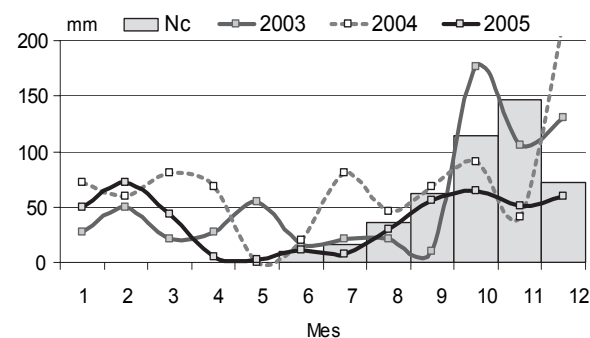
En los últimos años ha aumentado el interés por la sustentabilidad y la reducción de los costos ambientales de los ecosistemas agrícolas. Un sistema sustentable debe satisfacer las necesidades en el tiempo, mantener la producción o aumentarla al ritmo de la necesidad de alimentos sin degradar el recurso ni el medio ambiente. Es decir, se debe conocer el potencial productivo actual de cada agrosistema, maximizar la eficiencia en el uso de los recursos y minimizar los efectos ambientales.

Los factores más importantes que determinan el potencial de rendimiento de cada sitio se los pueden agrupar en aquellos relacionados con el clima, con el suelo, con la genética y con el manejo. Los factores naturales definen el potencial productivo (suelo y clima) y el manejo define cuánto de ese potencial se logra (prácticas agronómicas). Existe una fuerte interrelación entre suelo-clima-manejo, generando una amplia variabilidad de situaciones. Los aspectos más importantes para el área de influencia de la regional Bahía Blanca de AAPRESID son: clima (variabilidad y déficit hídrico), suelo (textura, profundidad y estructura) y manejo (rotación, labranza, fertilización, etc.).

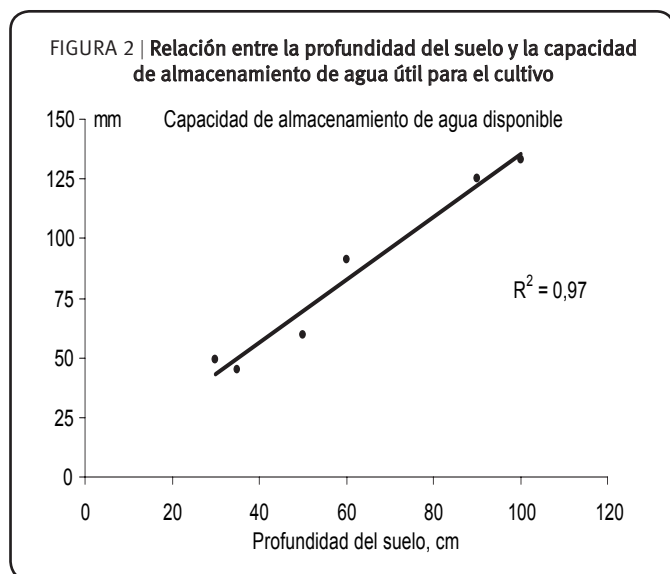
- **La variabilidad climática.** Una particularidad de la región es que alternan años secos y otros húmedos, lo que en promedio brinda esa característica “semiárida”. Son más frecuente años secos o húmedos, más que los años con lluvias “normales”.
- **El déficit hídrico.** La distribución de las lluvias en el año define la posibilidad de satisfacer el requerimiento de agua para el cultivo, y por lo tanto, su potencial de rendimiento. La necesidad de los cereales de invierno (Nc) es menor que las lluvias ocurridas durante el otoño e invierno, pero mayor durante la primavera (Figura 1). En los momentos en donde se define el rendimiento, las lluvias son variables y/o deficitarias.

- **La textura del suelo,** definida como la relación entre los diferentes tamaños de partículas (arena, limo y arcilla), modifica la cantidad, calidad y distribución de la materia orgánica (Galantini et al., 2004); el contenido y retención de agua; así como el contenido y disponibilidad de nutrientes.
- **La profundidad** de los suelos de la región generalmente está limitada por una capa de calcáreo o tosca entre los 0,3 y 1,2 m. Esto limita la capacidad de almacenar agua para cubrir los momentos de déficit y el volumen de suelo que puede explorar un cultivo en busca de nutrientes. En el Criadero de Semillas de ACA-Cabildo, se determinó que suelos con 30 cm de profundidad podían almacenar 50 mm de agua útil, mientras que aquéllos de 1 m llegaban hasta 125 mm (Figura 2). Esta diferencia define en qué medida se puede cubrir el déficit de los momentos críticos.
- **La estructura** es el arreglo u ordenamiento de las partículas minerales y los compuestos orgánicos de variada composición que dan lugar a la formación de agregados de diferente tamaño y estabilidad. En base a la es-

FIGURA 1 | Precipitación mensual y necesidad teórica de los cultivos de invierno (Nc), Establecimiento La Constancia, años 2003, 2004 y 2005.



estructura será el equilibrio entre la fase sólida y el espacio poroso del suelo, determinando el balance entre agua-aire-sólido, así como la dinámica del agua, la actividad biológica y la disponibilidad de nutrientes.



La cantidad y distribución de las lluvias, así como la profundidad del suelo son aspectos que deben conocerse perfectamente para plantear la estrategia de manejo del cultivo en cada lote. Las prácticas de manejo (selección de los cultivos, rotaciones, labranza, fertilización, etc.) modifican directa e indirectamente los equilibrios de la MO, la dinámica de nutrientes, la biodiversidad, el balance de agua, plagas y enfermedades.

Este complejo panorama requiere una visión integradora del sistema de producción: “Usar la información existente para comprender como funciona el sistema, analizar las diferentes alternativas y utilizar las herramientas de manejo para lograr una producción sustentable”.

La fertilización es una herramienta clave dentro de un manejo agronómico integrado. En las regiones semiárida y subhúmeda este manejo debe ser mucho más eficiente. Por este motivo, la hipótesis de trabajo planteada fue la siguiente: la cantidad y la calidad de las fracciones orgánicas son importantes indicadores para el manejo de la fertilización y deben considerarse en conjunto con la disponibilidad de N y agua.

Para verificar la validez de esta hipótesis se propuso el siguiente objetivo: determinar la influencia del N disponible en el corto (nitratos) y mediano plazo (materia orgánica joven) sobre la respuesta a la fertilización en diferentes situaciones y años climáticos.

Aspectos metodológicos

Durante los años 2003, 2004 y 2005 se realizaron ensayos de fertilización en trigo con dosis crecientes de N (0, 25, 50 y 100 kg ha⁻¹) en todos los campos

de los productores de la regional Bahía Blanca de AAPRESID. Se analizarán a continuación parte de los resultados obtenidos en los 9 ensayos del Establecimiento la Constancia de Luis Rigotti en Coronel Pringles.

Se realizaron muestreos de suelo (0-60 cm) en los momentos de siembra, hoja bandera y madurez fisiológica del trigo. Se determinaron la cantidad de N de nitratos, materia orgánica joven (MOP) y contenido de humedad. Durante la cosecha se tomaron muestras de planta en las que se determinó: producción de materia seca total aérea y de grano, contenido de N y otros parámetros de rendimiento.

En base a la precipitación durante el ciclo del cultivo (PPciclo) y el agua útil (AU) a la siembra y a la cosecha se calculó el uso consuntivo (UC), como el agua disponible total para el sistema:

$$UC (mm) = PPciclo + AUsiembra - AUcosecha$$

El UC representa el agua disponible para el sistema y no para el cultivo. Un suelo pobre en “estructura” será menos eficiente en la captación de las lluvias, uno arenoso menos eficiente en la retención, uno pobre en cobertura menos eficiente en la conservación, etc. El UC integra factores naturales e incontrolables con aquellos controlables con el manejo.

Se calculó la eficiencia en el uso del agua (EUA), como la cantidad de grano producida por milímetro de agua disponible (UC).

Se cuantificó la eficiencia en el uso del N disponible (EUN) como la cantidad de grano por kg de N disponible (Galantini, Landriscini, 2007, esta publicación). En cada uno de los ensayos se realizaron las curvas de respuesta a las dosis crecientes de N y se obtuvo el rendimiento máximo, y el N disponible, la EUN y la EUA para obtener el rendimiento máximo.

Resultados obtenidos y Discusión

Las características climáticas y los rendimientos de trigo presentaron alta variabilidad, típica de la región (Tabla 1). Un análisis general de los promedios indicó que con 126 kg de N disponible se produjeron 3500 kg de grano de trigo, resultados semejantes a las recomendaciones. Sin embargo, en ninguno de los ensayos el rendimiento máximo ni el N disponible para ese rendimiento coincidieron con los valores promedios, por la gran variabilidad existente.

La cantidad de lluvias de los tres años estudiados fue diferente en cantidad y distribución, modificando la relación entre disponibilidad y necesidad del cultivo (Figura 1). Esto se reflejó en un UC muy variable entre años, desde 270 a 680 mm. En promedio se obtuvieron 9 kg de grano por mm de agua disponible para el sistema y 42 kg de grano por kg de N disponible.

El N, por su costo, y el agua, por su escasez y variabilidad, son los dos elementos que deberían usarse más eficientemente para maximizar el rendimiento. Sin embargo, la máxima EUN se logra con la disponibilidad más baja de N, mientras

TABLA 1 | Rendimientos máximos, uso del N y del agua en los ensayos del establecimiento "La Constancia".

Año/	NO ₃	UC	MOP	Rendimiento		EUA		EUN	
Rot	kg/ha	mm	Mg/ha	máx.	N _{disp}	máx.	N _{disp}	máx.	N _{disp}
2003									
TTCo	70,8	322	6,9	3000	100	9,5	100	55,0	55
GTG	93,2	389	9,8	3900	190	10,1	190	21,0	118
GTCo	60,9	402	7,6	4200	150	10,5	160	42,0	75
2004									
GTT	60,0	681	19,2	3750	85	5,8	140	55,0	60
TTG	57,6	605	17,2	4000	57	7,7	160	63,0	60
Fest32	71,0	621	23,9	4700	170	7,8	170	61,3	71
2005									
TTG	98,4	285	9,0	3200	200	11,5	150	25,0	100
TTG	98,6	270	6,4	2900	100	10,0	100	29,0	100
TTG	60,5	270	12,1	1800	85	8,5	160	27,8	60
Promedio	75	427	12,5	3495	126	9,0	148	42	78
Antecesoros: T, trigo; G, girasol; Co, colza; Fest32, 32 años continuos con festuca; NO ₃ , N de nitratos a la siembra, UC, uso consuntivo; MOP, materia orgánica particulada; EUA, eficiencia en el uso del agua; EUN, eficiencia en el uso del N; N _{disp} , N disponible.									

que la máxima EUA se logra con las más altas. El balance óptimo entre ellas dependerá de la cantidad y distribución de las precipitaciones, el potencial de rendimiento de cada lote y la relación insumo - producto.

Un manejo eficiente de la fertilización implica un análisis conjunto de los factores más importantes. Respecto al N, no sólo cuánto está presente en el momento de la siembra sino cuánto puede mineralizarse durante el ciclo del cultivo. La MOP es un indicador sensible en este sentido.

En el año 2004, los rendimientos máximos se obtuvieron con bajo N disponible en la rotación girasol-trigo-trigo (GTT) y en trigo-trigo-girasol (TTG), mientras que con 32 años de festuca (Fest32) fue alto. Ese fue un año con lluvias importantes durante el otoño, generando condiciones favorables para las pérdida de N (Galantini, Landriscini, 2007 en esta publicación). En los dos primeros ensayos el N aplicado no mejoró el rendimiento, el que llegó a niveles altos (3750 y 4000 kg ha⁻¹) gracias a la descomposición de la MOP y a la liberación de su N (Galantini et al., 2007 en esta publicación).

En el caso del trigo con antecesor Fest32 la cantidad de MOP fue alta, pero de baja calidad (alta relación C:N) por lo que se inmovilizó el N aplicado, evitando

las pérdidas y resultando en un rendimiento alto de trigo, así como del girasol implantado durante el año siguiente.

Para maximizar la EUA y la EUN deberíamos tener en cuenta:

- Brindar las condiciones para captar y mantener el agua de lluvia,
- Que la disponibilidad de N en el tiempo siga los requerimientos del cultivo.

Conclusiones

- Los factores naturales suelo y clima: van a definir las características y el potencial del sistema de producción.
- La MO elemento clave: se debe conocer la cantidad y la calidad de las fracciones orgánicas.
- Es sensible al manejo: se debe conocer el impacto de nuestras decisiones.
- Un manejo eficiente y sustentable implica conocimiento: aplicar las técnicas de manejo que permitan un balance de carbono para mantener un valor adecuado del nivel de MO.

Bibliografía

Galantini J.A., N. Senesi, G. Brunetti, R. Rosell. 2004. Influence of texture on the nitrogen and sulphur status and organic matter quality and distribution in semiarid Pampean grassland soils. *Geoderma* 123: 143-152.

Galantini J.A., R.A. Rosell. 2006. Long-term fertilization effects on SOM quality and dynamics under different production systems in semiarid Pampean soils. *Soil Till. Res* 87: 72-79.

Fertilización con Azufre.

- JUAN GALANTINI • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC), CERZOS - DPTO. AGRONOMÍA - UNS
- MARÍA LANDRISCINI • CONICET, DPTO. AGRONOMÍA - UNS.
- RODRIGO FERNÁNDEZ • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC), CERZOS. DPTO. AGRONOMÍA - UNS.

Introducción

En las regiones semiárida y subhúmeda, la optimización en la aplicación de fertilizantes es difícil, debido a la irregularidad de las precipitaciones; en estos casos, adecuar las aplicaciones a las condiciones de fertilidad particulares y al potencial de rendimiento permitiría ajustar la fertilización. En el sur bonaerense, los factores naturales (textura y profundidad de suelo) y antrópicos (características del sistemas de producción utilizado) han demostrado ser los que más afectan los niveles de S en el suelo, así como la disponibilidad para los cultivos (Galantini et al., 2002).

El trigo es el cultivo que ocupa la mayor superficie en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Como consecuencia de la intensificación de la actividad agrícola, donde es escasa la reposición de los nutrientes extraídos del suelo, se observan deficiencias de macro elementos tales como Nitrógeno (N), Fósforo (P), Azufre (S).

El uso irracional de los fertilizantes disminuye la eficiencia de los nutrientes, produciendo pérdidas en el rendimiento en grano con el consecuente perjuicio económico y aumento de los riesgos ambientales.

Existe una importante interacción entre las fertilizaciones con N y S (Wooding et al., 2000b). Ambos elementos no deben ser considerados en forma separada ya que tienen efectos determinantes sobre el rendimiento y la calidad el grano, ya sea en la harina como en la masa (Moss et al., 1981).

Importancia y funciones del S.

- Forma parte de proteínas tales como cistina, cisteína y metionina.
- Forma parte de algunas vitaminas, biotina y tiamina.
- Es constituyente de distintas enzimas del metabolismo celular, como la coenzima A.
- Interviene en la estructura terciaria de las proteínas.

- Contribuye en la formación de la clorofila.
- Un buen suministro de S puede hacer un uso más eficiente de N, P y otros elementos por parte de las plantas.
- Influye en el rendimiento y en la formación de proteínas vinculadas con la calidad para la panificación.

Uso de fertilizantes que poseen bajo contenido de S como impureza.

Uso de cultivos con mayores potenciales de rendimiento.

Menor emisión de gases como el dióxido de S de la actividad industrial.

Suelos de textura gruesa, con bajos contenidos de materia orgánica (MO) y con alta intensidad agrícola. (Lamond, 1991; Pasricha, Aulakh, 1991).

Las gramíneas, como el trigo, poseen bajos requerimientos de S en comparación con otras especies de alto contenido de aceite, como la soja y las crucíferas (mostaza o colza) (Tabla 1). Sin embargo, la extracción por los sucesivos cultivos sin reposición lleva a deficiencias de este elemento.

Los síntomas visuales de deficiencia de S son clorosis o amarillamiento de las hojas más jóvenes, menor altura y menor cantidad de macollos.

TABLA 1 | Cantidad de S total absorbido y extraído en grano expresado en kg de S por tonelada de grano base seca en trigo, soja, girasol y colza.

Cultivo	Absorción total kg S ton ⁻¹	Extracción en grano kg S ton ⁻¹
Trigo	5	2
Soja	4	3
Girasol	5	2
Colza	12	7

Referencia: Ciampitti, García, 2007.

Ciclo del Azufre

La mayor parte del S edáfico (hasta el 98%) puede estar presente como compuestos orgánicos asociados con una mezcla heterogénea de residuos vegetales y animales, sustancias húmicas y microorganismos del suelo (Scherer, 2001). Por lo tanto el principal suministro y almacenamiento de S en el suelo se encuentra en el S orgánico. El S en el suelo proviene fundamentalmente de la descomposición de la materia orgánica y de los procesos de mineralización e inmovilización que determinan la disponibilidad de S para el crecimiento de las plantas. El S mineralizado es muy variable, encontrándose valores entre 1,7-6% del S orgánico equivalente a 7-49 kg de ha-1año-1.

El S microbiano representa entre el 1,5 al 5% del S orgánico.

Hay una similitud entre los ciclos del N, Carbono (C) y S en el suelo. La relación C:N:S en la MO es generalmente 100:10:1, dependiendo de las características de los suelos: cantidad y calidad de la MO, pH y sistemas de producción (labranzas, fertilización, rotación de cultivos, etc.). Los procesos de mineralización e inmovilización del S son análogos a los del N. El agregado de residuos con alta relación C:S (mayor de 400) inmoviliza el S disponible, mientras que con una baja relación (menor de 200) se produce la mineralización (Chapman, 1997).

Además del aporte del suelo de S para el cultivo, el S puede provenir directamente (absorbido en forma gaseosa) o indirectamente (junto con las lluvias) del SO₂ atmosférico. Las lluvias proveen entre 1-100 kg de S ha-1año-1, dependiendo de su cantidad, época del año y proximidad con las zonas urbanas e industriales. Los fertilizantes son otra fuente de S, ya sea en forma de sulfato o de S elemental.

La principal salida del S en los sistemas productivos es la extracción periódica por las cosechas de grano, pasto, carne, etc. A modo de ejemplo, la cantidad tomada por el cultivo de trigo y colza se presentan en la Tabla 1. Las precipitaciones abundantes favorecen las pérdidas por lixiviación de los SO₄= de la solución del suelo y por escurrimiento superficial. En condiciones de anaerobiosis, en el caso de suelos inundados, se puede producir la volatilización de SH₂.

Formas de S en el suelo

- S disponible: es la forma de S utilizada por las plantas en forma de sulfato (SO₄=) de sales como sulfato de calcio, sodio y potasio. Existe una correlación significativa entre la cantidad de SO₄= y la cantidad de sitios de absorción de las arcillas, dependiendo del tipo de arcilla y del pH. Los sulfatos al igual que los nitratos, son iones solubles y móviles y por lo tanto susceptibles a lixiviación.
- S orgánico lábil y de los microorganismos: Esta fracción cambia rápidamente utilizando y liberando SO₄= (incluye residuos de cultivo y microorganismos del suelo).
- S orgánico resistente: representa entre un 60-90% del S total del suelo, esta fracción está formada por el S ligado a carbonos más resistentes de plantas y microorganismos.
- S inorgánico: Son pequeñas cantidades de S adsorbido (SO₄=), lixiviado y acumulado como yeso en profundidad y S reducido en suelos inundados.

- S en planta: depende del tipo de cultivo sembrado ya que de diferentes especies extraen el S en diferentes cantidades.
- S en residuos de plantas: Depende del tipo de cultivo, método de cosecha cantidad y calidad de residuos.

Las fracciones lábiles de la MO predominan en el sistema y los cambios de manejo en la de entradas de nutrientes pueden llevar mucho tiempo para alcanzar un estado estable. El S disponible es demasiado escaso para mantener las necesidades de los cultivos sin reposición.

Aspectos metodológicos

Durante las campañas agrícolas 2003-2004-2005 se realizaron redes de ensayos de fertilización con trigo, consistente en la aplicación de una sola dosis de S (12 kg ha-1) combinada con una dosis de N (50 kg ha-1), para el año 2003 y la misma dosis de N combinada con tres dosis de S: 6, 12, 24 kg ha-1, para los años 2004 y 2005. Los sitios se ubicaron geográficamente en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires en los partidos de Bahía Blanca, Cnel. Dorrego, Cnel. Pringles, Cnel. Suárez, Tornquist y Pigüé. Se tomaron muestras de planta para evaluar la materia seca (MS) en los estadios de macollaje-encañazón. A cosecha se determinó la producción de grano y paja.

Resultados obtenidos y Discusión

En el año 2003 las condiciones climáticas que lo caracterizaron fueron de un importante déficit hídrico hasta fines de septiembre en donde se produjeron precipitaciones, las cuales en gran parte de los 27 ensayos realizados en esta campaña no alcanzaron para que el cultivo se recuperara. La fertilización con S produjo un efecto significativo y variable en el tiempo. En el período de encañazón, la aplicación de S produjo un incremento en la materia seca (MS) producida en aproximadamente el 80% de los ensayos. A cosecha, la respuesta significativa se observó en aproximadamente el 30% de los ensayos. La mayor producción de MS en esta región genera demandas hídricas que pueden no ser satisfechas, haciendo que el incremento en la MS no llega a traducirse en grano. El incremento promedio de todos los ensayos por el agregado de azufre fue cercano a 190 kg de grano ha-1 y la variabilidad en el rendimiento aumentó. En el año 2004 se realizaron 34 ensayos; este año se presentó agro climáticamente favorable en toda la región de estudio, con una adecuada cantidad y distribución de las precipitaciones, lo cual hizo que se observaran importantes respuestas al agregado de fertilizantes. Durante esta campaña, la respuesta estuvo relacionada con la disponibilidad de nutrientes y otros parámetros de sitio vinculados con el rendimiento. Se encontraron respuestas significativas a la aplicación de S en la MS tanto en macollaje como en grano a cosecha. En macollaje, de los 34 ensayos muestreados, 26 mostraron respuesta (77% de los ensayos) con un aumento entre 9%-98% respecto al tratamiento sin S. Además, se pudo observar una coloración verde más intensa en el follaje de los tratamientos fertilizados. Al final del ciclo, por factores climáticos adversos se cosecharon 31 ensayos, de los cuales sólo en 23 se encontró respuesta al S (74% de los sitios con respuesta), con aumentos entre 6%-77%, respecto del

testigo. Las respuestas llegaron a superar los 1000 kg de grano ha⁻¹ con muy alta variabilidad entre los valores máximos y mínimos.

En año 2005 hubo un gran déficit hídrico durante todo el ciclo del cultivo y en prácticamente toda el área de estudio lo cual en muchos de los ensayos se lograron magros rendimientos, llegando a cosecha 25 ensayos. Se encontró respuesta al S en 13 sitios con un promedio de respuesta en grano de 622 kg ha⁻¹.

Teniendo en cuenta todos los años de estudio se obtuvieron un total de 86 ensayos realizados de los cuales se encontró respuesta en rendimiento en grano al agregado de S en 54 de ellos representando un 63% de sitios.

La gran variabilidad climática de los tres años de estudio y la amplia zona de experimentación con sitios de distintas características agrícolas (profundidad del perfil de suelo, cultivo antecesor, tipo y cantidad de cobertura del suelo, etc.) produjo una gran disparidad en las respuestas a la aplicación de fertilizantes, no pudiéndose utilizar los datos experimentales en conjunto para realizar conclusiones generales.

En nuestro país no hay datos certeros de diagnóstico y recomendación para la fertilización del trigo con S, por lo que se utilizan los valores de S extractable en suelo de los ensayos realizados en otros países donde se recomiendan can-

tidades entre 20-40 kg de S ha⁻¹, cuando el valor del S-S04= se encuentra por debajo de 10 ppm (Jones, 1986). En los ensayos propios, los valores de S-S04= del suelo (Ss) en 0-20 cm de profundidad, oscilaron entre 9,5 y 27 ppm encontrándose sólo dos sitios por debajo del valor umbral de 10 ppm citados por la literatura.

En el presente estudio se analizó la relación entre los valores de S-S04= del suelo (Ss) a la siembra, en 0-20 cm y 0-60 cm de profundidad, y la respuesta al agregado de S, en kg de granos ha⁻¹, no encontrándose una tendencia clara que explique la asociación entre estas variables (Figura 1a y b).

En la Figura 2 se observa que con 26 kg ha⁻¹ de S disponible (S del suelo más el S aportado por el fertilizante, Ss+Sf) se alcanza el 100% del rendimiento relativo, si bien podrían esperarse respuestas en un rango de S disponible entre 23 a 38 kg ha⁻¹.

Se encontró una correlación adecuada (43%) entre el rendimiento en grano y el S disponible (Ss+Sf) (Figura 3).

Estos resultados ponen en evidencia que la cantidad de S requerido para maximizar el rendimiento en grano es mucho mayor que los valores que toma el cultivo, que la disponibilidad parecería alta pero se observan respuestas en

FIGURA 1 | Relación entre la respuesta en grano a la fertilización con S y Ss a la siembra en a) 0-20 cm y b) 0-60 cm de profundidad.

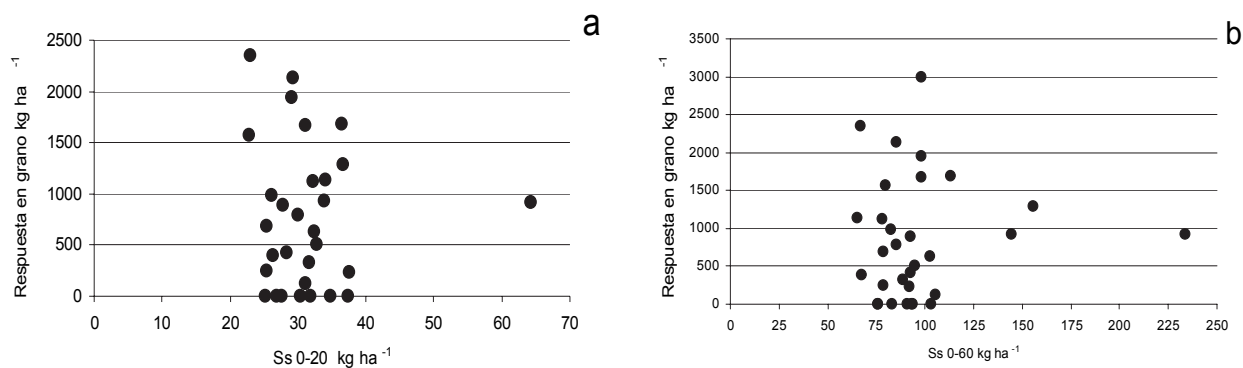


FIGURA 2 | Relación entre el rendimiento relativo y el S disponible (Ss+Sf) para la profundidad de 0-20 cm.

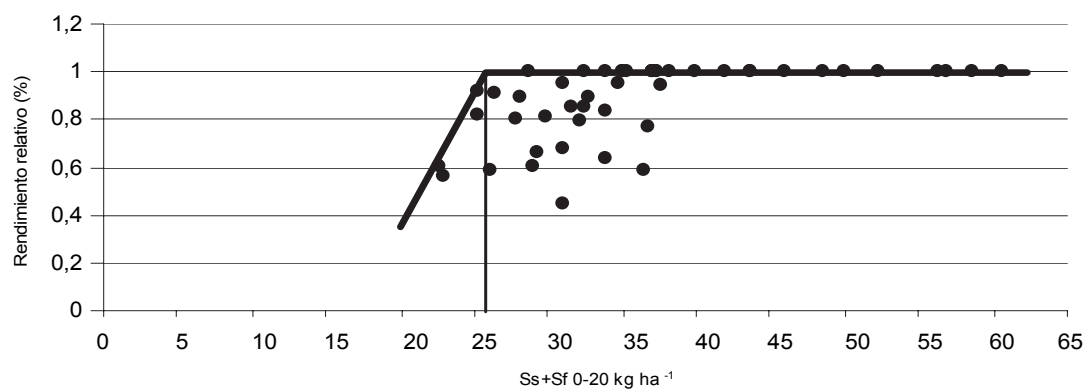


FIGURA 3 | Relación entre el rendimiento en grano y el S disponible (Ss+Sf) para 0-20 cm de profundidad.

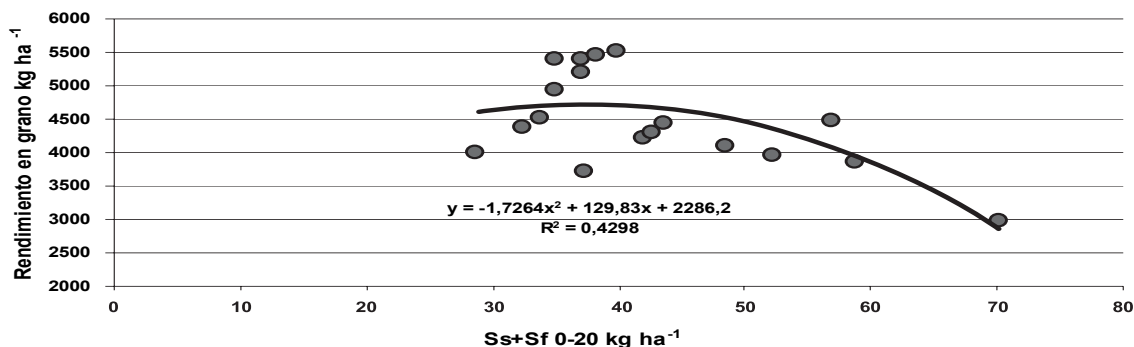
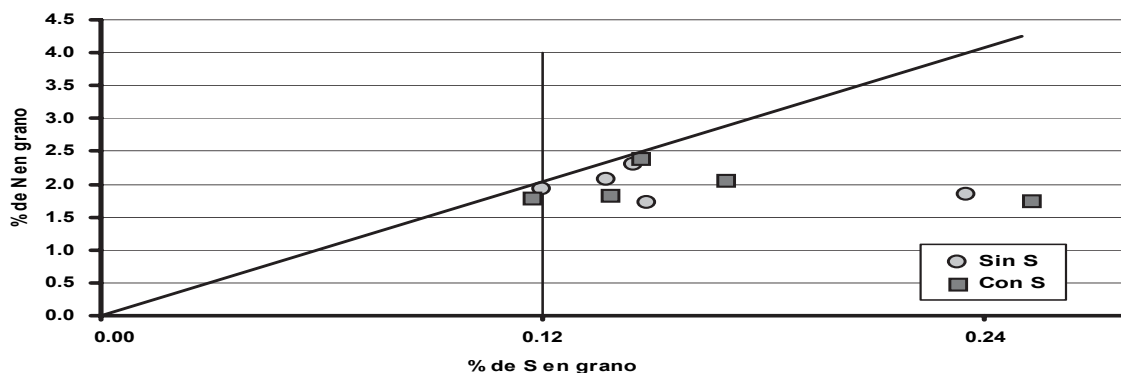


FIGURA 4 | Relación entre el contenido de N y S en grano en muestras con y sin aplicación de S.



la materia seca durante el ciclo y que existe una alta variabilidad que indicaría una fuerte interacción con otros factores. Por todo esto, es que tanto el diagnóstico como la aplicación del azufre debe realizarse teniendo en cuenta el resto de los factores determinantes del rendimiento: agua, nitrógeno, fósforo, cultivos antecesores, contenido de materia orgánica particulada, etc.

Randall et al. (1981) propusieron valores de N:S y % de S en grano de 17:1 y 0,12% respectivamente como indicadores de deficiencia de S.

En 5 ensayos realizados, de los cuales 4 presentaron respuesta al S, se analizó la concentración de N y S en el grano. La concentración de S varió entre 0,12% y 0,25%, sugiriendo, según lo dicho por Randall, que no hay deficiencias de S, lo que se contradice con las repuestas en grano encontradas. En dos de los cinco sitios la concentración de N en grano tuvo un ligero incremento por la aplicación de S. La relación N:S se mantuvo o disminuyó en los tratamientos con S, encontrándose todas por debajo de 17:1. (Figura 4).

Conclusiones

Se encontraron respuestas importantes y variables a la aplicación de azufre en el área en estudio, lo que sugiere que la deficiencia de este nutriente debe ser tenida en cuenta. Los suelos de la región caracterizados por poseer bajo nivel

de MO, texturas de medianas a gruesas, con historia de agricultura continua y con escasa reposición de nutrientes. Cabe destacar que todos los ensayos se realizaron en sitios con planteos en siembra directa donde la cobertura de rastrojo ayuda a que la temperatura del suelo sea menor que en labranza convencional, disminuyendo el probable aporte de S a partir de la mineralización de la MO.

La disponibilidad de agua es el principal factor limitante y debería ser considerado en el momento de definir el rendimiento objetivo y calcular los requerimientos que debe tener disponible el cultivo. Son particularmente importantes las lluvias que ocurren a partir de encañazón, las que son generalmente menores y más variables, en coincidencia con los mayores requerimientos.

Se encontró una buena relación entre el rendimiento en grano y el S disponible en los primeros 20 cm de profundidad del suelo, sin embargo, la variabilidad fue alta.

Se debe plantear un adecuado balance entre la disponibilidad de N y S, y las necesidades del cultivo de trigo para obtener el rendimiento objetivo y buscar indicadores nuevos y más precisos que sean útiles para el diagnóstico de la fertilización.

Bibliografía

- Chapman S.J. 1997. Barley straw decomposition and S immobilization. *Soil Biology and Biochemistry* 29:109-114.
- Ciampitti I.A., F.O. García. 2007. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes secundarios. I. Cereales, oleaginosos e industriales. *Archivo agronómico* N° 11. *Informaciones agronómicas del cono Sur* N°33.
- Galantini J.A., R.A. Rosell, G. Brunetti, N. Senesi. 2002. Dinámica y calidad de las fracciones orgánicas de un Haplustol durante la rotación trigo-leguminosas. *Ciencia del Suelo* Vol. 20 (1) 17-26.
- Jones M.B. 1986. Sulfur availability indexes. *Sulfur in Agricultura*. M. Tabatabai (Ed) ASA-CSSA-SSSA. Madison, Wisconsin, EEUU.
- Lamond R.E. 1991. Sulphur research in Kansas, *Sulphur in agriculture* 15: 24-27.
- Moss H.J., C.W. Wrigley, F. Mac Ritchie, P.J. Randall. 1981. Sulfur and Nitrogen fertilizer effects on wheat. *Aust. J. Agric. Res.* 32:302.
- Pasricha N.S., M.S. Aulakh. 1991. Twenty years of sulphur research and oilseed production in Punjab, India. *Sulphur in agriculture* 15: 17-23.
- Randall P.J., K. Spencer, J.R. Freney. 1981. Sulfur and nitrogen fertilization effects on wheat. I Concentration of sulfur and nitrogen to sulfur ratio in relation to yield response. *Aust. J. Agric. Res.* 32:203-212.
- Scherer H.W. 2001. Sulphur in crop production. *Europ. J. of Agron.* 14:81-111.
- Wooding A.R., S. Kavale, A.J. Wilson, F.L. Stoddard. 2000. Effects of nitrogen and sulphur fertilization on commercial-scale wheat quality and mixing requirements. *Cereal Chem.* 77:791-797.

Balance nutricional y productividad del trigo.

- MARÍA LANDRISCINI · CONICET, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA.
- JUAN GALANTINI · COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC), CERZOS DPTO. AGRONOMÍA UNS.

Introducción

Las plantas requieren cantidades equilibradas de nutrientes que deben ser satisfechas con una fertilización balanceada. Los nutrientes deben ser aportados en conjunto para que su efecto sobre el rendimiento sea mayor. Todos los factores deben acompañar y no afectar negativamente la expresión de la respuesta a los fertilizantes: fecha de siembra, agua disponible, variedad de alto potencial, control sanitario, y una cosecha precisa y oportuna.

La fertilización balanceada requiere herramientas adecuadas para evaluar la disponibilidad en el suelo y el estado nutricional de la planta, que permitan interpretar y calibrar las necesidades del cultivo. El análisis de suelo, permite conocer la disponibilidad de los nutrientes en un momento dado, y el análisis de planta, indica la habilidad del cultivo para tomar esos nutrientes frente a condiciones climáticas dadas.

Los errores en la detección de deficiencias resultan en rendimientos menores al potencial o en la aplicación innecesaria y/o excesiva de fertilizantes, causando un perjuicio económico y ambiental. En la región semiárida pampeana la dificultad para definir la dosis óptima de fertilizantes es mayor, debido a la escasez y variabilidad de las precipitaciones.

La concentración de los nutrientes foliares depende principalmente de su disponibilidad en el suelo, por ello es importante tener en cuenta las propiedades químicas relacionadas con las fracciones lábiles (carbono orgánico, nitrógeno, formas de fósforo y de azufre), además de impedimentos físicos que afecten la dinámica del agua y la exploración por las raíces (capas endurecidas).

Las características del suelo, del clima y el manejo afectan el crecimiento del cultivo y la dinámica de los nutrientes foliares, haciendo que su concentración en la planta cambie con la edad del cultivo, la parte de la planta analizada, la disponibilidad edáfica y otros factores incontrolables. Por lo tanto, la concentración de un nutriente en planta, por ejemplo porcentaje de N, por sí sola no sirve como diagnóstico del estado nutricional del cultivo.

Para solucionar este problema, se desarrolló el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS) (Beaufills, 1973) y fue aplicado intensivamente a los cultivos de maíz, trigo y soja (Sumner, 2002). Este método de diagnóstico utiliza las relaciones entre nutrientes, las que varían mucho menos que las concentraciones de los nutrientes individuales, y las compara con las relaciones obtenidas en poblaciones de altos rendimientos. De esta forma, se independiza de la edad y de la parte analizada de la planta.

Las “Normas DRIS” son las relaciones nutricionales usadas como referencia y que se obtienen de grandes bases de datos. El uso de bases pequeñas pero específicas para una región puede tener buenos resultados.

Los “Índice DRIS” se obtienen de comparar las relaciones entre nutrientes en la planta que se analiza con las “Normas DRIS”, lo que brinda el grado de diferencia entre el cultivo estudiado y una población de altos rendimientos, o sea el desbalance relativo.

Varios trabajos han utilizado la metodología DRIS en el país desde fines de los años '80 para evaluar el balance de nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y azufre (S) en trigo (Rosell et al., 1987 y Landriscini, 1992). Se han desarrollado normas DRIS regionales con una base de 700 análisis de plantas de trigo (Landriscini et al., 1997). Estudios previos encontraron que el mejor momento para detectar los desbalances nutricionales fue después del macollaje, brindando un diagnóstico tardío para una fertilización convencional, pero adecuado para una fertilización complementaria destinada a mejorar el rendimiento del cultivo y/o la calidad del grano (Landriscini, Galantini, 1999, 2001).

La fertilización foliar soluciona los problemas de deficiencias de nutrientes en forma rápida y en los momentos críticos donde los requerimientos del cultivo son superiores a su capacidad de absorción desde el suelo. Es complementaria de la fertilización al suelo, utilizándose en cultivos de alta producción y en situaciones donde la absorción no satisface los requerimientos del cultivo, o cuando las condiciones climáticas no permiten la descomposición del fertilizante en el suelo a formas asimilables. Si bien fisiológicamente todos los nutrientes pueden ser absorbidos por vía foliar, en algunas oportunidades no es

posible por el alto costo de las aplicaciones que sería necesario realizar para satisfacer el total de los requerimientos. Su utilización debería restringirse a períodos críticos de crecimientos, momentos de demanda específica de algún nutriente o en situaciones adversas del suelo que comprometa la nutrición de las plantas. La aplicación foliar ha demostrado ser un excelente método para abastecer los requerimientos de los nutrientes secundarios (calcio, magnesio y azufre) y de micronutrientes (zinc, hierro, cobre, manganeso, boro y molibdeno), mientras que complementa los requerimientos de N, P y K necesarios en los períodos de crecimiento crítico del cultivo. La nutrición foliar tiene la finalidad de retrasar la senescencia natural y lograr un óptimo rendimiento y calidad de producto, garantizando el mínimo riesgo ambiental.

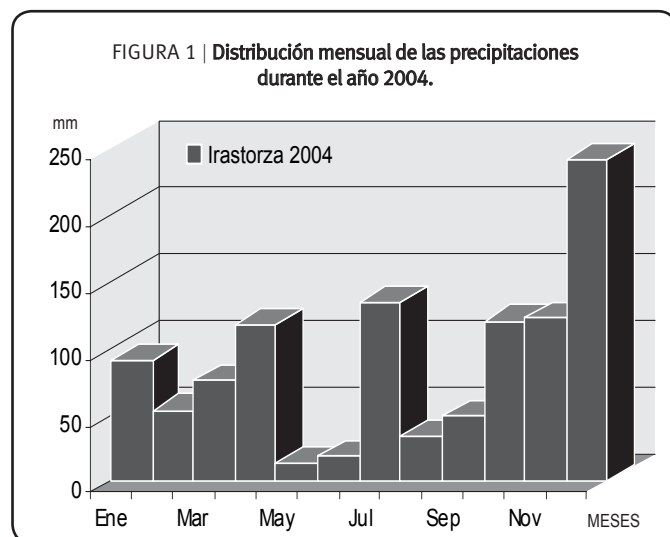
Los objetivos del presente trabajo fueron:

- Evaluar la sensibilidad de la metodología DRIS para detectar posibles respuestas a la fertilización con N, P y S a la siembra, utilizando normas internacionales.
- Realizar un análisis integrado, considerando las propiedades químicas y físicas edáficas, la nutrición del cultivo y la productividad (calidad y rendimiento), para evaluar la respuesta a la fertilización.
- Evaluar el efecto de la fertilización foliar complementaria, sobre el rendimiento y la calidad del grano de trigo.

Aspectos metodológicos

Ubicación y tratamientos

El ensayo se realizó en el año 2004, sobre un lote de trigo en siembra directa, ubicado en el Establecimiento Cumelén, partido de Coronel Dorrego (38°48' S; 61°37' O) que integra la red de ensayos de fertilización de la Regional Bahía Blanca de AAPRESID. La distribución de las precipitaciones mensuales, se encuentra detallada en la Figura 1.



La fertilización base, realizada el 16 de junio, fue con N, P y S en las dosis y combinación mostrada en la Tabla 1. Se usó un diseño de parcelas divididas totalmente aleatorizado con 2 réplicas. La parcela principal fue la fuente de fertilización a la siembra y la parcela secundaria la fertilización foliar en antesis. La variedad de trigo usada fue Buck Guapo y el cultivo antecesor trigo.

Sobre estas parcelas se aplicó una dosis de N foliar previo a antesis (12 de noviembre), a razón de 30 kg N ha⁻¹, con mochila manual. El producto utilizando fue Foliar U con 20% de N, diluido al 70% del producto.

TABLA 1 | Fuentes y dosis de N, P y S aplicados en trigo a la siembra.

Tratamiento	Fuente	Dosis, kg ha ⁻¹		
		N	P	S
TT		0	0	0
TN	Urea	50	0	0
TP	Super fosfato triple (SPT)	0	20	0
TNS	Sulfato amonio	20,5	0	23,4
NN	Urea	100	0	0
NP	Urea-SPT	50	20	0
NNS	Urea-Sulfato amonio	70,5	0	23,4
PP	SPT	0	40	0
PNS	SPT- Sulfato amonio	20,5	20	23,4
NSNS	Sulfato amonio	41	0	46

Se muestreó el suelo en tres momentos del ciclo del trigo: siembra, elongación (mediados de octubre) y madurez fisiológica, a las profundidades 0-20, 20-40, y 40-60 cm. Se determinaron los contenidos de humedad, materia orgánica total (MO), N total, P extractable (Pe) y pH siguiendo la metodología clásica (Tabla 2). También se analizó el N disponible (N-NH₄⁺ y N-NO₃⁻) por el método de arrastre de vapor, el S disponible y la MO de la fracción gruesa o particulada (MOP) según Galantini (2005).

TABLA 2 | Principales propiedades químicas del suelo (0-20 cm).

MO %	MOP Mg ha ⁻¹	Nt %	Pe ppm	N-NO ₃ ⁻ ppm	S-SO ₄ ⁼ ppm
3,35	4,36	0,167	17	36,8	17,6

Las plantas de trigo se muestrearon en elongación (1°-2° nudo, Feekes 6-7) y en madurez fisiológica (Feekes 11.4). En el primer caso se determinó el contenido de nutrientes (N-P-K-S) y la producción de materia seca total aérea (MSt_a). A partir de los resultados obtenidos se aplicó la metodología DRIS (Walworth y Sumner, 1987) para determinar los Índices DRIS de cada nutriente y el orden de requerimientos nutricionales (ORN) relativos, es decir, como estarían ordenados en cuanto a las deficiencias o excesos relativos. A partir de la suma de los valores absolutos de cada uno de los índices DRIS se calculó el índice de balance nutricional (IBN).

En la cosecha se evaluó la producción de grano y paja. Se determinaron los componentes del rendimiento: espigas por unidad de superficie (espigas m⁻²), granos por espiga (granos esp⁻¹), peso de los granos (P1000), así como la calidad de los mismos (% de proteína).

Resultados obtenidos y Discusión

Balance de nutrientes e Índices DRIS

El muestreo realizado en elongación puso en evidencia que con las dosis y fuentes de fertilizantes aplicados a la siembra se lograron diferentes condiciones de disponibilidad nutricional inicial. En este estadio la producción de materia seca total aérea varió entre 1175 y 4786 kg ha⁻¹, con importantes respuestas con altas dosis de fertilización combinada (N+S). La concentración de nutrientes osciló entre 1,49–2,35% para el N, 0,23–0,40% para el P, 1,46–2,15% para el K y 0,11–0,15% para el S (Tabla 3).

TABLA 3 | Concentración de N, P, K y S foliares en hojas de trigo en elongación.

Tratamiento	N	P	K	S	MSta kg ha ⁻¹
	%				
TT	1,62	0,32	1,86	0,12	2427
TN	1,71	0,25	2,06	0,13	1909
TP	1,73	0,36	1,95	0,14	1175
TNS	1,49	0,26	1,92	0,13	2316
NN	2,35	0,23	2,15	0,14	4205
NP	1,74	0,40	2,13	0,15	4123
NNS	1,81	0,23	1,76	0,15	4786
PP	1,72	0,28	1,59	0,11	2405
PNS	1,50	0,29	1,46	0,14	1562
NSNS	1,62	0,24	1,77	0,14	3168

Este último fue el elemento menos variable y mostró una falta de respuesta a la aplicación de altos valores de S a la siembra debido a que los suelos poseían una buena disponibilidad de sulfatos. Estos datos no coinciden con los obtenidos en otros ensayos realizados en la región (Galantini et al., 2006), donde con alta disponibilidad de sulfatos a la siembra se obtuvieron respuestas significativas en la producción de materia seca total aérea (MSta) y en el aspecto físico, con plantas con mayor porte y color verde más intenso.

Según los resultados obtenidos (Tabla 4) se pueden realizar las siguientes consideraciones: el índice de N (IN) fue siempre negativo, indicando una deficiencia relativa generalizada respecto a los nutrientes involucrados en el análisis. El valor más próximo a cero se obtuvo con la máxima dosis de N (100 kg N ha⁻¹) presentando el cultivo un adecuado balance de nutrientes, apareciendo el S como el elemento más requerido. El índice de P fue siempre positivo, indicando un exceso relativo, coincidente con el adecuado nivel de P extractable del suelo. En los casos en los que se aplicó fertilizante con P, el exceso fue mayor, y con aplicaciones de N y NS los valores numéricos disminuyeron acercándose a la

zona de balance nutricional (± 15). La aplicación de S resultó en índices de S menores y cercanos a cero, indicando una disminución de su déficit relativo. En general, los valores obtenidos en los índices DRIS y los cambios observados en los distintos tratamientos, estuvieron de acuerdo con el análisis del suelo y la fertilización realizada. Es evidente que esta metodología fue sensible para detectar las diferencias en la nutrición del cultivo. Además, la aplicación de un nutriente modificó el balance con el resto de los nutrientes considerados. Esto confirma que la aplicación de fertilizantes destinadas a obtener la máxima productividad deben ser balanceada y teniendo en cuenta la disponibilidad en el suelo.

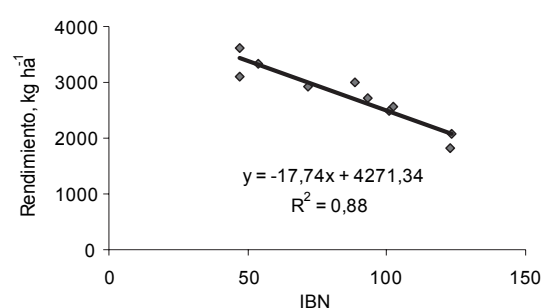
TABLA 4 | Índices DRIS, Orden de Requerimientos Nutricionales e Índice de Balance Nutricional en trigo en elongación.

Tratamiento	Índices DRIS					ORN
	N	P	K	S	IBN	
TT	-36	53	8	-25	122	N > S > K > P
TN	-26	24	20	-18	88	N > S > K > P
TP	-38	58	4	-23	123	N > S > K > P
TNS	-37	33	18	-14	102	N > S > K > P
NN	-6	9	15	-18	48	S > N > P > K
NP	-46	62	7	-23	138	N > S > K > P
NNS	-20	18	6	-3	47	N > S > K > P
PP	-21	46	1	-25	93	S > N > K > P
PNS	-35	50	-7	-8	100	N > S > K > P
NSNS	-28	26	10	-8	72	N > S > K > P

El orden de deficiencias relativas durante la etapa vegetativa del cultivo tuvo al N como el elemento más deficiente y al S en segundo lugar. Sólo en los casos de alta disponibilidad de N o de P, el S presentó una deficiencia relativa mayor.

El IBN, como síntesis del balance nutricional del cultivo, fue variable en los diferentes tratamientos. Los valores más altos se observaron en los tratamientos que más deficiencias tuvieron, mientras que los más bajos fueron aquellos que recibieron mayores dosis de N y S. La importancia del IBN es que refleja el grado de desbalance entre los nutrientes considerados, aspecto que está ligado a su rendimiento final. En este trabajo, se encontró una relación altamente significativa ($R^2 = 0,88$; $p \leq 0,001$) entre el IBN y el rendimiento en grano a cosecha (Figura 2).

FIGURA 2 | Relación entre IBN y el rendimiento en grano a cosecha.



Las condiciones climáticas del año 2004 fueron muy adecuadas hacia la etapa final del cultivo, situación diferente a la media histórica. En otras situaciones más frecuentes, el déficit hídrico durante esta etapa podría enmascarar esta relación haciendo que sea menos notoria. Esto implica que ante condiciones adversas los desbalances detectados por la metodología podrían no reflejarse en el rendimiento en grano, pero permitiría balancear la oferta de nutrientes para el cultivo siguiente.

Efecto sobre el rendimiento y la calidad

En la cosecha se observó respuesta a la aplicación de fertilizantes nitrogenados, fosforados y azufrados a la siembra, sobre el rendimiento en grano, materia seca cosechada y otros parámetros de producción evaluados (Tabla 5).

El efecto más importante en la respuesta del cultivo se observó con el aumento de la dosis de N. En el rendimiento en grano, la respuesta fue cercana a los 1600 kg de trigo, con 100 kg de N aplicados, con una eficiencia agronómica de 15 kg de grano por kg de N, inferior a la obtenida con otras dosis y fuentes de N (ca. 20 kg grano).

TABLA 5 | Parámetros de rendimiento a cosecha en trigo con fertilización a la siembra.

Tratamiento	MSta	Grano	Espigas/m ²	granos/espiga	P1000
	kg ha ⁻¹				
TT	5884	2087	225,0	23,0	40,4
TN	8966	2990	315,8	23,6	40,2
TP	4635	1823	184,2	23,8	41,6
TNS	7415	2559	283,3	22,6	39,9
NN	10413	3622	362,5	25,5	39,2
NP	9414	3322	359,2	21,9	42,1
NNS	8208	3101	310,0	24,8	40,4
PP	7759	2709	275,8	25,0	39,3
PNS	7350	2487	270,0	23,2	39,8
NSNS	8477	2920	303,3	23,9	40,2

El aumento de la disponibilidad de N favoreció el desarrollo de mayor número de espigas fértiles, con una tendencia semejante pero menos marcada en la cantidad de granos por espiga. Finalmente, el peso de los granos presentó pequeñas diferencias. Se aplicó un análisis de regresión múltiple para estimar el aporte de cada uno de los componentes al rendimiento en grano. El 95% de la variabilidad estuvo asociada a la cantidad de espigas, mientras que el resto se debió a la cantidad de granos por espiga (4%) y al peso de los granos (1%). Las condiciones favorables de humedad no habrían limitado el desarrollo del cultivo, que se tradujo en más espigas y granos en la medida que la disponibilidad de N aumentó. Finalmente, el déficit de N fue más acentuado, limitando tanto el peso como el contenido proteico de los granos. Esto se confirmó al analizar la concentración de N en grano y el consecuente porcentaje de proteína. Estos valores fueron extremadamente bajos y tendieron a disminuir al aumentar la dosis de fertilizante a la siembra (Tabla 6).

TABLA 6 | N en grano, paja y materia seca total aérea a cosecha, en trigo con fertilización a la siembra.

Tratamiento	N grano	Proteína	N paja	N grano	N MSta
	%		kg ha ⁻¹		
TT	1,684	9,6	10,8	35,2	45,9
TN	1,641	9,3	16,5	49,1	65,6
TP	1,883	10,7	8,1	34,3	42,4
TNS	1,667	9,4	12,6	42,7	55,3
NN	1,494	8,5	18,5	54,1	72,6
NP	1,713	9,7	15,6	56,9	72,5
NNS	1,829	10,4	13,1	56,7	69,8
PP	1,590	9,0	15,1	43,1	58,2
PNS	1,679	9,5	16,3	41,8	58,1
NSNS	1,656	9,4	14,9	48,4	63,2

Efecto de la aplicación foliar de N

La fertilización fosforada sin nitrógeno, pudo incrementar la cantidad de granos, sin afectar la cantidad de nitrógeno acumulado y por consiguiente disminuir el contenido proteico. La aplicación combinada de N y S produjo los mayores niveles de N en grano. En todos los casos la proteína no alcanzó los niveles de comercialización requeridos.

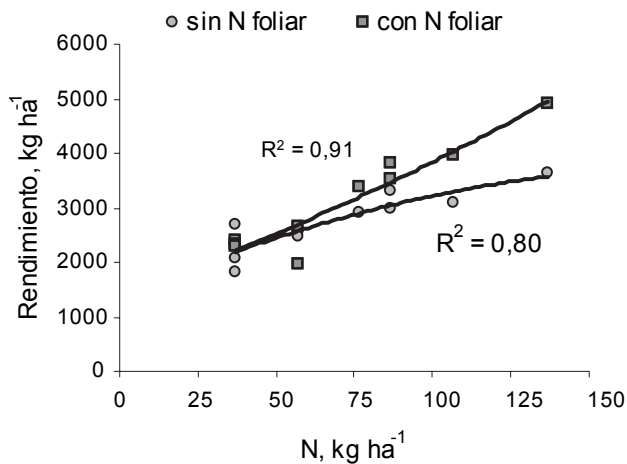
La respuesta en el rendimiento en grano a la aplicación foliar de N, fue variable en cada uno de los tratamientos y dependiente de la disponibilidad inicial de N. En general los incrementos medios fueron de 355 y 769 kg ha⁻¹ de grano y de MSta, respectivamente. Cuando se realizó el ANVA, se observó que los únicos tratamientos que mostraron respuesta significativa a la fertilización foliar fueron los que habían recibido dosis elevadas de N a la siembra (DMS = 1226 kg, $p \leq 0,05$) y en consecuencia un buen desarrollo inicial del cultivo (NN, NP y NNS) (Tabla 7 y Figura 3). En este sentido, la variabilidad de los rendimientos aumentó con la aplicación foliar.

Efecto de la aplicación foliar de N

TABLA 7 | Parámetros de rendimiento a cosecha en trigo con fertilización foliar en antesis.

Tratamiento	MSta	Grano	Espigas/m ²	granos/espiga	P1000
	kg ha ⁻¹				
TT	6615	2413	263,3	22,3	41,1
TN	9551	3534	354,2	24,0	41,6
TP	6169	2311	242,5	22,8	41,8
TNS	5808	1949	233,3	21,2	39,5
NN	13522	4895	477,5	24,8	41,4
NP	10647	3810	358,3	24,9	42,7
NNS	11099	3969	376,7	25,4	41,5
PP	6005	2280	220,0	25,1	41,3
PNS	7183	2652	275,8	23,6	40,7
NSNS	9612	3365	364,2	23,0	40,2

FIGURA 3 | Rendimiento en grano con y sin aplicación foliar en función del N disponible.



Respecto a los parámetros de rendimiento, en promedio la fertilización foliar incrementó el número de espigas por unidad de superficie (27,7 espigas más por m²), no produjo cambios en la cantidad de granos por espiga y se observó un ligero incremento en el peso de los granos (0,9 g adicionales por cada 1000 granos). Estos resultados estarían indicando que la fertilización foliar mejoró la fertilidad de las espigas pequeñas (las que aparecieron sin granos en los tratamientos sin foliar y fueron descartadas) y las de mayor tamaño, las que tuvieron más granos por espiga, manteniendo el promedio. Finalmente, el peso de los granos habría sido poco modificado, principalmente por deficiencias en la disponibilidad de N.

El ajuste de los modelos con y sin aplicación de fertilizante foliar fue alto y significativo ($R^2 = 0,91^{**}$ y $0,80^{**}$, respectivamente) mostrando una clara tendencia a mayores respuestas cuanto mayor fue la disponibilidad inicial de N. Las curvas resultaron coincidentes y con diferente pendiente, esto es, a baja fertilidad no se observaron respuestas, aumentando en la medida que la fertilidad inicial aumentó. Un comportamiento semejante al rendimiento en grano se obtuvo cuando se analizó la MSta durante elongación, la disponibilidad de N y la cantidad de biomasa presente al momento de la aplicación fueron elementos claves para la determinación de la respuesta. Alta respuesta en grano se obtendría con un cultivo bien nutrido y con buena biomasa para aumentar la eficiencia en la absorción y traslocación del fertilizante aplicado en forma foliar.

Este comportamiento se reflejó mejor al analizar el efecto de la fertilización foliar sobre la cantidad de N en grano (Figura 4). Nuevamente, con baja disponibilidad inicial de N las curvas son semejantes y se separan a dosis más altas de N, comportamiento más evidente que las de rendimiento en grano ($R^2 = 0,86^{**}$ y $0,84^{**}$).

Estas diferencias en el rendimiento en grano y en su contenido de N se tradujeron en respuestas crecientes cuando el N disponible fue mayor (Figura 5). La pendiente de las rectas obtenidas permitiría suponer que bajo las condiciones del presente estudio, con alta disponibilidad de N el cultivo mostraría

una mayor respuesta en el rendimiento en grano que en el N en grano, y por ende un menor contenido proteico. A partir de aproximadamente 50 kg de N disponible la respuesta en grano comienza a ser positiva, mientras que a partir de los 70 kg, comienza a serlo la respuesta de N en paja. O sea que con baja disponibilidad inicial, el N aplicado estimula la respuesta en grano y el N en grano, mientras que superando cierto umbral el N se acumularía en la paja, no alcanzando a ser trasladado.

En la Tabla 8 se observa el efecto de la fertilización foliar sobre el contenido de N en el grano (%proteína), en la paja y en la materia seca total (diferencias no significativas).

FIGURA 4 | Contenido de N en grano con y sin aplicación foliar en función del N disponible.

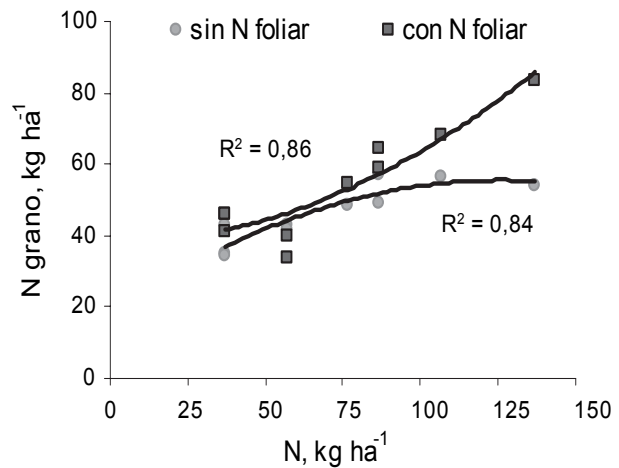
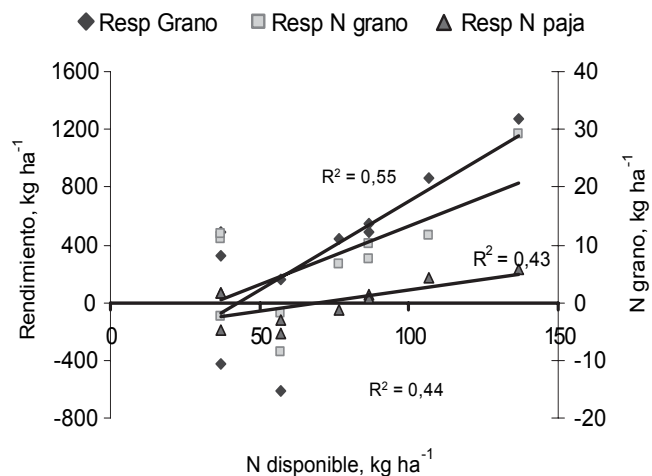


FIGURA 5 | Respuesta en grano, N en grano y en paja a la fertilización foliar.



El porcentaje de proteína se incrementó hasta 1,3 puntos, en casi todos los tratamientos respecto al testigo, salvo en los que habían recibido fertilización a la siembra con sulfato de amonio como fuente de N. Es de destacar que en

TABLA 8 | N en grano, paja y materia seca total aérea a cosecha, en trigo con fertilización foliar en antesis.

Tratamiento	N grano	Proteína	N paja	N grano	N MSta
	%		kg ha ⁻¹		
TT	1,920	10,9	12,4	46,3	58,7
TN	1,674	9,5	17,9	59,2	77,1
TP	1,990	11,3	9,8	46,1	55,9
TNS	1,743	9,9	9,5	34,0	43,5
NN	1,705	9,7	24,4	83,4	107,8
NP	1,689	9,6	16,4	64,3	80,7
NNS	1,723	9,8	17,4	68,4	85,8
PP	1,788	10,2	10,3	40,8	51,1
PNS	1,510	8,6	10,9	40,0	50,9
NSNS	1,633	9,3	13,7	54,9	68,6

todos los casos este porcentaje estuvo cercano al 10%, no alcanzándose el valor requerido para panificación (11,5%). En el caso del N del grano acumulado a cosecha (kg ha⁻¹), la tendencia fue similar a la de los rendimientos en grano; los tratamientos que mostraron aumentos significativos fueron los que recibieron mayores dosis de N inicial: NN, NP y NNS (DMS= 21,4 kg, $p \leq 0.05$).

Para analizar el efecto de la aplicación foliar entre tratamientos, se usó el test de Student (t) de medias apareadas. En todos los casos las diferencias no fueron significativas (salvo la parcela NP), posiblemente debido a la variabilidad observada entre las réplicas.

Eficiencia de Uso del N foliar

Desde el punto de vista agronómico se debe destacar que el aumento de la disponibilidad inicial de N estuvo asociado a la disminución de la eficiencia agronómica a la cosecha (kg de grano por kg de N aplicado), en coincidencia con otros trabajos (Raun, Johnson, 1999).

La eficiencia de uso del N foliar sobre el contenido de N en la MSta o recuperación aparente del fertilizante ((kg N-MSta fertilizado – kg N-MSta testigo)/kg N aplicado) fue del 25%, para el promedio de los tratamientos, con una traslocación del 98% de ese N al grano. Cuando se analizó la eficiencia de los diferentes tratamientos teniendo en cuenta su disponibilidad inicial de N se obtuvieron resultados semejantes a los anteriormente mencionados (Figura 6).

La disponibilidad inicial de N, que estuvo relacionada a la MSta producida, condicionó la eficiencia con que el cultivo transformó cada kg de N aplicado en forma foliar en N en grano. Cuando la disponibilidad de N inicial estuvo alrededor de 50 kg de N ha⁻¹, las eficiencias fueron bajas y hasta negativas. A partir de los 70 kg, se observó una tendencia creciente en la eficiencia desde el 20 al 97%.

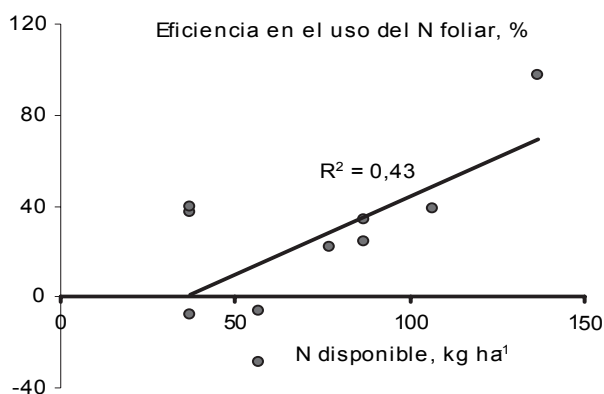
Conclusiones

La aplicación de fertilizantes a la siembra produjo diferentes disponibilidades de nutrientes que se reflejaron tanto en los índices DRIS como en los rendimientos. Cuando el cultivo estuvo inicialmente mejor provisto de N la producción de materia seca fue mayor y la respuesta a aplicaciones posteriores fue mayor, tanto en grano como en proteína.

El comportamiento presentado por esta variedad, con las condiciones climáticas del año de estudio, indicaría que el IBN refleja el posterior rendimiento en grano y que la respuesta a la fertilización foliar dependería de la disponibilidad inicial de N y de la materia seca producida hasta antesis.

El principal efecto de la aplicación foliar fue el aumento del rendimiento, y en menor medida el aumento de la proteína. Para el promedio de los tratamientos, la recuperación aparente del N foliar ((N-MSta fertilizado-N-MSta testigo)/ dosis aplicada) fue del 25%, del cual el 98% se traslocó al grano.

FIGURA 6 | Eficiencia en el uso del N foliar con diferente disponibilidad inicial de N.



Bibliografía

- Beaufils E.R. 1973. Diagnosis and Recommendation Integrated System (DRIS). A general scheme for experimentation and calibration based on principles developed from research in plant nutrition. *Soil Science Bulletin* 1: 130 pp. Univ. of Natal., Pietermaritzburg, South Africa.
- Galantini J.A. 2005. Separación y análisis de las fracciones orgánicas. En: L. Marban y S. Ratto (eds.). *Tecnología en Análisis de Suelos: Alcances a laboratorios agropecuarios*. pp. 95-106.
- Galantini J.A.; M.R. Landriscini; R. Fernández; G. Minoldo; J. Cacchiarelli, J.O. Iglesias. 2006. Trigo: Fertilización con nitrógeno y azufre en el sur y sudoeste bonaerense. *INPOFOS, Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 29: 23-25.
- Landriscini M.R. 1992. Nivel de nutrientes edáficos y foliares en trigo en la región semiárida pampeana. Tesis para obtener el grado de Magister en Ciencia del Suelo, Departamento de Agronomía, UNS, Bahía Blanca, Argentina, 126 pp.
- Landriscini M.R., J.A. Galantini, R.A. Rosell. 1997. Determinación de normas para la aplicación del sistema DRIS en el cultivo de trigo de la región semiárida Bonaerense. *Ciencia del Suelo* 15: 17-21.
- Landriscini M.R., J.A. Galantini. 1999. Fertilización con nitrógeno y azufre en trigo en la región semiárida pampeana. *Actas XIX Reunión Argentina de Ecología*, Tucumán, Argentina. 69.
- Landriscini M.R., J.A. Galantini. 2001. Diagnóstico N-P-K-S en trigo fertilizado con S aplicando el método DRIS. V Congreso Nacional de Trigo Carlos Paz, Argentina. CD ROM.
- Letzsch W.S., M.E. Sumner. 1984. Effect of population size and yield level in selection of diagnosis and recommendation integrated system (DRIS) norms. *Communication in Soil Science and Plant Analysis*, 15: 997-1006.
- Raun W.R., G.V. Johnson. 1999. Improving nitrogen use efficiency for cereal production. *Agronomy Journal*, 3: 357-363.
- Rosell R.A., M.R. Landriscini, A. Glave 1987. Balance de N, P, K y S en trigo de la región semiárida de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Anales de Edad. y Agrobiol.* XLVI: 1167-1180.
- Sumner M.E. 1979. Interpretation of foliar analysis for diagnostic purposes. *Agron. J.* 71: 343-348.
- Walworth J.L., M.E. Sumner 1987. The diagnosis and recommendation integrated system (DRIS). En: B.A. Stewart (ed.). *Advances in Soil Science*. Springer-Verlag. New York. Inc. 6: 149-188.

Momento de fertilización y la dinámica del N: Un caso de estudio

• JUAN GALANTINI • COMISIÓN DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC), CERZOS - DPTO. AGRONOMÍA – UNS, BAHÍA BLANCA.
• MARÍA LANDRISCINI • CONICET, DPTO. AGRONOMÍA - UNS.

Introducción

El nitrógeno (N) es un elemento indispensable para maximizar el rendimiento y la calidad de los cultivos. Por su dinámica, susceptibilidad a las pérdidas y altos requerimientos de las plantas, es uno de los nutrientes deficientes en forma generalizada. En la Región Pampeana se fertiliza con menos del 30% del N que sacan las cosechas (Darwich, 2004). Las aplicaciones deficientes producen ingresos menores, llevando a la sobreexplotación de los recursos, mientras que las excesivas aumentan los riesgos de pérdida (contaminación). Por ello, se debe realizar un uso eficiente, para evitar los peligros ambientales.

Si bien la eficiencia en el uso de un nutriente se ha definido de maneras diferentes, en general trata de calificar la habilidad de un sistema para transformar un insumo en un producto (Fageria, Baligar, 2005). Estimaciones de la eficiencia en el uso del N (EUN) a nivel mundial (Raun, Johnson, 1999) como a nivel de parcelas (Davis et al., 2003; Fageria, Baligar, 2005) concuerdan en valores entre el 30 y 50%. Es decir, se utiliza una pequeña parte del N que se aplica, con un gran costo económico y ambiental. Para mejorar la eficiencia se debe conocer cómo los diferentes factores ligados a la producción la modifican y de esta forma plantear estrategias tendientes a maximizarla.

El momento en que el N está disponible para el cultivo de trigo determina su absorción y su traslocación en la planta. Una disponibilidad temprana se traduce en rendimientos mayores, mientras que en etapas tardías tiende a mejorar la calidad proteica del grano (Sarandón et al., 2000; Sarandón, Caldiz, 1990; Martínez et al., 1985 y Rosell et al., 1985). Sin embargo, el momento de fertilización puede dar resultados distintos según las condiciones climáticas del año, la zona y los niveles de producción. Esto se debe a la interacción entre los factores edáficos, climáticos (Díaz-Zorita, 2000), de manejo y genotipo (Cox et al., 1985; Sarandón, Caldiz, 1990), que hace que la relación entre disponibilidad de N y rendimiento sea compleja.

La erraticidad de las lluvias hace que las aplicaciones postergadas tengan la ventaja de realizarlas en función de las características climáticas previas (cantidad de lluvia y MS producida por el cultivo) y las expectativas futuras, sea el

agua en el suelo como el pronóstico climático (Cantamutto et al., 1986). En las condiciones de la Región Semiárida Pampeana, Bono et al. (2000) encontraron respuesta a los diferentes momentos de aplicación del N, sin embargo las aplicaciones al macollaje presentaron ventajas sobre las aplicaciones a la siembra. Lázzari et al. (1991) observaron que cuando las lluvias durante el período de macollaje fueron escasas, el mayor aprovechamiento del N del fertilizante se produjo al aplicarlo a la siembra. Las aplicaciones tardías mejoraron la cantidad de N en grano pero no el rendimiento en grano (Laurent et al., 1996). En el oeste bonaerense, con escasas lluvias invernales, la aplicación a la siembra produjo incrementos significativos respecto de las aplicaciones al macollaje (Díaz Zorita, 2000). En el sudeste bonaerense, con abundantes lluvias invernales y con diferentes sistemas de labranzas la aplicación al macollaje fue más eficiente que la de la siembra (Melaj et al., 2003). En estas situaciones, el N al macollaje permitiría mayor recuperación del fertilizante aplicado. Resultados semejantes encontraron Videla et al. (1996) donde la eficiencia del N en macollaje fue mayor como consecuencia una mayor absorción hasta antesis. Por otro lado, García et al. (1998) encontraron eficiencias iguales o mayores con aplicaciones a la siembra o divididas que en macollaje. En el norte bonaerense, Baumer (1996) encontró eficiencias iguales o mayores con aplicaciones a la siembra. En un suelo Argiudol Típico próximo a La Plata, Sarandón et al. (1997) observaron un efecto significativo de la fertilización sobre la producción y partición de la materia seca, pero que no dependió del momento de aplicación del fertilizante. En el norte de la región Pampeana diferentes autores (Gambaudo, Fontanetto, 1996; Melchiori, Paparotti, 1996) no encontraron diferencias entre momentos. Comparando aplicaciones a la siembra, fraccionada y al macollaje en Balcarce, Barrow y Bordenave, se encontró en todos los casos respuesta significativa a la fertilización, pero no entre momentos de aplicación (Loewy, 1990; Bárbaro et al., 1999).

La gran cantidad de resultados diferentes es consecuencia de la cantidad de factores que pueden modificar la eficiencia en el uso del N. Cada una de las fechas de aplicación tiene sus ventajas relativas, dependiendo de los factores mencionados. En casos de alta incertidumbre climática, de diagnóstico dudoso y/o baja fertilidad, la estrategia más adecuada sería el fraccionamiento de las dosis (Melgar, 1997). En síntesis, en condiciones de inviernos secos, la

aplicación a la siembra presenta una EUN igual o mayor que al macollaje. Con inviernos húmedos, las aplicaciones durante el macollaje serían más eficientes. Tanto las lluvias como las características edáficas relacionadas con el agua en el suelo tales como profundidad, capacidad de almacenamiento de agua, textura, distribución del espacio poroso, etc., influyen sobre la dinámica del N. Por este motivo, la hipótesis planteada fue que en suelos de escasa profundidad los años con abundantes precipitaciones la eficiencia en el uso del N es menor por pérdidas de N del sistema.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del momento de aplicación del N en un año con muy buena disponibilidad hídrica, para conocer mejor la relación entre la dinámica del agua y la del nitrógeno, y como esta relación puede modificar la EUN.

Aspectos metodológicos

Sitio de estudio y análisis

Durante el año 2004 se realizó un ensayo de fertilización en un lote de trigo perteneciente al establecimiento “Cumelen” de Javier Irastorza.

El diseño fue de bloques aleatorizados con 3 repeticiones y los tratamientos fueron: testigo (sin fertilización), fertilizado durante la siembra (FS) y durante el macollaje (FM); y las dosis de N fueron: 50 y 100 kg ha⁻¹, como urea. Se tomaron muestras de suelos durante la siembra, a fines de octubre (encañazón) y durante madurez fisiológica a las profundidades 0-20, 20-40 y 40-60 cm. En las muestras de suelo secadas al aire y tamizadas por 2 mm, se determinó Carbono orgánico (CO), Nitrógeno total (N) y fósforo extractable (Pe).

A cosecha se tomaron muestras de planta para determinar la producción de grano y paja, así como el contenido de nitrógeno total. Se determinó la calidad del grano (% de proteína) y los componentes del rendimiento: espigas por unidad de superficie (esp m⁻²), granos por espiga (granos esp⁻¹) y peso de los granos (P1000).

Calculo de la eficiencia en el uso del Nitrógeno

Para evaluar la EUN se ha sugerido dos componentes primarios (Moll et al., 1982), por un lado la eficiencia de absorción (Nplanta/Ndisponible) y por otro la eficiencia con que el N absorbido es llevado al grano (Ngrano/Nplanta). Sin embargo, debido a que las pérdidas de N en las diferentes etapas del cultivo pueden ser considerables es conveniente evaluar la EUN en las diferentes etapas (López-Bellido et al., 2005). Teniendo en cuenta esto y utilizando definiciones de diferentes autores (Raun, Jonson, 1999; Fageria, Baligar, 2005) se definieron las siguientes etapas:

Eficiencia de fertilización, donde se consideró la cantidad de N aplicada con el fertilizante:

La eficiencia agronómica en el uso del fertilizante aplicado (EUF) para la producción de grano (g) o materia seca (MS),

$$EUFg = (\text{Granof} - \text{Grano0}) / Nf$$

$$EUFMS = (\text{MSf} - \text{MS0}) / Nf$$

La recuperación aparente del fertilizante aplicado (RAN)

$$RAN = (N - \text{MSf} - N - \text{MS0}) / Nf$$

Eficiencia del uso del N disponible, en la que se consideró: la eficiencia en la absorción del N disponible (EAND) en parcelas testigo o fertilizadas (x),

$$EAND = N - \text{MSx} / Nd$$

La eficiencia en el uso del N disponible (EUN) para la producción de grano y MS

$$EUNg = \text{Granox} / Nd$$

$$EUNMS = \text{MSx} / Nd$$

La eficiencia en la transformación del N absorbido (ETN) en grano

$$ETN = \text{Granox} / Na$$

La eficiencia en la traslocación del N absorbido o índice de cosecha de N (ICN)

$$ICN = N - \text{Granox} / N - \text{MSx}$$

N, nitrógeno (kg ha⁻¹); Grano, rendimiento en grano (kg ha⁻¹); MS, producción de materia seca total a cosecha (grano y paja en kg ha⁻¹); N-Grano y N-MS, contenido de N en el grano y en la MS (kg ha⁻¹); x, tratamientos; 0, testigo; f, fertilizados con N, Nd, Nf y Na, N disponible, aplicado con el fertilizante y absorbido, respectivamente (kg ha⁻¹).

Cálculo del balance de agua

Se realizó una estimación del balance diario de agua, calculando el contenido de AU en el suelo a lo largo del año, en base a la necesidad teórica de agua de los cereales de invierno en la región (Paoloni, Vázquez, 1985), a la capacidad de agua útil del suelo (CAU) y a las lluvias.

En este cálculo simplificado se asumió que:

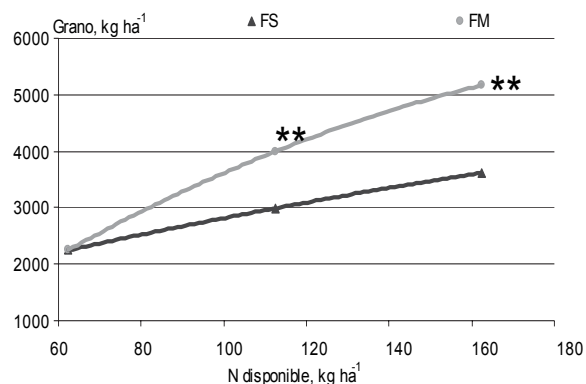
- Las pérdidas por escurrimiento superficial debidas a una infiltración deficiente fueron despreciables por tratarse de un suelo en siembra directa, un año sin lluvias muy intensas y no haberse encontrado impedimentos físicos subsuperficiales.
- Todo el movimiento de agua fue diario, los excesos de un día se pierden para el día siguiente.
- No se discriminaron consumos diferentes para los diferentes tratamientos, aspecto que requeriría un estudio más detallado.

Resultados obtenidos y Discusión

El aumento en la disponibilidad de N produjo un incremento en la producción de grano con diferencias significativas entre dosis y momentos de aplicación del fertilizante (Figura 1). Los rendimientos más altos se observaron en las parcelas fertilizadas durante el macollaje. Sin embargo, en ninguno de los dos momentos de aplicación se alcanzó el máximo rendimiento, aún con una disponibilidad de N superior a 150 kg ha⁻¹. Dado que la disponibilidad hídrica fue adecuada para el cultivo, la cantidad y distribución de las lluvias podría haber modificado la EUN.

Desde el punto de vista agronómico, se debe destacar que en coincidencia con trabajos previos (Simonis, 1987; Raun, Johnson, 1995; Galantini et al., 2006), el aumento de la dosis de N aplicado estuvo asociado a la disminución en la EUF, sin embargo, el cambio en el momento de aplicación produjo las diferencias más importantes (Tabla 1). La aplicación tardía produjo más del doble de grano y MS por kg de N aplicado que en FS. La RAN fue mucho menor con la aplicación temprana (0,32-0,23) que con la tardía (0,66-0,70). Es decir, en el primer caso el cultivo recuperó aproximadamente un tercio del N aplicado, mientras que en el segundo caso llegó a dos tercios. Estos resultados evidencian la importancia del factor climático sobre la absorción del N disponible y en consecuencia sobre la eficiencia en su uso.

FIGURA 1 | Rendimiento en grano a diferente disponibilidad de N con fertilización durante la siembra (FS) y al inicio del macollaje (FM).



El promedio de la EUN fue 30,5 kg de grano y 93,1 kg de MS por kg de N disponible, observándose alta variabilidad entre los momentos de aplicación, siendo mayor con la fertilización al macollaje (Tabla 2). El cultivo utilizó casi 33 kg de N disponible por tonelada de grano de trigo (1000/EUN), valor próximo al reportado en otros trabajos (García, Berardo, 2006). Sin embargo, los valores variaron entre 28 y 45 kg de N, lo que resultaría un factor a tener en cuenta cuando se calculan los requerimientos de N a aplicar.

Cuando la disponibilidad a la siembra fue mayor, la EAN disminuyó, mientras que con aplicación tardía el cultivo utilizó el 73% del N disponible. Si bien las diferencias en la cantidad de N disponible, RAN y EAN fueron grandes, la eficiencia en la transformación del N (ETN) absorbido en grano presentó valores semejantes entre los tratamientos, entre 43 y 50 kg de grano por cada kg de N tomado por la MS del cultivo.

El ICN fue alto y semejante en todos los tratamientos, poniendo en evidencia buenas condiciones para la traslocación del N absorbido. Estos resultados indicarían que el momento de fertilización tuvo un efecto significativo sobre la cantidad que el cultivo pudo tomar y no en la eficiencia en el uso del N absorbido, resaltando la importancia de las condiciones ambientales sobre la EUN. Esta variabilidad estaría dada por las características climáticas del año en estudio, en particular la cantidad y la distribución de las precipitaciones (Figura 2). En este sentido, entre los dos momentos de fertilización se produ-

cieron abundantes lluvias (137 mm), las que no fueron intensas y excedieron la capacidad de almacenamiento del suelo.

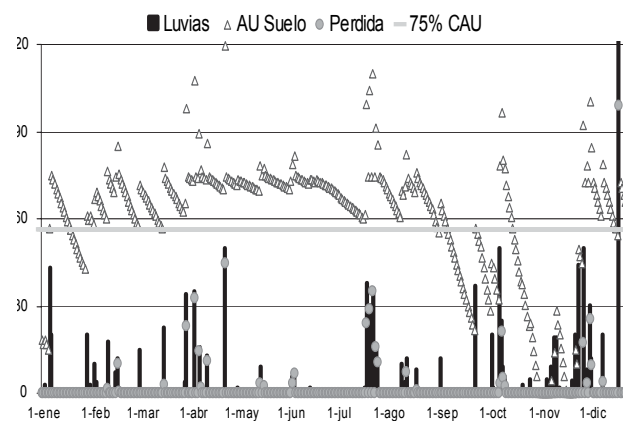
TABLA 1 | Eficiencia agronómica en el uso del fertilizante aplicado (EUF) para la producción de grano (g) o materia seca (MS), y recuperación aparente del fertilizante aplicado (RAN).

Respuesta kg /kg N aplicado					
	Testigo	FS 50	FS 100	FM 50	FM 100
EUF _g	--	14,8	13,7	34,9	29,1
EUF _{MS}	--	44,9	36,9	119,5	96,7
RAN	--	0,32	0,23	0,66	0,70

El suelo del ensayo era poco profundo, con un manto calcáreo a una profundidad entre 60 a 70 cm y una limitada capacidad de almacenamiento de agua útil (75 mm). Es decir, las lluvias entre las dos fechas de fertilización superaron la capacidad de almacenamiento del suelo, originando un exceso que pudo favorecer la pérdida de nutrientes y mantener la humedad del suelo cerca o superior a la capacidad de campo (Figura 2). La pérdida de eficiencia en la producción de grano y los mayores requerimientos de N para producir una tonelada de grano estaría sugiriendo pérdidas de N, sea por lixiviación o desnitrificación.

En condiciones de alta humedad, baja absorción por parte del cultivo, alta disponibilidad de nitratos y temperaturas en aumento, sería esperable que las pérdidas por desnitrificación hayan alcanzado valores importantes. Se ha visto

FIGURA 2 | Lluvias, dinámica del agua útil (AU) en el suelo y pérdidas durante el año en estudio. (Datos expresados en mm; 75% CAU= 75% de la capacidad de agua útil del suelo)



que, dependiendo de la temperatura, la desnitrificación puede oscilar entre el 1-2% (<12,7°C) hasta 4-5% (> 18,3°C) del N en forma de nitratos por cada día que el suelo se encuentra próximo a saturación (Robert, 2002).

La diferencia en la disponibilidad de N debidas a las dosis y al momento de aplicación produjo un efecto en el rendimiento en paja y en materia seca total

semejante al observado en el grano (Tabla 3). El aumento en la disponibilidad de N produjo un aumento en la paja producida y en la MS, siendo más marcado con las aplicaciones en FM que en FS. Este comportamiento se debería a la buena disponibilidad hídrica durante la etapa final del cultivo.

TABLA 2 | EUN disponible para producción de grano y materia seca, EAN, ETN e ICN.

kg/kg N disponible					
	Test	FS 50	FS 100	FM 50	FM 100
EUN _g	36,1	26,6	22,3	35,5	31,8
EUN _{MS}	107,7	79,8	64,1	113,0	100,9
EAN	0,797	0,583	0,447	0,734	0,736
ETN	45,3	45,6	49,9	48,4	43,2
ICN	0,78	0,75	0,75	0,77	0,77

Componentes del rendimiento

El aumento de la disponibilidad de N favoreció el desarrollo de mayor número de espigas fértiles, con incrementos mayores en la FM (Tabla 3). Una tendencia semejante pero menos marcada se observó en la cantidad de granos por espiga. Finalmente, el peso de los granos presentó diferencias pequeñas pero con tendencias opuesta entre los momentos de fertilización. En FS tendió a disminuir, mientras que en FM a aumentar.

La integración de los parámetros de rendimiento confirman los resultados previamente analizados. Hubo condiciones favorables de humedad que no habrían limitado el rendimiento, produciendo mayor desarrollo del cultivo que se tradujo en más espigas y granos en la medida que la disponibilidad de N aumentó. Finalmente, se observó un déficit de N más acentuado en FS que afectó la respuesta del cultivo respecto a FM, limitando tanto el peso como el contenido proteico de los granos.

TABLA 3 | Rendimiento en grano, paja y materia seca total aérea, componentes del rendimiento y proteína en grano.

	Testigo	FS 50	FS 100	FM 50	FM 100
Grano	2252d	2990c	3622b	3995b	5165a
Paja	4471e	5976d	6790c	8704b	11228a
MS	6723d	8966c	10413c	12699b	16393a
Componentes del rendimiento					
Esp m ⁻²	275,5d	316,0cd	363,0bc	408,0b	477,0a
Granos espiga ⁻¹	20,6b	23,6ab	25,5ab	23,6ab	26,0a
P ₁₀₀₀	40,3a	40,2a	39,2a	41,4a	41,6a
Proteína	11,1a	9,3ab	8,5b	9,9ab	11,1a

Contenido de proteína

El aumento de la dosis de fertilizante a la siembra produjo un contenido de proteína decreciente y valores extremadamente bajos. Por otro lado, con la aplicación en macollaje el contenido proteico tendió a aumentar, oscilando entre 10 y 11%. Los mayores rendimientos junto con mayor proteína en grano en las aplicaciones durante el macollaje, estarían confirmando que existieron pérdidas de N.

FIGURA 3A | Contenido de N en grano total aérea para las diferentes disponibilidades de N, fertilizado a la siembra (FS) y macollaje (FM)

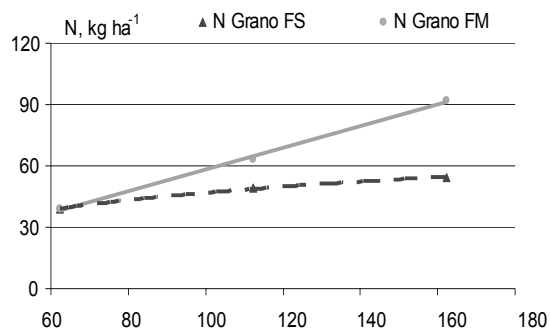


FIGURA 3B | Contenido de N en paja total aérea para las diferentes disponibilidades de N, fertilizado a la siembra (FS) y macollaje (FM)

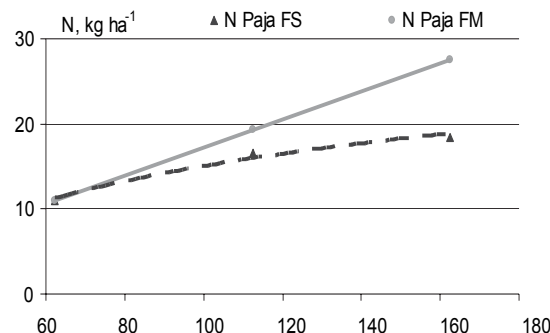
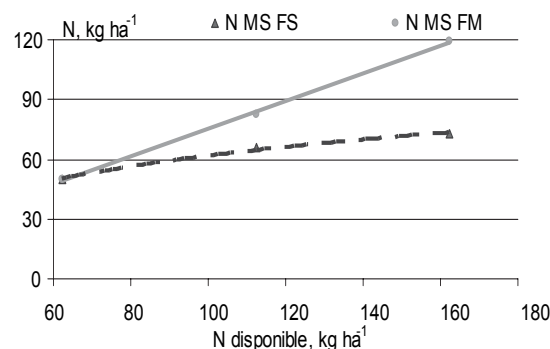


FIGURA 3C | Contenido de N en materia seca total aérea para las diferentes disponibilidades de N, fertilizado a la siembra (FS) y macollaje (FM)



Contenido de N en planta a cosecha

El contenido de N en grano, paja y MS (kg ha⁻¹) siguió la tendencia semejante a la producción de grano ya comentada (Figura 3a, b, c). Se ha visto que la removilización desde los órganos vegetativos hacia los granos y su eficiencia depende de las condiciones climáticas y del genotipo (Barbotín et al., 2005). Ante condiciones sin limitaciones de humedad, como las del presente estudio, hay una relación lineal entre el N removilizado y el existente a floración. Es decir, que las diferencias observadas reflejarían las condiciones previas a antesis.

Teniendo en cuenta el comportamiento del cultivo, a mayor disponibilidad aumentó el N en la MS (Figura 3c). La respuesta fue diferente para ambas fechas de fertilización, permitiendo realizar las siguientes observaciones:

- La aplicación posterior a la lluvia en FM produjo un incremento lineal del N absorbido, mientras que con aplicación previa (FS), el comportamiento fue descrito mejor por una curva logarítmica. Cuanto mayor el N disponible las curvas se separaron. Es decir, a mayor disponibilidad temprana de N las pérdidas fueron mayores. En este caso, con 100 kg ha⁻¹ de N disponible la diferencia entre fechas de aplicación fue de 13,68 kg ha⁻¹

de N en la MS, mientras que para 150 kg la diferencia llegó a 38,74 kg de N en la MS ha⁻¹.

- teniendo en cuenta que antes de la FS también se produjeron lluvias superiores a los 100 mm, superando la capacidad de almacenamiento del suelo, se podría suponer que la cantidad de N disponible al momento de la siembra podría ser la capacidad de retención del suelo.

Conclusiones

En suelos poco profundos y durante inviernos lluviosos, las pérdidas de N dependen del momento de aplicación del fertilizante y disminuyen la EUN. Esta disminución se debe a la baja recuperación del N aplicado, siendo poco afectada la eficiencia con que la planta transforma el N absorbido en MS y grano.

En estas condiciones, las pérdidas de N del sistema son más importantes en la medida que la disponibilidad inicial del N aumenta. Si bien los mecanismos de pérdidas requieren de estudios más detallados para aplicar manejos que las minimicen, se confirmaría resultados previos, donde la aplicación fraccionada sería una estrategia de fertilización más adecuada frente a la incertidumbre climática.

Bibliografía

- Bárbaro N., M. López, S. Melaj, R. Bergh, H. Echeverría, T. Loewy. 1999. Influencia del momento de aplicación en la eficiencia de fertilización nitrogenada en cultivos de trigo. 14 Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo.
- Barbottin A., C. Lecomte, C. Bouchard, M.-H. Jeuffroy. 2005. Nitrogen Remobilization during Grain Filling in Wheat: Genotypic and Environmental. *Crop Science* 45: 1141-1150.
- Bono A., J.C. Montoya, F.J. Babinec. 2000. Dosis y momentos de fertilización en trigo en la Región semiárida Pampeana. 17 Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Cantamutto M.A., F. Mockel, R. Rosell, R. Martínez, M.R. Landriscini, L. Gallez, G. Gullace. 1986. Factores que condicionan la respuesta del trigo a la fertilización con nitrógeno y fósforo en el sur de la provincia de Bs.As. XI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Actas 83
- Cox M.C., C.O. Qualset, D.W. Rains. 1985. Genetic variation for N assimilation and translocation in wheat. II. Nitrogen assimilation in relation to grain yield and protein. *Crop Sci.* 25:435-440
- Davis R.L., J.J. Patton, R.K. Teal. 2003. Nitrogen balance in the Magruder Plots following 109 years in continuous winter wheat. *J. Plant Nutr.* 26: 1561-1580
- Diaz Zorita M. 2000. Momento de aplicaciones de urea para aumentar la producción de grano de trigo en el oeste bonaerense. 17 Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo.
- Fageria N.K., V.C. Baligar. 2005. Enhancing Nitrogen Use Efficiency in Crop Plants. *Advances in Agronomy* 88: 97-185.
- Galantini J., G. Minoldo, M.R. Landriscini, R. Fernandez, J. Cachiarelli, J.O Iglesias. 2006. Trigo: Fertilización con N y S en el sur y sudoeste bonaerense. *INPOFOS* 29: 23-25.
- Gambaudo S, H Fontanetto. 1996. Fertilización nitrogenada en la Subregión trigerá I. Trigo. *Publ. Misc. No. 74 EEA INTA Rafaela*.
- García F.O., K.P. Fabrizio, A. Bernardo, F. Justel. 1998. Fertilización nitrogenada en trigo en el sudeste bonaerense: respuesta, fuentes y momentos de aplicación. XVI CACS. Carlos Paz, Cba.
- García F.O., A. Bernardo. 2006. Trigo. En: H. Echeverría y F. García (eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de cultivos*. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. Pág. 233-253

- Laurent G., J. Ferrari, M. Lazzari, R. Victoria. 1996. Balance del nitrógeno del fertilizante aplicado al trigo en dos épocas diferentes. *Ciencia del Suelo*. 14: 7-11.
- Lazzari A., G. Laurent, R. Victoria. 1991. Destino del 15N del fertilizante aplicado al trigo durante dos años consecutivos, en condiciones semiáridas. *Suelo y Planta* 1: 179-188.
- Loewy T. 1990. Fertilización nitrogenada del trigo en el Sudoeste bonaerense. I. Respuesta física y diagnóstico. *Ciencia del Suelo* 8: 47-56.
- López-Bellido L., R. López-Bellido, R. Redondo. 2005. Nitrogen efficiency in wheat under rainfed Mediterranean conditions as affected by split N application. *Field Crops Res.* 94: 86-97.
- Martínez R, R. Rosell, R. Miranda. 1985. Manejo del Suelo y N en trigo. *Ciencia del Suelo* 3: 109- 114
- Melaj M.A., H.E. Echeverría, S.C. López, G. Studdert, F. Andrade, N.O. Bárbaro. 2003. Timing of N fertilization in wheat under conventional and no-tillage system. *Agron. J.* 95: 1525–1531
- Melchiori R, O Paparotti. 1996. Fertilización nitrogenada en trigo, evaluación de dosis y momento de aplicación. *Jornada actualización técnica en trigo. Serie Ext. N° 9 EEA INTA Paraná.*
- Melgar R. 1997. Potasio, azufre y otros nutrientes necesarios para considerar en una fertilización. *Fertilizar, N° Especial Trigo*, pp. 17-24.
- Moll R.H., E.J. Kamprath, W.A. Jackson. 1982. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency to nitrogen utilization. *Agronomy Journal* 74: 562-564.
- Paoloni J., R. Vazquez. 1985. Necesidades teóricas de los cereales de invierno y probabilidad de ocurrencia de las precipitaciones. *Anales de Edafología y Agrobiología XLIV*: 1545-1556.
- Raun W., G. Johnson. 1999. Improving N use efficiency for cereal production. *Agronomy J.* 91: 357-363.
- Rosell R.A., R.M. Martínez, K. Chr. Sommer 1985. Soil management and use of N-labeled fertilizer for wheat in semiarid Argentina. *Anales de Edafol. y Agrobiol.* XLIV (7-8), 1069-1080.
- Sarandón S.J., D.O. Caldiz. 1990. Effects of varying N supply at different growth stages on N uptake and nitrogen partitioning efficiency in two wheat cultivars. *Fertilizer Research* 22: 21-27.
- Sarandón S., M. Zuluaga, S. Golik. 2000. Rendimiento, acumulación y partición del N en 2 cultivares de trigo según el momento de aplicación y tipo de fertilizante utilizado. *17 CACS*
- Videla C., J.L. Ferrari, H.E. Echeverría, M.I. Travasso 1996. Transformaciones del nitrógeno en el cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo* 14: 1-6.



LA SIEMBRA DIRECTA Y EL SUELO

ROTACIÓN DE CULTIVOS EN SD

FERTILIZACION DEL TRIGO EN SD

LOS HERBICIDAS Y EL AMBIENTE

CALIDAD PANADERA DEL TRIGO

Interacción del Metsulfuron-materia orgánica en suelos con siembra directa.

- GRACIELA ZANINI · CONICET, CERZOS - DPTO. AGRONOMÍA – UNS, BAHÍA BLANCA.
- CAROLINA MANEIRO · CONICET, CERZOS - DPTO. AGRONOMÍA – UNS, BAHÍA BLANCA.
- CAROLINA WAIMAN · CONICET, CERZOS - DPTO. AGRONOMÍA – UNS, BAHÍA BLANCA.
- DANIELA ZABALA · CONICET, CERZOS - DPTO. AGRONOMÍA – UNS, BAHÍA BLANCA.
- MARCELO BRIGANTE · DPTO. QUÍMICA - UNS.
- JUAN GALANTINI · DPTO. QUÍMICA - UNS.
- RAMÓN ROSELL · CIC, CERZOS - DPTO. AGRONOMÍA - UNS.

Introducción

La intensificación agrícola en nuestro país está asociada a un uso creciente de agroquímicos (fertilizantes, herbicidas, insecticidas, etc.) en los sistemas productivos. Cuando ellos exceden los límites críticos para su uso y la capacidad del ambiente para neutralizarlos, constituyen una fuente de contaminación para los sistemas adyacentes.

El mercado argentino de fitosanitarios se cuadruplicó en los últimos años, y el primer lugar en ventas lo ocupan actualmente los herbicidas (Maitre et al., 2004). Ellos representan la principal clase de plaguicidas responsable de la contaminación del agua subterránea.

Este crecimiento en el uso de herbicidas fue de la mano con la expansión de la siembra directa (SD) durante los últimos años. Entre los herbicidas más usados se encuentra el metsulfuron metil, perteneciente a la familia de las sulfonilureas y ampliamente utilizado en la región semiárida pampeana. Es un herbicida sistémico que puede ser absorbido por el follaje o por las raíces a través de la solución del suelo. Las dosis habituales de uso oscilan entre los 5 y 10 gr de pc/ha y la mayoría de los productos comerciales poseen el 60% de ingrediente activo. Se lo utiliza principalmente en tratamientos de postemergencia y secundariamente como “residual” para ser absorbido desde el suelo. Es interesante tener en cuenta que en algunas zonas productivas se están observando efectos

de fitotoxicidad en cultivos de soja o maíz atribuidos a este herbicida (Papa, Massaro, 2005).

Las variaciones en las propiedades del suelo, tales como textura, contenido y distribución de la materia orgánica (MO), pH, etc. influyen sobre la sorción, degradación y movimiento de los herbicidas.

Los componentes coloidales del suelo juegan un rol importante en la actividad y movilidad de los pesticidas. Tanto los coloides inorgánicos como orgánicos del suelo poseen capacidad para interactuar con los mismos, y esta interacción resulta en diversos efectos sobre los pesticidas. A modo de ejemplo, los materiales del suelo pueden retardar su degradación y su acción como pesticida y también catalizar ciertas reacciones químicas (Domenech, 1995). Además, la interacción con los materiales del suelo puede favorecer la migración hacia aguas subterráneas o hacia cuerpos de aguas superficiales, deteriorando de esta manera la calidad del agua (Sparks, 2003).

Conocer los mecanismos de adsorción de este herbicida en suelos, en la superficie de partículas minerales, y la capacidad de interactuar con la MO es importante en la determinación de la actividad, disponibilidad y diseminación del mismo en el ambiente.

Saber como influyen las propiedades del suelo sobre la dinámica de los herbi-

cidas ayudará al uso más eficiente y a la reducción del impacto negativo sobre el ambiente.

Si bien hay varios estudios realizados de la interacción metsulfurón-suelo, la información acerca de la persistencia de este herbicida en suelos bajo SD en Argentina es escasa (Bazzigalupi, Cepeda, 2005).

El objetivo de este trabajo fue estudiar la adsorción de metsulfurón metil en suelos bajo SD de la región semiárida pampeana. Se evaluó principalmente el efecto del contenido de MO en la capacidad de adsorción de los suelos. En algunos casos particulares, se evaluó también el efecto del pH del medio.

Aspectos metodológicos

Se utilizaron 30 muestras de suelos (de la profundidad 0-5 cm) tomadas de lotes de producción en SD de la Regional Bahía Blanca de AAPRESID. Las determinaciones de carbono orgánico total (COT) se realizaron con un Analizador automático de Carbono.

Los estudios de adsorción se llevaron a cabo usando una técnica de equilibrio "batch", para la cual se colocaron 5g de suelo secados al aire en un tubo de centrífuga y se le adicionaron 10 ml de solución de herbicida preparada en solución 0,02M de CaCl₂. Esto se realizó a 15 concentraciones diferentes de herbicida. Posteriormente se agitó por 24 horas y se centrifugó por 30 minutos. Se extrajo el sobrenadante y se cuantificó por UV-Vis la cantidad de herbicida en solución. Así conociendo la concentración de herbicida inicial y la concentración del herbicida remanente en solución se pudo averiguar la cantidad de herbicida adsorbido. Los suelos usados como blanco, recibieron el mismo tratamiento y análisis. Finalmente se construyeron isotermas de adsorción que describieron la cantidad de herbicida adsorbido por el suelo como función de la concentración de herbicida en solución. Las isotermas de adsorción fueron realizadas a pH=6 para las 30 muestras de suelo. Algunas muestras fueron también estudiadas a diferentes pH, realizando isotermas de adsorción a pH 4, 6 y 8.

Resultados obtenidos y Discusión

El destino de la mayoría de las sustancias en el ambiente es controlado por la reacción de las mismas con la superficie de los sólidos, por ello para una comprensión total de la adsorción debemos caracterizar la interacción en términos de las propiedades químicas del herbicida, del suelo y del agua.

El herbicida metsulfuron metil pertenece a la familia de las sulfonilureas. Espectros UV-Vis, conjuntamente con la fórmula molecular del mismo se muestran en la Figura 1. El nitrógeno correspondiente al grupo (-SO-NH-CO) de la molécula de metsulfuron metil tiene propiedades ácido-base, de forma que a pH 3,5 no posee cargas eléctricas y predomina la forma que se presenta en la Figura 1. A medida que el pH aumenta, ese nitrógeno se deprotona (pierde cargas positivas) generando una especie con una carga negativa. La concentración relativa de esta especie aumenta con el aumento del pH, y a pH > 5 es prácticamente la única especie presente en solución.

Los cambios en la carga del metsulfurón metil y el hecho que los suelos y la MO incrementan sus cargas negativas a medida que el pH aumenta (Sparks, 2003) sugieren que el pH puede tener un efecto importante en la interacción del herbicida con el suelo. De hecho, los resultados de adsorción como función del pH (no mostrados aquí) indican que la adsorción disminuye considerablemente a medida que el pH aumenta (Zanini et al., 2005). Esta disminución parece ser debida principalmente a cambios en interacciones del tipo electrostático, que hacen que la molécula aniónica se adsorba cada vez en menor cantidad a medida que el pH se hace más elevado. Posiblemente por este comportamiento es que no se recomienda las aplicaciones del herbicida en suelos con pH elevados (Papa, Massaro, 2005).

Adsorción realizada a pH=6 sobre un suelo de COT = 3.9%. Concentración inicial de metsulfuron metil 17,43 mg/l. En la parte superior de la Figura 1 se muestra la fórmula molecular del herbicida. La adsorción del herbicida puede describirse mediante isotermas, las que muestran la relación entre la con-

FIGURA 1 | Espectro UV-Visible de metsulfurón metil antes y después de la experiencia de adsorción.

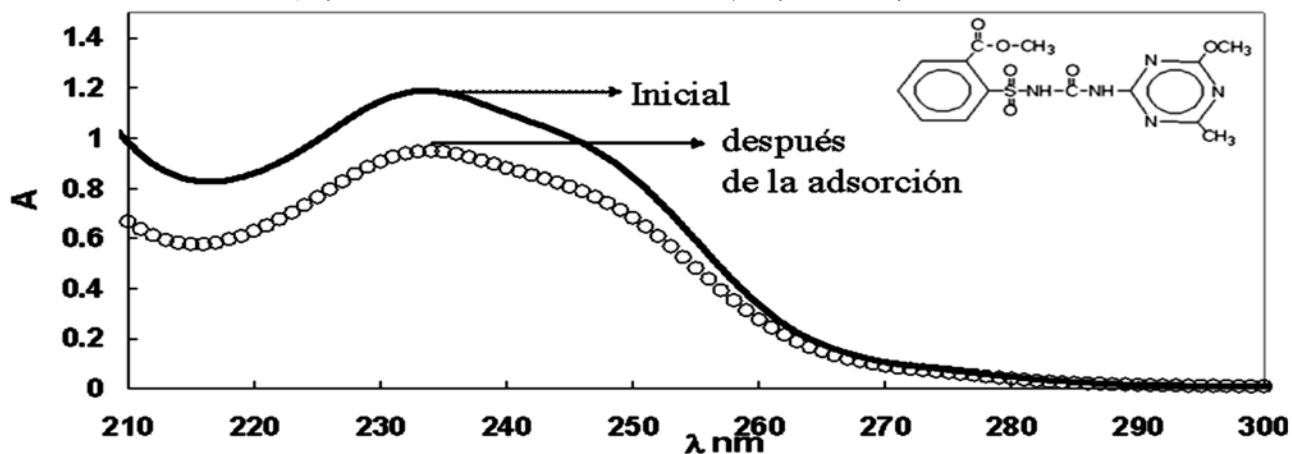


FIGURA 2 | Isotermas de adsorción a pH=6 para tres suelos con diferente contenido de COT (●) 4,854% (○) 3,074% (□) 1,293%

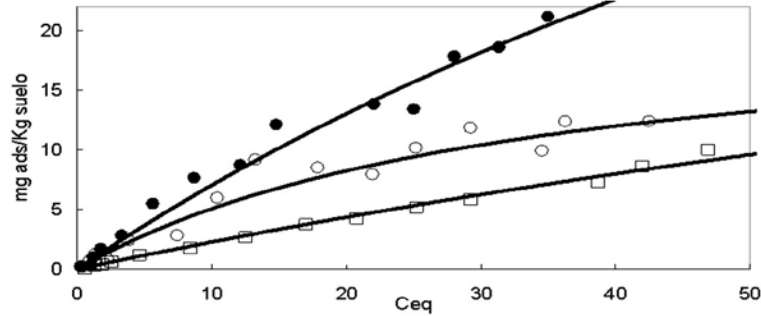
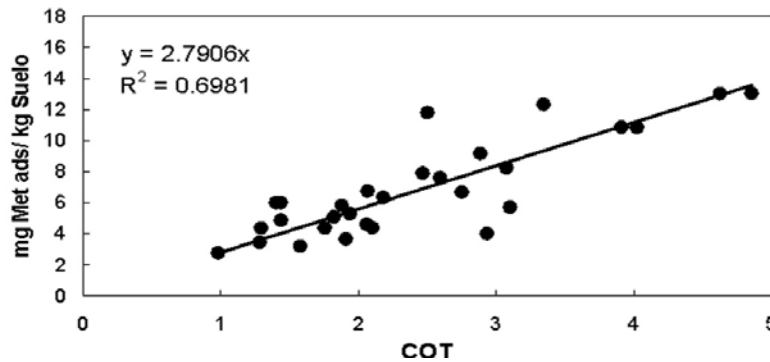


FIGURA 3 | Metsulfurón metil adsorbido por kilogramo de suelo a $C_{eq} = 20\text{mg/l}$ en función de COT para los 30 suelos estudiados.



centración de herbicida en la solución del suelo y la cantidad de herbicida adsorbida por kg de suelo a temperatura constante. Existen varios modelos usados para interpretar la adsorción sobre superficies de suelo. Estos incluyen la ecuación de Freundlich, un modelo puramente empírico, la ecuación de Langmuir y otros bastantes más complejos. De estos modelos se puede extraer información importante acerca de la fuerza de la interacción, de la cantidad máxima de sustancia que el suelo puede adsorber, de las propiedades químicas responsables de esa interacción, y también pueden ser útiles con el fin de comparar las adsorciones de una misma sustancia en varios suelos.

La Figura 2 muestra las isotermas de adsorción realizadas a pH 6 con 30 suelos con diferente cantidad de COT, el que osciló entre 0,98 y 4,85 %. Para un suelo dado, la adsorción aumenta a medida que aumenta la concentración de herbicida, y el comportamiento puede ser interpretado por isotermas típicas tipo Langmuir o Freundlich. Con el objeto de realizar un estudio comparativo, se correlacionó la cantidad adsorbida de herbicida con el contenido de COT, analizando su principal componente, el COT. Para ello, a partir de las isotermas de las 30 muestras estudiadas se obtuvo la cantidad de herbicida adsorbida a una concentración de 20 mg/l y se la correlacionó con COT. Esta correlación es mostrada en la Figura 3.

La adsorción de metilmetilsulfurón metil aumentó de manera aproximadamente lineal con el aumento del COT de los suelos. Por otra parte, una ordenada al origen cercana a cero sugiere que suelos sin materia orgánica adsorberían

una cantidad casi despreciable del herbicida. Estos datos indican que la MO es la principal responsable de la adsorción de metilmetilsulfurón metil en los suelos estudiados, y que los minerales sin MO tienen una muy baja (o nula) capacidad de adsorber al herbicida. Evidentemente, la MO del suelo tiene un efecto muy importante sobre la dinámica del herbicida estudiado, haciendo que quede retenido (mayor residualidad y menor potencial contaminante por lixiviación) y se libere con el tiempo. Es necesario notar que la relación con la MO tiene un $R^2 = 0,69$, sugiriendo que hay otros factores que intervienen en los equilibrios y dinámica del metilmetilsulfurón una vez que llega al suelo. Como se mencionó, el pH, así como las características de los minerales del suelo y la calidad de la MO, aspectos que están aún en estudio. Con estos datos se podrá realizar un aporte mayor en relación a la interacción de metilmetilsulfurón metil con suelos bajo SD.

Conclusiones

La materia orgánica es la principal responsable de la adsorción y los minerales del suelo parecen tener muy baja (o nula) capacidad de adsorción.

La adsorción es también dependiente del pH, disminuyendo a medida que el pH aumenta. Si bien las interacciones electrostáticas explican los efectos del pH, es probable que haya importantes interacciones no electrostáticas (fuerzas de Van der Waals, interacciones puente hidrógeno, etc.) debido que la adsorción es significativa a pH 6 y 8, donde tanto las moléculas del herbicida como las de la materia orgánica poseen cargas negativas.

Agradecimientos

Los autores agradecen a CONICET, SECYT y SECYT-UNS por financiar este proyecto y al Dr. Marcelo J. Avena por la posibilidad de acceder a su laboratorio, Dpto. de Química de la UNS.

Bibliografía

Bazzingalupi O., S. Cepedas. 2005. Relations between soil moisture and the metsulfuron methyleffects on the seedling growth of soy bean. RIA, 34(1):101-110, , INTA. Argentina.

Domenech X. 1995. Química del Suelo. El impacto de los Contaminantes. Ed. Miraguano. Madrid.

Sparks D.L. 2003. Environmental Soil Chemistry. 2da. Edition. Academic Press. USA.

Maitre M.I., A. Lenardón, E. Lorenzatti, S. Enrique. 2004. Adsorción-desorción del herbicida glifosato en dos suelos del litoral argentino. XIX Congreso Argentino Ciencia del Suelo. Paraná.

Papa J.C, R. Massaro. 2005. Herbicida Metsulfuron Metil en Barbechos Químicos. Revista para mejorar la producción 28, Trigo Campaña 2004/2005. INTA EEA Oliveros.

Zanini G.P., C. Maneiro, G. Pacioni, M. Brigante. 2005 Adsorción de metsulfuron metil sobre suelos bajo siembra directa con diferente cantidad de materia orgánica. Jornada de Materia Orgánica y Sustancias Húmicas de Suelos. Bahía Blanca.



LA SIEMBRA DIRECTA Y EL SUELO

ROTACIÓN DE CULTIVOS EN SD

FERTILIZACION DEL TRIGO EN SD

LOS HERBICIDAS Y EL AMBIENTE

CALIDAD PANADERA DEL TRIGO

11



Efecto del nitrógeno y del azufre sobre la calidad del trigo SD.

- RODRIGO FERNANDEZ • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) – CERZOS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA.
- JUAN GALANTINI • COMISIÓN INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS (CIC) – CERZOS, DPTO. AGRONOMÍA - UNS, BAHÍA BLANCA.
- MARÍA R. LANDRISCINI • CONICET.

Introducción

El trigo pan o panificable (*Triticum aestivum*) es uno de los cereales más cultivados del mundo. Formó parte del desarrollo económico y cultural de hombre. De sus granos se produce la harina la cual es utilizada, de acuerdo a su calidad, para la elaboración de diversos subproductos tales como pan, galletitas, tortas, etc. Por lo tanto, los distintos derivados de la industria farinácea requieren calidades de harina con diferentes características fisicoquímicas.

Tradicionalmente, la Argentina se ha caracterizado por ser un país exportador de granos de trigo de muy buena calidad panadera. En los últimos años el empobrecimiento de los suelos y la aparición de material genético de alto potencial de rendimiento, han contribuido a que la producción de trigo sea de calidad muy variable y en muchos casos con menor precio al no poder cumplir con los estándares mínimos requeridos para su comercialización.

Todas las prácticas de manejo tendientes a mejorar la calidad de los granos permitirían revertir este proceso y posibilitarían la recuperación de mercados más exigentes y con mejor precio.

¿De qué depende la calidad de la harina?

Como se mencionó, el concepto de calidad está íntimamente asociado a su uso final. Las principales características que modifican la calidad industrial están determinadas principalmente por la aptitud genética del cultivar utilizado (60-80%) y en menor medida por el ambiente, ya sea a través de la influencia del clima o del manejo agronómico del cultivo (20-40%). Si bien una parte importante en la definición de la calidad será la selección del material a sem-

brar, resulta igualmente importante conocer en qué medida el manejo puede modificar el resultado final.

Propiedades de la harina de trigo.

La aptitud industrial de un trigo depende en gran medida de la cantidad y de la calidad de la proteína de su harina. Las proteínas presentes en la harina de trigo son cuatro: albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas.

La harina de trigo se distingue del resto de las harinas obtenidas a partir de otros cereales, por poseer un compuesto gomoso-viscoelástico de estructura tridimensional y de color amarillento-grisáceo, que se forma cuando se mezcla con el agua. Este compuesto denominado “gluten”, también presente en menor cuantía y calidad en la harina de centeno, es el responsable de retener la mayor cantidad de gas CO₂ generado en el proceso fermentativo de la panificación. El gluten está formado por las llamadas proteínas de reserva que son las gliadinas (prolamina) y la glutenina (glutelina), las que son insolubles en agua. O sea que el gluten es una parte integrante de la proteína, y casi siempre a altos contenidos de proteína le corresponden altos valores de gluten.

Las propiedades reológicas del gluten son extremadamente importantes en el desempeño de la harina de trigo en la panificación, ellas son la elasticidad (dada por las gluteninas) y la viscosidad (dada por las gliadinas).

Las gliadinas son monómeros de bajo peso molecular mientras que las gluteninas son polímeros con alto y bajo peso molecular donde los puentes S-S mantienen la estabilidad de dicha estructura.

Las proteínas representan el componente más importante en la calidad del trigo. Pero no siempre un alto porcentaje de proteína garantiza una buena calidad industrial, ya que están involucradas proteínas específicas que contribuyen a la calidad. Por ello, harinas provenientes de dos variedades de trigo que tienen similar contenido de proteína, pueden ser muy distintas en su aptitud panadera debido al efecto genético de los cultivares. En la Argentina las variedades que se comercializan se agrupan en tres grandes grupos de calidad (GC): GC I, GC II y GC III.

Importancia del Azufre en la calidad panadera.

El S se encuentra en el grano formando parte de aminoácidos como cisteína, metionina, cistina y sulfolípidos. Se sabe que los puentes disulfuros (S-S) juegan un papel principal en la estabilidad de las proteínas (estructura terciaria) presentes en el gluten, por este motivo, la masa se verá afectada por compuestos que contengan en su composición grupos S-H y agentes reductores que no favorezcan las uniones por enlaces disulfuros S-S, modificando las propiedades reológicas del gluten. Esta última característica está fuertemente ligada al volumen de pan.

Parámetros asociados a la calidad.

El porcentaje de proteína es una medida utilizada para determinar la calidad comercial del trigo. La expresión cuantitativa de la proteína está relacionada con el nitrógeno orgánico total de la harina, el cual puede ser determinado mediante un análisis químico rápido y preciso (Método Kjeldahl). Las expresiones de calidad se relacionan específicamente con las características físico-químicas de los componentes que forman el gluten y su reología. Para medir las características de calidad de las proteínas del trigo, se disponen de diferentes pruebas como las siguientes:

- Prueba de sedimentación de Zeleny.
- Índice de sedimentación utilizando dodecilsulfato sódico (SDS).
- Prueba de sedimentación con ácido láctico.
- Ensayo de masa de Pelshenke.
- Prueba de viscosidad.
- Ensayos reológicos de medición de propiedades físicas de la masa: Alveógrafo, Extensógrafo, Farinógrafo, etc.
- Panificación.

De las pruebas de calidad mencionadas el SDS es un indicador intermedio en cuanto a precisión, costo, facilidad y tiempo para realizarla. El SDS estima el potencial de panificación a través de la fuerza del gluten y el método se basa en la capacidad de imbibición de agua de las proteínas formadoras del gluten quedando sometidas a una desnaturalización por una solución diluida de ácido láctico. En la Tabla 1 se detallan algunos parámetros de calidad orientativos de acuerdo a los grupos de trigos.

En el año 2004 se llevaron a cabo ensayos de fertilización con trigo. Los mismos consistieron en la aplicación de dosis crecientes de Nitrógeno (N) durante el inicio del macollaje. Las dosis de N fueron: 0, 25, 50 y 100 kg ha-1, como

TABLA 1 | Límites de los parámetros que caracterizan la calidad del trigo.

Grupo de Trigo	Proteína %	Gluten Húmedo	Sedimentación
I	>12,5	>30	≥ 45
II	>11,5	>26	25-45
III	>11,0	>24	10-25

Urea. Las dosis combinadas fueron de 50 kg N ha-1 con 0, 6, 12 o 24 kg de Azufre (S) ha-1 como sulfato de amonio. Se evaluó el rendimiento en grano y en la harina se determinó el porcentaje de proteína, el volumen de sedimentación (SDS, altura sedimento, mm) y el SDS específico obtenido a partir del valor de SDS dividido el contenido de proteína.

Para contrastar estos resultados se seleccionaron dos grupos de ensayos en base a la clasificación por grupos de calidad (GC): el GC I, variedades con características panaderas de mejor calidad, y el GC III, variedades de menor calidad panadera pero con mayores rendimientos.

El rendimiento máximo y la dosis de N aplicada para alcanzarlo fue mayor en las variedades del GC III que en las del GC I (Figura 1a). El crecimiento continuo observado en las curvas fue el resultado de las características

FIGURA 1A | Efecto del incremento de las dosis de N sobre el rendimiento en grano.

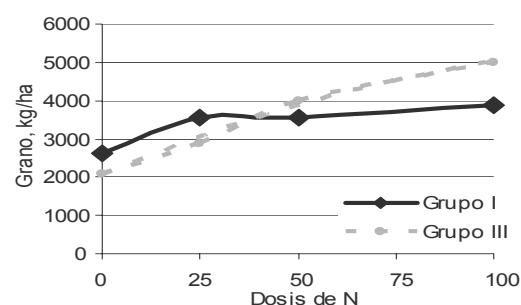


FIGURA 1B | Efecto del incremento de las dosis de S sobre el rendimiento en grano.

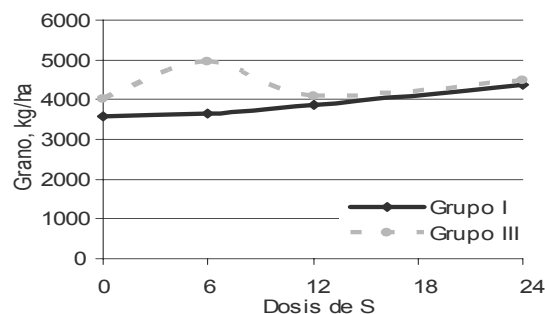


FIGURA 2 | Efecto del incremento de las dosis de N y S sobre el contenido de proteína en grano.

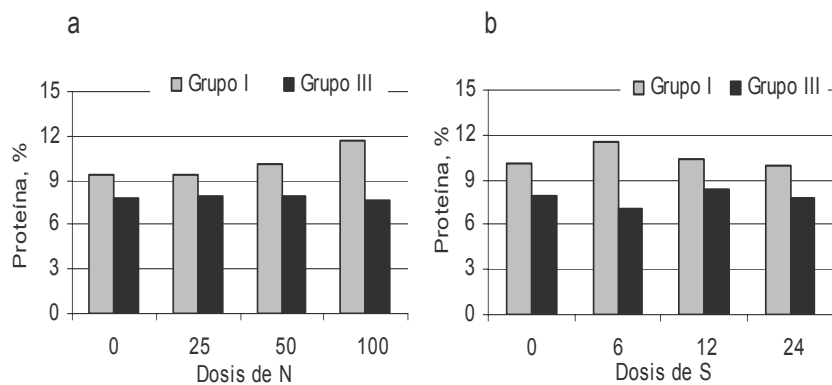


FIGURA 3 | Efecto del incremento de las dosis de N y S sobre el volumen de sedimentación (SDS) de las harinas.

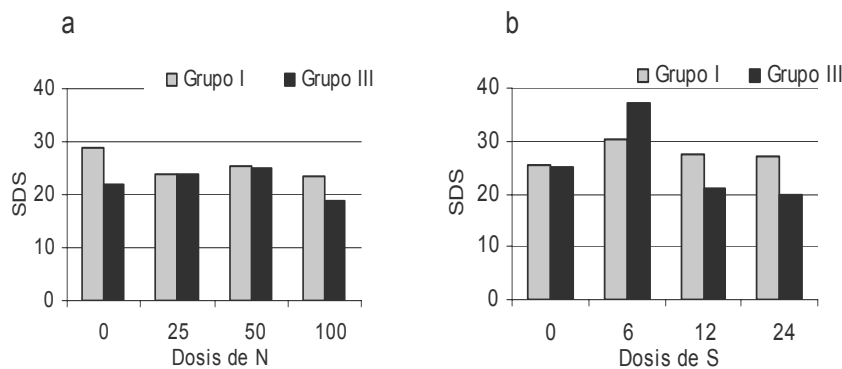
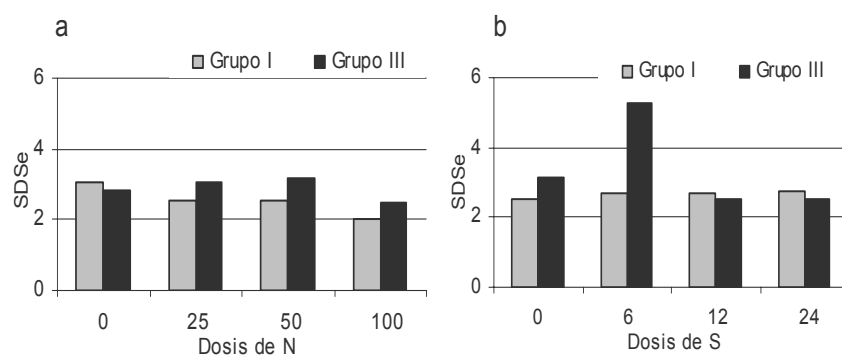


FIGURA 4 | Efecto del incremento de las dosis de N y S sobre el volumen de sedimentación específico (SDSe) de las harinas.



climáticas del año, donde predominaron abundantes lluvias durante el ciclo que favorecieron el desarrollo del cultivo y la pérdida de los excesos de N. Se observó una respuesta diferente a la aplicación de S entre los dos grupos de calidad, en el GC I el aumento de la dosis de S aplicada incrementó el rendimiento, mientras que en el GC

III el rendimiento máximo se logró con 6 kg S ha⁻¹ (Figura 1b). Como las aplicaciones de S se realizaron en combinación con la dosis de 50 kg de N y la respuesta máxima en el GC III se obtuvo con la dosis de 100 kg de N ha⁻¹, es posible que las respuestas al S hubieran sido también importantes con una mayor disponibilidad de N.

Dosis de N mayores de 25 kg de N ha⁻¹ no mejoraron el rendimiento en el GC I pero sí su contenido de proteínas (Figura 2). En el GC III todo el N aplicado fue directamente al rendimiento con un contenido proteico muy bajo y similar con todas las dosis. La aplicación de 6 kg de S mejoró el contenido de proteína en el GC I y tuvo un efecto pequeño y variable en GC III.

Las diferencias en el valor del SDS entre los grupos se encontraron principalmente en el testigo, donde la mejor calidad panadera se encontró en el GC I (con valores cercanos a 30) y la menor en el GC III (con valores cercanos a 20) (Figura 3). La fertilización nitrogenada tendió a aumentar estos valores con dosis de hasta 50 kg N; a partir de allí se observó una tendencia a disminuir. Con la aplicación de azufre, el mejor balance entre N y S se encontró con 6 kg de S ha⁻¹, donde los valores de SDS fueron máximos para los dos grupos y el GC mostró la respuesta más importante. Cuando se analizó el SDSe se observó una tendencia a valores mayores en el GC III, indicando que la proteína sería de buena calidad panadera, encontrándose diferencias por efecto de su menor contenido (Figura 4). La aplicación de S tuvo un efecto mucho más marcado en los valores observados en el GC III y prácticamente no modificó los valores del GC I.

Conclusiones

Los resultados obtenidos indican que la aplicación combinada de N y de S es una buena estrategia para lograr un aumento en el rendimiento y la calidad del grano de trigo. Si bien las características climáticas pueden modificar los resultados, el agregado de S mejora la calidad del grano y de su proteína.

La respuesta de los grupos de calidad analizados fue diferente, por lo que se deberían plantear estrategias específicas para cada uno de ellos.

La variabilidad climática, los diferentes potenciales de producción de cada sitio y las características de cada grupo de calidad hacen que sean necesarias calibraciones específicas para determinar la dosis más adecuada de N y S para el óptimo de cada situación.

Bibliografía

Cuniberti M.B. 2003. Calidad del trigo de la campaña 2002/3 en la región central del país. INTA Marcos Juárez. Información para Extensión 79: 17-20

Eskridge K.M., C.J. Peterson, A.W. Grombachei 1994. Probability of wheat quality traits falling within acceptable limits. Crop Sci. 34:866–869.

Salomón N. 2002. Calidad del trigo argentino. Boletín Informativo AgroRadar 18: 10-19.

Parámetros de calidad de muestras comerciales de trigo (2002/3 a 2004/5).

- DANIEL RENZI • CÁMARA ARBITRAL DE CEREALES DE BAHÍA BLANCA, BAHÍA BLANCA.
- NOEMI FRITZ • CÁMARA ARBITRAL DE CEREALES DE BAHÍA BLANCA, BAHÍA BLANCA.
- JUAN GALANTINI • CIC. CERZOS - DPTO. AGRONOMÍA, UNS.
- NELLY SALOMÓN • DPTO AGRONOMÍA UNS.
- RUBÉN MIRANDA • DPTO AGRONOMÍA UNS.

Introducción

El trigo se cultiva en una amplia diversidad de ambientes que afectan su desarrollo, en particular la producción de granos y su calidad final. El mercado argentino dispone de una amplia diversidad de materiales genéticos que se adaptan a los más variados productos, ventajas que se pierde cuando se mezcla la producción al exportar. Disponer de trigos clasificados es una estrategia interesante para participar en mercados más exigentes y lograr diferenciales de precios.

Durante los últimos años, la producción de granos en Argentina fue creciente y el contenido proteico de los granos exportados disminuyó (CAC, 2006). La demanda mundial de trigo ha crecido en forma paralela con la demanda de productos de calidad. En este sentido, la industria es extremadamente exigente en cuanto a las características de las harinas que utilizarán como materia prima, ya que de ellas dependerá la calidad y aceptación de los productos finales. La industria molinera requiere que se almacenen las distintas variedades de trigo por separado, basadas en sus propiedades de uso y para obtener la harina óptima para cada producto en particular. Es por lo tanto claro que la clasificación de los distintos lotes de trigo por calidad es un aspecto clave para una eficiente comercialización.

El concepto de calidad dependerá del eslabón de la cadena agroalimentaria que se considere: productor (máximo rendimiento con el mayor precio), molinero (máximo rendimiento de harina y óptima calidad para el producto final) o consumidor (agradables características de color, sabor, olor, etc.).

Para la industria molinera, las propiedades más importantes serán el rendimiento en la molienda, peso de 1000 granos, cenizas en grano entero, etc. Mientras que desde el punto de vista de la calidad panadera, los atributos más importantes a tener en cuenta son el contenido de proteínas del trigo, gluten húmedo, así como las propiedades reológicas de las masas medidas por alveó-

grafo, farinógrafo y ensayo de panificación. La prueba alveográfica determina el comportamiento de la masa en la fermentación imitando la formación de los alvéolos originados por el CO₂ producido por las levaduras. Además, mide la resistencia a la deformación y la extensibilidad.

El alveograma es el gráfico producido por el equipo y que se caracteriza por la altura (P, relacionado con la tenacidad) y el largo (L, mide la extensibilidad) de la curva, siendo también importantes la superficie (W, mide la fuerza panadera) y la relación altura/largo (P/L, que da idea del equilibrio de la masa). Valores de W superiores a 300 x 10⁻⁴ Joules caracterizan a los trigos de fuerza o correctores, los que suelen utilizarse en mezclas con los de menor W.

Por otro lado, también es importante que las masas sean equilibradas, por lo que la relación P/L debería estar entre 0,75 y 1,25. La calidad del producto final del proceso industrial dependerá de la calidad de la materia prima utilizada. Si bien son muchas las variables involucradas en la calidad del trigo, la más importante son la genética, el ambiente y el manejo del cultivo.

Las características de la variedad determinan el contenido y calidad de las proteínas, así como la respuesta a los factores naturales y de manejo (rendimiento y calidad). Las características más importantes del grano desde el punto de vista de sus usos industriales están determinadas por su genotipo y modificadas por el ambiente, el manejo y la interacción entre ellos (Peterson et al., 1998; Eskridge et al., 1994).

La magnitud de los efectos del ambiente y del manejo puede ser pequeña en comparación con las características de la variedad en particular. Estos efectos serán variables entre ambientes y años diferentes. Por este motivo, el desarrollo de modelos de clasificación con validez general requiere que se utilicen conjuntos de muestras lo suficientemente grandes y representativos de la variabilidad existente.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar en una amplia base de datos las relaciones entre las características del grano y su calidad panadera, teniendo en cuenta las diferencias genéticas de los materiales.

Aspectos metodológicos

Para este estudio se utilizaron muestras comerciales analizadas en la Cámara Arbitral de Cereales de Bahía Blanca durante las campañas 2002/3, 2003/4 y 2004/5. Fueron seleccionadas 573 muestras comerciales de trigo provenientes de partidas individuales durante tres años consecutivos (2002 a 2004). Las muestras de trigo fueron agrupadas en tres categorías basadas en las diferencias del genotipo y su calidad en la producción industrial de pan: Grupo de calidad 1 (GC1), Grupo de calidad 2 (GC2) y Grupo de calidad 3 (GC3), de acuerdo a la clasificación del “Comité de Cereales de Invierno de la Comisión Nacional de Semillas” (CONASE). La selección de los materiales se realizó teniendo en cuenta las siguientes características:

- Eran muestras puras o compuestas por dos variedades, las que se identificaron visualmente y en algunos casos se verificó mediante análisis;
- Estaban representados 54 Partidos/Departamentos de las Provincias de Buenos Aires y La Pampa.
- Estaban representados los tres grupos de calidad y dentro de cada uno de ellos había de 2 a 4 bandas de proteínas diferentes (alta, media, baja y muy baja).
- Había diversidad de materiales genéticos.

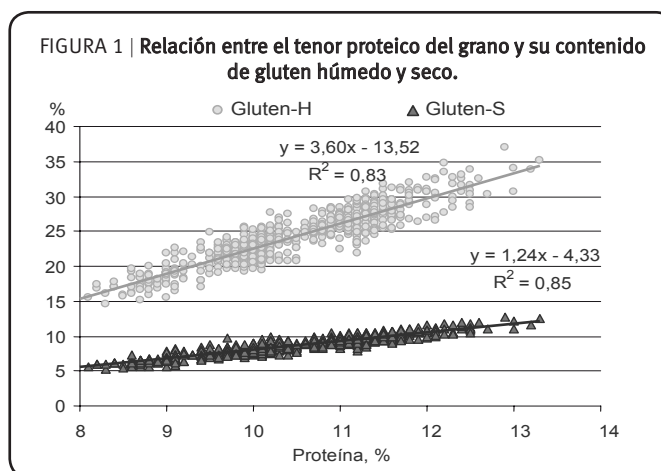
Los granos fueron analizados por proteínas (Prot), gluten y el peso de mil (P1000). Fueron molidos (con molino de laboratorio) para obtener los índices o valores alveográficos y la estabilidad farinográfica.

Para analizar la relación entre las variables se utilizaron regresiones simples y múltiples, obteniendo la ecuación o modelo que describía el comportamiento de las variables, el nivel de probabilidad de error de cada una de ellas (p) y el grado de asociación entre las variables (R^2). Es útil recordar que el R^2 indica cuanto de la variabilidad de una variable puede ser explicada por la variabilidad de la otra. Por ejemplo, si la relación rendimiento y proteína presenta un R^2 de 0,90, indica que el 90% de la variabilidad de la proteína podría ser explicado por la variabilidad del rendimiento.

Resultados obtenidos y Discusión

Para el total de las muestras analizadas la relación encontrada entre el porcentaje de proteína y gluten, tanto en seco (S) como en húmedo (H), fue alta, coincidentemente con otros trabajos (Figura 1). Se observó variación entre años, siendo el 2003 en el que estuvieron más fuertemente relacionadas estas dos variables:

$$\text{Gluten-H} = 3,77 \text{ proteína} - 14,66 \text{ (} R^2 = 0,90 \text{)}$$

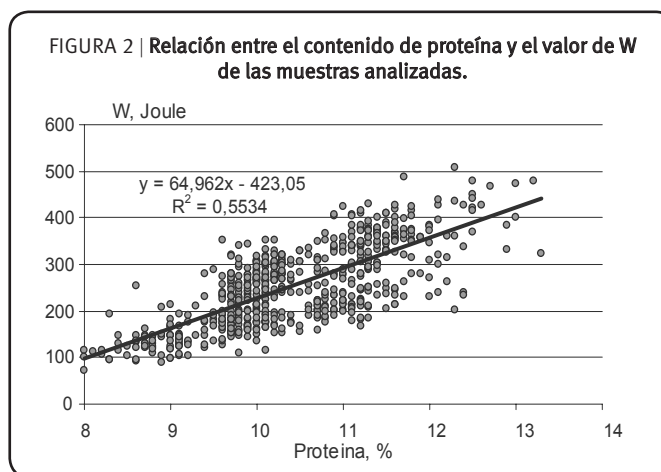


La relación entre estas dos variables fue semejante entre grupos de calidad (GC), solo con pendientes diferentes:

$$\begin{aligned} \text{Gluten-H} &= 3,3 \text{ proteína} - 11,95 \text{ (} R^2 = 0,84 \text{) GC1} \\ \text{Gluten-H} &= 3,8 \text{ proteína} - 15,53 \text{ (} R^2 = 0,84 \text{) GC2} \\ \text{Gluten-H} &= 4,0 \text{ proteína} - 17,41 \text{ (} R^2 = 0,87 \text{) GC3} \end{aligned}$$

Es decir, que por cada unidad de aumento en el contenido de proteína produjo un incremento mayor en los trigos del GC3 que en los del GC1.

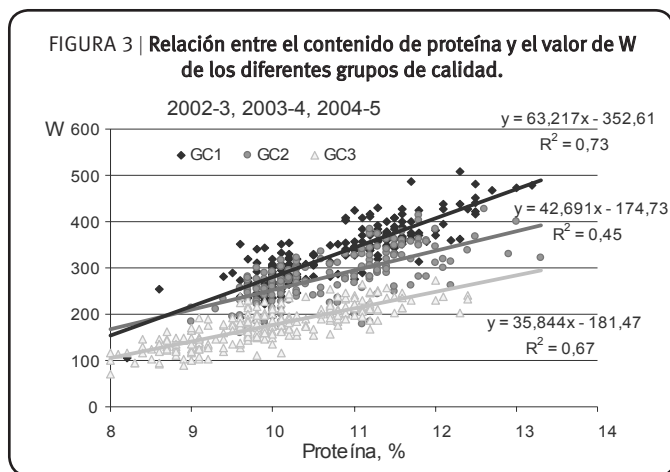
Para el conjunto de las muestras analizadas durante los tres años el valor del W estuvo relacionado con la proteína del grano ($P < 0,001$; $R^2 = 0,55$) (Figura 2).



Sin embargo, el grado de dispersión y el bajo ajuste del modelo indicarían que la proteína por sí sola sería de bajo valor como herramienta predictiva.

La relación entre el valor de W y el contenido proteico fue significativamente mejorada cuando se consideraron las diferencias de genotipo (Figura 3). La relación final entre estas variables fue:

$$\begin{aligned} W &= 63,2 \text{ proteína} - 353 \text{ (} R^2 = 0,73 \text{) GC1} \\ W &= 42,7 \text{ proteína} - 174 \text{ (} R^2 = 0,45 \text{) GC2} \\ W &= 35,8 \text{ proteína} - 181 \text{ (} R^2 = 0,67 \text{) GC3} \end{aligned}$$



Estos resultados indicarían que:

- La asociación W y proteína fue mucho más marcada en el GC1, menor en GC2 y mucho menor en GC3. En este último grupo, la variabilidad de las características del material genético resultaría en un comportamiento intermedio y mucho más variable que los otros dos grupos.
- Los grupos no serían excluyentes de calidad, ya que los trigos de los grupos 2 y 3 pueden llegar a valores de W adecuados, pero con niveles de proteína significativamente más altos que para el GC1.
- La pendiente indica la respuesta que tiene cada grupo al aumento de la proteína. Por cada punto que ella aumenta, el W aumentaría aproximadamente 62 puntos en GC1, 43 en GC2 y solo 35 en GC3. Es decir, el N en grano en las variedades del GC1 se encontraría en proteínas de mejor calidad, las que no estarían tan estrechamente relacionadas al gluten como sería de esperar.

Para el total de muestras fue posible estimar de manera simple el W teniendo en cuenta el grupo de calidad y el contenido proteico:

$$W = -68,8 - 60,6 \text{ GC} + 43,1 \text{ Proteína} \quad (R^2 = 0,83; P < 0,001; n = 545)$$

Estos resultados mostraron que algunas características del ambiente y manejo, a través del contenido proteico y el grupo de calidad pueden explicar alrededor del 83% de la variabilidad hallada en los valores de W. Evidentemente, el factor climático tiene una incidencia directa sobre la relación encontrada. Sin embargo, dada la variabilidad entre sitios, años y manejos, su inclusión para obtener un modelo más ajustado requerirá información más específica y de estudios destinados a tal fin.

Conclusiones

Los materiales del GC1 tienen mejor calidad y mayor respuesta en la calidad con el aumento de la proteína. Los genotipos de GC2 y GC3 pueden alcanzar la calidad adecuada cuando su contenido proteico es suficientemente alto. La proteína del grano y el genotipo pueden ser los mejores indicadores de la conveniencia de los distintos fines de uso. Estos dos parámetros pueden ser herramientas muy útiles para mejorar la comercialización del trigo. Los resultados obtenidos indicarían diferencias en la calidad del gluten entre los GC1 y GC3.

Se requieren estudios más específicos para un mejor ajuste de las relaciones encontradas, en particular tendientes a definir las mejores estrategias de manejo del cultivo.

Bibliografía

CAC, Cámara Arbitral de Cereales de Bahía Blanca. 2006. Informe anual.

Cuniberti M.B. 2003. Calidad del trigo de la campaña 2002/3 en la región central del país. INTA Marcos Juárez. Información para Extensión 79: 17-20

Eskridge K.M., C.J. Peterson, A.W. Grombachei. 1994. Probability of wheat quality traits falling within acceptable limits. *Crop Sci.* 34:866–869.

Peterson C.J., R.A. Graybosch, D.R. Shelton, P.S. Baenziger. 1998. Baking quality of hard red winter wheat: Response of genotypes to environment in the Great Plains. *Euphytica* 100:157–162

Salomón N. 2002. Calidad del trigo argentino. *Boletín Informativo AgroRadar* 18: 10-19

Los logros alcanzados por el proyecto “Las fracciones orgánicas en los suelos bajo siembra directa” han sido obtenidos gracias al trabajo y dedicación de todos los autores de los trabajos y aquellos que apoyaron de una u otra forma el desarrollo del proyecto, entre ellos:

A los pasantes: Ing. Agr. Josefina Cacchiarelli, Ing. Agr. Laura Cutini e Ing. Agr. Gustavo López; Técnicos Diego Benito, Cecilia Costantino, Florencia Crescenzi, Romina Flamenco, Pedro Iribarren, Candela Loureiro y Marta Stuhldreher; estudiantes Viviana Cutini y Carina Mealle.

A quienes participaron en las reuniones de trabajo: Ing. Agr. Agustín Bianchini, Dr. Fernando García, Dr. Ramón A. Rosell, Lic. Juan Carlos Gasparoni, Lic. Aurora Lázzari, Bioq. Ana María Miglierina, Dr. Alberto Quiroga, Ing. Agr. María de las Mercedes Ron, Ing. Agr. Joaquín Rabasa, Ing. Agr. Marcelo Sagardoy, Ing. Agr. Eduardo Sa Pereira.

A AAPRESID y en especial a los integrantes de la Regional Bahía Blanca: Julio Mayol (Presidente), Ricardo Ochoa (Secretario), Carlos Rodríguez (ATR), Cristian Kleine (Establecimiento Funke) y a las familias: Irastorza (Cumelen), Inchausti (El Deslinde), Rigotti (La Constancia), Casali (El Mioño), Kiessling (Las Ruinas), Wendorff (Cerro Manitova), Laurlund (La Estancia), Frayssinet, Rodríguez Arias (La Emilia) y Navarro (La Julieta).

A las Instituciones: CERZOS, CONICET, CIC, Dpto. Agronomía UNS, AAPRESID, LANAIS 15N y Cámara Arbitral de Cereales Bahía Blanca.

Juan Alberto Galantini



ASOCIACIÓN ARGENTINA
DE PRODUCTORES EN SIEMBRA DIRECTA.
Paraguay 777, Piso 8, Of. 4 (S2000 CVO) Rosario.
Tel/Fax: [0341] 426 0745.
e-mail: aapresid@aapresid.org.ar
www.aapresid.org.ar