



INFORMACIONES AGRONÓMICAS



de Hispanoamérica

Diciembre 2011 · No. 4

CONTENIDO

Avances en manejo sitio-específico de suelos en el Paraguay	1
Manejo del fósforo en sitios contrastantes de la región mesopotámica argentina bajo uso forestal	7
Fósforo extractable en suelos agrícolas de las regiones pampeana y extrapampeana de Argentina	14
Efectos a largo plazo de la fertilización en el sudeste bonaerense y comparación con la región pampeana central	19
Tendencias en el consumo de fertilizantes en Puerto Rico	27
Reporte de Investigación Reciente	35
- <i>Comportamiento de cinco especies de leguminosas como cobertura viva en palma aceitera en el estado Monagas, Venezuela</i>	
- <i>Implicación de la variabilidad de la resistencia del suelo a la penetración en el análisis estadístico</i>	
- <i>Los niveles elevados de CO₂ aumentarán la biodisponibilidad de minerales en los ecosistemas de humedales? Evidencia de un ecosistema de arroz</i>	
Cursos y Simposios	36
Publicaciones Disponibles	38

**Editores: Dr. Fernando O. García
Dr. Raúl Jaramillo**

International Plant Nutrition Institute

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

www.ipni.net

AVANCES EN MANEJO SITIO-ESPECÍFICO DE SUELOS EN EL PARAGUAY

Enrique Hahn Villalba¹

Introducción

El concepto de manejo sitio-específico de insumos ha dejado de ser una novedad, herramientas de alta tecnología facilitan el manejo de distintas áreas de la parcela estudiada de forma diferencial. Las tecnologías de precisión incluyen sistemas de posicionamiento global diferencial (DGPS), monitores de rendimiento, sistemas de información geográfica (SIG o GIS), software de computación, y tecnología de dosis variable (variable rate technology 'VRT'). Existe la necesidad de convalidar herramientas precisas y definir metodologías de trabajo para nuestra región agrícola. Los muestreos intensivos de suelo y el diagnóstico de la variabilidad de sus atributos son parte importante del paquete tecnológico.

La agricultura paraguaya es soportada sobre suelos como Oxisoles, Ultisoles y Alfisoles, que presentan generalmente síntomas de deficiencias en algunos atributos químicos de suelos, prevaleciendo la necesidad de aportar correctivos para obtener altas productividades. El muestreo intensivo detallando la fertilidad de suelos, generando mapas de diagnóstico y mapas de aplicación de correctivos y fertilizantes, es una actividad promisoría para nuestra región y es la puerta de entrada para encarar proyectos de agricultura de precisión con los productores rurales.

La primera década del siglo XXI trajo consigo la gran expansión del cultivo de la soya, superando las 2.6 millones de hectáreas y un porcentual alto de adopción del sistema de siembra directa por superficie agrícola superior a 80%, posicionando al Paraguay en primer lugar, a nivel mundial en términos porcentuales, en adopción del sistema conservacionista (Derpsch y Friedrich, 2009). Se generaron avances en recomendaciones de fertilización en cultivos de granos para la Región Oriental del Paraguay (Cubilla, 2005; Wendling, 2005; Barreto, 2008; Hahn, 2008). Igualmente, en los últimos años, debido a la baja fertilidad encontrada en gran parte de los suelos con alto histórico de uso agrícola, una nueva era con la visión de fertilizar el sistema, y no solamente el cultivo, se va consolidando en nuestro país. Esto implica generar planes de construcción de la fertilidad, principalmente ligadas a aplicaciones de calcáreo, fósforo (P) y potasio (K), para buscar alcanzar mejores

¹ Consultor e Investigador en Manejo de Suelos y Agricultura de Precisión. Presentado en el II Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. SOPACIS-UNA, San Lorenzo, 25 y 26 de Agosto de 2011. Correo electrónico: ehahn@sustentap.com.py

productividades y evitar degradaciones en el suelo. Otro avance fue la informatización de las recomendaciones a través de un software que sirve de soporte para la interpretación de resultados de análisis, genera planes de construcción de la fertilidad y selecciona insumos apropiados para la necesidad del suelo, integrando a laboratorios de suelos y empresas del sector agrícola a través de redes online de trabajo (Hahn, 2009). Se verifica interés en los productores paraguayos en mejorar sus suelos, sin embargo, la situación problemática se resume en altos costos de los correctivos de suelo, lo que en muchos casos impide su aplicación.

Actualmente, el manejo sitio-específico de insumos busca identificar y cuantificar la variabilidad espacial de los atributos de suelo presente en la finca, para luego determinar el impacto de esta variabilidad en el rendimiento y las estrategias que permitan el uso eficiente de insumos, conduciendo hacia una agricultura de mayor precisión, donde se incrementen los rendimientos, se mejore la rentabilidad y se reduzca el potencial impacto ambiental de la actividad.

Investigación sobre manejo sitio-específico en Paraguay

Desde inicios del 2009, a través del Instituto de Biotecnología (INBIO), financiador de las investigaciones, y las instituciones como la Cooperativa Colonias Unidas, que ofrece las parcelas experimentales a través de sus socios productores, y la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Católica de Itapúa (UCI), a través de sus estudiantes ligados con trabajos de tesis de final de grado, se realiza un proyecto técnico-científico de evaluación de herramientas disponibles para implementación de agricultura de precisión (AP) en el Paraguay. La finalidad es realizar investigaciones, generando información sobre la viabilidad de la aplicación de las herramientas existentes sobre la tecnología de agricultura de precisión. Esto implica integrar y exponer diferentes áreas de estudio en una forma objetiva, práctica y creativa para adaptar el uso y manejo de metodologías de trabajo y equipos precisos a las condiciones edafoclimáticas de nuestra región productora, partiendo de una situación real de 3 parcelas experimentales de 47, 20 y 13 hectáreas. La propuesta es crear un ciclo paraguayo de agricultura de precisión con las herramientas acordes a las necesidades regionales (Figura 1).

En las áreas experimentales se busca encontrar las causas que generan la variabilidad espacial y temporal de los rendimientos de granos. Se miden los tenores de nutrientes en el suelo, se realizan aplicaciones de fertilizantes y correctivos de suelo a tasa variada, y se controla la evolución de los nutrientes aplicados hacia el nivel de suficiencia en el suelo. Se realizan investigaciones específicas sobre el tipo de muestreo de suelo más representativo en tamaño e intensidad y sobre la variabilidad de los nutrientes de acuerdo al tamaño de grilla. Además de otros estudios sobre la variabilidad de los atributos físicos como textura, compactación, humedad y topografía. Se analiza cómo la fertilización nitrogenada y los rendimientos se relacionan con los tenores de materia orgánica (MO) del suelo y la biomasa a través del índice de vegetación y el tenor de clorofila. Para obtener información se utilizan varios equipos precisos como monitores de siembra, aplicadores a tasa variada de correctivos y fertilizantes, y monitor de cosecha (Figuras 2 y 3).

También se utilizan extractores automatizados de suelo, sensores de humedad edáfica, penetrómetro para medir resistencia a la penetración (compactación), y clorofilómetro para el cultivo. Así, se calibran respuestas de un sensor óptico activo, que mide el índice verde del canopeo de cultivos, con el objeto de diagnosticar causas de la variabilidad generada en rendimientos de los cultivos.

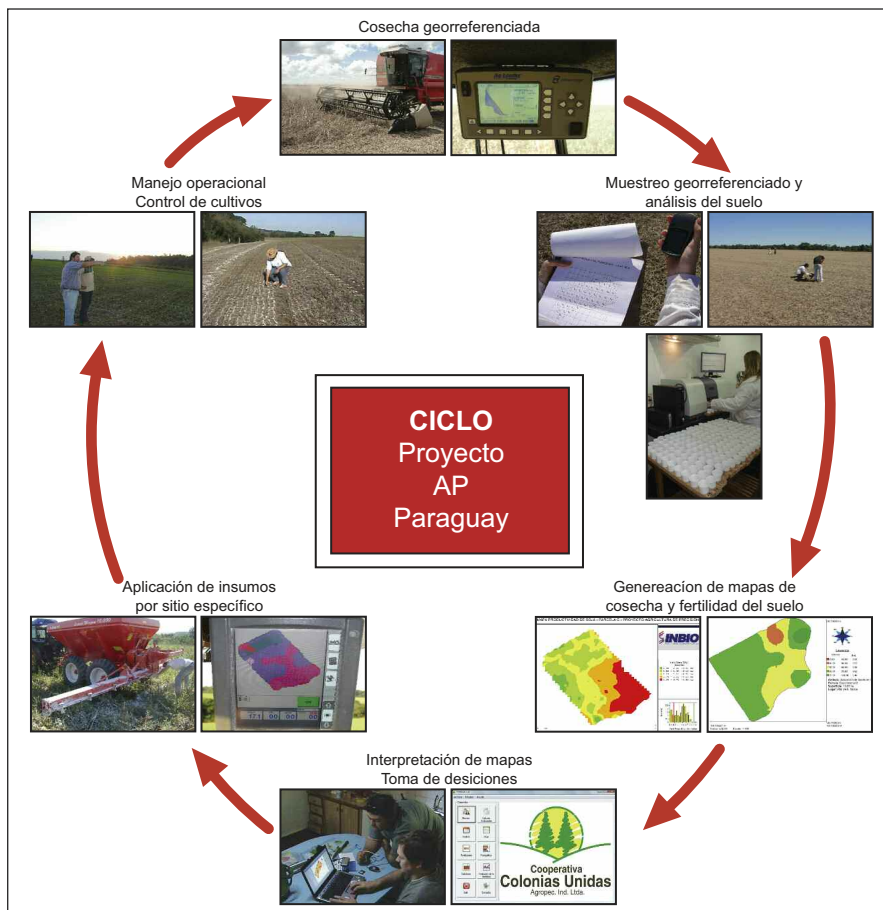


Figura 1. Ciclo de agricultura de precisión implementado en el Proyecto AP Paraguay financiado por el INBIO (Hahn, 2009).



Figura 2. Aplicador a tasa variada de correctivos de suelo (izquierda), y monitores de cosecha y de aplicación por sitio-específico utilizados en el proyecto.



Figura 3. Extractor automático de suelo y penetrómetro adaptados a cuatriciclo utilizados en el Proyecto AP, Paraguay.

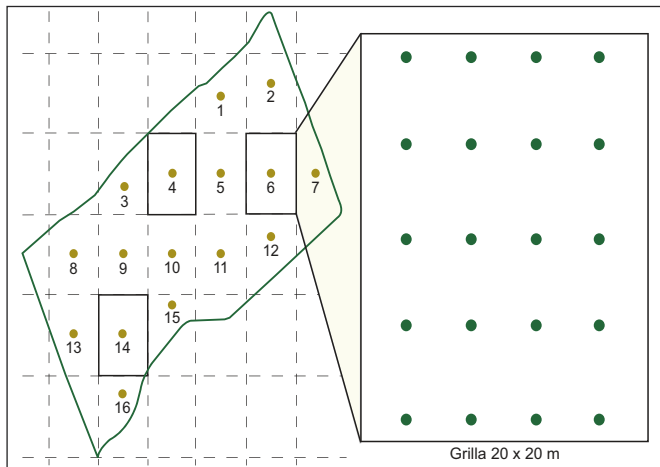


Figura 4. Distribución de la grilla de muestreo (173 x 173 m) y sub-grillas (20 x 20 m) en cuadrículas seleccionadas al azar. Parcela Experimental, Alto Verá, Paraguay.

Tendencias y perspectivas para el manejo sitio-específico en la agricultura paraguaya

En la búsqueda del mantenimiento de la fertilidad de suelos, la actividad básica a realizar debe ser reponer los nutrientes que se exportan en los granos. Un resumen de datos de análisis de suelos demostraron que gran parte del área agrícola sur del país está por debajo de los niveles críticos de P y K (Hahn, 2009). En lo que respecta a P, nuestros suelos presentan baja disponibilidad debido a la mineralogía en la que predomina la caolinita, la cual meteorizada genera óxidos de hierro (Fe) y aluminio (Al)

y ambientes de fijación del nutriente. Así también, se encontraron en muchas parcelas niveles bajos de K en los suelos, cuando originalmente en condiciones de bosque, los suelos poseían niveles considerados altos para la producción agrícola.

Trabajos en la zona sur del país vienen demostrando que, al diagnosticar la situación de los suelos con mapas de fertilidad a través de grillas de muestreo, es posible detallar la variabilidad de cada nutriente en el mismo. En las parcelas experimentales del proyecto se buscó refinar detalles sobre la variabilidad existente de atributos químicos del suelo mediante la realización de subgrillas de 20 x 20 m (20 muestras) en tres cuadrículas elegidas en forma aleatoria que provenían de la grilla de muestreo 173 x 173 m que generó 16 muestras cada 3 ha (Figura 4). Las parcelas experimentales son áreas con historia de uso agrícola superior a 30 años y siembra directa consolidada, representativas de las áreas agrícolas del Departamento de Itapúa.

Al detallar con sub-grillas, los resultados (Figura 5) generaron una tendencia de comportamiento variable para P en el suelo, con coeficiente de variación (CV) altos entre 30-40% y valores variando desde niveles muy altos (verde oscuro), altos (verde), medios (amarillo), bajos (naranja) y muy bajos (rojo).

El comportamiento de K en el suelo demostró también variabilidad, con CV entre 20-35% y niveles de fertilidad entre alto, medio y bajo. Esta variabilidad en las mayorías de las grillas trabajadas fue inferior a las encontradas en P.

El calcio (Ca) en el suelo demostró un comportamiento poco variable (CV de 10-20%), con niveles de fertilidad medios en la mayoría de los estudios realizados. El magnesio (Mg) por su parte, se situó en niveles de fertilidad medios a altos en casi todos los estudios realizados con CV entre 15-25%, dando resultados de variabilidad inferiores a los encontrados con P y K y superior al encontrado con Ca.

Es bueno entender que con la siembra directa, la variabilidad espacial de atributos químicos aumenta con respecto al manejo convencional usado en décadas anteriores, principalmente para el P y el K, en virtud del efecto residual de los fertilizantes aplicados con la sembradora en línea. En el sur del Brasil varios trabajos demuestran también variabilidad horizontal para P y K, superior que para pH en agua, Ca y Mg (Anghinoni y Salet, 1998; Schlindwein y Anghinoni, 2000). Esta variabilidad espacial se explica por el uso de fórmulas con alto contenido de P y K en línea de siembra, mientras que Ca y Mg se aplican encalando al voleo en forma homogénea sobre los rastrojos.

Actualmente, la tendencia para el manejo sitio-específico de la fertilidad de suelos en el Paraguay es enfocarse a una fertilización de reposición de exportación en granos,

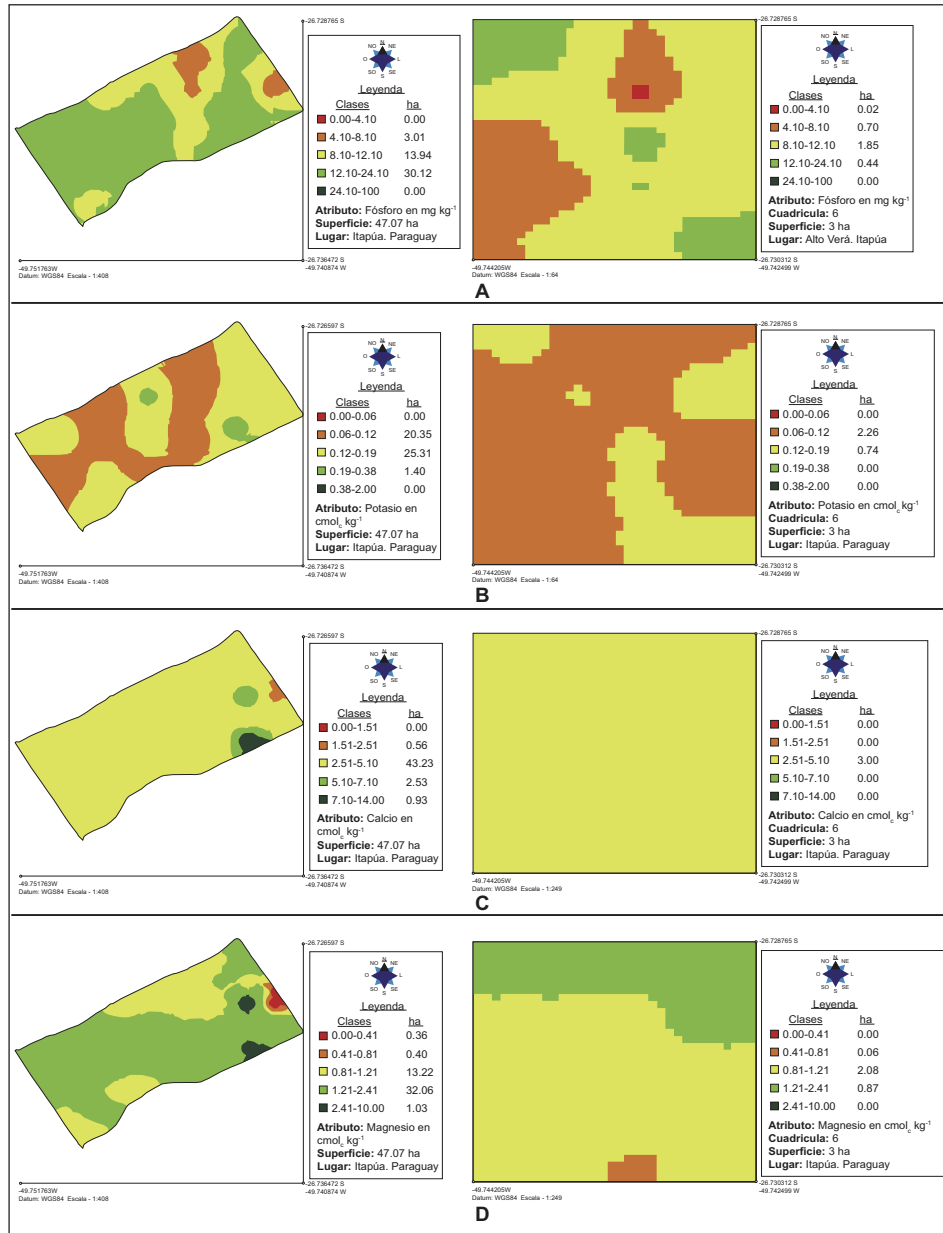


Figura 5. Estudio detallado de la variabilidad de suelo con grilla a 173 x 173 m (mapas a la izquierda) y sub-grillas de 20 x 20 m en cuadrículas seleccionadas al azar (mapas a la derecha) para fósforo (A), potasio (B), calcio (C) y magnesio (D). Parcela Experimental, Alto Verá, Paraguay.

en la línea de siembra y a una corrección de suelo sobre todo de calcáreo, P y K a tasa variada, buscando alcanzar niveles críticos o de suficiencia en los suelos, con el principal objeto de obtener mejores rendimientos en los cultivos implantados.

Para el manejo sitio-específico de nitrógeno (N) se desarrollan nuevas alternativas para la fertilización, que buscan mejorar la eficiencia e incluyen métodos de diagnóstico ligados a dosis, momento y estado nutricional, donde sobresale el uso de métodos no destructivos y de rápido análisis como los sensores ópticos que miden el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado de los cultivos (NDVI). Las investigaciones generadas con esta tecnología verifican un amplio rango de momento de aplicación de N, que se extiende hasta estadios más tardíos (V8 hasta V12). Con el uso de sensores NDVI se puede sincronizar la oferta de N con la demanda y disminuir

riesgos en la toma de decisiones por tener gran parte de los componentes de rendimiento definidos (Melchiori, 2010).

Los resultados experimentales obtenidos en Paraguay con uso de sensor óptico activo en función a dosis de N para el cultivo de maíz, marcó una buena correlación entre la lectura del sensor, la producción de materia seca ($R^2 = 0.65$ a 0.95) y los rendimientos de granos ($R^2 = 0.5$ a 0.7) principalmente desde V10 hasta V14 (Figura 6).

Al obtener datos experimentales de varias zafras relacionando producción de materia seca y rendimiento de granos con las lecturas NDVI por el sensor, identificando zonas de stress y de alto potencial productivo, se pueden crear recomendaciones a tasa variada de aplicaciones de N y tomar medidas en tiempo real que induzcan a disminuir los rangos de variabilidad de productividad causados por deficiencia de N en el cultivo.

Implementación de proyectos de agricultura de precisión con productores de la Cooperativa Colonias Unidas

El Dr. Telmo Amado, referente en agricultura de precisión en el Brasil y propulsor e investigador líder del Proyecto Aquarius de alto impacto social (Amado et al. 2006), resalta que cada región

debe adaptar su propio sistema conveniente de agricultura de precisión, de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas y a los datos experimentales que se presentan, siendo esto clave para consolidar la implementación de proyectos precisos a escala de productores rurales.

En un trabajo sobre interpretación y diagnóstico de los suelos agrícolas de 209 parcelas de socios productores de la Cooperativa Colonias Unidas, los cuales presentaban histórico de fertilización en línea y siembra directa consolidada con más de 10 años del sistema, se verificaron deficiencias en fertilidad de P (79% de las parcelas) y K (69% de las parcelas) en los suelos analizados, donde se ha recomendado tomar medidas a través de planes de construcción de la fertilidad de suelos (Hahn y Bonussi, 2010).

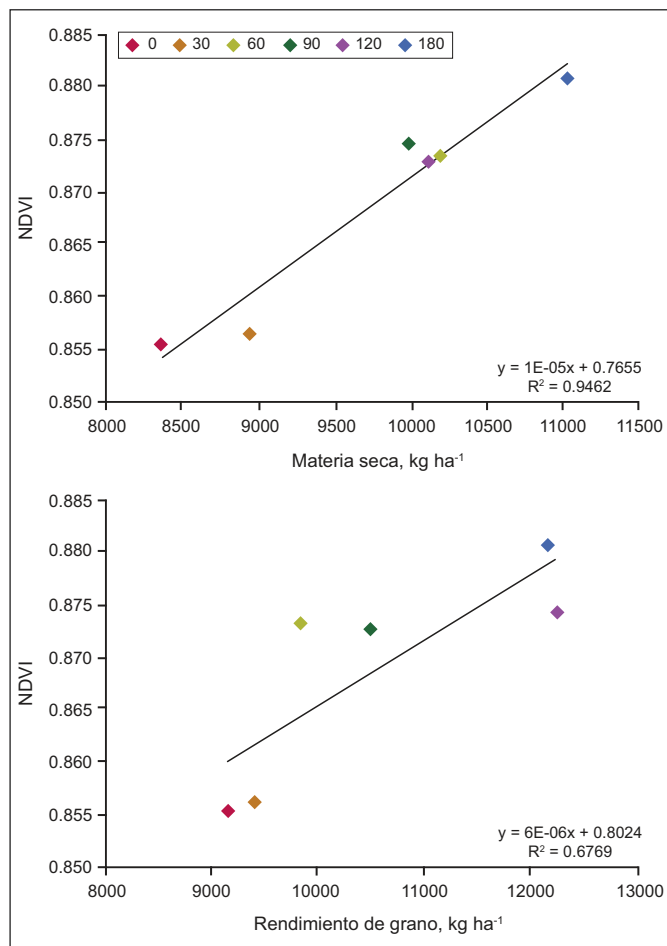


Figura 6. Relación entre el Índice de Vegetación Diferencial Normalizado (NDVI) y la producción de materia seca (superior) y rendimiento de granos (inferior) medidos en estadio fenológico V14 para 6 dosis de N (kg ha⁻¹). Parcela Experimental Alto Verá, Paraguay.

Una de las herramientas más utilizadas en la agricultura de precisión en suelos deficientes es la corrección de suelo a tasa variada. A partir del 2011 se implementó con los productores este servicio en el sector Asistencia Técnica de la Cooperativa Colonias Unidas, donde se dispone de equipos precisos e insumos para la corrección de suelos.

En la primera etapa del proyecto se implementaron trabajos de manejo sitio-específico de corrección de suelos con 30 productores y 42 parcelas agrícolas. Se realizaron mapas de atributos de suelos y se generaron recomendaciones para corrección de suelo con calcáreo, P y K. En las 42 parcelas se aplicó tasa variada y se usaron grillas de muestreo con puntos de muestreo cada 2 ha. Se elaboró un análisis sobre los beneficios económicos de la utilización de tasa variada versus tasa fija, para ello se simuló aplicaciones a tasa fija en las mismas parcelas, con recomendaciones que se obtuvieron en base al promedio de los resultados de los análisis de suelo de la grilla obtenida para tasa variada.

El encalado es una práctica necesaria en los suelos de la región para mejorar la disponibilidad de nutrientes y

neutralizar el Al³⁺ existente en nuestros suelos. Los resultados más favorables de economía con tasa variada fueron encontrados con el uso de calcáreo (**Figura 7A**) y en el 95% de las parcelas trabajadas hubo una economía de insumos positiva en comparación a la recomendación promedio. Existió una economía total de 26% en el uso de cal agrícola para corrección de suelos.

La aplicación de superfosfato triple como fuente de P en tasa variada resultó en 24 parcelas con balance favorable y 18 con pérdidas en economía con el uso de tasa variada al comparar con tasa fija (**Figura 7B**). En cantidad total de P utilizado en las parcelas hubo una economía del 14%, a favor de la implementación de la tasa variada.

Al realizar el análisis de la utilización de cloruro de potasio (KCl) como fuente de K en tasa variada se percibe un incremento en costos en relación al uso de dosis fijas (**Figura 7C**). El 25% de las parcelas no necesitaron K en tasa variada para superar el tenor crítico (75 mg dm⁻³ o ppm). Igualmente, al simular una dosis fija de recomendación en base al promedio, más del 75% de las parcelas no necesitaron aplicación de K. De las 9 parcelas que necesitaban el nutriente por el promedio, 8 parcelas tuvieron pérdidas en economía al comparar el uso en tasa variada versus dosis fija. Por consiguiente, hubo un balance económico negativo para la tasa variada en aplicaciones de KCl.

Un 80% de estas parcelas de socios productores son del departamento de Alto Paraná que poseen histórico más reciente de agricultura en comparación al departamento de Itapúa (20% de las parcelas). En esta región, los suelos tienen tenores medios a altos de K y esto explicaría los resultados con promedio por encima del nivel crítico, que daría una dosis fija de igual a cero. Sin embargo, debido a la variabilidad encontrada en K, algunos puntos de las grillas coincidían con niveles por debajo del nivel crítico, generando recomendaciones de aplicación de tasa variada.

Al realizar un balance general de los correctivos utilizados en las 42 parcelas (calcáreo, superfosfato triple y KCl) existió un beneficio en economía a favor del manejo sitio-específico, por la reducción de 16% en el costo total de los insumos, en comparación de la simulación de recomendación promedio para tasa fija. Además debemos considerar que los correctivos por manejo sitio-específico se ubican en el lugar correcto y en dosis adecuadas para la construcción de la fertilidad apuntada por el proyecto.

Consideraciones finales

La cotización de la tierra agrícola se elevó considerablemente en el Paraguay, cesando la gran expansión agrícola sobre los suelos del territorio en los últimos 3 años, debido a que las tierras con buena aptitud para el sector ya están cubiertas por cultivos. Con estos acontecimientos los productores paraguayos están más concentrados en adoptar tecnología para

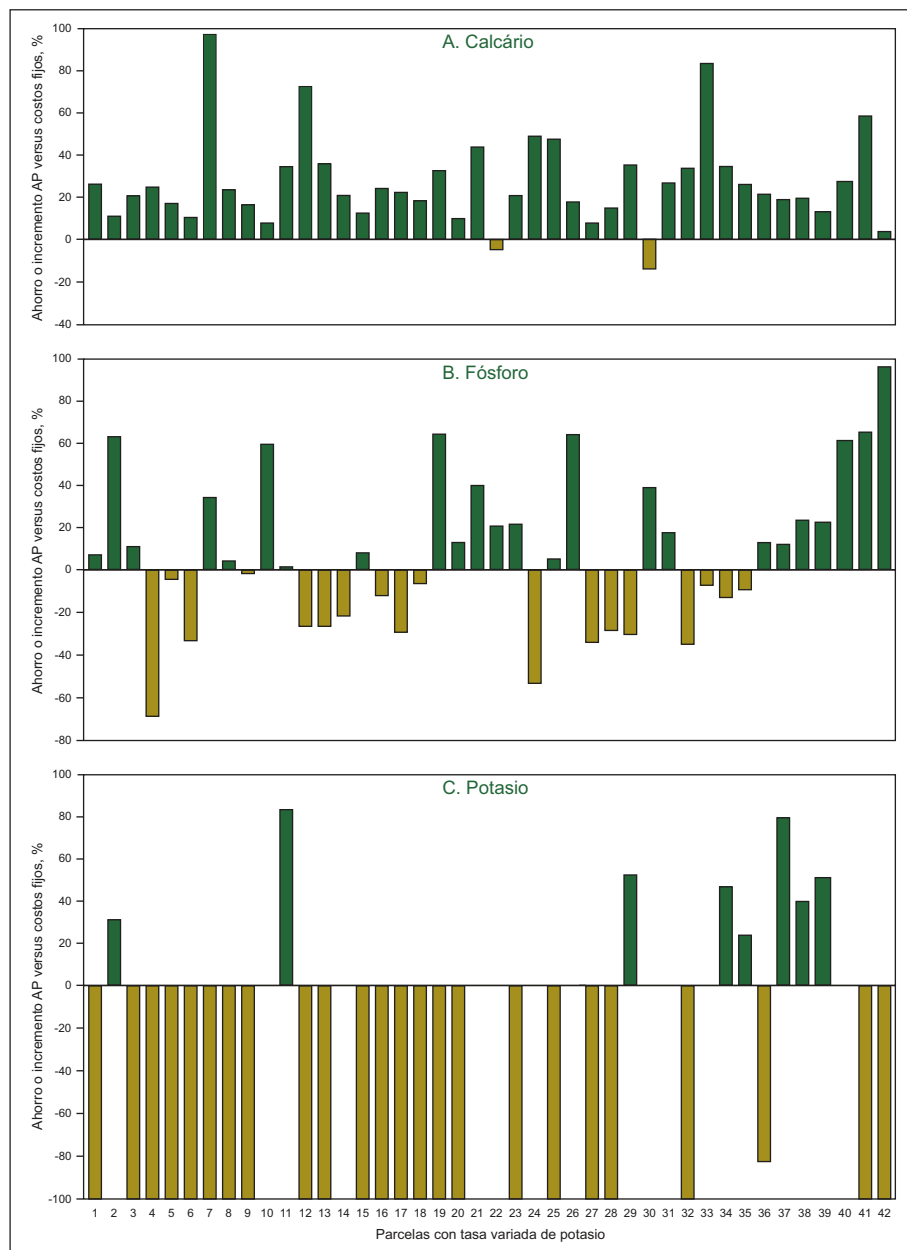


Figura 7. Variación de costos (ahorro en verde e incremento en gastos en amarillo) del uso de la tasa variada de insumos comparada con un promedio simulado de tasa fija, para calcáreo (A), Fósforo (B) y Potasio (C) en las parcelas de productores Cooperativa Colonias Unidas, Paraguay.

ganar en rendimientos por superficie cultivada. Obtener resultados satisfactorios estará vinculado al manejo y la conservación de los suelos agrícolas y al uso racional y eficiente de los insumos, pilares que cumplirán un rol importante para la sostenibilidad de nuestra agricultura.

Bibliografía

Amado, T.J. C., G.L. Belle, R.B.C. Dellamea, L.Z. Pes, R. Fulber, L. Pizzutti, R.B. Schenato, y C.L. Lemainski. 2006. Projeto Aquarius-Cotrijal: pólo de AP. Revista Plantio Direto, Passo Fundo, 91(1):39-47.

Anghinoni, I., y R.L. Salet. 1998. Amostragem do solo e as recomendações de adubação e calagem no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J., ed. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. Lages, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, pp. 27-52.

Barreto, U.F. 2008. Recomendações de fertilização fosfatada e potássica para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Tese Doutorado. Universidade Federal de Santa María.

Cubilla, M.M.C. 2005. Calibração visando recomendações de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai / 2005. 97 f. Mestrado em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria.

Derpsch, R., y T. Friedrich. 2009. Global overview of Conservation Agriculture No till adoption. In: IV Congresso Mundial da Agricultura Conservacionista. Disponible en internet: www.wccagri.ernet.in

Hahn, E. 2008. Recomendação de Nitrogênio, Fósforo e Potássio para girassol sob sistema plantio direto no Paraguai. Mestrado em Ciência do Solo - Universidade Federal de Santa Maria.

Hahn, E. 2009. Informatización para el manejo de suelo. Primer Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. Cooperativa Colonias Unidas, Obligado, Paraguay. 2009. 230 p.

Hahn, E., y D. Bonussi. 2010. Interpretación y diagnóstico de niveles de fertilidad de suelos agrícolas sobre siembra directa en la zona de influencia de la Cooperativa Colonias Unidas (Paraguay). Informaciones Agronómicas del Cono Sur

No. 45:5-8.

Melchiori, R.J.M. 2010. Sensores remotos para el manejo de nitrógeno. Libro del 9o. Curso Internacional de Agricultura de Precisión y 4a. Expo de Maquinarias Precisas. In Resúmenes de trabajos presentados. EEA Manfredi. Manfredi, Córdoba. AR.

Schindwein, J.A. e I. Anghinoni. 2000. Variabilidade espacial de atributos de fertilidade e amostragem de solo no sistema plantio direto. R. Bras. Ci. Solo, 24: 85-91.

Wendling, A. 2005. Recomendação de Nitrogênio e Potássio para trigo, milho e soya sob sistema plantio direto no Paraguai . 123 f. Mestrado em Ciência do Solo – Universidade Federal de Santa Maria. ○