

mental quality. *Annu. Rev. Environ. and Resour.* 28:315-58.

Dobermann, A., and K.G. Cassman. 2002. Plant nutrient management for enhanced productivity in intensive grain production systems of the United States and Asia. *Plant Soil* 247:153-175.

Duvick, D.N., and K.G. Cassman. 1999. Post-green revolution trends in yield potential of temperate maize in the North-Central United States. *Crop Sci.* 39:1622-1630.

Evans, L.T. 1993. *Crop evolution, adaptation, and yield.* Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Evans, L.T. 1998. *Feeding the ten billion: Plants and population growth.* Cambridge University Press, New York.

Padgitt, M., D. Newton, R. Penn, and C. Sandretto. 2000. *Production practices for major crops in U.S. agriculture, 1990-97.*

Statistical bulletin no. 969. USDA, ERS, Washington,

Rosegrant, M.W., M.S. Paisner, S. Meijer, and J. Witcover. 2001. *Global food projections to 2020: Emerging trends and alternative futures.* IFPRI, Washington, D.C.

Shapiro, C.A., R.B. Ferguson, G.W. Hergert, A. Dobermann, and C.S. Wortmann. 2001. *Fertilizer suggestions for corn.* NebGuide G74-174-A. Univ. of Nebraska Coop. Ext. Service, Lincoln, NE.

Tollenaar, M., and E.A. Lee. 2002. Yield potential, yield stability, and stress tolerance in maize. *Field Crops Res.* 75:161-169.

Uri, N.D. 1998. Environmental considerations in the fertilizer use decision. *Environ. Geol.* 34: 103-110.

Waggoner, P.E. 1994. How much land can ten billion people spare for nature? Task Force Report No. 121.

Council for Agri. Science and Technology, Ames, IA.

Witt, C., A. Dobermann, S. Abdulrachman, H.C. Gines, G.H. Wang, R. Nagarajan, S. Satawathananont, T.T. Son, P.S. Tan, L.V. Tiem, G.C. Simbahan and D.C. Oik. 1999. Internal nutrient efficiencies of irrigated lowland rice in tropical and subtropical Asia. *Field Crops Res.* 63:113-138.

Yang, H.S., A. Dobermann, J.L. Lindquist, D.T. Walters, T. Arkebauer, and K.G. Cassman. 2004. Hybrid Maize - A maize simulation model that combines two crop modeling approaches. *Field Crops Res.* In Press.

Young, A. 1999. Is there really spare land? A critique of estimates of available cultivable land in developing countries. *Environment, Develop. and Sustainability* 1:3-18. ■

Productividad y Sustentabilidad

La fertilización es un costo o una inversión

Ing. Agr. Jorge Carlos J. Romagnoli
Productor Agropecuario (La Lucía S. A.) - AAPRESID
25 de Mayo 515 – 2589 Monte Buey – Córdoba
joromag@nodosud.com.ar

Introducción

La agricultura y la ganadería denominadas “modernas” ya están “pasadas de moda”. Millones de hectáreas erosionadas, contaminación masiva del medio ambiente con productos cada día más tóxicos, enfoques unilaterales para tratar de resolver sistemas complejos, etc., hacen imperativo tratar de encontrar nuevas soluciones. Estas soluciones deben ser integrales, rápidas y económicas, si es que queremos llegar a tiempo para evitar las soluciones “inhumanas”.

La Ecología puede y debe ser la gran ciencia “englobadora” que permita construir un mañana no sólo igual sino mejor. Pero es necesario, como en cualquier actividad humana, que no esté en manos de simples “aprendices de brujo”. “Donde no hay visión el pueblo perece” dice una frase de la Biblia. Creemos que nunca como en el momento actual, la misma tiene plena vigencia.

Por primera vez en su historia, el hombre tiene al alcance de la mano el conocimiento, las herramientas y las posibilidades prácticas como para intentar la transformación integral del mundo. Pero de su sentido moral dependerá si esa transformación permitirá nuestra elevación como seres humanos o nos llevará nuevamente a la “época de las cavernas”.

No es una simple casualidad que “culto, cultivo y cultura” tengan la misma raíz. La producción del alimento necesario para el hombre no puede ser una simple operación comercial. Es la base misma de la existencia física de la raza humana y como tal debe ser considerada.

Estos párrafos corresponden a la introducción del libro de Jorge Samuel Molina, “Hacia una nueva agricultura”, El Ateneo, 1988.

La Ecología y la Biotecnología son las ciencias fundamentales que deben enmarcar el desarrollo presente y futuro de la humanidad en lo referente a la producción de alimentos. Como productor y técnico he tratado de trabajar en éste sentido considerando los aspectos productivos cotidianos que están a nuestro alcance, sobre los cuales podemos incidir a menudo para dar respuestas a una población humana creciente con recursos básicos limitados.

Una década atrás disponíamos de híbridos de maíz con potencial de rendimiento similares a los actuales, los principales herbicidas utilizados actualmente los tenemos desde hace muchos años, los controles de plagas no han diferido sustancialmente de hace una veintena de años, la aplicación de fertilizantes nitrogenados se ha ensayado en maíz y trigo con diversos resultados en los últimos 30 años. Sin embargo, ninguno en particular, ni siquiera el conjunto de estos factores ha podido otorgar un incremento promedio de rendimientos estable en el tiempo, independientemente de condiciones climáticas favorables.

Con éste diagnóstico como base es que hemos trabajado con la hipótesis de modificar el ambiente a través de desarrollar un **Sistema de Producción** que pudiera brindar condiciones más estables, principalmente en lo que hace a disponibilidad de agua en el suelo.

No hay dudas que el cultivo de Maíz ha sido el primer beneficiado por la modificación del ambiente productivo con el **Sistema de Siembra Directa**. Cada productor o técnico puede analizar los rendimientos de su área a través de varios años en Siembra Directa versus un sistema convencional con labranzas, y ver que el incremento promedio junto a la estabilidad lograda, corroboran que el factor limitante que imponía el techo hace diez años en el potencial productivo del maíz, hoy fue superado.

Lo mismo se puede decir para el cultivo de trigo y demás gramíneas

de invierno si el factor climático no impusiera a menudo un techo productivo, especialmente en las regiones centro y norte (exceptuando el sudeste de Bs. As.), donde las condiciones del clima reinante en el período reproductivo son altamente incidentes en el rendimiento, lo cual posiblemente haya que resolverlo por vía genética para expresar el potencial del **ambiente suelo** derivado de un Sistema de Producción en Siembra Directa.

Otra vez, con mas conocimientos en nuestras manos, como productores y agrónomos, debemos plantearnos superar nuevamente los “cuellos de botella” que aparecen al elevar los rendimientos.

En esa línea de acción, AAPRESID impulsa investigación científica, ensayos a campo, convenios de participación entre empresas, técnicos y productores, que permiten poner en práctica nuevos avances, avalando así teorías innovadoras.

Solo citando algunas de las áreas de trabajo, podemos decir que: la nutrición equilibrada e interacción suelo-planta, rotación de cultivos, aportes crecientes de residuos y su descomposición, biología del suelo y su dinámica, biotecnología específica y aplicada en el cultivo; serán los temas que nos ayudarán a superar los próximos “cuellos de botella” que iremos encontrando en éste sistema de producción elegido, que es dinámico y superador de sí mismo en función del conocimiento.

Significado de las rotaciones

En sistemas agropecuarios, la implementación del concepto de productividad es deseable, así como es necesaria la rentabilidad de la empresa, pero no debe interferir con los principios de sustentabilidad del agroecosistema.

La historia de Argentina, en particular, y de casi toda América, en general, comprende un período de crecimiento que pareció ilimitado hace un siglo, como resultado del cultivo y colonización de nuevas tierras que siempre eran más fér-

tiles que los suelos ya explotados alrededor de las ciudades. Esto produjo una expansión sin precedentes de características únicas que con el tiempo resultaron insostenibles. Las causas fueron el ejercicio de una agricultura minera, devenida como consecuencia de **crear en la inagotable fertilidad de las pampas**, sumada a los métodos de cultivo con intensiva mecanización y pérdida en la diversidad de las especies agrícolas y forrajeras.

En la década de 1980, a cien años que se iniciara la gran expansión agropecuaria argentina, tal vez se haya llegado desde el punto de vista agronómico, al máximo índice de degradación de los recursos productivos naturales. En la pradera pampeana donde la vegetación climax eran pastizales dominados por gramíneas cespitosas, la agricultura convencional ha provocado la caída de la materia orgánica a valores por debajo del 50% del contenido original, llegando a situaciones del 25%, cuando los métodos de explotación agrícola fueron dominados por monoculturas, labranzas intensivas y quema de rastrojos.

Las praderas artificiales consociadas de gramíneas y leguminosas en ciclos ganaderos permitían recuperar parte de la materia orgánica perdida a valores del 45% al 60% del valor original según su manejo. Esto sucedía esencialmente por dos razones, primero porque participaba una flora polifítica, compuesta en buena medida por gramíneas de vegetación permanente o casi permanente, y segundo, por la no-roturación del suelo durante dicho período.

En Siembra Directa, la segunda condición (el no laboreo) se cumple en forma automática, pero la primera (flora polifítica) solo se cumple en forma parecida si se implementa una rotación de cultivos adecuada (diferentes especies), con intensidad suficiente y una proporción dominante de gramíneas. Las estadísticas de los últimos años demuestran por un lado, el crecimiento sostenido de superficie en Siembra Directa y, por otro, un dominio del área

por el cultivo de soja que llega a ocupar las dos terceras partes de la superficie agrícola argentina, lo que muestra a las claras que en el ámbito de nuestro país no se cumplen los requisitos previamente mencionados.

Para no volver a cometer los errores del pasado, es necesario replantear en forma permanente los conceptos de sustentabilidad y dinámica de los procesos, rediseñando tantas veces como sea preciso el modelo productivo elegido, teniendo en cuenta las lecciones de la historia y echando mano a los conocimientos disponibles generados por la ciencia aplicada. Pensar que por el solo hecho de hacer Siembra Directa o sembrar directamente sin labranzas se tiene todo o casi todos los problemas resuelto, es simplificar la Agronomía, cometiendo un error de tal magnitud que inexorablemente conduciría a un nuevo colapso productivo.

Es a partir de dichas consideraciones que planteo como necesario proyectar modelos productivos sustentables con suficiente fundamento técnico y científico, surgidos de la discusión interdisciplinaria, de la experiencia propia y extranjera, de las posibilidades prácticas de ser aplicado en forma generalizada por productividad y rentabilidad, y ponderados a mediano y largo plazo. Por todo ello, definir estrategias agronómicas y empresariales basadas en el análisis económico de los márgenes por cultivo, implica un error conceptual, que a menudo aconseja un camino equivocado con resultados productivos en decadencia arrastrando a la inestabilidad empresarial.

Los resultados económicos debieran medirse en lapsos de tiempo que contemplen la variación productiva de los recursos involucrados en el proceso, de manera que reflejen, al menos parcialmente, el estado del recurso suelo y los factores que no se ponderan en los análisis económicos habituales, como fertilidad, contenido de materia orgánica, niveles de fósforo, capacidad de retención hídrica,

erosión, cobertura, malezas, salinización, anegamiento, etc., que según como se den, condicionan el potencial productivo presente y futuro del sistema, siendo esto el resultado del manejo implementado en el pasado.

Restitución de nutrientes

La exportación de nutrientes por las cosechas (granos, forrajes, etc.) generan en el tiempo un agotamiento en elementos químicos esenciales para el crecimiento vegetal y animal, que de no ser restituidos adecuadamente, limita la productividad de las tierras cultivadas en relación directa a la carencia de elementos esenciales para el crecimiento y desarrollo vegetal.

El conjunto de elementos presentes en los seres vivos considerados esenciales podemos dividirlo en el grupo de orgánicos, compuesto por Carbono, Hidrógeno y Oxígeno y Nitrógeno e inorgánicos o minerales, con una subdivisión de macro y micronutrientes, donde la lista es más amplia y no tan exacta en el número, siendo entre diez y doce los mayormente reconocidos, de los cuales se destacan el Fósforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Azufre, como macronutrientes y Zinc, Hierro, Cobre, Manganeseo, Boro, Molibdeno, como micronutrientes.

Los cuatro primeros se encuentran en la atmósfera terrestre y desde allí a través de la fotosíntesis y la fijación biológica pueden formar parte de la masa orgánica (viva o muerta) e ingresar al suelo. Los minerales forman parte de las rocas que dan origen al suelo y están contenidos en el mismo en relación al material madre. Cuando la tasa de extracción supera a la de reposición se produce un desbalance con un saldo negativo que, llegando a valores críticos, limita la productividad.

La Materia Orgánica como sustancia compuesta, que contiene y confiere una serie de nutrientes y características esenciales y deseables para el desarrollo de la vida en el suelo (vegetal y animal),

es posible gracias a la combinación química mediante la energía lumínica, teniendo al Carbono como centro imprescindible de la escena. La capacidad de almacenar agua y nutrientes en el suelo está en relación a su contenido. De esto se desprende que es necesario fijar Carbono al suelo para incrementar la fertilidad.

Si consideramos que los residuos vegetales que tienen una relación C/N estrecha, menor de 25/1 son suficientemente ricos en N como para permitir un proceso de descomposición hasta una mineralización completa sin humificación, tal el caso de las leguminosas (soja, poroto, alfalfa, etc.), veremos que estos rastrojos son incapaces de aumentar el C del suelo, por el contrario, es probable que aceleren su pérdida.

Por otro lado, sabemos que residuos con una relación C/N amplia, mayor que 30/1 son suficientemente pobres en N, interrumpiéndose la descomposición en estados intermedios que regeneran en nuevas síntesis microbianas dando lugar a compuestos húmicos más estables. Las gramíneas, entre otras especies, son las que aportan rastrojos con éstas características, especialmente aquellas con mayor contenido de lignina.

Queda claro entonces que la restitución de carbono al suelo está en relación del aporte de rastrojos de gramíneas, y que la posibilidad de incrementar el almacenaje de agua y minerales tiene que ver con éste, de manera que la reposición de nutrientes a través de los fertilizantes debe estar asociada a la rotación de cultivos que se lleve a cabo en el planteo productivo. Es en función de éste concepto que las prácticas de fertilización en monocultivo de soja no tiene el éxito esperado en términos de productividad.

Los umbrales críticos de nutrientes disponibles son sustancialmente distinto en los diferentes cultivos, y no necesariamente se correlacionan con los índices de extracción en cosecha. Así el cultivo de trigo tiene un umbral crítico en P disponible

en el suelo del doble al de la soja mientras que exporta la mitad que ésta por tonelada de grano cosechada. Esto explica la alta respuesta que tiene el cultivo del trigo a la aplicación de fertilizante fosfatado, a pesar que la gran extracción la haga la soja.

Imputación de la fertilización

Por lo expuesto es que desarrollamos un criterio de fertilización basado en la reposición de nutrientes (al menos los limitantes), contemplando las necesidades y exportaciones que realizan el conjunto de cultivos establecidos en la rotación que se plantea, aplicándolos en tiempo y forma según la respuesta diferencial de cada cultivo.

Esto nos conduce indefectiblemente a un análisis económico basado en la imputación por cultivo de los costos de fertilización con relación a la extracción de nutrientes repuestos y no por el momento que se haya aplicado (cultivo).

En términos conceptuales podríamos decir que la fertilización en un contexto productivo convencional pasa a ser un **gasto** porque básicamente se fertiliza el cultivo, en tanto que realizado dentro de un Sistema de Producción en Siembra Directa con Rotación de Cultivos donde paralelamente también se fije Carbono, no hay dudas que puede ser considerado como **inversión**, debido a la **sinergia productiva** que ejerce en los demás factores y tecnologías aplicadas a los cultivos, particularmente en genética, y en este caso el objetivo es **incrementar la fertilidad del suelo**

En síntesis, lo importante es tener un resultado económico positivo, creciente y sostenido en el tiempo como promedio de los cultivos implantados derivado del rendimiento conjunto y de cada uno de ellos, lo cual refleja el beneficio mutuo entre las especies intervinientes en un Sistema de Producción que sabemos, cuanto más amplio mejor, aunque demande mayor gestión técnica y empresaria.

“Sudor y lamentaciones es el impuesto que debemos pagar por la ignorancia de haber supuesto indestructible el suelo que la Providencia puso bajo nuestros pies, para darnos vida y suministrarnos alimentos”.

Ing. Agr. Lorenzo Parodi (“Investigación Agrícola y progreso económico”). ■

Estrategias en el manejo de nutrientes en el sur de Santa Fe

Ing. Agr. (M.Sc.) Fernando Salvagiotti
EEA INTA Oliveros, Santa Fe
fsalvagiotti@correo.inta.gov.ar

El desarrollo de una agricultura intensiva con baja reposición de nutrientes que caracterizó los sistemas de producción de la región pampeana del siglo pasado, provocó balances negativos de los mismos que fueron en detrimento de la productividad de los cultivos (Cruzate y Casas, 2003). En el sur de Santa Fe este proceso tuvo mayor intensidad, por lo que es frecuente la aparición de deficiencias nutricionales en los cultivos en lotes de producción. En consecuencia, el manejo nutricional de los cultivos adquiriere un rol preponderante para incrementar y/ o estabilizar los rendimientos de los cultivos.

La rotación de cultivos y la fertili-

zación tienen un papel relevante en el marco del manejo sustentable de la producción agropecuaria (García, 2004). La planificación estratégica de la fertilización de los cultivos implica en primer lugar conocer cuales son las deficiencias nutricionales que limitarán la expresión del potencial de rendimiento de los cultivos en cada lote, y en segundo término asignar los recursos económicos destinados a la producción agropecuaria de manera racional, de acuerdo al riesgo asumido.

La movilidad de los nutrientes en el suelo, definen en gran medida la estrategia de manejo de los mismos. De esta manera, cuando se manejan nutrientes que tiene mayor movilidad en el suelo como el nitrógeno,

la cantidad de fertilizante a aplicar esta directamente relacionado al rendimiento objetivo. Sin embargo, la estrategia de manejo de nutrientes de baja movilidad en el suelo, como por ejemplo el fósforo, estará centrada en aumentar el nivel del mismo en el suelo para sostener un determinado nivel de producción (Johnson, 2000).

Estrategias para el manejo del nitrógeno en trigo, maíz y soja

En el sur de Santa Fe, como en el resto de la región pampeana, el nitrógeno es el nutriente cuya deficiencia está mas generalizada, debido a que los aportes de la mi-