

RECOMENDACIONES DE
FERTILIZACIÓN
PARA SOJA, TRIGO, MAÍZ Y GIRASOL
BAJO EL SISTEMA DE SIEMBRA
DIRECTA EN EL PARAGUAY



MARTÍN M. CUBILLA A.
ADEMIR WENDLING
FLÁVIO L. F. ELTZ
TELMO J. C. AMADO
JOÃO MIELNICZUK

Agosto del 2012

Cubilla A., M. M.

Recomendaciones de fertilización para soja, trigo, maíz y girasol
bajo el sistema de siembra directa en el Paraguay / M. M. Cubilla A.
/et al/. Asunción : CAPECO, 2012.

88 p.

ISBN 978-99953-849-5-1

1. Sistema de siembra directa 2. Recomendaciones de
Fertilización 3. Nitrógeno 4. Fósforo 5. Potasio 6. Fertilidad de
Suelo 7. Soja 8. Trigo 9. Maíz 10. Girasol. I. Título II. Wendling, A.
III. Eltz, F. L. F. IV. Amado, T. J. C.; V. Mielniczuk, J.

AGRIS F04

DEWEY 633.4



ÍNDICE

| | |
|---|-----------|
| Prólogo | 7 |
| Capítulo 1 Introducción | 9 |
| 1.1 Aspectos fundamentales sobre los principales nutrientes en estudio | 14 |
| 1.1.1 Nitrógeno..... | 14 |
| 1.1.2 Fósforo | 16 |
| 1.1.3 Potasio | 21 |
| Capítulo 2 Sistema de recomendación de fertilización | 23 |
| 2.1 Muestreo de suelo para análisis de la fertilidad | 25 |
| 2.2 Análisis del suelo en laboratorio | 34 |
| 2.3 Interpretación de los resultados analíticos para soja, trigo, maíz y girasol | 36 |
| 2.3.1 Determinación de categorías de fertilidad para P en el suelo..... | 41 |
| 2.3.2 Determinación de categorías de fertilidad para K en el suelo ... | 44 |
| 2.4 Recomendación de fertilizantes y correctivos | 46 |
| Capítulo 3 Recomendación de fertilización correctiva y gradual de P y K para soja, trigo, maíz y girasol | 51 |
| Capítulo 4 Recomendación de fertilización nitrogenada, fosfatada, y potásica por cultivo | 55 |
| 4.1 Soja | 55 |
| 4.2 Trigo | 58 |
| 4.3 Maíz | 61 |
| 4.4 Girasol | 64 |
| Capítulo 5 Síntomas de deficiencias nutricionales | 67 |
| 5.1 Síntomas de deficiencias nutricionales en Soja | 68 |
| 5.2 Síntomas de deficiencias nutricionales en Trigo | 72 |
| 5.3 Síntomas de deficiencias nutricionales en Maíz | 76 |
| 5.4 Síntomas de deficiencias nutricionales en Girasol | 79 |
| Agradecimientos | 81 |
| Literatura citada | 83 |



PRÓLOGO

El desarrollo sustentable, definido en el informe Brundtland de la ONU como aquel que “satisface las necesidades del presente sin comprometer las necesidades de las futuras generaciones” (UN, 1987), está basado en tres ejes: económico, ambiental y social. La búsqueda de una agricultura sustentable requiere el cumplimiento de estos tres objetivos para satisfacer las crecientes demandas de alimentos, fibras, biomateriales, y bioenergía. Consecuentemente, la agricultura del siglo XXI enfrenta el desafío del manejo eficiente y efectivo de los recursos e insumos, maximizando producción y calidad, minimizando el impacto ambiental y proveyendo al crecimiento y desarrollo social de toda la población.

El uso eficiente y efectivo de los nutrientes, ya sea de los disponibles en los suelos como de los aplicados en fertilizantes químicos, enmiendas y abonos orgánicos, forma parte fundamental de una agricultura sustentable. La adopción de mejores prácticas de manejo que respondan al concepto de 4Cs/4Rs, dosis correcta aplicada con la fuente correcta en el momento y formas correctas, orienta a ese uso eficiente y efectivo (Bruulsema *et al.*, 2008). Las prácticas recomendadas deben basarse en principios científicos que son globales pero de aplicación local.

Este libro presenta una excelente y didáctica síntesis de numerosos trabajos realizados por un grupo de destacados investigadores introduciendo mejores prácticas de manejo de la nutrición de cultivos bajo siembra directa en Paraguay. La publicación define, con rigurosa base científica, las pautas

de recomendación de fertilización para los sistemas de producción de la región oriental del país, contribuyendo a la sustentabilidad económica, ambiental y social de los mismos. Las recomendaciones se basan en extensos trabajos de investigación a campo, los cuales han generado información y conocimientos que definen prácticas de manejo de suelos y de nutrientes para una mayor eficiencia y efectividad de uso de cada kg de nutriente disponible en el suelo o aplicado vía fertilización.

Cabe resaltar la participación de numerosas instituciones de Paraguay y de Brasil, que han apoyado el proyecto de trabajo. Concretamente, esta publicación es resultado de una tesis de doctorado y cuatro tesis de maestría de profesionales paraguayos que estudiaron en la Universidad Federal de Santa María (Rio Grande do Sul, Brasil), con el aporte financiero de todo el proyecto liderado por CAPECO. Sin lugar a dudas, la colaboración interinstitucional es de gran valor para lograr objetivos de la importancia de los abordados en este proyecto.

Es un gran honor para mí poder prologar esta obra de prestigiosos profesionales y excelentes amigos. Quiero hacerles saber de mi reconocimiento por este logro y, asimismo, del desafío que se han planteado de seguir generando alternativas de manejo para una producción agrícola económica, ambiental y socialmente sustentable.

FERNANDO O. GARCÍA

Director Regional
Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI)
www.lacs.ipni.net
fgarcia@ipni.net

Capítulo . 1



INTRODUCCIÓN



El Paraguay cultiva grandes áreas de soja, trigo, maíz y girasol; y tiene a disposición una recomendación de fertilización publicada en el año 1999 (Fatecha, 1999), que fue propuesta para el sistema de cultivo convencional (SCC), sistema que hoy en día no es practicado por la mayoría de los agricultores. Esta recomendación tiene por objetivo fertilizar solo los cultivos, sin calibraciones para recomendaciones de corrección de suelos. Para suplir esta deficiencia, los agricultores paraguayos usan también alternativamente recomendaciones de diversas regiones del



Sistema convencional de cultivo, siembra sobre suelo desnudo.

Brasil, principalmente las de Rio Grande del Sur, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso, Minas Gerais, Sao Paulo, y como también de la Argentina.

En el Paraguay todavía son escasas las informaciones a respecto de los ajustes necesarios en las recomendaciones de fertilizantes para acompañar los recientes avances introducidos en el sistema productivo, con destaque en la adopción del sistema de siembra directa (SSD) y el uso de variedades genéticamente modificadas con elevado potencial productivo.

Una recomendación actualizada de dosis de fertilizantes bajo el SSD es fundamental para la aplicación correcta de los fertilizantes, lo que genera economía de insumos y aumento de la productividad, y una mayor eficiencia ambiental, técnica y económica del capital invertido.

El eficiente control de la erosión, el incremento de la materia orgánica, el ciclaje de nutrientes y el estímulo a la actividad biológica, entre otros efectos, promueven un gradual incremento en la calidad (Amado & Eltz, 2008) y la estabilidad estructural del suelo (Reichert *et al.*, 2003), garantizando una mejor sustentabilidad del SSD. La contribución de estos efectos proporciona una mayor infiltración, y almacenamiento de agua en el suelo, mejora la aireación del suelo y promueve el desenvolvimiento del sistema radicular de las plantas, con efectos significativos en el aprovechamiento de los nutrientes del suelo y respuesta de los cultivos.

En el SSD las dosis de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son aplicadas de manera variable, conforme a los niveles en el suelo, descriptas en los resultados analíticos de laboratorio y la expectativa de rendimiento.

La dinámica de las características químicas, físicas y biológicas del suelo es alterada cuando se pasa de un sistema de manejo convencional para el



Sistema de Siembra Directa, cobertura permanente del suelo.

manejo en siembra directa. El manejo de la fertilidad del suelo y de fertilización, debe ser, por lo tanto, adaptado a estas prácticas del uso conservacionista del suelo.

Las investigaciones realizadas a campo demuestran, que en el SSD se registran mayores valores de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, como también mayores valores de pH, mayor capacidad de intercambio catiónico, y menores tenores de aluminio tóxico (Sidiras y Pavan, 1986; Derpsch *et al.*, 1986; Eltz *et al.*, 1989).

Entre los principales cambios observados en los suelos bajo el SSD, se destacan la menor adsorción de P aportado vía fertilización mineral por la menor perturbación del suelo (Eltz *et al.*, 1989; Martins & Gonçalves, 1997), la mayor concentración superficial de nutrientes entre ellos el P y el K, especialmente en la camada de 0-5 cm o de 0-10 cm de profundidad (Eltz *et al.*, 1989; Schlindwein & Anghinoni, 2000) y el aumento de la materia orgánica (Eltz *et al.*, 1989; Bayer *et al.*, 2000; Schlindwein & Anghinoni, 2000; Amado *et al.*, 2006), que asociada a los rastrojos de los cultivos mantenidos en superficie, disminuye las pérdidas de suelos y nutrientes por erosión, permitiendo un mejor aprovechamiento de los fertilizantes aplicados.

Las recomendaciones de fertilización para el Paraguay, por tanto, pueden estar desactualizadas y necesitan periódicamente de revisiones. Se introdujeron en los últimos años cambios significativos en los sistemas de cultivos, destacándose:

- a. El 90% de las áreas de producción con los principales cultivos en el país son cultivados bajo el SSD;

- b. El muestreo de suelo en el mismo sistema de siembra es realizado en la camada de mayor concentración de nutrientes (0-10 cm o 0-15 cm);
- c. El rendimiento medio de los principales cultivos aumentó, debido al mejoramiento genético, el uso de la biotecnología y mejor manejo de las parcelas agrícolas;
- d. Actualmente existen métodos de análisis de suelos más eficientes, de bajo costo y con gran practicidad laboratorial.

Estos cambios generaron la necesidad de nuevas calibraciones, las cuales se reportan en esta publicación. Por lo tanto, han sido conducidos experimentos de calibración en red, en diferentes localidades del país, con el fin de obtención de recomendaciones de fertilización nitrogenada, fosfatada y potásica para los cultivos de soja, trigo, maíz y girasol, con tablas propias para nuestras condiciones edafo-climáticas bajo el SSD de largo plazo.

Unos de los mayores desafíos modernos de la fertilidad del suelo, es proveer cantidades suficientes de nutrientes para que los cultivos puedan expresar su potencial de productividad, siendo al mismo tiempo económicamente viable y ambientalmente seguro. Un sistema de recomendación de fertilización normalmente apunta a suplir la demanda de los cultivos y elevar los niveles de nutrientes en el suelo hasta el nivel de suficiencia.

En general, la nutrición de cultivos se enfoca para el cultivo inmediato pero el concepto de nutrición de cultivos y suelos debe mirar más allá del cultivo siguiente, buscando reponer los nutrientes extraídos para que, con otras prácticas de manejo (rotación, siembra directa, cultivos de cobertura, etc.), se pueden mantener y/o mejorar los rendimientos, las eficiencias y la sustentabilidad del sistema (García, 2011).

Cuando se planea un plan de fertilización de cultivos, el mismo incluye dos etapas: el diagnóstico de las necesidades de fertilización (que nutrientes y cuanto aplicar), y el manejo de la fertilización (que fuentes utilizar, cuando y como aplicar). El diagnóstico de la fertilización se basa en el conocimiento de la demanda nutricional del cultivo, que depende del rendimiento esperado, y de la oferta nutricional del sistema evaluado a partir del análisis del suelo, las condiciones de suelo y clima, y el manejo del suelo y del cultivo.

Sistema de Siembra Directa, cobertura permanente del suelo.





Germinación de soja bajo el SSD, parcela experimental.
CETAPAR, Yguazú.

La herramienta más utilizada para elaboración de recomendación de fertilización es el análisis del suelo. La principal finalidad del análisis del suelo, es evaluar el estado de la fertilidad del mismo, y determinar la cantidad de nutrientes necesarios para el adecuado desenvolvimiento de las plantas, sirviendo de base para una recomendación racional y económica de correctivos y fertilizantes. Para que esto sea posible, es necesario tener tablas de interpretación y recomendación elaboradas a partir de experimentos de calibración conducidos a campo.

Este trabajo es el resultado de un convenio de cooperación técnica-científica entre la Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO) y la Universidad Federal de Santa María (UFSC), Rio Grande del Sur, Brasil, involucrando: a) Universidad Nacional de Asunción por medio de la Facultad de Ciencias Agrarias de Pedro Juan Caballero (UNA-FCA-PJC); b) Institutos de investigación: Centro Tecnológico Agropecuario del Paraguay (CETAPAR) y el Centro Regional de Investigación Agrícola del Ministerio de Agricultura y Ganadería (CRIA-MAG); c) Cooperativa Agrícola de Naranjal (COPRONAR); d) Productores rurales: Rudi Dressler (pionero del SSD en el Paraguay), Eugenio Mañko(t) y la empresa LACTOSUR; y e) Red Nacional de Laboratorios de Análisis de Suelos (RENALAS).

El convenio ha generado, aparte de las primeras tablas de interpretación y recomendación del manejo de fertilizantes en siembra directa, tesis de posgrado de estudiantes paraguayos en aquella Universidad; cuatro maestrías (Cubilla, 2005; Wendling, 2005; Hahn, 2008; Fatecha, 2010) y una tesis de doctorado (Barreto, 2008). Estos trabajos permiten realizar recomendaciones preliminares de la fertilización química de N, P y K para soja, trigo, maíz, y girasol, cultivados bajo el SSD, para nuestras realidades edafoclimáticas.

1.1 Aspectos fundamentales sobre los principales nutrientes en estudio

1.1.1 Nitrógeno

El N es requerido en gran cantidad por el maíz, trigo y girasol, comúnmente no es abastecido en la cantidad necesaria y en la fase fisiológica requerida. El abastecimiento adecuado del N en el SSD es más complejo que en el SCC. La principal razón está relacionada con la cantidad y calidad de residuos del cultivo anterior remanente en la superficie del suelo, pudiendo disponer o inmovilizar N para el cultivo siguiente.

El abastecimiento de N para los cultivos como las no-leguminosas, tiene una importancia económica y ambiental muy significativa, por la alta probabilidad de respuesta a la aplicación con dosis elevadas y facilidad de pérdida, pudiendo causar contaminación ambiental. Normalmente es el mayor limitante de la productividad de cultivos no-leguminosas, ya que el N ofrecido por el suelo no es suficiente para obtener rendimientos elevados (Amado & Eltz, 2008).

El trigo ha presentado respuesta significativa a la aplicación de N (Goepfert *et al.*, 1974). En promedio exporta en torno de 22 kg ha⁻¹ de N (Comisión de Química y Fertilidad del Suelo – RS/SC, 2004) por tonelada de granos cosechados a campo, siendo que aproximadamente 75% de la cantidad absorbida es exportada con el grano. Para que no ocurra una reducción del stock de N en el suelo, que puede comprometer el abastecimiento a las plantas y la manutención del stock de la materia orgánica del suelo, es importante que esa cantidad sea incorporada durante el ciclo vegetativo de la planta.

El N es el elemento absorbido en mayor cantidad por el maíz, con aumento lineal de la absorción en función de la mayor producción de biomasa, aproximadamente 21 kg por tonelada de granos.

El N es el segundo nutriente mas absorbido por el girasol, absorbiendo 41 kg de N por tonelada de granos y exportando 56% del total absorbido (Castro & Oliveira, 2005). Blamey *et al.* (1987) relatan que el N es el mayor limitante nutricional para el girasol, y puede reducir hasta 60% su productividad.

Debido a la importancia de la fertilización nitrogenada para estos cultivos y la carencia de informaciones disponibles en el país, una recomendación de N ajustada para el SSD es fundamental para el aumento de la productividad del maíz, trigo y girasol.

**Aplicación de N vía urea en parcelas experimentales de trigo.
CETAPAR, Yguazú.**



**Aplicación de N vía urea
en cobertura para trigo.
Itapúa, Sr. Rudi Dressler.**



**Aplicación de N vía urea en
cobertura para el maíz bajo SSD.
Misiones.**

1.1.2 Fósforo

Fatecha (1999) afirmó que en los suelos de la Región Oriental, el nutriente más deficiente es el P, siguiendo en orden decreciente de importancia, el N, calcio, magnesio y el K, entre los micronutrientes el cobre y el zinc.

Según un trabajo de monitoreo de la fertilidad de los suelos de la Región Oriental, en 214 distritos, se constató que más del 80% de los análisis de suelos hechos desde el año 1980 hasta el 2002, se encuadraron en niveles bajos o de insuficiencia de P para las plantas (Fatecha, 2004).

Cuando el SSD es adoptado por más de diez años, las principales propiedades determinantes de la productividad del suelo son alteradas. Entre los cambios verificados en la fertilidad del suelo bajo SSD consolidada, se destacan:

- a. Reducción de la adsorción de P en la superficie de los óxidos debido al menor contacto P-suelo; lo que ocurría anteriormente con intensidad cuando los suelos tropicales eran sometidos a la frecuente remoción (Eltz *et al.*, 1989; Sá, 1993; Martins & Gonçalves, 1997);
- b. Elevada concentración superficial de nutrientes, notoriamente el P, especialmente en la camada de 0 a 5 cm, raramente pasando la profundidad de 10 cm (Muzilli, 1983; Sidiras & Pavan, 1986 ; Eltz *et al.*, 1989; Sá, 1993; Schlindwein & Anghinoni, 2000);
- c. Incremento del tenor de materia orgánica en esta misma camada superficial (Sidiras & Pavan, 1986; Bayer *et al.*, 2000; Schlindwein & Anghinoni, 2000; Amado *et al.*, 2002; Amado *et al.*, 2006), que obstruye parcialmente los sitios de adsorción de P y aumenta el almacenamiento de agua en el suelo, permitiendo un mejor aprovechamiento por las plantas de los fertilizantes aplicados;
- d. Incremento del pH y eliminación de la presencia de aluminio en la camada superficial con aplicación superficial de calcáreo (Sidiras & Pavan, 1986);





**Aplicación de fertilizantes en los ensayos experimentales.
Alto Paraná.**

- e. Reducción en las pérdidas de suelo y de nutrientes por erosión, debido a la protección proporcionada por los residuos culturales mantenidos en la superficie del suelo (Eltz *et al.*, 1989).
- f. Aumento de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) por el incremento de la materia orgánica en la camada superficial, que disminuye a su vez las pérdidas de nutrientes por lixiviación y escurrimiento superficial;
- g. Incremento de fracciones de P orgánico y de mayor labilidad.

Estas alteraciones en la fertilidad del suelo, adjudicadas por el SSD, pueden influenciar la disponibilidad de nutrientes a las plantas, principalmente el P, y consecuentemente, las recomendaciones de fertilización.

Con la aplicación de fertilizantes fosfatados y consecuente adsorción a los coloides, el manejo del suelo pasa a tener papel importante en la prolongación de su disponibilidad, pues algunas prácticas pueden ser adoptadas para disminuir su adsorción específica. Entre estas, están las de no remoción del suelo, el control de la erosión, la manutención de la cobertura vegetal del suelo y la rotación de cultivos.

En suelos donde la fracción arcilla es compuesta predominantemente por hidróxidos de hierro y de caolinita, como los Oxisoles de la Región Oriental del Paraguay, la capacidad de adsorción del P es alta. Por eso en el SSD, donde el suelo no es removido, la eficiencia de la fertilización fosfatada es mejorada, disminuyendo la exposición de los sitios de adsorción (Gatiboni *et al.*, 2007).

En la fase inicial de adopción del SSD, la construcción de niveles de P exige una mayor cantidad de fertilizante fosfatado (Cubilla, 2005). Por lo tanto,



**Aplicación de fertilizantes en parcelas experimentales.
CETAPAR, Yguazú, Alto Paraná.**

con el transcurrir de los años de fertilización y de adopción del sistema, se verifica la saturación de los sitios localizados en la camada superficial de las arcillas, permitiendo que la construcción de los niveles ocurra de forma más intensa y rápida, pues el P queda más lábil y con menor energía de fijación.

En siembra directa el P generalmente es movilizado en el perfil a través del transporte por insectos, lombrices y por la erosión vertical en las grietas del suelo y las galerías de origen biológico. Por lo tanto, normalmente el P permanece muy próximo del lugar donde es depositado por el fertilizante, ya que es poco transportado al perfil por el flujo de agua.

Entre los nutrientes, el P presenta la mayor variabilidad en la concentración tanto vertical como horizontal en el perfil del suelo. La variabilidad horizontal es resultado de fertilizaciones en línea en el surco de la siembra, especialmente en cultivos con espaciamiento ancho. Una variabilidad de aproximadamente 85%, en el tenor de P, fue encontrada cuando se comparó el muestreo de suelo en la línea y en la entre línea de siembra (Schlindwein & Anghinoni, 2000). Esta elevada variabilidad demanda un mayor número de muestras de suelo para que la disponibilidad del nutriente sea correctamente evaluada.

El SSD con rotación, la siembra de sucesivos cultivos con diferentes espaciamientos que muchas veces poseen línea de siembra no coincidente, induce a la menor variabilidad horizontal, que es mayor en la fase inicial y disminuye con el tiempo de adopción del sistema. La fertilización de P en el trigo disminuye la variabilidad. Espaciamientos reducidos de los cultivos también contribuyen para una menor variabilidad espacial.



Camada de 0 – 10 cm en SSD. Foto Dr. Joao Carlos de Moraes Sá.

Cuando los tenores de P en el suelo se encuentran de medios a elevados, la fertilización al voleo ha presentado eficiencia semejante a la fertilización en línea, especialmente si las condiciones de humedad del suelo fueren elevadas. La variabilidad vertical del P, en siembra directa, puede ser todavía mayor que la horizontal. Así, la variabilidad vertical del P está relacionada a la fertilización superficial o subsuperficial, la deposición superficial de los residuos de los cultivos y la baja movilidad de este nutriente en el perfil. La variabilidad vertical, al contrario de la horizontal, es agravada con el tiempo de adopción de la siembra directa. Varios autores constataron que la mayor concentración de P en siembra directa ocurre principalmente en los primeros 5 cm, o como máximo hasta 10 cm, como citamos anteriormente, cuando fueron utilizadas sembradoras con abresurco (cuchilla).

La concentración superficial de P, en caso de déficit hídrico frecuente, puede resultar en menor aprovechamiento por las plantas. Este hecho enfatiza la importancia del mantenimiento de una adecuada cantidad de residuos sobre la superficie del suelo, buscando conservar la humedad del mismo



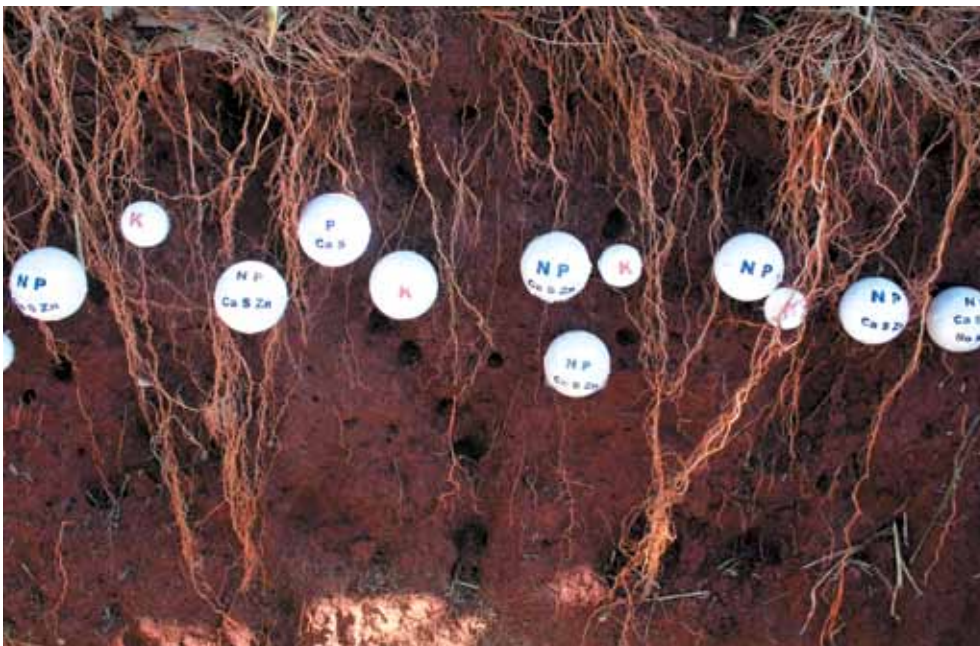
y, consecuentemente, favorecer la absorción de P. El stock de P orgánico aumenta con el tenor de materia orgánica del suelo y con el tiempo de adopción del SSD (Sá, 1993).

En los últimos años se han podido establecer, mediante trabajos de investigación conducidos a campo en Paraguay, categorías de disponibilidad de P en el suelo por debajo de los cuales los cultivos responden a la fertilización (Cubilla *et al.*, 2007; Barreto, 2008).

Los experimentos de calibración bajo el SSD han indicado que los niveles críticos de P serían superiores a los anteriormente propuestos bajo el SCC (Schlindwein, 2003; Cubilla, 2005; Boletim de Pesquisa de Soja, 2005; Cubilla *et al.*, 2007). Esto puede ser atribuido al mejoramiento en las prácticas de manejo del suelo, al mejoramiento genético y/o a la selección de variedades con potencial genético para altas productividades y, más aun, a la concentración superficial de P en el SSD, combinado con muestreos de 0-10 cm. Por lo tanto, debe considerarse un cuidado especial, debido a la concentración de P y al muestreo superficial del suelo bajo el SSD. Se espera que el nivel crítico sea más elevado de lo observado bajo el SCC, con distribución uniforme y muestreo más profundo, a pesar que el nivel de fertilidad del suelo y los rendimientos obtenidos puedan ser similares entre los sistemas de cultivos (Schlindwein, 2003).

Se han observado aumentos de los rendimientos con fertilización fosfatada en suelos de baja disponibilidad inicial de P en forma consistente en la Región Oriental del Paraguay (Cubilla, 2005).

El análisis de suelo antes de la siembra se reveló como una herramienta confiable para predecir una deficiencia fosfatada y prescribir la fertilización a la siembra, como una forma práctica de corregirla.



Camada superficial del suelo bajo el SSD.



1.1.3 Potasio

Las plantas absorben primeramente el K de la solución del suelo, lo cual depende de la concentración en los sitios de intercambio (K-intercambiable), que una vez agotado, posibilita la liberación del K retenido en las capas de los minerales. De este modo es que la dinámica del K puede ser variable para cada tipo de suelo, dependiendo de las cantidades aplicadas, de las características mineralógicas, de la especie vegetal y de la expectativa del rendimiento del cultivo (Mielniczuk, 1982).

El K se encuentra en la fase sólida del suelo (95%), en equilibrio dinámico con la fase líquida. La mayor parte del K absorbido por los cultivos retorna a la superficie del suelo conjuntamente con los residuos culturales, volviéndose nuevamente disponible para los próximos cultivos, concentrándose en la superficie del suelo (Eltz *et al.*, 1989; Schindwein & Anghinoni, 2000).

El K es un nutriente de alto ciclado por las plantas y que no forma parte de la constitución de la parte estructural de los tejidos vegetales, siendo liberado rápidamente cuando los residuos son aportados al suelo. El nabo forrajero tiene capacidad de ciclar una gran cantidad de K (Rossato, 2004).

La continua deposición de residuos en la superficie del suelo en siembra directa, aliado a las reducciones de pérdidas por erosión y lixiviación, inducen a una mayor concentración de K próximo a la superficie del suelo.

La exportación de K en los granos cuantificada en la forma de K_2O es mucho mayor en la soja (20 kg/t) que en otros cultivos, como el trigo, el maíz (6 kg/t) y el girasol (12 kg/t). Así, para obtener altos rendimientos y mantener la fertilidad del suelo, en sistemas de cultivo con predominio de soja, se debe realizar una adecuada fertilización de K, ya que este nutriente es requerido y exportado en grandes cantidades por este cultivo.

Considerando que la mayoría de los agricultores del Paraguay utilizan formulaciones de fertilizantes con baja disponibilidad de K (Fatecha, 1999),

sumado con el predominio de la soja en los sistemas de producción, se debe prever la adecuada fertilización con el nutriente a fin de evitar desequilibrios de la fertilidad del suelo por agotamiento (Novais, 1999; Amado & Eltz, 2007). En este contexto, Borkert *et al.* (1997) afirman que, inclusive en los Oxisoles con alta fertilidad y elevada disponibilidad de K, no pueden ser sembrados por más de dos años con soja sin aplicación de K, debido a la limitación en la productividad.

El K presenta movilidad en el suelo, pudiendo ser redistribuido en el perfil, por el flujo de agua (movilidad vertical) y por absorción y reciclaje por las plantas (movilidad horizontal). Así, la variabilidad, vertical y horizontal, de los tenores de K, normalmente, es menor que la de P. El aumento de la CIC asociada a la materia orgánica del suelo, también contribuye para el incremento del tenor de este nutriente.

En el SSD, la aplicación de fertilizantes potásicos ocurre en la línea de siembra y, en suelos con tenores arriba del nivel crítico, puede ser realizada al voleo, con resultados semejantes a aquellos con aplicación en línea (Wietölter *et al.*, 1998; Ceretta & Pavinato, 2003). Recientemente, se han combinado ambas estrategias, evitando aplicar más de 60 kg de K por hectárea en la línea.

En suelos con textura media a arcillosa, el cloruro de K puede ser aplicado sin problemas antes de la siembra. Otras ventajas de la aplicación al voleo (pre o post-siembra) son la disminución del riesgo del efecto salino del fertilizante sobre la semilla y las raicillas de la soja, y el aumento de la flexibilidad a la hora de elegir formulaciones de fertilizantes (principalmente en cuanto al manejo del azufre y/o P en la línea de siembra). En suelos arenosos, la tendencia a la respuesta al azufre es mayor, comparado con suelos de textura más arcillosa, en función del bajo tenor de materia orgánica del suelo.

La diferencia de productividad, muchas veces, no está en lo que fue utilizado o en cuanto se utilizó. La diferencia puede estar en realizar la práctica con calidad.

Cobertura del suelo bajo el SSD.



Capítulo . 2



SISTEMA DE RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN



El sistema de recomendación de fertilización presentado en este trabajo es indicado para ser utilizado en la Región Oriental del Paraguay, basado en el análisis de suelo. El principal objetivo del sistema es la utilización racional de insumos en cantidad, forma y época de aplicación, con el objetivo de elevar y mantener los tenores de nutrientes en el suelo para la optimización de retornos económicos.

Etapas del sistema

El sistema está compuesto por las siguientes etapas:



El muestreo de suelo, es la primera etapa para la adopción de un programa de recomendaciones de fertilización y correctivos. El error en la toma de muestras es muy perjudicial, ya que estas no pueden ser corregidas en las etapas de análisis de laboratorio, de interpretación de resultados analíticos y de recomendación de fertilizantes y correctivos.

Una muestra no representativa puede causar grandes errores en la recomendación de fertilización.

En el caso de cultivos anuales, las muestras deben ser tomadas anticipadamente a la siembra y con tiempo suficiente para hacer las determinaciones, interpretar los resultados, formular las recomendaciones de fertilización, comprar los fertilizantes y/o enmiendas y finalmente aplicarlos en el lote o parcela.

La metodología de preparación y análisis de las muestras de suelo y tejido vegetal sigue un protocolo uniforme de los laboratorios de la RENALAS.

La interpretación de los resultados analíticos es realizada por la utilización de categorías de fertilidad, a las cuales corresponden a diferentes tenores de nutrientes o de los parámetros del suelo analizado.



Muestreo del suelo en los ensayos experimentales, camada de 0 – 10 cm.
Fram, Itapúa.

Las recomendaciones de correctivos de acidez pueden ser realizadas por cultivos o por sistema de cultivos. Para la recomendación de fertilizantes son indicadas varias opciones, conforme el sistema de cultivo utilizado y la disponibilidad de recursos.

2.1 *Muestreo de suelo para análisis de la fertilidad*



El muestreo del suelo constituye la primera e importante etapa para la adopción del uso racional de fertilizantes y correctivos. Al mismo tiempo, el muestreo es la fase crítica y debe ser realizada con todo cuidado. Cuando el muestreo es bien realizado, origina una interpretación adecuada de la fertilidad del suelo.

Se debe recordar que el análisis del suelo no corrige los errores cometidos en el muestreo. El error en la toma de muestras es muy perjudicial por que no puede corregirse en las etapas de análisis de laboratorio, de interpretación de resultados analíticos y de la recomendación de fertilizantes y/o correctivos. Esto puede originar gastos económicos elevados e innecesarios.

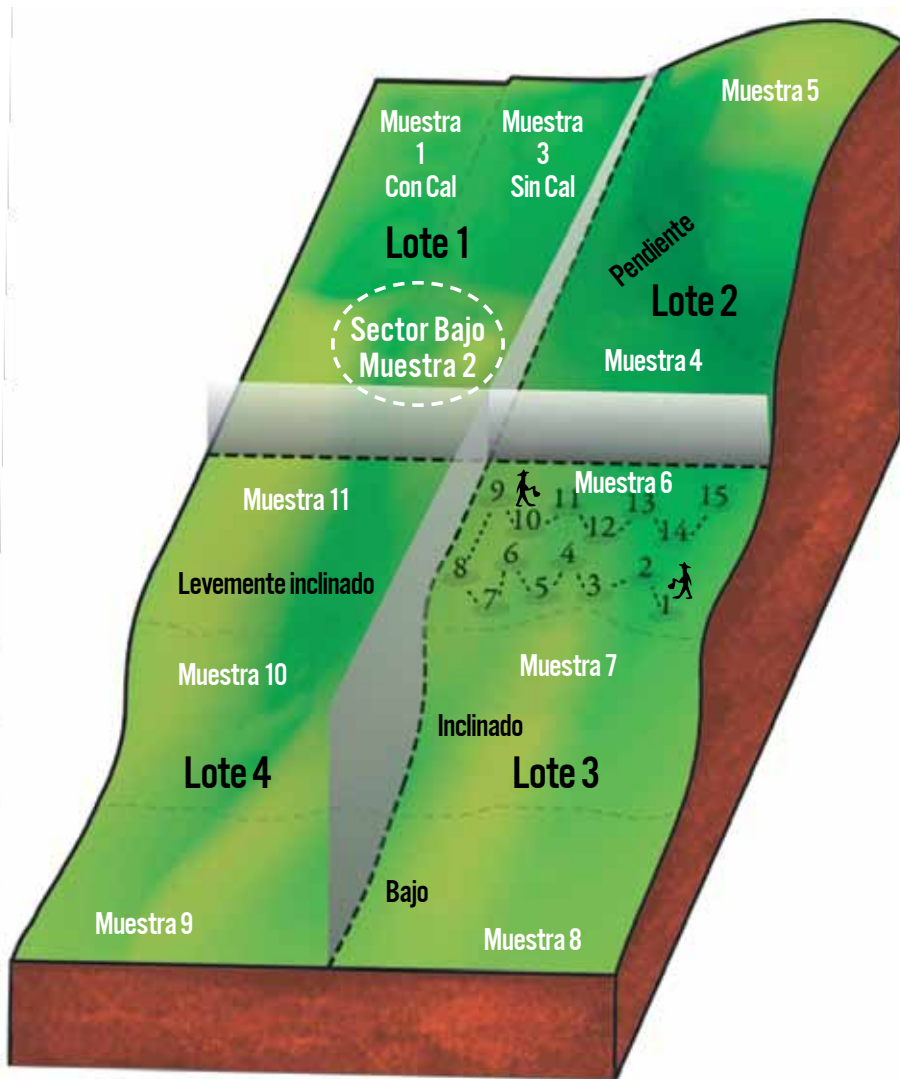
Las nuevas recomendaciones de fertilizantes para soja, trigo, maíz y girasol, bajo el SSD en el Paraguay, se basan en métodos calibrados, y utilizados por los laboratorios asociados a la Red Nacional de Laboratorios de Suelos (RENALAS).

Selección del área a ser muestreada

La primera etapa del trabajo es el reconocimiento del área de producción del agricultor para tomas de decisiones en el sistema de muestreo.

El área a ser muestreada debe presentar uniformidad, considerando las siguientes características: color del suelo y textura (arcillosa o arenosa), la topografía del área (alto, inclinado, bajo), vegetación, drenaje, el histórico del área (fertilización y cultivo anterior). Cada uno de estos factores podrá influenciar en la fertilidad del suelo y determinar la separación del área conforme se observa en la Figura 1.

Figura 1. Ilustración de prácticas de muestreo de suelo para lotes con diferentes declividades y usos del suelo.



El Lote 1 de la Figura 1, por ejemplo, se divide en 3 muestras (muestra 1 donde fue aplicada cal, la muestras 2 y 3 sin cal, pero que se diferencia de la 3 por ser un sector bajo, entonces se necesitará otra muestra). En el Lote 2, se observa que se divide en dos muestras (4 y 5) debido a una pendiente en el medio del lote. Si prestamos atención en la misma figura, en el Lote 3, la muestra 6 nos indica cómo deben ser realizadas las tomas de sub-muestras en todos los lotes: *en zigzag*.

Observamos en el Lote 3 (muestra 6, 7 y 8) y Lote 4 (muestra 9, 10 y 11), la separación debido a la diferencia topográfica (levemente inclinado, inclinado y bajo) ilustrando la importancia de la representatividad de cada área de producción, para un eficiente muestreo y consecuentemente una adecuada interpretación de la fertilidad.

Evitar muestrear en puntos atípicos, no representativos de cada lote, como en bañados, surcos de erosión, manchas de depósitos de cal agrícola, curvas de nivel, caminos viejos, áreas de rodeo de ganado, hormigueros, antiguas construcciones, etc., estas dan heterogeneidad al lote.

Punto importante y fundamental es la homogeneidad de lote o parcela. No es recomendable que la muestra represente más de 50 hectáreas.

Número de sub muestras para obtener la muestra única compuesta para el lote

Subdividir el área total a ser muestreada en lotes o parcelas, con características semejantes como se indica en la Figura 1, y al mismo tiempo elaborar un mapa/croquis con las denominaciones del campo. Este debe ser guardado cuidadosamente para la identificación posterior de las dosis de correctivos y de los fertilizantes a ser aplicados en cada lote o parcela.

Para representar adecuadamente un área de producción, lote o parcela, se recomienda muestrear entre 15 a 20 sub-muestras, aleatoriamente, en cada lote o parcela considerada uniforme (homogénea) que luego formarían una muestra única compuesta. Durante la fase del muestreo, las sub-muestras deben ser colocadas en un recipiente limpio. Al final mezclar manualmente hasta que esté bien homogénea.

De esta mezcla homogénea retirar 500 gramos (1/2 kg) de suelo, que constituirá la muestra única compuesta, para análisis en laboratorio. Por último, de esta muestra serán retirados cerca de 30 gramos para realizar el análisis, que representará todo el lote o parcela. Dicho esto, se percibe la importancia de la muestra representativa del lote o parcela.

Época de muestreo

El muestreo puede ser realizado en cualquier época del año, considerando el tiempo disponible para que la muestra llegue al laboratorio, el procesamiento analítico y la remisión de los resultados, por lo que, como mínimo se aconseja que el muestreo sea realizado con una anticipación 2 a 3 semanas

para la preparación del análisis y para la obtención de resultados de laboratorio.

En el caso de cultivos anuales, tales como soja, maíz, trigo, girasol, sorgo, canola, etc., las muestras deben ser tomadas anticipadamente a la siembra del cultivo y con tiempo suficiente para hacer las determinaciones, interpretar los resultados, formular las recomendaciones de fertilización, comprar los fertilizantes y finalmente aplicarlos en el lote o parcela.

Es importante recordar, que el costo de análisis de una muestra es siempre menor que el costo de los fertilizantes a ser aplicados en cada lote o parcela.

En el costo de producción de trigo y soja, por ejemplo, los fertilizantes equivalen a un 45-50 % aproximadamente del costo total. Por eso es importante conocer la fertilidad del suelo y decidir cuándo, dónde y cómo fertilizar.

Profundidad de muestreo

Para el SCC (arado de disco + rastra) y cultivo mínimo (escarificador, subsolador, o rastra liviana) se debe muestrear la camada de 0-20 cm. Para cultivos perennes y forestales, se debe muestrear la camada de 0-20 cm y, en algunos casos, como frutícolas, también la camada de 20-40 cm.

Para el SSD consolidado (5 años continuos), se debe muestrear la camada de 0-10 cm. El muestreo de la camada 10-20 cm en siembra directa puede ser útil para comprobar limitaciones de la fertilidad, sobre todo en lo que respecta a acidez del suelo y presencia de elementos tóxicos en profundidad.

Para implementación del SSD sobre área de sistema convencional anterior o campo nativo, se debe muestrear la camada de 0- 20 cm.

Para áreas con tenores elevados de nutrientes se puede evaluar la camada de 0-15 cm.



Muestreo de suelo de la
camada 0 – 10 cm en el SSD.
Naranjal, Alto Paraná.



Muestreo de suelo de la
camada 0 – 10 cm en el SSD.
San Patricio, Misiones.

Equipo y metodología para el muestreo

Existen varios equipos de muestreo que pueden ser utilizados. La elección depende de la disponibilidad del mismo y del tipo de implemento, del grado de compactación y humedad del suelo. Un implemento adecuado para el muestreo, que puede ser utilizado en la mayoría de los casos es la pala. Un GPS es importante para la demarcación de los lotes o parcelas y de los puntos de colectas de las muestras de suelos.

Metodología del muestreo con pala

(Según la Comisión de Química y Fertilidad del Suelo - RS/SC)

- a. Localizar en el terreno las líneas de siembra del cultivo anterior;
- b. Remover de la superficie la vegetación existente, paja, hojas, ramas y/o piedras. No raspar la camada superficial del suelo, para evitar retirada de la materia orgánica;
- c. Cavar una mini trinchera transversal a la línea de siembra, con el ancho correspondiente al espaciamiento de las líneas del último cultivo, teniendo el cuidado de que la línea en que fue aplicado el fertilizante, se encuentre localizado en la parte media de la mini trinchera. Para facilitar el muestreo, se recomienda realizarlo en los cultivos de menor espaciamiento como soja, trigo, avena o consorcios;
- d. Cortar con la pala, un pedazo de 2 a 3 cm de espesor en la pared de la mini trinchera. Si es en fase de implantación del SSD muestrear la camada de 0-20 cm de profundidad, y si es bajo el SSD consolidada (más de 5 años) muestrear la camada de 0-10 cm.
- e. Colocar la muestra de suelo en un balde limpio (20 litros);
- f. Repetir el mismo procedimiento entre 15 a 20 puntos del área homogénea a muestrear;
- g. Colocar en una lona plástica limpia y homogenizar bien la muestra;
- h. Retirar medio kilo (500 gramos) de suelo homogenizado, colocar en saco plástico limpio, etiquetar, completar el formulario de informaciones y remitir la muestra al laboratorio.

IMPORTANTE

Secar las muestras a la sombra y temperatura ambiente (no exponer al sol); y una vez secas, guardarlas en sus debidos sacos plásticos correctamente identificados.

Remisión de muestras al laboratorio

Las muestras que van al laboratorio deben llevar etiquetas, con la información suficiente para identificar cada lote o parcela muestreada. Como se puede observar en el modelo.

Modelo de etiqueta de identificación de la muestra de suelo.

| |
|--------------------------|
| Propietario: |
| Localidad: |
| Muestra Número: |
| Profundidad: |
| Localización GPS: |
| Área representada: |
| Cultivo anterior: |
| Cultivo a sembrar: |
| Fecha de muestreo: |

El técnico o productor responsable debe realizar un buen histórico de la parcela de la propiedad a ser muestreada, por ejemplo: que tipo de preparación de suelo (Siembra Directa o Convencional).

También otro aspecto fundamental en el tipo de manejo de la fertilidad del suelo, es saber si se aplicó o no calcáreo. En caso positivo conocer la dosis por ha, la época, si se incorporado o si fue superficial; también saber la fertilización (cantidad por ha, fórmula usada, etc.) y si fue aplicado fosfato natural o no en el área.

Por último, una información importante es el último promedio de productividad de cada parcela, por cada cultivo anterior.

Etapa de análisis de suelo pos-muestreo

El análisis de laboratorio es la principal herramienta en el manejo de la fertilidad de los suelos, ya sea para determinar deficiencias y necesidades de fertilización, así como también para monitorear la evolución de la disponibilidad de nutrientes en sistemas fertilizados.

Debemos tener en cuenta que la fertilidad del suelo no es constante en el espacio y en el tiempo y que además existen otros factores como la pro-



Muestreo de suelo, utilización de la pala como implemento de muestreo.

fundidad y el momento de muestreo que tienen un gran efecto sobre el resultado final. Es por eso que el muestreo es la etapa crítica del análisis de suelo.

Un análisis de suelos completo, incluyendo la textura y todos los nutrientes esenciales para los cultivos, es el punto de partida para la formulación de un plan adecuado de fertilización y encalado.

Solo habrá éxito en el aumento de la productividad de los cultivos y una utilización eficiente y racional de fertilizantes, a través de un correcto sistema de muestreo del suelo, de la correcta ejecución del análisis en laboratorio, y de la interpretación correcta de los resultados analíticos.

Se sabe que la fertilización realmente efectiva por el productor, va a depender también de cuestiones como el histórico del área, condiciones financie-



Preparación de la muestra para análisis en laboratorio.

ras y de crédito, expectativa de productividad y del precio de los productos agrícolas, pero, se sugiere tomar decisiones concretas y conscientes; y para esto, el muestreo eficiente del suelo, es fundamental (Cubilla, 2010).

Muestreo de suelos en Agricultura de Precisión

En la agricultura de precisión, el objetivo es identificar la variabilidad espacial dentro de un determinado lote. Para esto, un lote de 50 hectáreas considerado homogéneo, es subdividida en sublotes de 1, 2 o más hectáreas. Esta subdivisión es llamada de malla o grilla de muestreo. En este caso, se hacen sublotes de 1 ha, donde tendríamos, por lo tanto, 50 sublotes o 50 grillas de muestreo. Un punto central es georreferenciado en cada sublote. El muestreo de suelo con 10 a 12 puntos aleatorios, para componer una muestra representativa compuesta, es realizado alrededor de este punto central. Las sub-muestras son colectadas en un radio de 3 a 6 m del punto central. Para esta misma área, en una grilla de 2 hectáreas serian realizadas 25 sub-muestras.

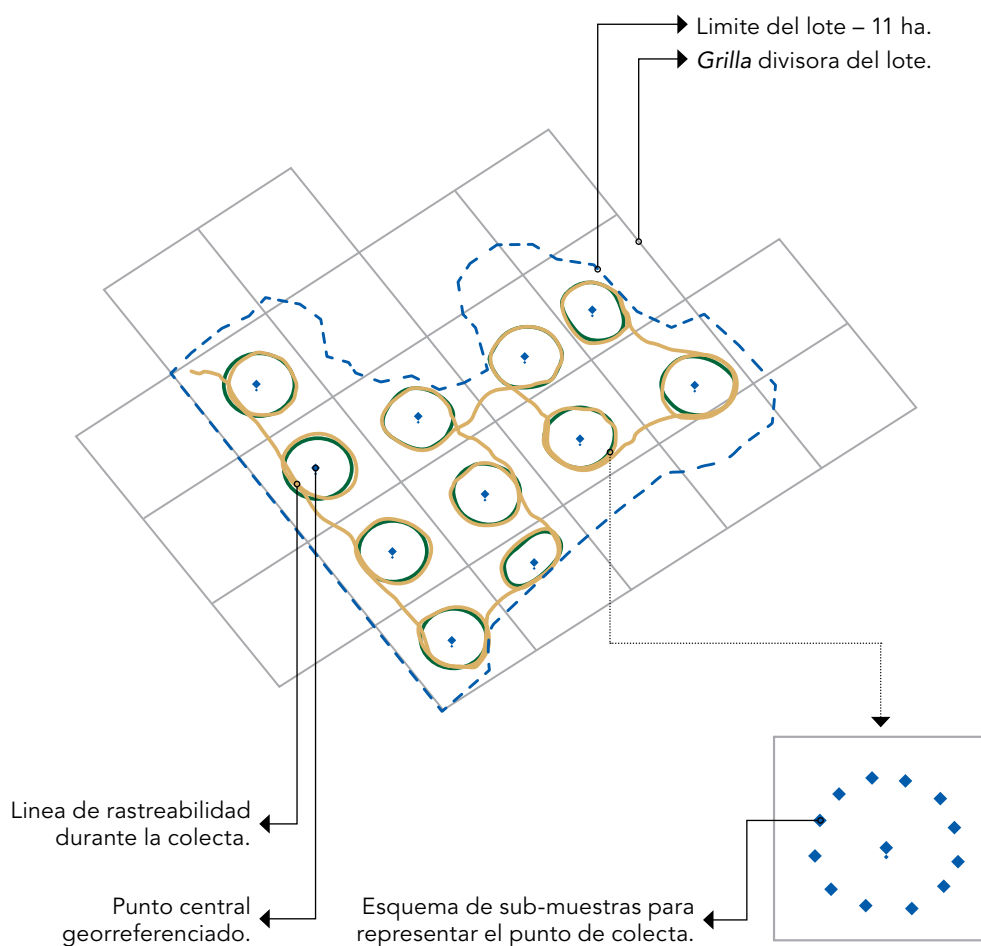
No existe una subdivisión ideal, o una grilla ideal de muestreo. Se sabe que cuanto menor es la malla de muestreo, más precisos y reales serán los mapas de fertilidad. La elección de la grilla de muestreo en agricultura de precisión varía también en relación de la viabilidad económica de esta operación.

Para muestreo del suelo en agricultura de precisión pueden ser utilizadas herramientas tradicionales como pala, trado holandés, trado rosca, trado calador, etc. Entre tanto, debido al gran número de muestras a ser colectadas y las herramientas innovadoras y de costo relativamente reducidos

existentes hoy en el mercado, el equipamiento más utilizado es el cuadrí-clo colector de suelo, que es totalmente automatizado y alcanza alto rendimiento y precisión en una larga jornada.

En propiedades con posibilidad de separación de un lote en áreas con diferentes potenciales productivos, sea por mapa de cosecha, imagen de satélite, u otros sensores, es posible hacer un muestreo de suelo mas direccionado, o sea, hacer muestreos de puntos que representen zonas de alto potencial productivo, y otros en zonas de bajo potencial productivo y también en áreas con inestabilidad de rendimiento. De esta forma, la recomendación será más eficiente, considerando, más allá de los resultados de análisis de suelo, los potenciales productivos en cada punto del lote.

Figura 2. Lote de 11 ha georreferenciado, dividido en subareas con auxilio de una grilla de 1 ha, puntos centrales georreferenciados, esquema de sub-muestreo y línea de recorrido ejecutado por el operador del equipamiento de colecta en agricultura de precisión.



2.2 *Análisis del suelo en laboratorio*



La herramienta más utilizada para determinar la cantidad necesaria de fertilizantes y correctivos para los cultivos es el análisis del suelo.

Con todo, el análisis del suelo es eficiente solamente si se apoya en un programa de calibración de los valores obtenidos por la metodología analítica con el rendimiento de los cultivos (Schlindwein, 2003). Por lo tanto, los análisis deberán ser realizados según las metodologías utilizadas en la calibración.

Para este trabajo fue utilizado el P y K extractable por el método Mehlich-1, de acuerdo con todos los laboratorios que hacen parte de la RENALAS, que utilizan este método analítico.

Las determinaciones de rutina realizadas por los laboratorios integrantes de la RENALAS, y denominadas de análisis básico del suelo, son las siguientes:

- **Acidez Activa (pH del Suelo):** La actividad del ion H^+ en el suelo se estima mediante la medición del pH en el sobrenadante de una suspensión de suelo en agua, en cloruro de calcio 0,01 M o en cloruro de K 1 M. También puede ser determinado por el potenciómetro, en suspensión suelo-agua, en la proporción de 1:1.
- **Fósforo extractable por el extractor Mehlich-1:** es la fracción compuesta por el P de la solución del suelo y por lo adsorbido a la superficie de las arcillas y compuestos de Fe y de Al del suelo. Se utiliza el extractor de Mehlich-1, que consiste en una mezcla de ácido sulfúrico 0,0125 mol/L y ácido clorhídrico 0,05 mol/L. La determinación es realizada por colorimetría (molibdato de amonio).
- **Potasio extractable:** es la cantidad compuesta por el K de la solución del suelo y el K adsorbido a las cargas negativas del suelo (K



Análisis en laboratorio.

intercambiable). Se utiliza también el extractor Mehlich-1. El tenor de K en el extracto es determinado por fotometría de llama.

- **Materia Orgánica:** es determinada por combustión húmeda. Se utiliza el dicromato de sodio y ácido sulfúrico. La materia orgánica es oxidada y el dicromato es reducido, ocasionando modificación en el color de la solución, que es proporcional al tenor de materia orgánica del suelo. La determinación del color de la solución es realizada por colorimetría. Con base en el tenor de materia orgánica, se evalúa, indirectamente, la disponibilidad de N del suelo.

2.3 *Interpretación de los resultados analíticos para soja, trigo, maíz y girasol*

La mayoría de los experimentos de calibración fueron conducidos en sistemas convencionales de cultivo en el país y con un intervalo largo de tiempo. Durante este periodo hubo cambios en el potencial productivo de las variedades de cultivos utilizados por productores paraguayos y perfeccionamiento en las prácticas de manejo de suelos como es el SSD (Cubilla, 2005).



Soja bajo SSD en parcelas experimentales Misiones.



Parcelas de trigo en SSD.
CETAPAR. Yguazú, Alto Paraná.

Una de las críticas frecuentes en cuanto al manejo del suelo en las últimas décadas, es el énfasis a los atributos químicos del suelo que determinan la fertilidad.

La expansión de la siembra directa a partir de la década de los '90, ha proporcionado cierto grado de control de la erosión y la recuperación gradual del stock de materia orgánica. A medida que ocurre la recuperación del tenor de la materia orgánica, se verifica un gradual incremento de la capacidad productiva del mismo. Este hecho está asociado a la mejora de la fertilidad, con sustancial aumento de la CIC, y de la mejora de la estructura del suelo, por el incremento de la agregación, con un efecto positivo en la infiltración y almacenamiento de agua.

La actividad biológica también es favorecida por la recuperación del tenor de la materia orgánica, incrementando el ciclaje de nutrientes. Prácticas de manejo con mínima perturbación, elevada adición de residuos vegetales, permanente cobertura y mayor tasa de fotosíntesis favorecen a la mejoría de la calidad del suelo.

El SSD provocó profundos cambios en los atributos químicos del suelo y en la dinámica de nutrientes, como se ha citado anteriormente, exigiendo la utilización de nuevos procedimientos de manejo de la fertilización, en relación a aquellos adoptados en el SCC.

Los recientes experimentos de calibración en SSD en el Paraguay, han indicado que los niveles críticos de P son superiores a los anteriormente propuestos en SCC (Cubilla *et al.*, 2007).

En suelos arcillosos el desplazamiento del P de la fase sólida del suelo para la solución y de esta, hasta la superficie de las raíces, es más eficiente que



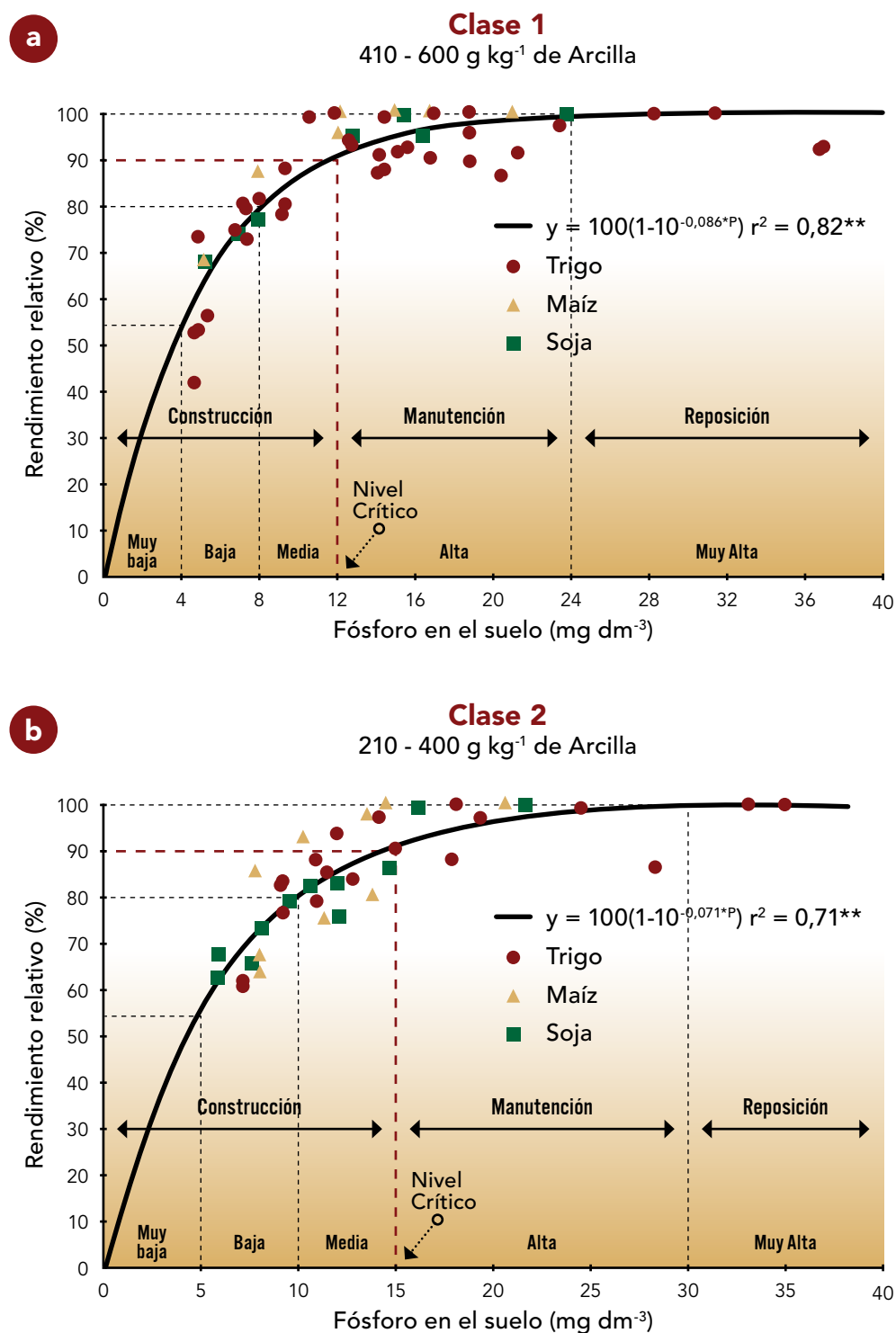
Parcela experimental de maíz bajo SSD.
Naranjal, Alto Paraná.

en suelos arenosos, en contraste con la menor extracción de P por el método analítico, en los arcillosos. Por esa razón en los estudios de calibración de P, se establecen los niveles críticos para cada clase de textura (tenor de arcilla). Como ejemplo: en Brasil (Río Grande del Sur y Santa Catarina), inicialmente los suelos fueron separados en dos clases (Mielniczuk *et al.*, 1969). Después en 1973, se amplió la separación en tres clases, y en la actualidad, en cuatro clases de textura (Comisión de Química y Fertilidad de RS/SC, 2004).

El fundamento principal de la primera investigación sobre fertilización realizada en el SSD en Paraguay, en convenio con la UFSM, fue la separación de suelos en dos clases texturales, debido al comportamiento diferenciado del P en relación a la textura, como también la adecuación al nuevo sistema de cultivo (SSD).

En suelos del Paraguay, Cubilla *et al.* (2007) encontraron un nivel crítico de 15 mg dm^{-3} de P, determinado por el método Mehlich-1 y a la profundidad de 0-10 cm para la clase textural de arcilla de 210 a 400 g kg^{-1} , y un nivel crítico de 12 mg dm^{-3} de P para la clase de arcilla de 410 a 600 g kg^{-1} (Figura 3).

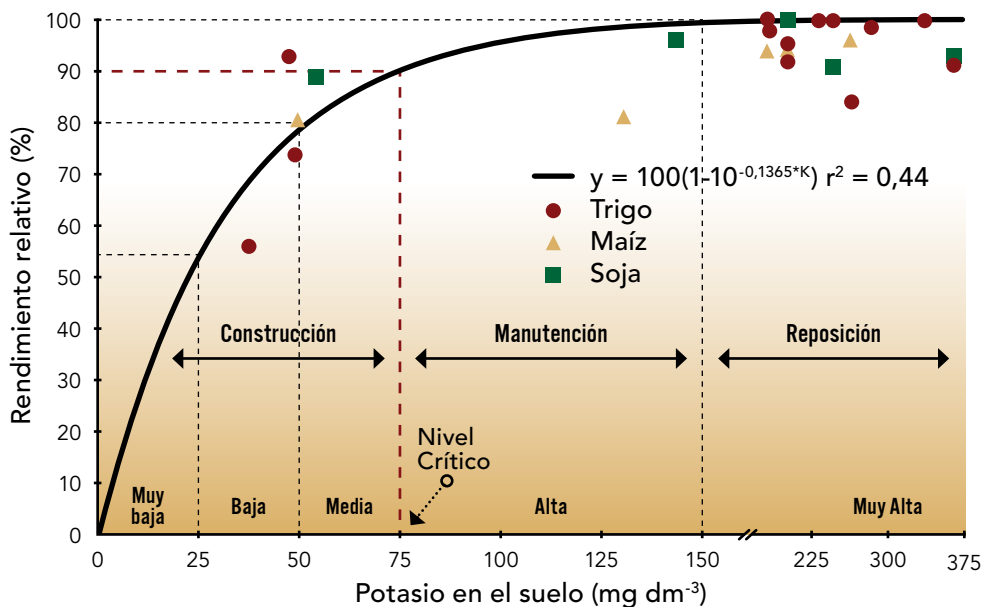
Figura 3 a y b. Relación entre P extraído por el extractor Mehlich-1 y el rendimiento relativo obtenido con trigo, soja y maíz, ecuación de producción, coeficiente de correlación, nivel crítico y categorías de fertilidad de P para dos clases de suelos según tenor de arcilla, bajo SSD Paraguay, 2005 * Significativo ($P < 0,01$).



En la adopción del SSD, la mínima remoción y la manutención de los residuos culturales en la superficie del suelo, reducen, considerablemente, la tasa de mineralización de la materia orgánica y las pérdidas de suelo por erosión. Transcurrido un tiempo, ocurre normalmente un aumento de los stocks de materia orgánica asociados a la localización superficial de los fertilizantes. En consecuencia aumenta el contenido de nutrientes y mejoran los atributos químicos relacionados a la fertilidad del suelo y la nutrición de las plantas. Esto induce modificaciones en la dinámica de los nutrientes y sus relaciones con las plantas.

La Figura 4 muestra la relación entre el K extraído por el extractor Mehlich-1 y el rendimiento relativo obtenido con trigo, soja y maíz, la cual permite definir un nivel crítico de K extractable de 75 mg dm^{-3} .

Figura 4. Relación entre K extraído por el extractor Mehlich-1 y el rendimiento relativo obtenido con trigo, soja y maíz, ecuación de producción, coeficiente de correlación, nivel crítico y categorías de fertilidad para K bajo SSD, Paraguay, 2005 * Significativo ($P < 0,01$).



Fuente: Wendling *et al.* (2007)

Una vez definido el nivel crítico de P y de K, para el método de análisis elegido, que en este caso fue el de Mehlich-1, y la profundidad de muestreo (0-10 cm), se puede detallar mejor cada porción de la curva, estableciendo las categorías de fertilidad.

Las categorías de fertilidad pueden ser subdivididas a partir del rendimiento relativo, como fue establecido en las recomendaciones de fertilización para el Estado de São Paulo (Raj *et al.*, 1997). Estas también pueden ser subdivididas en tenores en el suelo en cantidades equidistantes, tal como

fue establecido para el Estado de Rio Grande del Sur (Mielniczuk *et al.*, 1969; UFRGS, 1973; Siqueira *et al.*, 1987; Comisión de Química y Fertilidad de RS/SC 1989, 1995, 2004).

Para este trabajo se optó por establecer categorías de fertilidad del suelo con valores de tenores en el suelo que faciliten la división en categorías equidistantes, denominadas, "muy baja", "baja" y "media", "alta" y "muy alta" (Tabla 1 y Tabla 4).

A partir de la determinación del nivel crítico de P y de K en el suelo por la ecuación de Mitscherlich, se ajustó el valor encontrado para P de 12 mg dm⁻³ (clase 1) y 15 mg dm⁻³ (clase 2), y para K de 75 mg dm⁻³, representando el límite superior de la categoría "media". Este límite fue dividido por tres para obtener categorías equidistantes, llamadas "muy baja", "baja" y "media" y multiplicado por dos para obtener el límite entre las categorías "alta" y "muy alta".

Las Tablas 2 y 3 describen las categorías de disponibilidad de P para las dos clases texturales de suelos del Paraguay con la probabilidad de respuesta de P para cada una de ellas.

2.3.1 Determinación de categorías de fertilidad para P en el suelo

Tabla 1. Interpretación del tenor de P en el suelo extraído por el método Mehlich-1, conforme el tenor de arcilla para Soja, Trigo, Maíz, y Girasol.

| INTERPRETACIÓN | CLASE DEL SUELO CONFORME TENOR DE ARCILLA ⁽¹⁾ | |
|----------------|--|-----------------------------|
| | 1 (mg dm ⁻³) | 2 (mg dm ⁻³) |
| Muy baja | ≤ 4,0 | ≤ 5,0 |
| Baja | 4,1 – 8,0 | 5,1 – 10 |
| Media | 8,1 – 12,0 | 10,1 – 15,0 |
| Alta | 12,1 – 24,0 | 15,1 – 30,0 |
| Muy alta | > 24 | > 30 |

⁽¹⁾ Clase 1 de 410 - 600 g kg⁻¹;
Clase 2 de 210 - 400 g kg⁻¹

Fuente: Cubilla *et al.* (2007)

Por encima del nivel crítico (12 mg dm⁻³ para la clase 1 y 15 mg dm⁻³ para la clase 2), la probabilidad de respuesta de las plantas es muy baja o casual, en cuanto, por debajo de esta (categorías baja y muy baja) aumenta la probabilidad de respuesta a medida que el tenor en el suelo está por debajo del nivel crítico (Tabla 2 y 3).

Tabla 2. Categoría de disponibilidad de P para los cultivos, tenor de P extraíble por Mehlich-1 en cada categoría, rendimiento relativo esperado y probabilidad de respuesta de los cultivos a la aplicación de fertilizantes fosfatados para la Clase 1 de suelo.

| CATEGORÍA | P MEHLICH-1 (mg dm ⁻³) | RR ⁽¹⁾ | PROBABILIDAD DE RESPUESTA |
|-----------|------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| Muy baja | ≤ 4,0 | Menor 55% | Alta |
| Baja | 4,1 – 8,0 | 56 – 80% | Media |
| Media | 8,1 – 12,0 | 81 – 90% | Baja |
| Alta | 12,1 – 24,0 | 90 – 100% | Muy baja |
| Muy alta | > 24 | 100% | Muy baja o casual |

⁽¹⁾ RR = Rendimiento Relativo

Fuente: Cubilla (2005)

Tabla 3. Categoría de disponibilidad de P para los cultivos, tenor de P extraíble por Mehlich-1 en cada categoría, rendimiento relativo esperado y probabilidad de respuesta de los cultivos a la aplicación de fertilizantes fosfatados para la Clase 2 de suelo.

| CATEGORÍA | P MEHLICH-1 (mg dm ⁻³) | RR ⁽¹⁾ | PROBABILIDAD DE RESPUESTA |
|-----------|------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| Muy baja | ≤ 5,0 | Menor 55% | Alta |
| Baja | 5,1 – 10 | 56 – 80% | Media |
| Media | 10,1 – 15,0 | 81 – 90% | Baja |
| Alta | 15,1 – 30,0 | 90 – 100% | Muy baja |
| Muy alta | > 30 | 100% | Muy baja o casual |

⁽¹⁾ RR = Rendimiento Relativo

Fuente: Cubilla (2005)

Maíz en SSD en parcela experimental.
Itapúa.





**Siembra Directa de Girasol, parcelas experimentales.
CETAPAR. Yguazú, Alto Paraná.**

En este contexto, el límite inferior de la categoría “alta” coincide con el nivel crítico donde se obtienen rendimientos próximos a la máxima eficiencia económica de los cultivos.

La categoría “muy alta” corresponde a tenores por encima del doble del nivel crítico, presentando alta reserva del nutriente para el desarrollo de las plantas.

El tenor más adecuado para el desarrollo de los cultivos y la productividad de los mismos se encuentran en la categoría “alta”. Cuando esta categoría es alcanzada, la fertilización corresponderá a la de manutención, debiendo ser eficiente para reponer las cantidades exportadas (granos, masa seca, etc.), mas un determinado valor por eventuales pérdidas del sistema que puedan ocurrir (erosión, lixiviación, etc.).

Cuando el tenor en el suelo está en la categoría muy alta, las fertilizaciones podrán ser solamente de arranque o entonces podrán ser dispensadas en algunas situaciones de expectativas de precios altos o entonces invertir en otros nutrientes que puedan estar limitando las productividades.

En algunos casos la presencia de nutrientes en la categoría muy alta puede inhibir la absorción de otros nutrientes por las plantas. Por ejemplo, el alto P puede inhibir la absorción del Zn; y muy alto Ca y Mg, pueden afectar la absorción de K.

Cuando el tenor del nutriente se encuentra en la categoría “media”, “baja” o “muy baja”, la dosis deberá abastecer las necesidades de los cultivos, agregando más un porcentaje de posibles pérdidas para alcanzar el nivel crítico en el suelo. De esta forma, se busca alcanzar el tenor ideal para el desarrollo de los cultivos que ocurre en la categoría “alta” de P en el suelo.

2.3.2 Determinación de categorías de fertilidad para K en el suelo

Tabla 4. Interpretación del tenor de K en el suelo extraído por el método Mehlich-1, conforme el contenido de K en el suelo.

| INTERPRETACIÓN | POTASIO (mg dm ⁻³) |
|----------------|-----------------------------------|
| Muy baja | ≤ 25 |
| Baja | 26 – 50 |
| Media | 51 – 75 |
| Alta | 76 – 150 |
| Muy alta | > 150 |

Fuente: Wendling *et al.* (2007)

A partir de la determinación del nivel crítico de K en el suelo por la ecuación de Mitscherlich, se ajustó el valor encontrado a 75 mg dm⁻³ (Figura 4). Este representa el límite superior de la categoría “media”, siendo este dividido por tres para obtener categorías equidistantes, llamadas “muy baja”, “baja” y “media” y multiplicado por dos para obtener el límite entre las categorías “alta” y “muy alta”.

La Tabla 5 describe las categorías de disponibilidad de K con la probabilidad de respuesta del nutriente para cada una de ellas.

Por encima del nivel crítico la probabilidad de respuesta de las plantas es muy baja o nula, en tanto que por debajo, esta aumenta a la medida que el tenor en el suelo se aparta del nivel crítico. En este contexto, el límite

Tabla 5. Categorías de disponibilidad de K para los cultivos, tenor de K extraído por Mehlich-1 en cada categoría, rendimiento relativo esperado y probabilidad de respuesta de los cultivos a la aplicación de fertilizantes potásicos.

| CATEGORÍAS | K MEHLICH-1 (mg dm ⁻³) | RR ⁽¹⁾ | PROBABILIDAD DE RESPUESTA |
|------------|---------------------------------------|-------------------|---------------------------|
| Muy baja | ≤ 25 | Menor 55% | Alta |
| Baja | 26 – 50 | 56 – 80% | Media |
| Media | 51 – 75 | 81 – 90% | Baja |
| Alta | 76 – 150 | 90 – 100% | Muy baja |
| Muy alta | > 150 | 100% | Inexistente o casual |

⁽¹⁾ RR = Rendimiento Relativo

Fuente: Wendling *et al.* (2007)

inferior de la categoría "alta" coincide con el nivel crítico y es donde se obtienen rendimientos próximos a la máxima eficiencia económica de los cultivos.

La categoría "muy alta" corresponde a los tenores arriba del doble del nivel crítico, presentando alta reserva del nutriente para el desenvolvimiento de las plantas.

El tenor más adecuado para el desarrollo de los cultivos y la productividad de los mismos se encuentra en la categoría "alta". Cuando esta categoría es alcanzada, la fertilización correspondería a la de manutención, debiendo ser lo suficiente para reponer las cantidades exportadas (granos, masa seca, etc.), mas un determinado valor para eventuales perdidas del sistema que puedan ocurrir (erosión, lixiviación, etc.).

Cuando el tenor en el suelo se encuentra en la categoría "muy alta", las fertilizaciones podrán ser solamente de arranque o podrán ser dispensadas en algunas situaciones de expectativas de precios altos o entonces, invertir en otros nutrientes cuyas deficiencias puedan estar perjudicando las productividades.

Cuando el tenor en el suelo se encuentra en la categoría "media", "baja" o "muy baja", la dosis deberá abastecer las necesidades de los cultivos mas un porcentaje para alcanzar el nivel crítico en el suelo, de esta forma alcanzando el tenor ideal para el desarrollo de los cultivos que ocurre en la categoría "alta" de K en el suelo.



Parcela experimental de Soja bajo SSD.
Pedro Juan Caballero, Amambay.

2.4 *Recomendación de fertilizantes y correctivos*



El concepto de fertilización propuesto para el Paraguay fue adaptado del actualmente utilizado en el Estado de Rio Grande del Sur y Santa Catarina, Brasil (Gianello & Wiethölter, 2004).

Luego de los estudios de calibración y cuantificación de dosis de fertilizantes, se debe definir el criterio de fertilización para establecer las dosis en las tablas de recomendación.

El sistema sugerido es compuesto de una fertilización correctiva, para las categorías debajo del nivel crítico, y de manutención/reposición, para las categorías por arriba de este nivel. Considerando las condiciones económicas de la mayoría de los productores, se optó por una fertilización correctiva gradual (Tablas 7, 8 y 9) asociada a la fertilización de manutención. Así las dosis de P y K en el suelo fueron calculadas para alcanzar el nivel crítico en tres cultivos.

Las recomendaciones son orientadas por los tenores de nutrientes determinados en el análisis de suelo, e interpretadas en categorías, "Muy baja", "Baja", "Media", "Alta" y "Muy Alta". A partir de la interpretación del nutriente en el suelo se realiza la recomendación para el (los) cultivo (s).

El sistema de recomendación de fertilización en este trabajo tiene por objetivo elevar los tenores de los nutrientes a niveles considerados adecuados para que los cultivos expresen su potencial de rendimiento, siempre que los demás factores no sean limitantes.

El uso de estas recomendaciones ayudará a elevar el tenor de nutrientes al "nivel crítico", lo que corresponde aproximadamente al 90% del rendimiento máximo de los cultivos, que también está próximo al máximo retorno económico (Figura 5).

En un estudio económico detallado de las recomendaciones, Cubilla & Ferreira (2010) constataron que las recomendaciones de fertilización propuestas para el Paraguay, han sido económicamente rentables para todos los casos, en tres cultivos consecutivos en cualquiera de los escenarios considerados y para todos los tipos de suelos estudiados, a los precios actuales de fertilizantes.

Representación gráfica del sistema de fertilización.

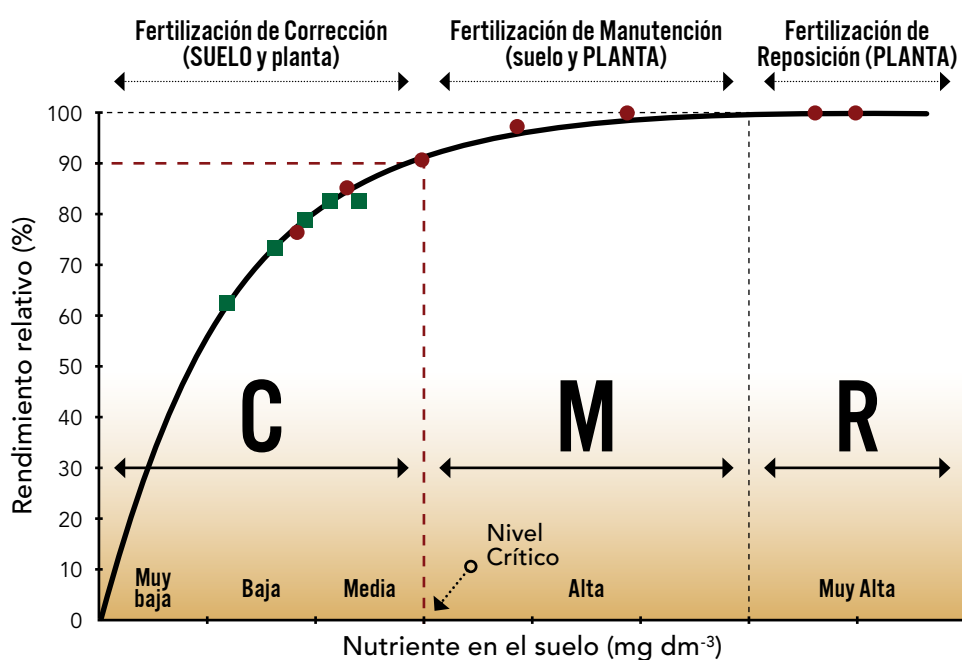
Las cinco categorías de fertilidad y las respectivas indicaciones de fertilización (C=corrección, M=manutencción y R=reposición) son presentadas en la Figura 5.

En las categorías "Muy Baja", "Baja" y "Media", existe la necesidad de corrección (C) del tenor de nutrientes en el suelo.

En la categoría de disponibilidad "Alta", hay necesidad de una fertilización de mantenimiento (M), que es la suma de las eventuales pérdidas del nutriente en el sistema más la exportación por el cultivo. Ya en la categoría "Muy Alta", es suficiente una fertilización de reposición (R) equivalente a la exportación del nutriente en el cultivo cosechado.

El objetivo del sistema de recomendación es elevar los tenores de P y K en lo mínimo hasta el "nivel crítico", manteniendo, siempre que sea posible, por encima de este, o sea, en la categoría "Alta" de fertilidad.

Figura 5. Relación entre el rendimiento relativo de un cultivo y el tenor de un nutriente en el suelo y las indicaciones de fertilizaciones para cada categoría de tenor del nutriente en el suelo.



Fuente: Adaptado de Gianello & Wiltholter, (2004)

Fertilización de corrección (C)

En la fertilización para granos, es posible optar por la fertilización correctiva total (Tabla 6) o correctiva gradual (Tablas 7, 8 y 9) para tres cultivos.

La fertilización de corrección total es la alternativa más indicada cuando los suelos son muy deficientes en P y en K (categorías de fertilidad “muy baja” y “baja”) y cuando hay disponibilidad de recursos financieros para invertir. Esta opción consiste en aplicar todo el fertilizante fosfatado o potásico a ser adicionado en una sola vez.

Las cantidades de P y de K a ser adicionados al suelo para corrección total y gradual son presentadas en las Tablas 6, 7, 8 y 9.

Cuando los resultados del análisis indican tenores de P y K “altos” o “muy altos”, la fertilización de corrección no es indicada. En este caso, se adicionan solamente las cantidades de manutención o lo que la planta irá a exportar, pues el tenor en el suelo es considerado adecuado.

Fertilización de manutención (M)

La fertilización de manutención tiene por objetivo mantener el tenor de P y de K en el suelo por encima del nivel crítico, donde la probabilidad de respuesta de los cultivos es baja. Para tal caso se reponen los nutrientes exportados por los granos y biomasa de la parte aérea, más las eventuales pérdidas que puedan ocurrir en el sistema. Las pérdidas de manera general son consideradas de 20 a 30% (Comisión de Química y Fertilidad de RS/SC, 2004). En este estudio se optó en considerar las pérdidas en un 25%.

Fertilización de reposición (R)

La cantidad de P y de K a adicionar al suelo para un determinado cultivo puede ser establecido por la cantidad de estos nutrientes retirados por los granos o por la masa seca. La opción de fertilizar para reposición (exportación), es indicada solamente cuando los tenores de nutrientes en el suelo están en la categoría de fertilidad “muy alta”.



Siembra y fertilización de soja en áreas experimentales bajo SSD.

Las dosis de reposición (R) son obtenidas en las informaciones contenidas debajo de cada tabla de recomendación para cada cultivo, indicando la necesidad de cada nutriente por toneladas de granos a ser exportados (Tablas 7, 8 y 9).

Cuando los tenores de P y K encontrados en el suelo están en la categoría "muy alta" (Tablas 1 y 4), las fertilizaciones pueden ser flexibles. Se puede adoptar la estrategia de fertilización del sistema, donde la fertilización se realiza en cualquier época o cultivo, pudiendo ser en línea (para dosis menores) o en superficie.

Algunos cultivos se podrán beneficiar con la fertilización potásica (aún con suelo en la categoría "muy alta"), principalmente en el arranque inicial de las plantas cuando es realizada en línea.

Corrección de la acidez del suelo (encalado)

La mayor parte de los suelos de la Región Oriental, no corregidos, presentan pH entre 4,5 a 5,9. Son, por lo tanto, bastante ácidos, siendo necesario el encalado para reducir la acidez y, consecuentemente, elevar los rendimientos de los cultivos. Fatecha (2004) estima una necesidad de 1,5 a 2,6 toneladas de calcáreo por hectárea, para la Región Oriental del país.

En suelos ácidos, el manejo correcto del encalado permite mejor aprovechamiento de los macronutrientes presentes en el suelo, sin comprometer los micronutrientes. Uno de los efectos benéficos del encalado en suelos ácidos, es el aumento de la disponibilidad de P para las plantas, debido a los siguientes factores:

- a. eliminación del aluminio tóxico que causa daños a la raíz de plantas sensibles y, consecuentemente, dificulta la absorción de P y su posterior translocación para la parte aérea;
- b. aumento de la actividad microbiana, que provoca mayor mineralización del P orgánico, como también la fijación simbiótica de N que aumenta notablemente (la bacteria fijadora funciona mejor en un rango de pH de 6,0 – 6,2; y
- c. aumento de la concentración de iones OH^- , los cuales pueden desorber el P adsorbido en la superficie de los minerales para la solución del suelo (Anghinoni & Bissani, 2004).

Trabajos de investigación de fertilización fosfatada con encalado, mostraron que el encalado mejora el aprovechamiento del P en el cultivo de soja, con aumentos considerables de producción (Eltz *et al.*, 1975).

El encalado en el SSD resulta en una mayor productividad de los cultivos, no solamente por la neutralización de la acidez, sino también por el aumento de la disponibilidad de P, resultante en la disminución de la adsorción de P nativo, contribuyendo para una mayor eficiencia en la fertilización fosfatada.

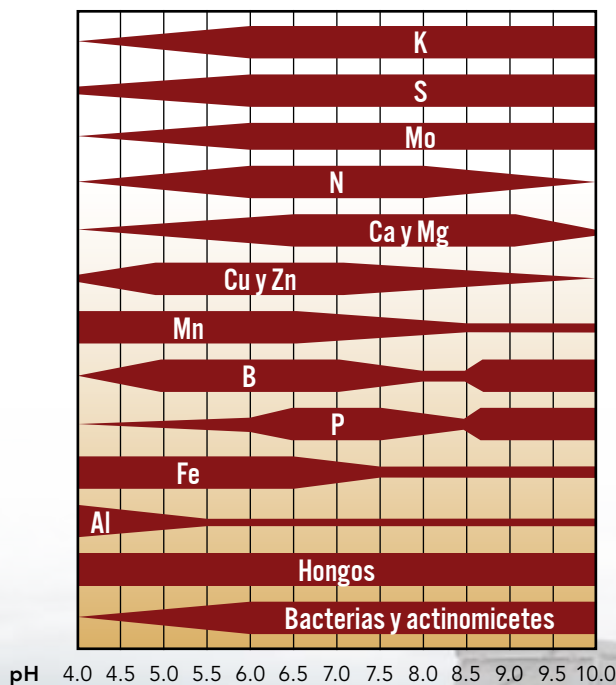
El objetivo principal de la realización del encalado, en suelos ácidos, es reducir la acidez a un nivel deseado, neutralizando el aluminio intercambiable, y proveer calcio y magnesio a los cultivos.

El manejo del encalado es, sin dudas, una de las principales maneras de garantizar un mejor aprovechamiento de los nutrientes y de esta forma obtener altos rendimientos.

En la Figura 6, observamos el efecto del pH en la disponibilidad de los nutrientes. El ancho de las bandas indica el grado de disponibilidad de cada nutriente, donde podemos notar que la "máxima disponibilidad" de los principales nutrientes, se encuentran entre los valores de pH 5,5 y 7,0. De ahí, la suma importancia de corregir el pH elevando estos valores arriba del pH 5.5.

A fin de que la fijación simbiótica sea eficiente, existe la necesidad de corregir la acidez del suelo (a partir del rango pH 5.5), de esta forma maximizando la actividad microbiana (Figura 6), y proveer aquellos nutrientes que están en cantidades limitantes, además de realizar una adecuada y eficiente inoculación de las semillas (práctica de bajo costo).

Figura 6. Efecto del pH en la disponibilidad de nutrientes y actividad microbiana.



Fuente: Adaptado del Manual Internacional de Fertilidad del Suelo (PPI, 1997)

Aplicación de fertilizantes en superficie bajo SSD.





RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN CORRECTIVA Y GRADUAL DE P Y K PARA SOJA, TRIGO, MAÍZ Y GIRASOL



Cuando sea necesaria la utilización de la fertilización correctiva de P, para alcanzar el nivel crítico en la Clase textural 1 (410 – 600 g kg⁻¹ de arcilla), que se encuentra en la categoría “muy baja” de P en el suelo, es recomendada la aplicación de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ (Tabla 6). Cuando se encuentra en la categoría “baja” de P es recomendada la aplicación de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, y por último, cuando se encuentra en la categoría “media” de P disponible en el suelo, la recomendación es de 25 kg ha⁻¹.

Sin embargo, para la Clase textural 2 (210 – 400 g kg⁻¹ de arcilla), para alcanzar el nivel crítico, se recomienda 150 kg ha⁻¹ cuando se encuentra en la

categoría “muy baja”, cuando se encuentra en la categoría “baja” se recomienda 75 kg ha⁻¹; y por ultimo la recomendación es de 15 kg ha⁻¹ cuando se encuentra en la categoría “media”; sin embargo, también la fertilización gradual correctiva puede ser realizada en tres cultivos en sucesión, como ilustran las Tabla 7 y 8.

Tabla 6. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva total en kg ha⁻¹ de P₂O₅, de acuerdo con el tenor de arcilla.

| TENOR DE ARCILLA (g kg ⁻¹) | CATEGORÍA DE P (mg dm ⁻³) - MEHLICH-1 | | |
|---|---|------|-------|
| | MUY BAJO | BAJO | MEDIO |
| Clase 1 410 – 600 | 200 | 100 | 25 |
| Clase 2 210 – 400 | 150 | 75 | 15 |

Fuente: Cubilla (2005)

Los resultados obtenidos en este estudio señalan, la cantidad de 25 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para elevar 1 mg dm⁻³ el tenor de P en el suelo para la Clase 1 (410 – 600 g kg⁻¹ de tenor de arcilla) y la cantidad de 15 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para elevar 1 mg dm⁻³ en el suelo para la Clase 2 (210 - 400 g kg⁻¹ de tenor de arcilla).

La filosofía de la recomendación de fertilización fosfatada y potásica, tiene por objetivo, como dijimos anteriormente, elevar el tenor de los nutrientes en el suelo (fertilización correctiva), cuando están por debajo del nivel crítico, a niveles considerados adecuados (categoría “alta”) para que los cultivos expresen su potencial de rendimiento, y a partir de ahí, solo realizar las fertilizaciones de mantenimiento (M) y reposición (R), como indican las Tablas 7, 8 y 9.

Tabla 7. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva gradual para la Clase 1 de suelo en kg ha⁻¹ de P₂O₅ bajo el SSD para Paraguay.

| CATEGORÍA | RECOMENDACIÓN PARA TRES CULTIVOS EN SUCESIÓN | | | |
|-----------|---|-------------------------|-------------------------|----------|
| | 1 ^{ER} CULTIVO | 2 ^{DO} CULTIVO | 3 ^{ER} CULTIVO | TOTAL |
| | (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅) | | | |
| Muy baja | 80 + M | 70 + M | 50 + M | 200 + 3M |
| Baja | 35 + M | 35 + M | 30 + M | 100 + 3M |
| Media | 25 + M | M | M | 25 + 3M |
| Alta | M | M | M | 3M |
| Muy alta | R | R | R | 3R |

M = mantenimiento (tasa de exportación de cultivos + perdidas).

Fuente: Cubilla *et al.* (2007)

R = reposición (exportación de cultivos). Trigo= 10 kg de P₂O₅, soja= 12 kg de P₂O₅, maíz= 8 kg de P₂O₅, y girasol= 15 kg de P₂O₅ por tonelada de granos producidos.

La fertilización gradual es la más indicada principalmente cuando no hay disponibilidad de recursos financieros para inversión (Comisión de Química y Fertilidad de RS/SC, 2004) Este procedimiento está siendo utilizado en la construcción de tablas de recomendaciones, donde las dosis de corrección son aplicadas en la proporción de 1/3 en el primer cultivo, el 1/3 en el segundo cultivo, y el último tercio en el último cultivo. Esta recomendación es válida para suelos cuyos tenores de P y K fueren interpretados como "muy baja" y "baja".

Ejemplo: para programar un plan de fertilización para 3 cultivos en sucesión (se aplica 1/3 en los abonos verdes o trigo en el año 2012; 1/3 en la soja o maíz zafra en el año 2012/13; y el último 1/3 en el trigo, abonos verdes o maíz zafriña en el año 2013). De esta forma lograremos corregir el suelo, nutrir la planta y al tercer cultivo llegar a un nivel del límite superior de la categoría "media" de P y K. En la siguiente siembra solo necesitaríamos nutrir el cultivo, y así mantener en la categoría "alta" de la fertilidad del suelo.

El punto clave a llevar en consideración en el plan de fertilización de P, es el aumento de este nutriente a un nivel de suficiencia (categoría "alta") para los cultivos y así evitar problemas futuros de nutrición de los mismos.

Tabla 8. Recomendación de fertilización fosfatada correctiva gradual para la Clase 2 de suelo en kg ha⁻¹ de P₂O₅ bajo el SSD para Paraguay.

| CATEGORÍA | RECOMENDACIÓN PARA TRES CULTIVOS EN SUCESIÓN | | | |
|-----------|---|-------------------------|-------------------------|----------|
| | 1 ^{ER} CULTIVO | 2 ^{DO} CULTIVO | 3 ^{ER} CULTIVO | TOTAL |
| | (kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅) | | | |
| Muy baja | 60 + M | 50 + M | 40 + M | 150 + 3M |
| Baja | 25 + M | 25 + M | 25 + M | 75 + 3M |
| Media | 15 + M | M | M | 15 + 3M |
| Alta | M | M | M | 3M |
| Muy alta | R | R | R | 3R |

M = manutención (tasa de exportación de los cultivos + pérdidas).

R = reposición (exportación de cultivos).
Trigo= 10 kg de P₂O₅, soja= 12 kg de P₂O₅,
maíz= 8 kg de P₂O₅, y girasol= 15 kg de
P₂O₅ por tonelada de granos producidos.

Cosecha de trigo en parcelas
de calibración de NPK.
CETAPAR. Yguazú, Alto Paraná.



Tabla 9. Recomendación de fertilización potásica correctiva gradual y total en kg ha^{-1} de K_2O en el SSD para Paraguay.

| CATEGORÍA | RECOMENDACIÓN PARA TRES CULTIVOS | | | |
|-----------|--|-------------------------|-------------------------|---------|
| | 1 ^{ER} CULTIVO | 2 ^{DO} CULTIVO | 3 ^{ER} CULTIVO | TOTAL |
| | (kg ha^{-1} de K_2O) | | | |
| Muy baja | 150 | 100 | 60 | 310 |
| Baja | 90 | 60 | 40 | 190 |
| Media | 60 | M | M | 60 + 2M |
| Alta | M | M | M | 3M |
| Muy alta | R | R | R | 3R |

M = manutención (tasa de exportación de cultivos + pérdidas). **Fuente:** Wendling *et al.* (2007)

R = reposición (Exportación de los cultivos) Trigo y Maíz= 6 kg de K_2O por tonelada de granos, Soja= 20 kg de K_2O y Girasol: 12 kg de K_2O por tonelada de granos exportados.

Siguiendo el ejemplo de P, la filosofía para lograr el aumento del K a un nivel de suficiencia (categoría "alta"), es la aplicación en 3 cultivos y alcanzar el nivel deseado, en un año y medio aproximadamente (3 cultivos), que es nuestro objetivo (Tabla 9).

Después de tres cultivos en sucesión, es indispensable realizar otro análisis de suelo para identificar si el objetivo fue alcanzado, tanto para el P como para el K.

Cuando este sea alcanzado, se pasa a adoptar la estrategia de manutención del tenor, donde debe ser adicionado el total exportado por el cultivo, más las posibles y probables pérdidas que puedan ocurrir (Tabla 10). Las pérdidas son consideradas en torno del 25% en el sistema suelo-planta (lixiviación, fijación, volatilización, erosión, etc.), y a partir de estos valores de reposición se calculan las dosis de manutención multiplicando por el factor 1,25.

Tabla 10. Valores de fertilización de manutención (M) de P y K de los cultivos de soja, trigo, maíz y girasol para los rendimientos especificados y cantidades a ser adicionados por tonelada de granos producidos.

| CULTIVO | RENDIMIENTO REFERENCIA (t ha^{-1}) | MANUTENCIÓN (M) PARA RENDIMIENTO REFERENCIA | | CANTIDAD (M) A ADICIONAR POR TONELADA DE GRANOS | |
|---------|--|---|---|---|---|
| | | kg ha^{-1} de P_2O_5 | kg ha^{-1} de K_2O | kg ha^{-1} de P_2O_5 | kg ha^{-1} de K_2O |
| Trigo | 3 | 45 | 75 | 15 | 25 |
| Soja | 3 | 37,5 | 22,5 | 12,5 | 7,5 |
| Maíz | 5 | 50 | 37,5 | 10 | 7,5 |
| Girasol | 2 | 30 | 30 | 15 | 15 |

Capítulo 4



RECOMENDACIÓN DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA, FOSFATADA, Y POTÁSICA POR CULTIVO



4.1 *Soja*

La soja obtiene la mayor parte del N que necesita a través de fijación simbiótica, que ocurre con bacterias del género *Bradyrhizobium*. Por esta razón se debe evitar la fertilización con N mineral, pues a pesar de causar inhibición de la nodulación y reducir la eficiencia de la fijación simbiótica del



Parcela experimental de Soja bajo SSD.
Misiones.

N atmosférico, no aumenta la productividad del cultivo, además de ser un costo más para el productor.

A fin que la fijación simbiótica sea eficiente, existe la necesidad de corregir la acidez del suelo (a partir del rango pH 5.5), de esta forma maximizando la actividad microbiana (Figura 6). Es necesario proveer aquellos nutrientes que están en cantidades limitantes, además de realizar una adecuada y eficiente inoculación de las semillas (práctica de bajo costo).

La mejor forma de garantizar la disponibilidad de N a la soja es la inoculación correcta de las semillas con *Bradyrhizobium japonicum*, asociada al manejo del suelo.

En el momento de la siembra hacer la inoculación de las semillas a la sombra, y preferentemente, en el mismo día, cuanto más próximo de la siembra, mejor, especialmente si las semillas fueren tratadas con fungicidas y micronutrientes, manteniendo las semillas inoculadas protegidas del sol y del calor excesivo.

Las aplicaciones de fungicidas y micronutrientes pueden ser realizadas antes de la inoculación. Nunca se debe mezclar el inoculante con la mezcla de fungicidas y micronutrientes.

Tabla 11. Recomendación de fertilización fosfatada (kg ha^{-1}) para soja sugerida según el rendimiento objetivo, para un tenor medio de P y clase según tenor de arcilla, Paraguay, 2012 - Recomendación para SSD establecido (más de 5 años).

| TENOR DE ARCILLA (g kg^{-1}) | EXPECTATIVA DE RENDIMIENTO DE SOJA (kg ha^{-1}) | | |
|--|---|-------------|--------|
| | < 2000 | 2000 a 3000 | > 3000 |
| | kg ha^{-1} de P_2O_5 | | |
| 410 a 600 | 40 | 70 | 90 |
| 210 a 400 | 30 | 60 | 80 |

Para altos rendimientos ajustar la expectativa de rendimiento a la exportación 12 kg ha^{-1} de P_2O_5 por tonelada de granos.

Obs.: Cuando el suelo contiene más de 600 g kg^{-1} de arcilla utilizar las recomendaciones de fertilización de la clase de 410 a 600 g kg^{-1} .

Tabla 12. Recomendación de fertilización potásica (kg ha^{-1}) para soja sugerida según el rendimiento objetivo, para un tenor medio de potasio, Paraguay, 2012

| CATEGORÍA "MEDIA" DE K | EXPECTATIVA DE RENDIMIENTO DE SOJA (kg ha^{-1}) | | |
|------------------------------------|---|-------------|------------|
| | < 2000 | 2000 a 3000 | > 3000 |
| | kg ha^{-1} de K_2O | | |
| 51 – 75 (mg dm^{-3}) | 80 | 100 | ≥ 120 |

Para altos rendimientos ajustar la expectativa de rendimiento a la exportación 25 kg ha^{-1} de K_2O por tonelada de granos.

Cosecha de
soja en SSD.



4.2 Trigo



La determinación de la cantidad de N a aplicar para el trigo, es recomendada a partir de:

- el cultivo anterior;
- el tenor (%) de materia orgánica; y
- la expectativa de productividad.

Tabla 13. Recomendación de fertilización nitrogenada para trigo en SSD para el Paraguay.

| CULTIVO ANTERIOR | PROFUNDIDAD DE MUESTREO (0 - 10 cm) | | EXPECTATIVA DE PRODUCTIVIDAD (kg ha ⁻¹) | | |
|------------------|--|-------|--|-------------|-----------------------|
| | MATERIA ORGÁNICA | | < 2000 | 2000 - 3000 | > 3000 ⁽¹⁾ |
| | | (%) | kg ha ⁻¹ de N | | |
| Maíz | Bajo | < 2 | 60 | 80 | 100 |
| | Medio | 2 - 3 | 40 | 60 | 80 |
| | Alto | > 3 | 20 | 40 | 60 |
| Soja | Bajo | < 2 | 40 | 60 | 80 |
| | Medio | 2 - 3 | 20 | 40 | 60 |
| | Alto | > 3 | 0 | 20 | 40 |

⁽¹⁾ Para rendimiento > 3000 kg ha⁻¹ de trigo, acrecentar 20 y 40 kg ha⁻¹ de N después de soja y maíz, respectivamente, por tonelada de granos a ser producidos.

Fuente: Wendling *et al.* (2007), ajustada por la RENALAS



Espigas de trigo en parcelas experimentales.
Itapúa.

En la Tabla 13, se encuentran las dosis de N recomendadas a aplicar para el cultivo de trigo. El acompañamiento y el histórico de cada parcela (fertilización, sistema de manejo del suelo, productividad, etc.); la expectativa de precio del producto y el precio del insumo, son indispensables también para la toma de decisiones.

Como el N es muy móvil en el suelo, es recomendable realizar las aplicaciones del nutriente en dos diferentes épocas. Una primera dosis en la siembra (15 a 20 kg ha^{-1}), que es muy importante para proporcionar mayor disponibilidad inicial para el cultivo, y el resto en cobertura, que podrá ser realizada a los 30-40 días después de la emergencia.

Tabla 14. Recomendación de fertilización fosfatada (kg ha^{-1}) para trigo sugerida según el rendimiento objetivo, para un tenor medio de P y clase según tenor de arcilla, Paraguay 2012. - Recomendación para SSD establecido (más de 5 años).

| TENOR DE ARCILLA (g kg^{-1}) | EXPECTATIVA DE RENDIMIENTO DE TRIGO (kg ha^{-1}) | | |
|--|--|-------------|-----------------------|
| | < 2000 | 2000 a 3000 | > 3000 ⁽¹⁾ |
| | kg ha^{-1} de P_2O_5 | | |
| 410 a 600 | 60 | 70 | ≥ 80 |
| 210 a 400 | 50 | 60 | ≥ 70 |

Para rendimiento > 3000 kg ha^{-1} acrecentar 10 kg ha^{-1} de P_2O_5 por tonelada de granos a ser producidos.

Obs.: Cuando el suelo contiene más de 600 g kg^{-1} de arcilla utilizar las recomendaciones de fertilización de la clase de 410 a 600 g kg^{-1} .



Experimento de calibración de fertilizantes, cosecha de trigo en parcelas.
CETAPAR. Yguazú, Alto Paraná.

Tabla 15. Recomendación de fertilización potásica (kg ha^{-1}) para trigo sugerida según el rendimiento objetivo, para un tenor medio de potasio, Paraguay, 2012.

| CATEGORÍA "MEDIA" DE K | EXPECTATIVA DE RENDIMIENTO DE TRIGO (kg ha^{-1}) | | |
|------------------------------------|--|-------------|-----------------------|
| | < 2000 | 2000 a 3000 | > 3000 ⁽¹⁾ |
| | kg ha^{-1} de K_2O | | |
| 51 – 75 (mg dm^{-3}) | 70 | 90 | ≥ 100 |

Para rendimiento > 3000 kg ha^{-1} acrecentar 10 kg ha^{-1} de K_2O por tonelada de granos a ser producidos.

Las aplicaciones de N en superficie, deben ser realizadas con condiciones climáticas adecuadas para disminuir las pérdidas, principalmente cuando se usa urea. Las principales características que deben ser observadas son: a) humedad alta en el suelo, o expectativa próxima de lluvia, b) baja velocidad del viento; y c) temperaturas no muy altas. Fatecha (1999) alerta para condiciones de sequía, no realizar la aplicación de N en cobertura.

4.3 *Maíz*



La elaboración de la recomendación de N para maíz (Tabla 16) fue realizada a partir de los datos experimentales obtenidos en el país, con auxilio de la literatura (Amado, 1997; IAPAR, 1998; Amado *et al.*, 2002, Comisión de Química y Fertilidad de RS/SC, 2004). Esta fue ajustada por técnicos e investigadores paraguayos en la reunión de la Red Nacional de Laboratorios de Suelos (RENALAS) en setiembre del 2005. De esta forma, en la recomendación de la fertilización nitrogenada fueron considerados varios factores que interfieren en la productividad del maíz, así como su inestabilidad en relación a precios y costos de producción.

La determinación de la cantidad de N a aplicar para el maíz es recomendado a partir de:

- a. el cultivo anterior;
- b. el tenor de materia orgánica; y
- c. la expectativa de productividad.



Maíz en SSD en parcelas experimentales. Itapuá.



Maíz en SSD parcelas experimentales. Naranjal, Alto Paraná.

En la Tabla 16 se encuentran las dosis a aplicar en el cultivo de maíz. El acompañamiento y el histórico de cada parcela (fertilización, sistema de manejo del suelo, productividad, etc.); la expectativa de precio del producto; y el precio del insumo, son indispensables también para la toma de decisiones.

Tabla 16. Recomendación de fertilización nitrogenada para Maíz en SSD para el Paraguay.

| CULTIVO ANTERIOR | MATERIA ORGÁNICA | EXPECTATIVA DE PRODUCTIVIDAD (kg ha ⁻¹) | | | | |
|----------------------|------------------|---|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| | | < 3000 | 3000 – 4000 | 4000 – 6000 | 6000 – 8000 | > 8000 ⁽¹⁾ |
| | % | kg ha ⁻¹ de N | | | | |
| Gramínea | < 2 | 30 | 50 | 70 | 90 | ≥ 110 |
| | 2 a 3 | ≤ 20 | 40 | 60 | 80 | ≥ 100 |
| | > 3 | ≤ 20 | 30 | 50 | 70 | ≥ 90 |
| Consorcio o barbecho | < 2 | ≤ 20 | 30 | 50 | 70 | ≥ 90 |
| | 2 a 3 | ≤ 20 | ≤ 20 | 40 | 60 | ≥ 80 |
| | > 3 | ≤ 20 | ≤ 20 | 30 | 50 | ≥ 70 |
| Leguminosa | < 2 | ≤ 20 | ≤ 20 | 40 | 50 | ≥ 70 |
| | 2 a 3 | ≤ 20 | ≤ 20 | 30 | 40 | ≥ 60 |
| | > 3 | ≤ 20 | ≤ 20 | ≤ 20 | 30 | ≥ 50 |

⁽¹⁾ Para rendimiento > 8000 kg ha⁻¹ de maíz, acrecentar 15 kg ha⁻¹ de N por tonelada de granos a ser producidos.

Fuente: Wendling (2005), ajustada por la RENALAS (2005)

Como el N es muy móvil en el suelo, es recomendado realizar las aplicaciones del nutriente en dos diferentes épocas. Una primera dosis en la siembra (20 a 30 kg ha⁻¹), que es muy importante para proporcionar mayor disponibilidad inicial para el cultivo. El resto de la aplicación podrá ser realizada en cobertura a partir de que el maíz presente 4-6 hojas, que corresponde aproximadamente a los 30-40 días después de la emergencia. Esta época es fundamental, ya que el maíz definirá su potencial productivo.

Las aplicaciones en superficie de N, deben ser realizadas con condiciones adecuadas para disminuir las pérdidas, principalmente cuando se usa urea. Las principales características que deben ser observadas son: a) humedad alta en el suelo, o expectativa próxima de lluvia, b) baja velocidad del viento; y c) temperaturas no muy altas. Altas productividades de maíz solo serán obtenidas cuando no falte humedad. Por lo tanto, la utilización de altas dosis de N es viable cuando la región presente buena distribución hídrica o en condiciones de riego.

Tabla 17. Recomendación de fertilización fosfatada para maíz sugerida según el rendimiento objetivo, para un tenor medio de P y clase según tenor de arcilla, Paraguay 2012. - Recomendación para SSD establecido (más de 5 años).

| TENOR DE ARCILLA (g kg ⁻¹) | EXPECTATIVA DE RENDIMIENTO DE MAÍZ (kg ha ⁻¹) | | |
|---|--|-------------|--------|
| | < 4000 | 4000 a 6000 | > 6000 |
| | kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ | | |
| 410 a 600 | 60 | 70 | ≥80 |
| 210 a 400 | 50 | 60 | ≥70 |

Para altos rendimientos ajustar la expectativa de rendimiento a la exportación 8 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por tonelada de granos.

Obs.: Cuando el suelo contiene más de 600 g kg⁻¹ de arcilla utilizar las recomendaciones de fertilización de la clase de 410 a 600 g kg⁻¹.

Tabla 18. Recomendación de fertilización potásica (kg ha⁻¹) para maíz sugerida según el rendimiento objetivo, para un tenor medio de K, Paraguay 2012.

| CATEGORÍA "MEDIA" DE K | EXPECTATIVA DE RENDIMIENTO DE MAÍZ (kg ha ⁻¹) | | |
|-----------------------------------|--|-------------|--------|
| | < 4000 | 4000 a 6000 | > 6000 |
| | kg ha ⁻¹ de K ₂ O | | |
| 51 – 75 (mg dm ⁻³) | 80 | 90 | ≥ 100 |

Para altos rendimientos ajustar la expectativa de rendimiento a la exportación 6 kg ha⁻¹ de K₂O por tonelada de granos.

Cosecha de Maíz en SSD.
Alto Paraná.



4.4 Girasol



Tabla 19. Recomendación de fertilización nitrogenada (kg ha^{-1} de N) para el girasol bajo el SSD, para una expectativa de productividad de 2000 kg ha^{-1} .

| TENOR DE MATERIA ORGÁNICA (%) | DOSIS DE N (kg ha^{-1} de N) |
|-------------------------------|--|
| < 2 | 60 |
| 2 – 3 | 45 |
| > 3 | 30 |

Fuente: Hahn (2008)



Girasol en SSD, parcelas experimentales. CETAPAR. Yguazú, Alto Paraná.

Tabla 20. Recomendación de fertilización fosfatada (kg ha^{-1} de P_2O_5) para el girasol bajo el SSD, para una expectativa de productividad 2000 kg ha^{-1} .

| CATEGORÍA DE FERTILIDAD | DOSIS DE P |
|-------------------------|---|
| | (kg ha^{-1} de P_2O_5) |
| Muy baja | 90 |
| Baja | 70 |
| Media | 50 |
| Alta | 35 |
| Muy alta | 20 |

Para altos rendimientos ajustar la expectativa de rendimiento a la exportación 12 kg ha^{-1} de P_2O_5 por tonelada de granos.

Fuente: Eltz *et al.* (2010)

Las indicaciones de fertilización para el cultivo de girasol fueron elaboradas para una expectativa de rendimiento de granos de 2000 kg ha^{-1} . Para rendimientos mayores de lo indicado es necesario adicionar los valores de la tabla, la retirada por el cultivo en función de expectativa de producción que sería la exportación de nutrientes y eventuales pérdidas.

Para N, P y K, las exportaciones por tonelada de granos son de 24, 12 y 12 kg, respectivamente (Blamey *et al.*, 1987). Las pérdidas son consideradas en un 25% en el sistema suelo-planta (lixiviación, fijación, volatilización, erosión, etc.), y a partir de estos valores se calculan las dosis de manutención multiplicando por el factor 1,25, como fue presentado anteriormente en la Tabla 10.



Girasol en SSD en parcelas experimentales. Itapúa.



La nutrición correcta del girasol es garantía de alto rendimiento y economía.

Tabla 21. Recomendación de fertilización potásica (kg ha^{-1} de K_2O) para el girasol bajo el SSD, para una expectativa de productividad 2000 kg ha^{-1} .

| CATEGORÍA DE FERTILIDAD | DOSIS DE K |
|-------------------------|---|
| | (kg ha^{-1} de K_2O) |
| Muy baja | 120 |
| Baja | 90 |
| Media | 60 |
| Alta | 45 |
| Muy Alta | 30 |

Para altos rendimientos ajustar la expectativa de rendimiento a la exportación 12 kg ha^{-1} de K_2O por tonelada de granos.

Fuente: Hahn (2008)

Capítulo . 5



SÍNTOMAS DE DEFICIENCIAS NUTRICIONALES



5.1 *Síntomas de deficiencias nutricionales en Soja*



Nitrógeno (N)

Dado a que se trata de un nutriente móvil en la planta, las deficiencias de N se observan inicialmente como un amarillamiento en las hojas inferiores (hojas más viejas). Cuando la deficiencia se generaliza, todo el cultivo se ve amarillento. Como la soja obtiene una buena proporción del N a través de la fijación simbiótica en los nódulos de las raíces, la falta o fallas de inoculación pueden causar deficiencias de este nutriente.

Fuente: IPNI



Deficiencia de N en soja.

Fósforo (P)

Los cultivos de soja con deficiencia de P presentan una marcada disminución del crecimiento inicial. Se observan hojas pequeñas, de color verde oscuro y de mayor espesor. Como es un nutriente móvil en la planta, los primeros síntomas se observan en las hojas más viejas (inferiores). La deficiencia de P también puede retrasar la maduración del cultivo de soja.

Fuente: IPNI



Deficiencia de P en soja.

Potasio (K)

La deficiencia de K causa inicialmente amarillamiento, seguido de necrosis de los márgenes de las hojas más viejas, debido a que es un nutriente móvil en los vegetales. Si la deficiencia persiste, los síntomas progresan hacia toda la planta. Deficiencias severas afectan el normal desarrollo de los granos.

Fuente: IPNI



Deficiencia de K en soja.

Azufre (S)

Los síntomas de deficiencia de S son similares a los de N, observando amarillamiento y clorosis, pero debido a su movilidad reducida en la planta, se localizan en los tejidos más jóvenes (hojas superiores). Si la deficiencia es severa, los síntomas se generalizan hacia toda la planta.

Fuente: Fernando Martínez, INTA Casilda



Deficiencia de S en soja.

Magnesio (Mg)

En estadíos iniciales de desarrollo, la deficiencia de Mg se ve como un amarillamiento internerval de las hojas más viejas (hoja estríada), debido a que es móvil en la planta. Con deficiencias severas, toda la hoja se amarillea y aparecen manchas necróticas entre las nervaduras.



Fuente: IPNI



Deficiencia de Mg en soja.

Hierro (Fe)

Los cultivos de soja deficientes en Fe, manifiestan clorosis internerval en las hojas más jóvenes (nutriente inmóvil en la planta), que al tiempo pueden quedar de color blanco. A diferencia de la deficiencia de Mn, en el caso de Fe se ve afectada la hoja entera. En casos de deficiencias severas, en general en suelos de pH alcalino, toda la planta se torna de un color blanquecino.



Fuente: IPNI



Deficiencia de Fe en soja.

Manganeso (Mn)

En cultivos de soja con deficiencia de Mn, la sintomatología se manifiesta como clorosis internerval en las hojas más jóvenes (nutriente inmóvil), que al tiempo pueden quedar blauecinas, permaneciendo las nervaduras de color verde. En un principio, las hojas se vuelven de un color verde pálido que luego se torna amarillo pálido. En caso de que la deficiencia incremente su severidad, las hojas se pueden tornar marrones, apareciendo áreas de tejido muerto. Los síntomas son parecidos a los de la deficiencia de Fe.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Mn en soja.

Zinc (Zn)

La deficiencia de Zn produce plantas más pequeñas, con entrenudos acortados y hojas jóvenes pequeñas con clorosis internerval, debido a su inmovilidad dentro de la planta. En estadios más avanzados, las hojas pueden marchitarse y finalmente, la planta puede desfoliarse en forma anticipada.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Zn en soja.

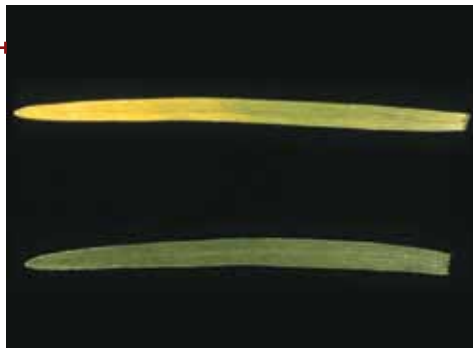
5.2 *Síntomas de deficiencias nutricionales en Trigo*



Nitrógeno (N)

Funciones: El Nitrógeno (N) es el motor del crecimiento de las plantas. Es responsable para formar amino ácidos y proteínas en la planta. Como parte esencial de las proteínas, el nitrógeno es crítico para el desarrollo de las plantas y del rendimiento. Su suministro es clave para la absorción de los otros nutrientes.

Deficiencia: Las deficiencias de nitrógeno se observan inicialmente como amarillamiento y clorosis de hojas inferiores (tejidos viejos). El crecimiento y elongación celular y la síntesis de proteínas son disminuidas. En situaciones de deficiencia mas aguda se observa marchitamiento de las hojas inferiores y clorosis general en toda la planta.



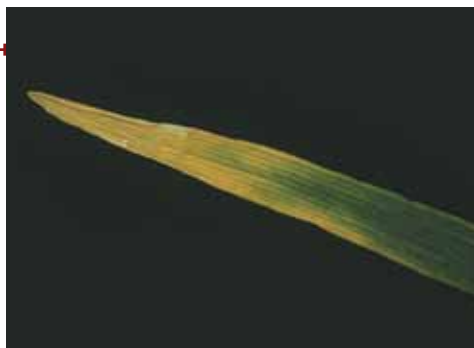
Deficiencia de Nitrógeno.

Fósforo (P)

Funciones: El Fósforo (P) actúa en la transferencia de energía y es esencial para la fotosíntesis y otros procesos químico-fisiológicos. Es un elemento clave para la diferenciación de las células y el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta.

Deficiencia: El trigo deficiente en P es más sensible a estrés y enfermedades. Las plantas deficientes tienden a mantener un color verde más oscuro que las plantas adecuadamente nutridas. El crecimiento y la maduración del cultivo se demoran. El macollaje se reduce marcadamente. Si la deficiencia es severa, se puede observar el marchitamiento de las puntas de las hojas. Al ser P un nutriente móvil en la planta, las deficiencias se observan en primer lugar en las hojas inferiores.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Fósforo.

Potasio (K)

Funciones: El Potasio (K), juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. Su presencia mejora el régimen hídrico de las plantas y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad. Las plantas bien provistas con K sufren menos de enfermedades

Deficiencia: La deficiencia de K es más común en suelos arenosos cultivados intensamente. Las hojas más viejas presentan amarillamiento y marchitamiento en las puntas y márgenes. Ciertas enfermedades son más comunes cuando hay deficiencias de K.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Potasio.

Azufre (S)

Funciones: El Azufre (S) es un elemento esencial de proteínas y también está involucrado en la formación de la clorofila. Es tan importante en el crecimiento de la planta como el fósforo y el magnesio; pero su función es a menudo subestimada.

Deficiencia: Los síntomas de deficiencia de S son similares a los de N. En el caso de S, la deficiencia se observa en primer término en las hojas jóvenes pero, dependiendo de la severidad, puede resultar en el amarillamiento general de la planta.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Azufre.

Magnesio (Mg)

Funciones: El Magnesio (Mg) es un elemento central de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que funciona como un receptor de la energía provista por el sol. El Mg también forma parte de las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta.

Deficiencia: Cultivos de trigo deficientes en Mg presentan manchas cloróticas internervales en las hojas más jóvenes.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Magnesio.

Cloro (Cl)

Funciones: Fotosíntesis; compensación de cargas y osmoregulación; actividad enzimática.

Deficiencia: La adecuada disponibilidad de Cl resulta en una menor incidencia de enfermedades y vuelco. La deficiencia de cloro en trigo resulta en el amarillamiento de las hojas superiores.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Cloro.

Cobre (Cu)

Funciones: Constituyente de numerosas enzimas con roles en fotosíntesis, respiración, metabolismo de carbohidratos y proteínas, lignificación y formación de polen.

Deficiencia: En cultivos de trigo deficientes en Cu se observan puntas de hojas nuevas amarillentas o secas y espigas deformadas (falta de espiquillas y/o granos).



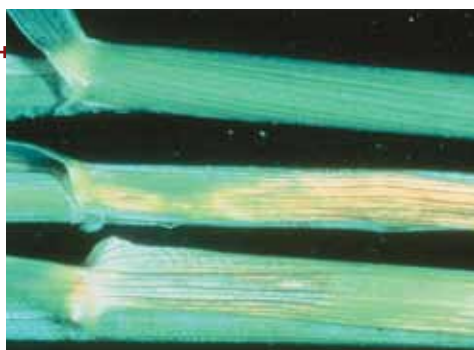
Deficiencia de Cobre.

Fuente: IPNI

Zinc (Zn)

Funciones: Constituyente de numerosas enzimas con roles en síntesis de carbohidratos y proteínas; mantenimiento de integridad de membranas; regulación de síntesis de auxinas y de formación de polen.

Deficiencia: La deficiencia de Zinc en trigo resulta en la clorosis inter-nerval en las hojas.



Deficiencia de Zinc.

Fuente: IPNI

Toxicidad del aluminio

La concentración elevada (toxicidad) de aluminio en el suelo reduce el desarrollo de las raíces que se vuelven regordas y a menudo de color café. Los síntomas típicos en las partes aéreas de la planta son las hojas pequeñas y los entrenudos más cortos y gruesos. También es frecuente que mueran los ápices de las hojas y que las hojas viejas se vuelvan amarillas y quebradizas. Este tipo de toxicidad se relaciona con el pH bajo del suelo y se puede combatir mediante aplicación de calcáreo.

Importancia: Hay manchones de la toxicidad de aluminio en el país principalmente en las regiones de Campo 9, Alto Paraná norte, Canindeyú, Amambay y San Pedro.



Toxicidad del aluminio.

Fuente: IPNI

5.3 *Síntomas de deficiencias nutricionales en Maíz*



Nitrógeno (N)

El N es muy móvil dentro de la planta. La deficiencia de N se observa como un color amarillento general en plantas jóvenes. En estados más avanzados del cultivo, las hojas inferiores (más viejas) presentan amarillamiento en forma de V invertida desde la punta.

Fuente: IPNI



Deficiencia de N en maíz.

Fósforo (P)

Los cultivos de maíz con deficiencia de P presentan hojas verdes oscuro con puntas y bordes violáceos. Generalmente, la deficiencia de P es identificable en plantas jóvenes, en las cuales se observa una marcada disminución del crecimiento inicial. La maduración del cultivo puede retrasarse con deficiencias de P.

Fuente: IPNI

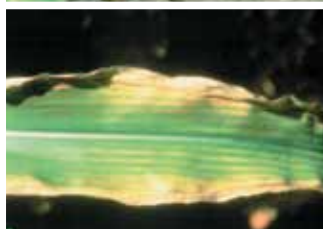


Deficiencia de P en maíz.

Potasio (K)

La deficiencia de K causa amarillamiento y necrosis de los márgenes de las hojas más viejas, debido a que es un nutriente móvil en la planta. Si la deficiencia persiste, los síntomas progresan hacia toda la planta. Deficiencias severas afectan el normal desarrollo de los granos.

Fuente: IPNI



Deficiencia de K en maíz.

Azufre (S)

Los síntomas de deficiencia de S son similares a los de N, observando amarillamiento y clorosis, pero debido a su movilidad reducida en la planta, normalmente se observan en los tejidos más jóvenes (hojas superiores).

Fuente: IPNI



Deficiencia de S en maíz.

Magnesio (Mg)

Las deficiencias de Mg se observan como manchas cloróticas interneriales en las hojas más viejas (síntoma de "hoja estríada"), debido a que es móvil en la planta.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Mg en maíz.

Hierro (Fe)

Los cultivos de maíz deficientes en Fe muestran clorosis internerval en las hojas más jóvenes (debido a que es un nutriente inmóvil en la planta), que al tiempo puede quedar blanquecina.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Fe en maíz.

Zinc (Zn)

La deficiencia de Zn en maíz produce plantas más pequeñas, con entrenudos acortados y hojas jóvenes con estrías blancas y tonos rojizos, debido a su inmovilidad dentro de la planta.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Zn en maíz.

Cobre (Cu)

Los cultivos de maíz deficientes en Cu muestran hojas nuevas descoloridas, progresando hacia un color amarillento, y produciendo flacidez y enrollamiento de las hojas más viejas, debido a su movilidad en la planta.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Cu en maíz.

5.4 *Síntomas de deficiencias nutricionales en Girasol*



Nitrógeno (N)

El déficit de nitrógeno es una de las causas del descenso de los rendimientos en el cultivo del girasol. El síntoma de su deficiencia es una clorosis general en cualquier fase de su desarrollo, afectando de igual modo a hojas tanto jóvenes como viejas.

Fuente: IPNI



Deficiencia de N en Girasol.

Fósforo (P)

La deficiencia de P repercute directamente tanto en las primeras fases de desarrollo del cultivo como en la formación y llenado de los aquenios. Los síntomas de deficiencia se manifiestan por una reducción del crecimiento y necrosis en las hojas más bajas.

Fuente: IPNI



Deficiencia de P en Girasol.

Azufre (S)

Los síntomas de deficiencia de S se dan con apareamiento de clorosis en hojas jóvenes y viejas, mientras los cotiledones se mantienen verde oscuro, debido a severas deficiencias en S.

Fuente: IPNI



Deficiencia de S en Girasol.

Magnesio (Mg)

Las deficiencias de Mg se notan con apareamiento de una clorosis inicial internerval y moteado, presente en las hojas inferiores de plantas.

Fuente: IPNI



Deficiencia de Mg en Girasol.

Boro (B)

El girasol es una planta particularmente sensible a las deficiencias de boro. Las deficiencias se manifiestan al emerger las plántulas (como fallas en el desarrollo y la expansión de los cotiledones), al aparecer las hojas (se muestran pequeñas y deformadas, con manchas pardo-rojizas) y durante el desarrollo del cultivo (a través de la rotura del tallo y la caída de los capítulos, como indica la foto). El sistema radical de las plantas también se ve afectado, ya que la elongación de las raíces se detiene en condiciones de deficiencia severa de este elemento nutritivo.

Fuente: IPNI



Deficiencia de B en Girasol.



AGRADECIMIENTOS

Al Ex-Presidente de Cámara Paraguaya de Exportadores y Comercializadores de Cereales y Oleaginosas (CAPECO) Ing. César Jure Yunis; y en especial al asesor agrícola de la Cámara, el Ing. Agr. Luis Enrique Cubilla Ramos, por el apoyo constante e incondicional a este proyecto de investigación.

A todos los Paraguayos involucrados en este trabajo, en especial a Ken Moriya, Enrique González Erico (*in memorium*), Oscar López Gorostiaga, Rudi Dressler, Eugenio Mañko (*in memorium*), Fabián Pereira, Ramiro Samaniego, Federico Barreto, César Ken Hoshiba, Cachito Orquiola, Wilfrido Morel, Maura Genez, Christian Chamorro, Alodia González de Altamirano, José Quinto Paredes, Rigoberto Ruiz Díaz, Ramón Martínez, Nilson Österlein, Erni Schlindwein, Eloi Walter, Gilberto Coronel, Natalia Scheid, Miguel Miranda, Sindulfo Giménez, Diego Fatecha, Enrique Hahn, Carlos Leguizamón, Dorivar Ruiz Díaz, Manuel Ferreira Brusquetti, a la Dirección del Centro Regional de Investigación Agrícola (CRIA-MAG), a la Dirección del Centro Tecnológico Agropecuario en Paraguay (CETAPAR), a la Universidad Nacional de Asunción (UNA), a la Red Nacional de Laboratorios de Suelos (RENALAS) a la Cooperativa de Producción Agrícola de Naranjal (COPRONAR) Ltda., a la Cooperativa Colonias Unidas Ltda. y a todas las personas que de alguna forma contribuyeron para la realización de este trabajo. Muchas gracias a todos.

Al Director Regional del Instituto Internacional de Nutrición de Plantas (IPNI-Cono Sur), Ingeniero Agrónomo Fernando O. García, PhD., por su apoyo en todo momento para la publicación de este trabajo de investigación.

Al Dr. Man Mohan Kohli por su permanente estímulo a la investigación y su gran ayuda en la edición de este ejemplar.



LITERATURA CITADA

- AMADO, T.J.C.; ELTZ, F.L.F. Nitrogen management in Southern Brazil and Western Paraguay. In: Hatfield, J.L. & Follett, R.F. Eds. Nitrogen in the Environment: Sources, Problems, and Management, 2ed. Elsevier, 2008. p. 124-143.
- AMADO, T.J.C. Disponibilidade de nitrogênio em sistemas de cultura e preparo do solo. UFRGS, Porto Alegre-RS, 1997. (Tese de Doutorado).
- AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; AITA, C. Recomendação de adubação nitrogenada para o milho no RS e SC adaptada ao uso de culturas de cobertura do solo, sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.26, p.241-248, 2002.
- AMADO, T.J.C.; BAYER, C.; CONCEIÇÃO, P.C.; SPAGNOLLO, E.; CAMPOS, B.; VEIGA, M. Potential of Carbon Accumulation in No-Till Soils with Intensive Use and Cover Crops in Southern Brazil. Journal of Environmental Quality, Madison, Wisconsin, v. 35, n. 4, p. 1599-1607, 2006.
- AMADO T. J. C.; CUBILLA M. M.; SCHLEINDWEIN J.; SANTI A. L.; CUBILLA L. E.; Manejo del suelo para la obtención de altos rendimientos en soja en el sistema de siembra directa en Paraguay y en el Sur del Brasil. In: 3er Congreso de Soja del MERCOSUR, Argentina, Rosario 27 - 30 de junio de 2006 / Bolsa de Comercio de Rosario. Anais, 2006
- ANGHINONI, I.; BISSANI, C.A. Correção da acidez do solo e materiais utilizados. In: CARLOS A. BISSANI; CLÉSIO GIANELLO; MARINO J. TEDESCO; FLÁVIO A. O. CAMARGO. (Org.). Fertilidade dos Solos e Manejo da Adubação de Culturas. 1 ed. Porto Alegre RS: Genesis, 2004, v. 1, p. 153-166.
- BARRETO U. F. Recomendações de fertilização fosfatada e potássica para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. 2008. Tese de Doutorado. UFSM
- BAYER, C., MIELNICZUK, J., AMADO, T. J. C., MARTIN-NETO, L.; FERNANDES, S. V. Organic matter storage in a sandy clay loam Acrisol affected by tillage and cropping systems in Southern Brazil. Soil Tillage Research, v.54, p.101-109, 2000.
- BOLETIM DE PESQUISA DE SOJA. Fundação Mato Grosso. 9 ed. Rondonópolis, MT, Central de Texto, 2005. 230p.
- BLAMEY, F.P.C.; EDWARDS, D.G.; ASHER, C.J. Nutritional disorders of sunflower. Brisbane: University of Queensland, 72p. 1987.
- BRUULSEMA T., C. WITT, F. GARCIA, S. LI, T.N. RAO, F. CHEN Y S. IVANOVA.. A Global Framework for Fertilizer BMPs. Better Crops 92 (2): 13-15. IPNI. Norcross, GA. EE.UU. 2008

- CASTRO, C. de; LANTMANN, A.F.; SFREDO, G.J.; BORKERT, C.M.; SILVEIRA, J.M. In: Resultados de pesquisa da EMBRAPA Soja, 2003: Girassol. Londrina: Embrapa Soja, 2004. p. 19-27.(Embrapa Soja. Documentos 242)
- CASTRO, C. de; BALLA, A.; CASTIGLIONI, V.B.R.; SILVEIRA, J.M.; OLIVEIRA M.C.N.de; SFREDO, G.J. Fertilização N, P e K em girassol. In: Reunião Nacional de Girassol, 10., 1993, Goiânia. Resumos... Campinas: IAC, 1993. p.47.
- CASTRO, C; OLIVEIRA, F.A.de Nutrição e adubação do girassol. In : LEITE, R. M. V. B. de C.;BRIGHENTI, A. M.; CASTRO, C. (Ed.). Girassol no Brasil. Londrina: Embrapa Soja, 2005. p. 317-373.
- CERETTA, C. A.; PAVINATO, P. S. Adubação em linha ou a lanço no plantio direto. In. VI Curso de fertilidade do solo em plantio direto, 2003. Trabalhos publicados. Ibirubá. p. 23-35.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul: EMBRAPA/CNPT, 1989. 128p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - RS/SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3. ed. Passo Fundo: SBCS - Núcleo Regional Sul: EMBRAPA/CNPT, 1995. 224p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO – RS/SC. Manual de recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre: SBCS – Núcleo Regional Sul, 2004. 394p.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 4ª aproximação. Lavras, 1989. p.122.
- CUBILLA ANDRADA, M.M. Calibração visando recomendações de fertilização fosfatada para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005.166f. Dissertação de mestrado.
- CUBILLA, M.M; AMADO, T.J.C.; WENDLING, A.; ELTZ, F.L.F.; MIELNICZUK, J. Calibração visando à fertilização com fósforo para as principais culturas de grãos sob sistema plantio direto no Paraguai. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 31, p. 1463-1474, 2007.
- CUBILLA, M.M. Manejo de la fertilidad del suelo para obtención de altos rendimientos de soja en el sistema de siembra directa en la Región Oriental del Paraguay. Revista Campo Agropecuario, Ediciones de Agosto y Setiembre, 2009. ARTEMAC S.A. Asunción – Paraguay. 2009.
- CUBILLA, M.M; Calibración de fertilizantes con fines de recomendación fosfatada bajo siembra directa para los principales cultivos de granos en el Paraguay In. Primer Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. Anais CD-rom. 2009.
- CUBILLA, M.M & FERREIRA B., M.; Recomendaciones de fertilización y análisis económico para el cultivo de trigo en Paraguay. In. Tercer Seminario Nacional de Trigo. Del grano al Pan. Eds. M.M. Kohli, L. E. Cubilla y G. Cabrera. 2010. CAPECO-INBIO, Asunción, Paraguay pag 89 – 100.
- CUBILLA, M.M; Tomas de muestras de suelo; criterios básicos para análisis de la fertilidad. Revista Campo Agropecuario, Edición de Marzo, 2010. ARTEMAC S.A. Pág. 140 a 144. Asunción – Paraguay.
- CUBILLA, M.M; Sistema de Siembra Directa – Manejo de la Fertilidad. Conservación y mejoramiento de suelos. Revista red Contactos & Agrotecnología, 7ma Edición, 2011. Contactos, comunicación y servicios. Pág. 9 a 14. Encarnación – Paraguay.
- DERPSCH, R., SIDIRAS, N., ROTH, C. H.; Results of studies made from 1977 to 1984 to control erosion by cover crops and no-tillage techniques in Paraná, Brazil. Soil and Tillage Res., 1986. 8. 253-263.
- ELTZ, F. L. F.; GRIMM, S. S.; FOLE, D. A. Efeito da calagem e da adubação fosfatada sobre a produtividade da soja, em oxissolo da unidade de mapeamento Santo Ângelo. Agronomia Sulriograndense, v. 11, p. 37-44, 1975.
- ELTZ, F.L.F.; PEIXOTO, R.T.G.; JASTER, F. Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um latossolo bruno álico. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.13, p.259-267, 1989.
- ELTZ, F.L.F.; HAHN VILLALBA, E.; LOVATO, T. Adubação fosfatada para girassol sob sistema plantio direto no Paraguai. Bragantia, v.69, p.899-904, 2010.

- FATECHA, A. Guía para la fertilización de cultivos anuales e perennes de la región oriental del Paraguay. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Subsecretaría de Estado de Agricultura, Dirección de Investigación Agrícola. Caacupé, Paraguay, 1999.
- FATECHA, D.A. Clasificación de la fertilidad, acidez activa (pH) y necesidad de cal agrícola de los suelos de la región oriental del Paraguay. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. Tesis como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. San Lorenzo, Paraguay, 2004.
- FATECHA, D.A. Balanço e evolução temporal de fósforo e potássio em três solos sob sistema plantio direto no Paraguai. Santa Maria – Universidade Federal de Santa Maria, 2010. 112f. Dissertação de Mestrado.
- GATIBONI, L.; KAMINSKI, J. ; RHEINHEIMER, D. ; FLORES, J.P.C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 31, p. 691-699, 2007.
- GATIBONI, L. C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. 231f. Santa Maria - Universidade Federal de Santa Maria, Tese de Doutorado, 2003.
- GARCIA, F.O. Pensando la nutrición de cultivos en función del sistema de producción. Simposio Paraguayo de Manejo y Conservación de Suelos. (2a: 2011 agost. 25-26); San Lorenzo, Paraguay. p. 11-15. 2011
- GIANELLO, C.; WIETHÖLTER, S. Novo sistema de adubação para as culturas de grãos nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. In: REUNIÃO SUL-BRASILEIRA DE CIÊNCIA DO SOLO, 5. Florianópolis, 2004. Anais. Florianópolis, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2004. - CD ROM.
- GOEPFERT, C.F.; SALIM, H.; MOURA, R.L. de Experimento de níveis de N, P e K e calcário, e do efeito residual da adubação e da manutenção com fósforo e potássio no rendimento de trigo em solo Camaquã. Agronomia Sulriograndense, v.10, p.179-188, 1974.
- HAHN VILLALBA, E. Recomendação de nitrogênio, fósforo e potássio para girassol sob sistema plantio direto no Paraguai. Santa Maria – Universidade Federal de Santa Maria, 2008. 100f. Dissertação de Mestrado.
- IAPAR Recomendações técnicas para a cultura do trigo no Paraná 1998. Circular nº 100 abril/98.
- KLEPKER, D.; ANGHINONI, I. Modos de adubação, absorção de nutrientes e rendimento de milho em diferentes preparos de solo. Pesquisa Agropecuária Gaúcha, Porto Alegre, v.2, p.79-86, 1996.
- MANUAL de adubação e calagem para cultivos agrícolas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Trigo e Soja, Porto Alegre, v.56, p.1-34, 1981.
- MARTINS, J.R.; GONÇALVES, C.N. Estudo da adsorção em diferentes profundidades de um solo sob cultivo convencional e plantio direto. In CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: CBCS, 1997. 4p. -CD ROM.
- MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; BOHNEN, H. Recomendações de adubo e calcário para as principais culturas do Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS, 1969a. 36p. (Boletim Técnico, 2).
- MIELNICZUK, J.; LUDWICK, A.; VOLKWEISS, S. *et al.* Estudos iniciais de calibração de análises para fósforo e potássio do solo com a cultura do trigo. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia e Veterinária da UFRGS, 1969b. 10p. (Mimeografado).
- MIELNICZUK, J. O potássio no solo. Piracicaba: Instituto da Potassa e Fosfato: Instituto Internacional da Potassa, 1982. 80 p. (Boletim Técnico, 2).
- MUZILLI, O. Influência do sistema de plantio direto comparado ao convencional sobre a fertilidade da camada arável do solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.7, p.95-102, 1983.
- NOVAIS, R.F. Sugestões de adubação para a cultura da soja. In: RIBEIRO, A.C.; GUIMARÃES, P.T.G.; ALVAREZ V., V.H. (Eds.). Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais - 5a Aproximação. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 359 p., 1999.
- RAIJ, B. van; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A. & FURLANI, A.M.L. Recomendação de adubação e de calagem para o estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1997. 285p. (Boletim Técnico, 100).
- REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; BRAIDA, J.A. Qualidade dos solos e sustentabilidade de sistemas agrícolas. Ciência & Ambiente, Santa Maria-RS, v. 27, p. 29-48, 2003.

- RENALAS, Red Nacional de Laboratorios de Análisis de Suelo. Primer Taller de Control de Calidad de los Laboratorios de Suelos e Recomendación de Fertilización nitrogenada, fosfatada e potássica para trigo, maiz e soja en siembra directa en Paraguay. Assunción, Paraguay, 19-20 de Septiembre, 2005.
- ROSSATO, R.R. Potencial de ciclagem de nitrogênio e potássio pelo nabo forrageiro intercalar ao cultivo do milho e trigo sob plantio direto. Santa Maria, UFSM, 2004. 106f. Dissertação de mestrado.
- SÁ, J.C.M. Manejo da fertilidade do solo no plantio direto. Castro: Fundação ABC, 1993. 96p.
- SCHLINDWEIN, J.A. Calibração de métodos de determinação e estimativa de doses de fósforo e potássio em solos sob sistema plantio direto. Porto Alegre – UFRGS, 2003. 169f. Tese de doutorado.
- SCHLINDWEIN, J.A.; ANGHINONI, I. Variabilidade vertical de fósforo e potássio disponíveis e profundidade de amostragem do solo no sistema plantio direto. *Ciência Rural*, v.30, p.611-617, 2000.
- SEGANFREDO, M.L.; ELTZ, F.L.F.; BRUM, A.C. de Perdas de solo, água e nutrientes em sistemas de culturas em plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.21, p.287-292. 1997.
- SIQUEIRA, O.J.F de; SCHERER, E.E.; TASSINARI, G.; ANGHINONI, I; PATELLA, J.F.; TEDESCO, M.; MILAN, P.A. & ERNANI, P.R. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Passo Fundo: EMBRAPA/CNPT, 1987. 100p.
- SIDIRAS, N.; PAVAN, M. A. Influência do sistema de manejo do solo no seu nível de fertilidade. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, v.9, p.249–254, 1986.
- UNITED NATIONS. Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development. 247 pp. 1987.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Faculdade de Agronomia. Departamento de Solos. Tabelas de adubação corretiva e adubação de manutenção para os solos e culturas dos estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 1973. 11p. (Boletim Técnico).
- WENDLING, A. Recomendação de nitrogênio e potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. Santa Maria, Universidade Federal de Santa Maria, 2005. 124f. Dissertação de mestrado.
- WENDLING, A.; ELTZ, F.L.F; CUBILLA, M.M.; AMADO, T.J.C.; MIELNICZUK, J.; LOVATO, T. Recomendação de adubação nitrogenada para trigo em sucessão ao milho e soja sob sistema plantio direto no Paraguai. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 31:985-994, 2007.
- WENDLING, A.; ELTZ, F.L.F; CUBILLA, M.M.; MIELNICZUK, J. AMADO, T.J.C.; Calibração do método de análise de solo mehlich 1 e recomendação de potássio para trigo, milho e soja sob sistema plantio direto para o paraguai. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa – MG, 2008.
- WIETHÖLTER, S.; BEN, J. R.; KOCHHANN, R. A.; PÖTTKER, D. Fósforo e potássio no sistema plantio direto. In: NUERNBERG, N.J. Conceitos e fundamentos do sistema plantio direto. SBCA/NRS. Lages, SC.1998. 160p.

ARTEMAC^{S.A.}

Tte. Vera 2856 e/ Cnel. Cabrera y Dr. Caballero
Asunción, Paraguay

Telefax: (021) 612 404 - 660 984 - 621 770/2

E-mail: direccion@campoagropecuario.com.py