



Director: Dr. Fernando O. García

INSTITUTO INTERNACIONAL DE NUTRICIÓN DE PLANTAS  
PROGRAMA LATINOAMERICA - CONO SUR

Av. Santa Fe 910

(B1641ABO) Acassuso – Argentina

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

E-mail: fgarcia@ipni.net

Sitio Web: [www.ipni.net](http://www.ipni.net)



Propietario: Potash and Phosphate  
Institute of Canada (PPIC)

ISSN 1666 - 7115

No. de Registro de Propiedad Intelectual 222581

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

Diseño e Impresión: [www.agroeditorial.com.ar](http://www.agroeditorial.com.ar)  
[amatthiess@amatthiess.com.ar](mailto:amatthiess@amatthiess.com.ar)

## Contenido:

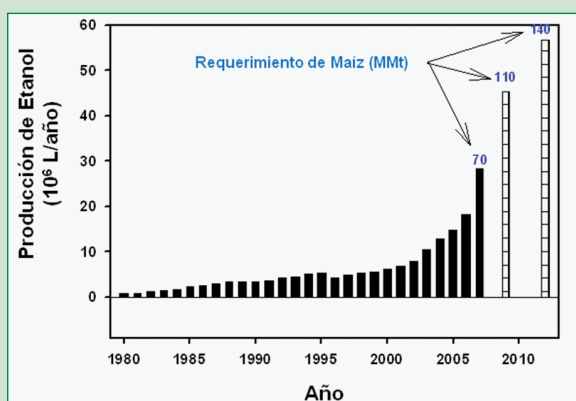
Biocombustibles, seguridad alimentaria e intensificación ecológica de los sistemas agrícolas	1
Compartimentos de la materia orgánica y balance de carbono en experimentos sobre sistemas de manejo de suelos de larga duración	9
Efecto de la fertilización nitrogenada en digitaria ( <i>Digitaria eriantha</i> Steudel)	12
¿Cuántas submuestras de suelo hay que tomar para caracterizar la fertilidad de un lote en la Pampa Ondulada?	17
Efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre el rendimiento de maíz y el balance de nutrientes en el noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Campaña 2006/07	20
Publicaciones de IPNI	23
Congresos, Cursos y Simposios	24

## Archivo Agronómico N° 12:

**Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios**

de los EE.UU. En adición a estos incentivos, el elevado precio de la gasolina derivada de petróleo hace a la producción de etanol, a partir del grano de maíz (llamado maíz-etanol), altamente beneficioso, lo cual ayuda también a atraer grandes cantidades de capital para nuevas inversiones que puedan soportar el rápido crecimiento de la capacidad de producción de biocombustibles. Como resultado, la capacidad de producción de etanol de los EE.UU. excede, en gran medida, todas las proyecciones y podría alcanzar un volumen superior a los 46 billones de litros por año en el 2009 y, como objetivo en el 2012, alcanzar los 58 billones de litros (Fig. 1).

Los elevados precios del petróleo y las políticas gu-



**Figura 1.** Producción de etanol de EE.UU. y requerimiento de grano de maíz para su producción. Los valores para el año 2009 están basados en la capacidad existente y bajo construcción. Los valores para el año 2012 tienen en consideración subsidio continuo y precios del petróleo > US\$50/bbl.

bernamentales favorables también contribuyen a la expansión del biocombustibles en otros países con adecuados recursos de agua y suelo para soportar el crecimiento en producción. Ejemplos significativos son la producción de etanol a base de caña de azúcar en Brasil y de biodiesel a base de palma aceitera en Indonesia y Malasia. En cada uno de estos casos, la producción de biocombustible utiliza cultivos que pueden ser utilizados para la alimentación humana. Como resultado, el precio de los commodities como maíz, caña de azúcar y aceites vegetales se ha incrementado drásticamente. Los productores han respondido a los precios elevados incrementando las áreas sembradas con cultivos para destino de biocombustibles. En los EE.UU. existe un espacio pequeño para que se produzca un incremento del área agrícola total, situación por la cual se ha producido un dramático cambio de soja y algodón por el cultivo de maíz. El reporte del USDA del 29 de Junio de 2007 estimó que la superficie plantada con el cultivo de maíz en el año 2007 se incrementó en un 19% (+5.9 Mha) comparado con la situación del año 2006, mientras que la superficie del algodón y soja descendió un 15% (4.6 Mha) y 28% (1.71 Mha), respectivamente (<http://www.nass.usda.gov/index.asp>). Es de esperar un incremento substancial en el área de sembradío de caña de azúcar en Brasil, y de palma aceitera en Indonesia y Malasia.

Estas respuestas marcan la primera fase de la revolución del biocombustible, que probablemente continúe en el futuro cercano si el precio del petróleo se mantiene elevado o se incrementa aun más. La característica más notable de esta revolución es que el precio de los cultivos para la alimentación

# ¿CUÁNTAS SUBMUESTRAS DE SUELO HAY QUE TOMAR PARA CARACTERIZAR LA FERTILIDAD DE UN LOTE EN LA PAMPA ONDULADA?

Roberto Alvarez, Haydée S. Steinbach, Bernardo Bauschen y Jean N. Enjalbert

Facultad de Agronomía, UBA, Av. San Martín 4453, Buenos Aires, Argentina.

ralvarez@agro.uba.ar

## Introducción

El muestreo de suelos para el diagnóstico de la fertilidad y recomendación de fertilización se ha convertido en una práctica corriente en la Región Pampeana. Generalmente, la unidad de manejo es el lote, pero pueden serlo partes del lote, que representen ambientes distintos, como por ejemplo zona alta y zona baja, en las situaciones que sea necesario aplicar manejos diferentes con condiciones de fertilidad contrastantes. De cada unidad de manejo se genera una muestra compuesta, que es la combinación de varias submuestras tomadas de diferentes lugares. Una pregunta que comúnmente se plantea, al momento de realizar el muestro de suelos, es ¿qué cantidad de submuestras es adecuada para caracterizar la fertilidad del lote?

Se ha difundido la idea que entre 20 y 30 submuestras por lote es una cantidad adecuada (Mallarino, 2001; Roberts y Henry, 2000), cuando se va a aplicar un manejo uniforme, aunque en la práctica es común sacar una cantidad menor de submuestras. Con unas 30 submuestras la distribución de frecuencias del grupo de datos tiende a la normalidad, distribución que se asume para muchas variables edáficas (Nelson, 1999). Sin embargo, el error que se comete al estimar la media de la población (valor real de la variable de fertilidad de interés) puede ser mayor al aceptable con esta cantidad de submuestras, disminuyendo al incrementar el número de las mismas (Nelson, 1999; Roberts y Henry, 2000).

Se puede estimar la cantidad de submuestras necesarias para caracterizar la fertilidad del suelo realizando un muestreo previo que permita conocer la variabilidad de las propiedades a evaluar (Petersen y Calvin, 1996). A partir de la variabilidad encontrada en el premuestreo, se estima la cantidad de submuestras a tomar en el muestreo definitivo para no exceder un error aceptable en la determinación de la fertilidad. En el uso agronómico esto se torna irrealizable y es necesario un criterio de muestreo predefinido al momento de ejecutar el mismo.

Algunas propiedades tienen mayor variabilidad que otras, por ejemplo, el contenido de carbono orgánico es menos variable que el nivel de nitratos o de fósforo extractable del suelo (Mallarino, 2001; Vázquez y Leroux, 1983). Algunos trabajos locales que han investigado el número de submuestras necesarias para caracterizar la fertilidad nitrogenada de suelos de la Pampa Ondulada han recomendado valores tan distintos como 30-40 submuestras por lote (Vázquez y Leroux, 1983) hasta 30-110 submuestras por

lote según el error aceptado (Barberis et al., 1977). Estos resultados contrastantes indican que es necesario profundizar en el estudio de la variabilidad de las propiedades comúnmente determinadas para caracterizar la fertilidad de los suelos.

En este trabajo evaluamos la variabilidad de algunas propiedades que se usan habitualmente en la caracterización de la fertilidad edáfica, en dos situaciones representativas de la Pampa Ondulada, a fin de estimar el número de submuestras necesario para no exceder un error aceptable.

## Materiales y métodos

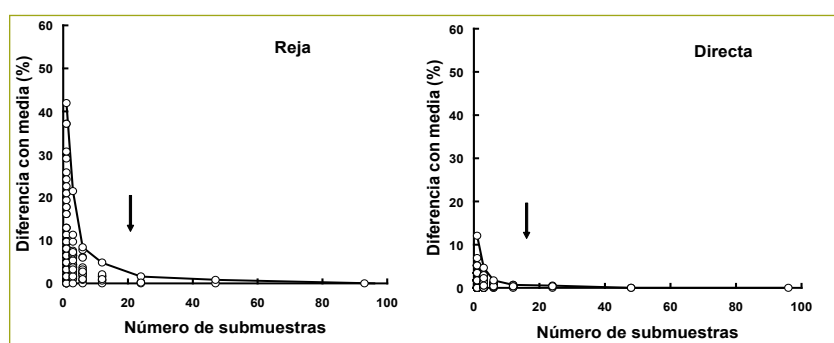
Se eligieron dos lotes de la Pampa Ondulada con Argiudoles Típicos de textura franco arcillo limosa, relieve ondulado y larga historia de uso bajo rotación pastura-agricultura. Los lotes habían estado al menos los últimos tres años bajo agricultura, siendo los cultivos principales trigo, soja y maíz, y los sistemas de labranza en un caso arado de reja y vertedera y en el otro siembra directa. El trigo y maíz eran fertilizados con nitrógeno, principalmente al voleo, y con fósforo en bandas a la siembra. El último cultivo había sido en los dos lotes maíz. La superficie de ambos lotes era de aproximadamente 100 ha, realizándose el muestro antes de la siembra de los cultivos de verano. Se dividió la superficie de los lotes en una grilla con cuadrados de 1 ha, tomándose en cada cuadrado una submuestra en el centro del mismo de 0 a 30 cm con barreno de 2 cm de diámetro. Debido a la forma de los lotes, en algunos casos la distancia del punto de muestreo al alambrado fue menor de 50 m, pero en ningún caso menor a 30 m y, en consecuencia, algunos cuadrados tuvieron menos de 1 ha (aprox. 0.8 ha). Se tomaron 96 submuestras por lote que no se mezclaron y se analizaron por separado determinándose pH, carbono orgánico, nitrógeno de nitratos y fósforo extractable (Tabla 1).

Se tomó al promedio de los valores de las propiedades determinadas para el total de submuestras como el mejor estimador del valor poblacional (muestra numerosa) y se agrupó los valores de las submuestras en grupos menores (muestras). Primero se generaron dos muestras integradas cada una por la mitad de las submuestras, luego cuatro muestras integradas cada una por un cuarto de las submuestras y se siguió subdividiendo de esa manera hasta tener muestras formadas por una sola submuestra. Las agrupaciones se hicieron de forma lógica y no al azar, combinando valores de submuestras de la manera que las hubiera tomado una persona que quisiera muestrear los lo-

tes recorriéndolos en un diseño de "banda griega". Por consiguiente, no se agruparon en ningún caso muestras contiguas sino lo mas separadas posibles. En el caso del lote bajo siembra directa se verificó que no existieran diferencias entre los promedios de las situaciones hilera, entresurco e intermedia. Al no detectarlas se combinaron submuestras como se indicó. Se calcularon los promedios de las variables para las muestras integradas por diferente cantidad de submuestras y se calcularon las diferencias en valor absoluto con la media numerosa, expresando esas diferencias de manera porcentual a la misma. Por métodos gráficos se estimó el máximo desvío porcentual de los promedios en relación a la muestra numerosa, ajustando una función de máxima, y sobre la función de máxima, el número de submuestras necesario para no tener un desvío respecto de ella mayor al 10%, como error aceptable, para carbono orgánico (aprox. 0.2%), nitrógeno de nitratos (aprox. 0.7 ppm) y fósforo extractable (aprox. 1.1 ppm). Para pH, por ser una variable logarítmica, se fijó el error aceptable en 1.6 % de la media (aprox. 0.1).

## Resultados y discusión

La variabilidad de las propiedades se incrementó en el orden: pH < carbono orgánico < nitratos < fósforo extractable y, la misma tendencia mostraron las diferencias entre las medias de muestras pequeñas respecto de la muestra numerosa (Figs. 1, 2, 3 y 4). Para no exceder el error considerado aceptable respecto de la media de la muestra numerosa era necesario tomar 6-24 submuestras para pH, 10-12 para carbono orgánico, 15-25 para nitratos y 45-55 para fósforo extractable.



**Figura 1.** Diferencia porcentual entre los promedios de valores de pH de muestras compuestas por diferente cantidad de submuestras y una muestra de gran tamaño ( $n = 96$ ) en dos lotes agrícolas manejados bajo sistemas de labranza contrastantes. Se ha ajustado una función a los casos de diferencias máximas. Las flechas indican el número de submuestras mínimo para que en ningún caso las diferencias con el promedio de la muestra de gran tamaño difieran en más de un 1.6 % de este último.

El criterio, muchas veces aplicado a nivel agronómico, de tomar 20-30 submuestras por lote parece adecuado para pH, carbono orgánico y nitratos, pero hubiese inducido, en varias de las muestras posibles de extraer, a tener diferencias con la media de la muestra numerosa de 25-50 % para fósforo extractable (2.5-6.0 ppm). Este error es demasiado grande en el diagnóstico de la fertilidad e induciría recomendaciones de fertilización erróneas (Ortega et al., 2000). Estos resultados se deben en parte a que la distribución de frecuencias de la variable fósforo extractable no es normal sino que sigue una distribución asimétrica hacia la derecha, con algunos valores muy altos (Roberts y Henry, 2000). Estos se generan en pequeños sectores de los lotes donde el nivel de fósforo es mucho mayor al promedio y la toma de alguna submuestra en ellos afecta la media de la muestra induciendo una sobrestimación de la fertilidad fosforada (Gutierrez Boem y Marasas, 2005). En nuestro caso, las zonas de los lotes con muy altos contenidos de fósforo extractable (mas del doble de la media) representaban un 8-10% de su superficie, pero por otro lado, zonas con valores muy bajos (menos de la mitad de la media) representaban un 30-40% de la misma. Las zonas de altos o bajos niveles de fósforo no podían asociarse con factores topográficos, de manejo o de otra índole.

A nivel de producción es común encontrar registros de niveles de fósforo de lotes que presentan cambios enormes entre diferentes muestreos, a veces dentro de un mismo año. Estos cambios no tienen tendencia en el tiempo subiendo y bajando los resultados sin patrón entendible. Este problema lleva a algunos técnicos a usar para la recomendación de fertilización un promedio de los análisis realizados en los últimos años, y no el resultado del análisis realizado a la siembra del cultivo a fertilizar. Debe buscarse la raíz de este problema en fallas del muestreo más que en posibles errores analíticos cometidos en el laboratorio.

Para el muestreo de fósforo extractable no resulta suficiente tomar 20-30 submuestras por lote y se debe incrementar la cantidad a tomar. En el caso de los lotes estudiados aquí un número adecuado resultó 50. En la práctica esta cantidad es excesiva para tomar todos los años en muchos lotes. Para caracterizar la fertilidad fosforada

**Tabla 1.** Variabilidad de las propiedades evaluadas.

Lote	Medida	pH	Carbono (%)	N-nitrato (ppm)	P extractable (ppm)
Reja	Rango	5.4 - 8.8	1.1 - 3.2	0.4 - 17	1.8 - 67
	Promedio	6.2	2.2	6.6	10
	CV	10	17	41	97
Directa	Rango	5.5 - 6.5	0.9 - 1.8	2.8 - 13	2.0 - 257
	Promedio	5.8	1.4	7.7	12
	CV	2	11	22	220

\*CV= coeficiente de variación

de los suelos, teniendo en cuenta la baja velocidad de cambio temporal del fósforo (Bullock, 2000), la recomendación más adecuada parece hacer muestreos intensivos cada 2-4 años en lugar de realizar muestreos de baja intensidad todos los años. Este tipo de recomendación ya se ha realizado anteriormente en otros países (Mallarino, 2001).

En cuanto a la relación entre el número de submuestras necesario y el tamaño del lote, algunos estudios indican que el aumento de la superficie a muestrear determina la necesidad de incrementar levemente el número de submuestras que se deben extraer (Roberts y Henry, 2000). Por ejemplo, para un lote del doble de superficie que otro se necesitan solo un 10% más de submuestras para mantener el error en un límite aceptable. En consecuencia, podría generalizarse que con 25 submuestras por lote o unidad de muestreo podemos caracterizar el pH y los contenidos de carbono orgánico y nitratos de los suelos, siendo necesario duplicar la cantidad de submuestras cuando se desea definir la fertilidad fosforada.

## Bibliografía

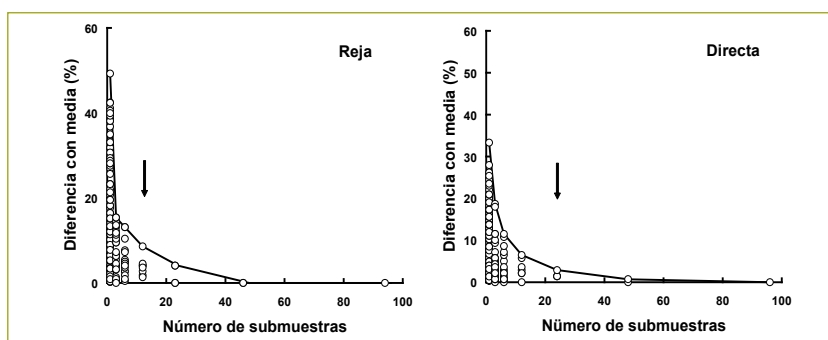
- Barberis L.A., D. Zourarakis y D. Sunde.** 1977. Influencia de las técnicas de muestreo y acondicionamiento en la determinación del nivel de nitratos en suelo. III Reunión Nacional de Fertilidad y Fertilizantes, actas C/8: 1-14.
- Bullock D.** 2000. Análisis de suelos. Algunas ideas acerca de precisión y producción bajo siembra directa. INPOFOS Cono Sur. Informaciones Agronómicas 6: 1-4.
- Gutiérrez Boem F.H. y P.A. Marasas.** 2005. Pequeñas zonas con altas concentraciones de P causan grandes errores en la determinación de P disponible a nivel lote. INPOFOS Cono Sur. Informaciones Agronómicas 25: 9-11.
- Mallarino A.P.** 2001. Manejo de nutrientes sitio-específico con énfasis en el muestreo de suelos y la fertilización variable con fósforo y potasio. Jornada de Actualización Técnica para profesionales-Fertilidad 2001. Ed. INPOFOS Cono Sur, pág. 8-12.
- Nelson L.** 1999. Estadística en la investigación del uso de fertilizantes. Ed. INPOFOS Norte de Latinoamérica, 66 pág.
- Ortega R., M. Flores y C. Quilamapu.** 2000. Agricultura de precisión: introducción al manejo sitio-específico. INPOFOS Cono Sur. Informaciones

Agronómicas 7: 1-5.

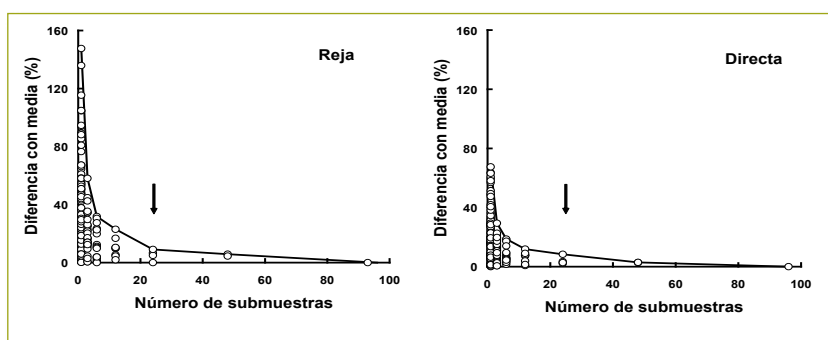
**Petersen R.G. y L.D. Calvin.** 1996. Sampling. En: Methods of soil analysis, Part 3-Chemical methods, pág. 1-17.

**Roberts T.L. y J.L. Henry.** 2000. El muestreo de suelos: los beneficios del buen trabajo. INPOFOS Cono Sur. Informaciones Agronómicas 8: 7-10.

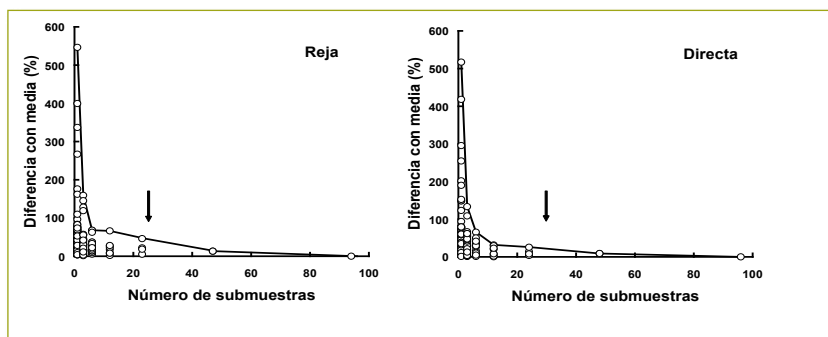
**Vázquez M.E. y G. Leroux.** 1983. Estudio de la variabilidad edáfica de algunas determinaciones químicas a través de un muestreo compuesto. Rev. Fac. Agronomía-UBA 4: 7-13. <



**Figura 2.** Diferencia porcentual entre los promedios de valores de carbono orgánico de muestras compuestas por diferente cantidad de submuestras y una muestra de gran tamaño ( $n = 96$ ) en dos lotes agrícolas manejados bajo sistemas de labranza contrastantes. Se ha ajustado una función a los casos de diferencias máximas. Las flechas indican el número de submuestras mínimo para que en ningún caso las diferencias con el promedio de la muestra de gran tamaño difieran en más de un 10 % de este último.



**Figura 3.** Diferencia porcentual entre los promedios de valores de nitratos de muestras compuestas por diferente cantidad de submuestras y una muestra de gran tamaño ( $n = 96$ ) en dos lotes agrícolas manejados bajo sistemas de labranza contrastantes. Se ha ajustado una función a los casos de diferencias máximas. Las flechas indican el número de submuestras mínimo para que en ningún caso las diferencias con el promedio de la muestra de gran tamaño difieran en más de un 10 % de este último.



**Figura 4.** Diferencia porcentual entre los promedios de valores de fósforo extractable de muestras compuestas por diferente cantidad de submuestras y una muestra de gran tamaño ( $n = 96$ ) en dos lotes agrícolas manejados bajo sistemas de labranza contrastantes. Se ha ajustado una función a los casos de diferencias máximas. Las flechas indican el número de submuestras mínimo para que en ningún caso las diferencias con el promedio de la muestra de gran tamaño difieran en más de un 10 % de este último.