



IPNI
INTERNATIONAL
PLANT NUTRITION
INSTITUTE

INSTITUTO INTERNACIONAL
DE NUTRICIÓN DE PLANTAS





WWW.IPNI.NET

PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR



DICIEMBRE
2009

CONTENIDO

-  NUTRICION DE FRUTALES DE CLIMA
TEMPLADO
-  FERTILIZACIÓN DEL TABACO EN LA
PROVINCIA DE TUCUMÁN
-  MANEJO DEL AGUA EN CULTIVOS PARA
GRANO CONDOCIDOS EN SECANO
-  EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES EN LA
AGRICULTURA ARGENTINA

PRODUCCIÓN Y MANEJO NUTRICIONAL DE FRUTALES DE CLIMA TEMPLADO

Enrique E. Sánchez y Mariela Curetti

INTA Alto Valle, Casilla de Correo 782, 8332 General Roca, Argentina

esanchez@correo.inta.gov.ar

Introducción

Las especies frutales caducifolias están confinadas principalmente a latitudes medias, entre 30° y 50°, especialmente en el Hemisferio Norte, siendo China el país productor más importante. La producción puede extenderse a latitudes más bajas a grandes altitudes o a latitudes más altas en regiones donde las masas de agua tienen una influencia moderadora (Westwood, 1978). Comercialmente, este grupo de frutales son cultivados en regiones áridas y semiáridas con riego suplementario. Los programas de fertilización para mantener producciones elevadas y sustentables de fruta de alta calidad son confeccionados utilizando las herramientas tradicionales de diagnóstico: análisis de suelo y hoja además de la información del huerto. La mayor parte de la producción mundial se cosecha en el hemisferio norte. En la Tabla 1 se presentan las diez frutas más comunes (FAOSTAT, 2006). El principal cultivo en el mundo es la vid, con más de siete millones de hectáreas de fruta cosechada. España es el país líder con 1.200.000 hectáreas. Entre las frutas de pepita, manzanas y peras ocupan las dos primeras posiciones, siendo China el principal país productor con casi la mitad del total del área cosechada en todo el mundo. Ciruelas, duraznos y pelones son las principales frutas de carozo y China es el principal país de producción.

Almendras y nueces son las principales especies de fruto seco, con España y China como principales productores. Cabe destacar que una gran parte de estas tierras poseen árboles de bajo rendimiento que crecen sin riego complementario. En conjunto, China es el país más importante con respecto al área de especies frutales caducifolias en producción. El nitrógeno (N) es el nutriente más limitante y los fertilizantes nitrogenados son aplicados anualmente,



Peral en espaldera en el Alto Valle de Rio Negro

Director: Dr. Fernando O. García

INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE PLANTAS
PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR

Av. Santa Fe 910

(B1641ABO) Acassuso – Argentina

Tel/Fax (54) (011) 4798-9939

E-mail: fgarcia@ipni.net

Sitio Web: www.ipni.net/lasc

Propietario: International Plant Nutrition
Institute (IPNI)

ISSN 1666 - 7115

No. de Registro de Propiedad Intelectual: 782346

Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se cite la fuente y el autor.

Diseño: www.agroeditorial.com.ar - amatthiess@amatthiess.com.ar
Impresión: Grancharoff Impresores



Contenido:

Producción y Manejo Nutricional de Frutales de Clima Templado	1
Estudios para la fertilización del tabaco tipo Burley en la Provincia de Tucumán	8
Bases ecofisiológicas para el manejo del agua en cultivos para grano conducidos en secano	16
Extracción de Nutrientes en la Agricultura Argentina	21
XIX Conferencia Internacional de ISTRO 19th International Soil and Tillage Research Conference	26
Publicaciones y Congresos	27

usualmente en cantidades que exceden los requerimientos de los cultivos. La preocupación por la contaminación del agua subterránea y por la calidad de la fruta ha dirigido la atención en mejorar la eficiencia en la absorción de N mediante el monitoreo del riego y la sincronización de la aplicación de fertilizantes con los períodos de máxima absorción de nutrientes del árbol.

El riego por inundación es la técnica de irrigación más difundida en los países donde hay mucha disponibilidad de agua. Por otra parte, en huertos comerciales modernos la fertirrigación está ampliamente utilizada y los nutrientes son entregados con bases temporales, siendo esta técnica costosa.

La producción orgánica de frutas es cada vez más importante en varios países y la nutrición del árbol es mantenida mediante buenas prácticas de manejo de suelo y la adición de fertilizantes orgánicos y enmiendas.

Es importante educar a los productores en prácticas de manejo sustentables; los fertilizantes deben ser aplicados racionalmente para proteger el medio ambiente y la salud de los consumidores.

Manejo nutricional de los árboles frutales

Herramientas de diagnóstico: Los análisis de suelo son valiosos para estimar la disponibilidad de nutrientes, pero los análisis foliares son ampliamente utilizados por ser las hojas los principales centros de síntesis de la planta. Una tercera y muy importante herramienta es el monitoreo del huerto en diferentes estados fenológicos (floración, fruto cuajado, crecimiento de brotes, cosecha) y la toma de información valiosa del desarrollo de los árboles. Estos tres enfoques deben ser utilizados como una metodología integrada para un programa de fertilización eficiente y sustentable. En 1936, Macy presentó el concepto de concentración crítica de nutrientes en materia seca de hoja, estableciendo que es necesaria una mínima concentración de determinados elementos en hoja para producir una buena cosecha (Macy, 1936). En 1948, Ulrich (1948) definió como nivel crítico de nutrientes al rango de concentraciones por debajo del cual el crecimiento de la planta es restringido en comparación con plantas de nivel nutricional mayor.

Tabla 1. Área mundial cosechada y área cosechada en los principales países productores para el año 2006. Entre paréntesis se indica el número de países en los que estos datos fueron informados. Fuente FAO/STAT.

Fruta	Área Mundial Cosechada (ha)	Principal País Productor	Área cosechada (ha)	Porcentaje del total (%)
Uvas	7.251.000 (81)	España	1.200.000	16.5
Manzanas	4.735.000 (87)	China	1.900.000	40.1
Ciruelas	2.143.000 (81)	China	1.554.000	72.5
Almendras	1.748.000 (41)	España	635.000	36.3
Peras	1.716.000 (89)	China	1.188.000	69.2
Duraznos y nectarines	1.433.000 (71)	China	653.000	45.5
Nueces	661.000 (47)	China	188.000	28.4
Damascos	459.000 (60)	Turquía	61.500	13.4
Cerezas	347.000 (64)	Iran	33.000	9.5

El autor demostró que plantas con concentraciones muy diferentes de nutrientes proporcionan rendimientos similares, siempre y cuando estas concentraciones estén por encima del nivel crítico.

Entre 1940 y 1960, se establecieron los estándares de nutrientes foliares óptimos y los métodos de muestreo para la mayoría de los cultivos frutales (Kenworthy, 1950). Sin embargo, los análisis de tejidos deben interpretarse con cautela ya que es esencial comprender la dinámica de nutrientes en el árbol para interpretar adecuadamente los niveles nutricionales. Las concentraciones elementales pueden ser engañosas si no se las analiza en contexto; esto es especialmente cierto en el caso del N, porque los valores en hoja varían a lo largo de un rango relativamente estrecho. Un diez por ciento de diferencia (2.0 a 2.2%) es suficiente para cambiar radicalmente nuestra interpretación (Righetti, 1986). Desafortunadamente, estos pequeños cambios en la concentración de nutrientes no necesariamente corresponden a alteraciones de las cantidades totales de N en un tejido, ni pueden ser interpretados como cambios en la absorción del nutriente desde el suelo (Jarrell y Beverly, 1981).

La fertilización sin restricción en combinación con el riego pueden generar un crecimiento vigoroso de los árboles, requiriendo podas intensas, las cuales promueven aún más el crecimiento. Frecuentemente, los árboles con crecimiento excesivo son diagnosticados como deficientes en N debido a que se produce una dilución por debajo de la concentración normal establecida en las hojas. En los casos de escaso crecimiento, los nutrientes se encuentran a menudo concentrados y las deficiencias pueden no ser evidentes. Dado que el vigor se relaciona con el cultivo y otros factores del manejo, el crecimiento y la carga del cultivo suelen afectar la interpretación de los análisis de tejidos. Desde una perspectiva práctica, las concentraciones de nutrientes pueden ser interpretadas si se tiene en cuenta el crecimiento y el vigor. La partición de la materia seca entre hojas y frutos también puede afectar drásticamente la composición de los elementos (Smith, 1962; Hansen, 1980).

La definición de las concentraciones críticas de los árboles frutales requirió de datos de campo de muchos años sobre una serie de huertos con diferentes tipos de suelo, tamaño de árbol, densidad, sistemas de conducción y variedades. En la Tabla 2 se muestra un resumen de los niveles críticos de nutrientes en hojas de las principales especies frutales caducifolias (Sánchez, 1999).

Tal como se muestra en la Tabla 2, todos los nutrientes presentan valores similares entre las especies, excepto el N y el potasio (K). Esto es especialmente cierto para los micronutrientes y una explicación posible es que la función principal de los elementos menores está relacionada con las enzimas de los procesos fisiológicos clave, los cuales son comunes para todas las plantas.

En lugar del rango crítico de nutrientes, se ha desarrollado el concepto del balance de nutrientes para árboles frutales. Varios informes recientes describen el uso del *Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación* (DRIS, de sus siglas en inglés) (Beaufils, 1971). La principal ventaja del DRIS es que proporciona una medida del desequilibrio nutricional en lugar de evaluar una deficiencia o exceso puntual en un momento dado. DRIS también puede minimizar los efectos de una dilución o concentración general debidos a la materia seca y factores de la edad y evalúa mejor las posibles interacciones nutricionales (Summer, 1977). A pesar de su utilidad, este sistema no puede detectar todas las deficiencias o excesos en los cultivos frutales (Alkoshab et al., 1988; Righetti et al., 1988). Por tanto, DRIS es considerado como un complemento para diagnosticar el rango de suficiencia, ya que proporciona información adicional cuando se detectan desequilibrios severos (Righetti et al., 1988). El análisis de tejidos debe verse como una herramienta útil más que un medio para hacer diagnósticos rígidos. Respuestas a la pregunta "cuánto fertilizante debe aplicar el productor" son a menudo más filosóficas que científicas.

Ciclo de nutrientes y balance nutricional del huerto

La comprensión del movimiento de nutrientes en el sistema suelo-planta es esencial para determinar las dosis y los momentos de aplicación de fertilizantes. Resultan rele-



Cerezo en el Alto Valle de Rio Negro

Tabla 2. Concentraciones críticas de nutrientes en hojas¹ de varias especies frutales caducifolias (para muestras de julio-agosto²). Los valores de macronutrientes están expresados en % mientras que los micronutrientes se expresan en mg kg⁻¹ de materia seca, respectivamente.

Especie	N	P	K	Ca	Mg	Mn	B	Zn	Cu
Manzano	2.0-2.4	0.13-0.45	1.2-2.0	1.1-2.5	0.24-0.50	30-100	30-65	20-60	5-15
Almendro	2.2-2.7	0.10-0.30	> 1.4	> 2.0	> 0.25	30-60	30-60	> 18	4-20
Cerezo	2.2-2.6	0.16-0.50	> 1.4	1.1-2.5	0.24-0.60	40-100	30-70	20-60	4-20
Duraznero	2.6-3.0	0.10-0.30	> 1.2	> 1.0	> 0.25	> 20	30-60	> 18	> 4.0
Peral	2.2-2.5	0.13-0.50	1.2-2.0	1.1-2.5	0.24-0.50	30-100	30-60	18-60	5-15
Ciruelo	2.3-2.8	0.19-0.40	1.3-3.0	1.1-3.0	0.24-0.60	30-150	30-70	20-60	5-20
Nogal	2.2-3.2	0.10-0.30	> 1.2	> 1.0	> 0.30	> 20	35-100	> 18	4-20

¹Los niveles corresponden a hojas del medio de los brotes para manzanos, cerezos, durazneros, perales y ciruelos; hojas de dardos sin fructificar para almendros y foliolos terminales para nogales.

²Meses correspondientes al hemisferio norte; son equivalentes a los meses de enero y febrero del hemisferio sur.

vantes para este fin la información sobre la tasa de lixiviación del suelo y la tasa de mineralización de la materia orgánica.

Los primeros estudios sobre extracción de nutrientes tomaban en cuenta la exportación debido a la cosecha y el crecimiento anual de los componentes del árbol. Por lo tanto, un enfoque simple fue reponer la cantidad requerida por el árbol. Estudios con metodología destructiva que implicaba la excavación de los árboles en varios momentos del ciclo del cultivo proporcionaron información útil acerca de la demanda en diferentes partes de la planta e identificaban los períodos de alta absorción de nutrientes (Weinbaum et al., 2001; Acuña-Maldonado et al., 2003). Estos estudios son interesantes porque son el punto de partida para la fertirrigación correcta en cada etapa de crecimiento de los árboles. En todo momento, la cantidad de nutrientes en los diferentes componentes del árbol proviene de tres fuentes: la absorción del suelo, la absorción de los fertilizantes y la contribución del almacenamiento de reservas.

Las reservas del árbol frutal proceden de dos fuentes principales: la absorción de nutrientes por raíces y hojas (cuando se aplican fertilizantes foliares de nutrientes móviles en floema) y el reciclaje dentro del árbol. Los árboles frutales caducifolios tienen un sistema único de reciclaje de nutrientes previo a la caída de las hojas y las cantidades de nutrientes que se movilizan a los tejidos de almacenamiento son elevados. El nutriente más estudiado ha sido el N dada su elevada demanda y gran movilidad en la planta durante la senescencia (Weinbaum et al., 1984; Millard y Thomsom, 1989; Sánchez et al., 1991).

El tejido de la hoja es un importante reservorio de nutrientes móviles. Al final de la temporada, cuando las temperaturas comienzan a descender, los nutrientes móviles vuelven a los tejidos de almacenamiento para ser utilizados en el crecimiento de la siguiente temporada. De hecho, la brotación a principios de la primavera se produce a expensas de los nutrientes almacenados ya que, por lo general, los nuevos nutrientes absorbidos son translocados a la parte aérea de los árboles recién después del cuajado de los frutos (Sánchez et al., 1991; Tagliavini et al., 1998). Los estudios sugieren que en la primavera, la absorción de nutrientes por la raíz no se produce hasta que la removilización esté en marcha. Estos estudios han sido posibles gracias al uso de isótopos estables bajo condiciones de campo, que permitió a los investigadores obtener información acerca de la partición en diferentes estados fenológicos y diferenciar la contribución de compartimentos endógenos (almacenamiento) y exógenos (nuevos). En los últimos 20 años, varios estudios se han realizado utilizando isótopos estables. Los más utilizados han sido ^{15}N (Weinbaum et al., 1984, Sánchez et al. 1991), ^{10}B (Brown y Hu, 1996; Sánchez y Righetti, 2005) y ^{68}Zn (Zhang y Brown, 1999; Sánchez et al., 2006).

El porcentaje de N perdido por las hojas de manzano durante la senescencia varía de 50 a 70% (Sánchez y Righetti, 1990) y esa cantidad puede cubrir hasta un 25-30% del total de N requerido por el árbol en la siguiente temporada (Sánchez et al., 1995).

Aplicaciones sustentables de fertilizantes

Anteriormente se hizo hincapié en la importancia de un diagnóstico preciso para ejecutar un programa de fertilización. Debido a que la producción intensiva de frutas requiere el uso de fertilizantes, el desafío es suministrar cantidades adecuadas de nutrientes para mantener altos rendimientos de fruta de calidad, evitando excesos que puedan conducir a la contaminación ambiental, especialmente de las aguas subterráneas.

El N necesita ser aplicado anualmente en huertos comerciales para mantener la productividad, sosteniendo el crecimiento de nuevos tejidos (desarrollo de hojas y frutos). Lamentablemente, en la mayoría de las zonas de producción de frutas, la sobre-dosificación de N es un problema en el manejo del huerto, afectando a los árboles y el medio ambiente. Por parte del árbol, un exceso de N promueve el crecimiento vigoroso de los brotes y ayuda a promover una canopia densa que normalmente requiere poda en verano y/o una poda de invierno más exigente. El exceso de N en la nutrición de manzanos y perales ha sido asociado con desórdenes fisiológicos (Sánchez et al., 1995) y puede tornar por debajo del rango normal de suficiencia. Otros parámetros de calidad de fruta asociados con sobre-fertilización con N incluye una menor coloración roja de la fruta (Faust, 1989) y una mayor susceptibilidad a enfermedades de almacenamiento (Sugar et al., 1992). Demasiado N al final de la temporada puede retrasar la maduración de los frutos y prolongar el crecimiento de las plantas, predisponiendo a los árboles a daños por heladas tempranas.

En los últimos años, muchos productores han reducido sustancialmente la cantidad de N aplicado a sus huertos. En Europa, por ejemplo, los productores tienen restricciones para usar N bajo protocolos de *Producción Integrada de Fruta* (IFP, de sus siglas en inglés) (IOBC, 2002). Es probable que aparezcan más requisitos relacionados con el manejo de los nutrientes a medida que las prácticas de IFP evolucionen.

Con la creciente preocupación por la protección del medio ambiente, se ha prestado mucha atención a las prácticas para mejorar la eficiencia de la absorción de N. Entre las prácticas culturales, el uso de urea foliar ha mostrado resultados promisorios (Johnson et al., 2001), observándose eficiencias de absorción entre el 60-70% con pulverizaciones foliares concentradas de urea después de la cosecha en frutales caducifolios (Tagliavini et al., 1998). El uso de fertilizantes de liberación lenta sería especialmente apropiado en las regiones donde el agua disponible es abundante y barata. Por ejemplo, en el alto valle de Río Negro, a principios de la primavera, se monitoreó la concentración de nitratos en tres profundidades del suelo después de la aplicación única de 0, 50 y 100 kg ha⁻¹ de N en un huerto adulto de manzanos. Se concluyó que el efecto del fertilizante persistió por un período corto de tiempo, ya que la concentración de nitratos disminuyó bruscamente debido al riego y no difirió del suelo testigo en todas las profundidades del suelo luego de dos meses desde la aplicación del fertilizante

(Aruani et al., 2007). Los resultados demostraron que la aplicación de fertilizantes nitrogenados en una dosis única en primavera resulta ineficiente ya que la absorción puede ser limitada por la baja demanda durante la removilización y por la lixiviación de nitratos de la zona cercana a la raíz después del riego.

La fertirrigación es otra práctica para mejorar la eficiencia del uso de N ya que consiste en el riego por goteo y se utiliza ampliamente en regiones donde el agua es escasa. La aplicación de pequeñas pero constantes cantidades de nutrientes a lo largo de la temporada economiza considerables cantidades de fertilizantes en comparación con la fertilización tradicional (Nielsen et al., 1999). Las pérdidas de N pueden ser importantes si el riego está programado a tasa fija en lugar de satisfacer la demanda de evapotranspiración. Para la mayoría de los frutales de pepita y carozo, se ha estimado que en el pico máximo de demanda, las tasas de absorción de N se sitúan en el rango de 0.5-1.0 kg ha⁻¹ día⁻¹. Para regular la adición de N en a través de la fertirrigación, se debería monitorear la concentración de N-NO₃⁻ del suelo, pudiéndose colocar tubos de succión a distintas profundidades del suelo. En términos prácticos, si el N-NO₃⁻, medido por debajo del sistema radical está presente en mayor concentración que en las parcelas no fertirrigadas (que pueden ser medidas lejos de los emisores), lo más probable es que el N y/o el agua no estén manejados adecuadamente. Se han publicado varios trabajos sobre el manejo del N en el huerto y sus efectos sobre el medio ambiente (Weinbaum et al., 1992; Sánchez et al., 1995).

En comparación con el N, sólo hay unos pocos informes de deficiencia de fósforo (P) en huertos maduros. A excepción de la fertirrigación donde el P es parte del programa de fertilización, bajo condiciones regulares (en las cuales las raíces exploran una gran parte del volumen del suelo), los árboles no responden a los fertilizantes fosforados debido posiblemente a la presencia de micorrizas. Por lo tanto, no se han observado síntomas de deficiencia de P aún con valores de P disponible tan bajos como 5 mg kg⁻¹ (Sánchez, 1999). Por otro lado, en la plantación, la fertilización con P es una práctica habitual ya que el P estimula el crecimiento de las raíces. Cuando el árbol es retirado del vivero, se cortan las raíces y su posterior crecimiento se desarrolla a un ritmo bajo en comparación con la parte aérea durante los primeros 2-3 años (Faust, 1989). En situaciones de replante, la adición de P en el pozo de plantación mejora el desarrollo del árbol. El requerimiento total de P en manzanos es relativamente pequeño en relación al de N y K.

La demanda de K en frutales de pepita y carozo es alta. La absorción de K es máxima durante la fase de rápido crecimiento de los frutos, probablemente debido al rol del K en el mantenimiento del potencial de turgencia. Se debe tener cuidado para evitar la sobredosis de K, ya que generaría un desequilibrio de cationes en el suelo y podría causar deficiencias de magnesio (Mg). Es importante encontrar un equilibrio entre el calcio (Ca) y el K para optimizar la calidad de la fruta.

El Ca en los árboles frutales está asociado con la calidad de fruta, especialmente en los *commodities* que se almacenan durante varios meses, tales como las manzanas y las peras. La aplicación de grandes cantidades de compuestos de Ca a la tierra a través del encalado puede aumentar la concentración de Ca en la hoja, pero no la concentración de Ca en la fruta (Nielsen y Neilsen, 2003). Del mismo modo, la aplicación de sales solubles de Ca en el suelo no alteran el nivel de Ca en la fruta, excepto en suelos muy ácidos (Van Lune, 1984). Por esa razón, los niveles insuficientes se encuentran en primer lugar en las frutas en vez de las hojas.

El requerimiento de Mg es similar al de P, y sólo unos pocos informes mencionan respuestas a la aplicación de Mg en el suelo. Dos o tres pulverizaciones foliares con sales de Mg durante el período de rápido crecimiento de brotes son muy eficaces cuando la deficiencia está presente.

El hierro (Fe) generalmente es deficiente bajo condiciones de suelo calcáreo con pH alto. Los árboles frutales caducifolios son muy sensibles a un trastorno llamado clorosis férrica inducida por el calcáreo. Los durazneros son considerados como más susceptibles que la mayoría de las otras especies frutales. Para corregir la clorosis férrica, los agricultores aplican grandes cantidades de quelato de Fe (EDDHA) al suelo, lo cual es eficaz pero caro (Gil Ortiz y Bautista Carrascosa, 2005). Las pulverizaciones foliares de Fe no son tan eficientes porque no logran que las hojas reverdezcan completamente. Otra opción tecnológica es injertar cultivares de duraznero sobre portainjertos resistentes como ciruelos y almendros híbridos (Tagliavini y Rombolá, 2001). Una técnica que ha dado buenos resultados para aliviar los síntomas de clorosis férrica ha sido la incorporación de orujos de vid o desechos de la industria de jugos concentrados con la adición de sulfato ferroso durante el invierno.

El boro (B) es un micronutriente clave ya que su insuficiencia se ha asociado con desórdenes en la fruta (Peyrea, 1994) y niveles pobres de cuaje (Wojcik y Wojcik, 2003). La importancia de la concentración de B en la flor se centra en el hecho de que el B influye en el cuaje de frutos en gran número de especies frutales (Hanson y Breen, 1985); el boro puede aumentar la división celular o la síntesis de ácido nucleico en frutos en desarrollo.

El zinc (Zn) también desempeña un papel importante en la nutrición de los frutales. La mayoría de las especies frutales caducifolias son deficientes en Zn cuando crecen en suelos alcalinos. El Zn interviene en muchas reacciones enzimáticas relacionadas con síntesis de proteínas, fotosíntesis y mecanismos de protección en hojas y frutos contra las Especies Reactivas de Oxígeno (EROs). El Zn es incluido en muchos programas de fertilización con aplicaciones foliares a principios de la primavera (Sánchez et al., 2006).

Aplicaciones foliares

Los programas de fertilización de la mayoría de los productores incluyen aplicaciones foliares de fertilizantes. La cantidad de nutrientes que puede atravesar la cutícula de la hoja en una pulverización es pequeña

en relación con la demanda del árbol. Sin embargo, la fertilización foliar puede mejorar deficiencias transitorias de micronutrientes y mejorar la calidad de la fruta. Por ejemplo, varias pulverizaciones con Ca aumentan la firmeza de las manzanas, la vida post-cosecha y la protección contra muchos patógenos poscosecha (Sugar et al., 1992; Biggs et al., 1997), y reducen la incidencia de desórdenes fisiológicos, como el *bitter pit* y el decaimiento interno (Bangerth, 1979; Poovaiah et al., 1988).

Aplicaciones foliares de N en forma de urea son eficaces para mejorar el crecimiento de los árboles y aumentar las reservas. Por otro lado, el K no debe ser aplicado foliarmente debido a que la escasa absorción a través de las hojas no satisface la demanda de los árboles, ni siquiera por pocos días (Sánchez, 1999). Como se ha descrito anteriormente, micronutrientes como el Zn y el B son adecuados para la aplicación foliar. En el mercado hay cientos de formulaciones e incluyen activadores de planta, ácidos húmicos, aminoácidos, sales y quelatos.

Manejo del suelo

El manejo del suelo está destinado principalmente al control de malezas y a la prevención de la compactación, que afectan el crecimiento de las raíces y perjudican el crecimiento de los árboles en producción. Las raíces no sólo absorben agua y nutrientes, sino que también son un sitio para la síntesis de hormonas como citoquininas y giberelinas.

El control de malezas es de suma importancia durante los dos primeros años después de la plantación de los árboles, cuando éstos desarrollan la canopia. Las raíces crecen lentamente durante estos años y cualquier competencia por los recursos limita marcadamente su crecimiento.

Si el agua no es limitante, los cultivos de cobertura pueden ser usados para prevenir la erosión y proveer una base firme para la maquinaria del huerto cuando el suelo está húmedo. Como la vegetación del suelo del huerto compete con las raíces de los árboles por agua y nutrientes, en huertos comerciales usualmente se aplican herbicidas en la fila de los árboles para minimizar la competencia.

Producción orgánica de fruta (PO)

A diferencia de la producción convencional, la PO enfrenta retos particulares en la gestión de la fertilidad del suelo (Granatstein, 1999); los sistemas orgánicos se basan en el ciclo de nutrientes para asegurar una



Durazno en el Alto Valle de Rio Negro

nutrición adecuada del árbol, y el N es el macronutriente más limitante. En un artículo reciente sobre un huerto orgánico de manzanos, Sánchez et al. (2007) señalaron que la cobertura permanente, ya sea de alfalfa (*Medicago sativa* L.), en combinación con festuca (*Festuca arundinacea* Schribn.), el trébol frutilla (*Trifolium fragiferum* L.) o la siembra de vicia común (*Vicia sativa* L.), afectaron las propiedades del suelo, el crecimiento de los árboles y el rendimiento después de 6 años de tratamiento en comparación con el suelo sin cultivar (suelo arado dos veces a fines de invierno). Por ejemplo, la materia orgánica y el contenido de N aumentó en la parte superior del suelo (0-15 cm), bajo la cobertura perenne de los cultivos, pero el N en hojas de manzano disminuyó en forma constante en todos los tratamientos y fue necesario aumentar la cantidad de abono orgánico. Los autores concluyeron que, a pesar de las ventajas ofrecidas por los cultivos de cobertura, cuando la producción de frutas es alta, la demanda de nutrientes, especialmente N, también es alta y requiere fertilizantes orgánicos adicionales.

Futuros desafíos y necesidades de investigación

La producción de fruta proveniente de especies frutales caducifolias está aumentando en todo el mundo gracias a la aparición de nuevos cultivares con menores requisitos de horas de frío. En el pasado, los manzanos y los perales se cultivaban en climas con bastantes horas de frío que aseguraban una buena brotación. Sin embargo, en climas subtropicales como Brasil o Nigeria se liberaron nuevas variedades con excelentes atributos para los consumidores. En un futuro próximo, la ingeniería genética permitirá ampliar los límites de producción de fruta mediante la incorporación de características como tolerancia a la salinidad, a los elementos tóxicos (boro, aluminio) y tolerancia del cultivo de durazneros a altos contenidos de carbonato de Ca. Se han logrado importantes progresos en el descubrimiento de los genes que afectan los rasgos morfológicos de los cultivos frutales. Por ejemplo, mejorar la eficiencia del uso del agua es una necesidad, ya que la disponibilidad de agua es un problema grave y creciente en muchas regiones del mundo. La calidad del agua es también una cuestión importante a considerar, ya que los acuíferos están perdiendo la calidad a medida que el bicarbonato e incluso el arsénico se presentan en cantidades cada vez mayores.

En los países del tercer mundo, hay una gran brecha entre el conocimiento actual sobre las prácticas culturales eficientes y el manejo que realizan los productores en sus huertos. Es posible optimizar el rendimiento y la calidad de la fruta solamente mediante la aplicación de la enorme cantidad de conocimientos generales sobre prácticas culturales, en particular de riego y nutrición. Mientras tanto, en los países líderes se están realizando progresos en agricultura de precisión para reducir la aplicación de insumos y fertilizantes y para ahorrar agua. Sin embargo, esta técnica es compleja, requiere de años de datos en el campo y registros de rendimiento para demostrar los efectos de tratamientos

y para ajustar la tecnología. La relación costo/ beneficio necesita ser evaluada ya que muchos concuerdan en que la agricultura de precisión puede ser útil en grandes superficies, pero no en las explotaciones pequeñas.

Bibliografía

- Acuña-Maldonado L.E., M.W. Smith, N.O. Maness, B.S. Cheary y B.L. Carroll.** 2003. Influence of nitrogen application time on nitrogen absorption, partitioning and yield in pecan. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 128 (2):155-162.
- Alkoshab O., T.L. Righetti y A.R. Dixon.** 1988. Evaluation of DRIS for judging the nutritional status of hazelnuts. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 113:643-647.
- Aruani M.C., E.E. Sánchez, P. Reeb y E. Aun.** 2007. Variación de la concentración de nitratos en un suelo franco limoso del Alto Valle de Río Negro. *Rev. FCA UN Cuyo Tomo XXXIX 2:* 25-33.
- Bangerth F.** 1979. Calcium-related physiological disorders of plants. *Ann. Rev. of Phytopathology* 17:97-122.
- Beaufils E.R.** 1971. Physiological diagnosis: A guide for improving maize production based on principles developed for rubber trees. *Fert. Soc. South Africa J.* 1:1-30.
- Biggs A.R., M.M. El-Kholi, S. El-Neshawy y R. Nickerson.** 1997. Effects of calcium salts on growth, polygalacturonase activity, and infection of peach fruit by *Monilinia fructicola*. *Plant Disease* 81:399-403.
- Brown P. H. y H. Hu.** 1996. Phloem mobility of boron is species dependent: Evidence for phloem mobility in sorbitol-rich species. *Annals of Botany* 77:497-505.
- FAOSTAT.** 2008. FAOSTAT database. FAO statistics database on the World Wide Web. <http://faostat.fao.org> (consultado en junio 2008).
- Faust M.** 1989. Physiology of temperate zone fruit species page. John Wiley and Sons, New York, 53-132.
- Gil Ortiz R. e I. Bautista Carrascosa.** 2005. Response of leaf parameters to soil applications of iron-EDDHA chelates in a peach orchard affected by iron chlorosis. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 36:1839-1849.
- Granatstein D.** 1999. Tree fruit production with organic farming methods. *Proc. First Southern Hemisphere Conference on the Integrated Fruit Production of Fruits. Río Negro, Argentina* sec. 3.4; 1-12.
- Hansen P.** 1980. Crop load and nutrient translocation. En: *Mineral Nutrition of Fruit Trees.* D. Atkinson; J.E. Jackson; R.O. Sharpley y W.M. Waller (Eds.) Butterworths, London. 201-202.
- Hanson E.J. y P.J. Breen.** 1985. Effects of fall boron sprays and environmental factors on fruit set and boron accumulation in Italian prune flowers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 110:389-392.
- IOBC.** 2002. Guidelines for Integrated Production of Pome Fruits. *IOBC/wprs Bull.* 25 :1-8.
- Jarrell, W.M. y R. B. Beverly.** 1981. The dilution effect in plant nutrition studies. *Adv. Agron.* 34:197-224.
- Johnson R.S., R. Rosecrance, S.A. Weinbaum, H. Andris y J. Wang.** 2001. Can we approach complete dependence on foliar-applied urea nitrogen in an early maturing peach? *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 126:364-370.
- Kenworthy A.L.** 1950. Nutrient element composition of leaves from fruit trees, *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 55:41-46.
- Macy P.** 1936. The quantitative mineral nutrient requirements of plants. *Plant Physiol.* 11:749-764.
- Millard P. y C.M. Thomsom.** 1989. The effect of the autumn senescence of leaves on the internal cycling of nitrogen for the spring growth of apple trees. *J. Exp. Bot.* 40:1285-1289.
- Neilsen G.H., D. Neilsen y F. Peyrea.** 1999. Response of soil and irrigated fruit trees to fertigation or broadcast application of nitrogen, phosphorus, and potassium. *Hort.Tech.* 9: 393-401.
- Neilsen, G.H. y D. Neilsen.** 2003. Nutritional requirements of apples. En *Apples; Botany, Production and Uses.* (Eds) D.C. Ferre y I.J. Warrington, CAB International pp. 267-302.
- Peyrea F. J.** 1994. Boron nutrition in deciduous tree fruit. En: *Tree Fruit Nutrition.* (Eds). A.B. Peterson y R.G. Stevens. Good Fruit Grower, 95-107. Yakima, USA.
- Poovalah B.H., G.M. Glenn y A.S.N. Reddy.** 1988. Calcium and fruit softening: physiological and biochemistry. *Hort. Rev.* 10:107-152.
- Righetti T.L.** 1986. Using tissue mineral analysis. 1986. *Proc. Oregon Hort. Soc.* 77:11-32.
- Righetti T.L., O. Alkoshab y K. Wilder.** 1988. Diagnostic biases in DRIS evaluations on sweet cherry and hazelnut. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.* 19 (13): 1429-1447.
- Sánchez E.E. y T.L. Righetti.** 1990. Tree nitrogen status and leaf canopy position influence postharvest nitrogen accumulation and efflux from pear leaves. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:934-937.
- Sánchez E.E., T.L. Righetti, D. Sugar, y P.B. Lombard.** 1991. Recycling of nitrogen in field-grown "Comice" pears. *J. Hort. Sci.* 66:479-486.
- Sánchez E.E. H. Khemira, D. Sugar y T.L. Righetti.** 1995. Nitrogen management in orchards. In: P.E. Bacon (ed). *Nitrogen fertilization in the environment.* Marcel Dekker, New York, 327-350.
- Sánchez E.E.** 1999. Nutrición mineral de frutales de pepita y carozo. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (Ed). Estación Experimental Alto Valle de Río Negro. Macrorregión Patagonia Norte, Argentina. 198 pp.
- Sánchez E.E. y Righetti, T.L.** 2005. Effect of postharvest soil and foliar application of boron fertilizer on the partitioning of boron in apple trees. *Hort. Sci.* 40:2115-2117.
- Sánchez E.E., S.A. Weinbaum y R.S. Johnson.** 2006. Comparative movement of labeled nitrogen and zinc in 1-year-old peach [*Prunus persica* (L.) Batsch] following late-season foliar application. *J. Hort. Sci. & Biotech.* 81 :839-844.
- Sánchez E.E, A. Giayetto, L. Cichón, D. Fernández, M.C. Aruani y M. Curetti.** 2007. Cover crops influence soil properties and tree performance in an organic apple (*Malus domestica* Borkh) orchard in northern Patagonia. *Plant and Soil* 292:193-302.
- Smith P.F.** 1962. Mineral analysis of plant tissues. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 13:81-108.
- Sugar D., T.L. Righetti, E.E. Sánchez y H. Khemira.** 1992. Management of nitrogen and calcium on pear trees for enhancement of fruit resistance to postharvest decay. *Hort. Tech.* 2:382-387.
- Summer M.E.** 1977. Use of DRIS systems in foliar diagnosis of crops at high yield levels. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 8:251-268.
- Tagliavini M., P. Millard y M. Quartieri.** 1998. Storage of foliar-absorbed nitrogen and remobilization for spring growth in young nectarine (*Prunus persica* var. *nectarine*) trees. *Tree Physiol.* 18:203-207.
- Tagliavini M. y A.D. Rombolá.** 2001. Iron deficiency and chlorosis in orchard and vineyard ecosystems. *Europ. J. Agr.* 15: 71-92.
- Ulrich A.** 1948. Plant analysis, methods and interpretation of results. En: *Diagnostic Techniques for Soils and Crops.* H.B. Kitchen (ED.) Amer. Potash Inst. Pp. 157-198.
- Van Lune P.** 1984. Effects of lime, gypsum and trace elements on bitter pit and breakdown in apples from trees growing on river clay. *J. Hort. Sci.* 59:71-78.
- Weinbaum S.A., I. Klein, F.E. Broadbent, W.C. Mickie y T.T. Muraoka.** 1984. Effects of time of nitrogen application and soil texture on the availability of isotopically labeled fertilizer nitrogen to reproductive and vegetative tissue of mature almond trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 109:339-343.
- Weinbaum S.A. R.S. Johnson y T.M. DeJong.** 1992. Causes and consequences of overfertilization in orchards. *Hort.Tech.* 2: 112-121.
- Weinbaum S.A., P.H. Brown, R.C. Rosecrance, G.A. Picchioni, F.J.A. Neiderholtzer, F. Youssefi y T.T. Muraoka.** 2001. Necessity for whole tree excavations in determining patterns and magnitude of macronutrient uptake by mature deciduous fruit trees. *Acta Horticulturae* 564:41-49.
- Westwood M. N.** 1978. *Temperate-Zone Pomology.* W.H. Freeman and Company, New York. 1-19.
- Wojcik P. y M. Wojcik.** 2003. Effects of boron fertilization on "Conference" pear tree vigor, nutrition, and fruit yield and storability. *Plant and Soil* 256:413-421.
- Zhang Q. y P.H. Brown.** 1999. Distribution and transport of foliar applied zinc in pistachio. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 124:433-436. ■

ESTUDIOS PARA LA FERTILIZACIÓN DEL TABACO TIPO BURLEY EN LA PROVINCIA DE TUCUMÁN

Abel E. Villares, Miguel A. Morandini, Carlos F. Hernández, Alberto Duran y Mónica Coronel
Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres. Tucumán, Argentina.
eavillares@eeaoc.org.ar

Introducción

El estudio de la fertilización adecuada del tabaco tipo Burley tiene importancia para la aplicación de macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) en las cantidades requeridas por el cultivo, según las características de los suelos, con la finalidad de lograr altos rendimientos por hectárea y una calidad de las hojas aceptada en el mercado nacional e internacional.

Al igual que otros estudios realizados en diferentes zonas tabacaleras, el presente trabajo evalúa el efecto de la fertilización en el cultivo del tabaco, con una determinación primaria del conocimiento de los suelos en los que se efectuaron las experiencias.

El propósito del presente trabajo fue establecer niveles que permitan emplear nuevos criterios de fertilización en tabaco Burley, considerando que las recomendaciones sobre fertilización son desarrolladas sobre bases del conocimiento de los contenidos de nutrientes en el suelo, y de la importancia que dichas operaciones tengan sobre los diferentes indicadores de la evolución económica del cultivo; rendimiento cultural, calidad industrial, costos y aplicación de fertilizante, riesgo y efectos ambientales.

Antecedentes

Sobre el abonado del tabaco Burley podemos remontarnos a la época de expansión del cultivo en España, donde en suelos de regadío y de secano de las zonas cantábrica, andaluza, de Levante y Extremadura se hacían agregados de estiércol de granja complementados con adecuadas dosis de potasa y superfosfato. El N era proporcionado como nitrato de cal en tierras pobres en caliza y el ácido fosfórico con escorias Thomas. La potasa se suministraba en forma de sulfato. En las zonas de riego, el abono orgánico se aplicaba al voleo incorporado con una labor de vertedera, en otoño al finalizar el ciclo del cultivo. A fines de invierno y en la primavera se hacían labores superficiales, y previamente a la última, que se realizaba quince o veinte días antes del trasplante, podía hacerse la adición de los abonos minerales. Si se lo cultivaba como segunda cosecha, inmediatamente después de otros cultivos, se incorporaban los rastrojos aplicando con esa labor los abonos o fertilizantes químicos (de Montero y García de Valdivia, 1942).

Experiencias conducidas por la Universidad de Ten-

nessee para observar la respuesta del tabaco Burley a la irrigación y al incremento de N, indican que las prácticas de riego del cultivo pueden influir en los rendimientos de lotes tratados con N, pero en la mayoría de los casos no encontraron diferencias significativas entre tratamientos irrigados y no irrigados. Sin embargo, el rendimiento incrementó con altas aplicaciones de N en las parcelas irrigadas, sin observarse una significativa interacción entre irrigación y N (Parks et al., 1963).

En los Estados Unidos consideran al N como el elemento que más influencia tiene en los rendimientos y calidad del tabaco (Tobacco Information, 1985). El exceso de N conduce también al aumento de pérdidas por enfermedades fúngicas, tales como *Alternaria longipes* y puede afectar la combustibilidad (Choteau y Fauconnier, 1993). Otras publicaciones (Tobacco Handbook, 1981 y Furney, 1984) recomiendan para tabaco Burley cantidades de N que van desde 150 kg/ha (para los suelos más ricos) hasta 300 kg/ha (para los más pobres).

Choteau y Fauconnier (1993) destacan incrementos significativos hasta 480 kg/ha de N, originando hojas más anchas y finas (menor peso por unidad de superficie). Las deficiencias de N producen un humo sin sabor, relacionado al equilibrio entre azúcares y proteínas. Aplicaciones de N en forma de nitratos hasta 240 kg/ha, mejoraron la combustibilidad de tabaco, resultante de una mayor acumulación de K y menor absorción de sulfatos y cloruros (conocido como principio de equilibrio aniónico) (Andersson y Rodríguez, 1995).

Las experiencias conducidas para determinar la eficacia de la fertilización fosforada empleando el fertilizante 9,5-24-21 (N-P₂O₅-K₂O), indican incrementos en el margen hasta dosis de 100 kg/ha de P (Andersson, 1996), pudiendo en este caso haber influido el incremento de N. El rango óptimo de pH para una disponibilidad óptima de P se extiende entre 5 y 6; pudiendo ocurrir una insolubilización a valores superiores (Choteau y Fauconnier, 1993).

Valores normales de K en las hojas de tabaco oscilan entre 2% y 8% de K₂O de la materia seca, síntomas de deficiencia se manifiestan con valores de 3% y en forma severa por debajo de 2% (Choteau y Fauconnier, 1993). El efecto del K tiene mayor importancia en la calidad del tabaco Burley que en los rendimientos. La combustibilidad de las hojas inferiores, medias y

superiores es mayor al incrementar el contenido de K en la hoja (Figuerola, 1997).

Tanto la perfección de la combustión, medida por el color de la ceniza como su duración (combustibilidad), están gobernadas ampliamente por el carácter, cantidad y proporción de las sales minerales que contiene el tabaco, las más importantes de las cuales son las de K. La ceniza coloreada coincide invariablemente con las menores concentraciones de K. Por otro lado, al aumentar mucho el contenido de este elemento en hoja, la ceniza se vuelve progresivamente más oscura. En realidad, la coloración depende primariamente de la relación Ca/K (Márquez Jiménez, 1977). En la práctica, la competencia más importante es entre K y Ca, por ello en suelos con altos contenidos de Ca, se recomiendan fertilizaciones con alto contenido de K (Choteau y Fauconnier, 1993).

Experiencias conducidas en la provincia de Misiones, en un suelo de las siguientes características: pH 6,05, M.O. 5,75%, N total 0,39%, Ca 20 meq/100 g, Mg 3,42 meq/100 g, K 1 meq/100 g, P 10,3 mg/kg (Bray-Kurtz II), CIC 24,6 meq/100 g, Arena 27%, Limo 41%, y Arcilla 31%, donde se realizó una fertilización de base de 600 kg/ha de 9,5-24-21 y diferentes aplicaciones de 15-0-15 entre 200 y 800 kg/ha, indican que con la variedad Kentucky 10 se lograron incrementos del rendimiento en un 18% y del 20% en el valor del producto. Con la variedad B21 se lograron incrementos del 27% en el rendimiento y del 77% en el valor del producto, lográndose incrementos del porcentaje de nicotina en lámina C y los grados de calidad comercial a medida que aumentó la dosis de fertilizante. En la variedad B21 se lograron mayores grados de fumado con la dosis de 200 y 800

kg/ha de 15-0-15 (Andersson y Rodríguez, 1995). En otras experiencias se lograron las mayores respuestas al N en suelos boscosos y, en algunos suelos recientemente desmontados, el fertilizante llegó a desmejorar la calidad del tabaco, destacando además que en plantaciones tempranas el N es muy eficiente para retrasar la floración, considerando que en estas plantaciones se deberían incrementar las dosis utilizadas. Otros trabajos realizados en Misiones por Nobleza Piccardo, citado por Andersson y Rodríguez (1995), demostraron que los mayores rendimientos se lograron con 140 a 280 kg/ha de N, los mayores valores de índice de grado se dieron a partir de los 140 kg/ha de N, por lo que recomiendan no trabajar con menos de 100 kg/ha de N.

Las experiencias conducidas en Tucumán en 8 localidades de la zona tabacalera, indican que se lograron incrementos de rendimientos del 14% con dosis de 50 kg de N/ha y, en determinados suelos, se lograron rendimientos significativamente mayores con 100 kg/ha de N. El P y el K incrementaron ligeramente la combustibilidad (Aso y Girginer, 1979). Otras experiencias conducidas en conjunto con la Comisión Asesora de Instituciones Técnicas y Empresas Privadas para el Desarrollo Tecnológico del Tabaco tipo Burley (CAITEP), indican respuesta del tabaco Burley a la fertilización nitrogenada, independientemente de la fuente usada, lográndose incrementos de rendimientos del 23% con dosis de 124 kg/ha de N. Las fuentes amoniacales de N, urea, sulfato de amonio y 18-46-0 produjeron mayores contenidos de N (proteínas) y menores de K en las hojas de tabaco que los fertilizantes nítricos y nítricos amoniacales (Aso et al., 1992).

Tabla 1. Tratamientos del diseño experimental conducido en la Sub-Estación La Invernada.

Tratamiento	Dosis (kg/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
1	0	0	0
2	0	0	50
3	0	0	140
4	0	140	0
5	0	140	50
6	0	140	140
7	100	0	0
8	100	0	50
9	100	0	140
10	100	140	0
11	100	140	50
12	100	140	140
13	150	0	0
14	150	0	50
15	150	0	140
16	150	140	0
17	150	140	50
18	150	140	140

Materiales y métodos

Durante cuatro campañas, se realizaron diseños experimentales en la Sub-Estación La Invernada (Tabla 1) con 18 combinaciones de dosis de fertilizantes. Durante estas campañas también se analizaron los datos de 28 macroparcels en fincas de productores, para observar y analizar la respuesta del tabaco a aplicaciones de N y NPK (Tabla 2).

En todos los lotes se tomaron muestras compuestas de suelo en el momento previo a la plantación. El tabaco fue plantado en la primera quincena de setiembre en dos años y en la segunda quincena de setiembre en los dos años siguientes. En las fincas de productores, la plantación se efectuó con diferentes variedades y fechas de plantación, siempre dentro del mes de setiembre. La fertilización se realizó en todos los casos dentro de los diez días posteriores a la plantación y se realizaron labores de cultivo en la trocha, riegos y las prácticas específicas del tabaco.

En el momento previo a la floración, se tomaron muestras de hojas para análisis foliares de nutrientes; el N fue determinado por el método de Kjeldahl, el K por fotometría de llama y el P por colorimetría con amino naftol sulfónico.

Las parcelas experimentales comprendieron 4 líneas de 12 metros de largo de las cuales se cosecharon las líneas centrales; los valores de rendimientos son potenciales, completando el número de plantas por parcela útil de cosecha.

En las fincas de productores se tomaron muestras en

galpones de "curado", de varillas correspondientes a las macroparcels de N y NPK, en 6 grupos de 6 varillas de plantas cada una, en cada parcela.

Una vez curado el tabaco, se procedió al despalillado por posiciones y luego fue clasificado, determinando rendimientos por ha, calidad indicada por el Índice de Grado y el Índice de Valor Agronómico:

$$\text{Índice de Grado} = \text{Precio Promedio} / \text{Precio CIF (mejor clase)} \times 100$$

$$\text{Índice de Valor Agronómico} = \text{Rendimiento / ha} \times \text{Índice de grado}$$

Para evaluar parámetros de calidad industrial, se tomaron muestras de diferentes pisos foliares de las muestras de las macroparcels para el análisis de nutrientes N, P, K y elementos químicos en hojas, alcaloides totales, nicotina, nor nicotina, bases volátiles totales, empleando los métodos oficiales de AOAC International, extractos en éter de petróleo y cenizas para los cuales se emplearon los métodos de Phillips y Bacot sobre composición química del tabaco.

A los resultados de rendimientos, calidad e índice de valor agronómico de cada tratamiento se les realizó un análisis de varianza y se los ordenó por tratamiento de fertilización. También se evaluaron las interacciones entre nutrientes para el rendimiento y la calidad. Para la separación de medias se utilizó el test de Tukey con un $\alpha=0.05$.

Una vez calculada la significancia estadística ($\alpha=0.05$), determinamos si el tratamiento fue rentable, calculando la relación Beneficio/Inversión,

Tabla 2. Fechas de plantación y variedades en los ensayos de La Invernada y en las macroparcels de productores.

Sitio	Fecha de plantación	Variedad
La Invernada		
97-98	12-09-97	TN90
98-99	15-09-98	TN90
99-00	25-09-99	Ky8959
2000-01	20-09-00	Ky907
Macroparcels		
Alto el Puesto ALV	11-09-99	TN90
Domingo Millán ALV	1-09-99	TN90
Graneros RIS	5-09-99	KY10
El Porvenir GAR	10-09-99	KY8959
Los Pizarros SIG	30-09-99	TN90
La Florida POB	8-09-99	TN90
Alto El Puesto LEI	5-10-99	KY10
La Invernada DEL	20-09-99	TN90
Alto El Puesto IBA	18-09-00	Ky8959
La Calera IBA	20-09-00	TN90
Los Pizarros LAZ	27-09-00	TN90
Marapa MEN	13-10-00	Ky8959
La Cocha MAN	2-10-00	TN90
Domingo Millán GOM	10-09-00	Ky17
Domingo Millán GRA	12-09-00	Ky907

considerando como beneficio la diferencia en pesos de cada combinación de dosis de fertilizantes con respecto al testigo y a la inversión como el costo del fertilizante. La significancia estadística del efecto del tratamiento no siempre significa que la nueva práctica a adoptarse o el nuevo producto a usarse sean rentables. Por otro lado, el efecto de un tratamiento que no produce significancia estadística puede ser significativo desde el punto de vista económico. La significancia económica ocurre cuando el valor promedio del efecto del tratamiento es mayor que el costo del tratamiento (Hicks et al., 1997). Para evaluar la significancia económica del tratamiento consideramos la respuesta promedio en kilogramos de los cuatro años, el precio promedio por kilogramo de tabaco y el costo de cada dosis.

Para los casos de significancia económica y significancia estadística consideramos, sobre el Índice de Valor Agronómico, el rango como una medida de dispersión, indicadora del riesgo, ya que este valor indica la variabilidad de ingresos para cada dosis en los cuatro años de estudio. Como ayuda para la toma de decisión, se calcula el riesgo anual para las dosis de menor dispersión, considerando el costo de la dosis sobre el ingreso producido por efecto de la dosis de fertilizantes.

Resultados

Rendimiento

El análisis conjunto de los 18 tratamientos durante cuatro campañas en La Invernada indica diferencias significativas entre tratamientos (Tabla 3). El tabaco fertilizado con N, NP, NK y NPK produjo mayores rendimientos que el testigo y los tratamientos fertilizados con P y/o K. No se observaron diferencias significativas entre tratamientos fertilizados con N, independientemente que hayan sido fertilizados con P

y K, a excepción del tratamiento 7 con 100 kg N/ha que produjo un rendimiento significativamente menor que el resto de los tratamientos fertilizados con N, P y K, pero sin diferencias con el tratamiento 12 con 100, 140 y 140 kg/ha de N, P y K, respectivamente.

El análisis de rendimiento del tabaco con diferentes dosis de N indicó diferencias no significativas entre los tratamientos con dosis de 100 y 150 kg de N por ha y diferencias significativas con el testigo sin fertilizar.

El tabaco no respondió significativamente a la fertilización con P y K en suelos bien provistos de estos elementos, como en el que se llevaron a cabo las experiencias (P 48 mg/kg; K 1,84 meq/100g), observándose diferencias no significativas de rendimiento de tabaco con dosis de 140 kg P/ha, comparada con el testigo y dosis de 50 y 140 kg/ha de K comparadas con el testigo.

El análisis de las interacciones NP y NK sobre el rendimiento del tabaco Burley indicó diferencias significativas entre dosis de nutrientes. Estas diferencias serían atribuidas al efecto del N y no a la interacción de nutrientes sobre el rendimiento, aunque es posible que una vez cubiertas las necesidades de P y K de la planta, se manifieste un incremento del rendimiento en las parcelas que también recibieron N. Las interacciones entre P y K no fueron significativas para la misma variable.

El Índice de Grado fue tomado para clasificar el tabaco por su calidad agronómica; su valor refleja el porcentaje de la mejor clase de tabaco. El N afectó el Índice de Grado comparado con el testigo y no se observan diferencias entre la fertilización con 100 y 150 kg N/ha. El Índice de Grado no manifestó diferencias significativas por el efecto de la fertilización con P o K. Al igual que en el rendimiento, las interacciones entre NP y NK fueron significativas para el Índice de Grado, atribuyéndose al efecto del N. Tampoco se encontraron interacciones significativas entre P y K.

Tabla 3. Rendimiento (promedio 4 años), análisis foliar (1 año) y relación Beneficio/Inversión por efecto del fertilizante en cada tratamiento analizado en los ensayos en La Invernada.

Tratamiento	Rendimiento (kg/ha)	Análisis foliar (%)			B/I (%)
		N	P	K	
1	2174	3.600	0.349	5.60	
2	2391	3.866	0.335	5.40	2.76
3	2168	4.100	0.403	6.00	-0.49
4	2260	3.878	0.384	5.20	0.9
5	2215	3.406	0.382	5.80	0.3
6	2221	4.772	0.440	5.80	0.1
7	2713	4.626	0.373	6.40	20.6
8	2775	4.346	0.383	6.20	9.5
9	2750	3.120	0.330	5.60	5.7
10	2866	4.413	0.391	4.80	9.4
11	2818	4.877	0.431	5.80	6.2
12	2742	4.808	0.434	6.00	3.7
13	2749	4.880	0.479	4.60	12.9
14	2749	5.266	0.438	5.40	8
15	2792	4.539	0.416	5.20	5.6
16	2822	4.615	0.419	5.60	7.5
17	2804	4.928	0.488	5.40	5.9
18	2906	5.076	0.462	6.00	4.4

Análisis foliar

Los análisis foliares indicaron un valor de 3.97% de N en las hojas de las parcelas sin fertilización y un incremento de 0.80% en las hojas de las parcelas fertilizadas con 100 kg N/ha y de 0.94% en las parcelas fertilizadas con 150 kg N/ha (Tabla 3). La concentración de P en la hoja se incrementó sólo un 0.03% cuando las parcelas se fertilizaron con 140 kg P/ha, con respecto a la concentración de las hojas de las parcelas sin P aplicado de 0.39%. Las parcelas fertilizadas con 50 kg K/ha incrementaron 0.29% la concentración de K en la hoja, mientras que las hojas de las parcelas fertilizadas con 140 kg K/ha presentaron una disminución del porcentaje de K de 0.07% con respecto a las muestras de las parcelas sin K aplicado con una concentración de 5.42%.

Indicadores Económicos

Si bien el tabaco es un cultivo de buenos márgenes económicos, también podemos decir que es un cultivo de altos gastos operativos o costos variables. Por otro lado, existen otros factores importantes a tener en cuenta como la escala de producción y la normal forma de cobro del producto, debido a que influyen en la disponibilidad para la compra de insumos imputables a gastos operativos o costos variables. Se asume un mayor riesgo en la medida que estos costos variables puedan incrementarse de 66 ó 99 \$/ha (Tratamientos 7 y 13), usando N, a 361 ó 400 \$/ha aplicando N, P y K (Tratamientos 12 y 18), con los valores de las dosis tomados en los años que se efectuaron las experiencias (Tabla 4).

La relación Beneficio/Inversión (B/I) por el efecto

Tabla 4. Significancia económica del uso de fertilizante; gasto, rango de índice de valor agronómico y riesgo de los tratamientos en La Invernada.

Tratamiento	Significancia Económica	Gasto	Rango	Orden de Rango	Riesgo
	\$	\$			%
1			109		
2	168	102	154		
3	-441	286			
4	-20	96			
5	-147	198			
6	-363	382			
7	1282	66	114	3	5
8	1225	146	146		
9	1221	262	130		
10	1473	177	130	5	12
11	1246	244	129	4	20
12	967	361	143		
13	1162	99	151		
14	1119	197	111	2	18
15	1290	284	131		
16	1273	197	124		
17	1278	266	132		
18	1365	400	98	1	29

fertilizante es diferente en cada caso, dependiendo del precio del fertilizante, las dosis de nutrientes aplicadas, la fuente, los rendimientos y la calidad lograda en el producto que está directamente relacionada con el precio (Tabla 3). Este análisis nos indica que la mayoría de las dosis de fertilizantes son rentables, a excepción de la aplicación de K en 140 kg/ha. La mayor relación Beneficio/ Inversión corresponde a la dosis de N en 100 y 150 kg/ha empleando como fuente nitrato de amonio.

Todas las dosis, a excepción de los tratamientos 3, 4, 5 y 6, tienen significancia económica porque el valor promedio de margen del efecto de las dosis es mayor que el costo de las dosis (Tabla 4). Si ubicamos los tratamientos en una matriz para evaluar la adopción de una dosis de fertilizantes basándose en la significancia estadística y económica, podemos observar que tenemos tratamientos con diferencias estadísticamente significativas y con significancia económica (Tabla 5). Para decidir qué dosis y nutrientes aplicar en suelos similares a los de este ensayo, consideramos los tratamientos que tuvieron significancia estadística y económica. Los tratamientos de menor rango nos indican una menor dispersión del índice de valor agronómico en los cuatro años del estudio. De la selección de los 5 tratamientos de menor rango, calculamos el riesgo que se está dispuesto a asumir para obtener los beneficios indicados en la significancia económica por el efecto del fertilizante (Tabla 5).

Este análisis nos permite observar que si bien la fertilización con NPK (18) indica resultados de índice de valor agronómico menos dispersos (98), es necesario tener la disponibilidad necesaria para la inversión en fertilizante en el momento de realizar esta práctica (\$400) y asumir un mayor riesgo (29%). La fertilización con N (7) tiene un valor de rango de índice de valor agronómico mayor (114), es necesaria una menor disponibilidad en el momento de realizar esta práctica (\$66) y se asume un menor riesgo (5%). La diferencia a favor de la fertilización con NPK es de \$83.

Resultados en lotes comerciales

Para validar los resultados del experimento en La Invernada, se presentan los resultados de lotes co-

Tabla 5. Matriz para evaluar la adopción de una dosis basándose en la significancia estadística del índice de valor agronómico referida al testigo y la significancia económica.

		SIGNIFICANCIA ESTADÍSTICA	
		SI	NO
SIGNIFICANCIA ECONÓMICA	SI	(18,17,10,9,11,15, 8,7,16,14,12,13) A*	2 B
	NO		(5, 4, 6, 3) C

* Los tratamientos fueron ordenados según la separación de medias, y letras distintas entre tratamientos indican diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

merciales (Tabla 6). Estos resultados en lotes comerciales permiten observar que no existen diferencias estadísticas significativas de rendimiento entre lotes fertilizados con N ó NPK, en suelos como los analizados donde se realizó el cultivo, a excepción de lotes en La Calera, en La Invernada y en Graneros.

Los análisis de hojas del lote comercial de la localidad de La Invernada indican un valor de 0.46% de P y 8% de K en muestras tomadas de la macroparcela fertilizada con NPK y 0.47% de P y 6.9% de K en las muestras tomadas de la macroparcela fertilizada con N. En este caso, la concentración de P no manifestó variaciones en la hoja y el K se incrementó 1.4% a favor de la parcela fertilizada con N-P-K. Las hojas del lote de La Calera contenían 0.42% de P y 5.7% de K en la parcela fertilizada con N-P-K y 0.35% de P y 6.7% de K en la parcela fertilizada con N. En este caso el P aumentó un 20% en la hoja y el K disminuyó un 17% en la parcela fertilizada con N-P-K. Un lote de la localidad de Graneros indica resultados significativamente diferentes a favor de la fertilización con N y, en este caso, el P en el suelo era de 62.4

mg/kg y el K de 1.43 meq/100 g de suelo.

La calidad comercial medida por el Índice de Grado se manifiesta con diferencias estadísticas significativas a favor de la fertilización con N, P y K como lo indica la media de la campaña 1999-2000. Sin embargo, si observamos las medias de las dos campañas, indican diferencias estadísticas no significativas, tanto para rendimiento como para calidad medida por el índice de grado y pesos obtenidos.

Los rendimientos de tabaco tienen una correlación positiva con el contenido de materia orgánica en lotes fertilizados con N y NPK, esto puede ser porque la materia orgánica es la gran reserva de N orgánico del suelo y el tabaco responde en mayor medida a este nutriente (Fig. 1).

La concentración de P y K en hojas presentó variaciones, las que podrían deberse a distintos factores como el contenido de P en el suelo, la fertilización con P, el pH y la temperatura del suelo entre otros. Los porcentajes de P para los tratamientos con N y NPK se ubicaron por encima del valor crítico de 0.22% y se correlacionaron positivamente con las concentraciones de P en el suelo

Tabla 6. Rendimientos, valor e Índice de Grado en parcelas de lotes comerciales.

Productor	Tratamiento	Rendimiento		Valor		Índice de Grado	
		(g/parcela)		(\$/kg)			
DEL	N	5676	A	5406	A	0.66	B
La Invernada	NPK	5710	A	6032	A	0.72	A
GAR	N	6146	A	6857	A	0.77	A
El Porvenir	NPK	6210	A	7109	A	0.79	A
ALV	N	5425	A	5246	A	0.67	A
La Invernada	NPK	5763	A	4993	A	0.60	B
LEI	N	4086	A	3388	A	0.57	B
La Invernada	NPK	4003	A	3611	A	0.62	A
POB	N	3958	A	3043	A	0.53	A
La Invernada	NPK	4501	A	3771	A	0.56	A
RIS	N	6000	A	4757	A	0.54	B
Graneros	NPK	5216	B	5082	A	0.67	A
SIG	N	5843	A	5219	A	0.61	A
Los Pizarros	NPK	5216	A	4567	A	0.59	B
MEDIA	N	5305	A	4845	A	0.62	B
1999-2000	NPK	5231	A	5024	A	0.65	A
IBA	N	4876	B	5013	A	0.76	A
La Calera	NPK	5236	A	5248	A	0.69	A
GOM	N	4596	A	4681	A	0.69	A
La Invernada	NPK	3880	B	3853	B	0.69	A
GRA	N	4353	A	4144	A	0.66	A
La Invernada	NPK	3800	A	3589	A	0.65	A
IBA	N	4611	A	4457	A	0.66	A
La Invernada	NPK	4946	A	4987	A	0.70	A
LAZ	N	5033	A	5381	A	0.73	A
Los Pizarros	NPK	5183	A	4667	A	0.62	B
MAN	N	4850	A	4358	B	0.62	B
La Cocha	NPK	5316	A	5664	A	0.73	A
MEN	N	4356	A	4188	A	0.66	A
Marapa	NPK	5400	A	5336	A	0.67	A
MEDIA	N	4668	A	4603	A	0.68	A
2000-2001	NPK	4823	A	4763	A	0.68	A
MEDIA	N	4986	A	4724	A	0.65	A
1999-2001	NPK	5027	A	4894	A	0.66	A

Los tratamientos que presentan la misma letra no muestran diferencias significativas.

($r=0.76$ y 0.74 , respectivamente).

Los porcentajes de K en hoja para los tratamientos N y NPK superaron el nivel crítico de 5% y no se correlacionaron significativamente con los niveles de K en el suelo ($r=-0.26$ y 0.41 para los tratamientos N y NPK, respectivamente).

Si bien el pH se encuentra dentro del rango óptimo para tabaco, valores superiores a 6 podrían producir una insolubilización del P y no manifestar un incremento en las hojas como indican las investigaciones citadas en

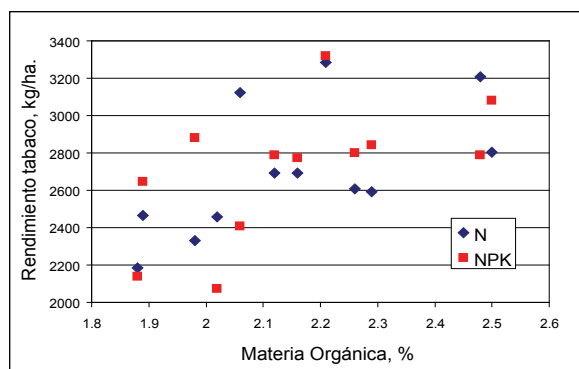


Fig. 1. Relación entre los rendimientos de tabaco Burley fertilizado con N o NPK y el porcentaje de materia orgánica del suelo. Coeficientes de correlación (r) de 0.65 para tratamientos N y de 0.59 para tratamientos NPK.

Tobacco Information (1985). Estas variaciones de P y K se encuentran dentro de los valores normales de estos nutrientes en la hoja de tabaco como lo indican en otros trabajos de investigación (Tobacco Information, 1985). Los porcentajes de alcaloides totales se encontraron dentro del rango deseado (2.6 - 4.6%) en todos los pisos foliares (bajeras, medianas, superiores y coronas), tanto en la fertilización con N como con NPK (Fig. 2); presentando menores porcentajes en las hojas de las plantas fertilizadas con N, lo que pro-

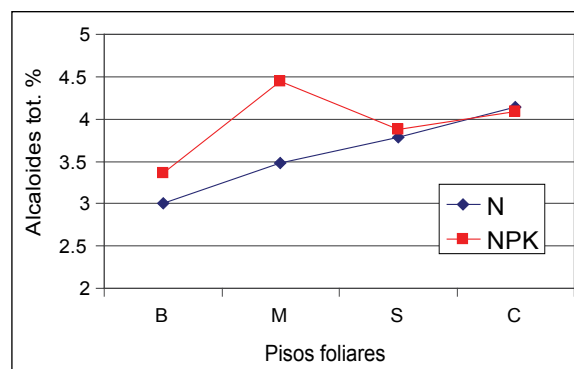


Fig. 2. Valores medios de alcaloides totales del total de macroparcelas para los distintos pisos foliares de la planta de tabaco Burley. B = bajeras, M = medianas, S = superiores y C = coronas. Los valores límites aceptables se encuentran entre 2.6 y 4.6%.

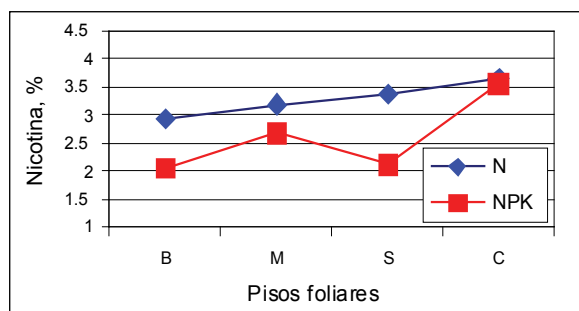


Fig. 3. Porcentajes de nicotina para los distintos pisos foliares de la planta de tabaco Burley B = bajeras, M = medianas, S = superiores y C = coronas. Los valores límites aceptables se encuentran entre 3.5 y 4.5%

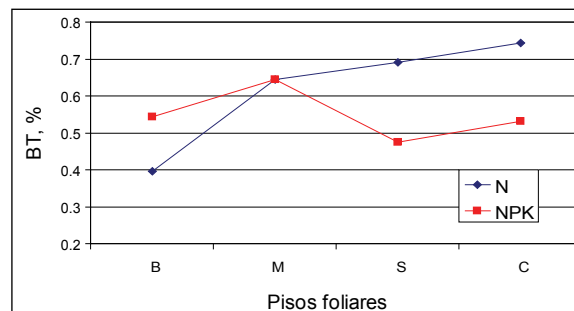


Fig. 4. Porcentajes de bases totales volátiles (BT) para los distintos pisos foliares de la planta de tabaco Burley: B = bajeras, M = medianas, S = superiores y C = coronas. Los valores límites aceptables se encuentran entre 0.4 y 0.8%

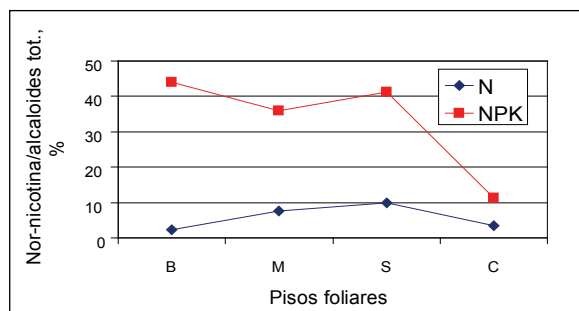


Fig. 5. Porcentajes de nornicotina sobre alcaloides totales para los distintos pisos foliares de la planta de tabaco Burley: B = bajeras, M = medianas, S = superiores y C = coronas. Son deseables porcentajes de nornicotina menores al 10% de alcaloides totales.

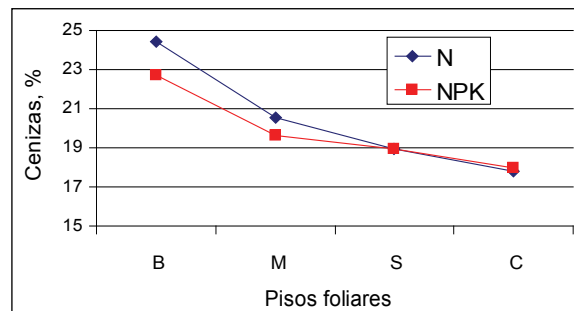


Fig. 6. Valores de cenizas para los distintos pisos foliares de la planta de tabaco Burley: B = bajeras, M = medianas, S = superiores y C = coronas. Los valores límites aceptables se encuentran entre 17 y 23%.

duce un menor efecto irritante y áspero en el acto de fumar. No obstante, los valores de nicotina, si bien se ubicaron dentro del rango aceptable (3.5 - 4.5%), las hojas de las parcelas fertilizadas con NPK presentaron valores menores ubicados en el límite inferior crítico, lo que podría producir un efecto insulso y desabrido en el acto de fumar (Fig. 3).

Las bases volátiles totales (BT) indican características de cuerpo, aroma y madurez del tabaco. Las concentraciones se ubicaron dentro del rango deseable (0.4 - 0.8%), con valores mayores en las hojas de plantas fertilizadas con N ubicadas en los pisos foliares superiores y coronas. No hubo diferencias entre tratamientos para las hojas de posición mediana; las hojas bajas de las plantas fertilizadas con NPK presentaron valores mayores a las fertilizadas con N solamente (Fig. 4). Proporciones de nornicotina mayores al 10% de alcaloides totales producen tabacos con características pobres en aroma. Las hojas de las plantas fertilizadas con N presentaron contenidos inferiores al 10% de alcaloides totales, lo que indica hojas de mejor sabor y aroma en el acto de fumar (Fig. 5).

El contenido de cenizas totales se ubicó dentro del rango deseable para tabaco tipo Burley (entre 17 y 23%), con pequeñas diferencias entre las hojas de las plantas fertilizadas con N ó NPK, observándose valores elevados en las hojas bajas de las plantas fertilizadas con N, lo que hace que tengan propiedades de rápida combustibilidad (Fig. 6).

Conclusiones

- Los suelos en los lotes en que se llevaron a cabo las experiencias tienen una concentración de P y K de 49.9 mg/kg y 1.23 meq/100 g de suelo, respectivamente, considerándose niveles óptimos para el desarrollo del cultivo de tabaco Burley. Es decir que se trata de suelos bien provistos de estos nutrientes, lo que nos impide establecer niveles críticos de P y K para los cuales sería prioritario fertilizar con estos nutrientes.
- Según los resultados analizados en estas condiciones, los rendimientos y la calidad del tabaco tipo Burley se incrementaron cuando se fertilizó con N. Se pudo lograr incrementos del rendimiento y de la calidad del tabaco sin llegar a diferencias estadísticamente significativas cuando se fertilizó con NP, NK y NPK, asumiendo un mayor riesgo.
- La fertilización del tabaco tipo Burley con N, NP, NK y NPK tuvo significancia económica, pues el impacto del fertilizante sobre el rendimiento fue mayor que el precio del mismo.
- La fertilización con NPK (Tratamiento 18) manifestó una menor dispersión del Índice de Valor Agronómico en los años del estudio, lo que indica una mayor posibilidad de lograr el incremento observado con este tratamiento.
- La concentración de P y K en la hoja "curada" estuvo por arriba del nivel crítico en todos los suelos del estudio, independientemente se hayan fertilizado con N ó NPK.
- Hubo una correlación positiva entre el contenido

de materia orgánica de los suelos y el rendimiento del tabaco independientemente se hayan fertilizado con N ó NPK: a mayor contenido de materia orgánica, mayor rendimiento por hectárea.

- Los valores de alcaloides totales, nicotina, bases volátiles totales y cenizas en las hojas de tabaco Burley se encontraron dentro de los rangos aceptables, tanto las fertilizadas con N como las fertilizadas con NPK.
- Los valores de nornicotina en la hoja se encontraron por debajo del 10% de alcaloides totales en todos los pisos foliares en los lotes fertilizados con N.

Agradecimientos

Agradecemos la colaboración de la Sección Economía Agrícola de la EE Obispo Colombes.

Bibliografía citada

- Andersson G. H.** 1996. Ensayo de Eficacia de Fertilización Fosforada en Tabaco Burley. Convenio Cooperativa de Misiones Ltda. y Vinexport S.A.. Misiones.
- Andersson G.H. y R.R. Rodriguez.** 1995. Ensayos de Fertilización en Tabaco Burley. Convenio Cooperativa de Misiones Ltda. y Vinexport S.A. Misiones.
- Aso P.J., M. Casanova, A. Villares.** 1992. La Fertilización del Tabaco Burley. Avance Agroindustrial Año 13, N°50.
- Aso P.J. y K. Girginer.** 1979. Experiencias de Fertilización en Tabaco Burley. V Reunión Técnica Nacional de Tabaco. Estación Experimental Agroindustrial "Obispo Colombes". Tucumán-Argentina.
- Choteau J. y D. Fauconnier.** 1993. Fertilizando para Alta Calidad y Rendimiento Tabaco. Traducción R. Melgar. IPI Boletín 11. 14-15p Instituto Internacional de la Potasa. Basilea, Suiza.
- de Montero F. y García de Valdivia.** 1942. Tabacos Oscuros y Tabacos Claros en España. Ministerio de Agricultura. Sección de Publicaciones, Prensa y Propaganda. Graficas Uguina.- Meléndez Valdés 7. Madrid.
- Figueroa M.** 1997. Tabaco. La Importancia de la Calidad. Fertilizar N°9. 20-23p.
- Furney T.A.** 1984. Plan Fertilization Program with Care. Burley Tobacco Update and Calendar for 1984. 28-31p. EE.UU.
- Hicks D.R., R.M. Vanden Heuvel y Z.Q. Fore.** 1997. Analysis and practical use of information from on-farm strip trials. Better Crops 81:18-21.
- Márquez Jiménez.** 1977. Recopilación sobre la relación contenido potásico/calidad del tabaco. Instituto Tecnológico del Tabaco. Ministerio de Agricultura. Anales del Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Serie: Tecnología Agraria. Separata núm. 10. Núm.4.
- Parks W.L., B.C. Nichols, R.L. Davis, E.J. Chapman y J.H. Felts.** 1963. Response of Burley Tobacco to Irrigation and Nitrogen. The University of Tennessee Agricultural Experiment Station Knoxville in cooperation with Crops Reserch Division Agricultural Reserch Service U.S. Department of Agriculture. Bulletin 368.
- Tobacco Handbook.** 1981. Tobacco Fertilization. University of Kentucky – College of Agriculture- Cooperative Extension Service. Pp. 14-21. EE.UU.
- Tobacco Information.** 1985. Fertilization. Pp. 16-34. The North Carolina Agricultural Extension Service. EE.UU. ■

BASES ECOFISIOLÓGICAS PARA EL MANEJO DEL AGUA EN CULTIVOS PARA GRANO CONDUCCIDOS EN SECANO

María E. Otegui

Facultad de Agronomía UBA, IFEVA-CONICET, Av. San Martín 4453, Buenos Aires (Argentina)
otegui@agro.uba.ar

Introducción

La producción de cultivos extensivos de grano persigue la cosecha de una parte de la biomasa total producida durante el ciclo de crecimiento. Dicha biomasa es el resultado final de la captura de recursos (CO_2 , agua y nutrientes) por parte de las plantas, la cual tiene como principal fuerza motriz a la radiación solar a través de su participación en los procesos de fotosíntesis y transpiración. En condiciones normales de producción, todos los cultivos extensivos se ven expuestos en algún momento de su ciclo a condiciones de demanda atmosférica que normalmente determinan una absorción de agua insuficiente para compensar las pérdidas por transpiración, dando lugar a deficiencias hídricas. A continuación se discutirán los principales factores que determinan los requerimientos hídricos por parte de los cultivos y los efectos que las deficiencias hídricas tienen sobre su productividad, poniendo especial énfasis en las condiciones de producción de los ambientes pampeanos húmedos de Argentina. Se destacarán los factores que condicionan la capacidad de los cultivos para satisfacer la demanda atmosférica de agua, especialmente aquellos asociados con los distintos tipos de suelo y de manejo.

Rendimiento potencial de los cultivos

Definimos como rendimiento potencial a aquel que para cada especie se obtiene en un ambiente dado en ausencia de estreses abióticos y bióticos. En estas condiciones, el rendimiento depende de la capacidad de fijar carbono a través de la fotosíntesis, la cual estará regulada por la cantidad de radiación que el cultivo sea capaz de interceptar (asumimos al CO_2 como un recurso de oferta constante por parte de la atmósfera y no sujeto a modificaciones significativas en el corto plazo). En este contexto, las diferentes especies hacen un aprovechamiento diferencial de la radiación incidente (Fig. 1A).

En el caso de trigo con siembra de junio, las mayores capturas de luz tienen lugar en primavera, con valores de irradiancia intermedios y temperaturas frescas que dan lugar a una relación fotothermal apropiada para esta especie. Las siembras tempranas de los cultivos estivales (maíz en inicios de septiembre y soja a mediados de octubre) permiten que los períodos de máxima captura de luz coincidan con los de máxima irradiancia, y aunque las temperaturas también sean entonces elevadas en la región Pampeana, aún se encuentran dentro de rangos óptimos para el crecimiento de ambas especies.

Simultáneamente a la expansión del área foliar para la captura de luz tienen lugar la profundización (Fig. 1A) y proliferación de raíces, que se maximizarán hacia floración y garantizarán la provisión de agua y nutrientes a lo largo del ciclo de los cultivos. En la etapa de prefloración, la biomasa producida se distribuye principalmente entre los destinos vegetativos en expansión (hojas y raíces). A partir de floración adquiere relevancia (o casi exclusividad) el crecimiento de los granos (Fig. 1B). A madurez, para la producción de 6000 kg/ha de trigo habrá sido necesaria una absorción de aproximadamente 180 kg de N/ha y un consumo de agua de aproximadamente 450 mm (Fig. 1C). Estos requerimientos serán muy superiores para la producción de maíz y soja, aunque en el caso

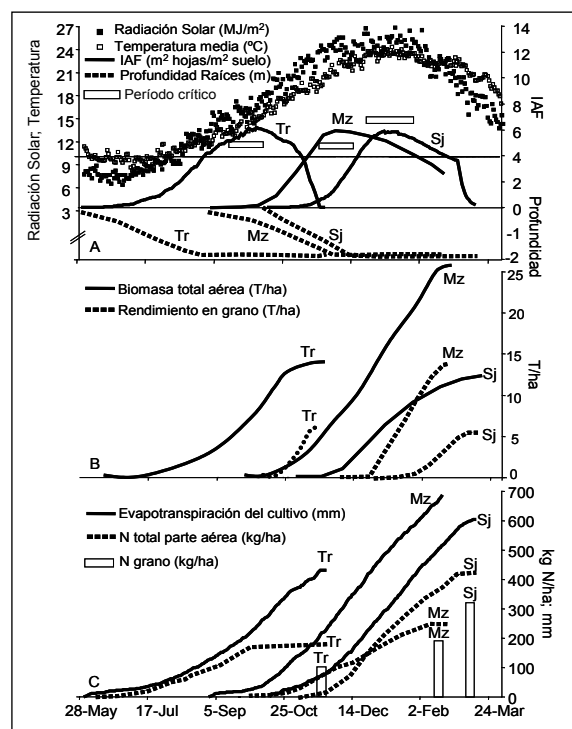


Figura 1. (A) Condiciones de crecimiento durante el ciclo para cultivos de trigo (Tr), maíz (Mz) y soja grupo IV (Sj) en la zona de Pergamino. Se presenta la evolución del índice de área foliar (IAF) y la profundización de raíces. La línea punteada horizontal indica un valor de IAF (aprox. 4) que garantiza elevados niveles de intercepción de luz (>90%). Las barras rayadas horizontales representan la extensión del período crítico de cada especie. (B) Producción de biomasa total y rendimiento en grano de los tres cultivos. (C) Consumo de agua y contenido de nitrógeno de los tres cultivos. Los datos son representativos de ambientes con buena provisión de agua y N.

de la oleaginosa la mayor parte del N provendrá de la fijación simbiótica. Los mayores niveles de irradiancia, que determinan mayor fijación de C, también implican un aumento de la demanda evaporativa, que con buena provisión hídrica se traduce en mayores consumos de agua (Fig. 1C).

Demanda de agua y evapotranspiración del cultivo

La demanda atmosférica es inherente a cada ambiente y se caracteriza a través de la evapotranspiración potencial (ET_0). La principal fuerza motriz de la demanda es la cantidad de radiación solar que alcanza la superficie terrestre, fuente de la energía necesaria para promover el cambio de estado del agua de líquido (en el suelo y las plantas) a gaseoso (en la atmósfera). Factores como el viento y la humedad del aire también condicionan este cambio de estado. La ET_0 puede ser (i) medida a partir de lisímetros, en los cuales se utilizan cultivos de referencia como alfalfa o pasturas, o (ii) estimada con tanques de evaporación o a partir de datos meteorológicos. La ET_0 medida en lisímetros está disponible sólo en pocas localidades, por lo cual habitualmente debe ser estimada.

En condiciones de buena provisión hídrica, el consumo de agua por parte de los cultivos (ET_c) se encuentra fuertemente relacionado con su cobertura, representada por el IAF. Este consumo reconoce dos fracciones, la transpiración desde las plantas (T) y la evaporación desde el suelo (E_s). La proporción correspondiente a cada una varía con el IAF y con el contenido de humedad del horizonte superficial (Fig. 2A). Consecuentemente, la mayor parte de la E_s registrada a lo largo del ciclo de un cultivo tiene lugar durante las primeras etapas del mismo y está asociada con la baja cobertura del suelo (Fig. 2B). Lo opuesto ocurre con la componente transpiratoria. La relación entre la ET_c y la ET_0 representa el coeficiente de cultivo o K_c , que adquiere valores cercanos o superiores a 1 durante las etapas de máxima cobertura del suelo. En la mayoría de las especies de interés, estas etapas suelen coincidir con los períodos más asociados a la determinación del rendimiento.

Oferta de agua

La oferta de agua para los cultivos varía fuertemente entre ambientes, en función de la cantidad de precipitaciones propia de cada sitio y su distribución a lo largo del año. Este aspecto, en combinación con el tipo de suelo, condiciona el tipo de cultivo a realizar en condiciones de secano. La habilidad de un cultivo para crecer y producir un rendimiento cosechable en áreas sujetas a sequías periódicas reconoce dos grandes estrategias, el escape al déficit o la tolerancia al mismo. Sin duda, uno de los aspectos más importantes para el éxito de un cultivo en un ambiente con deficiencias hídricas es la adecuación de su ciclo a los cambios temporales de disponibilidad hídrica, especialmente la ubicación de sus *períodos críticos* para la determinación del rendimiento fuera de los momentos de mayor estrés. Así, una de las formas de escape se basa en un rápido desarrollo fenológico, que le permite a la especie cumplir su ciclo en períodos con condiciones hídricas favorables para el crecimiento. Esta estrategia es importante en ambientes con sequías terminales, que tienen lugar a continuación de un período de crecimiento más o menos prolongado (climas mediterráneos y monzónicos), durante el cual la disponibilidad hídrica es siempre adecuada. También se opta por el escape a un déficit cuando se siembra tardíamente, ubicando las etapas vegetativas tempranas durante el período de mayor demanda y los estadios más críticos (vegetativos tardíos prefloración) para la determinación del rendimiento una vez recuperado el balance hídrico positivo. La siembra tardía de maíz y girasol en la región pampeana sería un ejemplo de esta opción de adecuación del ciclo a la oferta del ambiente. La estrategia de tolerancia, que no es excluyente de la anterior e incluye diversos mecanismos, es importante en ambientes donde los períodos de déficit hídrico pueden ocurrir en cualquier momento durante la estación de crecimiento. Esta situación es característica de muchas áreas agrícolas del mundo, donde la cantidad total de precipitaciones supera los requerimientos hídricos de los cultivos pero la variabilidad intra-estacional es grande. La región pampeana se encuentra dentro de este último grupo.

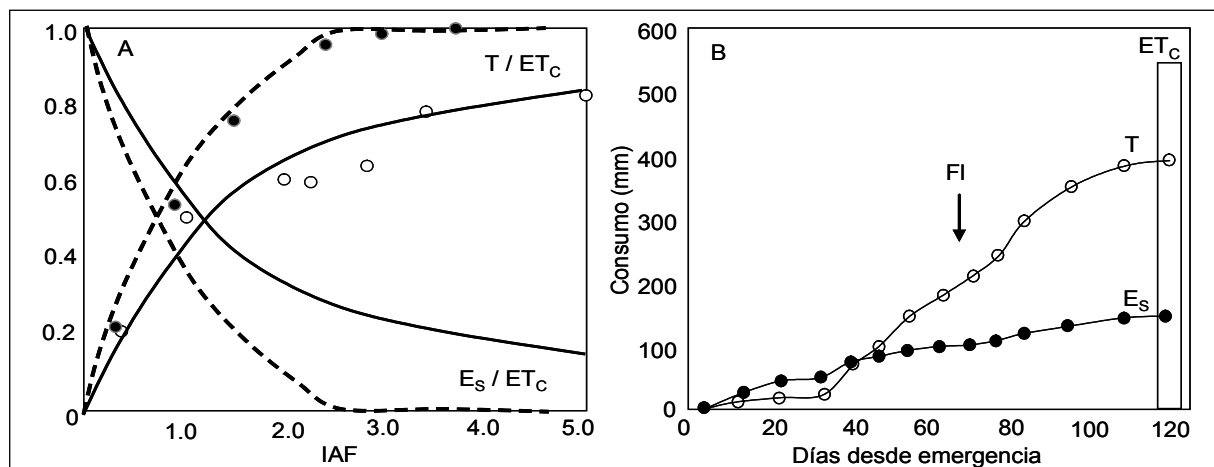


Figura 2. (A) Respuesta de la transpiración (T) y la evaporación del suelo (E_s) al índice de área foliar (IAF) de un cultivo de maíz expresada como proporción de la evapotranspiración del cultivo (ET_c). Las líneas punteadas corresponden a una condición de superficie de suelo seca y las llenas a una condición de superficie de suelo húmeda. (B) Evolución acumulada de la T y la E_s . La barra vertical final representa la ET_c y la flecha indica el momento de floración. Los datos corresponden a cultivos de maíz de siembra temprana en el sudeste de Buenos Aires.

A la oferta hídrica representada por el régimen de precipitaciones se suma la máxima cantidad de agua disponible para un cultivo que el suelo puede almacenar. Esta cantidad es la que se encuentra retenida entre los potenciales correspondientes al límite superior o capacidad de campo (CC) y el límite inferior o punto de marchitez permanente (PMP). Estos límites, pero no tanto la cantidad de agua extraíble, varían considerablemente con la textura del suelo. Valores típicos de agua extraíble están en el rango de 130-140 mm por metro de perfil, excepto en suelos arenosos donde el agua extraíble alcanza sólo unos 80 mm. Por lo tanto, en la mayoría de los suelos de la región Pampeana sin limitaciones físicas o químicas, el agua total extraíble es similar. Esto, sin embargo, no significa igual disponibilidad para los cultivos. El potencial agua del suelo para la extracción de cada mm de agua remanente cae en forma más pronunciada en las texturas finas (arcillosos) que en las gruesas (arenosos). Así, en los primeros, los cultivos pueden quedar expuestos a condiciones de estrés aún con contenidos elevados de agua disponible, hecho que será más frecuente en ambientes de elevada demanda.

Absorción de agua, relación oferta-demanda y eficiencia en el uso del agua.

La absorción de agua que puede realizar un cultivo bajo condiciones limitantes de agua depende de (i) factores del suelo, como la cantidad de agua disponible para las plantas y la conductividad hidráulica, (ii) del cultivo, como la densidad y profundidad de las raíces, la conductancia hidráulica de los tejidos vasculares y rasgos tales como la capacidad de ajuste osmótico, y (iii) de la intensidad de la demanda. En suelos sin impedancias al crecimiento (ej. tosca), la profundidad de raíces de todas las especies de grano estudiadas alcanzará los 2 m de profundidad (Fig. 3A), pero el patrón de extracción de agua dependerá de la disponibilidad del recurso a lo largo del ciclo (Fig. 3B). En caso de restricciones hídricas, el aprovechamiento del agua disponible variará con cada cultivo (Fig. 3C) y con el tipo de suelo considerado (Fig. 3D). En estas condiciones se puede verificar una mayor participación de los horizontes profundos en el consumo total de agua del cultivo, que variará a su vez con la conductividad hidráulica de cada uno.

La combinación particular de oferta hídrica, demanda atmosférica y estado ontogénico condiciona el umbral del contenido hídrico del suelo en el cual se manifiestan restricciones al crecimiento (Fig. 4). Estos estreses, principalmente condiciones de déficit hídrico y/o nutricional, afectarán en primera instancia la superficie fotosintetizante, a través de reducciones en la expansión foliar, el macollaje o la ramificación de las plantas, limitando el rendimiento en la medida que reducen la capacidad de captura de luz. En otras palabras, la reducción del IAF provocada por la deficiencia no necesariamente se reflejará en una reducción proporcional de la eficiencia de interceptación de luz. Estreses de mayor intensidad también pueden afectar la eficiencia de conversión de la radiación capturada en biomasa y la partición de biomasa hacia estructuras de cosecha. Así, la producción final de un cultivo se encuentra estrechamente asociada al consumo hídrico del mismo (Fig. 5). La relación entre estas variables define la eficiencia en el uso del agua (EUA), la cual varía entre

especies (ej. $C_4 > C_3$) y condiciones de crecimiento (ej. la EUA disminuye cuando existen restricciones nutricionales o al aumentar el déficit de presión de vapor).

Déficit hídrico y crecimiento de los cultivos

A campo, los cultivos experimentan durante su ciclo estreses que pueden actuar secuencial o simultáneamente. Los efectos indicados serán tanto más negativos cuanto mayor sea su incidencia (duración e intensidad) alrededor del período crítico por su efecto sobre el número de granos, principal determinante del rendimiento. Consecuentemente, las prácticas de manejo estarán fuertemente condicionadas por las condiciones de crecimiento de cada zona, especialmente el régimen hídrico (Fig. 6). Los pronósticos a largo plazo contribuirían a asistir la toma de decisiones, especialmente la elección de la especie y fecha de siembra ante fenómenos como el ENOS (*El Niño Oscilación del Sur*), cuyos efectos en la región bajo análisis suelen atenuarse de norte a sur. A modo de ejemplo, basado en un ejercicio de simulación, utilizando datos de clima y suelo correspondientes a dos años con disponibilidad hídrica contrastante y fertilización con 100 kg N/ha (Fig. 7), los rendimientos esperables difirieron en una magnitud de casi tres veces para un año clasificado como *Niña* (fuerte deficiencia hídrica) y de otro clasificado como *Neutro* (buena provisión hídrica). Importante destacar que la cantidad estimada de N absorbido por el cultivo en prefloración no difirió sustancialmente entre condiciones hídricas y representó más del 90% del N total absorbido a madurez. Sin embargo, la eficiencia agronómica (kg grano producido por kg de N disponible a la siembra más el N del fertilizante) fue casi tres veces mayor en la situación de buena oferta hídrica (75.8) que en la de sequía (26.9).

Conclusiones

El rendimiento de los cultivos de grano depende de la captura de recursos a lo largo del ciclo, la cual se encuentra fuertemente modulada por la cantidad de radiación solar incidente, fuerza motriz de los procesos de fotosíntesis y transpiración. Con las prácticas de manejo se afecta sustancialmente este balance, ya sea ubicando al cultivo en épocas de oferta contrastante (fechas de siembra, ciclo del cultivo) o alterando la cantidad total aprovechable de cada recurso (ciclo del cultivo, densidad de plantas, espaciamiento entre hileras, riego, fertilización). La estrategia para la producción de cada cultivo en cada ambiente consistirá en equilibrar la oferta y la demanda de recursos, principalmente durante los períodos críticos. Este objetivo se puede satisfacer considerando la maximización del rendimiento de un cultivo individual o bien la del sistema de producción.

Bibliografía

- Andrade F., A.G. Cirilo, S.A. Uhart y M.E. Otegui. 1996. *Ecofisiología del Cultivo de Maíz*. Editorial La Barrosa y Dekalb Press. 292 pp.
- Dardanelli J., D. Collino, M.E. Otegui y V.O. Sadras. 2003. Bases funcionales para el manejo del agua en los sistemas de producción de los cultivos de grano. En: 'Producción de Cultivos de Granos. Bases Funcionales para su Manejo'. Editorial Facultad de Agronomía. pp. 377-442.
- Loomis R.S. y D.J. Connor, 1992. *Productivity and Management in Agricultural Systems*. Crop Ecology. Cambridge University Press, Cambridge. ■

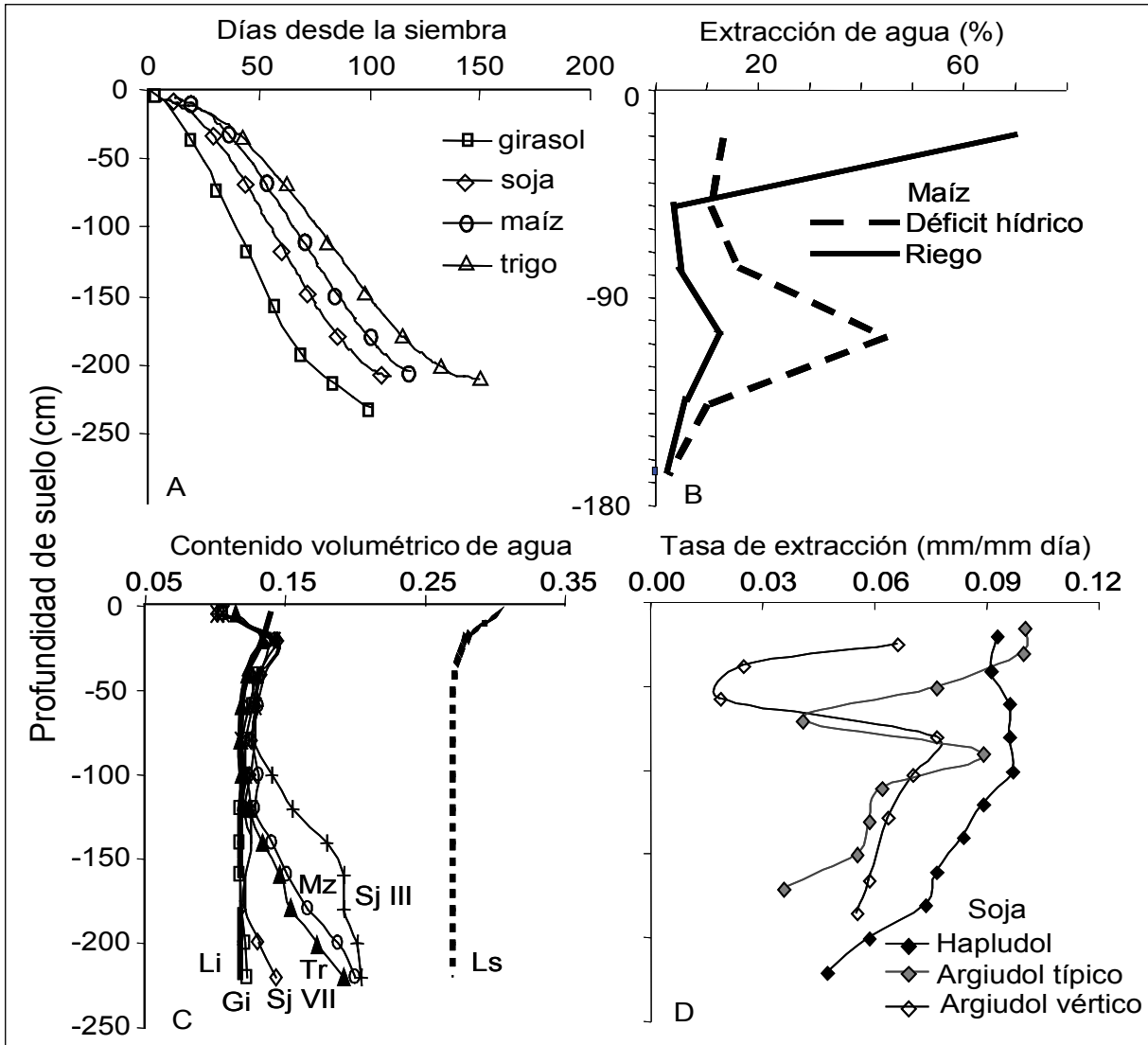


Figura 3. (A) Profundización del sistema radical de cuatro cultivos de grano. (B) Patrón de extracción de agua durante 20 días postfloración (en porcentaje respecto al consumo del período) de un cultivo de maíz en dos condiciones de provisión hídrica. (C) Contenido hídrico del suelo (Hapludol) a madurez de cultivos de soja grupo III (Sj III), maíz (Mz), trigo (Tr), soja grupo VII (Sj VII) y girasol Contiflor 3 (Gi) creciendo sin reabastecimiento de agua suelo desde prefloración tardía. Ls y Li representan los límites superior e inferior de contenido hídrico, respectivamente. (D) Tasa de extracción de agua de un cultivo de soja creciendo en tres suelos contrastantes de la región Pampeana.

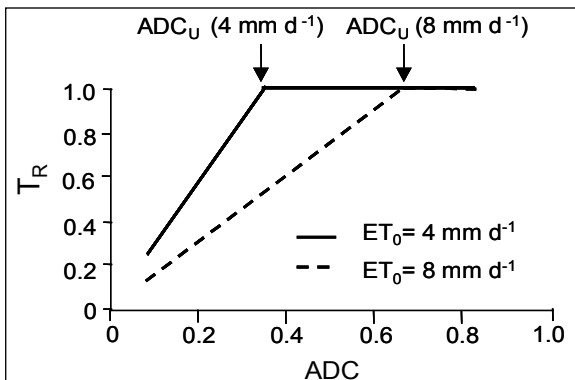


Figura 4. Relación entre la transpiración relativa (T_R) y la fracción de agua disponible para el cultivo (ADC). Las flechas señalan el umbral de ADC (ADC_U) para dos situaciones de evapotranspiración potencial (ET_0). Los datos corresponden a cultivos de girasol alrededor de floración.

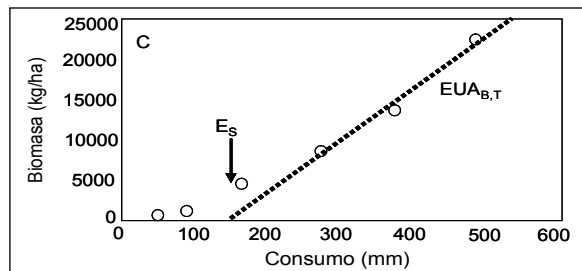


Figura 5. Relación entre la producción de biomasa y el consumo de agua de cultivos de maíz creciendo con buena oferta hídrica y nutricional en el sudeste de Buenos Aires. La flecha representa la evaporación del suelo (E_s) estimada y la pendiente de la línea punteada la eficiencia en el uso del agua transpirada para producir biomasa ($EUA_{B,T}$). Esta última corresponde al ajuste por regresión de los datos obtenidos en condición de máxima cobertura del suelo (es decir, cuando se minimiza la componente E_s).

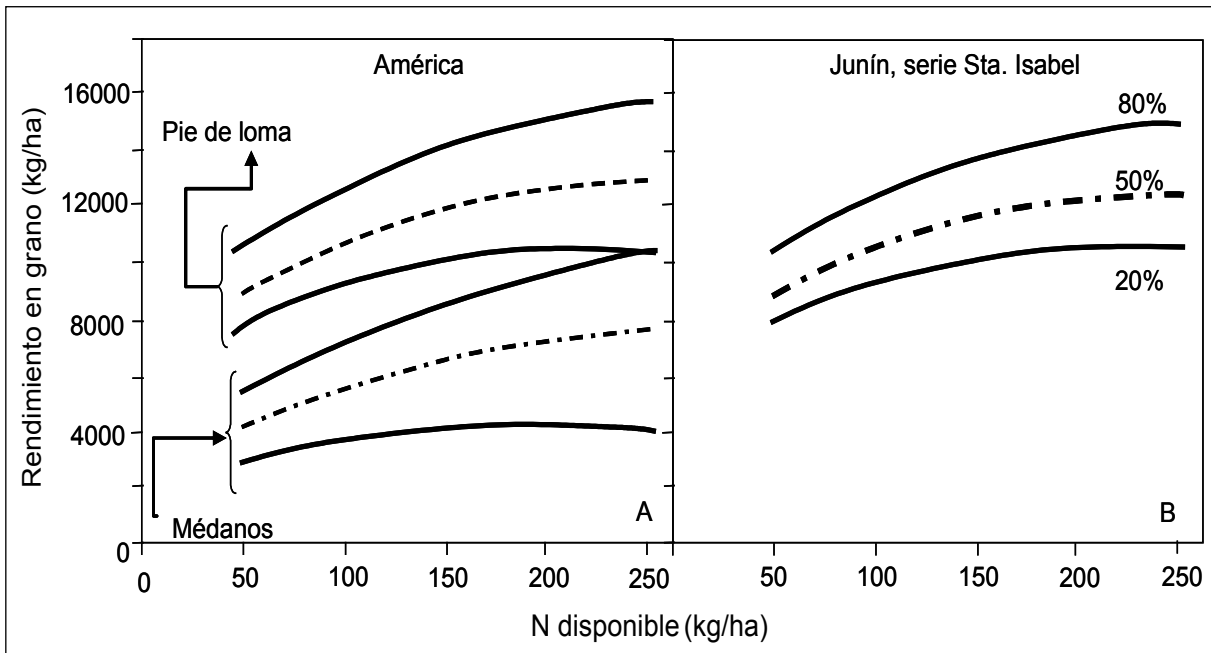


Figura 6. Rendimiento en grano de maíz (14,5% de humedad; híbrido NK900) en función del N disponible (suelo + fertilizante). (A) Condición de lomas planas bajas de América (oeste de Buenos Aires), con buen contenido hídrico a la siembra, 1,4% de C y sin restricciones de P ni S. Se compara con médanos de la misma zona, con bajo contenido hídrico, 0,5% de C y restricción de P. (B) Serie Santa Isabel en Junín (noroeste de Buenos Aires), con buen contenido hídrico, 1,7% de C y sin otras restricciones. En el 60 % de los años se obtienen rendimientos comprendidos entre las curvas representadas por el 20% y el 80%.

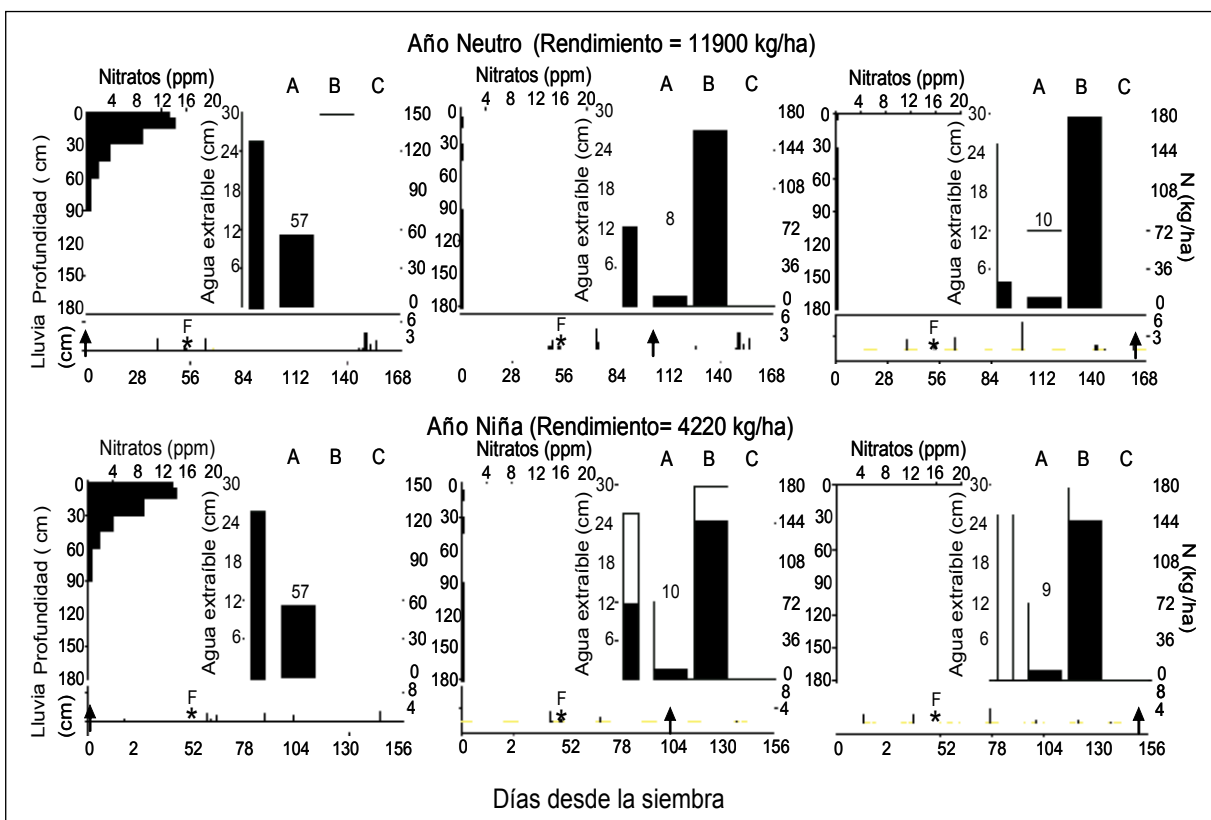


Figura 7. Evolución del agua y el N extraíble por un cultivo de maíz de siembra temprana (1-Sep) en condición de buena disponibilidad hídrica durante el ciclo (año Neutro) o de sequía (año Niña). Las flechas indican el momento de observación (siembra, floración y madurez) y el asterisco el momento de aplicación de 100 kg N/ha. A: N-NO₃ en el suelo, B: N absorbido por el cultivo, C: pérdida de N fuera de la profundidad de extracción (todos en kg N/ha).

EXTRACCIÓN DE NUTRIENTES EN LA AGRICULTURA ARGENTINA

Gustavo Adolfo Cruzate y Roberto Casas
 Instituto de Suelos, CIRN, INTA
 gcruzate@cni.inta.gov.ar; rcasas@cni.inta.gov.ar

Introducción

La evolución de los sistemas productivos en la Argentina registra un cambio hacia una agricultura continua y el desplazamiento de la frontera agrícola hacia zonas tradicionalmente mixtas o ganaderas. Asimismo, se observa el reemplazo de cultivos tradicionales tales como el maíz por otros de mayor atractivo económico como la soja que además posibilita su combinación con el ciclo del trigo de tal forma de obtener dos cosechas en un año (Casas, 2000; Díaz Zorita et al., 2003) (Fig. 1). Por otra parte, en dos décadas hubo un aumento del área sembrada de 15.400.000 ha en 1988/89 a 31.100.000 ha en 2006/07 (Mapas 1 y 2), mientras que la producción en el mismo período se ha triplicado (Fig. 2). Esto produjo una elevada extracción de nutrientes que no fueron repuestos en igual magnitud, generando procesos de degradación y agotamiento que ponen en peligro la sustentabilidad de los sistemas productivos (Casas, 2000; Martínez, 2002).

La Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes y Agroquímicos (CIAFA) consigna que la aplicación de fertilizantes en 2006 fue de 3.104.502 tn. Asimismo, en 2007/08 se registró un record de 3,7 millones de tn de consumo de fertilizantes en función de la buena relación existente entre el precio de los granos y el de los fertilizantes (Fertilizar, 2008). En 2008 se observó una marcada disminución en el uso de los insumos ya que se aplicaron sólo 2.550.060 tn de fertilizantes (consumo 31% inferior al de 2007; Fertilizar, 2009). El objetivo del presente trabajo es presentar una evaluación areal generando mapas de la extracción de nutrientes de los principales cultivos y un balance aproximado con la reposición por fertilización con la finalidad de advertir cuales serían las zonas de mayor impacto en el deterioro de la sostenibilidad de los recursos.

Materiales y métodos

En base a una búsqueda bibliográfica de trabajos referidos a la extracción de nutrientes en granos, se calcularon las cantidades promedio de nutrientes exportados por los cultivos. Para ello se utilizó información de la campaña agrícola 2006/2007 suministrada por el Sistema Integrado de Información Agropecuaria, Estimaciones Agrícolas de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación. Con los datos correspondientes a la producción de

soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz, se calculó la extracción total de nutrientes en los granos por departamento en las provincias productoras, referidas a la superficie total del departamento y a la superficie sembrada.

A partir del mapa de suelos a escala 1:500.000 de la República Argentina (INTA, 1990) se generó un mapa de áreas aptas para agricultura; integrando toda la información se superpusieron con los mapas de extracción de nutrientes (Mapa 2) mediante un Sistema de Información Geográfica para el manejo de los datos de atributos y cartográficos. Para visualizar la susceptibilidad a la degradación por pérdida de nutrientes, se elaboraron mapas por interpolación con la extracción por hectárea en cada departamento. El costo económico debido a la extracción de nutrientes se calculó con los precios de los principales fertilizantes utilizados en la Argentina a partir del valor por unidad de elemento extraído en U\$S por tn para el año 2006 (Revista Agromercado, 2006) y para el año 2008/09 (Revista Agromercado, 2009). Se utilizaron datos de cloruro de potasio (K), fosfato diamónico (P), urea granulada (N), sulfato de amonio (S) y carbonato de calcio (Ca).

Resultados y discusión

En la Tabla 1 se muestra la tasa de extracción de nutrientes que varía en función del cultivo y del rendimiento alcanzado.

En la República Argentina, la superficie sembrada de los principales cultivos en la campaña 2006/2007 (soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz) se distribuye en 15 provincias (Tabla 2 y Mapa 1).

Utilizando la producción, se calculó la cantidad de nu-

Tabla 1. Extracción promedio de nutrientes por los cultivos por tn de grano producido.

Cultivo	N (kg)	P (kg)	K (kg)	Ca (kg)	S (kg)	B (kg)
Soja	48.50	5.40	16.80	2.60	2.80	0.0070
Girasol	21.30	6.00	5.00	1.20	2.00	0.0321
Maíz	13.10	2.64	3.47	0.18	1.22	0.0044
Trigo	18.11	3.52	3.52	0.37	1.51	0.0020
Arroz	15.00	3.00	3.00	0.16	1.00	0.0080
Sorgo	20.00	4.00	4.00	0.90	2.00	0.0020

Fuentes consultadas: Cordone y Martínez, 2003; García 2003; Gudelj et al., 2000; Ventimiglia et al. 1999; Inpofos, 1999; González y Gambaudo, 2003; Ferraris 2001; IFA 1992; Campitti y García, 2009.

trientes exportados para los cultivos más importantes de la región agrícola argentina (Tabla 3). Aproximadamente la mitad del N extraído por la soja es aportado vía fijación biológica. Por lo tanto, para el cálculo del balance, en la tabla de extracción se consideró un aporte del 50% por esta vía de las 2.297.940 tn exportadas en el grano. En base a la información sobre extracción de nutrientes (Tabla 3) y de consumo (Tabla 4), se realizó

el balance de nutrientes para la campaña agrícola 2006/07 (Tabla 5).

Trabajos de Capparelli (2008) y Oliverio y López (2008) indicaron que en la campaña 2006/07 un 88% de los productores trigueros fertilizaron con N y P. También lo hicieron un 75% de los productores maiceros y muchos lotes de girasol (37%) fueron fertilizados con P y algo de N; la soja se fertilizó so-

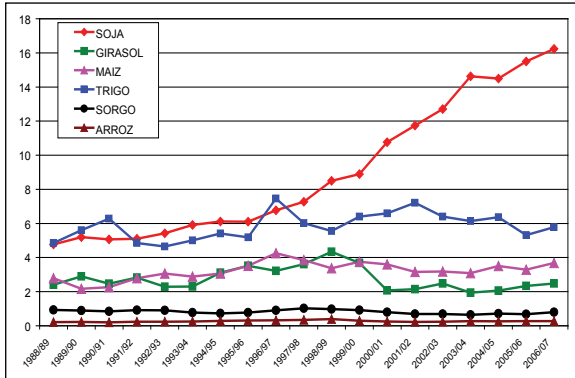


Figura 1. Evolución de la superficie sembrada con los principales cultivos agrícolas en millones de ha (Fuente: Estimaciones agrícolas SAGPyA).

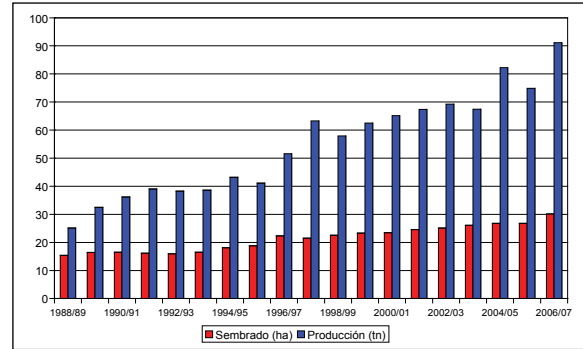
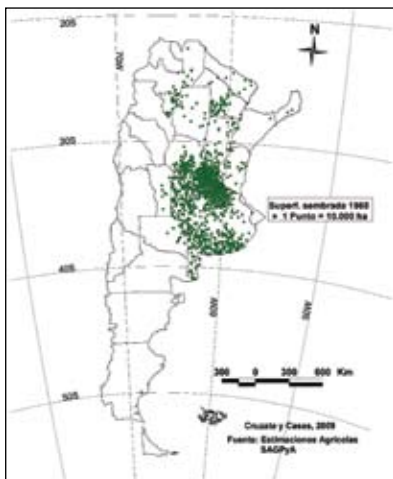
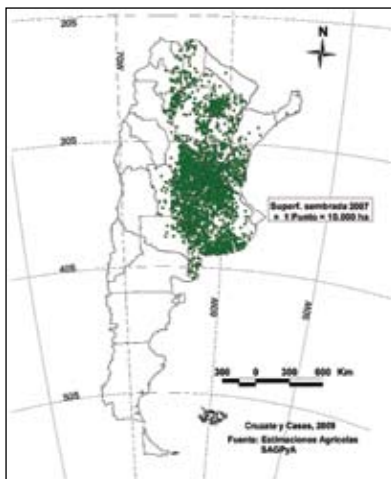


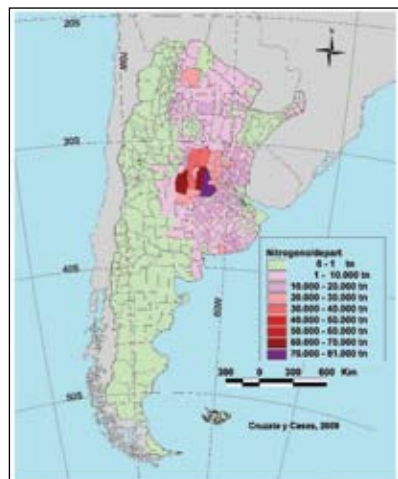
Figura 2. Superficie sembrada y producción de los principales cultivos agrícolas en millones de ha y toneladas, respectivamente (Fuente: Estimaciones agrícolas SAGPyA).



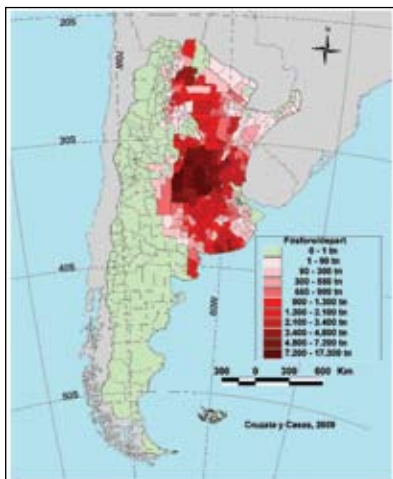
Mapa 1. Distribución de la superficie sembrada en 1988.



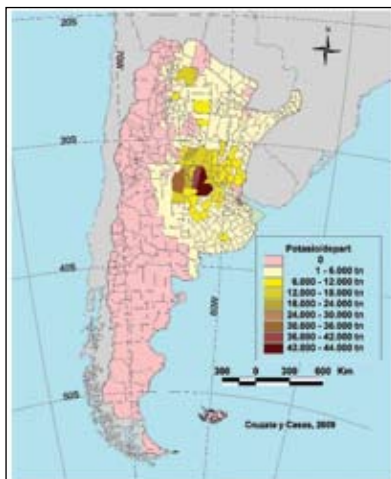
Mapa 2. Distribución de la superficie sembrada en 2007.



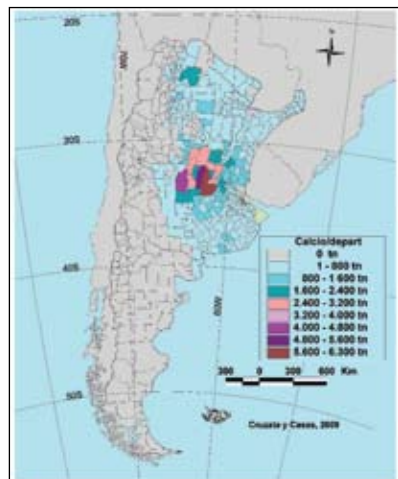
Mapa 3. Extracción total de nitrógeno en granos por departamento.



Mapa 4. Extracción total de fósforo en granos por departamento.



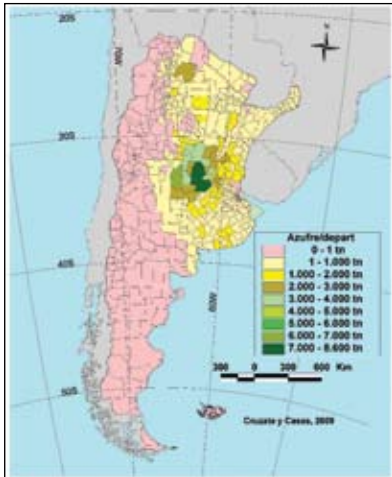
Mapa 5. Extracción total de potasio en granos por departamento.



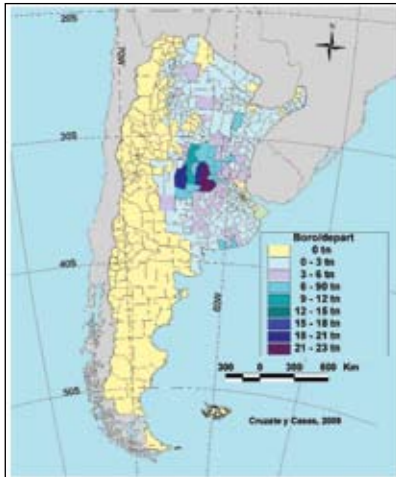
Mapa 6. Extracción total de calcio en granos por departamento.

lamente en un 40% con P. A su vez, se ha empezado a aplicar S en soja, trigo y maíz. Otros nutrientes como K y magnesio se utilizan incipientemente. De todos modos, muy pocos lotes fueron fertilizados bajo criterio de reconstrucción y mantenimiento, práctica que consiste en aplicar la cantidad de nutrientes ne-

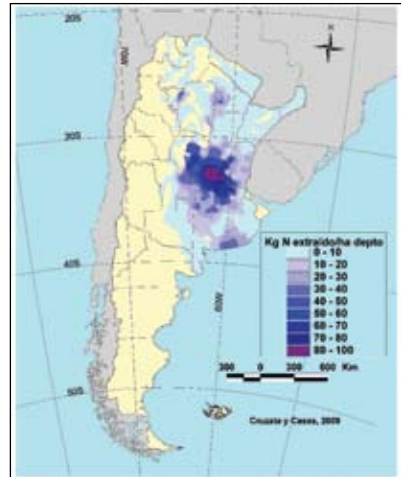
cesaria para llegar al nivel de máximo rendimiento económico y evitando balances negativos. En la Tabla 5 se observa que el porcentaje de reposición de nutrientes totales es de aproximadamente un 34% de lo extraído, con un 41% de reposición de N, 61% de P, 6% de K, 48% de Ca y 35% de S



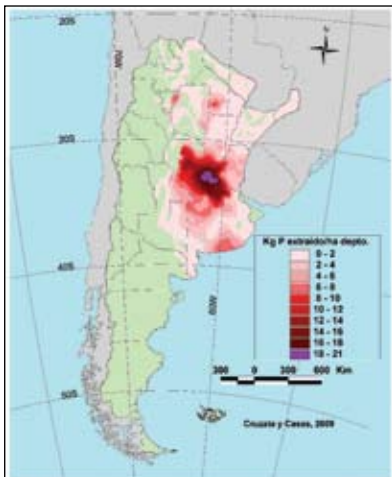
Mapa 7. Extracción total de azufre en granos por departamento.



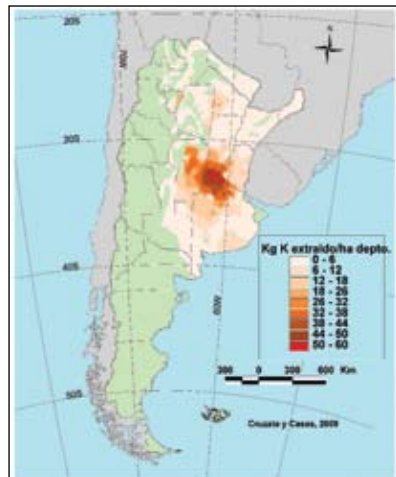
Mapa 8. Extracción total de boro en granos por departamento.



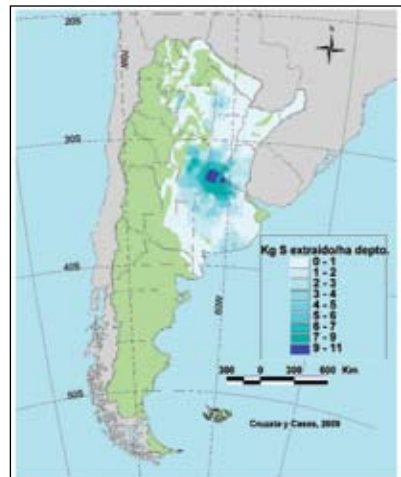
Mapa 9. Extracción de nitrógeno en granos por superficie de cada departamento.



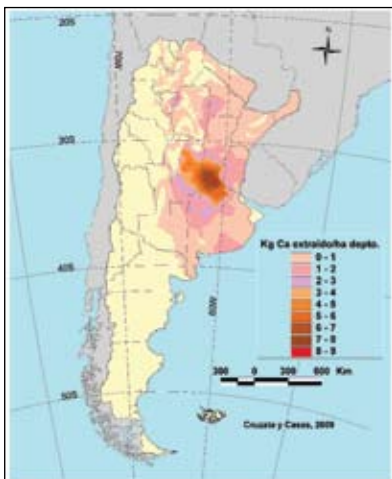
Mapa 10. Extracción de fósforo en granos por superficie de cada departamento



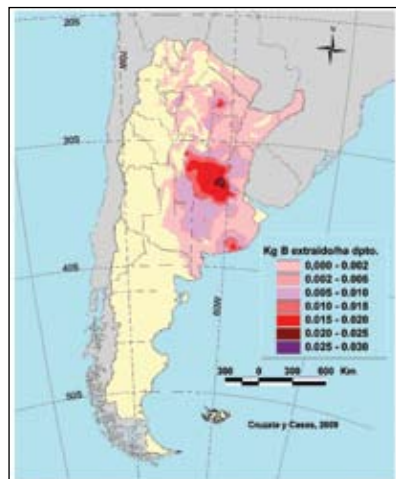
Mapa 11. Extracción de potasio en granos por superficie de cada departamento.



Mapa 12. Extracción de azufre en granos por superficie de cada departamento.



Mapa 13. Extracción de calcio en granos por superficie de cada departamento.



Mapa 14. Extracción de boro en granos por superficie de cada departamento.

causando un empobrecimiento progresivo de los suelos. Estos datos son un poco inferiores a los suministrados por Capparelli (2008) que reporta porcentajes de reposición de 60, 62, 2 y 45% para N, P, K y S, respectivamente. Esta situación ha sido evaluada también por Ciampitti y García (2008) para la campaña 2006/2007, quienes concluyeron que se repuso vía fertilización el 31, 53,1 y 27% del N, P, K y S, respectivamente, extraídos por la producción de los cuatro cultivos principales analizados.

Los datos de la Cámara de la Industria Argentina de Fertilizantes (CIAFA) y de la ONG Fertilizar indican que la cosecha de 2007/2008 extrajo 4.000.000 de tn de nutrientes, mientras que la reposición, a través de los distintos productos (considerando N, P, K y S) fue de 1.700.000 tn. Esto significa que sólo se repuso el 42% de lo que se extrajo de los suelos.

Exportación total de nutrientes en granos por departamento agrícola

En los Mapas 3 a 8, se muestra la extracción total en

Tabla 2. Superficie sembrada de soja, trigo, maíz, girasol, sorgo y arroz en la campaña 2006/07 (Estimaciones Agrícolas SAGPyA)

Provincia	Superficie (ha)
Buenos Aires	10.140.900
Catamarca	75.500
Chaco	1.741.500
Cordoba	7.192.700
Corrientes	118.200
Entre Rios	2.198.700
Formosa	33.300
Jujuy	38.500
La Pampa	1.515.800
Misiones	33.300
Salta	929.200
San Luis	212.500
Santa Fe	5.028.200
Santiago Del Estero	1.339.700
Tucuman	551.300
Total	31.149.300

tn por departamento de N, P, K, S, Ca y B, respectivamente. La mayor extracción de N se observa en los departamentos del sur de Santa Fe y sudeste de Córdoba. En el caso del P y S, se observa una mayor intensidad de extracción en los departamentos agrícolas de Córdoba y centro sur de Santa Fe. El K, S, Ca y B tienen tasas de extracción total similar a la del N y la mayor extracción se produce en los departamentos de SO y SE de Córdoba, sur de Santa Fe y sur de Buenos Aires. Estas altas tasas de extracción se deben a que los departamentos agrícolas de las provincias de Santa Fe y Córdoba son de mayor superficie que los de la provincia de Buenos Aires.

Exportación de nutrientes por hectárea de cada departamento agrícola

En los Mapas 9 a 14, se muestran las extracciones de cada elemento por unidad de superficie. Las mayores exportaciones de N ocurren en el sur de Santa Fe (de-

Tabla 4. Consumo en tn de fertilizantes por producto en 2006. Datos estimados a partir de información de CIAFA (2009).

Producto	Consumo (tn)
Cloruro de Potasio	42.252
Fosfato Diamónico	389.165
Fosfato Monoamónico	424.904
Mezclas NPK	164.169
Nitrato de Amonio	60.057
CAN	60.401
Nitrato de Potasio	19.608
Nitrato de Sodio	62.388
Superfosfato Simple	259.322
Sulfato de Amonio	61.190
Sulfato de Potasio	12.648
Sulfonitrato de Amonio	27.754
Sulfato Doble de Potasio y Magnesio	1.108
Tiosulfato de Amonio	56.607
Superfosfato Triple	147.926
UAN (Con su contenido de Sólidos)	424.599
Urea	890.408
TOTAL	3.104.507

Tabla 3. Extracción de nutrientes correspondiente a los principales cultivos durante el ciclo agrícola 2006/2007.

Cultivo	Producción	N	P	K	Ca	S	B
		tn					
Soja	47.380.222	1.148.970,39	255.853,20	795.987,73	123.188,58	132.664,62	331,66
Girasol	3.497.733	74.501,71	20.986,40	17.488,67	4.197,28	6.995,47	112,28
Maíz	21.507.508	281.748,36	56.779,82	74.631,05	3.871,35	26.239,16	94,63
Trigo	14.543.560	263.383,87	51.193,33	51.193,33	5.381,12	21.960,78	29,09
Arroz	1.080.071	16.201,07	3.240,21	3.240,21	172,81	1.080,07	8,64
Sorgo	2.779.965	55.599,30	11.119,86	11.119,86	2.501,97	5.559,93	5,56
TOTAL	90.789.059	1.840.404,68	399.172,82	953.660,85	139.313,11	194.500,03	581,86

partamentos de Rosario, Belgrano, Iriondo y Caseros) y en el departamento de Marcos Juárez en Córdoba con valores que rondan los 95 a 81 kg/ha (Mapa 9). Alrededor de estos departamentos se concentra una zona sobre el centro y sur de Santa Fe, oeste de Córdoba y norte de Buenos Aires con valores de extracción superiores a los 40 kg/ha de N.

El mapa 10 muestra los valores de P exportado en los granos, en kg/ha. Los departamentos con valores mayores son los mismos indicados para el N, correspondientes al sur de Santa Fe y oeste de Córdoba, con valores superiores a los 18 kg/ha.

Las mayores exportaciones de K, con valores entre los 47 y 59 kg/ha, se presentan en los departamentos de Rosario, Iriondo, Caseros Belgrano y San Lorenzo, en el sur de Santa Fe (Mapa 11). El mapa 12 muestra los kg/ha de S exportado en los granos. Los mayores valores se presentan en los departamentos de Rosario, Iriondo, Belgrano y Caseros del sur de Santa Fe y Marcos Juárez en la provincia de Córdoba, con valores cercanos a los 10 kg/ha. Las mayores exportaciones de Ca se presentan en los departamentos de Rosario, Iriondo, Caseros, Belgrano y San Lorenzo en el sur de la provincia de Santa Fe con valores que rondan entre 7 y 9 kg/ha (Mapa 13). El mapa 14 muestra las exportaciones de B en kg/ha, con valores que superan los 0,020 kg/ha en el sur de Santa Fe y oeste de Córdoba (Rosario, Belgrano, Iriondo, Marcos Juárez y Caseros).

Conclusiones

Los datos confirman un balance de nutrientes negativo en la agricultura argentina. En la campaña 2006/07 se extrajeron 3.527 millones de tn de N, P, K y S, siendo la reposición de 1.207 millones de tn que representa un 34.2 por ciento. La situación descripta indica la existencia de sistemas productivos que no son sustentables, situación que de no modificarse, limitará el crecimiento de la producción agrícola nacional afectando negativamente los niveles de fertilidad e incrementado los procesos de degradación de suelos. Las áreas de mayor extracción de nutrientes están centralizadas en el sur de la provincia de Santa Fe, principalmente en los departamentos de Rosario, Belgrano, Iriondo y Caseros y en la provincia de Córdoba en el departamento de Marcos Juárez.

En términos generales, el balance negativo de nutrientes del suelo se debe a las bajas tasas de reposición, lo cual determina un creciente empobrecimiento en N, P, K, S, Ca y B. Se debe considerar que además de los nutrientes estudiados en el presente trabajo, los cultivos necesitan otros elementos suministrados por el suelo que también son exportados en los granos en distintas cantidades. Por otra parte, el germoplasma y las tecnologías empleadas en la agricultura moderna de alta producción incrementan continuamente los rendimientos de los cultivos y, con ello, la tasa de extracción de nutrientes del suelo.

Si se analiza el balance de los nutrientes estudiado en la campaña agrícola 2006/07 desde el punto de vista económico, se observa que se han exportado alrededor de 2.32 millones de tn de elementos en el grano, lo que representa 1.788,37 millones de dólares a precios de 2006 y 3.309,65 millones de dólares a precios de 2009.

En este contexto, la fertilización balanceada constituye una de las bases de la producción sustentable, al evitar que la extracción continua de nutrientes produzca el agotamiento de los suelos. El diagnóstico de fertilidad se debe basar en el conocimiento de la demanda nutricional del cultivo (rendimiento objetivo) y de la oferta nutricional del suelo, para lo cual el análisis de suelo, la evaluación de su condición de "salud" y las buenas prácticas de manejo constituyen herramientas indispensables para planteos agrícolas sustentables. Se debe considerar que el mantenimiento de niveles de producción elevados no se logra solamente con el aporte de nutrientes a través de una fertilización balanceada. Esta tecnología, si bien de fundamental importancia, debe complementarse con aplicación de buenas prácticas de manejo tales como la rotación de cultivos, la siembra directa, la incorporación de cultivos de cobertura, el manejo integrado de plagas y enfermedades, y la agricultura por ambientes, entre otras, de manera de contribuir a preservar y mejorar la calidad del recurso suelo, base sobre la cual se sustenta la economía del país.

Bibliografía

Capparelli C.E. 2008. Extracción de nutrientes. CIAFA, Agosto de 2008. www.ciafa.org.ar.

Casas R. A. 2000. La Conservación de los Suelos y la Sustentabilidad de los Sistemas Agrícolas. Disertación acto

Tabla 5. Balance de nutrientes (extracción por cultivos vs. reposición por fertilización), campaña 2006/07.

	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Azufre	TOTAL
Extraído (tn)	1.840.405	399.173	953.661	139.313	194.500	3.527.051
Fertilizado (tn)	766.957	242.765	61.240	66.928	69.022	1.206.912
Déficit (tn)	1.073.447	156.407	892.421	72.385	125.477	2.320.139
% Aportado	41,67	60,82	6,42	48,04	35,49	34,20
Precios 06 U\$S/tn	707	1.931	632	166	1.208	TOTAL U\$S
Pérdida U\$S	758.412.254	301.975.146	564.375.718	11.994.933	151.618.759	1.788.376.811
Precios 09 U\$S/tn	1.065	3.960.	1.482	1.000	1.208	TOTAL U\$S
Pérdida U\$S	1.143.457.938	619.436.198	1.322.754.752	72.385.090	151.618.759	3.309.652.737

entrega premio Antonio Prego. www.insuelos.org.ar

CIAFA – CASAFE. 2009. "Preocupa el impacto de la caída del uso de fertilizantes". Bs.As. JUN/2009. Fertilizando.com; Elsitioagricola.com. Consultado 2009.

CIAFA. 2009. Consumo de fertilizantes 2006, 2007, 2008 <http://www.ciafa.org.ar/mercado.htm>. Consultado 2009.

Ciampitti I.A. y F.O. García. 2009. Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. Cereales, Oleaginosos e Industriales. Archivo Agronómico Nro. 11 IPNI. www.ipni.net. Consultado 2009.

Ciampitti I.A. y F.O. García. 2008. Citado por M. García, 2009 en Producción de granos y consumo de fertilizantes. http://www.sagpya.mecon.gov.ar/SAGPyA/agricultura/agua_y_suelos/05-fertilizantes/panorama.pdf

Cordone G. y F. Martínez. 2003. El azufre en el sistema productivo agrícola del centro sur de santa fe. www.elsitioagricola.com

Cruzate G. 2009. Mapas de extracción total de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, azufre y boro por Departamento. Instituto de Suelos del CIRN - INTA.

Díaz Zorita M., F. García y R. Melgar. 2003. Fertilización en soja y trigo-soja: respuesta a la fertilización en la Región Pampeana. Resultados de la red de ensayos del Proyecto Fertilizar – INTA. Campaña 2000/2001 y 2001/2002. www.fertilizar.org.ar.

Ferraris G.N. 2001. Nutrición. La cosecha que se lleva el carretón del lote. Proyecto Fertilizar. INTA. Revista Fertilizar Año 6 Nro. 24.

Fertilizando. 2009. Fuerte caída del consumo de fertilizantes en 2008. http://www.fertilizando.com/novedades/20090331_menor_fertilizacion.asp

Fertilizar. 2008. Mercado de fertilizantes 2007. <http://www.fertilizar.org.ar/estadisticas.php>

Fertilizar. 2009. Fuerte caída del consumo de fertilizantes en 2008. http://www.fertilizar.org.ar/vertext.php?id_nota=590

García F. 2003. Balance y manejo de nutrientes en rotaciones agrícolas. En Trigo-Actualización 2003. INTA.

González B. y S. Gambaudo. 2003. Encalado en Soja – Experiencias en restitución de calcio, magnesio y azufre. Proyecto Fertilizar. INTA. www.fertilizar.org.ar

Gudelj V., P. Vallone, C. Galarza y O. Gudelj. 2000. Evaluación de la fertilización con azufre, boro y zinc en el cultivo de trigo implantado en labranza mínima y siembra directa. Hoja Informativa Nro 338 EEA Marcos Juárez INTA.

IFA. 1992. World fertilizer user manual. International Fertilizer Industry Association. Paris, France.

INPOFOS. 1999. Requerimientos nutricionales de los cultivos. Archivo Agronómico Nro 3.

INTA. 1990. Atlas de Suelos de la República Argentina E 1:500.000 y 1:1000.000. SAGyP, INTA CIRN.-Proyecto PNUD ARG 85/019

Martínez F. 2002. La soja en la Región Pampeana. IDIA Año II Nro 3.

Oliverio G. y G. López. 2008. "Fertilizantes para la próxima década" 2008. XVII Seminario anual Fundación Producir Conservando. Setiembre de 2008.

Revista Agromercado. 2007. Año 26 Nro 260. Diciembre 2006.

Revista Agromercado. 2009. Año 28 Nro 288. Abril 2009.

Ventimiglia L.A., H.G. Carta y S.N. Rillo. 1999. Exportación de nutrientes en campos agrícolas. <http://www.elsitioagricola.com> ■

XIX CONFERENCIA INTERNACIONAL DE ISTRO 19TH INTERNATIONAL SOIL AND TILLAGE RESEARCH CONFERENCE

Entre el 15 y 19 de junio del corriente año se realizó la XVIII Conferencia Internacional de la International Soil and Tillage Research Organization (ISTRO) en Izmir, Turquía. Esta organización fue fundada en Suecia en 1955 y desde 1976 realiza una conferencia internacional cada 3 años rotando el país sede. La próxima Conferencia será en Uruguay, en el 2012, definición que se tomó en la Conferencia de Alemania 2006.

La ISTRO es una organización sin fines de lucro que agrupa investigadores de todo el mundo relacionados al estudio de los cambios físicos, químicos y biológicos producidos en el suelo por el laboreo (incluyendo no laboreo). ISTRO es dirigida por un Consejo, cuyos integrantes son elegidos por votación

dentro de una lista de candidatos propuestos a tales efectos. Dentro de sus áreas de interés incluye el efecto del tráfico, riego, drenaje, rotación de cultivos, y fertilización sobre el ciclo del carbono, la emisión de gases causantes del efecto invernadero, la erosión y la calidad del ambiente en general. En los últimos años se ha incorporado el estudio de la relación entre la calidad del suelo y la implantación, crecimiento aéreo y radicular de los cultivos y rendimiento en grano de los cultivos, así como el efecto de la rotación de cultivos y laboreo del suelo sobre el enmalezamiento, la sanidad y las plagas. La ingeniería agronómica y desarrollo de equipos y mecanización para distintos sistemas de producción también son áreas de interés.



La organización tiene una revista científica, Soil and Tillage Research, editada por Elsevier. Más detalles pueden consultarse en www.istro.org

En la última reunión del Consejo de la ISTRO, realizada el 19 junio del 2009, se definió que la próxima conferencia a realizarse en Uruguay tenga lugar en Septiembre del 2012. La fecha final y el lugar serán definidos en la próxima reunión del Consejo, a realizarse en la primera quincena de Julio del 2010 en Montevideo.

La Conferencia será co-organizada por la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República Oriental del Uruguay, el Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), la Sociedad Uruguaya de Ciencia del Suelo (SUCS) y la rama Uruguay de la ISTRO conjuntamente con la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires y la Asociación Argentina de Ciencia del Suelo (AACS). Auspician el evento la Asociación Uruguaya Pro-Siembra Directa (AUSID), la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa (AAPRESID) y el Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI). Detalles sobre la organización, programa y actividades podrán consultarse ingresando en www.eemac.edu.uy

Ing. Agr. Oswaldo Ernst
Presidente de la ISTRO 2009-2012
Facultad de Agronomía (UdelaR)
Paysandú - Uruguay
oernst@fagro.edu.uy

PUBLICACIONES DE IPNI

Las siguientes publicaciones se encuentran disponibles con un costo nominal



Título de la Publicación (Vea el catalogo completo de publicaciones de IPNI en www.ipni.net/lasc)	Costo US\$	Costo \$ arg.
NUEVO. Manual de manejo del cultivo de soja. Aborda temáticas de fenología, manejo, nutrición y fertilidad, malezas, enfermedades y plagas del cultivo.	16	60
NUEVO. Simposio Fertilidad 2009. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2009.	16	60
Simposio Fertilidad 2007. Actas del Simposio organizado por IPNI y Fertilizar en Rosario en Mayo de 2007.	8	30
La Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe: Resultados y conclusiones de los primeros seis años 2000-2005. Resumen y discusión de los principales resultados obtenidos en la Red de Nutrición de la Región CREA Sur de Santa Fe (Argentina).	3	10
Como se desarrolla una planta de soja. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	4	15
Como se desarrolla una planta de maíz. Edición en español de la guía fenológica y de manejo publicada por Iowa State University.	4	15
Síntomas de deficiencias nutricionales de trigo, maíz y soja. Set de tres posters que muestran y describen los síntomas de deficiencia de nutrientes en los tres cultivos.	4	15
Manual de Fertilidad de Suelos. Publicación didáctica sobre uso y manejo de suelos y fertilizantes.	12	45

Vea el catalogo completo de publicaciones de IPNI en www.ipni.net/lasc

Formas de pago de publicaciones

Argentina

- Giro Postal o Telegráfico, a través de Correo Argentino o Envío de dinero a través de Western Union.

Los datos para realizar su envío son los siguientes:

DESTINATARIO: Sra. Laura Nérida Pisauri - DNI: 17.278.707

DIRECCION: Av. Santa Fe 910 (B1641ABO) Acaassuso - Buenos Aires - Argentina

AGENCIA DE CORREOS DE DESTINO: Sucursal Acaassuso, Buenos Aires, Argentina.

- Depósito Bancario en Banco Galicia, Cta.Cte. N° 3856/4 053/5 Sucursal Olivos a nombre de INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE.

- Transferencia Bancaria a INTERNATIONAL PLANT NUTRITION INSTITUTE, Banco Galicia, Suc. Olivos, Cta.Cte. N° 3856/4 053/5, CBU 0070053520000003856451 CUIT 30-70175611-4.

Solicitamos nos haga saber por teléfono, fax o e-mail, la opción elegida y nos envíe los datos para acreditar su pago (No. de giro y fecha, o datos de depósito o transferencia bancaria).

Otros Países

Envío de dinero a través de Western Union, según instrucciones para el envío indicadas más arriba.

Para adquirir las publicaciones de IPNI Cono Sur:

- Además del costo de la/s publicaciones, deberá tener en cuenta los gastos de envío, que son variables de acuerdo al peso en gramos (g): hasta 100 g (equivale a 1 publicación) \$10; entre 100 - 500 g (equivalen a 3/5 publicaciones) \$35; entre 500 - 1000 g \$50 y de 1000-2000 g \$60
- Deberá enviarnos el comprobante de pago a nuestra oficina de IPNI Cono Sur por Fax: 011-4798-9939 o por mail a Lpisauri@ipni.net
- Indicar si solicita Factura A ó B, a nombre de quien extenderla, dirección completa y CUIT.

Ante cualquier consulta enviar mail a: Lpisauri@ipni.net o llamar al (54 - 011) 4798 9939/9988

CONGRESOS, CURSOS Y SIMPOSIOS

Esta sección presenta eventos futuros en el ámbito regional e internacional que pueden ser de interés de los lectores

1

VI Congreso Internacional de Ingeniería Agrícola - CIACH 2010

Lugar y fecha: Chillan, Chile. 11-13 Enero 2010. - Información: www.udec.cl/ciach
- ciach@udec.cl

X Conferencia Internacional en Agricultura de Precisión

Lugar y fecha: Denver, Colorado, EE.UU. 18-21 Julio 2010.
Información: www.icpaonline.org

XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo

"El Suelo, Pilar de la Agroindustria en la Pampa Argentina"

Lugar y fecha: Rosario, Santa Fe. 31 Mayo - 4 Junio de 2010. - Información: www.suelos.org.ar

XIX Congreso Mundial de la Ciencia del Suelo

Lugar y fecha: Brisbane, Australia. 1-6 Agosto 2010.

Información: www.19wcss.org.au - Información: www.clacs2009.com

Suscripción



www.ipni.net/lasc

Si Ud. desea recibir Informaciones Agronómicas del Cono Sur, por favor complete el cupón y envíelo por correo, fax o correo electrónico a:

IPNI Cono Sur, Av. Santa Fe 910, (B1641ABO) Acaassuso, Argentina

Tel./Fax: (54) 011-4798-9939 Correo Electrónico: Lpisauri@ipni.net

Nombre y Apellido:

Institución o Empresa:

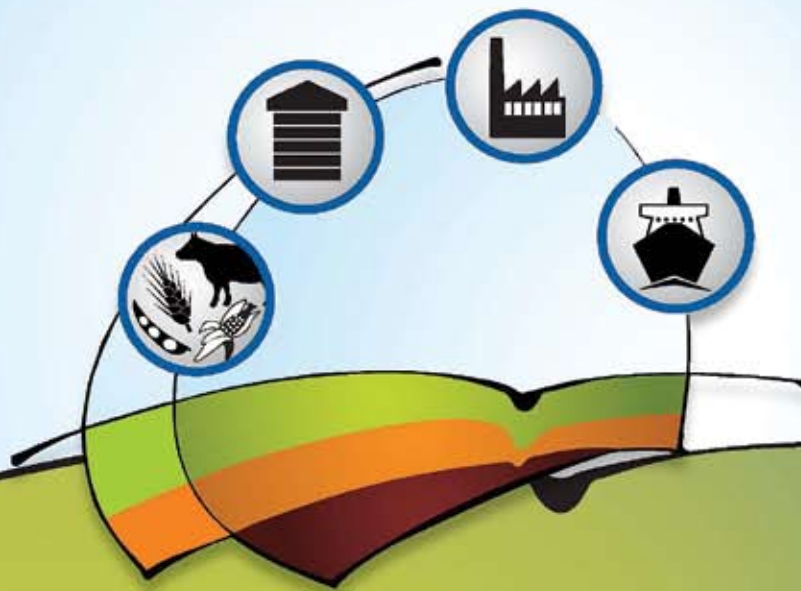
Principal Actividad:

Calle: Nro.: C.Postal:

Localidad: Provincia:

E-mail: Teléfono:

¡MUCHAS GRACIAS!



El Suelo

pilar de la agroindustria en la pampa argentina

XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina, 2010

31 de mayo al 4 de junio de 2010

Bolsa de Comercio de Rosario (Paraguay 777, Rosario, Santa Fe, Argentina)

ACTIVIDADES

Acto
Conmemorativo del
50 Aniversario de la
Asociación Argentina
de la Ciencia del
Suelo



Presentación de
Trabajos Orales
•
Talleres



Conferencias
Plenarias
•
Conferencias Temáticas
•
Mesas Redondas



Exposición de
Posters
•
Gira Edafológica



50
AACCS
1960 - 2010
ASOCIACION ARGENTINA
CIENCIA DEL SUELO
www.suelos.org.ar

XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario, Argentina, 2010

www.suelosrosario2010.com.ar
www.suelosrosario2010.com.ar