
SEMINARIO DE ACTUALIZACIÓN TÉCNICA

MANEJO DE SUELOS PARA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA SUSTENTABLE

Editor: Roberto Docampo*

*Ing. Agr. (Dr.) Programa Nacional de Investigación en Producción Hortícola
Programa Nacional de Investigación en Producción y Sustentabilidad Ambiental

Título: SEMINARIO DE ACTUALIZACIÓN TÉCNICA
MANEJO DE SUELOS PARA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA
SUSTENTABLE

Editor: Roberto Docampo

Serie Actividades de Difusión N° 624

©2010, INIA

ISBN: 978-9974-38-300-5

Editado por la Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología de
INIA Las Brujas
Ruta 48 km 10, Rincón del Colorado, Canelones, Uruguay
inia_lb@lb.inia.org.uy
<http://www.inia.org.uy>

Quedan reservados todos los derechos de la presente edición. Esta publicación no se podrá reproducir total o parcialmente sin expreso consentimiento del INIA.

Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria

Integración de la Junta Directiva

Ing. Agr., MSc. Enzo Benech - Presidente

Ing. Agr., Dr. Mario García - Vicepresidente



Ing. Agr. José Bonica

Dr. Alvaro Bentancur



Ing. Agr., MSc. Rodolfo M. Irigoyen

Ing. Agr. Mario Costa



SEMINARIO DE ACTUALIZACIÓN TÉCNICA

Manejo de Suelos para Sistemas de Producción Hortícola Sustentables 21 de octubre de 2010

OBJETIVO

Brindar a los técnicos asesores los principios fundamentales que sustentan el manejo conservacionista de los suelos, así como las prácticas y tecnologías disponibles para recuperar, mantener y eventualmente mejorar la productividad de suelos bajo sistemas de producción intensiva.

PROGRAMA PRELIMINAR

8:15 INTRODUCCIÓN: Objetivo y dinámica de la jornada. R. Docampo

Módulo I: Laboreo conservacionista y abonos verdes

8:30 – 9:00 Conferencia de Dr. Jamil Fayad - EPAGRI Sta. Catarina
«Sistema de Plantío Directo en hortalizas en Santa Catarina»

9:00 – 9:30 Conferencia de Dr. Nuno Rodrigo Madeira – EMBRAPA Brasilia
«Sistema de Plantío Directo en hortalizas en Brasil Central».

9:30 – 10:00 Presentación INIA J. C. Gilsanz y J. Arboleya
«Manejo Sustentable en la Producción Hortícola Intensiva»

10:00 – 10:30 Intervalo

10:30 – 10:45 Estimación de pérdidas de suelo por erosión hídrica para sistemas de producción hortícola del Uruguay. M. Hill, V. Mancassola FAGRO

Módulo II: El uso de enmiendas orgánicas

10:45 – 11:15 Aplicación de enmiendas orgánicas y efectos en el suelos. M. Barbazán, A. del Pino FAGRO

11:15 – 11:45 Evaluación agronómica y ambiental del estiércol de ave como fuente de N
A. Rabuffetti INIA

11:45 – 12:00 Preguntas

12:00 – 14:00 Almuerzo libre

Módulo III: Las secuencias de cultivos o rotaciones

14:00 – 14:30 Conferencia Dr. Raúl Agamennoni – INTA
«Rotaciones para la cebolla en el sur de la Provincia de Buenos Aires - Argentina»

14:30 – 15:00 Evolución del rendimiento y de las propiedades del suelo en diferentes secuencias de cultivos de producción hortícola.

R. Docampo INIA

15:00 – 15:30 Manejo sustentable de suelos en sistemas de producción hortícola del sur del Uruguay M. García, F. Alliaume FAGRO

15:30 – 16:30 MESA REDONDA: «Integración de los factores de manejo de suelos en paquetes tecnológicos sustentables»

Moderadores: F. Vilaró y J. Sawchik

CONTENIDO

	Página
Sistema de Plantio Direto em Hortaliças no Brasil Central 1 <i>Nuno Rodrigo Madeira</i>	1
Manejo Sustentable en la Producción Hortícola Intensiva 9 <i>Arboleya J., Gilsanz J.C., Allauime F., Leoni C., Falero M., Guerra S.</i>	9
Aplicación de enmiendas orgánicas y efectos en el suelo 21 <i>Barbazán M., del Pino A., Moltini C., Hernández J., Rodríguez J., Beretta A.</i>	21
Evaluación agronómica y ambiental del estiércol de ave como fuente de nitrógeno en sistemas de producción intensiva 33 <i>Rabuffetti A., García C., Docampo R., Casanova S., Moura M., Smolark C., Cabral H.</i>	33
Rotaciones para cebolla en el sur de la provincia de Buenos Aires, Argentina 51 <i>Agamennoni R., Rivas J., Vanzolini J.I., Prioletta S., Baffoni P., Caracotche V.</i>	51
Evolución del rendimiento y de las propiedades del suelo en diferentes secuencias de cultivos en producción hortícola 59 <i>Docampo R., García C., Rabuffetti A.</i>	59
Manejo sustentable de suelos en sistemas de producción hortícola del sur del Uruguay 69 <i>García de Souza M., Alliaume F.</i>	69

SISTEMA DE PLANTIO DIRETO EM HORTALIÇAS NO BRASIL CENTRAL

Nuno Rodrigo Madeira¹

DEFINIÇÃO E EFEITOS DO SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Já consagrada na produção de grãos, com área superior a 22 milhões de hectares em 2006 (FREITAS, 2007), o plantio direto pode vir a ser importante ferramenta para a obtenção de um sistema produtivo sustentável também na Olericultura, onde ainda pouco se fez nesse sentido. Apesar do surgimento de algumas experiências isoladas, geralmente munidas de elevado grau de empirismo, é pequena a contribuição da pesquisa científica para o avanço do plantio direto em hortaliças.

Freitas (2002) define o plantio direto como um sistema de manejo sustentável de solo e água que visa a otimizar a expressão do potencial produtivo das plantas cultivadas, compreendendo um complexo integrado de processos, fundamentado em três requisitos básicos: o revolvimento mínimo do solo, restrito à cova ou sulco de plantio; a diversificação de espécies pela rotação de culturas; e a manutenção de resíduos vegetais com o uso de culturas específicas para a formação de palhada.

Alguns técnicos e agricultores tem chamado de plantio direto ou cultivo mínimo um sistema que utiliza o plantio na palha, mas que realiza uma passada de grade niveladora sobre a mesma, incorporando parcial e superficialmente a palhada. Na verdade, como existe um maior revolvimento que o preconizado pelo plantio direto, tem-se adotado o termo de Plantio com Preparo Reduzido para este sistema (MADEIRA *et al.*, 2009; ANDRADE *et al.*, 2009).

Dentre as premissas do Sistema de Plantio Direto (SPD), destaca-se sua aderência ao desenvolvimento rural

sustentável, em decorrência da menor dependência por insumos externos, pela alta conservação ambiental que proporciona e conseqüente aumento de renda do agricultor. O plantio direto pode significar a sobrevivência da agricultura, particularmente em regiões tropicais e subtropicais e em ambientes de montanha.

Com relação a um tema mais que atual, o enfrentamento das mudanças climáticas (NOBRE *et al.*, 2007), há que se ressaltar a contribuição do sistema de plantio direto. Segundo Gassen e Gassen (1996), no início da década de 90, Reicosky apresentou evidências de que a liberação de CO₂ em solos arados é superior ao volume de gases emanados pelo consumo de combustíveis fósseis em todo o mundo. O teor de carbono total é um importante indicador de sustentabilidade e de qualidade do solo e, quanto maior a intensidade de revolvimento deste, maior é a perda de carbono na forma de dióxido de carbono. A aração, além de provocar a perda acentuada de gases, promove o aquecimento da superfície pela exposição à radiação solar, contribuindo para o aumento do «efeito estufa». O SPD com abundância de palhada em cobertura pode desempenhar importante papel na reflexão da radiação solar e na redução da perda de carbono, na forma de CO₂, com influência direta na redução do «efeito estufa». Adicionalmente, o plantio direto diminui grandemente o consumo de derivados de petróleo, pela redução no uso de maquinário, o que também contribui para a redução do «efeito estufa».

Com relação a recursos hídricos, prevê-se uma inevitável crise de água potável em um futuro próximo. De acordo com Meirelles (2000), a irrigação na agricultura responde por 73% do consumo mundial de água,

¹ Pesquisador, Fitotecnia / Olericultura. Embrapa Hortaliças, cx. Postal 218, CEP 70359-970, Brasília, DF. Tel.: (55-61) 3385-9036. E-mail: nuno@cnpn.embrapa.br

ficando 21% para uso industrial e os 6% restantes para uso doméstico. Segundo Allen *et al.* (1998), a redução na evaporação depende principalmente da fração de cobertura da superfície do solo e da espessura da camada de palhada, tendo por regra geral, redução de cerca de 5% na evaporação de água do solo para cada 10% de superfície do solo efetivamente coberta com resíduo vegetal. Assim, em uma área com 50% de cobertura morta, a evapotranspiração pode ser reduzida em cerca de 25% durante o estágio inicial e entre 5% e 10% durante o estágio de máximo crescimento vegetativo. Gassen e Gassen (1996) apresentam dados que indicam a grande demanda hídrica em hortaliças, com eficiência de uso de água para cebola, tomate, repolho e alface, equivalendo respectivamente a 134, 192, 326 e 192 L kg⁻¹ de produto comercial. Dentre as inúmeras vantagens que oferece, o SPD permitem reduzir significativamente a necessidade de irrigação das culturas, podendo se tornar tecnologia fundamental para a racionalização de água na agricultura irrigada.

A água de escoamento superficial, aliada à desestruturação do solo pelo impacto da gota d'água, promove o carreamento de partículas sólidas, desencadeando-se os processos erosivos. O clássico trabalho de Phillips e Young (1979), «Non-tillage farming», já cita que solos sob plantio direto apresentam maior absorção de água. Em áreas experimentais em Purdue, Estado de Indiana, EUA, sob plantio direto, o escoamento foi reduzido de 45,3% para 0,5% e a infiltração foi elevada de 54,7% para 99,5%, em comparação à testemunha (sem resíduos vegetais).

Wildner (1985) observou redução de 99,5% nas perdas de solo e de 29,9% nas perdas de água pluvial por efeito da cobertura do solo com palhada. Silveira (1998) verificou redução de 87,8% de perdas de solo e de 69,9% de perdas de água, entre os tratamentos sem cobertura de solo e 3 t ha⁻¹ de resíduos culturais. Gassen e Gassen (1996) apresentam dados de que as perdas de solo médias por erosão no Estado de São Paulo, considerando as áreas de culturas anuais, ultrapassam 20 t ha⁻¹ ano⁻¹, correspondendo a

20 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, 0,55 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅, 2,1 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O, e 20 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Ca+Mg. Para o Estado do Paraná, em solos friáveis e rasos, Monegat (1991) apresenta estimativas de perdas de solo por erosão de até 60 t ha⁻¹ ano⁻¹, sob preparo convencional, arrastando 72 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de N, 3 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅, 9 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de K₂O, 15 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Ca e 9 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de Mg. Em Santa Catarina, Franco (1988) estimou perdas de 40 t ha⁻¹ ano⁻¹ de solo, representando US\$162 milhões em fertilizantes nitrogenados, fosfatados e potássicos.

As conseqüências desse contínuo processo erosivo culminam com o esgotamento dos solos e redução da produtividade, o que exige a reposição cada vez maior de insumos. Causa, ainda, o aguçamento do prejuízo causado pelas estiagens, o secamento de nascentes e o rápido transbordamento dos cursos d'água após as precipitações e diminuição nas estiagens, pela redução da capacidade de armazenamento das águas subterrâneas.

O cultivo mínimo tem se mostrado eficiente na redução do inçamento por plantas infestantes pelo efeito físico de barreira à luz e de não revolvimento do solo e na conservação da umidade, minimizando a variação e os picos de temperatura do solo (Monegat, 1991; Amado *et al.*, 1992).

Outro fator que foi desconsiderado pela agricultura convencional, por preconizar o uso do arado e da grade, foi a ação biológica das raízes, minhocas, insetos e outros organismos. Estima-se que, em ambientes naturais, mais de 80% da movimentação biológica do solo é provocada pelas raízes; as minhocas, os insetos de solo e outros organismos movimentam os 20% restantes. O uso de plantas com diferentes tipos de raízes pode ser planejado de acordo com as necessidades de estruturação, descompactação, aeração e drenagem. Em plantio direto, é necessário entender a importância vital da atividade biológica e sua relação com a abertura de galerias, com a mineralização e a decomposição da matéria orgânica, com a incorporação de nutrientes no perfil e com a estruturação do solo. A intensidade da atividade biológica é um bom indicador da qualidade e da fertilidade dos solos.

CULTIVO DE HORTALIÇAS EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

Com relação à produção de hortaliças (Olericultura), ela emprega no Brasil cerca de 2,8 milhões de pessoas, respondendo por mais de R\$ 11,5 bilhões, com produção anual de 17,5 milhões de ton. em mais de 770 mil ha (EMBRAPA, 2009).

Na prática, o que se apresenta em Olericultura são sistemas de produção que levam a uma dinâmica baseada na busca pela maior produtividade na safra vigente, com a utilização intensiva e crescente de insumos e intensa mecanização, acarretando muitas vezes em problemas generalizados de impactos ambientais e localizados de contaminação humana. Em regiões tradicionais na produção de olerícolas e, especialmente em agricultura de montanha (áreas declivosas em regiões montanhosas), os processos erosivos e o esgotamento dos recursos naturais são alarmantes, comprometendo áreas outrora produtivas, pela insustentabilidade de produção. Observam-se enormes perdas da camada superficial do solo, porção mais fértil deste, e o desperdício do cada vez mais escasso bem agrícola - a água, reflexo um ciclo crescente de empobrecimento do solo e esgotamento dos recursos naturais em função de seu manejo inadequado.

No Brasil, as primeiras experiências com SPD em hortaliças, de forma mais sistematizada, foram em cebola, no Estado de Santa Catarina, ainda na década de 80 (MONEGAT, 1991; AMADO *et al.*, 1992; FRANCO, 1988; TASSINARI, 1989).

Visando a contornar os intensos problemas de erosão causados pela água das chuvas e mesmo da irrigação, cebolicultores de São José do Rio Pardo, principal pólo produtor de cebola do Estado de São Paulo, buscaram a tecnologia do cultivo mínimo e começaram a adotar em 2002 o plantio de cebola na palhada, geralmente de milho, utilizando o rotocultivador para efetuar os sulcos. Segundo os produtores, objetiva-se maior retorno financeiro pela economia de água, em função da menor perda por escoamento e maior infiltração, e pela economia no uso de máquinas, aliado à

sustentabilidade da produção (FOLHA RURAL, 2002). Nota-se a evolução do sistema, o que é comprovado pela conquista do primeiro lugar no concurso de produtividade promovido pela Cooxupé, cooperativa que assiste os produtores locais, em área sob plantio direto com a média de 81,8 t ha⁻¹ sobre palhada de milho (FOLHA RURAL, 2004). O plantio direto sobre palhada tem sido utilizado na região tanto com a semeadura direta como pelo transplante de mudas, utilizando-se o rotocultivador para efetuar os sulcos.

A partir de meados da década de 90, o transplante de mudas de tomate para processamento na palha vem sendo empregado, especialmente na região do Cerrado de Goiás e Minas Gerais, tendo por vantagens a melhor conservação do solo, a maior tolerância a estresses hídricos e o menor uso de máquinas na lavoura. Tem-se usado como alternativas para produção de palha, o arroz e o milho, visando à produção de grãos, ou o milheto, visando apenas à produção de palha. O maior aproveitamento da produção em função da redução das perdas por podridões, em função do desenvolvimento dos frutos sobre a palhada e não em contato direto com o solo, e a conseqüente bonificação recebida pela alta qualidade da matéria-prima têm incentivado o uso dessa técnica. A economia de água em lavouras irrigadas é significativa, enquanto que em condições de sequeiro, a tolerância a períodos de estiagem é muitíssimo maior no plantio na palha quando comparado ao plantio convencional.

Vitoi (2000) relata sua experiência com o cultivo mínimo de couve-flor em Teresópolis, região serrana do Estado do Rio de Janeiro, entre 1995 e 1998, sob manejo orgânico, utilizando aveia, ervilhaca e vegetação espontânea para a formação de palhada, manejando o mato sem eliminá-lo. A produção superou as expectativas, indo melhor do que em cultivos convencionais realizados na mesma época por produtores regionais. Os agricultores que utilizaram a prática alegaram que a terra fica mais «gorda», mais fácil de trabalhar, o terreno resseca menos e a planta agüenta o calor - comentários práticos carregados de ciência, que fazem referência à melhoria das carac-

terísticas físico-químicas e biológicas e à regulação hídrica e térmica do solo.

Ainda em brássicas, Schmidt *et al.* (2001) obtiveram incremento produtivo em cultivos de verão de couve-flor e brócolos transplantados na palhada de aveia-preta dessecada. Os autores verificaram diferenças de temperatura de até 9 °C entre parcelas desnudas (máxima de 41 °C) e com cobertura de palhada de aveia-preta (máxima de 32 °C). O marcante efeito de regulação térmica, isto é, de redução na ocorrência de extremos de temperatura, especialmente com relação às temperaturas máximas é particularmente importante em culturas pouco tolerantes ao calor excessivo, tais como as brássicas.

As cucurbitáceas, tais como pepino, melancia e abóboras, podem facilmente ser cultivadas sob sistema de plantio direto, em função do largo espaçamento empregado e do reduzido sistema radicular que possuem. Pode-se utilizar plantas de cobertura cultivadas ou área de pastagem (retirando-se o pastoreio de 30 a 60 dias antes do plantio) para a formação de cobertura morta. Adicionalmente, observa-se a produção de frutos mais limpos, reduzindo o custo de lavagem e melhorando a qualidade visual do produto comercial, em função do seu desenvolvimento sobre palhada (GASSEN & GASSEN, 1996). Há produtores no Distrito Federal efetuando o plantio de abóboras sobre pastagem dessecada, observando-se redução de custos e manutenção dos níveis produtivos.

Na região de Ibiúna e Piedade, Estado de São Paulo, produtores buscando alternativas para melhorar a produção de alface, especialmente no verão quente e chuvoso, utilizam há cerca de 15 anos o plantio de alface sobre canteiros sobre palhada de milho no verão e aveia preta no inverno. Não se trata de SPD, uma vez que se efetua sempre o encanteiramento no momento do semeio das gramíneas, mas sim de plantio sobre palhada em canteiros. Efetua-se o semeio manual a lanço e, antes da maturação dos grãos, desseca-se a aveia ou o milho 30 dias antes do transplante da alface. Verifica-se incremento produtivo, melhoria das características do solo, redução da erosão, do inçamento e da infestação por doenças,

pela ausência de respingos nas folhas, e pela melhor drenagem dos canteiros, proporcionando produto de melhor qualidade.

A Embrapa Hortaliças e seus parceiros, em resposta à crescente demanda, vem conduzindo desde 2002 trabalhos com o cultivo de hortaliças em sistema plantio direto, especialmente cebola, tomate para processamento, repolho e couve-flor, entre outras.

Foram avaliadas diferentes palhadas em pré-cultivo, destacando-se o milho e o milho por sua viabilidade econômica. Avaliaram-se níveis de adubação observando a necessidade de aumento da adubação nitrogenada quando se utilizam gramíneas como plantas de cobertura em função de sua elevada relação C:N, havendo sequestro de N para decomposição da palhada (MADEIRA *et al.*, 2009).

Em cebola, Madeira e Oliveira (2005) avaliaram seis cultivares e diferentes plantas de cobertura (milho, sorgo forrageiro, amaranto e crotalária), tendo como testemunha o sistema convencional de plantio (transplante em canteiros após pousio). Foram obtidas no SPD produtividades comerciais entre 43,8 e 76,0 t ha⁻¹, conforme a palhada e a cultivar, com média de 55,8 t ha⁻¹, contra 32,7 e 53,8 t ha⁻¹ (média de 41,9 t ha⁻¹), conforme a cultivar.

Não foi verificada interação entre estas e o sistema de plantio, ou seja, o comportamento varietal foi semelhante nos sistemas de plantio direto e convencional (MADEIRA & OLIVEIRA, 2005; MELO, 2007).

Observou-se que o nível de dano estabelecido no monitoramento da população de tripes em cebola pode ser aumentado no sistema de plantio direto, possivelmente pelo maior enfolhamento observado, decorrente provavelmente da maior disponibilidade de matéria orgânica no SPD (LIMA *et al.*, 2004).

Foi estudado o efeito de diferentes níveis de palhada para avaliar a eficiência de uso de água em tomate para processamento sob plantio direto. Muito provavelmente, este talvez sejam os primeiros estudos visando quantificar o uso de água em hortaliças cultivadas em SPD no Brasil e no Mundo.

Foram estabelecidos parâmetros específicos para irrigação em SPD em cebola (MAROUELLI *et al.*, 2008a), tomate (MAROUELLI *et al.*, 2008b) e repolho (MAROUELLI *et al.*, 2009) com ajustes de coeficientes de cultura (Kc) e economia de água de irrigação de 18, 11 e 15%, respectivamente.

Em brócolos, Melo (2007) observou redução na temperatura do solo em até 2,7 °C com o SPD, obtendo produto com melhor qualidade e maiores produtividade e rentabilidade. Em um cenário de aquecimento global (NOBRE *et al.*, 2007), o SPD pode trazer contribuições para mitigar os efeitos negativos de temperaturas sensivelmente mais altas em culturas exigentes em temperaturas amenas como muitas das hortaliças.

Com relação à erosão, observou-se no SPD em experimentos no setor de campos experimentais na Embrapa Hortaliças, em Brasília, que a cobertura vegetal e o revolvimento localizado reduziram a erosão em até 95% (CAIXETA *et al.*, 2009; ANDRADE *et al.*, 2009;).

Além dos experimentos realizados no Centro de Pesquisa da Embrapa Hortaliças, diversas unidades de observação e unidades demonstrativas foram implantadas junto com a extensão rural, cooperativas e com empresas privadas. Dentre as unidades, citam-se brássicas em Mário Campos e Sarzedo, cinturão verde de Belo Horizonte, e feijão-vagem e repolho em Carandaí, em Minas Gerais couve-flor e ervilha em Nova Friburgo, Rio de Janeiro, e cebola em São Gotardo, Minas Gerais, e Cristalina, Goiás. Foram realizados dias de campo, cursos e palestras em encontros de produtores e congressos. O projeto teve grande repercussão, dando à unidade status de referência na linha temática e forte aproximação com o setor produtivo, tendo sido submetido para renovação, adicionando-se à temática da sustentabilidade o enfrentamento da perspectiva de mudanças climáticas nesta nova fase, iniciando em 2011 até 2014.

DESAFIOS E «OPORTUNIDADES» NO CULTIVO DE HORTALIÇAS EM SISTEMA DE PLANTIO DIRETO

No caso específico do cultivo de hortaliças em SPD, existem grandes desafios a vencer. Em geral, as culturas olerícolas não proporcionam resíduo de palhada em quantidade adequada ao SPD, seja pela altíssima relação C:N que apresentam, o que proporciona rápida decomposição, seja pela exportação do material vegetal por ser este o produto comercial de interesse, seja pela ocorrência de patógenos de difícil controle e necessidade de eliminação dos restos culturais. Isso pode ser contornado pelo manejo de plantas espontâneas, permitindo-se o seu desenvolvimento após o período crítico de competição com a cultura. Também é viável, conforme o manejo empregado, a sobressemeadura, isto é, o semeio de plantas de cobertura antes que se complete o ciclo da cultura comercial. Essa prática já é utilizada em soja, geralmente com o semeio a lanço milho ou braquiária, podendo-se utilizar outras espécies. Também já se observou a sobressemeadura com milho em lavouras de berinjela ou com aveia-preta em lavouras de ervilha.

Para o desenvolvimento de sistemas de plantio direto em hortaliças, o mais recomendado é a sucessão de plantio: hortaliça – planta(s) de cobertura – hortaliça(s) – planta(s) de cobertura, e assim sucessivamente, em cultivo solteiro ou preferencialmente consorciado (MADEIRA, 2004). Deve-se ainda variar tanto as hortaliças quanto as plantas de cobertura a cada ciclo. Certamente, há variações, sendo possível fazer dois ciclos de hortaliças de ciclo curto seguidamente. A escolha da sucessão de culturas, em especial das plantas de cobertura, é um dos pontos mais importantes para o sucesso na adoção de SPD e, em hortaliças é por vezes um entrave no que se refere à tomada de decisão pelo agricultor pois alguns entendem que o cultivo de plantas de cobertura tira-lhe

a oportunidade de cultivar outras hortaliças, não percebendo que se trata de um investimento no longo prazo e que o custo é relativamente baixo, além do que muitas vezes algumas áreas de cultivo estão em pousio por 2 meses, tempo suficiente para algumas espécies de plantas de cobertura. Essas, por seu profundo sistema radicular, têm a capacidade de reciclar nutrientes de camadas mais profundas do solo, inatingíveis para as raízes das hortaliças. Também o exuberante sistema radicular das plantas de cobertura quando decomposto torna o solo leve e poroso, promovendo bom enraizamento do cultivo subsequente. A este processo, tem-se adotado o termo de «Aração Biológica», por substituição à convencional aração mecânica, originalmente desenvolvida para regiões de clima temperado, solos pesados e absolutamente planos. Ainda, cabe lembrar que as plantas de cobertura podem ser culturas comerciais, portanto, provedoras de renda adicional.

Outro importante gargalo para a ampliação do SPD em hortaliças está relacionado à necessidade de desenvolvimento de maquinário e de equipamentos para o cultivo sobre palhada. O que vem sendo empregado hoje são rotocultivadores adaptados, sejam máquinas com alta eficiência de trabalho, por médios e grandes produtores, sejam microtratores adaptados com enxadas rotativas modificadas, no caso de pequenos produtores. A adaptação dos microtratores consiste na retirada de jogos de facas da enxada rotativa, deixando-se somente alguns na distância desejada de acordo com o espaçamento entre linhas (em torno de 30 a 45 cm). O formato das facas (mais ou menos curvadas) varia conforme a largura desejada dos sulcos, a cobertura morta e o tipo de solo. Um anteparo atrás de cada um dos dois jogos de facas deposita o solo removido sobre os sulcos. Esses possuem, aproximadamente, 5 a 10cm de largura por 10 cm de profundidade. Pode-se efetuar a operação de adubação consecutivamente à abertura dos sulcos. Ocorre, ainda, o uso de rolos acamadores improvisados ao nível do produtor e ferramentas manuais. Duas empresas de máquinas (Jumil e Semeato) vem trabalhando no desenvolvimento de

semeadoras para cebola em SPD, tendo no entanto resultados variáveis, conforme o volume e a uniformidade da palhada das plantas de cobertura.

Os sistemas de plantio direto em hortaliças podem ser desenvolvidos dentro dos mais diversos ambientes ou realidades socioeconômicas. Grandes produtores, altamente tecnificados e mecanizados, ou microprodutores, cujo único bem é a força de sua mão-de-obra, podem desenvolver eficientes sistemas de produção. Também se pode trabalhar os sistemas de plantio direto em manejo orgânico ou como ferramenta para transição agroecológica, pelas melhorias nas características de solo que proporciona, especialmente por priorizar a manutenção de altos níveis de matéria orgânica no sistema, dando condições de expressão do potencial produtivo e de equilíbrio ecológico pela diversidade da biota envolvida no sistema. Fato é que o plantio direto é uma ferramenta para o desafio de conservar os recursos solo e água, maximizando o uso da água e do solo e minimizando os processos erosivos.

As experiências com sistemas de plantio direto devem receber ajustes conforme a realidade local, visto que neste sistema de plantio não existe um manejo único, uma receita geral, mas sim uma complexa dinâmica, exigindo acompanhamento constante e monitoramento de todos os fatores, bióticos e abióticos, que atuam no sistema produtivo.

É indispensável buscar alternativas para o desenvolvimento de um modelo de produção de hortaliças com sustentabilidade ambiental, equidade social e viabilidade econômica. Faz-se necessário o desenvolvimento e adaptação de tecnologias que permitam a mitigação das perdas de água e solo por erosão, a recuperação ou preservação das características físicas, químicas e biológicas do solo, dentro de um contexto mais amplo de fertilidade, e a diminuição dos custos de produção, não em uma visão simplista, imediatista, restrita a um ciclo de cultivo. Há que se considerar uma visão de longo prazo, considerando também os custos indiretos, permitindo retorno econômico aliado à

sustentabilidade da produção. Indiretamente, sob o ponto de vista da sociedade como um todo, deve-se disponibilizar sistemas produtivos que contribuam para reduzir os problemas com a contaminação e o assoreamento dos cursos d'água e para aumentar a disponibilidade hídrica para múltiplos usos pela maior capacidade de recarga dos solos cultivados.

A competitividade de unidades de produção de hortaliças sob sistemas de plantio direto depende da geração de conhecimentos e de bases tecnológicas apropriadas que assegurem sua sustentação no espaço e no tempo. O entendimento de processos com relação às interações bióticas, ao manejo da biodiversidade, à conservação do solo, à dinâmica da matéria orgânica, à gestão da biomassa e dos nutrientes, à utilização correta de insumos, entre outros, são desafios que se colocam para o desenvolvimento tecnológico sustentado de unidades de produção que utilizam sistemas de plantio direto de hortaliças.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M.** 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Roma: FAO. 328p. (Irrigation and Drainage Papers, 56).
- AMADO, T.J.C.; SILVA, E.; TEIXEIRA, L.A.J.** 1992. Cultivo mínimo de cebola: máquina para o preparo de solo nas pequenas propriedades. **Agropecuária Catarinense**. Florianópolis, n.5, v.1 p.25-26.
- ANDRADE, C.; ALCÂNTARA, F.A.; MADEIRA, N.R.; MACÊDO, R.H.; FERNANDES, R.** 2009. Erosão hídrica em um latossolo vermelho cultivado com hortaliças sob diferentes sistemas de manejo. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, **Anais... XXXII Cong. Bras. Ciên. Solo**.
- CAIXETA, R.P.; ALCÂNTARA, F.A.; MADEIRA, N.R.; ABDALLA, R.P.** 2008. Erosão hídrica em um latossolo vermelho cultivado com cebola sob diferentes sistemas de manejo. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, **Anais... VI FERTBIO**.
- EMBRAPA HORTALIÇAS.** 2009. Hortaliças em Números [on line] Disponível: http://www.cnph.embrapa.br/util/tabelas/tabela_1.htm [capturado em 08 dez. 2009].
- FOLHA RURAL.** 2004. Plantio Direto em Cebola: cooperado aposta nesta tecnologia e sai vitorioso. **Folha Rural**, v. 35, n. 319, p.
- FOLHA RURAL.** 2002. Plantio Direto de Cebola. **Folha Rural**, n.18, p.07.
- FRANCO, H.M.** 1988. Pesquisa tipifica propriedades. **Agropecuária Catarinense**. Florianópolis, n.1, v.4, p.34-35.
- FREITAS, P.L. de.; NETO, L.M.; BANZATTO, C.V.** 2007. Solos: além de tudo, seqüestro de carbono. **Agroanalysis**, v. 27, n. 4, p.15-16.
- FREITAS, P.L. de.** 2002. Sustentabilidade: Harmonia com a Natureza. **Agroanalysis**, n.2, v.22, p.12-17.
- GASSEN, D.; GASSEN, F.** 1996. **Plantio direto: O caminho do futuro**. Passo Fundo, RS: Aldeia Sul. 207p.
- LIMA, R.S.; VILLAS BÔAS, G.L.; MADEIRA, N.R.** 2004. Flutuação Populacional de tripes na cultura da cebola em sistemas de plantio direto. **Anais... XX CBE**, Gramado, RS.
- MADEIRA, N.R.** 2004. Hortaliças sem canteiros **Cultivar HF**, v. 25, n. 5, p.14-15.
- MADEIRA, N.R.; OLIVEIRA, V.R.** 2005. Avaliação de plantas de cobertura na formação de palhada e cultivares no plantio direto de cebola. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 389, 2005. Suplemento. Trabalho apresentado no 45^o CBO. Fortaleza, CE.
- MADEIRA, N.R.; MELO, R.A. de C.; SOUZA, R.B. de; CAIXETA, R.P.** 2009. Plantio direto e plantio com preparo reduzido de tomate para processamento sob diferentes níveis de adubação. In: Cong. Bras. Oler., 49. **Anais... Águas de Lindóia**, SP: ABH (CD-ROM).
- MARQUELLI, W.A.; ABDALLA, R.P.; MADEIRA, N.R.** 2008 a. Irrigação de Cebola em Sistema de Plantio Direto **Revista Plantio Direto** Aldeia Norte Ed: Passo Fundo, RS. n.105, p. 07-09.
- MARQUELLI, W.A.; SILVA, H.R.; MADEIRA, N.R.** 2008 b. Necessidade de água do tomateiro para processamento em

- sistemas de plantio direto e convencional
In: TALLER DE RIEGO Y AMBIENTE, 2008, Santiago del Estero. **Anais...** Santiago del Estero: INTA: PROCISUR: IICA. CD-ROM.
- MARQUELLI, W.A.; ABDALLA, R.P.; MADEIRA, N.R.; SOUZA, R.F.** 2009. Uso de água em repolho cultivado em sistema de plantio direto com diferentes níveis de palhada. In: Cong. Bras. Eng. Agr., 38. Juazeiro/Petrolina. **Planejamento da bacia hidrográfica e o desenvolvimento da agricultura Anais...** Jaboticabal: Ass. Bras. Eng. Agr.
- MEIRELLES, F.** 2000. Impactos decorrentes nos principais setores usuários - Setor agrícola: A visão da FAESP. **A cobrança pelo uso da água.** THAME, A.C.de M. (Coord.). São Paulo: IQUAL Instituto de qualificação e editoração LTDA., p.197-200.
- MELO, R.A. de C.** 2007. Produtividade e rentabilidade de brócolos de inflorescência única em sistema de plantio direto. Brasília: UnB, 2007. 56p. (Dissertação de Mestrado).
- MONEGAT, C.** 1991. Plantas de cobertura do solo: Características e manejo em pequenas propriedades. Chapecó, SC: Ed. do autor. 337p.
- NOBRE, C.A.; SALAZAR, L.F.; OYAMA, M.; CARDOSO, M.; SAMPAIO, G.; LAPOLA, D.** 2007. Mudanças climáticas e possíveis alterações nos biomas da América do Sul. Brasília: MMA, SBF, DCBio. 25p. (Relatório nº 6).
- PHILLIPS, S.H.; YOUNG, H.M.** 1979. Agricultura sin laboreo: Labranza cero. Montevideo: Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S.R.L. 224p.
- SCHMIDT, P.A.; CARVALHO, G.J.de; MADEIRA, N.R.** 2001. Influência de palhadas de nabiça e aveia preta em (*Brassicaceas*) sob sistema de plantio direto. In: **XIV Congresso de Iniciação Científica da UFLA-CICESAL.** Lavras, p.72.
- SILVEIRA, R.C.da** 1998. Estudo de perdas de solo e água, sob diferentes níveis de resíduos culturais de milho, usando um simulador de chuvas. Lavras: UFLA, 1998. 52p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia).
- TASSINARI, M.H.** 1989. Plantio direto na cultura de cebola. **Agropecuária Catarinense,** Florianópolis, n.2, v.1, p.11-13.
- VITOI, V.** 2000. Plantio direto em hortaliças. **Agroecologia Hoje,** Ano 1, n.5, p.19.
- WILDNER, L.do P.** 1985. Efeito da adição de diferentes resíduos orgânicos nas perdas de solo e água em um podzólico vermelho amarelo. Santa Maria: UFRS, 1985. 100p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia).

MANEJO SUSTENTABLE EN LA PRODUCCIÓN HORTÍCOLA INTENSIVA

Arboleya J.¹, Gilsanz, J.C.¹,
Allauime F.², Leoni C.¹,
Falero, M.¹, Guerra S.²

INTRODUCCIÓN

La producción de hortalizas se basa normalmente en el uso intensivo del suelo, con el objetivo de combatir las malezas, lograr camas de siembra que faciliten el contacto entre las semillas o los platines y el suelo.

El manejo tradicional en el laboreo del suelo incluye el uso de arados de vertedera o de discos, rotovador, implementos que causan un gran deterioro de las propiedades físicas del suelo. Estas herramientas contribuyen a disminuir la infiltración, aumentar el encostramiento (al afinar el suelo en forma excesiva) o formar una suela de arada. En áreas de fuerte pendiente se incrementa la erosión y el lavado de los nutrientes como el nitrógeno.

El cultivo de hortalizas en suelos deteriorados produce un menor desarrollo y vigor de las mismas por lo que se ven expuestas más fácilmente al ataque de insectos y de enfermedades. Es así que para mantener el nivel productivo de esos predios se hace necesario un mayor uso de agroquímicos, lo que va en desmedro del medio ambiente, en una mayor dependencia de ellos y consecuentemente en una pérdida en la sustentabilidad de la producción conjuntamente con un incremento en los costos de producción.

Calidad de suelo puede definirse según Doran et al, 1996 como «la capacidad de un tipo de suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o un ecosistema con un cierto manejo» para una producción vegetal y animal sustentable, para mantener o mejorar la calidad del agua

y del aire y para mantener la salud humana y el habitat.

Salud de suelo y calidad de suelo se usan comúnmente como sinónimos y describen «la calidad de un suelo para permitir y mantener el crecimiento de los cultivos sin provocar degradación o daño al medio ambiente». Este concepto es también similar al concepto de que «el suelo es un organismo viviente y dinámico que funciona como un todo dependiendo de su condición o estado más que un objeto inanimado cuyo valor depende de sus características innatas y su intención de uso» (Roming *et al.*, 1995).

Un suelo ideal desde el punto de vista físico es aquel que posee una amplia capacidad de almacenamiento de agua y que permite mantener buenos niveles de crecimiento entre los períodos de lluvia.

La interacción de las propiedades del suelo, químicas, físicas y biológicas determinan la manera en que el mismo retiene y libera los nutrientes y cómo afectan su infiltración. A su vez determinan la manera cómo el suelo libera agua para las plantas y cómo resiste la erosión (Karlen *et al.*, 1997).

La materia orgánica (MO) mejora el laboreo del suelo, reduce el encostramiento, incrementa la tasa de infiltración, reduce las pérdidas de agua por escurrimiento e incrementa la infiltración. Por otra parte, es una fuente de nutrientes (como N, P y S) que son necesarios para el crecimiento de los cultivos y de los organismos del suelo. A su vez la M.O. provee el carbono y el nitrógeno para los procesos microbianos en el suelo. Cuanto más húmedo y cálidas son las

¹INIA Las Brujas, Programa Nacional de Producción y Sustentabilidad Ambiental y Programa Nacional de Investigación en Producción Hortícola. Canelones, Uruguay.

²Departamento de Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía (UDELAR), Montevideo, Uruguay. Correo electrónico:jarboleya@inia.org.uy

condiciones ambientales mayor es la descomposición de la MO de un suelo.

En la agricultura extensiva una alternativa es tratar de mantener la MO en los suelos utilizando rotación con pasturas. Esto indudablemente en la producción hortícola es posible en aquellos establecimientos cuya superficie es mayor y en general se da en cultivos hortícolas más extensivos (Zamalvide *et al.*, 2000). Sin embargo, la MO del suelo puede ser mejorada a través de diversos procesos. Uno puede ser el agregado de estiércol y otro por el uso de los de los cultivos de cobertura o abonos verdes (Gilsanz y Arboleya, 2006). El uso de abonos verdes de invierno y/o de verano de modo que existan residuos vegetales, al menos 30% en el suelo. Estos aportan al sistema productivo materia orgánica, protegen el suelo de la erosión, mejoran la infiltración, ahorran agua, controlan malezas y enfermedades haciendo el sistema más sustentable. En Uruguay, la mayoría de los cultivos hortícolas se realizan en canteros o surcos, el uso de abonos verdes en canteros ha demostrado aumentar la estabilidad de los agregados, repercutiendo en una mayor infiltración, y por lo tanto más agua disponible para los cultivos (Govaerts *et al.*, 2006)

La reducción o eliminación del laboreo es una de las medidas en las que se basa la producción sustentable. De este modo se evita disminuir el deterioro de las propiedades físicas y de la estructura del suelo.

A través del proyecto FPTA 160 «Validación de Alternativas tecnológicas para la Producción Hortícola Sostenible», ejecutado por CNFR junto a la Facultad de Agronomía e INIA Las Brujas, se instaló en INIA Las Brujas el Módulo de Investigación Comprobatoria (MIC) en diciembre de 2005.

El objetivo de este trabajo fue implementar, validar y ajustar tecnologías para la sostenibilidad de los sistemas de producción hortícola en la zona sur del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

En este módulo se ha comparado un **sistema convencional** de preparación de tierra, pero sin el uso de arado de rejas o de discos, con un **sistema sustentable** que ha incluido la utilización de abonos verdes en cobertura sobre el suelo y la utilización del mínimo laboreo. En ambos casos se han utilizado para la aplicación de productos químicos las recomendaciones de las normas de producción integrada para cada cultivo elaboradas por INIA-DIGEGRA-FAGRO-AHPI.

Estos dos tratamientos se comparan en cuatro fajas en un módulo en una superficie total de aproximadamente media hectárea.

En la Figura 1 se detallan las secuencias de los abonos verdes y las de los cultivos hortícolas entre diciembre de 2005 y el 2009.

El módulo se instaló sobre una pradera de alfalfa (*Medicago sativa*) de tres años. La preparación del suelo consistió en base a pasadas de cincel y excéntrica en los primeros días de diciembre de 2005.

PRIMER CICLO DE ABONOS VERDES Y DE CULTIVOS HORTÍCOLAS 2005-2008

En el **sistema convencional** se levantaron los canteros en febrero de 2006 y se aplicó glifosato para el control de las malezas cuando fue necesario.

ABONOS VERDES

En el **sistema sustentable** se levantaron los canteros en diciembre de 2005 y sobre los mismos se plantó sorgo Sudanense (*Sorghum sudanense* (Piper) Stap) como abono verde (30 kg/ha). Se realizaron dos riegos para asegurarse la implantación del abono verde y luego los mismos se suspendieron. Se realizaron dos cortes a los 60 y 120 días de ciclo.

Esquema de abonos verdes y cultivos hortícolas

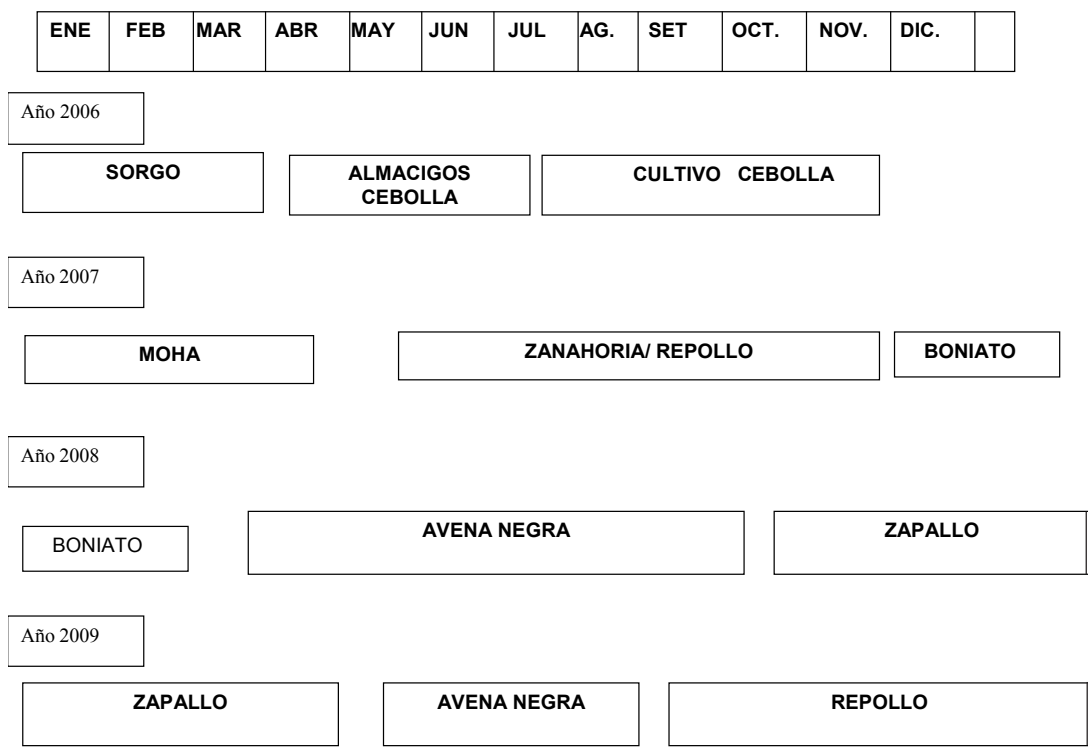


Figura 1.

En el verano de 2007 se instaló un cultivo de moha (*Setaria italica*) como abono verde (30 kg/ha) y se picó al momento de la floración (a mediados de marzo).

CULTIVOS HORTÍCOLAS

En el otoño-invierno del año 2006 se instaló un cultivo de cebolla en ambos sistemas. Se utilizó el cultivar INIA Casera, que se transplantó en junio de 2006, en canteros con 4 filas y a 10 cm entre plantas. Previo al transplante, en el sistema convencional se pasó una rastra de dientes sobre los canteros y en el caso del sistema sustentable se pasó el cultivador para laboreo mínimo sobre los residuos del sorgo.

A los 60 días después del transplante (ddt) se realizó un muestreo de suelo para la determinación de nitratos. Posteriormente a los

90 ddt se volvió a repetir el muestreo de suelo para la determinación del contenido de nitratos en el suelo.

El cultivo de cebolla se fertilizó con 60 unidades de N/ha en ambos tratamientos de acuerdo a los resultados del análisis de nitratos realizado a los 60 días después del transplante (ddt).

Los bulbos se cosecharon en noviembre de 2006 y se descolaron directamente en el campo. Una vez «curados» se clasificaron en tres categorías chicos (menores a 5 cm de diámetro ecuatorial), medianos (entre 5 y 7.5 cm) y grandes mayores a 7.5 cm. La categoría comercial correspondió a los bulbos mayores a 5cm de diámetro ecuatorial.

En mayo de 2007 se sembró zanahoria, cultivar Flam en una parte del módulo, mientras que en la otra se transplantó repollo (cultivar Gloria) en junio de 2007.

A la parte correspondiente al laboreo conservacionista se le pasó el cultivador de mínimo laboreo y en el caso del convencional se pasó una rastra y luego se sembró la zanahoria mecánicamente con una sembradora de chorrillo y se transplantó manualmente el repollo.

Dadas las condiciones climáticas de mucho frío y luego de períodos con temperaturas algo elevadas ocurridas en el año 2007 las plantas de repollo se florecieron. De todos modos se realizaron muestreos en 20 m de largo en tres canteros y se determinó el peso fresco. Se tomaron dos plantas representativas y se les determinó el peso seco en estufa de aire forzado a 65 °C y en base a ello se calculó la materia seca producida en cada tratamiento.

En noviembre de 2007 se realizó la cosecha de la zanahoria. Se utilizó la clasificación de las normas de producción integrada (Normas producción integrada zanahoria). Las raíces se clasificaron en cuatro categorías, mayores a 45 mm, de 30 a 45 mm, de 20 a 30 mm y menores a 20 mm. La categoría comercial correspondió a la suma de las tres primeras.

Luego de los cultivos de zanahoria y repollo se instaló un cultivo de boniato en diciembre del 2007 en caballetes a 85 cm y 30 cm entre plantas. La cosecha se realizó en abril de 2008.

En este ciclo se realizaron muestreos de suelo para determinar la materia orgánica, nitratos, densidad aparente, porosidad total y respiración biológica, forma indirecta de determinar la población microbiana del suelo (Grisi, 1978).

Se realizó una evaluación del grado de enmalezamiento del sistema sustentable y del convencional tanto en el cultivo de zanahoria (100 días después de la siembra) como en el de repollo (a los 72 ddt). Se contabilizó el número de malezas en un cuadrante de 0.50 x 0.50 m y en base a ello se calculó la cantidad de malezas por metro cuadrado.

SEGUNDO CICLO DE ABONO VERDE Y DE CULTIVO HORTÍCOLA 2008-2010

ABONOS VERDES

En abril de 2008 se sembró avena negra (*Avena strigosa*) a 120 kg/ha en el tratamiento sustentable. Dado que se estaba entrando en la parte reproductiva y la intención era mantener el cantero cubierto más tiempo con el abono verde antes de quemarlo químicamente, se realizó un corte de la parte superior en agosto. A mediados de septiembre, se le aplicó glifosato a 4 l/ha y previamente a realizar dicha tarea se realizó un muestreo en un cuadrante de 0.5 x 0.5 para la determinación de la materia seca.

El 20 de mayo de 2009 se plantó avena negra (*Avena strigosa*) a 100 kg/ha en el tratamiento sustentable. Se realizó un muestreo el 31 de julio de 2009 para la determinación de la materia seca producida. Posteriormente se le aplicó glifosato (Touchdown a 3 l/ha).

CULTIVOS HORTÍCOLAS

En octubre de 2008 a los canteros con los residuos del abono verde de avena negra se le pasó dos veces una rastra con los dientes hacia arriba para aplastarla. Posteriormente se pasó el cultivador de mínimo laboreo sin el cincel y luego se abrió un surco con una zapata para la siembra.

Se plantó zapallo kabutiá (*Cucúrbita moschata* x *c. Maxima*) cultivar Maravilla del Mercado el 24 de octubre de 2008 a una distancia de 1 m entre plantas y 3 m entre canteros. Inmediatamente luego de la siembra se aplicó una mezcla de Trifluralina (600 g/l) 0.9 l/ha, Metolachlor (960 g/l) 960 l/ha y Clomagan (480 g/l) 0.360 l/ha.

Se realizó un muestreo de suelo a fines de noviembre para analizar el contenido de nitratos del mismo y se realizó una fertilización con 100 kg N/ha al tratamiento sustentable dado el gran residuo de materia seca que había producido el abono verde.

En diciembre se realizó una evaluación del número y peso de malezas utilizando la misma metodología usada para la evaluación de malezas realizada en zanahoria y en repollo.

La cosecha del zapallo se efectuó el 13/04/09.

Luego de la avena de invierno 2009 se instaló un cultivo de repollo, el cultivar Gloria, el que se transplantó el 29 de agosto con dos filas por canteros distanciados a 1.60 m y con plantas a 45 cm. Se aplicó Goal (oxiflufen) en preplantación a 1 l/ha. La cosecha del repollo se realizó el 1 de diciembre en 40 m de largo de cantero en cada una de las cuatro fajas.

En este ciclo se realizaron muestreos de suelo para determinar materia orgánica, nitratos, densidad aparente, porosidad total y respiración biológica.

El 9 de octubre se realizó un muestreo de suelo para la determinación del contenido de nitratos. El 22 de octubre se realizó una aplicación de 80 kg N/ha usando urea como fuente de nitrógeno.

Se determinó la incidencia de malezas en los diferentes tratamientos el 27 de octubre de 2009 con la misma metodología usada previamente.

También se monitoreó semanalmente el contenido de agua hasta un metro de profundidad. La determinación se realizó mediante TDR en superficie y sonda de neutrones en profundidad.

RESULTADOS

Ciclo 2006-2008

Abonos verdes

La materia seca producida por el abono verde de sorgo sembrado en el verano 2005-2006 en el primer corte fue de 7.150 kg en promedio y la relación carbono nitrógeno (C/N) de las mismas fue en promedio de 27/1. Una relación C/N mayor de 30/1 podría provocar una falta de nitrógeno por secuestro de los microorganismos del suelo. Por otro lado una degradación muy rápida de los residuos y se perdería el efecto buscado de cubrir el suelo y protegerlo del impacto de la lluvia y una rápida liberación de nitrógeno con el peligro de su lavado.

En el segundo corte se produjeron 7.800 kg de materia seca, con una relación C/N de 26/1. Considerando los dos cortes, el total de materia seca producida fue de 14.950 kg/ha los que quedaron en la superficie de los canteros y en los entresurcos (Cuadro 1).

Por su parte el abono verde de moha del año 2007 produjo 7684 kg/ha de materia seca.

Cultivos hortícolas

Los rendimientos total y comercial de cebolla fueron similares en ambos sistemas (Cuadro 2)

No existiendo diferencias en la materia seca producida entre el tratamiento convencional y el de mínimo laboreo en el cultivo de repollo (Cuadro 2).

Cuadro 1. Rendimiento de los abonos verdes en el primer ciclo de cultivo 2006-2008.

	Materia seca (kg/ha)	Relación C/N
<i>Sorgo sudanense</i> (Piper) Stap 2005/06	14.950	26:1
Moha (<i>Setaria italica</i>) 2007	7.684	23:1

Cuadro 2. Rendimiento de los cultivos hortícolas en el primer ciclo de cultivo 2006/2008.

Cebolla 2006		Zanahoria 2007	Repollo 2007	Boniato 2008
Tratamientos	Rendimiento (t/ha)	Rendimiento (t/ha)	Materia seca (kg/ha)	Rendimiento (t/ha)
Convencional	23.7	34	3.567	21
Sustentable	24.7	37	3.637	21

- Bulbos mayores a 5 cm de diámetro ecuatorial.

Los rendimientos total y comercial de zanahoria fueron también similares entre ambos tratamientos (Cuadro 2) al igual que en caso del cultivo de boniato.

Por su parte los rendimientos del repollo fueron de 55 toneladas en el sistema convencional y de 53 toneladas en el sustentable.

Ciclo 2008-2009

Abono verdes

En el abono verde de avena negra se había realizado un despunte de la parte superior debido a que había comenzado a florecer. En este primer corte (agosto) de la parte superior 40 cm) previo al cultivo de zapallo se produjeron 3.712 kg ha⁻¹ de MS. En el segundo muestreo la MS producida fue de 15.235 kg ha⁻¹ con una relación C/N de 32:1.

Cultivos hortícolas

El rendimiento promedio del zapallo en el sistema convencional fue de 48.8 t/ha mientras que en el del sistema sustentable de 47.2 t ha⁻¹ (Cuadro 4).

Evolución del Contenido de C. Orgánico en el periodo 2006-2009

Los valores de C Orgánico fueron superiores en las parcelas de mínimo laboreo respecto a las del tratamiento convencional en la mayoría de los muestreos, durante el período de evaluación (Cuadro 5). La diferencia en los valores de C. orgánico es debida fundamentalmente al agregado de residuos, en el tratamiento de laboreo reducido.

Evolución de la Densidad aparente, porosidad total y contenido gravimétrico de agua

Los valores de densidad aparente evolucionaron desde 0.89-1.15 g/cm³, los que no fueron restrictivos para el crecimiento de las

Cuadro 3. Rendimiento de los abonos verdes en el primer segundo ciclo de cultivo 2008-2009.

	Materia seca (kg/ha)	Relación C/N
Avena negra 2008	18.947	32:1
Avena negra 2009	1.366	17:1

Cuadro 4. Rendimiento de los cultivos hortícolas en el segundo ciclo de cultivo 2008/2009.

Tratamientos	Zapallo 2008/09	Repollo 2009
	Rendimiento (t/ha)	Rendimiento (t/ha)
Convencional	48.8	55
Sustentable	47.2	53

Cuadro 5. Valores de carbono orgánico en el sistema sustentable y convencional entre 2006 y 2009.

FECHA	Sustentable C. Orgánico %	Convencional C. Orgánico %
05/2006	2.2	1.3
08/2006	1.8	1.4
01/2007	1.22	1.29
11/2007	1.74	1.45
05/2008	1.3	1.18
12/2008	1.5	1.4
04//2009	1.8	1.6

raíces. Los valores de porosidad total (F) se encuentran en el rango establecido para los distintos tipos de suelos. No se reflejaron diferencias notorias entre los dos tratamien-

tos. En cuanto al contenido gravimétrico de agua las parcelas del sistema sustentable presentaron niveles superiores para casi todos los muestreos realizados (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores de densidad aparente, porosidad y contenido gravimétrico de agua entre mayo de 2006 y noviembre de 2009 para el sistema sustentable y el convencional.

FECHA	Sustentable			Cont. Agua Gravimétrico %	Convencional			Cont. Agua Gravimétrico %
	DAP g/cm ³	F %	FA %		DAP g/cm ³	F %	FA %	
may-06	1.15	56	28	28	1.05	60	30	30
dic-06	1.01	62	54	7.4	1.15	56	49	7.1
abr-07	1.03	61	36	25	1.12	57	34	23
oct-07	1.07	60	31	28	1.13	57	26	31
mar-08	0.89	66	48	21	0.93	65	48	19
dic-08	1.13	56	38	18	0.99	62	46	16
abr-09	1.17	56	39	18.5	0.99	61	50	13.2
nov-09	1.05	60	32	32	1.09	59	32	31

Grado de enmalezamiento

Los resultados de la evaluación de malezas tanto para repollo como para zanahoria mostraron que en los tratamientos de mínimo laboreo (en donde se habían realizado un cultivo de abono verde de verano en 2005-2006 y otro de moha en el verano 2006-2007) tuvieron un menor porcentaje de malezas en relación al sistema convencional que no incluyó el uso de abonos verdes (Cuadro 7).

En el cultivo de zapallo, el sistema convencional presentoun mayor número de malezas por metro cuadrado que el sistema sustentable y a su vez el peso de las mismas era mayor que en el sistema convencional (Cuadro 8).

En el cultivo de repollo también se registró un menor número de malezas en el sistema sustentable en relación al sistema convencional y el peso seco de las malezas fue menor en el sistema sustentable (Cuadro 9).

Cuadro 7. Resultado de la evaluación de malezas en el Sistema Convencional y en el Sustentable en repollo y zanahoria.

CULTIVO	Tratamiento	Número malezas/m ²	(%)
Repollo	Sist Convencional	532	100
	Sist. Sustentable	356	70
Zanahoria	Sist Convencional	346	100
	Sist. Sustentable	200	58

Cuadro 8. Número promedio de malezas el 4/12 y N° promedio y peso seco de malezas el 10/12/08.

Tratamientos	N° promedio malezas/m ² 04/12/08 ¹	N° promedio malezas/m ² 10/12/08 ²	Peso seco de malezas/ m ² 10/12/08 (g)
Convencional	18	28	220
Sustentable	13	33	23

Cuadro 9. Número promedio y peso seco de malezas por metro cuadrado el 10/12/09.

Tratamientos	N° promedio malezas/m ² 27/10/09 ¹	Porcentaje	Peso seco de malezas/ m ² 27/10/09 (g)	Porcentaje
Convencional	123	100	43	100
Sustentable	99	80	17	40

Respiración del Suelo

Los análisis de respiración, medida utilizada como un indicador de la actividad biológica del suelo, realizados el 6 de junio de 2006, mostraron que la actividad biológica fue mayor en el suelo con el abono verde de sorgo, es decir el sistema sustentable (0.040 mg de CO₂/día) con relación al sistema convencional (0.013 mg de CO₂/día) sólo luego de una temporada de abono verde (Figura 2). Esto reafirma la importancia del uso de los abonos verdes en sistemas sustentables intensivos ya que además de las ventajas de la protección del suelo contra el impacto de las gotas de lluvia, de mejorar la materia orgánica del suelo y de las propiedades físicas del mismo, también tiene un efecto favorable como lo demuestran estos datos en la presencia y actividad de los microorganismos del suelo.

La respiración del suelo en el muestreo al final del ciclo del cultivo de zapallo (abril 2009) mostro un nivel mayor de CO₂ en las muestras del tratamiento sustentable en comparación con las del convencional (Figura 3).

Contenido de agua en el suelo

El contenido de agua medido en los primeros 20 cm del cantero fue mayor en el tratamiento sustentable en las fechas 6 y 25 de febrero, asociado a precipitaciones acumuladas en la semana, de 36mm en la primera fecha, y 67 mm en la segunda fecha (Figura 4). En la semana del 5 de marzo se registraron precipitaciones del orden de 70mm, alcanzando el suelo niveles de capacidad de campo (35 mm 10cm⁻¹), con contenidos de agua similares en ambos tratamientos. Esta situación se mantuvo hasta el 19 de marzo, donde los tratamientos volvieron

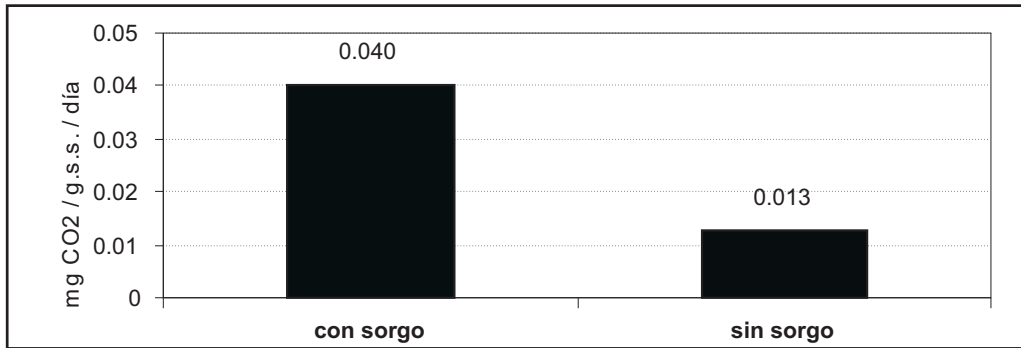


Figura 2. Actividad biológica del suelo evaluada a través del desprendimiento de anhídrido carbónico (CO₂) en junio de 2006.

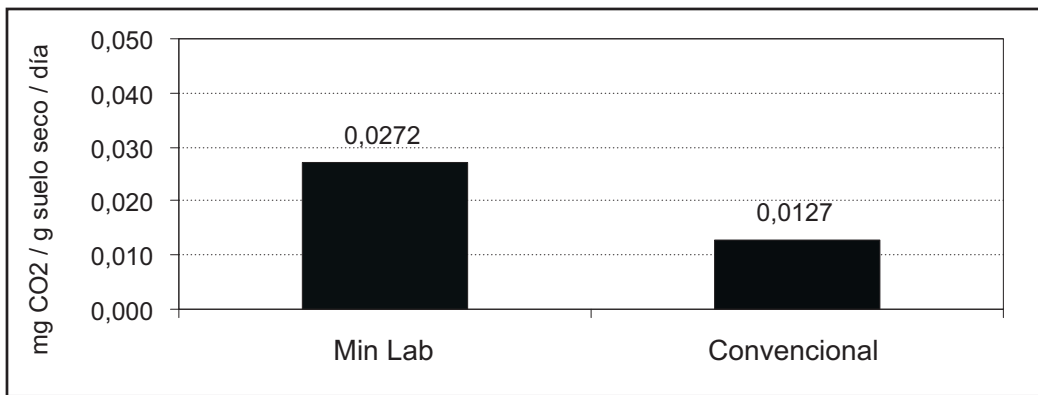


Figura 3. Actividad biológica del suelo evaluada a través del desprendimiento de anhídrido carbónico (CO₂) en abril de 2009.

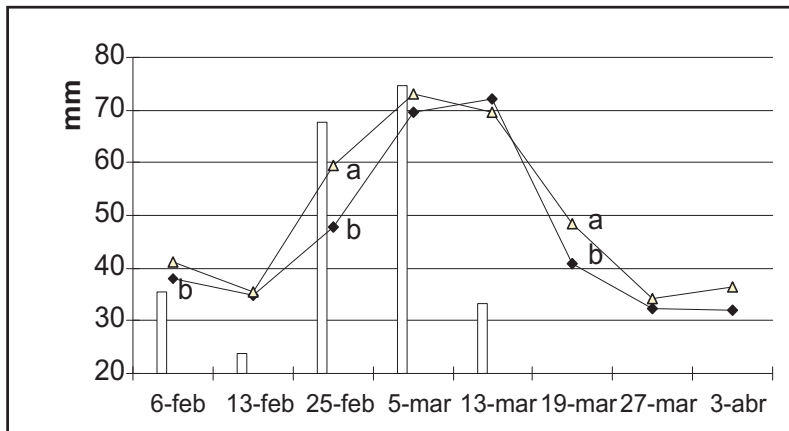


Figura 4. Contenido de agua (mm) en los primeros 20 cm del cantero en el sistema sustentable, y manejo convencional durante el cultivo de zapalado. Se muestran las precipitaciones y evapotranspiración acumuladas en la semana previa de cada medición. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

a diferenciarse a favor del sistema sustentable.

En los primeros 20 cm de cantero, el 25 de febrero, el tratamiento sustentable llegó a acumular 11,7 mm más de agua respecto al laboreo convencional. Para el período medido, en promedio, el sistema sustentable presentó 3,7 mm más de agua en los primeros 20 cm. Estas diferencias se debieron a los períodos en donde el suelo se presentaba más seco que a capacidad de campo.

En las profundidades intermedias, desde los 20 a los 60 cm, no se observaron diferencias en los contenidos de humedad. En las profundidades de 60 a 80 y de 80 a 100 cm, hasta el 5 de marzo, se observó una tendencia a mayores contenidos de humedad en el tratamiento sustentable. Esta tendencia fue aún más notoria en los bloques que ocupaban posiciones más bajas en el paisaje (bloques 3 y 4). Una hipótesis que podría explicar esto es que el tratamiento sustentable captó mayor agua en períodos anteriores, la que no fue aprovechada por el

cultivo en ese momento, sino que percoló a capas más profundas, logrando medirse mayores contenidos de humedad para el período considerado. Estos datos son concordantes con hallazgos anteriores, en donde se encontró, en sistemas con canteros permanentes infiltraciones de 54 vs 219 mm m⁻¹, con residuos retenidos y extraídos respectivamente (Govaerts *et al.*, 2006).

Durante el cultivo de repollo, el contenido de agua medido en los primeros 20 cm del cantero fue mayor en el tratamiento sustentable en las fechas 7 y 15 de octubre, asociado a precipitaciones acumuladas en la semana, de 33mm (Figura 5). Nuevamente, se constata que una mayor infiltración luego de las precipitaciones en el tratamiento sustentable, lo que explica los mayores contenidos de agua medidos. Luego de esta fecha, la humedad del suelo desciende en ambos tratamientos, haciendo un pico mínimo el 13 de noviembre, que coincide con unos días de máxima demanda atmosférica.

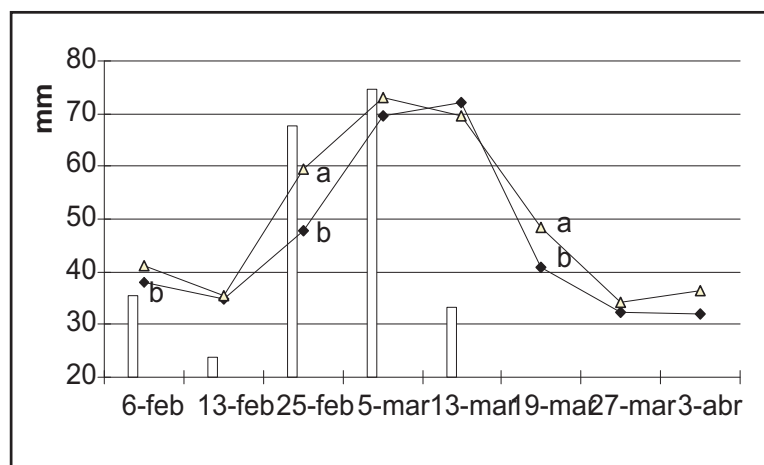


Figura 5. Contenido de agua (mm) en los primeros 20 cm del cantero en el sistema sustentable y manejo convencional durante el cultivo de zapallo. Se muestran las precipitaciones y evapotranspiración acumuladas en la semana previa de cada medición. Letras distintas indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en este modulo demostrativo en el período 2005/2009, podemos afirmar que los rendimientos de cebolla, de repollo, de zanahoria y de zapallo obtenidos han sido satisfactorios y similares a los rendimientos del sistema **convencional mejorado (sin uso de arados de reja o de discos o rotovador)**, lo que confirma lo obtenido en los trabajos de investigación realizados junto a la Universidad de Carolina del Norte (NCSU) entre 1999 y 2004 con ajo, boniato y zanahoria.

Desde el punto de vista de la calidad del suelo se han apreciado en este corto período una tendencia al mantenimiento de algunas de sus propiedades en el Sistema Sustentable de mínimo laboreo y uso de abonos verdes, como han sido la densidad aparente y la porosidad. A su vez se ha observado una diferencia positiva del punto de vista biológico, expresado por los valores de respiración obtenidos en el tratamiento de mínimo laboreo.

En el caso de los cultivos de repollo y zanahoria se ha constatado una reducción de más del 30% del número de malezas por metro cuadrado con el uso de los abonos verdes.

Las tendencias observadas en la mejora de la calidad del suelo durante el período 2006-2009 demuestran la factibilidad de sistemas sustentables en la producción hortícola intensiva. De todos modos las tendencias y resultados obtenidos hasta el presente deben seguirse en más años de cultivo para observar las mismas tanto en el mediano como en el largo plazo, trabajos que se están realizando actualmente en INIA Las Brujas dentro del Programa Nacional de Producción y Sustentabilidad Ambiental.

BIBLIOGRAFÍA

- DORAN J. W.; SARRANTONIO, M., AND LIEBIG, M.A.** 1996. Soil health and sustainability. *Advances in Agronomy* 56:1.54.
- GILSANZ, J. C.; ARBOLEYA J.** 2006. Validación de Alternativas Tecnológicas para la Producción Hortícola >sostenible. En: *Jornada sobre Avances del Proyecto FPTA 160*. pp 9-13. Serie Actividades de Difusión N° 468.
- GOVAERTS, B.; SAYRE, K. D.; LICHTER, K.; DENDOOVEN, L.; DECKERS J.** 2006. Influence of permanent raised bed planting and residue management on physical and chemical soil quality in rain fed maize/wheat systems. *Plant Soil* 291: 39 – 54.
- GRISI, B.M.** 1978. Metodo químico de madicao da respiracao edáfica: alguns aspectos técnicos. *Ciencia e Cultura* 30(1): 82-88.
- KARLEN, D. L.; BERRY E. C.; COLVIN T.S., AND KANWAR R.S.** 1991. Twelve year tillage and crop rotation effects on yields and soil chemical properties in northeast Iowa. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 22:1985-2003.
- ROMING, D. E.; GARLYND M. J.; HARRIS, R. F. AND MC SWEENEY, K.** 1995. How farmers asses soil health and quality. *Journal of Soil and Water Conservation*. 50:229-236.
- Zamalvide, J.; Moltini, C.; Genta, H. y Guarinoni, C. 2000. Incorporación de materia orgánica al suelo, problemas en el manejo del nitrógeno y en la química del suelo. P 29-33. En: *Taller: Manejo Conservacionista de los suelos en Horticultura*. 14 y 15 marzo 2000. INIA Las Brujas.
- Normas de producción integrada de Zanahoria. 2004. www.pv.fagro.edu.uy/fitopato/PI/doc/zan_final2004.pdf

APLICACIÓN DE ENMIENDAS ORGÁNICAS Y EFECTOS EN EL SUELO

Barbazán M.¹, del Pino A.¹,
Moltini C.¹, Hernández J.¹,
Rodríguez J.¹, Beretta A.¹

RESUMEN

La aplicación al suelo de materiales orgánicos es una práctica común en sistemas agrícolas intensivos de Uruguay. Sin embargo existe muy poca información sobre la composición y los efectos de esos materiales en el suelo. En este trabajo se presenta la composición química y física de los materiales más frecuentemente usados en las zonas de producción hortícola del país, y sus efectos en el suelo en condiciones controladas y de producción comercial de un cultivo.

PALABRAS CLAVE: composición química, cama de pollo, mantillo de bosque, mineralización

INTRODUCCIÓN

El agregado al suelo de materiales orgánicos para mejorar las propiedades físicas es una práctica común en el manejo de suelos dedicados a la producción hortícola del país. En el sur el material más frecuentemente usado es la cama de pollo (mezcla de estiércol de pollo con cáscara de arroz en diferentes proporciones), y en el norte, el mantillo de bosque (mezcla de estiércol vacuno y ovino, con suelo y restos de los montes donde duermen los animales). Aunque esta práctica es muy generalizada en predios de escasa superficie, las dosis frecuentemente usadas son muy altas.

Si bien en el país existen muchos trabajos donde se reporta su efecto como fuentes de N (Zamalvide *et al.*, 1979; Moltini y Silva, 1981; Silva *et al.*, 1992; Moraes, 1996) o como mejoradores de propiedades físicas del suelo (García y Cardelino, 1980; Campelo *et al.*, 1981; La Manna *et al.*, 2004; Casanova *et al.*, 2007), los estudios describiendo la composición física y química de esos materiales orgánicos son muy escasos (del Pino *et al.*, 2007). Por lo tanto, en este trabajo se presenta una caracterización física y química de los materiales orgánicos más comúnmente aplicados en las zonas de producción

hortícola intensiva de Uruguay inmediatamente antes de su aplicación al suelo, y su comportamiento en el suelo en condiciones controladas de laboratorio y en condiciones de producción comercial.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización de materiales orgánicos

Se tomaron muestras de materiales orgánicos de establecimientos comerciales bajo producción intensiva de ambas zonas de producción hortícola y se les realizó un análisis químico y físico. En cada muestra se determinó porcentaje de materia seca, densidad, concentraciones totales y solubles de C y N, y P, K, S, Ca, Mg y Na total, concentración de micronutrientes (Cu, Fe, Mn y Zn), porcentaje de lignina, polifenoles y cenizas, pH y conductividad eléctrica, usando los métodos analíticos recomendados para cada determinación.

Comportamiento en el suelo

Se realizaron dos tipos de estudios: en condiciones controladas en el laboratorio o incubaciones aeróbicas (Estudio 1) y otro en

¹Departamento de Suelos y Aguas. Universidad de la República, Facultad de Agronomía. Av. Garzón 780. CP12900. Montevideo, Uruguay. Correo electrónico: mbarbaz@fagro.edu.uy

condiciones reales de producción bajo invernáculos con un cultivo creciendo (Estudio 2). En ambos estudios se usaron suelos, enmiendas y dosis típicos de ambas zonas hortícolas.

Estudio 1

Se utilizó un Argisol Dístrico de la Unidad de Salto, representativo de la Zona hortícola Norte y un Brunosol Subéutrico de la Unidad Toledo, representativo de la Zona hortícola Sur. El Cuadro 1 presenta algunas características de los suelos. En cada suelo se agregó la enmienda orgánica en la dosis más usada en cada zona y se dejó un tratamiento control (sin enmienda). Una vez agregados los materiales al suelo, se evaluó la evolución de CO_2 y el N mineralizado. Con este estudio se buscó determinar los patrones de mineralización de las enmiendas bajo condiciones controladas de temperatura y humedad.

Estudio 2

Para el estudio en condiciones reales de producción, se seleccionaron dos invernáculos comerciales, cada uno ubicado en suelos representativos de su correspondiente zona hortícola. En cada sitio se instalaron tres tratamientos: una aplicación de enmien-

da equivalente a la dosis y tipo de enmienda normalmente usada en cada zona y la mitad de esa dosis. Se incluyó un tratamiento control (sin agregado de enmienda). En el experimento del norte se usó mantillo de bosque (MB) y en el sur, cama de pollo (CP). Las dosis correspondieron a 90 y 45 Mg ha^{-1} (150 y 75 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$) de MB o 30 y 15 Mg ha^{-1} de CP. En ambos experimentos se usó un diseño estadístico de parcelas en bloques completos al azar, con tres repeticiones. Periódicamente se midió el contenido de N-NO_3^- , N-NH_4^+ y pH del suelo en presencia del cultivo.

En la Zona Norte, el experimento se instaló en un invernáculo del Dpto de Salto sobre la Unidad de suelos Salto, con predominancia de Argisoles. Previo a la aplicación de las dosis de enmienda el suelo tenía: 33 mg kg^{-1} N-NO_3^- , 6 mg kg^{-1} de N-NH_4^+ , 108 mg kg^{-1} P Bray-1, 7.3 de pH (agua) y 1.3% de materia orgánica. Los contenidos de Ca, Mg, K y Na fueron 6.2, 1.4, 0.34 y 0.48 meq/100 g de suelo, respectivamente. En MB se aplicó en cantidades equivalentes a 150 y 75 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$, correspondientes a la cantidad más comúnmente utilizada a nivel productivo y a la mitad de esa dosis respectivamente. El MB tenía una densidad de 0.52 g cm^{-3} , 68% de materia seca, 17.1% de C, 1.15% N, 2% P y 2.1% K, 9.5% Ca, 1.9% de Mg, 0.2% de Na, 7, 11860, 429 y

Cuadro 1. Características químicas y físicas de los suelos usados en el estudio de incubaciones.

	Suelo de la Zona Norte	Suelo de la Zona Sur
Arena total (%)	90.7	11.8
Limo total (%)	0.5	59.1
Arcilla (%)	8.8	29.1
Clase textural	Ar - Ar F	FACL
pH (H_2O)	6.1	5.6
C Org. (%)	0.31	2.68
N total (%)	0.03	0.27
P Bray-1 (mg kg^{-1})	38	26
K (meq/100 g)	0.11	0.52
Ca (meq/100 g)	1.8	9.8
Mg (meq/100 g)	0.34	4.5
Na (meq/100 g)	0.23	0.76

30 ppm de Cu, Fe, Mn y Zn, respectivamente. También presentaba 62% de cenizas, 14.5% de lignina y 19 de C soluble. La aplicación e incorporación de la enmienda al cantero se realizó el 2/2/07. Luego se efectuó el proceso de solarización. El trasplante del cultivo de tomate se realizó a los 49 días luego de la aplicación de los tratamientos, y recibió el mismo plan de fertirriego que el manejado por el productor. En total se aplicó aproximadamente 150 kg/ha de N, 64 de P_2O_5 y 860 de K_2O . Además se aplicó Ca, Mg y B.

En el ensayo de la Zona Norte al segundo año, las parcelas se dividieron en dos, para evaluar el efecto de discontinuar el agregado por un año o de reducir la dosis de enmienda. A través del muestreo periódico de suelos en áreas de las parcelas sin cultivo (para evitar la absorción de N y el fertirriego) se midió $N-NO_3^-$ y $N-NH_4^+$. Al tercer año en ese experimento se realizaron muestreos de suelos en cada parcela para evaluar la residualidad de la enmienda.

El experimento del sur se ubicó en un invernáculo del Departamento de Montevideo en la Unidad de suelos Toledo Chico, con predominancia de Brunosoles subéutricos típicos. Previo a la aplicación de los tratamientos el suelo tenía: 102 mg kg^{-1} $N-NO_3^-$, 7 mg kg^{-1} $N-NH_4^+$, 302 mg kg^{-1} P (P-Bray), 7.4 de pH y 3% de MO. El diseño experimental fue de tres bloques completos al azar con tres parcelas, de 1.2 m de ancho y 3.5 m de largo. Los tratamientos fueron dos dosis de cama de pollo (CP) en cantidades equivalentes a 30 y 15 Mg ha^{-1} , que corresponden a la mayor cantidad más comúnmente utilizada a nivel productivo, y la mitad de esa dosis. Se incluyó un tratamiento control (sin aplicación de enmienda). La CP tenía 2.4% N total, 0.74% de K, 2.7 % de Ca, 0.50% de Mg y 0.32% de Na. La aplicación e incorporación al cantero se realizó el 19/12/08 y el cultivo de tomate se transplantó a los diez días de aplicada la enmienda.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización química y física de las enmiendas orgánicas

El Cuadro 2 presenta datos de la caracterización física y química de los materiales orgánicos muestreados en las zonas de producción hortícola del país. El MB se caracterizó por presentar una mayor densidad promedio que la CP, un rango de pH más estrecho. En términos generales la CP presentó mayor contenido y más variable de nutrientes que el MB, atribuidos a los distintas proporciones de estiércol de ave en la mezcla, así como a las diferentes condiciones de almacenamiento. Los altos contenido de Fe y cenizas en el MB se atribuyen a la presencia de suelo, que en la Zona Norte son ricos en óxidos de Fe. Los altos contenidos de Na y Ca en la CP posiblemente son causados por las sales de las raciones de estos animales. Se destaca que entre ambos materiales tanto el contenido promedio de C como la relación C/N fueron similares. Sin embargo, el MB presentó un contenido de C solubles inferior al de CP.

Estudio 1

Mineralización e inmovilización neta del Nitrógeno

El agregado de materiales orgánicos (MB o CP) produjo un aumento en el contenido de N mineral ($N-NH_4^+ + N-NO_3^-$) (Fig. 1) en comparación con los tratamientos control (sin agregado de material orgánico) aplicados a un suelo típico del norte y del sur del país.

Desde el primer día de incubación se produjo mineralización neta de N (estimada como la diferencia entre el N mineral respecto al control) en los dos suelos. La CP proporcionó N en forma inmediata a su aplicación, mientras que el MB, liberó N en forma más lenta, lo cual podría estar asociado a diferencias en el contenido de N y a la relación C/N de los materiales.

Cuadro 2. Características químicas y físicas de muestras de cama de pollo (estiércol de pollo con cáscara de arroz) y mantillo de bosque (estiércol vacuno y ovino con restos de monte y suelo).

Número de muestras	Cama de pollo (estiércol con cáscara de arroz)			Mantillo de bosque		
	Media	DE†	CV‡	Media	DE	CV
Densidad g cm ⁻³	0.4	0.1	29	0.6	0.1	11
Agua %	46.0	12.8	28	34.9	12.2	35
pH	7.3	1.4	20	6.6	0.6	8
Cond. eléct. dSm ⁻¹	2.3	2.2	95	1.4	1.1	75
N-NH ₄ ⁺ ppm	58.7	27.4	47	15.8	6.0	38
C %	27.8	8.9	32	17.6	4.1	23
N %	1.6	0.4	25	1.1	0.3	27
C/N	18	0.5	30	16	0.5	32
P %	1.3	0.4	28	0.2	0.1	35
K %	0.9	0.5	49	0.3	0.2	48
S %	0.3	0.1	30	0.1	0.03	28
Ca %	2.3	0.6	27	0.9	0.3	29
Mg %	0.4	0.1	29	0.3	0.1	18
Na %	0.2	0.2	65	0.03	0.01	31
Cu ppm	22	13	61	15	5	29
Fe ppm	1012	400	39	10817	2801	26
Mn ppm	389	70	18	381	88	23
Zn ppm	124	58	47	45	11	24
Cenizas %	40.4	13.7	34	67.6	7.3	11
Lignina %	18.3	3.9	21	12.9	3.0	23
Polifenoles %	0.9	0.5	54	0.4	0.1	22
C soluble %	5.0	2.4	48	2.2	0.8	34

†Desvío Standard; ‡ Coeficiente de variación (%).

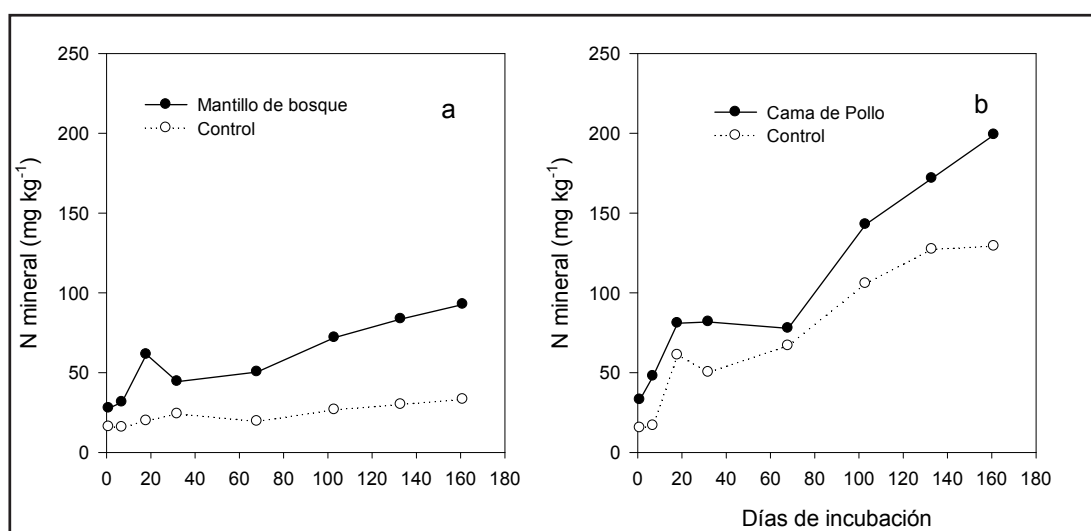


Figura 1. Nitrógeno mineral ($N\text{-NO}_3^- + N\text{-NH}_4^+$) en un suelo arenoso del norte con mantillo de bosque (a) y en un suelo limoarcilloso del sur de Uruguay con cama de pollo (b) y tratamientos control (sin agregados) en condiciones controladas de temperatura y humedad.

La mineralización neta en el suelo más pesado (Zona sur) al incorporar la CP en los Días 1 y 7 fue 18 y 31 mg N kg⁻¹, mientras que en el suelo del norte con MB fue 12 y 16 mg N kg⁻¹. De acuerdo con Cabrera *et al.* (1993), estas diferencias pueden deberse a que al inicio se mineralizan los compuestos orgánicos lábiles presentes en materiales de mejor calidad como los estiércoles de aves, respecto a los de menor calidad, como el MB. Por otro lado, en este estudio, la CP presentó un mayor contenido de N total que el MB (1.77 vs. 0.88%), mayor cantidad de fuentes carbonadas de rápida descomposición (C soluble) (5 vs. 1.6%) y mayores contenidos de N inorgánico (39 vs 16 mg kg⁻¹) que MB. Además, la cantidad relativa de lignina/N fue menor en la CP que en MB, por lo cual es esperable una más rápida mineralización en CP que en MB.

Las cantidades de N mineral neto al día 32 luego de la aplicación de las enmiendas fueron 32 mg N kg⁻¹ para CP y 20 para MB, y hacia el final de la incubación fueron 70 (CP) y 59 mg N kg⁻¹ (MB). Estos valores representan dosis de aproximadamente 80 y 50 kg N ha⁻¹ para el día 32 (que correspondería al transplante de un cultivo). Al finalizar la incubación (día 161) la cantidad

mineralizada de N fue 29% del N total agregado con la CP y 25% con el MB, los cuales son cercanos a los valores reportados por del Pino *et al.* (2008) para cama de pollo con cáscara de arroz (33% del N total agregado) y estiércol de vacuno (22%).

Cambios de pH del suelo

En ambos suelos el pH tendió a decrecer (Fig. 2), tanto con el agregado de enmiendas como en el tratamiento control. Este descenso se asocia a la liberación de H⁺ al suelo durante el proceso de nitrificación.

Mineralización de Carbono

El agregado de materiales orgánicos incrementó la cantidad de CO₂ respirada en los suelos (Fig. 3), siendo mayor la cantidad de CO₂ inicial respirado (calculado por diferencia respecto al control) en CP que MB. Las tasas decrecientes de respiración luego del agregado de los materiales orgánicos se atribuye al agotamiento de fuentes de C solubles disponibles para los microorganismos (Ghani *et al.*, 2005). La baja cantidad de C mineralizado en un material orgánico puede considerarse una ventaja, ya que al no descomponerse fácilmente incidiría en una mejora de propiedades físicas del suelo.

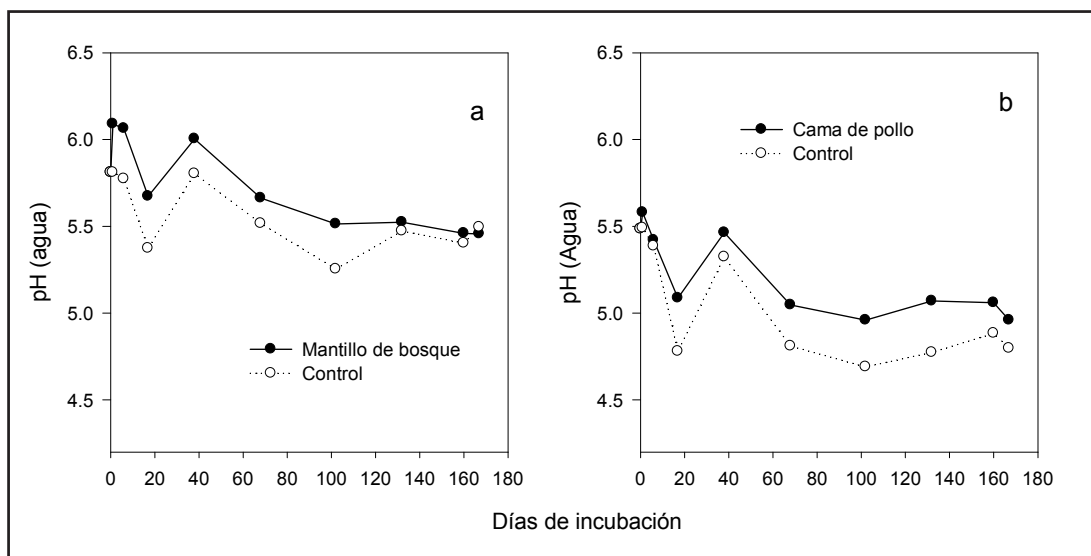
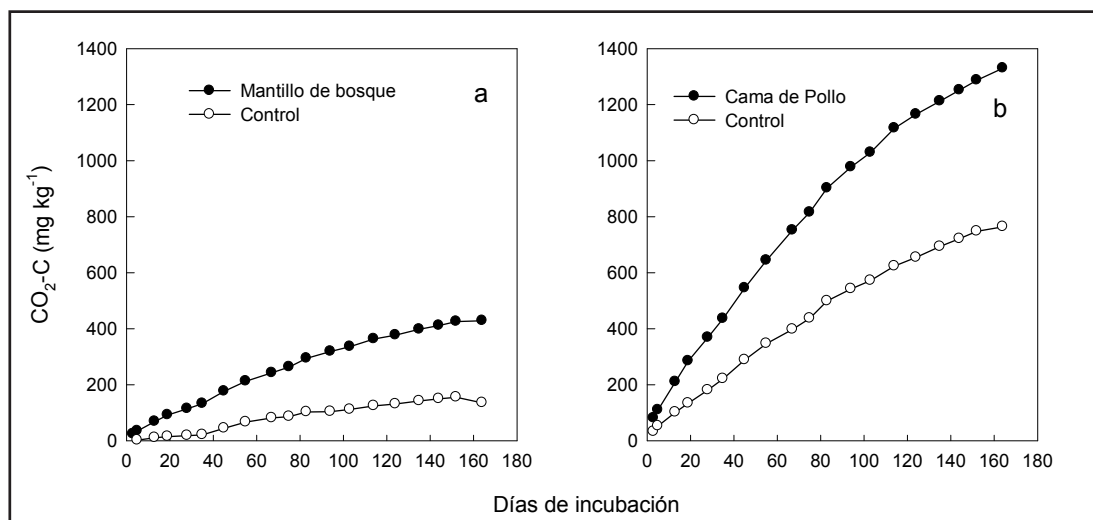


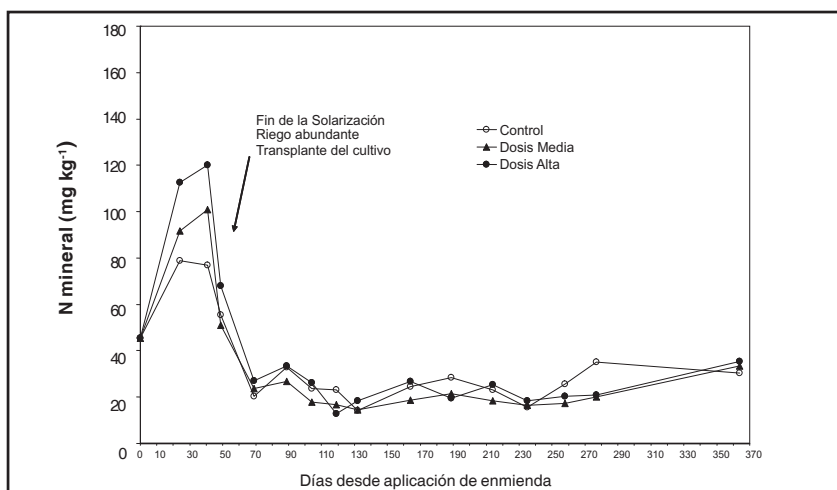
Figura 2. Evolución del pH en agua en un suelo arenoso del norte con mantillo de bosque (a) y en un suelo limoarcilloso del sur de Uruguay con cama de pollo (b) y tratamientos control (sin agregados) para los ensayos de incubaciones en el laboratorio.



Estudio en condiciones de producción

Desde el inicio del experimento hasta el día 41 luego de la aplicación de los tratamientos, como era esperable, se observó una mayor mineralización de N en la dosis mayor de enmienda (Fig. 4). Previo a la aplicación de los tratamientos la cantidad de N mineral fue relativamente alta (39 mg kg^{-1}), lo cual evidencia que el suelo presentaba historia de aplicación de fuentes de N. Al día 41 de aplicados los tratamientos -transplante

del cultivo- las cantidades de N mineral de los tratamientos con enmiendas fueron significativamente más altas ($Pr > F = 0.078$) que el control (101 y 120 mg kg^{-1} para las dosis Media y Alta, respectivamente, y 77 mg kg^{-1} para el tratamiento control). Por lo tanto, la mineralización neta producida fue equivalente a 60 y 108 kg N ha^{-1} para las dosis media y alta, respectivamente. La disminución de N mineral luego del día 49 se explica por los riegos realizados en la preparación del transplante y a la absorción por el cultivo.



Antes de la segunda aplicación de MB (muestreo del 1/2/08) todos los tratamientos presentaron similares contenidos de N mineral (29, 33 y 35 mg N kg⁻¹ para el tratamiento control, dosis Media y Alta, respectivamente), indicando un escaso efecto residual de la aplicación (Pr=0.58). A la fecha del trasplante, el Tratamiento «0-2» (o sea, la dosis Alta aplicada x al segundo año) la mineralización neta fue de 38 mg N kg⁻¹, similar al año anterior, estimándose una tasa de mineralización del orden 1.0 mg N kg⁻¹ día⁻¹.

En todos los muestreos realizados el segundo año, la dosis de enmienda aplicada fraccionada en dos años (Tratamiento 1-1), o sea, las dosis Media aplicada en forma anual, presentó una cantidad menor de N que cuando se aplicó el doble de la dosis en una sola vez (Tratamientos 2-0 ó 0-2). En promedio, el contenido de N mineral fue mayor en las parcelas que recibieron la dosis Alta aplicada anual o bianualmente, respecto a los tratamientos control (Pr=0.03) o con aplicación de la dosis fraccionada (dosis Media) (Pr=0.02).

La mineralización de la enmienda orgánica se relacionó con la temperatura del suelo, registrada en el suelo a 10-15 cm de profundidad para cada tratamiento (Fig.5), con un ajuste muy alto para los tres tratamientos.

La mayor cantidad de N mineralizado en el laboratorio respecto a la obtenida bajo situaciones reales de producción se atribuye a la existencia de condiciones más estables de temperatura y humedad, que permanecieron controladas durante las incubaciones. En estos estudios, además de favorecer la actividad microbiana, las posibles pérdidas de N por lixiviación o inmovilización por las plantas son minimizadas.

El tratamiento con la dosis mayor de enmienda, como era esperable, produjo mayores niveles de N mineral en el suelo que los otros dos tratamientos, aunque las diferencias fueron significativas a los 15 y 26 días desde su aplicación (Pr < 0.05), coincidentes con las fechas de enero, con temperaturas más altas que los meses subsiguientes (Fig. 6). El agregado de 15 Mg ha⁻¹ no alcan-

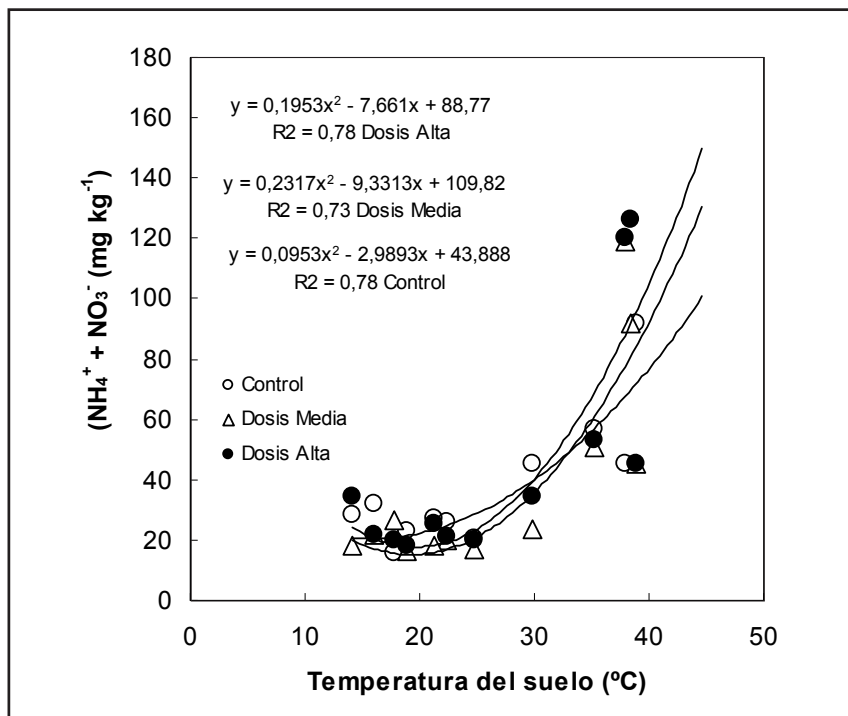


Figura 5. Relación entre N mineralizado y temperatura del suelo para el primer año de evaluación del ensayo en invernáculo comercial de la Zona Norte.

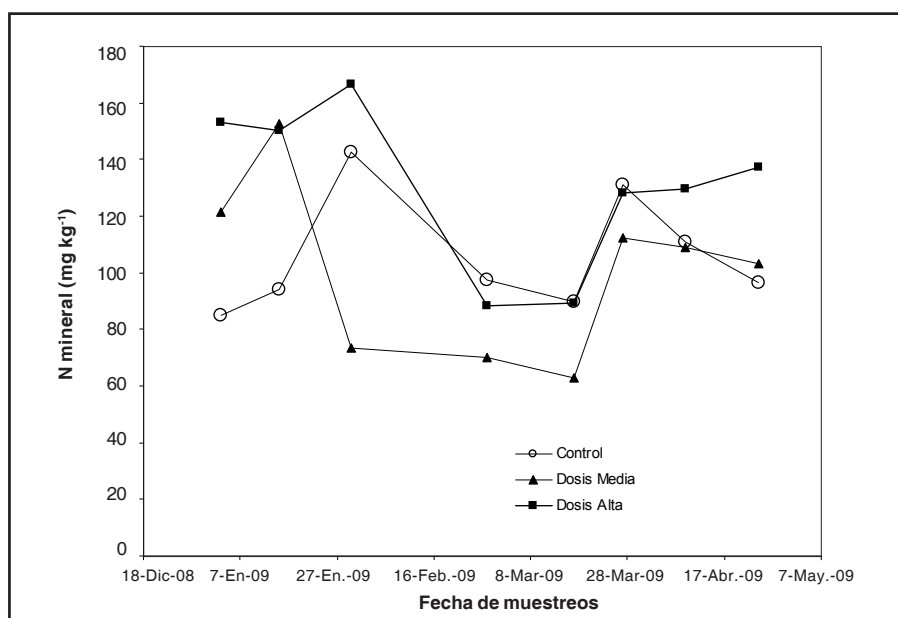


Figura 6. Variación del contenido promedio de N mineral ($\text{N-NO}_3^- + \text{N-NH}_4^+$) para suelos con aplicación de enmiendas y sin agregados en invernáculo comercial de la Zona Sur.

zó una concentración de N mineral en el suelo estadísticamente mayor al tratamiento control en ninguna de las fechas de muestreo. A los 42 días se mantuvo más alto el contenido en el tratamiento con la dosis alta, pero el tratamiento con la dosis Media y el control presentaron contenidos similares.

Los efectos residuales del agregado de enmiendas al final del primer año de aplicados los tratamientos fueron de escasa magnitud en ambos suelos, aunque hubo un aumento en las bases intercambiables que no llegó a ser significativo respecto al control (Cuadro 3). Probablemente el primer año es un tiempo muy corto para notar cambios en parámetros de suelo debido al agregado de enmiendas orgánicas. Se destacan los altos valores de pH del suelo en comparación con los datos de incubaciones del laboratorio.

Los efectos residuales de la aplicación de MB al segundo año se evaluaron mediante el análisis de N potencialmente mineralizable determinado con incubaciones (Fig.7). El agregado anual o bianual de MB afectó significativamente la capacidad de suministro de N, comparado con el testigo

($\text{Pr} > \text{F} = 0.007$) y los efectos se observaron aún al segundo año de aplicación, pero entre los distintos manejos o estrategias de aplicación de la enmienda, no se observaron diferencias significativas ($\text{Pr} > \text{F} = 0.496$). El escaso efecto de aplicar la enmienda en una única dosis o la misma dosis fraccionada en dos años, o de discontinuar la aplicación podría estar relacionado a la baja calidad del material, ya que en promedio al segundo año se obtendrían aproximadamente 42 kg N ha^{-1} .

El efecto residual al segundo año del agregado de enmienda se observó en otras características del suelo como las bases intercambiables (Cuadro 4).

El efecto del agregado de enmiendas sobre el pH del suelo no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Los altos valores de pH del suelo se atribuyen a la utilización del agua de riego, rica en HCO_3^- y Ca (337 y 57 mg kg^{-1} , respectivamente). Asociado a este incremento se pueden ocasionar algunas deficiencias de nutrientes como Fe y también de Zn o Mn (Fig. 8).

Cuadro 3. Características de los suelos al año de aplicación de enmienda orgánica (mantillo de bosque o cama de pollo) en experimento en invernáculo comercial de las zonas hortícolas del Norte y Sur del país.

Tratamiento	Zona Norte					
	pH (agua)	MO† (%)	P Bray-1 mg /kg	K meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g
Control	7,5	1,3	203	0,47	6,2	1,4
Dosis Media	7,5	1,4	183	0,46	6,5	1,3
Dosis Alta	7,5	1,5	184	0,47	6,9	1,5
			<i>Pr>F</i>			
Efecto tratamiento	0.79	0.34	0.47	0.98	0.07	0.12
Control vs resto	0.59	0.17	0.25	0.92	0.05	0.39
Dosis Media vs Alta	1.00	0.78	0.95	0.86	0.13	0.07
Tratamiento	Zona Sur					
	pH (agua)	MO (%)	P Bray-1 mg /kg	K meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g
Control	7.6	3.5	344	1.06	15.6	6.4
Dosis Media	7.7	3.5	310	0.92	16.2	6.5
Dosis Alta	7.6	3.6	352	1.49	16.4	6.7
			<i>Pr>F</i>			
Efecto tratamiento	0.73	0.45	0.08	0.03	0.71	0.77
Control vs resto	0.53	0.25	0.91	0.64	0.55	0.64
Dosis Media vs Alta	0.89	0.91	0.04	0.02	0.5	0.53

† Materia orgánica.

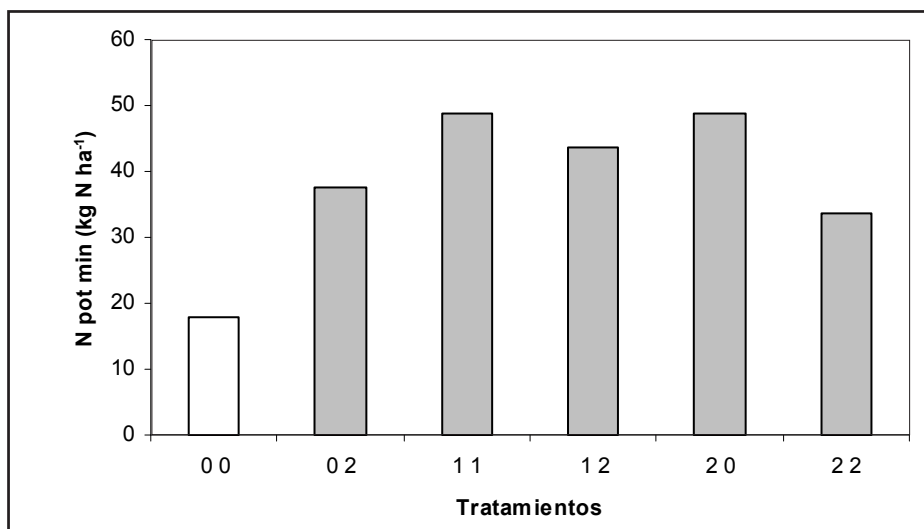


Figura 7. Nitrógeno potencialmente mineralizable según distintos tratamientos luego del segundo año de evaluación en invernáculo comercial de la Zona Norte. Los tratamientos en el segundo año (2008) fueron: 0-0, 0-150, 75-75; 75-150, 150-0 y 150-150 m³ ha⁻¹, (codificados como 0-0, 0-2, 1-1; 1-2; 2-0 y 2-2, respectivamente).

Cuadro 4. Bases intercambiables y pH en suelos al final del segundo año de aplicación de enmiendas orgánicas en experimento en invernáculo comercial de la Zona Norte.

Tratamiento	pH (agua)	K	Ca	Mg	Na
Control	7.8	0.59	6.3	1.4	0.6
0 2	7.8	1.12	8.9	2.3	0.8
1 1	7.9	1.24	9.4	2.1	0.7
1 2	7.7	0.76	8.7	2.1	0.7
2 0	7.9	0.85	8.2	2.0	0.7
2 2	7.5	1.02	8.8	2.0	0.7
		<i>Pr > F</i>			
Efecto Tratamiento	0.18	0.01	0.09	0.06	0.14
Control vs. Resto	0.48	0.01	0.01	0.04	0.01
Dosis entera vs fraccionada	0.91	0.06	0.34	0.76	0.49

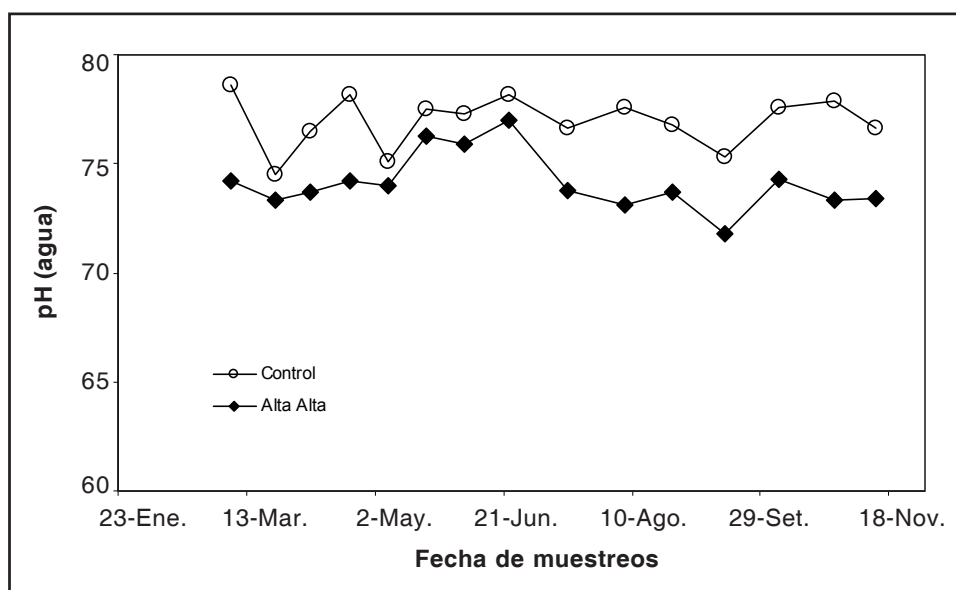


Figura 8. Evolución del pH en un suelo con agregado anual de una dosis Alta de enmienda en el ensayo de un invernáculo comercial de la Zona Norte.

El contenido de P en el suelo luego del agregado de MB en el experimento del invernáculo comercial de la Zona Norte durante el primer año también se incrementó. Antes de aplicar los tratamientos, el suelo presentaba 108 mg kg^{-1} de P Bray-1; con la dosis alta se incrementó aproximadamente el doble. En el experimento de la Zona Sur, por otro lado, los contenidos de P fueron más altos aún, donde el P disponible al finalizar el primer año de aplicación fue de 323, 368

y 365 mg kg^{-1} de P Bray-1 para los tratamientos control, y dosis Media y Alta, respectivamente.

CONSIDERACIONES GENERALES

En tanto no se cuente con valores de referencia sobre la composición de materiales orgánicos, la variabilidad en la composición

de las enmiendas evidencia la necesidad de analizar cada material antes de agregar al suelo. Dentro de los análisis, los más prácticos a realizar y que pueden ser utilizados para determinar las dosis a aplicar serían densidad, materia seca y contenidos totales de nutrientes en los materiales orgánicos, especialmente N.

En condiciones controladas, la liberación de N de las enmiendas orgánicas fue más rápida en el material con mayor contenido de N y formas lábiles de N y C (CP) que en MB, el cual presentó a largo plazo un aumento en la tasa de liberación. Las cantidades mineralizadas del N total agregado con las enmiendas fueron de 29 y 25% para CP y MB en un total de 161 días de incubación. En los invernáculos esas cantidades fueron de 35% y 14% del N total aplicado durante el primer año para CP y MB, respectivamente. Las cantidades estimadas de mineralización diarias al momento del trasplante fueron aproximadamente 0.95 mg de N kg⁻¹ día⁻¹ para MB y 2.4 mg N kg⁻¹ día⁻¹ para CP. El análisis de suelos, en especial el de N-NO₃⁻, y la historia de aplicación de enmiendas son herramientas básicas a tener en cuenta para definir el uso de estos materiales.

Más investigación es necesaria para determinar los efectos de las diferentes prácticas de manejo de las enmiendas, tipos de suelo y condiciones ambientales.

BIBLIOGRAFÍA

- CABRERA, M.L.; CHIANG, S.C.; MERKA, W.C.; THOMPSON, S.A.; PANCORBO, O.C.** 1993. Nitrogen transformations in surface applied poultry litter: Effect of litter physical characteristics. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57:1519-1525.
- CAMPELO, E.; BENZANO, R.; PLÁ, M.** 1981. Efecto de diferentes manejos previos del suelo en la producción de tomates para industria y en la respuesta a la fertilización nitrogenada. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Facultad de Agronomía, UY.
- CASANOVA, O.; DURÁN A.; MELLO, R.; DEL PINO, A.** 2007. Manejo de efluentes de tambo. *Revista Cangüé* N° 29. pp 94-96.
- DEL PINO, A.; REPETTO, C.; MORI, C.; PERDOMO, C.** 2008. Patrones de descomposición de estiércoles en el suelo. *Terra Latinoamericana* 26: 43-52.
- GARCÍA, F.; CARDELINO, G.** 1980. Manejo del suelo en invierno para la producción de cebolla bajo riego. In Resúmenes de la 3ª reunión Técnica de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Montevideo, 6-8 de diciembre 1980.
- GHANI, A.; DEXTER M.; SARATHCHANDRA, U.; WALLER, J.** 2005. Effects of dairy factory effluent application on nutrient transformation in soil.. *New Zealand J. of Agricultural Research* 48:241-253.
- LA MANNA, A.; MIERES, J.; ACOSTA, Y.; TORRES, I.** 2004. Utilización de efluentes de tambos- Resumen de investigación. Resultados Experimentales de Lechería Actividades de difusión de INIA N36, 1 de Junio del 2004.
- MOLTINI, C.; SILVA, A.** 1981. Fertilización con nitrógeno y fósforo en cebolla (*Allium cepa* L.) bajo diferentes situaciones de suelo. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay.
- MORAES, F.** 1996. Efecto de la aplicación de bagazo de caña de azúcar sobre la dinámica y respuesta al nitrógeno en un cultivo posterior de maíz. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay.
- SILVA, A.; PONCE DE LEÓN, J.; CAVASSA, R.; REYES, W.** 1992. Efecto de la aplicación de efluentes orgánicos de tambo sobre la producción de verdes y propiedades físico-químicas del suelo. *Notas Técnicas* N° 16. Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay.
- ZAMALVIDE, J.; MOLTINI, C.; SILVA, A.** 1979. Respuesta a nitrógeno y fósforo en cebolla. In Resúmenes de la 2ª Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía, Universidad de la República. Montevideo 27-29 de noviembre de 1979.

EVALUACIÓN AGRONÓMICA Y AMBIENTAL DEL ESTIÉRCOL DE AVE COMO FUENTE DE NITRÓGENO EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN INTENSIVA

Rabuffetti A.¹, García C.¹, Docampo R.¹, Casanova S.², Moura M.², Smolark C.³, Cabral H.³

RESUMEN

Debido al uso creciente del estiércol de ave en sistemas de producción intensiva, se procedió a la evaluación agronómica y ambiental del mismo como fuente de N en la secuencia maíz-avena-papa bajo riego, para un suelo de chacra típico de la zona hortícola del sur del país. Se evaluó comparativamente el efecto directo y residual de 2 dosis de estiércol (120 y 240 kg.ha⁻¹) y 3 dosis de fertilización mineral (60, 120 y 180 kg.ha⁻¹). También se evaluó el efecto combinado de la aplicación de estiércol y fertilizante mineral en la producción de maíz. Los resultados mostraron que ambas fuentes resultaban en incrementos significativos del rendimiento de maíz y papa, siendo el equivalente en N mineral de la dosis de 240 kg.ha⁻¹ de 144 kg.ha⁻¹ para maíz y 180 kg.ha⁻¹ para papa. Para las dosis ensayadas en este estudio ambas fuentes mostraron efectos residuales similares del orden de 25-30 % de aumento de rendimiento sobre el testigo en los cultivos de avena que siguieron a maíz y papa. Se discute la posibilidad de combinar el uso de ambas fuentes para conseguir una adecuada nutrición nitrogenada sin afectar la calidad del agua del suelo. Finalmente se alerta sobre la necesidad de monitorear periódicamente el nivel de P en la capa superficial del suelo resultante de aplicaciones sucesivas de estiércol.

INTRODUCCIÓN

El uso de abonos orgánicos, en particular el estiércol de ave, como fuente de nutrientes para la producción de cultivos, pasturas, hortalizas y frutales es conocido desde hace largo tiempo (Perkins et al., 1964; Shortall y Liebardt, 1975; Albreghts et al., 1981; Sims, 1987). Es al mismo tiempo una fuente de carbono (C) que puede mantener y/o restaurar la materia orgánica del suelo, que se puede perder debido a prácticas culturales esquilmanes (excesivo laboreo convencional, bajo aporte de fertilizantes, escasa o nula devolución de residuos de cosecha), situación está bastante generalizada en algunas zonas hortícolas.

En nuestro país, principalmente en la región sur que es donde se concentra la producción avícola, se estima que se generan anualmente 45000 toneladas de estiércol de ave (A. Berti, FAgro com per); lo que en términos de nitrógeno (N) y fósforo (P) equivale aproximadamente a 3000 toneladas de urea y 2400 toneladas de superfosfato de calcio respectivamente. Informaciones obtenidas a partir de técnicos asesores y productores (Grupos de trabajo y Jornadas de difusión de INIA-Las Brujas), indican que en la zona son frecuentes aplicaciones de 20 a 30 toneladas por hectárea. Si bien estas cantidades generan efectos residuales apreciables que pueden manifestarse durante varios años, incluyendo aumentos en los contenidos en

¹ INIA-Las Brujas

² Pasantes Facultad de Agronomía – UDELAR

³ Pasantes de la Escuela Técnica en Riego y Drenaje de Sao Vicente do Sul, RS, Brasil

C y N del suelo, las mismas pueden sobrepasar las necesidades en nutrientes de los cultivos, aumentar significativamente la acumulación de estos en horizontes superficiales, generar posibles desbalances nutritivos y aumentar el riesgo de contaminación con nitratos de aguas subsuperficiales.

A nivel nacional existen algunos antecedentes de experimentos de campo sobre el efecto del agregado de estiércol de ave en la producción de hortalizas y en la respuesta al N contenido en el abono (Moltini y Silva, 1981; Campelo *et al.*, 1982; Docampo *et al.*, 2005). Sin embargo, hasta el momento no se han evaluado comparativamente los efectos directos y residuales de diferentes niveles y épocas de aplicación del estiércol y de fertilizantes nitrogenados minerales en experimentos de más largo plazo que incluyan secuencias de producción intensiva (dos o más cultivos por año), ni se han cuantificado las posibles consecuencias ambientales en términos de lixiviación de nitratos a aguas subsuperficiales y/o la acumulación de P y otros nutrientes en horizontes superficiales.

Tampoco existe información que cuantifique la posible combinación de fertilizantes minerales y orgánicos como fuentes complementarias de N. Esta posibilidad de manejo de la nutrición nitrogenada es atractiva ya que permitiría utilizar un residuo como el estiércol de ave incorporándolo al suelo previo a la siembra, y aplicar en cobertura el fertilizante mineral (urea o nitrato de amonio) durante el desarrollo del cultivo incluso, probablemente reduciendo su uso.

Dadas las especiales características de los suelos donde se desarrolla la producción hortícola y de chacra en el sur del país, particularmente en términos de sus propiedades físicas (aireación, drenaje), es impor-

tante luego de agregado el abono al suelo monitorear la evolución del N mineral en el perfil del suelo, y cuantificar la posible acumulación de P en el horizonte superficial, resultante de sucesivas aplicaciones del estiércol.

En este trabajo se presentan resultados de actividades de investigación que tienen los objetivos de: a) evaluar comparativamente el efecto directo y residual de fertilizantes minerales y del estiércol de ave en el rendimiento y utilización de N para una secuencia de producción intensiva que incluyera maíz, avena y papa.; b) evaluar el efecto de la aplicación de sucesivas cantidades de estiércol durante la secuencia de cultivos en la acumulación de P en el horizonte superficial y en la posible lixiviación de nitratos a las aguas subsuperficiales, y c) evaluar el efecto de la aplicación conjunta de fertilizante mineral y estiércol de ave para definir dosis de aplicación de ambas fuentes asociadas con distintos rendimientos de los cultivos.

MATERIALES Y MÉTODOS

La información que se presenta se generó en dos experimentos de campo conducidos durante el período 2005-2009 en la Estación Experimental «Wilson Ferreira Aldunate» de INIA-Las Brujas. Ambos fueron establecidos en un Brunosol subeútrico típico alguna de cuyas propiedades físicas y químicas aparecen en el cuadro 1.

El experimento 1 se estableció en un área que había estado bajo cultivos durante los últimos 20 años y en barbecho los 6 meses previos a la instalación. Allí se desarrolló la secuencia: maíz-avena-maíz-avena-papa-avena-papa-avena sobre un diseño de

Cuadro 1. Propiedades físicas y químicas del suelo al inicio del experimento.

Profundidad cm	Textura	pH _{H2O}	Mat. Org. %	P Bray ppm	K interc. meq.100 g ⁻¹
0 - 20	FAcL	6.2	3.2 - 4.0	15 - 32	0.60 - 0.70
20 - 40	FAC	6.5	3.0 - 3.5	10 - 28	0.65 - 0.75
40 - 60	Ac	---	---	---	---

Cuadro 2. Tratamientos del experimento 1.

Tratamiento	kg N ha ⁻¹	Fuente
1	0	---
2	60	Urea + Nitrato de Amonio
3	120	Urea + Nitrato de Amonio
4	180	Urea + Nitrato de Amonio
5	120	Estiércol
6	240	Estiércol

bloques al azar con 4 repeticiones y parcelas de 5 x 10 metros y que incluyó los 6 tratamientos que aparecen en el cuadro 2.

La fertilización se hizo cada vez que entraban en la secuencia los cultivos de maíz o papa y se utilizó la avena para evaluar la residualidad de la fertilización al cultivo previo.

El estiércol, cuya composición aparece en el cuadro 3, se aplicó 10 a 15 días antes de la siembra y se incorporó con disquera inmediatamente después de su distribución. También en ese momento se incorporaba una dosis basal de 30 kg N ha⁻¹ bajo forma de urea en los tratamientos con fertilización mineral, aplicando el resto de la dosis de N bajo forma de nitrato de amonio una vez instalado los cultivos (en estado de V₆ para maíz y a los 30-40 días luego de la emergencia en el cultivo de papa).

En los tratamientos que recibían fertilizante nitrogenado mineral y en el testigo se incorporaban, previo a la siembra, 60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ bajo forma de superfosfato de calcio, para equilibrar el aporte de este elemento que de por sí realiza el estiércol.

Los materiales genéticos utilizados fueron la variedad de maíz INIA-Alazán, la variedad de avena LE 1095 y la variedad de papa Cheeftan.

Los cultivos de maíz y papa se manejaron con riego, definido en base al Sistema de Programación del Riego de INIA. En todos los casos se trabajó con las densidades de siembra recomendadas para cultivos bajo riego: 60 a 65.000 plantas ha⁻¹ en maíz y 50.000 plantas.ha⁻¹ en papa. Se realizaron los controles de malezas, plagas y enfermedades normalmente utilizados para estos cultivos en condiciones de producción.

Cuadro 3. Parámetros químicos de los estiércoles de ave utilizados.

Parámetro	Unidad	Experimento 1	Experimento 2
Humedad	%	27.0	27.6
Carbono total	%	39.4	36.1
Nitrógeno total	%	3.5	3.3
C/N		11.2	10.9
N-NH ₄	ppm	1094	1084
Fósforo	%	1.33	1.38
Potasio	%	1.18	2.18
Calcio	%	1.38	3.49
Manganeso	%	174	235
Zinc	%	286	242
Cobre	%	33.2	29.6
pH		8.0	7.7
Conductividad	µS.cm ⁻¹	3250	2250
Cenizas	%	64	4.9

Se realizaron muestreos de suelo a profundidades 0-20 y 20-40 cm en los tratamientos 1, 4 y 6 previo a la siembra de cada uno de los 3 cultivos. En el maíz se muestreo además a 0-20 cm en el tratamiento testigo y en los tratamientos que habían recibido estiércol (5 y 6), para evaluar la evolución que en términos de mineralización había tenido el estiércol aplicado. En V_6 un muestreo de suelos de 0-20 cm para Las muestras de cada parcela fueron secadas al aire, tamizadas a 2 mm y enviadas al laboratorio de Suelos, Plantas y Agua de INIA-La Estanzuela para determinación de N mineral (NO_3 y NH_4). El NH_4 se determinó por extracción con KCl y colorimetría con salicilato de Na. Los NO_3 se determinaron por extracción con CuSO_4 y determinación potenciométrica con electrodo selectivo (A. Morón, com. personal).

En muestras de suelo obtenidas al final de la secuencia de cultivos y también para los tratamientos 1, 4 y 6 se determinó el contenido en P asimilable por el método de Bray 1.

Durante el ciclo de crecimiento del primer cultivo de maíz (noviembre 2005 a marzo 2006) se evaluó la evolución del contenido en nitratos del agua del suelo. Para ello se colocaron freaímetros a 80 cm de profundidad y se determinó el contenido en 6 momentos del ciclo correspondientes a períodos que siguieron a riegos más o menos intensos o después de lluvias de más de 30 mm. El contenido en agua fue recogido de los freaímetros mediante succión con bomba de vacío manual y llevado al laboratorio para su determinación.

Durante el desarrollo de los cultivos de maíz y de papa, fueron tomadas muestras foliares para determinar el efecto de los tratamientos en la concentración en nutrientes (particularmente N y P) y su posible correlación con el rendimiento final. En maíz se muestreo la hoja inmediatamente opuesta a la primera mazorca. En papa el muestreo de la hoja más joven completamente desarrollada se hizo a inicios del período de tuberización. Estas muestras fueron secadas en estufa a 65 °C, molidas y enviadas al laboratorio de Análisis de Plantas y Tejidos

Vegetales de INIA- Las Brujas para determinación de N, P y K.

En la cosecha las determinaciones realizadas fueron: a) en maíz, rendimiento en grano, materia seca total y acumulación de N, P y K en grano y chala: b) en papa, rendimiento de tubérculos y acumulación de N, P y K, y c) en avena, cosechada al estado de grano pastoso, se determinó materia seca total y acumulación de N, P y K.

El experimento 2 se instaló en un área que había estado previamente durante 3 años bajo un semillero de trébol rojo. El objetivo fue estudiar durante 2 años el efecto de diferentes dosis de N mineral y estiércol de ave en el rendimiento de 2 materiales genéticos de maíz: la variedad INIA-Alazán y el híbrido DK 670 de alto potencial de rendimiento. El diseño utilizado fue un central compuesto que combinó 5 niveles de N mineral (0, 30, 60 90 y 120 kg ha^{-1}) y 5 niveles de N total del estiércol (0, 60 120, 180 y 240 kg ha^{-1}) a través de 13 tratamientos incluidos en bloques al azar con 2 repeticiones. Tanto las operaciones de campo para el manejo del ensayo como los muestreos de suelo, foliares y de cosecha realizados fueron iguales a los descritos para el experimento 1.

Los análisis estadísticos primarios presentados en este trabajo incluyeron: a) Análisis de varianza utilizando la subrutina PROG GLM del SAS y b) Análisis por regresión utilizando el PROG RSREG del mismo paquete estadístico.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Condiciones climáticas

La lluvia y las temperaturas medias durante los períodos 2005-2006 y 2006-2007 de desarrollo del cultivo de maíz estuvieron dentro de los valores promedios de los últimos 50 años. Hubo sin embargo 3 fuertes temporales (24/02/06, 03/03/06 y 02/03/07) que provocaron vuelco en el cultivo afectando sin duda la eficiencia de utilización de la luz en períodos de llenado del grano.

Los períodos de crecimiento 2007-2008 y 2008-2009 en el que se desarrollaron los 2 cultivos de papa del experimento 1 y los cultivos de maíz del experimento 2, se caracterizaron por la implantación de importantes períodos de sequía con un total de lluvias muy significativamente por debajo de los valores promedio, pero con temperaturas algo superiores al promedio. La consecuencia fue la existencia de períodos prolongados de alta luminosidad lo que asociado al riego aplicado a los cultivos determinó buenas condiciones de crecimiento.

N mineral del suelo

Las cantidades de N mineral ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) presentes en el suelo en la capa 0-40 cm previo a la siembra de cada cultivo aparecen en el cuadro 4.

En todos los muestreos, aunque con significación estadística variable, se observa la tendencia a un mayor contenido en N mineral de los tratamientos que recibieron fertilizante mineral o estiércol. En ningún caso aparecen diferencias entre el contenido de N mineral entre los 2 tratamientos fertilizados comparados.

En el cuadro 5 aparecen las cantidades de N mineral encontrados en la capa 0-20 cm del suelo, en etapas tempranas del crecimiento de maíz ($V_4 - V_6$) para los tratamientos que recibieron estiércol previo a la siembra. También se incluye para 2 de los 4 años considerados el contenido en N mineral medido en parcelas que habían recibido la dosis basal de urea.

En general se observa una mayor cantidad de N mineral de los tratamientos fertilizados respecto al testigo siendo significativamente mayor el contenido en N mineral en las parcelas que habían recibido la dosis más alta de estiércol. En éstas el N mineralizado fue igual y algún año superior al N proveniente de la mineralización de 30 kg ha⁻¹ de N aplicados como urea.

La rápida mineralización de por lo menos una parte del N del estiércol de ave en las semanas siguientes a su aplicación es esperable teniendo en cuenta que contiene una proporción importante del N total bajo formas orgánicas rápidamente mineralizables (ácido úrico, urea), agregándose además el hecho de que en estos experimentos el estiércol utilizado tenía una baja una relación

Cuadro 4. Contenido en N mineral ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3$) en la profundidad de 0-40 cm para los distintos muestreos realizados previo a la implantación de los 3 cultivos de la secuencia del experimento 1, y estadísticas asociadas.

N mineral inicial ppm	Dosis de N aplicadas kg/ha	Fechas de muestreo de suelo						
		27/04/06 previo a avena	12/10/06 previo a maíz	11/04/07 previo a avena	6/11/07 previo a papa	10/04/08 previo a avena	23/10/08 previo a papa	20/04/09 previo a avena
	N min N org	----- ppm N mineral -----						
	0 0	18 _b	13	14	16		8	14 _b
22-29	180 0	26 _a	15	17	19		11	24 _a
	0 240	28 _a	15	17	19		12	25 _a
Fuente de variación		----- P > F -----						
Bloques		0.9199	0.2268	0.0572	0.9453		0.5524	0.2296
Tratamientos		0.0939	0.6697	0.2042	0.1378		0.0953	0.0130
DMS .05 entre 2 medias de tratamientos		-----	-----	-----	-----		-----	6.95
CV, %		23.1	12.2	10.4	13.4		13.8	18.5

Cuadro 5. N mineral medido en la capa de 0-20 cm de suelo en tratamientos que habían recibido fertilización con estiércol o dosis basal de urea previo a la siembra.

Tratamiento N min kg/ha	N org kg/ha	Fuente	Año			
			2006	2007	2008	2009
----- N mineral , ppm -----						
0	0	-----	16 _b	16 _c	14 _c	11 _b
30	0	urea	25 _a	26 _b		
0	120	estiércol	18 _b	19 _c	25 _b	18 _a
0	240	estiércol	25 _a	30 _a	44 _a	21 _a
Fuente de variación P > F						
Bloques			0.0842	0.0747	0.4378	0.6480
Tratamientos			0.0001	0.0001	0.0008	0.0007
DMS .05 entre 2 medias de tratamientos			2.67	3.62	8.95	3.40
CV, %			7.8	9.8	20.8	11.5

C/N. En una incubación de 10 semanas de varios materiales realizada en condiciones de laboratorio, Castellanos y Pratt (1981) encontraban que mientras el estiércol de ave mineralizaba ya cerca del 50 % del total de N en las primeras 2 semanas, el estiércol de cerdo mineralizaba un 25 % y el vacuno apenas el 10% del N total que contenían. Beauchamp (1987), comparando bajo condiciones de campo la evolución en el tiempo de estiércol de ave, estiércol líquido de vaca lechera, estiércol sólido de vacuno y la urea, encontró que era el estiércol de ave el que seguía el padrón de mineralización de mayor similitud con el fertilizante mineral.

EFFECTOS DIRECTOS DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Maíz

En el cuadro 6 se muestra el efecto de diferentes dosis del fertilizante mineral y del estiércol de ave en el rendimiento en grano y en la acumulación de N en la cosecha de maíz para los años 2006 y 2007. En ambos años hubo incrementos significativos en el

rendimiento en respuesta a dosis crecientes de N mineral.

Los rendimientos máximos alcanzados no fueron muy diferentes en los 2 años pero el rendimiento del testigo fue sensiblemente inferior en el segundo año. Este padrón de respuesta fue semejante al observado con el contenido en N foliar en el momento de la floración (cuadro 7) y puede estar reflejando el efecto de los diferentes manejos previos del cultivo un año y otro, que determinaron la existencia de un mayor cantidad de N mineral inicial al implantarse el cultivo durante el primer año (cuadro 4).

El rendimiento en grano en los tratamientos que recibieron estiércol también fue significativamente mayor al testigo en ambos años (cuadro 6). A su vez tanto en el primer cultivo como en el segundo la dosis que aportó 240 kg N ha⁻¹ resultó en rendimientos significativamente superiores a la dosis que aportó 120 kg N ha⁻¹.

La acumulación de N por el cultivo en la cosecha refleja la misma tendencia que la observada para los rendimientos en grano (cuadro 6) en lo que se refiere al efecto de ambas fuentes de N. La importancia decisi-

Cuadro 6. Influencia de la dosis y fuente de N en el rendimiento en grano de maíz y en la acumulación de N en cosecha para los años 2006 y 2007 y estadísticas asociadas.

Tratamiento N min	Fuente N org		2006		2007	
			Grano t ha ⁻¹	N acumulado kg ha ⁻¹	Grano t ha ⁻¹	N acumulado kg ha ⁻¹
0	0	-----	5.9 c	90.7 d	3.7 c	53.5 d
60	0	Urea	6.9 bc	118.8 bc	6.3 b	99.5 c
120	0	Urea	8.2 ab	142.7 cb	8.2 a	136.0 b
180	0	Urea	8.6 a	156.5 a	9.2 a	169.9 a
0	120	Estiércol	6.9 bc	107.5 cd	6.0 b	88.8 c
0	240	Estiércol	8.5 a	156.5 a	8.3 a	139.0 b
Promedio			7.5	128.7	7.0	114.4
P > F						
Fuente de variación						
Bloques			0.0115	0.0013	0.7194	0.2564
Tratamientos			0.0108	0.0005	<0.0001	<0.0001
DMS .05 entre 2 medias			1.48	27.9	1.34	30.1
CV %			13.2	14.4	12.6	17.4

Cuadro 7. Influencia de la dosis y fuente de N en la concentración de N y P foliares de maíz en floración.

Tratamiento N min	Fuente N org		2006		2007	
			N	P	N	P
----- % -----						
0	0	-----	2.40 c	0.24 c	1.91 d	0.20
60	0	Urea	2.55 c	0.23 c	2.16 cd	0.20 b
120	0	Urea	2.78 b	0.26 ab	2.52 bc	0.20 b
180	0	Urea	3.06 a	0.28 a	3.25 a	0.23 a
0	120	Estiércol	2.38 c	0.26 ab	2.10 d	0.21 b
0	240	Estiércol	2.87 ab	0.28 a	2.67 b	0.24 a
Promedio			2.67	0.26	2.42	0.21
P > F						
Fuente de variación						
Bloques			0.1244	0.1837	0.2504	0.1810
Tratamientos			0.0001	0.0695	0.0001	0.0200
DMS .05 entre 2 medias			0.22	0.03	0.36	0.02
CV %			5.9	6.7	9.9	7.6

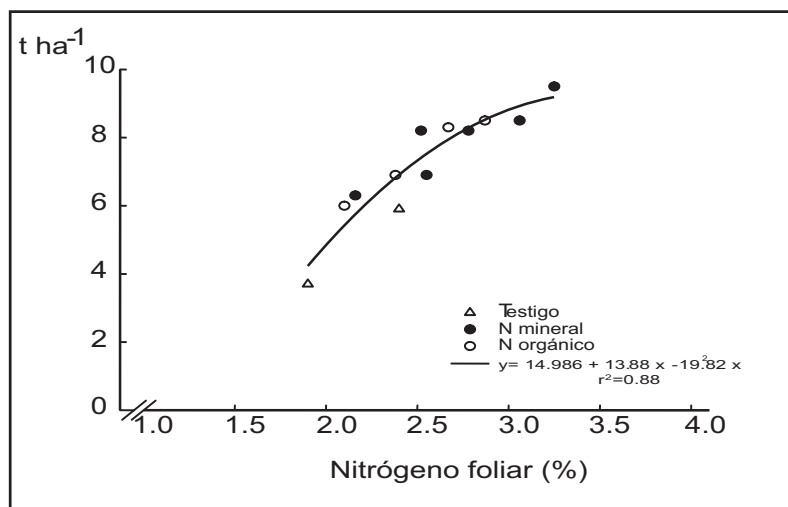


Figura 1. Relación entre la concentración de N foliar en floración y el rendimiento de maíz en función de las diferentes dosis y fuentes de N aplicadas en los años 2006 y 2007.

va de la nutrición nitrogenada en determinar el rendimiento final se expresa claramente a través de la fuerte correlación entre éste y la concentración de N foliar en floración la cual además es independiente de la fuente de N aplicada (figura 1).

Papa

En el cuadro 8 se muestra el efecto de las diferentes dosis de fertilizante mineral y de estiércol de ave en el rendimiento y acumulación de N por tubérculos de papa en la cosecha para los años 2008 y 2009. También en este caso hubo incrementos significativos en el rendimiento en respuesta a dosis crecientes de N mineral observándose rendimientos máximos de 29.8 y 33.6 t ha⁻¹ para la dosis de 180 kg ha⁻¹ de N en los años 2008 y 2009 respectivamente.

A su vez hubo diferencias importantes de rendimiento del tratamiento testigo en ambos años asociados, al menos en parte, a diferencias en la disponibilidad inicial de N. El cultivo de avena que precedió al segundo cultivo de papa tuvo un alto rendimiento lo que significó una extracción de N considerablemente mayor a la observada con la avena que precedió al primer cultivo de papa (cuadro 10).

El rendimiento de papa en los tratamientos que recibieron estiércol fue significativamente mayor a los testigos en ambos años (cuadro 8). También en este caso para ambos cultivos el rendimiento obtenido con la dosis de 240 kg N ha⁻¹ fue sensiblemente superior al obtenido con la dosis de 120 kg N ha⁻¹, alcanzando máximos de 30.8 y 33.1 t ha⁻¹ para los años 2008 y 2009 respectivamente.

La concentración de N foliar estimada a inicios de la tuberización (datos no presentados en este trabajo) solo mostró diferencias consistentes entre el testigo (3.7 %) y los tratamientos fertilizados (4.6 %), pero no desplegó un rango de variación que permitiera correlacionarlo con el rendimiento final en ninguno de los 2 años considerados.

Equivalencia entre el N del estiércol y el N del fertilizante mineral

A efectos de determinar los valores de equivalencia del N del estiércol se ajustaron para el promedio de los dos años de rendimientos de maíz y papa del experimento 1, ecuaciones cuadráticas de respuesta a la fertilización con N mineral (Fig. 2).

El cuadro 9 muestra los valores de equivalencia obtenidos, Los mismos expresan los

Cuadro 8. Influencia de la dosis y fuente de N en el rendimiento de papa y en la acumulación de N en el tubérculo para los años 2008 y 2009 y estadísticas asociadas.

Tratamiento	Fuente	2008		2009		
		Tubérculo t ha ⁻¹	N acumulado kg ha ⁻¹	Tubérculo t ha ⁻¹	N acumulado kg ha ⁻¹	
0	0	-----	14.3 e	45.4 c	7.3d	21.0d
60	0	Urea	20.1 d	67.5 b	17.3cd	55.5c
120	0	Urea	26.8 c	106.9 a	25.5b	90.4b
180	0	Urea	29.8 ab	116.7 a	33.6a	124.5a
0	120	Estiércol	23.6 c	84.0 b	26.2b	78.0bc
0	240	Estiércol	30.8 a	117.1 a	33.1a	113.1a
Promedio			24.0	89.5	23.8	78.5

P > F				
Fuente de variación				
Bloques	0.002	0.1848	0.0406	0.0022
Tratamientos	<0.0001	<0.0001	0.0001	0.0001
DMS .05 entre 2 medias	3.98	21.9	6.12	22.7
CV %	10.9	16.2	17.0	19.2

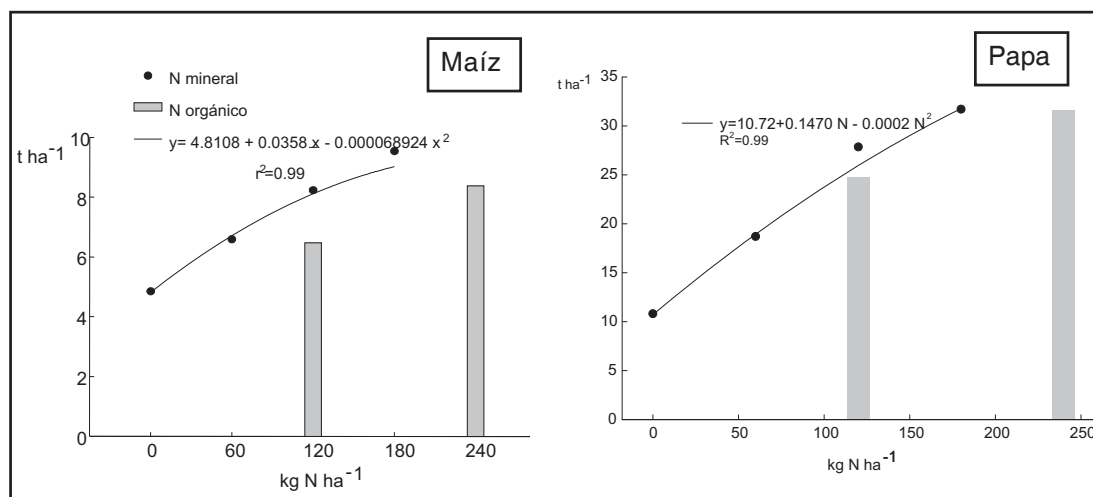


Figura 2. Curvas de respuesta a N mineral y valores observados de rendimiento de maíz y papa a la aplicación de estiércol (promedios de los dos años).

kg ha⁻¹ de N mineral que se equivalen en términos de rendimiento con 120 y 240 kg ha⁻¹ de N orgánico.

Efectos residuales de la fertilización nitrogenada

En los cuadros 10 y 11 se presenta la producción de materia seca y la acumulación de N de los cultivos de avena realiza-

dos después de cada uno de los cultivos de maíz y de papa.

La producción de materia seca fue consistentemente superior en los años 2008 y 2009 después de papa que en los años 2006 y 2007 después de maíz. Si bien al 0.05 nivel de probabilidad solo aparecen diferencias significativas entre tratamientos para el cultivo de avena del año 2009, después del segundo año de papa, la tendencia general

Cuadro 9. Valores de equivalencia en N del fertilizante mineral por las 2 dosis de estiércol de ave aplicados a maíz y papa, basadas en la curva de respuesta en rendimiento de ambos cultivos a la fertilización con urea.

N aplicado como estiércol kg ha ⁻¹	Valores de equivalencia en N del fertilizante mineral	
	maíz	papa
	Promedio	Promedio
	kg N ha ⁻¹	
120	54.0	102.0
240	144.0	180.0

Cuadro 10. Producción de avena en función de dosis y fuentes de N aplicados a cultivos previos de maíz y papa, y estadísticas asociadas.

Tratamiento N min	N org	Fuente	Cultivo previo			
			maíz		papa	
			2006	2007	2008	2009
			Materia Seca t ha ⁻¹			
0	0	-----	5.4	3-5	6.2	5.7 b
60	0	Urea	5.3	3.9	7.5	7.3 ab
120	0	Urea	7.3	4.5	7.5	7.5 ab
180	0	Urea	7-8	4.8	7.7	8.6 a
0	120	Estiércol	6.4	4.1	7.4	6.2 b
0	240	Estiércol	8.0	4.6	7.4	8.8 a
Promedio			6.7	4.2	7.3	7.4
			P > F			
Fuente de variación						
Bloques			0.1244	0.1837	0.2564	0.1810
Tratamientos			<0.0001	0.0695	<0.0001	0.0200
DMS .05 entre 2 medias de tratamientos			---	---	---	2.1
CV %			28.3	22.9	17.3	19.4

observada es en todos los casos un aumento del orden de 25 a 30% sobre el testigo tanto en los rendimientos que recibieron fertilización mineral como aquellos que recibieron fertilización con estiércol.

Además, se observa que para los cultivos que siguen al maíz el rendimiento a dosis de 60 kg ha⁻¹ de N mineral o de 120 kg ha⁻¹ de N total del estiércol fue prác-

ticamente igual al rendimiento del testigo, no siendo éste el caso de la avena después de los cultivos de papa, tal como se puede observar en la figura 3.

A efectos de cuantificar esta tendencia se ajustó para los tratamientos que habían recibido fertilización mineral una función cuadrática del tipo $y = a + bx + cx^2$ donde $x = \text{kg ha}^{-1}$ de N aplicados al cultivo previo.

Cuadro 11. Acumulación de N en avena (grano pastoso) en función de dosis y fuentes de N aplicados a cultivos previos de maíz y papa, y estadísticas asociadas.

Tratamiento N min	Fuente N org	Cultivo previo	kg N ha ⁻¹			
			Maíz		papa	
			2006	2007	2008	2009
0	0	-----	56.6	39.8	74.5	52.8 d
60	0	Urea	59.3	45.9	101.7	76.2 bcd
120	0	Urea	80.7	52.2	105.4	95.9 bc
180	0	Urea	83.4	53.3	113.9	101.3 ab
0	120	Estiércol	66.0	47.5	101.7	62.3 cd
0	240	Estiércol	82.2	50.3	107.8	120.1 a
Promedio			71.4	48.5	100.8	84.7

P > F				
Fuente de variación				
Bloques	0.1244	0.1837	0.2564	0.1810
Tratamientos	<0.0001	0.0695	<0.0001	0.0200
DMS .05 entre 2 medias de tratamientos	---	---	---	2.1
CV %	28.3	22.9	17.3	19.4

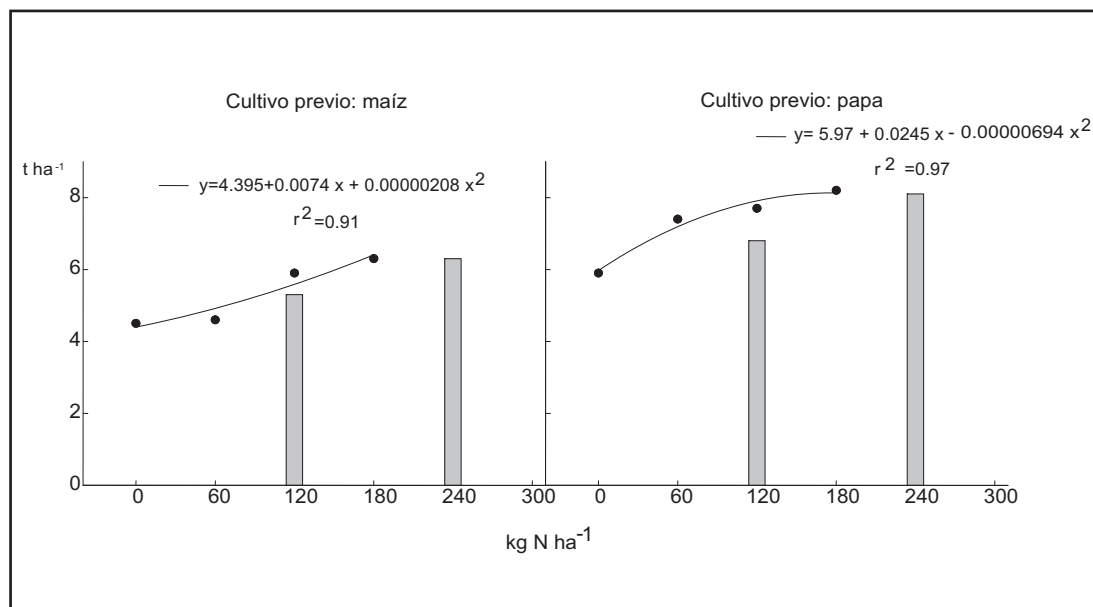


Figura 3. Producción de avena en función de dosis y fuentes de N aplicados a cultivos previos de maíz y papa.

Las funciones de respuesta residual obtenidas (figura 3) muestran que mientras luego de los cultivos de papa la curva de respuesta tiene la característica forma de las curvas que muestran rendimientos decrecientes con dosis crecientes del nutriente aplicado, la función que describe la respuesta luego de maíz es característica de la reducción en la disponibilidad del nutriente a dosis bajas de fertilización. Ello en este caso está expresando la existencia de un período de «hambre de N», que sin duda estuvo asociado al hecho de que luego de los cultivos de maíz y previo a la siembra de la avena los restos vegetativos del cultivo (que fueron en promedio 7.3 y 6.5 t ha⁻¹ en 2006 y 2007 respectivamente) fueron chopeados e incorporados al suelo, lo que significó agregar al suelo una cantidad muy importante de restos orgánicos de alta relación C/N (aproximadamente 40:1).

Precisamente en el año 2007 al observar el fuerte amarillamiento de la avena en

el inicio del macollaje, se dividió cada parcela en 2 subparcelas una de las cuales recibió en ese momento una dosis de 60 kg ha⁻¹ de N bajo forma de urea. La figura 4 muestra que en todos los tratamientos se obtuvieron rendimientos de 7.5 t ha⁻¹ de materia seca o más indicando entonces que fueron necesarios por lo menos 60 kg ha⁻¹ de N para compensar la inmovilización temporaria de N del suelo.

La acumulación de N por los cultivos de avena refleja la misma tendencia que la observada en términos de producción de materia seca (cuadro 11). También en este caso se evidencia la similitud en la respuesta de ambas fuentes (figura 5).

El contenido en N mineral del suelo luego de cada cultivo de avena (cuadro 4) muestra que los efectos residuales tanto de la fertilización mineral como de la realizada a través del estiércol, para los niveles de fertilización ensayados en este trabajo, carecen de significación luego de un segundo cultivo

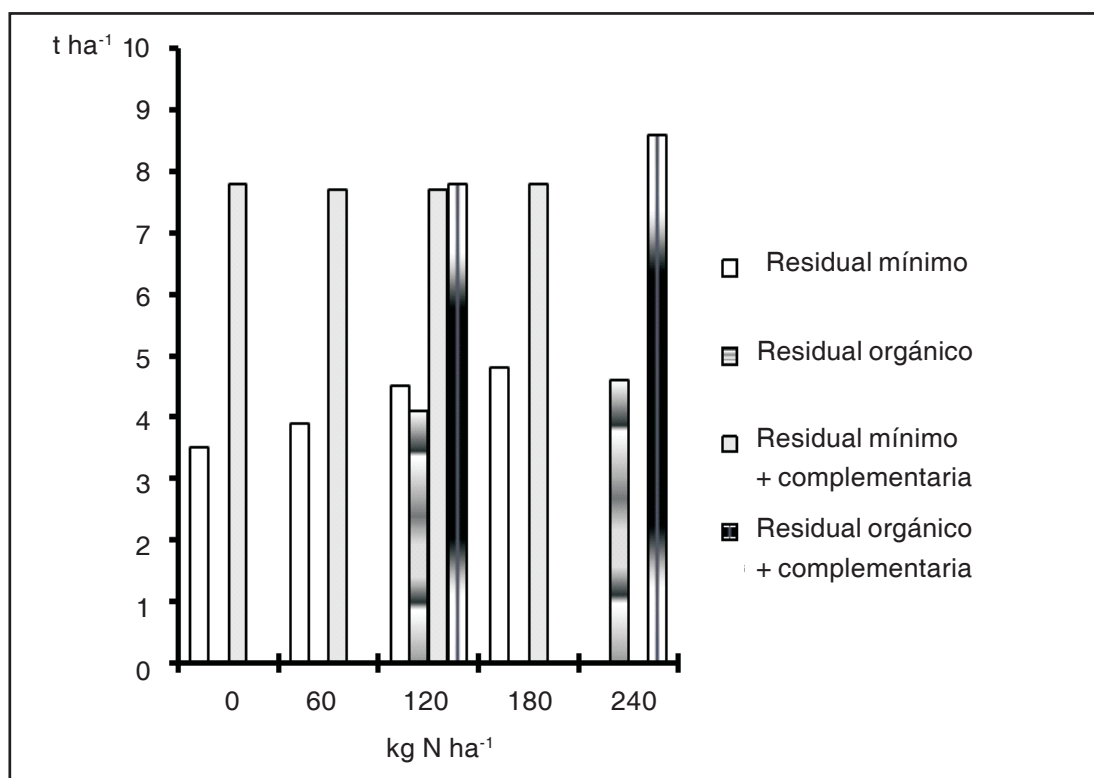


Figura 4. Producción de avena en el año 2007 en función de la fertilización residual y la fertilización complementaria al macollaje.

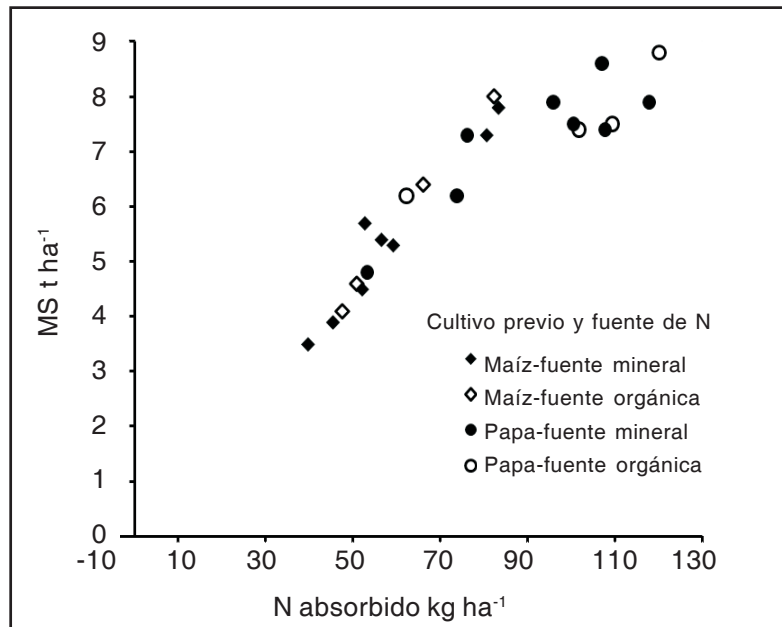


Figura 5. Relación entre el rendimiento y la acumulación de N en los cuatro cultivos de avena.

(avena en este caso). Resultados similares han sido reportados por otros autores. Beauchamp (1987) trabajando en suelos franco limosos, con 3 fuentes de estiércol (estiércol líquido de vaca lechera, estiércol seco de bovino y estiércol de ave) y dosis anuales de 67, 134 y 286 kg ha⁻¹ de N total aplicado durante 2 a 3 años comprobaba que luego del segundo año la respuesta del maíz al N residual de las 3 fuentes y de la urea eran muy pequeñas. En un suelo arenoso franco, para dosis de N potencialmente asimilables de 84, 168 y 252 kg ha⁻¹ aplicadas como urea o estiércol de ave en sistemas de producción de maíz continuo, Sims (1987) encontró que al tercer año los efectos residuales eran de poca significación y solo se manifestaban con la dosis más alta de fertilización para ambas fuentes. Sutton *et al.* (1986) también verificaron que los efectos residuales del N de varios estiércoles aplicados a «dosis normales» eran nulos o muy pequeños después del segundo año siguiente a la aplicación, y que solo con altas dosis de estiércol que excedieran significativamente los requerimientos en N de los cul-

tivos se encontraban respuestas residuales de importancia.

Aplicación combinada de N mineral y estiércol de ave

El cuadro 12 presenta los rendimientos en grano de maíz INIA- Alazán y DK obtenidos para c/u de los 13 tratamientos ensayados durante los años 2008 y 2009.

Los rendimientos fueron promedialmente de 10.6 y 8.6 t ha⁻¹ para INIA- Alazán y 15.9 y 12.7 t ha⁻¹ para DK 670. En el año 2008 hubo tratamientos que llegaron a 13 y 18 t ha⁻¹ para la variedad y el híbrido respectivamente. Sin duda que las óptimas condiciones de luminosidad y temperatura asociadas con la sequía y la aplicación del riego eliminando toda posibilidad de stress hídrico, fueron factores determinantes de alcanzar estos niveles de rendimiento.

Para cuantificar el efecto del fertilizante mineral y del estiércol de ave se ajustó para cada material genético y cada año una ecuación polinomial cuadrática del tipo:

Cuadro 12. Dosis y combinaciones de N mineral y N orgánico aplicados a la variedad INIA Alazán y al híbrido DK 670 y rendimiento en grano para los años 2008 y 2009.

N min	N org	INIA Alazán		DK 670	
		2008	2009	2008	2009
----- Rendimiento t ha ⁻¹ -----					
90	180	11.5	10.5	16.4	13.8
90	60	10.2	7.7	15.8	15.0
30	180	11.4	9.2	16.9	12.9
30	60	8.6	8.1	14.0	11.0
60	120	12.1	9.1	16.6	13.7
120	120	11.9	10.3	16.5	14.0
0	120	10.1	7.0	16.0	10.7
60	240	12.5	10.6	17.9	15.7
60	0	10.1	7.3	16.2	11.3
120	240	11.5	11.5	17.9	16.7
120	0	11.3	7.6	16.3	11.6
0	240	10.3	9.3	16.8	12.2
0	0	6.8	4.2	10.4	6.4
Promedio		10.6	8.6	15.9	12.7

$$Y = b_0 + b_1 N_{\text{min}} + b_2 N_{\text{org}} + b_3 N_{\text{min}}^2 + b_4 N_{\text{org}}^2 + b_5 N_{\text{min}} * N_{\text{org}}$$

Donde:

Y= rendimiento en t ha⁻¹,

Nmin= kg ha⁻¹ de N mineral,

Norg= kg ha⁻¹ de N total del estiércol.

Las funciones de respuesta obtenidas aparecen en el cuadro 13.

Del análisis de las mismas se desprende: a) que hubo en todos los casos respuestas muy significativas tanto al agregado de N mineral como de N orgánico, b) que las mismas muestran para ambas fuentes, tendencias a ser decrecientes a medida que aumenta la dosis, y c) que aún con significación variable en todos los casos el coeficiente negativo del término «Nmin*Norg.» es negativo. Esto indica la posibilidad de sustitución de un fertilizante por otro, en la determinación del rendimiento, lo que establece la probabilidad de que un mismo rendimiento pueda ser obtenido por diferentes combinaciones de dosis de ambas fuentes.

La figura 6 muestra por ejemplo las respuestas al agregado de N mineral a diferentes niveles de aplicación de N orgánico para

INIA-Alazán y DK 670 en el año 2008 y como diferentes combinaciones de ambas fuentes pueden producir el mismo rendimiento.

IMPACTO AMBIENTAL DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Evolución del contenido en nitratos en la solución del suelo

En la figura 7 aparece el contenido en nitratos encontrados en la solución del suelo a 80 cm de profundidad en distintos momentos del ciclo del cultivo de maíz para 3 tratamientos: testigo, fertilizado con 180 kg ha⁻¹ de N mineral y fertilizado con 240 kg ha⁻¹ de N orgánico. Salvo en el primer muestreo, en los tratamientos que habían recibido 180 de N como urea y nitrato de amonio, el contenido en nitrato se acercó al límite de tolerancia de 12 mg.lt⁻¹ establecidos por ley para agua de riego y de consumo humano. En todos los demás muestreos, y aunque no significativa al 0.05 de nivel de probabilidad, la tendencia fue una mayor lixiviación de nitratos a partir de la fuente mineral que de la fuente orgánica.

Cuadro 13. Ecuaciones de regresión múltiple que relacionan el rendimiento de grano de maíz con las dosis de fertilización de fertilizante mineral y estiércol de ave aplicados para los años 2008 y 2009 y estadísticas asociadas.

Modelo	Variedad INIA Alazán				Variedad DK 670			
	2008		2009		2008		2009	
	Parámetro	P > t	Parámetro	P > t	Parámetro	P > t	Parámetro	P > t
b_0	6.7881		4.5900		4.4718		6.9489	
b_1 Nmin	0.05996	0.0007	0.04736	0.0123	0.06933	0.0090	0.09534	0.0026
b_2 Norg	0.02490	0.0037	0.02462	0.0096	0.02472	0.0525	0.02856	0.0523
b_3 N ² min	-0.00021	0.0764	-0.00018	0.1692	-0.00024	0.2026	-0.00044	0.0489
b_4 N ² org	-0.000032	0.2702	-0.000025	0.4431	-0.00004	0.6920	-0.00003	0.5785
b_5 Nmin Norg	-0.00012	0.0103	-0.000025	0.6131	-0.00018	0.0162	-0.00005	0.3506
R^2	0.89		0.87		0.84		0.82	

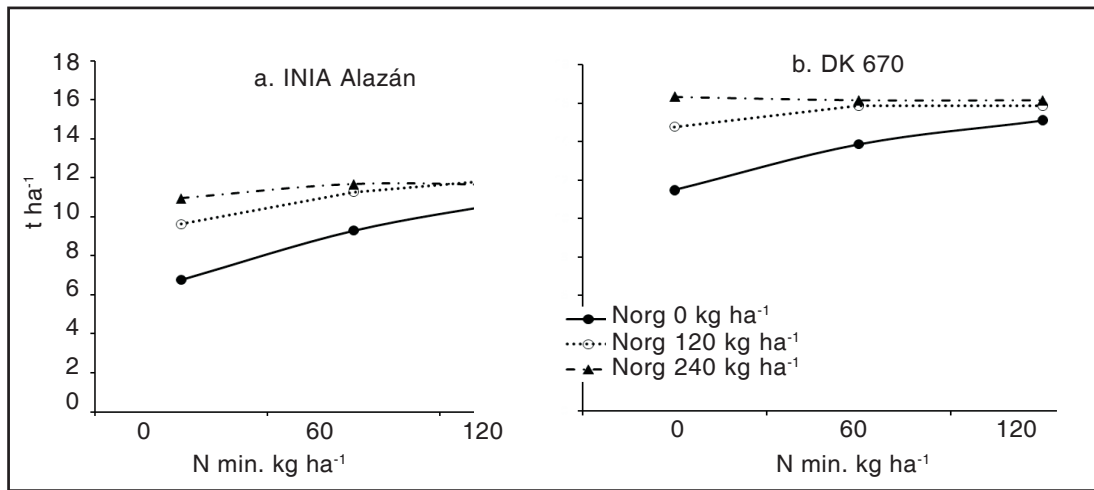


Figura 6. Rendimientos estimados de maíz INIA Alazán y DK 670 en función de dosis de fertilización mineral (urea y nitrato de amonio) y estiércol de ave en el año 2008.

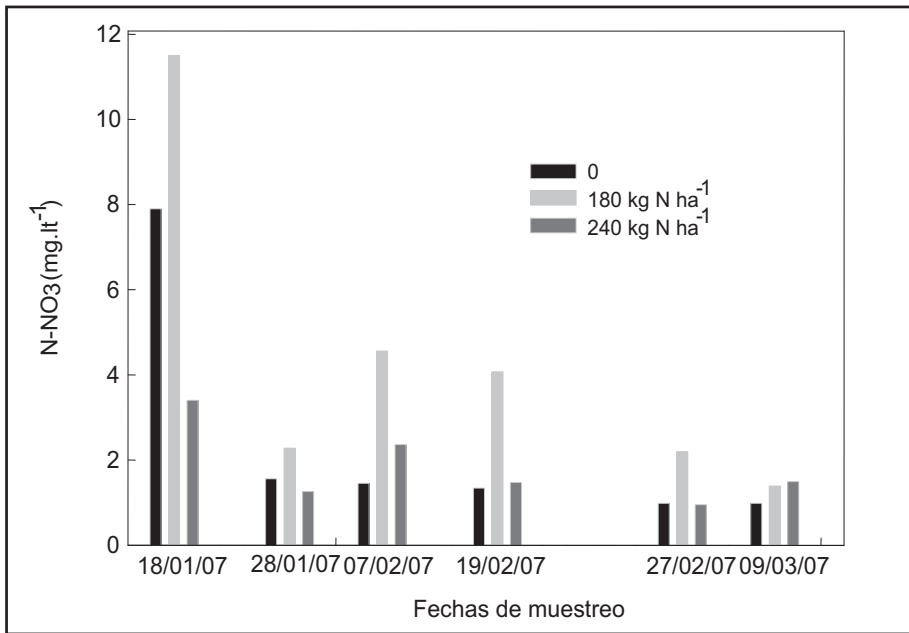


Figura 7. Contenido en nitratos de la solución del suelo durante el cultivo de maíz a 80 cm de profundidad.

Acumulación de P en el horizonte superficial

En el cuadro 14 se presentan los valores de P asimilable encontrados en los primeros 20 cm de suelo al final de la secuencia de cultivos en los 3 tratamientos antes mencionados. El nivel inicial de P asimilable al comienzo del experimento era de 19 ppm.

Cuadro 14. P asimilable en los primeros 20 cm de suelo al final de la secuencia de Cultivos.

Tratamiento		P asimilable ppm
N min kg ha ⁻¹	N org año ⁻¹	
0	0	31
180	0	35
0	240	53

Mientras que los aumentos en P asimilable en el tratamiento testigo y en el que recibió fertilizante nitrogenado mineral expresan el efecto del agregado de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (aproximadamente 105 kg ha⁻¹ de P) bajo forma de superfosfato de calcio, al cabo de 4 años, el muy alto nivel de P asimilable presente en el tratamiento fertilizado con estiércol expresa el efecto del agregado de 320 kg.ha⁻¹ de P (aproximadamente 730 kg ha⁻¹ de P₂O₅) en el mismo período.

Evidentemente en este último caso se trata de una acumulación muy importante de P en la capa arable del suelo que resultó del agregado de cantidades sin duda moderadas de estiércol como fueron las utilizadas en este experimento. Por lo tanto en sistemas donde este abono sea utilizado con frecuencia y en dosis mayores es necesario evaluar periódicamente a nivel del suelo y de los cultivos la disponibilidad de otros nutrientes (por ejemplo Zn). Además y teniendo en cuenta la probabilidad de lluvias intensas es también necesario evaluar los posibles impactos ambientales que estos altos contenidos de P en la superficie del suelo pueden tener a través de la erosión y el escurrimiento de aguas.

CONCLUSIONES

1. En las condiciones de manejo bajo las cuales se desarrollaron los cultivos de maíz y papa en este trabajo, la aplicación de estiércol de ave resultó en rendimientos iguales a los obtenidos con fertilizante nitrogenado mineral. Para la dosis de 240 kg ha⁻¹ de N orgánico asociada con los máximos rendimientos obtenidos, la equivalencia en N mineral fue de 144 kg ha⁻¹ para maíz en los años 2006 y 2007 y de 180 kg.ha⁻¹ para papa en los años 2008 y 2009
2. A su vez, se verifica la posibilidad de combinar ambas fuentes de N aplicando e incorporando el estiércol previo a la siembra y complementando la dosis con fertilizante mineral durante el desarrollo del cultivo. La relación de precios entre ambas fuentes incluyendo costos de flete y aplicación, serán sin duda factores determinantes de la viabilidad de esta estrategia de manejo de la nutrición nitrogenada.
3. Para dosis de N orientadas básicamente a satisfacer las necesidades de los cultivos de maíz y de papa, como fueron las utilizadas en este trabajo, los efectos residuales tanto de la fertilización mineral como del estiércol de ave significaron aumentos del 25 al 30% sobre el testigo en la producción de heno de avena. Posteriormente a dicho cultivo, la disponibilidad de N residual fue muy pequeña o nula.
4. La incorporación al suelo de importantes volúmenes de residuos de cosecha de maíz de alta relación C/N (práctica muy recomendable para mantener la materia orgánica activa del suelo) generó temporariamente inmovilización de parte del N del suelo, y demandó la aplicación de 60 kg.ha⁻¹ de N para asegurar una adecuada producción de heno de avena.
5. No se verificó acumulación de nitratos en la solución del suelo a 80 cm de profundidad que superara el nivel de tole-

rancia máximo para agua de riego o consumo humano. En todos los casos, aunque no significativa, la tendencia fue una mayor lixiviación de nitratos a partir de la fuente mineral que de la fuente orgánica. Estos resultados demuestran que bajo riego y sobre todo en cultivos de ciclo intermedio o largo es necesario sincronizar el agregado de N con el curso de producción de materia seca y de utilización de N por el cultivo.

6. La aplicación anual durante 4 años de 6 t ha⁻¹ de estiércol de ave significó agregar al suelo 320 kg ha⁻¹ de P lo que llevó el nivel de P asimilable del suelo a valores cercanos a 50 ppm. Estos resultados muestran la necesidad, en sistemas que incluyen la aplicación de estiércol, de evaluar periódicamente los efectos de la acumulación de P en la disponibilidad de otros nutrientes así como también en el posible impacto ambiental que estos altos contenidos de P pueden tener cuando estén asociados a procesos de erosión y escurrimiento de aguas.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBREGTHS, E. E. AND C. M. HOWARD.** 1981. Effect of poultry manures on strawberry fruiting response. Soil nutrient changes and leaching. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 106: 295-298.
- BEAUCHAMP, E. G.** 1987. Corn response to residual N from urea and manures applied in previous years. *Can. J. Soil Sci.* 67: 931-942.
- CAMPELO, E., R. BENZANO Y M. PLÁ.** 1981. Efecto de diferentes manejos previos del suelo en la producción de tomates para industria y en la respuesta a la fertilización nitrogenada. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, UDELAR.
- CASTELLANOS, J. Z., AND P. F. PRATT.** 1981. Mineralization of Manure Nitrogen-Correlation with laboratory indexes. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 45:354-357.
- DOCAMPO, R., C. GARCÍA, S. CASANOVA Y A. RABUFFETTI.** 2005. Sistemas de cultivo para producción hortícola sostenible en la región sur. I. Efecto del estiércol de gallina en la producción de cebolla. En: X Congreso Nacional de Hortifruticultura. Pg. 23-25. Montevideo, Uruguay.
- MOLTINI, C. Y A. SILVA.** 1981. Fertilización con N y P en cebolla bajo diferentes situaciones de suelo. Tesis Ing. Agr. Facultad de Agronomía, UDELAR.
- PERKINS, H. F., M. B. PARKER AND M. L. WALKER.** 1964. Chicken manure. Its production, composition and use as a fertilizer. *Georgia Agr. Exp. Sta. Bull.* 123. University of Georgia, Athens.
- SHORTALL, J. G. AND W. C. LIEBARDT.** 1975. Yield and growth of corn as affected by poultry manure. *J. Environ. Quality.* 4: 186-191.
- SIMS, J. T.** 1987. Agronomic evaluation of poultry manure as a N source for conventional and no tillage corn. *Agron. J.* 79: 563-570.
- SUTTON, A. L., D. W. NELSON, D. T. KELLY AND D. L. HILL.** 1986. Comparison of solid vs liquid dairy manure application on corn yield and soil composition. *J. Environ. Quality.* 15: 370-375.

ROTACIONES PARA CEBOLLA EN EL SUR DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

Agamennoni R.¹, Rivas J., Vanzolini J.I., Prioletta S., Baffoni P., Caracotche V.

RESUMEN

En 1996 se instaló en INTA Ascasubi, un experimento con el objetivo de estudiar el efecto de diferentes rotaciones sobre: la productividad y la Incidencia de *Fusarium* spp. (IF) en cebolla. En el mismo se realizaron dos etapas, Etapa 1 (E1) (1996-2001) y Etapa 2 (E2) (2002-2007). Este trabajo incluye parte de los resultados obtenidos en E2, en que se evaluaron 8 tratamientos: MC: Monocultivo de Cebolla; Agr5: 5 años de Agropiro (*Thinopyrum ponticum*); Rg3: 3 años de Raygras (*Lolium perenne*); Aa3: 3 años de Alfalfa; Aa5: 5 años de Alfalfa; MAV: Abono Verde de Moha (*Setaria itálica*); AC: Agricultura Continua de trigo y girasol y MA: Manejo Ajustado con pastura-cebolla-girasol-trigo-pastura. El MA en las dos etapas y Ag5, Aa5 y AC en E2, presentaron una significativa menor IF que el resto. Para un manejo fitosanitario sustentable debe haber como mínimo 5 años libres de cebolla. Pero solo MA y Ag5 combinaron buenos rendimientos y baja IF. Los mayores rendimientos en E1 y E2 se corresponden con los tratamientos de pasturas como antecesor, ya sea mezclas de alfalfa con agropiro o agropiro solo. Con el MA además se obtuvieron elevados rendimientos no solamente en la cebolla, sino en los cultivos y la pastura que forman parte de la secuencia.

Palabras clave: cebolla, rotaciones, gramíneas perennes, *Fusarium* spp. rendimiento

INTRODUCCIÓN

La cebolla es el principal producto agrícola del valle bonaerense del río Colorado. Ocupa alrededor de 15.000 ha y es una de las principales hortalizas de exportación en la Argentina (Lucanera *et al.*, 2007). La Podredumbre basal (PB), ocasionada por el complejo de hongos de suelo *Fusarium spp.*, es la principal causa de los rechazos en empaque (García Lorenzana, com. pers.)². Esta enfermedad se la considera de importancia porque afecta directamente la calidad del bulbo.

Según Entwistle (1990), uno de los factores que inciden en el nivel de enfermedades de la raíz que se propagan en el suelo en cebolla, es la frecuencia en la rotación de aliáceas u otros cultivos hospedantes susceptibles.

Al abordar esta problemática se establecieron dos hipótesis: a) Las rotaciones con pasturas y abonos verdes mejoran el contenido de materia orgánica del suelo y reducen la Incidencia de *Fusarium* spp. (IF). b) La repetición continua del cultivo de cebolla en un lote produce aumento de la enfermedad antes mencionada.

A fin de comprobar estas hipótesis, en 1996 se instaló en la Estación Experimental del INTA Ascasubi un experimento, con el objetivo de estudiar el efecto de diferentes rotaciones y abonos verdes sobre la sanidad y productividad de la cebolla y sobre algunas propiedades del suelo. En este trabajo se incluye solamente lo referente a la IF y el rendimiento de bulbos.

¹EEA INTA H. Ascasubi. Correo electrónico: raulagam@correo.inta.gov.ar

²Coord. Prog. Certificación en Origen de cebollas (FUNBAPA: Fundación Barrera Zoofitosanitaria Patagónica).

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se estableció en un suelo clasificado como *Hapludol éntico* franco arenoso de la Serie La Merced (Codagnone, 1991), ubicado en la EEA INTA Hilario Ascasubi.

El ensayo cumplió dos etapas, la primera (E1) entre 1996 y 2001 (Agamennoni *et al.*, 2006) y la segunda (E2) entre 2002 y 2007.

En la E2 se evaluaron ocho tratamientos con secuencias de pasturas y cultivos (Cuadro 1). En 2007 todos los tratamientos coincidieron programadamente con cultivo de cebolla, para analizar el efecto de las diferentes rotaciones.

Manejo de los cultivos

La siembra de la cebolla (cv. Valcatorce INTA) se realiza durante el mes de agosto con un equipo Bisig (sistema de 4 hileras por camellón de 0,8 m de ancho). Se fertiliza a la siembra con 150 kg. ha⁻¹ de fosfato diamónico (18-46-0), distribuidos en la línea. Posteriormente se realizan dos aplicaciones con aporcador de 150 kg urea. ha⁻¹ cada una, en los estadios de tercera hoja y de octava a décima hoja. Durante el ciclo de cultivo se aplican de 20 a 24 riegos por gravedad, de 80-100 mm cada uno, de acuerdo a las condiciones climáticas.

MAV se corta con desmalezadora de hélice en inicio de panojamiento. Luego se deja secar el material cortado durante 24 horas, incorporándose con rastra de discos pesada a una profundidad media de 15 cm. Las pasturas en los tratamientos 2, 3, 4, 5 y 8, se manejan con cortes y extracción del forraje producido.

Censo y muestreo de plantas

Para el censo de plantas de cebolla se utilizaron cuatro puntos fijos distribuidos al azar, en cada parcela. En el 2007 se realizaron tres evaluaciones en la emergencia espaciadas 7 días entre sí que se promediaron. En este año también se realizó muestreo de plantas a las 3-4 hojas (26-11-2007) y a las 4-5 hojas (20-12-2007); con extracción total de plántulas en dos submuestras de 0,2 m² cada una al azar, en tres de los cinco bloques del ensayo. Las determinaciones realizadas fueron: número de plantas, estadio de desarrollo, largo de hoja principal y peso de materia seca (secado en estufa a 60 °C hasta peso constante).

Muestreo de bulbos a la cosecha

Tipo A. Muestreo para estimar *rendimiento de bulbos comerciales* (RBC) y de IF. Las muestras estuvieron compuestas por cinco submuestras de 1 m² cada una. Fueron tomadas al azar dentro de la unidad experi-

Cuadro 1. Tratamientos con la secuencia de cultivos y pasturas en la segunda etapa (2002-2007).

Tratamientos	Ciclo					
	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1 Monocultivo cebolla (MC)	Cebolla	Cebolla	Cebolla	Cebolla	Cebolla	Cebolla
2 Agropiro 5 años (Agr5)	Agropiro	Agropiro	Agropiro	Agropiro	Agropiro	Cebolla
3 Raygras 3 años (Rg3)	Cebolla	Cebolla	Raygrass	Raygrass	Raygrass	Cebolla
4 Alfalfa 3 años (Aa3)	Cebolla	Cebolla	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Cebolla
5 Alfalfa 5 años (Aa5)	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Alfalfa	Cebolla
6 Moha abono verde (MAV)	Moha	Cebolla	Moha	Cebolla	Moha	Cebolla
7 Agricultura continua (AC)	Trigo	Girasol	Trigo	Girasol	Trigo	Cebolla
8 Manejo ajustado (MA)	Girasol	Trigo	Alfalfa + agropiro	Alfalfa + agropiro	Alfalfa + agropiro	Cebolla

Cuadro 2 Categorías IRAM según diámetro ecuatorial de bulbos de cebolla.

Categorías	3	4	5	6	7	8
Diámetro ecuatorial de bulbo (mm)	< 35	36-45	46-55	56-65	66-75	76-85

mental, se extrajeron la totalidad de bulbos tanto sanos como enfermos y se almacenaron bajo tinglado hasta el momento de su procesamiento, clasificación y pesado.

Para la evaluación de rendimientos se clasificaron los bulbos por su diámetro ecuatorial, registrándose número y peso para cada categoría. Las categorías, según Normas IRAM 155004 Parte II, se muestran en la Cuadro 2. Para el cálculo de RBC no se incluyeron los bulbos de calibre 3 (cebolla tipo pickle).

El nivel de IF se estimó por separación y análisis de los bulbos de las muestras cosechadas para estimar rendimiento. La determinación se realizó junto con la evaluación de rendimiento a fines de marzo.

Tipo B. Muestreo para determinar la evolución de IF en la poscosecha. Las muestras en este caso están compuestas por 300 bulbos medianos y sin síntomas externos de enfermedad, tomados uno por uno al azar, sin referencia de la superficie y en toda la unidad experimental, evitando las borduras.

El nivel IF se determinó durante tres meses (abril, mayo y junio). En cada uno de ellos, se evaluaron y descartaron los bulbos enfermos, clasificándolos según el tipo de enfermedad u otros problemas observados. Se calculó el porcentaje de los mismos respecto del total de la muestra.

Limpieza de las parcelas

Finalizados los muestreos en febrero, se retiraron todos los bulbos de cebolla remanente en las parcelas, a fin de reducir el aporte de organismos patógenos al suelo y evitar introducir mayor variabilidad en la rotación.

Muestreo y análisis de suelo

En agosto de 2007 se tomaron muestras de suelo de las 40 parcelas del ensayo, cada una compuestas por 15 submuestras al azar a una profundidad de 12 cm. Se determinó

materia orgánica por el método de Walkley y Black.

Diseño experimental y análisis estadístico

El diseño experimental consistió en bloques completos aleatorizados con cinco repeticiones. La unidad experimental fue de 15 x 15 m.

Los datos se evaluaron mediante análisis de varianza. Cuando se observaron diferencias significativas, las medias de los tratamientos se compararon con el test de comparaciones múltiples SNK ($\alpha \leq 0,05$). Para el análisis de regresión, en las variables se usaron los valores promedios de los 5 bloques.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I Emergencia y desarrollo de plantas

En cebolla la componente principal de rendimiento; número de bulbos, esta directamente relacionada con el número de plantas, por ello es clave lograr un buen establecimiento del cultivo en sus primeras etapas del cultivo. En el Cuadro 3 se analiza el efecto de las diferentes rotaciones sobre el establecimiento de la cebolla y parámetros de crecimiento de las plantas, en los primeros meses.

MC presentó menor cantidad de plantas en la emergencia. Esta diferencia se atribuyó a problemas físicos del suelo, ya que no se pudo determinar la existencia de mortandad o plántulas enfermas. Iglesias *et al.* (2010) encontraron que la densidad aparente fue significativamente mayor en MC que en las rotaciones con pastura (Rg3, Aa3 y MA), con diferencias significativas en los primeros 10 cm de suelo. En general se observó un efecto positivo en el crecimiento de

Cuadro 3. Número de plantas en la emergencia, largo de hoja y materia seca en dos muestreos.

Tratamientos	Plantas a la emergencia	Muestreo 3-4 hojas (26-11-2007)		Muestreo 4-5 hojas (20-12-2007)	
	(pl m-2)	Largo hoja principal (cm)	Materia seca (g m-2)	Largo hoja principal (cm)	Materia seca (g m-2)
MC	72,8 c	9,13 c	9,43 c	22,65 d	56,33 b
Agr5	94,4 ab	16,37 a	42,33 ab	34,27 ab	173,43 a
Rg3	107,6 a	18,38 a	51,68 a	31,77 abc	182,75 a
Aa3	89,0 abc	12,80 b	19,5 bc	26,85 cd	90,33 ab
Aa5	94,0 ab	13,62 b	21,58 bc	29,30 abc	106,58 ab
MAV	82,8 bc	11,37 bc	17,08 c	27,33 cd	90,30 ab
AC	89,4 abc	12,67 b	23,68 bc	28,65 bcd	112,43 ab
MA	89,4 abc	18,38 a	40,83 ab	35,32 a	155,68 a

En cada columna, letras distintas indican diferencias significativas

las plantas debido al antecesor gramíneas ya sea raygras o agropiro que se verifica en los mayores niveles de materia seca obtenidos en Rg3, Ag5 y MA, en los dos muestreos de plantas realizados. Se sugirió que esto sería consecuencia de una mayor fertilidad física del suelo que permitió una pronta emergencia de las plántulas.

II. Incidencia de la PB (IF) (Ciclos 2001-02 y 2007-08)

En el Cuadro 4, se analizan los valores de IF obtenidos en los dos ciclos de coincidencia de cebolla en todos los tratamientos al final de cada etapa, con los dos tipos de muestreo de bulbos. Los tratamientos en este caso, se identificaron con un número del 1 al 8, ya que las secuencias de cultivos y pasturas pueden variar en las diferentes etapas.

El mayor nivel de IF en el muestreo B respecto del A, es resultado de la adición al primero de las determinaciones de los tres meses de poscosecha (abril, mayo y junio). Los promedios de todos los tratamientos en los dos tipos de muestreo son levemente menores en el ciclo 2007-08 que en el 2001-02, lo cual se atribuye a un «efecto año».

El incremento promedio de IF en los tres meses de poscosecha, con respecto al muestreo tipo A, fue relativamente bajo (1,6 y 2,9% en cada ciclo). La mayor proporción de bulbos con PB aparece inmediatamente después de la cosecha, en marzo y abril (información no presentada).

En E1 se observó que los tratamientos con 5 años de pasturas (Tratamientos 3 y 4) tuvieron menor IF que los tratamientos con cultivos de cebollas más frecuentes (Tratamientos 2, 5, 6 y 7), aunque las diferencias no fueron significativas.

En E2 todos los tratamientos con 5 o más años sin cebolla (Tratamientos 2, 5, 7 y 8) tuvieron significativamente menos IF. (Agamennoni *et al.*, 2008).

Para mantener baja IF sería suficiente con realizar secuencias de 5 o más años sin cebolla, como se evidencia en las rotaciones de E2: MA, Ag5), AC y Aa5; sin importar el cultivo o pastura a utilizar.

Los dos tipos de muestreo de bulbos (A y B) dan idéntica disposición de letras en el test de comparación múltiple (SNK al 5%) en las medias de E1 y similar en E2. Esta semejanza, confirma los resultados de IF estimados mediante dos muestreos diferentes y totalmente independientes.

Cuadro 4. Nivel de IF, de acuerdo a los tipos de muestreo de bulbos (Muestreo A y B) en el ciclo 2001-02 (E1) y en el ciclo 2007-08 (E2).

N°	Cultivos 1996-2000 Etapa 1	Cebolla Ciclo 2001-02		Cultivos 2002-2006 Etapa 2	Cebolla Ciclo 2007-08	
		Muestreo A	Muestreo B		Muestreo A	Muestreo B
1	5 años cebolla	29,1 a	32,21 a	5 años cebolla	15,44 a	25,44 a
2	3 años alfalfa+ cebadilla, 2 años cebolla	8,5 bc	11,49 bc	5 años agropiro	3,41 b	4,56 c
3	5 años alfalfa+ agropiro	6,5 bc	6,68 bc	2 años cebolla, 3 años raygras	10,2 a	14,08 b
4	5 años alfalfa+ cebadilla	7,2 bc	6,74 bc	2 años cebolla, 3 años alfalfa	12,4 a	15,4 b
5	1 año sorgo, 2 años cebolla,	13,4 b	16,37 b	5 años alfalfa	5,01 b	7,79 c
6	2 años cebolla , 3 años moha abono verde	10,2 bc	12,35 bc	2 años cebolla, 3 años moha abono verde	10,30 a	8,88 b
7	3 años girasol abono verde, 2 años cebolla	9,2 bc	10,22 bc	3 años trigo, 2 años girasol	4,3 b	6,48 c
8	Cebolla-girasol-trigo, 3 años alfalfa+ agropiro	4,9 c	5,75 c	Cebolla-girasol-trigo, 3 años alfalfa+ agropiro	2,95 b	4,67 c
En cada columna, letras distintas indican diferencias significativas.						
Promedios		11,13	12,73		7,99	10,91
Diferencia entre A y B		1.6			2.92	

III Monocultivo Cebolla e Incidencia de Fusarium (IF)

El tratamiento MC posibilitó el análisis de la evolución de la IF, con 15 años de monocultivo. El crecimiento de la IF en los primeros años de MC se consideró bajo (2,5 a 5,1% después de dos y tres años con cebolla respectivamente); en relación a la experiencia en situaciones similares de monocultivo, que manifiestan algunos productores en comunicaciones personales (15 a 20%). Se cree que esto es debido a la extracción de la cebolla remanente de las parcelas del ensayo después de los muestreos de bulbos, con el objetivo de reducir el aporte de organismos patógenos al suelo. A nivel de lote de producción, realizar el apilado o al menos el procesado de la cebolla afuera del lote reduciría el incremento de inóculo proveniente de bulbos enfermos.

En el transcurso de la primera etapa (1996-2001), se encontró una relación positiva entre la IF y la cantidad de años con monocultivo de cebolla ($y = -6,6 + 4,77 x$) ($R^2=0,91$) (Agamennoni, *et al.*, 2006). Sin embargo, en la segunda etapa (2002-2007), se observó una tendencia irregular descendente (Figura 1).

Actualmente, se están estudiando las causas de este comportamiento que se ha desarrollado a partir de la segunda etapa. Rodríguez-Kábana y Calvet (1994) en una revisión sobre este tema mencionan que el cultivo continuo de la misma planta (s) hospedadora causa un aumento paulatino en las poblaciones de sus microorganismos antagonistas y que si bien se puede pensar que el monocultivo es un método adecuado para inducir el fenómeno de supresión de patógenos en los suelos, no es por lo general un método económico ni consistente en sus resultados.

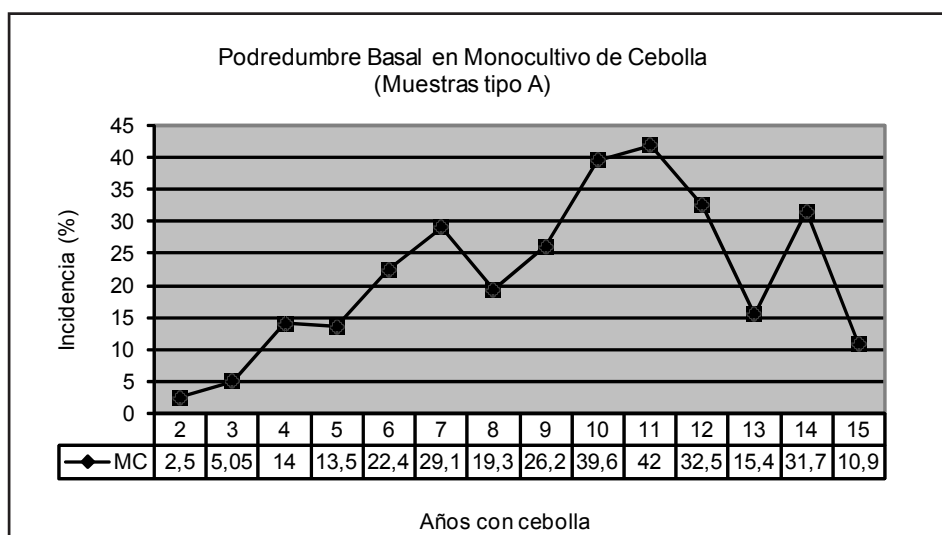


Figura 1. Evolución de IF en MC.

IV Rendimientos de bulbos comerciales y nivel de materia orgánica (MO) en el suelo

En el cuadro 5 se presentan los rendimientos de bulbos comerciales (RBC) junto con los contenidos de MO en la capa arable del suelo.

MC y MAV tienen los menores rendimientos de bulbos y más bajos contenidos de MO (Cuadro 5). En coincidencia, Galantini *et al.* (2010) encontraron diferencias significativas en la cantidad de carbono orgánico total (COT) y particulado (COP), asociadas a la

rotación; con los menores valores en MC y MAV, intermedios en las pasturas y el más alto en MA. En los tratamientos MC y MAV se tiene el mayor número de labranzas y de riegos; relacionado con la mayor frecuencia de cultivos de cebolla, comparado con los tratamientos de pasturas perennes. Cada año con cebolla significa por lo menos la realización de cinco labranzas «primarias» (información no presentada).

Por su rendimiento significativamente más alto se destacaron los tratamientos con antecesor agropiro (Ag5) y con agropiro y alfalfa (MA). En cambio los que vienen de

Cuadro 5. Rendimiento de bulbos comerciales y nivel de MO en el suelo.

Tratamientos	RBC (kg ha ⁻¹)	MO(g kg ⁻¹) (2)
1 MC	26878 d	11,2 c
2 Agr5	51279 a	17,7 ab
3 Rg3	39562 bc	16,2 b
4 Aa3	31816 cd	21,0 ab
5 Aa5	41683 b	21,4 ab
6 MAV	25990 d	10,1 c
7 AC	32436 cd	17,2 ab
8 MA	49072 a	22,9 a

En cada columna, letras distintas indican diferencias significativas.

alfalfa sola; tanto con 5 años, como con 3 y produjeron significativamente menos bulbos comerciales.

Iglesias *et al.* (2010) encontraron que los tratamientos con antecesor gramíneas tenían significativa mayor proporción, de macroporos grandes ($>30\mu\text{m}$), versus antecesor alfalfa y MC. Más macroporos grandes o poros de percolación rápida, se relacionan con mayor infiltración hídrica e intercambio gaseoso. En MA se detectó un incremento de esta porosidad, particularmente en los 10 cm superficiales, por efecto de la gramínea incluida en la pastura (agropiro). Las gramíneas al tener un sistema radicular con abundante número de raicillas, al descomponerse serían responsables de este tamaño de poro. Además determinaron un decrecimiento de la macroporosidad en MC y Aa3, que al inhibir el movimiento del aire y del agua, habría restringido el desarrollo radical y su crecimiento.

Sin embargo Rg3, a pesar de haber tenido mayor cantidad de plantas a la emergencia no logró desarrollar ese potencial (en la clasificación por calibres presentó elevada cantidad de bulbos 3 y 4, los de menor tamaño, información no presentada). Además, en bulbificación, Rg3 mostró una amarillamiento en las hojas que no se fue con la segunda fertilización nitrogenada efectuada unos días antes. Es decir que no solamente hay que lograr en la implantación un adecuado número de plantas que luego se transforman en bulbos; sino que también tiene que haber fertilidad química en el suelo, para que los mismos se desarrollen. Otro factor que

incidió negativamente en el relativamente bajo rendimiento de Rg3, fue el elevado nivel de IF, producto de que solo tuvo 3 años de carencia de cebolla.

V Ventajas del Manejo Ajustado (MA)

La secuencia de pastura mixta (alfalfa + gramínea)-cebolla-girasol-trigo-pastura, fue evaluada en las dos etapas; en ambos se comprobó que tal rotación presenta las siguientes ventajas:

- Muy buenos rendimientos en todos los componentes de la secuencia. La pastura rindió más de 30.000 kg ha^{-1} de materia seca en tres años; el girasol más de 4.500 kg ha^{-1} ; el trigo más de 5.500 kg ha^{-1} y la cebolla más de 45.000 kg ha^{-1} de bulbos comerciales (Cuadro 6).
- En MA se encontraron los niveles más elevados de COT y COP (Galantini *et al.*, 2010) y además mantiene en niveles óptimos la fertilidad física (Iglesias *et al.*, 2010), con respecto al resto de los tratamientos ensayados.
- Se estima que la diversidad de cultivos favorece el control de la enfermedad más importante de la cebolla (IF: 4,9% en 2001 y 2,9% en 2008) (Agamennoni *et al.*, 2006; 2008).
- Es económicamente conveniente, por los diferentes tipos de producciones y momentos de comercialización.

Cuadro 6. Rendimientos (kg ha^{-1}) en el Manejo Ajustado (MA).

	E1 (1996-2001)	E2 (2002-2007)
Cebolla (bulbos comerciales)	46.699	49.072
Girasol (grano 11% H)	4.810	4.590
Trigo (grano 11% H)	5.980	6.046
Pastura de agropiro+alfalfa (total de materia seca en 3 años)	32.982	33.861

H: humedad.

- Los tiempos operativos para la implantación y cosecha de los distintos componentes permiten un manejo flexible.
- Esta secuencia puede considerarse ecológica y económicamente sustentable por su productividad, diversidad y mantenimiento de la fertilidad y sanidad del suelo.

CONCLUSIONES

- Las rotaciones con pasturas perennes de alfalfa con agropiro y agropiro solo, tuvieron efectos positivos en las propiedades físicas y químicas del suelo; se incrementó la macro porosidad, hubo reducción de la densidad aparente y aumento del contenido de MO del suelo. Esta mejora en las condiciones de suelo incidió positivamente en el número de plantas emergidas, en el crecimiento y rendimiento de las mismas.
- El tiempo de 5 años sin cultivar cebolla fue determinante para reducir la IF. De allí que: MA en las etapas E1 y E2 y Agr5 y Aa5, en la E2 presentaron menor IF. No obstante, solo MA, en las dos etapas y Ag5 en E2, combinaron los mejores rendimientos y baja IF.
- El tratamiento MA tiene además óptimos rendimientos en los demás cultivos de la rotación; ingresos diversificados en distintas épocas del año y mejoramiento de la fertilidad físico-química del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

- AGAMENNONI R.; J. RIVAS; S. PRIOLLETTA Y H. KRÜGER.** 2006. Rotaciones para sistemas de producción con cebolla en el valle bonaerense del río Colorado. Boletín Técnico N° 15. ISSNA 0328-3321. EEA INTA H. Ascasubi. 16 p.
- AGAMENNONI R.; J. VANZOLINI; S. PRIOLLETTA; P. BAFFONI; V. CARACOTCHE Y O. REINOSO.** 2008. Efecto de las rotaciones con pasturas y cultivos agrícolas. I

Rendimiento de bulbos comerciales en la cebolla en el sur de Buenos Aires. XXXI Congreso Argentino de Horticultura Mar del Plata.

- AGAMENNONI R.; S. PRIOLLETTA; P. BAFFONI; J. VANZOLINI; V. CARACOTCHE Y O. REINOSO.** 2008. Efecto de las rotaciones con pasturas y cultivos agrícolas. II Incidencia de Podredumbre basal (*Fusarium oxysporum* f.sp. *cepae*) en la cebolla en el sur de Buenos Aires. XXXI Congreso Argentino de Horticultura Mar del Plata.

- CODAGNONE, R.** 1991. Carta detallada de Suelos de la EEA INTA Ascasubi, Prov. Bs.As. CIRN INTA Castelar.

- ENTWISTLE, A. R.** 1990. Root Diseases. En: Onions and Allied Crops. Rabinowitch and Brewster Editors. Volumell, 6:103-154.

- GALANTINI, J.; J. IGLESIAS; J. GASPARONI; L. SUÑER; R. AGAMENNONI Y J. VANZOLINI.** 2010. Efecto de diferentes rotaciones con cebolla en el valle bonaerense del río Colorado. II Propiedades Químicas del Suelo. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo- Rosario-Argentina.

- IGLESIAS J; J. GALANTINI; J. GASPARONI; R. AGAMENNONI Y J. VANZOLINI.** 2010. Efecto de diferentes rotaciones con cebolla en el valle bonaerense del río Colorado. I Propiedades Físicas del Suelo. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo- Rosario-Argentina.

- LUCANERA, G.; A. CASTELLANO Y A. BARBERO.** 2007. Banco de Datos socio-económico de la zona de CORFO Río Colorado. Estimación del Producto Bruto Agropecuario Regional. Departamento de Economía, Universidad Nacional del Sur.

- RODRÍGUEZ-KÁBANA, R. Y C. CALVET.** 1994. Capacidad del suelo para controlar enfermedades de origen edáfico. Fitopatol. Bras. 19: 129-138.

EVOLUCIÓN DEL RENDIMIENTO Y DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO EN DIFERENTES SECUENCIAS DE CULTIVOS EN PRODUCCIÓN HORTÍCOLA

Docampo R.¹, García C.,
Rabuffetti A.¹

RESUMEN

Desde el año de 1995 se evalúan sobre un brunosol subeútrico típico del sur del Uruguay, distintas secuencias de cultivos con el objetivo de evaluar la evolución del rendimiento de cebolla y de las propiedades del suelo. Se estudian secuencias de producción hortícola continua: cebolla continua con agregado de estiércol de gallina en el verano; cebolla - maíz dulce; cebolla - moha y cebolla - poroto. Se evalúan también secuencias de producción de cebolla alternada con pasturas (3 años cebolla - 3 años pastura): alfalfa - cebolla; pradera para pastoreo - cebolla; festuca - cebolla. Se evalúa la respuesta de cebolla al nitrógeno (0, 80 y 120 kg ha⁻¹). Se observó alta variación en los rendimientos de cebolla entre años, oscilando entre 10 y 50 t há⁻¹. Los rendimientos fueron siempre en promedio superiores en el sistema de alternancia con pasturas a los obtenidos en el sistema de agricultura continua exceptuando la secuencia de barbecho con agregado de estiércol que igualó y/o superó los de alternada con pasturas. En todos los casos existió respuesta hasta 80 kg de N ha⁻¹ verificándose aportes diferentes por parte del suelo en función de los distintos manejos/cultivos previos. El contenido de materia orgánica disminuyó 20 a 25 % en los sistemas de agricultura continua, 10 a 12 % en el sistema de barbecho más estiércol y prácticamente no disminuyó cuando hubo alternancia con pasturas. La disminución del contenido en materia orgánica del suelo afectó negativamente la condición física del mismo en términos de su estabilidad estructural.

Palabras clave: cebolla, materia orgánica, secuencia de cultivos

INTRODUCCIÓN

La mayor producción hortifrutícola del Uruguay se encuentra en la región centro-sur, abarcando mayormente el Departamento de Canelones, el área rural del Departamento de Montevideo y áreas próximas a éste del Departamento de San José.

Los suelos dominantes en la región son brunosoles y vertisoles, caracterizados por elevada fertilidad natural y al mismo tiempo diversas limitaciones físicas para los cultivos, en particular dificultades de oportunidad de laboreo. Predomina en los mismos la produc-

ción hortícola a campo, con muchos años de agricultura continua, excesivo laboreo y escaso o nulo aporte de nutrientes y de materia orgánica. En consecuencia, los suelos presentan reducción significativa de la fertilidad natural y productividad, y existen áreas considerables de suelos muy erosionados con escaso potencial del horizonte superficial e importante deterioro de sus propiedades físicas.

Por la escasa información de uso y manejo y la condición de los suelos, era imprescindible generar información cuantitativa sobre el efecto de distintas secuencia

¹INIA Las Brujas - Suelos y Riego.

de cultivos y/o pasturas en el nivel y estabilidad de los rendimientos de los principales rubros hortícolas realizados a campo así como en la conservación y productividad de los suelos. Es así que a mediados de la década de los noventa se planteó como objetivo principal de la investigación en manejo de suelos para cultivos hortícola a nivel de la Estación Experimental «Wilson Ferreira Aldunate» - INIA Las Brujas, evaluar en el largo plazo el efecto de distintas secuencias de cultivos y pasturas en el rendimiento, estabilidad y calidad de cultivos hortícolas; así como en la evolución de propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos asociadas con el mantenimiento y/o mejora de la productividad de los mismos.

En este trabajo se presenta el análisis de los resultados de 10 años de investigación sobre el efecto de las secuencias en los rendimientos de cebolla y en la evolución de las propiedades físicas y químicas del suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Estrategia metodológica

En el año 1995 se implantó un experimento de largo plazo en que se evalúan la producción a campo de dos hortalizas (cebolla y zanahoria) en sistemas que incluyen desde la producción continua (por lo menos un cultivo hortícola por año) hasta la producción de las hortalizas alternada con pasturas.

A la vez, se evalúa la respuesta del cultivo hortícola a la fertilización nitrogenada toda vez que el mismo entra en la rotación o sistema de cultivo.

Se evalúan dos sistemas:

Sistema I - Producción hortícola continua, con las variables:

- Tipo de cultivo intercalado y/o material orgánico incorporado al suelo: poroto (*Phaseolus vulgaris*), maíz dulce (*Zea mays*), moha (*Setaria itálica*) como abono verde, y barbecho con agregado anual de 10 t há⁻¹ de estiércol de gallina.
- Dosis de Nitrógeno aplicadas a cebolla o zanahoria: 0, 80 y 120 kg ha⁻¹.

Se aplican los mismos tratamientos a las mismas parcelas en años sucesivos, dispuestos en un diseño de parcelas divididas en bloques al azar con 3 repeticiones, siendo la parcela principal el cultivo intercalado y el barbecho, y las subparcelas las dosis de nitrógeno.

Sistema II - Producción hortícola alternada con pastura, con las variables:

- Tipo de pastura: alfalfa (*Medicago sativa*) para producción de heno, festuca (*Festuca arundinácea*) para producción de semilla y pradera convencional (trébol blanco (*Trifolium repens*), lotus (*Lotus corniculatus*) y festuca (*Festuca arundinácea*). Todas con 3 años de duración.
- Dosis de nitrógeno aplicada a cebolla o zanahoria: 0, 80 y 120 kg ha⁻¹ año⁻¹.

Los tratamientos se rotan entre las parcelas luego de cumplirse la secuencia propuestas (3 años de pastura – 3 años de cultivos). Están dispuestos también en diseño de parcelas divididas en bloques al azar con 3 repeticiones, siendo las pasturas la parcelas principal y las dosis de nitrógeno las subparcelas. Este experimento si inició simultáneamente con un ciclo de 3 años de cultivo seguidos de 3 años de pasturas y con otro ciclo de 3 años de pasturas seguidos de 3 años de cultivos.

Sitio experimental y manejo de los experimentos

Los experimentos ocupan un área de aproximadamente 1 hectárea de un suelo Argiudol típico fino (brunosol subeútrico típico (FAcL)), sin cultivos durante los 8 años previos a la instalación. En el cuadro 1 se presentan las principales características químicas y físicas al momento de la instalación.

El área de la subparcela es de 50 m² (5 x 10 m) y están separadas por caminos de 1 metro de ancho, en tanto las parcelas están separadas por caminos de 2 metros de ancho.

Cuadro 1. Propiedades del suelo al iniciarse los experimentos.

Profundidad cm	Textura	pH	Materia orgánica %	P (Bray I) $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	K intercambiable meq/100g
0 - 20	FAcL	5.9	3.5	9	0.90
20 - 40	AcL	6.3			

Cultivo de Cebolla

Se produce en sistema de tres canteros de 0.90 m de ancho por subparcela, con cuatro filas por cantero y 0.12 m de distancia entre plantas lo que representa una población de 200.000 plantas ha^{-1} . La implantación del cultivo se hizo por siembra directa desde 1995 al 2000 y por trasplante a partir del año 2001.

Del inicio del experimento hasta el año 2002 se evaluó la variedad de cebolla dulce «Granex 33», en tanto que desde el año 2003 se viene utilizando la variedad «Pantanosos del Sauce CRS». Las características principales de ambos materiales han sido detalladamente descritas por Vilaró *et al.* (2005).

El estiércol de ave se agrega en marzo-abril de cada año a razón de 10 t ha^{-1} en base húmeda, realizándose la caracterización química del mismo para determinar las cantidades de nutrientes aportados. Al momento de aplicarlo es incorporado en superficie mediante disquera.

Anualmente se aplica en todas las parcelas 100 kg ha^{-1} de superfosfato triple, excepto en la parcelas de la secuencia con incorporación de estiércol. Esto debido al aporte de fósforo que se realiza con el abono.

El aporte de nitrógeno al cultivo de cebolla se realiza anualmente bajo forma de urea en dos momentos, mitad de dosis pos trasplante y otra aplicación a los 30 días. En los cultivos intercalados del sistema I (poroto, maíz dulce y moha) se aplica una dosis única de 30 kg de N ha^{-1} bajo forma de urea a la siembra.

El cultivo de cebolla es regado con equipo de aspersión basado en la ecuación de Penman-Monteith de acuerdo a la evapotranspiración máxima de cultivo.

Cultivo de pasturas

En la secuencia de alfalfa se utiliza la variedad Estanzuela Chaná con una densidad de siembra de 10 kg ha^{-1} .

En la secuencia con festuca se utiliza la variedad INIA Tacuabé a razón de 16 kg ha^{-1} de semilla. La misma es pastoreada hasta diferenciación floral y se aplican 45 kg de N ha^{-1} bajo forma de urea en cobertura, inmediatamente después de retirado el pastoreo.

La pradera se implanta con una mezcla de 2 kg ha^{-1} de trébol blanco (INIA Zapicán), 8 kg ha^{-1} de festuca (INA Tacuabé) y 7 kg ha^{-1} de lotus (San Gabriel). La misma se maneja con pastoreo intensivo con el equivalente a 1000 ovejas por hectárea durante 3 o 4 días.

Análisis químicos de suelos y plantas

Se realizan las determinaciones de:

- pH en suspensión suelo-agua de relación 1:2.5.
- Carbono orgánico por el método de Walkley y Black.
- Fósforo por el método de Bray 1.
- Potasio intercambiable extracción con acetato de amonio pH=7 y emisión atómica.

Se realizan las determinaciones de:

- Nitrógeno por el método de Kjeldhal
- Fósforo por calcinación y colorimetría vanadomolibdato.
- Potasio, calcio, magnesio por calcinación y absorción atómica
- Boro por calcinación y colorimetría con curcumina.

Análisis de propiedades físicas de suelo

Los resultados que se presentan son parte de los trabajos de tesis de maestría del Ing. Agr. Adao Leonel Mello Corcini (2008).

Se realizaron cuatro colectas de suelo con distintas condiciones de manejo de suelo y cultivos: agosto de 2006 (luego de trasplante de cebolla), diciembre de 2006 (pre cosecha de cebolla), marzo de 2007 (en cultivos de verano el sistema I) y en julio de 2007 (luego de la preparación de los camellones para cebolla).

Se tomaron muestras de suelo con preservación de la estructura mediante pala de corte en la profundidad de 0-0.05 m para determinación de estabilidad estructural y carbono orgánico, y muestras en cilindros volumétricos de 0.0572 m de diámetro y 0.04 m de altura para determinación de porosidad total, macro y microporos, conductividad hidráulica saturada, conductividad al aire, curva característica de retención de agua y densidad.

La separación y estabilidad de agregados en agua fue realizado de acuerdo a la metodología de Kemper y Chepil (1965).

Análisis estadísticos

Se procesaron los datos de rendimiento comercial de bulbo, la producción total de materia seca y la acumulación de N y P por el cultivo en el momento de la cosecha. Para el sistema I los datos considerados abarcaron el período 1996-2007 con un total de 432 parcelas-año. Para el sistema II se consideraron los datos de rendimiento y acumulación de nutrientes por la cebolla correspondientes a 3 períodos (1998-2000, 2001-2003, y 2004-2006), cada uno de ellos posteriores a 3 años de pradera con un total de 216 parcelas-año.

En primer lugar, los datos anuales fueron analizados como experimentos en parcelas divididas con «cultivo anterior» como gran parcela y «dosis de N» como subparcela, en tanto que la información para el conjunto de años se analizó como experimento en parcelas subdivididas, incluyendo «años»

como subsubparcela. (Anderson y Bancroft, 1952; Pimentel Gomes, 1976).

En segundo lugar, y luego de una prueba de homogeneidad de varianza, se realizó un análisis de la producción de cebolla para los 7 años comunes a ambos sistemas (1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2004 y 2006). Se analizó: a) rendimiento de cebolla en función de los «años» y «cultivos anteriores» (poroto, maíz dulce, moha, barbecho + estiércol, alfalfa, festuca y pradera) promediado por sobre dosis de N, y b) rendimiento de cebolla en función de los «cultivos anteriores» y la «dosis de N» promediado por sobre años.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a condiciones climáticas adversas y problemas de manejo que afectaron la implantación, el crecimiento y por consiguiente el rendimiento final de los cultivos, se excluyeron del análisis estadístico los datos del año 2003 para el Sistema I y los del año 2005 para ambos Sistemas.

Evolución del Rendimiento de Cebolla

Hubo muy alta variabilidad de los rendimientos de cebolla entre años, con una producción máxima promedio de 34.2 t ha⁻¹ en el año 1999 y una mínima promedio de 12.2 t ha⁻¹ en el año 2001 (cuadro 2).

Los rendimientos extremos se dieron en el sistema I con un máximo de 47.1 t ha⁻¹ en el año 1999 en el tratamiento con estiércol y un mínimo de 9.1 t ha⁻¹ en el año 2001 cuando el cultivo precedente fue moha. Se destacan los rendimientos promedio de cebolla luego de las pasturas (particularmente alfalfa) y del tratamiento que recibió estiércol. Los resultados muestran claramente la variabilidad interanual de los rendimientos de cebolla con los períodos con precipitaciones abundantes, que por las características de los suelos en estudio, producen condiciones muy desfavorables para el desarrollo del cultivo. La información generada muestra el potencial de las pasturas y el adecuado manejo de la materia orgánica del suelo para minimizar esos efectos adversos del clima,

Cuadro 2. Rendimiento de cebolla en función de los cultivos previos de ambos sistemas para un total de 7 años.

AÑO	Cultivo anterior							Promedio Años
	Poroto	Maíz	Moha	Estiércol	Alfalfa	Festuca	Pradera	
1998	19.3	16.9	19.3	30.8	31.4	26.4	26.1	24.3
1999	34.7	31.1	22.6	47.1	36.2	34.9	32.5	34.2
2000	14.2	14.0	14.4	14.2	20.0	17.0	17.5	15.9
2001	14.9	9.6	9.1	12.5	15.0	11.1	13.4	12.2
2002	14.5	15.0	12.2	20.8	25.1	22.2	23.4	19.0
2004	21.9	18.1	19.9	29.8	25.0	22.5	26.1	23.3
2006	14.0	11.9	11.6	27.8	33.1	22.0	25.6	20.9
Promedio Cultivo anterior	19.1	16.7	15.6	26.1	26.6	22.3	23.5	21.4

y mejorar la estabilidad de la productividad de los sistemas intensivos de producción. Se induce también, la necesidad de la sistematización a nivel predial para el mejor manejo tanto de los excesos como de los déficits hídricos.

En todos los casos hubo respuestas significativas al agregado de N mineral (cuadro 3). La comparación de las medias para los niveles de fertilización ensayados muestra que las diferencias fueron siempre entre los tratamientos no fertilizados y los fertilizados por lo que se puede concluir que la respuesta al agregado de N se dio hasta 80 kg de N ha⁻¹.

No obstante la magnitud de la respuesta dentro de ese rango fue distinta según el cultivo previo tal como lo muestran los ren-

dimientos relativos que variaron de 60 % cuando el cultivo anterior fue moha a 87 % cuando la cebolla fue precedida por alfalfa o el agregado de estiércol (figura 1).

Evolución de las propiedades químicas y físicas del suelo

El cuadro 4 muestra los valores de pH, P asimilable y K intercambiable en la camada superficial del suelo (0-0.20 m), a 10 años de iniciado los experimentos, para los diferentes cultivos/manejos previos aplicados en el sistema I.

No se encontraron diferencias significativas en los valores de pH del suelo para los distintos manejos anteriores, ni tampoco

Cuadro 3. Respuesta de la cebolla a la fertilización nitrogenada para diferentes cultivos anteriores, promediados por sobre año

Dosis de N ha ⁻¹	Cultivo anterior						
	Poroto	Maíz	Moha	Estiércol	Alfalfa	Festuca	Pradera
	----- t ha ⁻¹ -----						
0	15.6 a	12.3 a	10.7 a	23.9 a	24.1a	19.5 a	21.0 a
80	20.2 b	17.9 b	17.5 b	27.8 b	28.2 b	23.8 b	24.1 b
120	21.6 b	19.7 b	17.7 b	27.2 b	27.9 b	23.7 b	25.2 b
DMS _{.05} entre 2 medias de N	3.26	2.81	3.22	2.28	1.98	1.96	2.32
Rendimiento Relativo*, %	77	65	60	87	87	82	85

$$\text{*Rendimiento relativo} = \frac{\text{Rendimiento parcelas sin N}}{\text{Rendimiento promedio parcelas con N}} \times 100$$

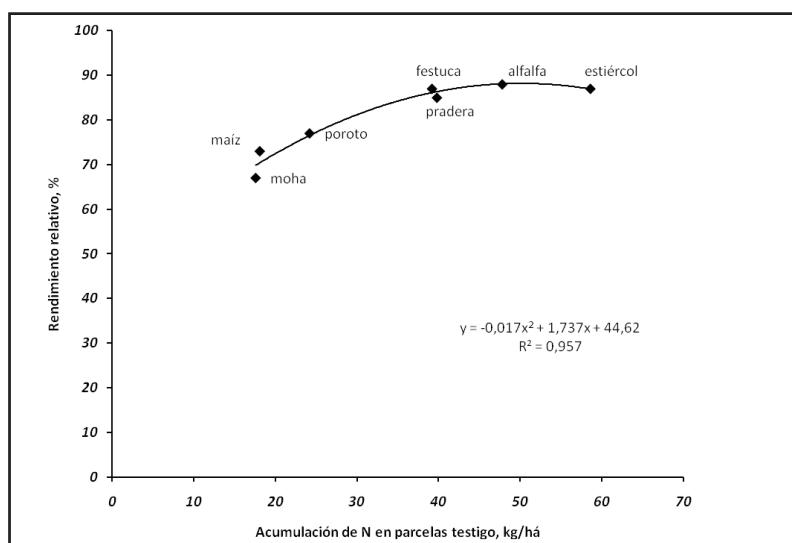


Figura 1. Rendimiento relativo de cebolla y acumulación de N.

Cuadro 4. pH, P asimilable y K intercambiable del suelo en la profundidad de 0-0.20 m en función de los diferentes cultivos previos en el sistema I.

Parámetro	Cultivo anterior			
	Poroto	Maíz dulce	Moha	Estiércol
pH	6.0	5.9	6.1	6.1
P ($\mu\text{g g}^{-1}$)	19 b	23 b	22 b	140 a
K ($\text{meq } 100 \text{ g}^{-1}$)	0.88 b	0.85 b	0.94 b	1.4 a

DMS 0.05 % para P : 46

DMS 0.05 % para K : 0.24

variaciones importantes del mismo respecto al pH inicial. Se detecta en cambio, un aumento significativo del contenido en P asimilable respecto al nivel inicial de 8-10 $\mu\text{g g}^{-1}$. El mismo se incrementó a valores de 20 $\mu\text{g g}^{-1}$ en los tratamientos con cultivo intercalado, que recibieron anualmente 100 kg ha^{-1} de superfosfato triple, y hasta valores superiores a 140 $\mu\text{g g}^{-1}$ en las parcelas que recibieron estiércol.

El aumento en los niveles de P asimilable como resultado de la aplicación alta y constante de estiércol de ave ha sido documentado en numerosos trabajos. Sharpley (1996) encontró aumentos de 100 a casi 400 $\mu\text{g g}^{-1}$ respecto a los testigos en un estudio de niveles de P disponible en los primeros 0.05 m del horizonte superficial de 13 suelos de Texas y Oklahoma, EE.UU., como

resultado del agregado anual y continuo de cama de pollo con dosis de 4.5 a 9 t ha^{-1} durante períodos variables de 12 a 35 años en cada suelo. Sims y Wolf (1994) resumieron los resultados de varios trabajos realizados en diferentes suelos en los que el agregado continuo de estiércol de ave o cama de pollo durante años aumentaba significativamente los niveles de P disponible.

Los altos niveles de P resultantes de la aplicación de estiércol, hacen necesario evaluar a nivel del suelo y de los cultivos la disponibilidad de otros nutrientes (por ejemplo Zn). Debido a la probabilidad de ocurrencia de lluvias intensas, también se hace necesario evaluar el posible impacto ambiental que estos altos contenidos de P pueden tener a través de la erosión y el escurrimiento de aguas.

Cuadro 5. Materia orgánica (MO) e índice de estabilidad estructural (IE) en la profundidad de 0-0.20 m en función de los diferentes cultivos previos en ambos sistemas.

Parámetro	Cultivo anterior						
	Poroto	Maíz dulce	Moha	Estiércol	Alfalfa	Festuca	Pradera
MO (%)	2.6 c	2.7 c	2.8 c	3.1 b	3.4 a	3.4 a	3.5 a
IE	0.20 f	0.24 e	0.28 d	0.38 c	0.53 b	0.53 b	0.59 a

El agregado de estiércol también resultó en aumentos importantes del nivel de K intercambiable del suelo que pasó de 0.85-0.95 a 1.4 meq 100 g⁻¹. En este sentido son escasos los trabajos publicados sobre el efecto del agregado de estiércol en el contenido de K del suelo. En Polonia, Mazur et al (1993) encontraron aumentos de 30 a 40 % en el contenido de K de un suelo podzólico luego de 9 años de agregado continuo de 20, 40 y 60 t ha⁻¹ de estiércol bovino en un experimento sobre rotaciones de cultivos hortícolas.

En el cuadro 5 se presentan los contenidos en materia orgánica (MO) y el índice de estabilidad estructural (IE) del suelo en el año 2007 (Mello Corcini, 2008) para los diferentes manejos previos en ambos sistemas.

Para el período analizado, el contenido de materia orgánica del suelo disminuyó 20 a 25 % en los sistemas de agricultura continua con cultivo intercalado, 10 a 12 % en el sistema de agricultura continua bajo barbecho más estiércol y prácticamente no disminuyó cuando hubo alternancia con pasturas. Los restos vegetales incorporados al suelo fueron en promedio de 1.7, 6.5 y 4.5 t ha⁻¹ año⁻¹ para poroto, maíz dulce y moha respectivamente, siendo insuficientes para mantener el nivel de materia orgánica del suelo. El mayor nivel de esta en las parcelas que recibieron estiércol se atribuye a la mayor cantidad de material orgánico agregado (7.2 t ha⁻¹ año⁻¹), mejor relación C/N del mismo, menor intensidad de laboreo y un menor tiempo de suelo desnudo al mantenerse en el período estival con vegetación espontánea. El mantenimiento del nivel de materia orgánica en los tratamientos que tuvieron pasturas puede explicarse por la permanencia sin laboreo del suelo durante 3 años, el

agregado de la materia orgánica de los sistemas radicales y el aporte de la biomasa depositada en la superficie del suelo durante ese tiempo.

La figura 2 muestra la alta correlación encontrada entre el tenor en materia orgánica del suelo y la estabilidad estructural de la capa arable lo cual no hace más que confirmar la importancia de la materia orgánica en el mantenimiento y/o mejora de la condición física del suelo.

Los trabajos de Mello Corcini (2008) determinaron que la macroporosidad en relación a la porosidad total y a la microporosidad fue la propiedad física más alterada con la preparación del suelo. Las parcelas con pasturas al finalizar el ciclo (tercer año) en promedio presentaban un 6 % de macroporos y luego de la preparación del suelo para iniciar el ciclo de cebolla, el porcentaje de macroporos superó el 20 %.

Los suelos con características vérticas naturalmente poseen un bajo porcentaje de macroporos en relación a los microporos. Cannel (1977) señala que para evitar la pérdida de productividad de los cultivos por déficit de aire, la macroporosidad debe ser como mínimo de 10%. En concordancia, Tormena *et al.* (1998), Silva (2003) y Fontanella (2008) indican que para un buen desarrollo de los cultivos de interés económico, la macroporosidad debe ser mayor de 10 %.

La porosidad total y su distribución son de especial relevancia a considerar en la generación de información de alternativas de reducción del laboreo en los sistemas de producción intensivos, para la mejora y sostenibilidad de la productividad preservando el recurso suelo.

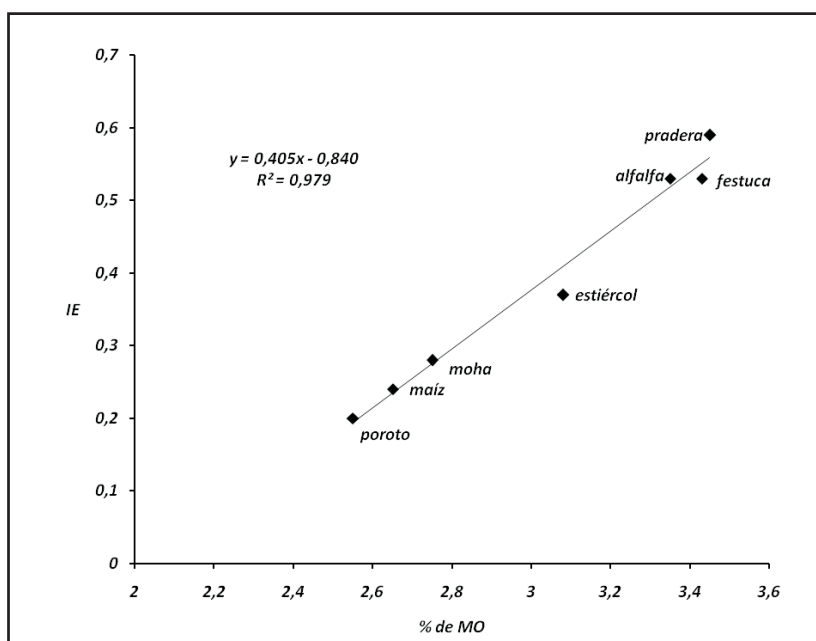


Figura 2. Relación entre materia orgánica del suelo e índice de estabilidad estructural

CONCLUSIONES

- Hubo muy alta variación entre años en los niveles de producción de cebolla en los 2 sistemas de cultivo, con rendimientos comerciales que oscilaron de apenas 10 a casi 50 ton ha⁻¹. En los años de bajo rendimiento hubo períodos de lluvias excesivas que afectaron la implantación, el crecimiento y el desarrollo del cultivo. La variabilidad climática del país es un factor imprescindible a considerar en el diseño e implementación de sistemas sostenibles de producción intensiva.
- Los rendimientos del cultivo fueron siempre promedialmente superiores en el sistema de alternancia con pasturas que en el sistema de producción anual continua con cultivo intercalado, exceptuando la producción anual continua bajo barbecho con agregado de estiércol de ave que igualó y en varios años incluso superó a los rendimientos de cebolla luego de pasturas.
- No se encontraron grandes diferencias entre los rendimientos de cebolla luego de los distintos tipos de pasturas aunque los mismos fueron algo superiores luego de alfalfa.
- La respuesta del rendimiento al agregado de nitrógeno mineral se dio hasta 80 kg de N ha⁻¹, aunque se verificaron diferencias en el aporte de N por parte del suelo en función de los distintos manejos/cultivos previos.
- El estiércol de ave es una fuente importante de aporte de nutrientes al suelo, en particular el fósforo. La aplicación de 10 t ha⁻¹ año⁻¹ de estiércol de gallina llevó los niveles de fósforo a 140 µg g⁻¹, es imprescindible considerar el posible impacto ambiental por un uso y manejo inadecuados. En el contexto de agricultura sostenible una meta esencial es la eficiencia en el uso de los nutrientes (EUN).
- En el período de tiempo analizado, el contenido inicial de materia orgánica del suelo disminuyó 20- 25 % en los sistemas de agricultura continua con cultivo intercalado, 10-12 % en el sistema de agricultura continua bajo barbecho con estiércol y prácticamente no disminuyó cuando hubo alternancia con pasturas.

- La disminución del contenido en materia orgánica del suelo afectó negativamente la condición física del mismo en términos de su estabilidad estructural.
- En de relevancia considerar las características del suelo para definir las mejores alternativas de laboreo y manejo del mismo; así como la sistematización y rotación de cultivos en el sistema de producción predial.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, R.L.; BANCROFT T.A.** 1952. Statistical theory in research pp. 338-357. Mc Graw Hill Co. Inc. USA.
- CANNEL, R. Q.** 1977. Soil aeration and compaction in relation to root growth and management. Applied Biology, v. 2, p. 1-86.
- FONTANELLA, E.** 2008 Parâmetros físico-hídricos de um latossolo sob diferentes sistemas de manejo e níveis de tráfego.. 78 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- KEMPER, W.D. AND W.S. CHEPIL.** 1965. Size distribution of aggregates. En: «Methods of soil analysis. Physical and mineralogical properties, Part I. pp 499-510. C.A. Black et al. eds, American Society of Agronomy, USA.
- MAZUR, K., J. FILIPAK, AND B. MAZUR.** 1993. The long term fertilization and rotation experiment with vegetable crops in Skierniewice. Effect of organic and mineral on nutrients and heavy metals content. Pp 183-199. En: Proceedings of the International Symposium «Long-term fertilizer experiments», Poland.
- MELLO CORCINI, A. L.** 2008. Variacão temporal da qualidade estrutural e materia orgânica do solo em sistemas de cultivo da cebola no Uruguai. Dissertacao de Mestrado, Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.
- PIMENTEL GOMES, F.** 1976. Curso de Estadística Experimental. pp 125-146. Ed. Hemisferio Sur.
- SILVA, A. J. N.** 2003 Alterações físicas e químicas de um Argissolo Amarelo coeso sob diferentes sistemas de manejo com cana-de-açúcar.. 120 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SIMS, J.T.; D.C. WOLF.** 1994. Poultry waste management: Agricultural and environmental issues. Adv. in Agron. 52:1-83.
- SNEDECOR, G.W.; W.G. COCHRAN.** 1965. Statistical Methods. pp 291-338 Iowa State University Press.
- TORMENA, C. A.; SILVA, A. P.; LIBARDI, P.L.** 1998 Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v 22, n 4, p. 573-581, out./dez.
- VILARÓ, F., E. VICENTE, G. PEREYRA; RODRÍGUEZ, G.** 2005. Cultivares y mejoramiento genético en cebolla. En: «Tecnología para la producción de cebolla», pp 31-42. J. Arbolea, ed. Boletín de Divulgación N° 88, INIA Las Brujas.

MANEJO SUSTENTABLE DE SUELOS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN HORTÍCOLA DEL SUR DEL URUGUAY

García de Souza M.^A,
Alliaume F.^B

Proyectos EULACIAS¹-FPTA² 160, 209 (2005-2010)

Proyectos Prenader³ (1995 – 2001)

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ESTADO DEL RECURSO SUELO EN CUADROS DE CULTIVO BAJO USO HORTÍCOLA

Desde la Facultad de Agronomía, se ha estudiado el recurso suelo en los sistemas de producción hortícola en el Sur del Uruguay, a través de la intervención y seguimiento de predios hortícolas, con estudiantes en pasantías y talleres en la enseñanza universitaria, con proyectos de investigación Proyecto Prenader³ (1995 – 2001), FPTA² 160 y 209 (2005 – 2010) (Doglioti *et al.*, 2010), Proyecto EULACIAS¹ (2007 – 2010), con proyectos de tesis de grado y posgrado. Este acercamiento permitió realizar la caracterización de los suelos y tener una percepción del estado actual en que se encuentra ese recurso, así como manejar alternativas para su recuperación.

Los suelos predominantes en la zona sur del Uruguay son Vertisoles Rúpticos Lúvicos/Típicos y Brunosoles Eutrícos Típicos/Lúvicos de las Unidades Tala Rodríguez y San Jacinto, desarrollados a partir de sedimentos limo arcillosos de Formación Libertad, con influencia de Raigón en el primer caso y de cretáceo en el segundo; y Brunosoles Eutrícos/Subéutrícos Típicos/Lúvicos de la Unidad Toledo, desarrollados

a partir de sedimentos limo arcillosos de Libertad con influencia de Basamento, Fray Bentos y Raigón; y de la Unidad Ecilda Paullier – Las Brujas, desarrollados a partir de sedimentos limo arcillosos y areno arcillosos de removilizaciones de las Formaciones Libertad y Fray Bentos, (MGAP, 1994). Los suelos, del Orden Melánico, son originalmente de fertilidad natural alta, con elevada Capacidad de Intercambio Catiónico y niveles altos de saturación en bases, con presencia de un horizonte B de acumulación de arcilla.

Estos suelos manifiestan un avanzado estado de degradación física y química, con una reducción de profundidad de horizonte superficial y una disminución significativa del contenido de materia orgánica. Presentan una alta tendencia a la formación de costra superficial después de lluvias intensas. Esta situación se agrava cuando el suelo permanece descubierto durante la mayor parte del año, provocando que las gotas de lluvia degraden la estructura del suelo, facilitando el transporte de partículas de arena, limo y arcilla y su deposición en las partes más bajas del terreno: erosión laminar y formación de surcos y cárcavas. La pérdida de materia orgánica, conlleva también a la pérdida del reservorio orgánico de nitrógeno, fósforo y otros nutrientes y al empobrecimiento de

^ADpto. Producción Vegetal. Facultad de Agronomía (UDELAR).

^BDpto. Suelos y Aguas. Facultad de Agronomía (UDELAR).

¹ EULACIAS: European – Latin American Co-Innovation of Agricultural eco-Systems. EU FP6 INCO DEV Specific Targeted Project. 2007 – 2010

² FPTA 209. Fondo Promoción Tecnología Agropecuaria. Diseño, implementación y evaluación de sistemas de producción intensivos sostenibles en la Zona Sur del Uruguay. 2007- 2010

³ Prenader -

bases por lixiviación. Existe además un proceso de degradación subsuperficial: la compactación por laboreo que provoca una reducción significativa en la capacidad de retener el agua, una reducción importante en la infiltración, aumentando más los riesgos de erosión.

PROCESO DE DEGRADACIÓN DE SUELOS

El proceso de degradación antrópica de los suelos es consecuencia de la intervención con laboreo, que produce: disminución del contenido de materia orgánica, por mayor aireación y exposición del suelo, acelerando su oxidación, y pérdidas por erosión, consecuencia de una mala sistematización del terreno. La característica predominante de la intervención es la disminución e incluso ausencia de aportes de restos orgánicos al suelo.

La materia orgánica es uno de los componentes del suelo que junto con la arcilla, estabilizan la estructura física del suelo. Por tanto su disminución produce pérdida de estabilidad de agregados, lo que provoca una fácil desagregación ante cualquier perturbación: impacto de la gota de lluvia, de maquinaria, entre otros. Los efectos posteriores se relacionan con la pérdida de porosidad en profundidad, compactación del suelo, encostramiento superficial, y una menor capacidad de reserva de agua disponible en el perfil. Esta situación provoca mayor arrastre superficial de los excesos de agua que no infiltran, provocando erosión. Esta situación es común de presenciarse en los predios hortícolas: síntomas de encostramiento superficial, compactación, arrastres superficiales, disminución de profundidad de horizonte superficial, entre otros.

Este deterioro de las características físicas, químicas y biológicas de los suelos con uso agrícola intensivo, amenaza la sustentabilidad de los sistemas de producción hortícola en el largo plazo. La degradación y erosión moderada y severa, como consecuencia de un manejo no conservacionista del suelo, y mala sistematización de los desagües en los cuadros de plantación, conlle-

van a una pérdida de productividad de esos suelos. En el corto plazo, estos efectos se compensan con un alto nivel de intervención con maquinaria y un alto uso de fertilizantes químicos, evidenciada en el parque de maquinaria existente en aquellos predios con mayor intensidad de uso del suelo. En algunos sistemas, el encarecimiento de la producción contribuye incluso al abandono de la tierra.

CARACTERIZACIÓN DEL ESTADO DEL RECURSO SUELO EN CUADROS DE CULTIVO COMPARADO CON SU IMPERTURBADO, PROYECTOS EULACIAS – FPTA 160 Y 209 (2005-2010)

Carbono Orgánico del Suelo (COS)

En 16 predios hortícolas se analizaron los contenidos de COS de los cuadros de cultivo, comparados con sitios de referencia por tipo de suelo (debajo de alambrados contiguos). El muestreo se realizó en el inicio de la intervención de los proyectos de rediseño (EULACIAS y FPTAs), en los años 2005 y 2007. Las determinaciones se realizaron por oxidación con $K_2Cr_2O_7$ 0.1 N en H_2SO_4 concentrado durante 1 hora a $150^\circ C$ (Nelson y Sommers, 1996) y determinación colorimétrica (600 nm). La concentración de COS ($g\ kg^{-1}$) en los primeros 20 cm de suelo al inicio del proyecto según su uso (cuadros cultivados y sus sitios de referencia) y tipo de suelo fue analizada mediante un modelo lineal mixto usando el método de máxima verosimilitud restringida (REML) donde los efectos fijos fueron suelo, uso y suelo uso. Para la separación de medias se calculó la diferencia mínima significativa (DMS). Se compararon por pares, las medias de los tratamientos (combinación de los niveles del factor suelo con los niveles del factor uso) mediante la prueba t de Student, considerando el desbalance en el número de repeticiones.

Los niveles de COS al comienzo del proyecto fueron menores en los cuadros cultivados que en sus respectivos sitios de referencia descriptos para todos los tipos de suelo estudiados (Cuadro 1). En los cuadros cultivados se verificaron pérdidas de COS entre 33 y 44% respecto a los sitios de referencia. Los Vertisoles rúpticos presentan valores de COS más altos que los Brunosoles tanto en la situación imperturbada como en los cuadros cultivados, reafirmando que las texturas arcillosas estabilizan el Carbono en el suelo.

Estabilidad estructural de los suelos

Se comparó la estabilidad estructural entre cuadros cultivados y sus respectivos sitios de referencia. El indicador utilizado fue el diámetro medio geométrico (DMG) con tamizado en húmedo (Kemper and Chepil, 1965). Se analizó mediante la prueba t de Student para muestras apareadas (Cuadro 2).

Mayores DMG se asocian a mejor estabilidad estructural, siendo los valores más altos para el sitio de referencia (2,76 mm)

que para los cuadros productivos (2,36 mm en el 2008 y 2.34 mm en el 2009). En promedio, los DMG fueron 14% menores en los pares perturbados respecto a los imperturbados.

Estos resultados evidencian un deterioro importante de la calidad del suelo en los sistemas de producción hortícola, cuando se comparan los cuadros laboreados y sus pares imperturbados.

ENSAYOS DE RESPUESTA DE CULTIVOS HORTÍCOLAS A LA INCORPORACIÓN DE ABONOS ORGÁNICOS

Durante muchos años y en proyectos de investigación, se trabajó en la Facultad de Agronomía, en ensayos de respuesta de cultivos hortícolas, a la incorporación de diferentes abonos orgánicos. Los materiales y cantidades incorporadas en los diferentes tratamientos durante el Proyecto Prenader Facultad de Agronomía – CRS (1995 – 2001) se muestran en el Cuadro 3.

Cuadro 1. Contenido promedio de COS (g kg⁻¹) a los 20 cm de profundidad según tipo de suelo y uso anterior.

Uso de la tierra	Vertisoles rúpticos	Brunosoles éútricos/ subéútricos típicos	Brunosoles subútricos lúvicos	Promedios	Número de obs.
Sitios de Referencia (alambrados)	Ac, FrAcL ¹ 24,84	Ac, AcL 21,34	FrL, Fr 20,01	22,07 a	23
Cuadros productivos	16,51	14,71	11,31	14,18 b	66
Promedios	20,68 a	18,03 b	15,66 b		
Número de obs.	45	25	19		89

Cuadro 2. Diferencia de los DMG entre cuadros imperturbados y cultivados en predios bajo estudio, medido en año 2008 y 2009.

Muestras	N	Promedio de las diferencias de DMG (mm)	Intervalo de 95% de confianza de la diferencia de medias	Error estándar	Prob t
Imp – Cultivado '08	18	0,40	0,14 – 0,66	0,33	< 0,001
Imp – Cultivado '09	59	0,42	0,12 – 0,68	0,07	< 0,001

Cuadro 3. Materiales incorporados en cuadros dentro de la rotación hortícola CRS.

Especie	Abono verde invierno		Abono verde verano		Estiércol	
	1997 Trigo	1999 Avena- Vicia	1998 Maíz-Caupí	2000 Maíz-Caupí	1997 Est, parrillero	1999 Est, parrillero
Siembra	Abril	Marzo	Nov. '97	Nov '99	Octubre	Octubre
Incorporación	Octubre	Octubre	Marzo	Febrero	Octubre	Octubre
M,F, (t/ha)	27,7	34,4	53,2	63,2	33,4	31,1
M,S, (t/ha)	7,5	8,0	15,8	12,9	22,8	21,3
N (%)	1,8	1,9	0,38	1,3	1,96	2,87

En las siguientes figuras se muestran los rendimientos comerciales de cultivos hortícolas de la rotación en estudio (cebolla, zanahoria y morrón), alternando con abonos verdes de invierno (avenas) y de verano (maíz y caupi) y estiércol (cama de pollo) aplicado para el cultivo de morrón. La cebolla evalúa la residualidad del estiércol y del abono verde de invierno, y la incorporación reciente del abono verde de verano.

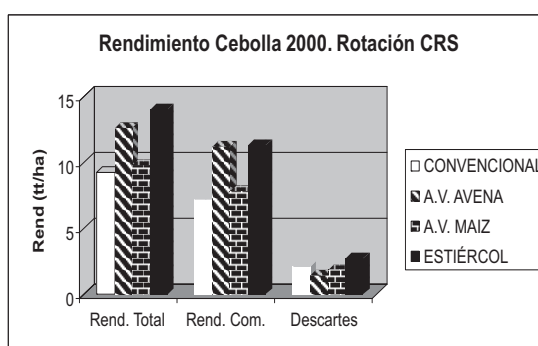
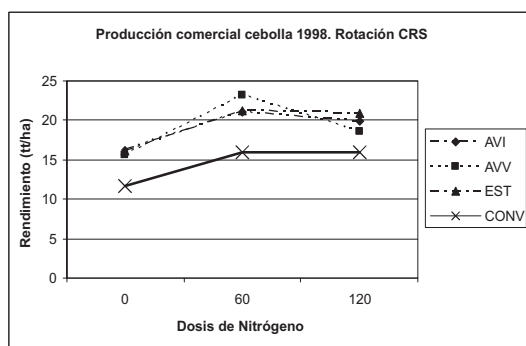
En el año 1998, se obtuvieron mayores rendimientos en los tratamientos con incorporación de abonos orgánicos (avena y maíz como abonos verdes, estiércol al cultivo anterior, y convencional sin el agregado de ningún material orgánico) y con el agregado de 60 kg de N/ha. Del análisis estadístico de la interacción manejo de suelo y dosis de nitrógeno, resultó que los manejos con incorporación de materia orgánica mostraron mayores rendimientos totales y comerciales ($P=0,02$) que el tratamiento convencional en las parcelas con 60 unidades de N/ha. Sin fertilización nitrogenada el tratamiento convencional muestra diferencias ($P=0,12$) con los manejos de incorporación orgánica;

Los rendimientos de cebolla obtenidos en el año 2000 son sensiblemente menores que los obtenidos en los años anteriores, Causas vinculadas al clima y a la preparación del suelo explican en parte estos resultados. Del análisis estadístico se observan diferencias significativas entre los tratamientos estiércol y avena respecto al abono verde de verano y el convencional, En particular el maíz como abono verde sufrió los impactos de una mala preparación ya que las condiciones de alta pluviosidad dificultaron su incorporación y su posterior descomposición

En la Figura 2 se muestra la respuesta del cultivo de morrón en las diferentes parcelas de abonos orgánicos: incorporación de estiércol y avena para el cultivo anterior.

Los resultados de los rendimientos morrón del año 2000 muestran una tendencia a ser mayores en las parcelas con incorporación de estiércol y avena.

En la rotación en estudio, la zanahoria continúa luego de la cebolla, por tanto evalúa la residualidad del aporte del estiércol un año y medio antes para el cultivo de morrón, y de la incorporación del abono verde de

**Figura 1.** Efecto de la interacción manejo de suelos y dosis de N sobre la producción de cebolla 1998 y 2000.

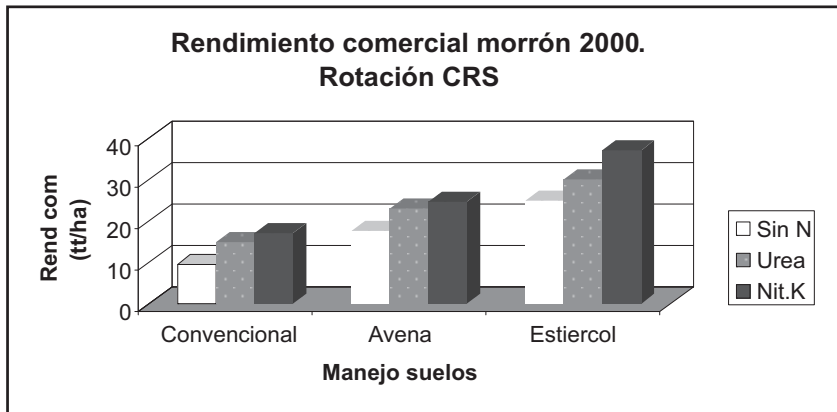


Figura 2. Respuesta del cultivo de morrón (2000) Rendimiento comercial en ton/há a los diferentes manejos de suelo

verano, un año antes (Figura 3). La zanahoria aprovechó la residualidad del estiércol, logrando mejores rendimientos en estas parcelas, comparadas con las de barbecho y abono verde. Se comportó bien como segundo cultivo de esta rotación luego de incorporar abono orgánico.

En el año 2001, el cultivo de zanahoria de la rotación del ensayo Prenader, no manifestó diferencias significativas en rendimiento comercial de zanahoria entre los manejos de suelo, con un valor promedio general de los manejos de 20,83 t/ha. El laboreo del suelo y el encanterado se realizaron en mejores condiciones climáticas, permitiendo una mejor preparación de los canchales para la siembra.

Los rendimientos obtenidos sobre suelos provenientes de una pradera de alfalfa incor-

porada dos años antes, mostraron rendimientos comerciales superiores, alcanzando un promedio del ensayo de 28,5 t/ha, no encontrándose diferencias significativas entre las dosis experimentadas (0, 40, 80, 120, 150 y 200 kg de N/ha).

En el año 1991/1992, se realizaron dos ensayos de manejos de suelo con incorporación de abonos orgánicos (40 t/ha de estiércol con cama de cáscara de arroz, avena incorporada como abono verde, y testigo un barbecho) y su respuesta en un cultivo de zanahoria, en dos suelos: un brunosol y un vertisol (Figura 4), (García de Souza, 1993).

Los resultados mostraron que el brunosol mostró diferencias significativas en respuesta al manejo de suelos comparado con el vertisol. Se encontraron respuestas en rendimiento y calidad de la zanahoria muy sig-

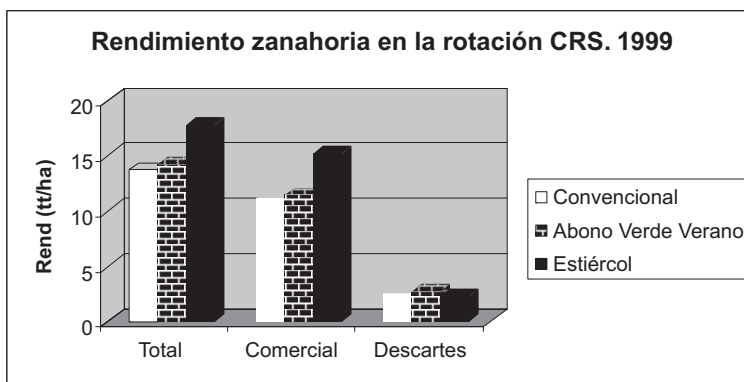


Figura 3. Rendimiento comercial (ton/há) del cultivo de zanahoria (1999) en a los diferentes manejos de suelo.

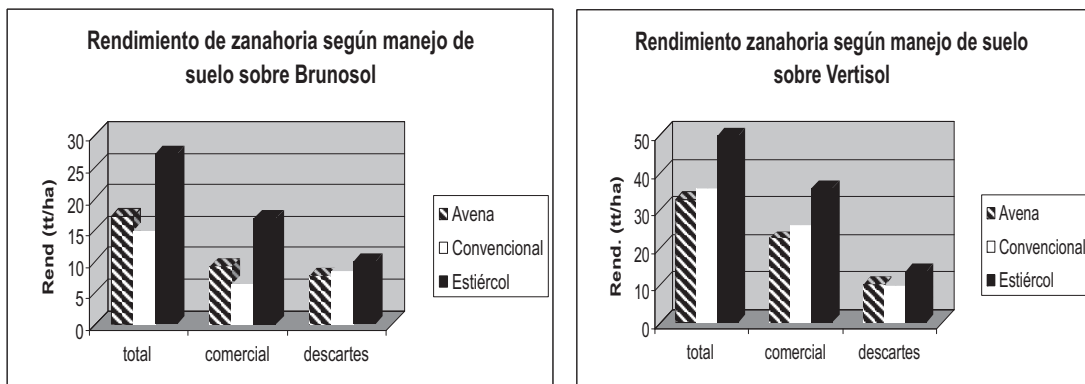


Figura 4. Rendimiento comercial (t/ha) del cultivo de zanahoria (1992) en a los diferentes manejos de suelo.

nificativas entre los diferentes manejos de suelo, registrándose las mayores respuestas del cultivo en los tratamientos de incorporación de estiércol; en los tratamientos con avena las respuestas fueron intermedias y los menores rendimientos detectados fueron en los barbechos.

El Vertisol manifestó un mayor potencial productivo que el brunisol (50 y 30 t/ha respectivamente), registrándose diferencias menores entre manejos de suelo; se registraron diferencias significativas entre el estiércol y la avena. Esta última mostró resultados más bajos que el barbecho, probablemente debido al consumo del nitrógeno disponible en el suelo durante el crecimiento de la avena.

La respuesta de los rendimientos y calidad de zanahoria en el brunisol, está indicando una mayor respuesta al agregado de materiales orgánicos, que al agregado de fuentes minerales de nitrógeno. Esto está demostrando que los potenciales productivos para este cultivo de raíz, no se alcanzan solamente con dosis elevadas de nutrientes.

En ensayos posteriores (Reyes y Malán, 1997) trabajando con incorporación de una pradera de alfalfa de 4 años, se verificó un mayor rendimiento comercial en las parcelas de alfalfa (30 t/há), las parcelas que venían del barbecho y las de incorporación de estiércol tuvieron rendimientos similares (22 t/ha) (Figura 5). No se registraron respues-

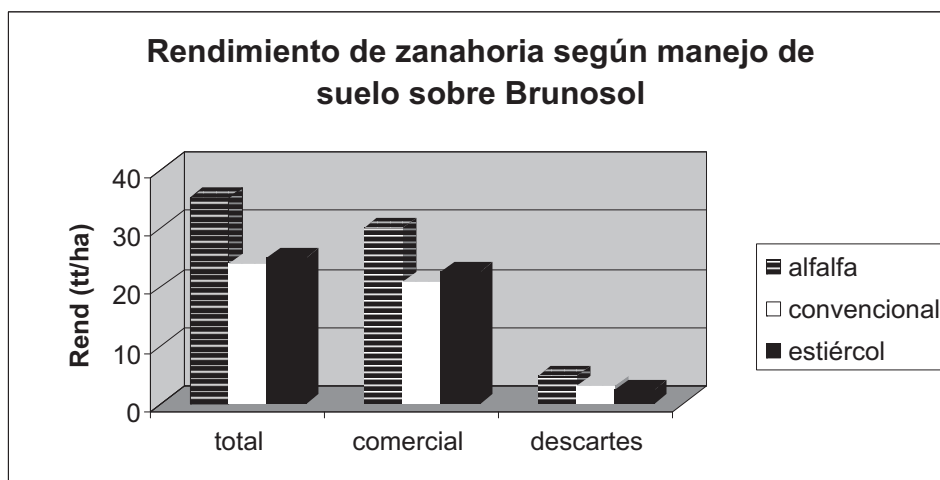


Figura 5. Rendimiento comercial (ton/há) del cultivo de zanahoria (Reyes, Malán, 1997) en los diferentes manejos de suelo.

tas significativas a las dosis de N (urea) aplicadas a cada manejo, indicando un elevado aporte del suelo y de los materiales incorporados. En las parcelas de estiércol y alfalfa se verificaron mayores descartes por deformes, y en las de barbecho por chicas. Otros trabajos publicados por Peñalva y Calegari, 1999, muestran que el girasol utilizado como abono verde fue el que presentó mayor efecto sobre la producción de zanañoria, con un aumento del 13 % comparado con el testigo.

Los trabajos presentados muestran respuestas significativas al agregado de abonos orgánicos. La incorporación de estiércol de cama de pollo muestra los mayores incrementos en rendimiento en todos los cultivos hortícolas evaluados. Los abonos verdes varían su comportamiento dependiendo de las condiciones de incorporación y el laboreo posterior para la implantación del cultivo comercial. El efecto positivo de la pradera en la calidad del suelo, se visualiza en el incremento de los rendimientos de los cultivos posteriores.

IMPACTO DE LOS ABONOS ORGÁNICOS EN LA CALIDAD DEL SUELO

Dentro del proyecto Prenader (1995-2001), se monitorearon algunos parámetros de suelo. En las siguientes figuras se muestra la

evolución del contenido de materia orgánica, fósforo y potasio en el suelo, en función de los aportes de abonos orgánicos realizados.

Evolución del Contenido de Materia Orgánica

El contenido de Materia Orgánica en el suelo tuvo un incremento significativo en todos los tratamientos, pasando de valores promedio de 2,47 a 3,60. (Figura 6).

El valor inicial de materia orgánica en el suelo era de 2,8 %, valor registrado en el campo natural, antes de la intervención en el marco del proyecto, año 1994. Cuando ese suelo comenzó a ser laboreado, se verificó un descenso en todos los tratamientos, con una tendencia a ser más acentuada en las parcelas de convencional, definido como las parcelas sin ningún aporte externo de abono orgánico y las parcelas con abono verde de verano hasta el año 1996; posteriormente la tendencia se revierte, y los valores de materia orgánica comienzan a subir en todas las parcelas, encontrando los valores más altos sobre estiércol y abono verde de invierno. El manejo con estiércol tuvo los valores más altos de M.O a partir del año 1997, siendo diferente significativamente al resto de los manejos. Las parcelas con manejo convencional también aumentaron, aunque menos, probablemente debida al aporte de restos como malezas, registrado en un año, como 1200 kg MS/ha.

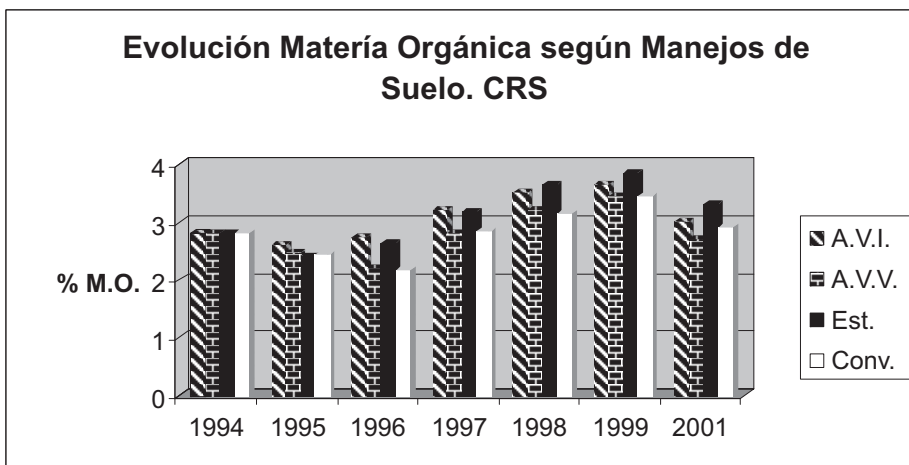


Figura 6. Evolución del contenido de materia orgánica con diferentes tratamientos del suelo

Evolución del contenido de P y K en el suelo

El P inicial del suelo era de 6 y 8 ppm. Se agregó P para los cultivos y abonos verdes, logrando aumentar los niveles de P soluble en el suelo (Figura 7). Las parcelas manejadas con incorporaciones de estiércol mostraron valores de P significativamente más altos que el resto de los manejos. Se observa en estas parcelas un incremento en los tenores de P en los años que se realizan las incorporaciones de estiércol. En los restantes manejos no se observaron diferencias significativas, si bien se observa una tendencia, desde el año 1997 en adelante, a ser mayor en las parcelas de abonos verdes comparadas con el convencional.

La evolución del contenido de K, en todos los manejos, muestra una evolución similar a la Materia Orgánica, con una disminución de los tenores hasta 1996 y posteriormente se incrementa (Figura 7). En los dos últimos años las parcelas de estiércol mostraron contenidos significativamente mayores, sin diferencias entre los restantes manejos.

Dentro de los proyectos de investigación Eulacias y FPTA se realizó el monitoreo anual del suelo, en función de las alternativas tecnológicas propuestas en la rotación en cada predio. Las propuestas tecnológicas comprendieron la incorporación de abonos verdes: 50% de los casos, avenas (promedio 6996 kg MS ha⁻¹); 30 % trigo (6959 kg MS ha⁻¹ promedio); 13 % moha (6660 kg MS ha⁻¹ promedio); 6 % sudangrass (6800 kg MS há⁻¹ promedio); y 3 % mezclas incluyendo maíz. Las

incorporaciones de estiércoles fueron 89 % cama de pollo (8303 Kg MS ha⁻¹ promedio), y 11 % de gallina (4401 Kg MS há⁻¹ promedio). Además se consideraron los restos de cultivos de tomate y boniato (1377 kg MS há⁻¹ promedio). Los tiempos considerados necesarios para la descomposición de los abonos verdes, una vez incorporados, fueron entre 1 a 2 meses (Del Pino *et al.*, 2004, Ernst *et al.*, 2002).

En el marco de estos proyectos uno de los indicadores monitoreados para evaluar el impacto de las técnicas propuestas en el manejo de los predios fue el Carbono Orgánico del Suelo.

Cambios en el Carbono Orgánico del Suelo

Se ajustó una ecuación para estimar el Δ COS en función de aportes de restos orgánicos y del nivel inicial de Carbono en el suelo, a través de un modelo de regresión lineal múltiple.

$$\Delta\text{COS (Mg ha}^{-1}\text{)} = 1.31 + 0,000536 * \text{kg/ha MS AV anual} + 0,00027 * \text{kg/ha MS CP anual} - 0.1616 * \text{COS inicial (Mg/ha)} + 0,848 * \text{N}^{\circ} \text{ de años}$$

[1].

La regresión entre los valores del Δ COS observados y los estimados mediante la ecuación del modelo de regresión lineal múltiple, tuvieron un ajuste del r^2 de 0.6689.

Los límites de validez de la ecuación ajustada están dados por:

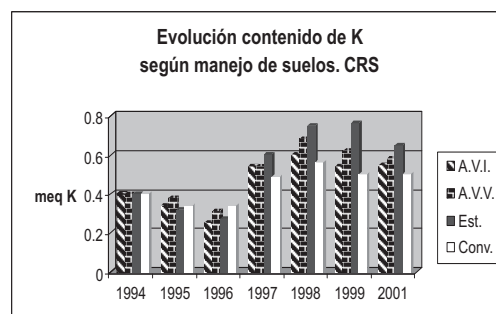
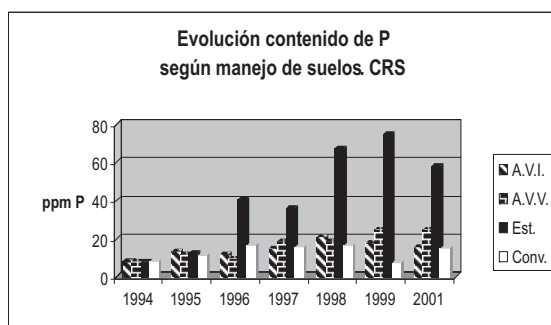


Figura 7. Evolución del contenido de fósforo y potasio con diferentes tratamientos del suelo

- intervalo máximo temporal de 6 años
- rango de texturas de suelo: desde franco arcillosas a franco limosas en el horizonte A
- rango de COS inicial (mínimo: 12.87 y máximo: 47.25 Mg ha⁻¹)
- aportes máximos anuales de MS como abono verde (19047 kg ha⁻¹ y como estiércol 13317 kg ha⁻¹)
- aportes máximos de MS total combinando ambos aportes: 27.000 kg ha⁻¹

Esta ecuación empírica se utilizó para estimar la cantidad de materia seca de abonos verdes y/o de estiércol necesaria de aplicar al suelo en forma anual para mantener constante el contenido de COS del horizonte superficial y para estimar el ΔCOS con diferentes aportes, en función del Carbono inicial del suelo (Cuadro 4).

De acuerdo a los resultados presentados en el cuadro 4, el diseño de rotaciones de cultivos hortícolas incluyendo la realización de un abono verde anual e incorporaciones de estiércol promedio, permitirían mejorar el contenido de COS de los suelos más degradados bajo horticultura en el Sur de Uruguay. Sin embargo parece difícil llegar a la cantidad de materia seca por hectárea y por año, necesaria para mantener los suelos con contenidos de materia orgánica más elevados en los predios hortícolas de esta zona. Para esto es necesario investigar el efecto en este

parámetro de la incorporación de otras tecnologías como la introducción de pasturas o alfalfa a la rotación, que reduce la cantidad de laboreos; así como el uso de tecnologías de laboreo mínimo o reducido.

La ecuación de regresión lineal múltiple ajustada en este trabajo representa una herramienta sencilla y útil para un técnico asesor para poder evaluar rápidamente el impacto que puede tener sobre el suelo, un determinado plan productivo de mediano plazo sobre el COS de un sistema hortícola, dentro de los límites para los que fue ajustada.

IMPLEMENTACIÓN DE TÉCNICAS DE RECUPERACIÓN DE SUELO EN LOS PREDIOS, PROYECTOS EULACIAS Y FPTAs (160 Y 209): 2005 – 2010

A pesar de existir conocimiento nacional e internacional sobre el efecto positivo del agregado de abonos orgánicos en la calidad del suelo y experiencias de respuesta significativa de cultivos hortícolas al agregado de abonos orgánicos, estas técnicas no fueron adoptadas por los productores del sur hortícola del Uruguay en forma masiva, especialmente el uso de abonos verdes. Problemas vinculados a la necesidad de planificar con anticipación el uso del suelo y prever las actividades a realizar constituyen las principales limitantes por las cuales no se adop-

Cuadro 4. Estimación del ΔCOS con diferentes aportes en situaciones de máximo y mínimo COS inicial, utilizando la ecuación [1].

		MS ¹ abono verde kg ha ⁻¹ año ⁻¹	MS ¹ Estiércol kg ha ⁻¹ año ⁻¹	COS inicial Mg ha ⁻¹	años	Δ COS Mg ha ⁻¹
suelos con máximo valor de COS encontrado en cuadros cultivados	sin aportes	0	0	47,25	1	-5,48
	aportes para Δ COS = 0	7000	6400	47,25	1	0,00
	valores promedio de abonos verdes y estiércol	3947,8	3198	47,25	1	-2,50
		3947,8	0	47,25	1	-3,36
suelos con mínimo valor de COS en cuadros cultivados	sin aportes	0	0	12,87	1	0,08
	valores promedio de abonos verdes y estiércol	3947,8	3198	12,87	1	3,06
		3947,8	0	12,87	1	2,19
	0	3198	12,87	1	0,94	

taron. La incorporación de estiércol de cama de pollo ha sido la técnica más difundida en el manejo de algunos predios del sur, en tanto existe disponibilidad y respuesta rápida en los cultivos hortícolas implantados. El manejo de suelos con abonos verdes o praderas implica una planificación anticipada del uso del suelo y el diseño de rotaciones entre cultivos con períodos intercultivos de descanso o de aporte de restos orgánicos.

Los proyectos FPTAs y EULACIAS (2005 – 2010) constituyeron proyectos de investigación que pretendieron contribuir a mejorar la sostenibilidad de los predios hortícolas y hortícola-ganaderos del sur del país. Se entendió que los problemas de sostenibilidad de los sistemas prediales, no se solucionan con ajustes puntuales en algún aspecto del sistema, sino que requieren de re-diseños acordados del mismo en su totalidad. En todos los predios estudiados los problemas estuvieron vinculados a que se planta más de lo que se puede atender bien, con momentos críticos dónde todos los productores deben elegir a que atender primero y lo que queda para el final se pierde o se perjudica mucho. Estas situaciones se traducen en bajas de rendimiento, trabajo desaprovechado y gastos innecesarios. La propuesta de trabajo fue promover cambios más sostenibles a nivel de los sistemas de producción y para ello es necesario un cambio en las prácticas de las personas que actúan en cada sistema.

La propuesta metodológica de intervención en estos proyectos tuvo como base conceptual el concepto de Co-innovación: comprendiendo 3 dominios del conocimiento: enfoque de sistemas complejos, evaluación y monitoreo permanente y el aprendizaje social. Para ello se establecieron las siguientes etapas en el proceso de trabajo en los predios.

Etapas del proceso de trabajo:

- Diagnóstico de los sistemas de producción: análisis y juicio, en consulta y acuerdos con las familias
- Diseño de rotaciones, según uso del suelo: en consulta y acuerdos con la familia
- Incorporación de técnicas de recuperación de suelos en las rotaciones:

- Sistematización de los cuadros de plantación
- Incorporación de Estiércoles
- Incorporación de Abonos verdes en períodos intercultivos
- Introducción de Praderas en la rotación
 - Evaluación y rediseño: en consulta, acuerdos y propuestas de modificaciones

La metodología de trabajo utilizada en estos proyectos permitió adoptar el conocimiento disponible en las dinámicas de funcionamiento de los predios, logrando efectos importantes en las respuestas de los cultivos y en el Ingreso Familiar de los predios.

En la mayoría de los predios, junto con los productores, se logró diseñar planes de cultivos para 2 y 3 años hacia adelante, en los cuales se incluyeron abonos verdes, abono de pollo, rotación de cultivos, solarización de canteros, así como mejoras en la sistematización del predio. Estos planes propuestos y consensuados se concretaron en su mayoría.

BIBLIOGRAFÍA

- CALEGARI, A.; PEÑALVA, M.** 1994. Abonos verdes, importancia agroecológica y especies con potencial de uso en el Uruguay. Canelones, MGAP (JUNAGRA) GTZ. 151p.
- DEL PINO, A MORI, C.; REPETTO, C.** 2004. Patrones de descomposición de rastrojos de trigo, maíz y girasol a diferentes niveles de N. IN: XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Cambio en el uso de la tierra: educación y sustentabilidad. 22 al 24 de junio 2004. Paraná, Entre Ríos. AACCS. CD ROM.
- DOGLIOTTI, SANTIAGO, C. ABEDALA, V. AGUERRE, A. ALBÍN, F. ALLIAUME, J. ALVAREZ, G. F. BACIGALUPE, M. BARRETO, M. CHIAPPE, J. CORRAL, J. P. DIESTE, M. C. GARCÍA DE SOUZA, S. GUERRA, C. LEONI, I. MALÁN, V. MANCASSOLA, A. PEDEMONTTE, S. PELUFFO, C. POMBO, G. SALVO, M. SCARLATO.** 2010. Diseño, implementación y evaluación de

sistemas de producción intensivos sostenibles en la Zona Sur del Uruguay. Proyecto FPTA 209. INFORME FINAL. Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. 180p.

- DOGLIOTTI, S., GONZÁLEZ, L., PELUFFO, S., ALDABE, L.** 2006. Diseño, implementación y evaluación de sistemas de producción hortícolas sustentables. En: Validación de alternativas tecnológicas para la producción hortícola sostenible en la región sur. INIA - Serie Actividades de Difusión n° 468, pp 1-8.
- DURÁN, A.; GARCÍA PRÉCHAC, F.** 2007. Suelos del Uruguay. Volumen II. Ed. Hemisferio Sur. Montevideo. 358 p.
- ERNST, O.; BENTANCUR, O; BORGES, R.** 2002. Descomposición de rastrojo de cultivos en siembra sin laboreo: trigo, maíz, soja y trigo después de maíz. Agrociencia. Vol. VI N° 1 pág. 20-26.
- GARCÍA DE SOUZA, M.** 1993. Manejo de adubação orgânica e doses de nitrogênio na cultura de cenoura (*Daucus carota* L.) em solos da zona sul do Uruguai, Tesis de Maestría, Ciências do Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil.
- GARCÍA DE SOUZA, M.; REYES, C.** 2000. Manejo de suelos en Horticultura, sitio Juanicó. Estudio de sistemas productivos hortícolas teniendo como base el manejo de suelos. Informe de avances; IN: Seminario Investigación Aplicada, Prenader, INIA- Las Brujas.
- García, M.; Reyes, C.** 2001. Resumen: Estudio de la respuesta de una sucesión de cultivos hortícolas a diferentes abonos orgánicos, IN: VIII Congreso Nacional de Horticultura, 7 al 10 de noviembre del 2001, Salto, Uruguay.
- KEMPER W.D.; CHEPIL W.S.** 1965. Size distribution of aggregates. In: Methods of soil Analysis -part 1 (Ed C Black) pp. 495-509 (ASA: Madisson, Wisconsin).
- MGAP.** 1994. Compendio Actualizado de Información de Suelos del Uruguay (CAISU) de la División Suelos y Aguas, RENARE.
- MGAP.** 1976. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Tomo I. Clasificación de Suelos. 96 p.
- MALÁN, R.; REYES, C.** 1997. Efecto de diferentes manejos de suelo en el rendimiento de un cultivo de zanahoria y en las propiedades químicas y físicas del suelo. Tesis Facultad de Agronomía.
- NELSON, D.W.; L.E. SOMMERS.** 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed., A.L. Page *et al.*, Ed. Agronomy. 9:961-1010. Am. Soc. of Agron., Inc. Madison, WI.

Impreso en Editorial Hemisferio Sur S.R.L.
Buenos Aires 335
Montevideo - Uruguay

Depósito Legal 353.106/10