

# SUMAR FÓSFORO, HACE LA DIFERENCIA

DIAGNÓSTICO



## MANUAL TÉCNICO FICHAS 31 A 36



# DIAGNÓSTICO

## ÍNDICE

#31 - <u>EVALUACIÓN DEL FÓSFORO EXTRACTABLE: PAUTAS PARA EL MUESTREO DE SUELOS</u>	1
#32 - <u>¿CÓMO “SE MUEVE” EL FÓSFORO EN EL PAISAJE?</u>	3
#33 - <u>LA INTERPRETACIÓN DE LOS NIVELES DE P VARÍA SEGÚN EL MÉTODO EXTRACTANTE</u>	4
#34 - <u>LA INTERPRETACIÓN DE LOS NIVELES DE P VARÍA SEGÚN EL CULTIVO A FERTILIZAR</u>	5
#35 - <u>LAS PLANTAS MUESTRAN CUANDO EL FÓSFORO DEL SUELO ES LIMITANTE</u>	6
#36 - <u>RECOMENDACIONES DE EVALUACIÓN Y DE INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS FOLIARES</u>	8

# NÚMERO DE SUBMUESTRAS REQUERIDAS PARA OBTENER UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DE SUELO CON DETERMINADOS NIVELES DE PRECISIÓN Y EXACTITUD

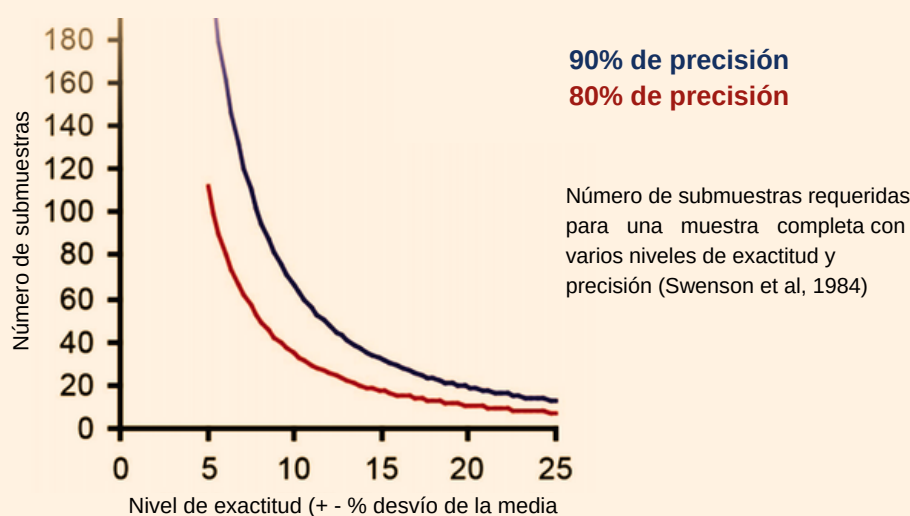


El muestreo de suelos es la primera etapa en un programa de diagnóstico de la fertilidad y es la fuente de error más frecuente e importante. Los muestreos de suelo suelen involucrar la composición de una muestra compuesta, a partir de juntar un número variable de submuestras en la misma bolsa, cuanto más muestras mayor es la posibilidad de obtener un dato certero del P en el suelo.

Los suelos presentan una importante variabilidad horizontal, que se acentúa en los sistemas agrícolas, debido a que el fósforo ha sido aplicado tradicionalmente en forma localizada, y al ser un compuesto poco móvil, quedan sectores con diferentes cantidades, por eso se debe realizar un muestro profesional para determinar bien la disponibilidad de fósforo.

La profundidad de muestreo para la determinación de fósforo es de 0 a 20 cm por 2 razones: las raíces absorben la mayoría del fósforo que precisan en los primeros 20 centímetros de suelo y los modelos que buscan correlacionar los contenidos de fósforo extractable han utilizado esta profundidad como referencia.

## Muestreo de suelos - submuestras requeridas



El muestreo de suelos es la primera etapa en un programa de diagnóstico de la fertilidad, fertilización y uso de enmiendas, y es la fuente de error más frecuente e importante.

Los contenidos de P en los suelos no son uniformes. Los muestreos de suelo para la determinación de fósforo extractable suelen involucrar la composición de una muestra ("muestra compuesta") a partir de juntar un número variable de submuestras en la misma bolsa y conducirla al laboratorio como una muestra única. Al aumentar la intensidad (cantidad de submuestras) lograremos una mejor representatividad del sitio a describir, dado que se previene que una muestra con valores inusuales (en general inusualmente altos) afecte mucho el resultado final, y por lo tanto el valor que da el laboratorio puede acercarse al valor del contenido de fósforo en el campo (exactitud del muestreo).. Con un mayor número de submuestras, también se promueve la semejanza de los resultados en muestreos posteriores, es decir que favorece la repetibilidad de los resultados obtenidos (precisión del muestreo).

## NÚMERO DE SUBMUESTRAS REQUERIDAS PARA OBTENER UNA MUESTRA REPRESENTATIVA DE SUELO CON DETERMINADOS NIVELES DE PRECISIÓN Y EXACTITUD



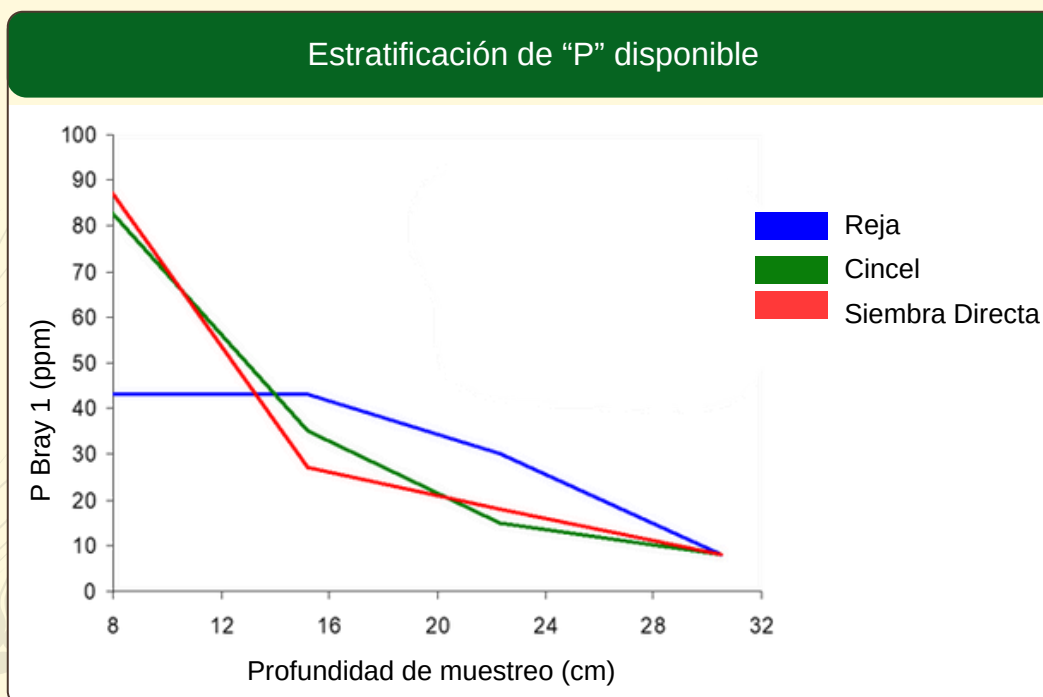
Los suelos presentan una variabilidad horizontal en los contenidos de fósforo extractable que es natural, pero que en sistemas agrícolas se acentúa, debido a que el fósforo ha sido aplicado tradicionalmente en forma localizada (bandas), y al ser un elemento poco móvil, quedan partes con muy diferente cantidad de fósforo a pocos centímetros. Como estas diferencias no son visibles a simple vista, se debe realizar un muestreo de suelos muy intenso y profesional para alcanzar valores exactos y precisos de fósforo extractable.

Es muy importante entender y recordar que los niveles de fósforo son espacialmente mucho más heterogéneos que otras propiedades de los suelos (pH, materia orgánica, textura, etc.), por lo que debe ajustarse el número de submuestras cuando se incluye al fósforo, lo que ha llevado a recomendar en muchos casos a hacer un muestreo de alta calidad (alta cantidad de submuestras), cada 2 o 3 años, y no realizarlo todos los años.

Entonces, para obtener resultados confiables que representen al sitio a caracterizar las muestras, deben tomarse considerando las siguientes pautas

- Limitar el área a evaluar a sectores uniformes y representativos del lote.
- Evitar muestras en líneas de cultivos anteriores
- Mantener una alta intensidad de muestreo (submuestras/sitio) > 30

La profundidad de muestreo para la determinación de fósforo es de 0 a 20 cm, y debe respetarse por dos razones. En primer lugar. En segundo lugar, y relacionado con el punto anterior, los modelos que buscan correlacionar los contenidos de fósforo extractable con la respuesta a la aplicación de este nutriente han utilizado como referencia tal profundidad, por lo que mediciones a otras profundidades no serían de utilidad para poder interpretar los resultados obtenidos. Estas consideraciones son particularmente importantes en el caso de sistemas de siembra directa, donde el fósforo se estratifica y el no respetar la profundidad de los modelos puede conducir a grandes errores:



El fósforo puede perderse por erosión hídrica, ya que se suele encontrar adherido a las partículas finas de los suelos, las arcillas y la materia orgánica, también el P en solución puede moverse en profundidad (lixiviado).

Para estimar el riesgo de movimiento del P se utilizan métodos analíticos diferentes a los que se aplican para predecir la probabilidad de respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada, Además de mediar la cantidad de P biodisponible se consideran otros indicadores que se contrastan con las cantidades de fósforo en cuerpos de agua superficiales que estimulan el crecimiento de organismos.



Además de la extracción por las plantas, el fósforo puede perderse por erosión hídrica, ya que se suele encontrar adherido a las partículas finas de los suelos, las arcillas y la materia orgánica, que son transportadas por el agua en condiciones de baja infiltración y pendientes pronunciadas o muy largas.

El P en solución también puede moverse en profundidad (lixiviado), aunque este fenómeno se restringe a condiciones de fertilización o abonados con cantidades excesivas de fósforo y en suelos de baja retención de agua y nutrientes..

Para estimar el riesgo de movimiento del P se utilizan métodos analíticos diferentes a los que se aplican para predecir la probabilidad de respuesta de los cultivos a la fertilización fosfatada. Además de mediar la cantidad de P biodisponible se consideran otros indicadores tales como los niveles de saturación con este elemento, pendientes, rugosidad y distancias hasta los cuerpos de agua, y se contrastan con las cantidades de fósforo en cuerpos de agua superficiales que estimulan el crecimiento de algas, organismos que se multiplican cuando estos cuerpos se enriquecen con este nutriente (Eutrofización).

Al disminuir los niveles de P extractable de los suelos aumenta la probabilidad de respuesta de los cultivos a la fertilización, Sin embargo, al utilizar diferentes sustancias químicas como extractantes, la intensidad de extracción y los compuestos de fósforo extraídos son distintos.

Los valores de la extracción con los extractantes Bray 1 y Mehlich 3 son similares, debido a que el pH logrado es muy parecido y el compuesto químico principal es el mismo.

Por su parte, los valores obtenidos por Olsen y Mehlich 1 son algo similares entre ellos, pero extraen menos P que los extractantes Bray 1 y Mehlich 3 o cuando se utilizan los métodos llamados “de destino” los niveles de extracción y los límites para cada categoría son mucho mayores.

Es importante entonces considerar la metodología de extracción al interpretar los resultados de los análisis de laboratorio.

Método	Niveles de análisis				
	Muy bajo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto
	mg/kg				
Bray - 1 (1)	< 6	6 - 14	14 - 20	20 - 30	30+
Olsen (2)	< 5	6 - 10	11 - 14	15 - 20	21+
Mehlich - 1 (3)	< 3-4	4 - 10	10 - 15	15 - 30	30+
Mehlich - 3 (4)	< 8	9 - 15	16 - 20	21 - 30	31+
Resina (5)	< 6	7 - 15	16 - 40	41 - 80	80+

(1) Adaptado de información de Argentina; (2) Adaptado de Iowa State University; (3) Adaptado de M. Cubilla (Paraguay); (4) Adaptado de Iowa State University; (5) Adaptado de información para el estado de San Pablo (Brasil)

Al disminuir los niveles de P extractable de los suelos aumenta la probabilidad de respuesta de los cultivos a la fertilización con este elemento, dado que el suelo se encuentra empobrecido en este nutriente.

Sin embargo, la interpretación de los niveles de referencia varía según el método de extracción utilizado, ya que al utilizar diferentes sustancias químicas, la intensidad de extracción y los compuestos de fósforo extraídos son distintos.

O los valores de la extracción con los extractantes Bray 1 y Mehlich 3 son similares, debido a que el pH logrado es similar y el compuesto químico principal (Fluoruro de Amonio) es el mismo, por lo que podrían usarse alternativamente con cierto resguardo o por su parte, los valores obtenidos por Olsen y Mehlich 1 son algo similares entre ellos, pero extraen menos P que los extractantes Bray 1 y Mehlich 3, por lo que los límites de las categorías son más bajos para los dos primeros extractantes o Cuando se utilizan los métodos llamados “de destino” (o “sink” en inglés) como las membranas o resinas de intercambio iónico (que no reaccionan con el suelo), los niveles de extracción y los límites para cada categoría son mucho mayores. Se debe puntualizar que en Argentina no están difundidos estos métodos para la evaluación de la fertilidad fosforada en lotes de producción.

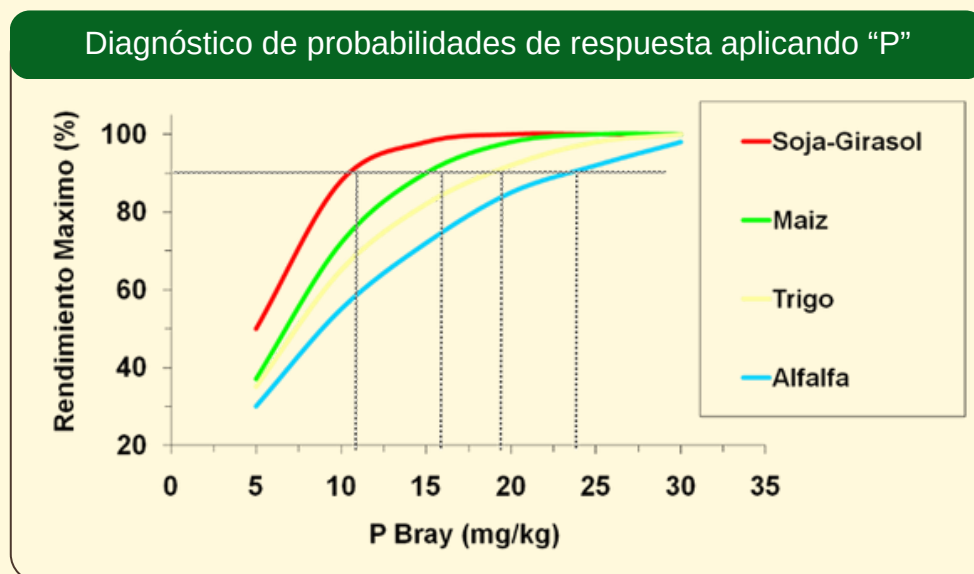
Es importante entonces considerar la metodología de extracción al interpretar los resultados de los análisis de laboratorio, ya que se debe considerar el método que fue utilizado en las correlaciones que luego se utilizarán como base para predecir la respuesta del cultivo a la aplicación de fertilizante: en Argentina el método ampliamente elegido de extracción es el Bray & Kurtz 1.

En Argentina, el método de extracción por Bray Kurtz 1 es el más utilizado para el diagnóstico de probabilidad de respuesta a la fertilización con P.

Los cultivos de grano y forrajeros más relevantes presentan para las zonas de Argentina una importante cantidad de datos para el desarrollo de modelos que dan respuesta al agregado de fertilizante fosfatado.

A partir de estos modelos, se pueden fijar umbrales de fósforo extractable de respuesta, que son valores por debajo de los cuales la respuesta al agregado de fósforo es biológicamente muy probable.

Diagnóstico de probabilidades de respuesta aplicando “P”



En Argentina, el método de Bray Kurtz 1 es el que ha sido más intensamente calibrado y validado para el diagnóstico de probabilidades de respuestas a la fertilización con P.

Los cultivos de grano y forrajeros más relevantes presentan calibraciones para las zonas productoras de Argentina con una cantidad de puntos (datos) suficiente para desarrollar modelos con niveles de precisión aceptables, que relacionan el valor de P Bray obtenido con el rendimiento relativo del cultivo o con la probabilidad de respuesta al agregado de fertilizante fosfatado.

A partir de estos modelos, se pueden fijar umbrales de fósforo extractable de respuesta, que son valores por debajo de los cuales la respuesta al agregado de fósforo es biológicamente muy probable. Los niveles críticos de referencia difieren entre cultivos, ya que poseen, por un lado, diferentes requerimientos, y, por otro lado, poseen diferentes sistemas radicales y mecanismos de adquisición del fósforo del suelo.

Cuando los niveles extractables son inferiores a valores críticos de referencia (expectativas de respuestas superiores al 10% del rendimiento alcanzable) es alta la probabilidad de alcanzar mejoras en producción al fertilizar. Estos niveles críticos de referencia son 9 a 13 ppm en soja y girasol, 14 a 18 ppm en maíz, 18 a 20 ppm en trigo, y 25 a 30 ppm en alfalfa.

La concentración de nutrientes en los tejidos de las plantas es el resultado de interacciones entre estas y su entorno. De alguna manera, las plantas funcionan como una “solución extractante”, que integra la oferta desde el suelo con la demanda del cultivo.

Los análisis foliares complementan programas de manejo de nutrición de cultivos porque brindan alternativas de diagnóstico al análisis de suelos.

La concentración de los nutrientes varía entre tejidos (hojas, tallos, raíces, etc) y con el momento del período de crecimiento, por lo cual debe estandarizarse el órgano y momento a medir para poder luego realizar calibraciones que brinden resultados consistentes.

Cultivo	Momento de muestreo	Tejido de la planta	Muestras ha-1	Referencias
Trigo	Emergencia - Macollaje	Planta entera, corte a 2,5 cm a ras de suelo	30	1,2,3,4
	Encañazon - Inicios de floración	Hojas 1 a 4 desde el ápice	30-50	
Cebada	15 al 44%	Planta entera (parte aérea)	30-50	1,2,4
Arroz	Macollaje - Inicio panoja mientro floración	Hoja más joven completamente desarrollada hoja bandera	25-50	1,2,5
Maiz	V3 - V4	Planta entera	15-30	1,2,3,6
	Emergencia de estigmas	Hoja de espiga u hoja opuesta y debajo de la espiga	15-30	
Sorgo	Inicios de macollaje	Hoja del tercio medio	30	1,2,8,9
	Vegetativo o previo a panojado	Primera hoja madura desde ápice	15-30	
	Floración	Hoja 2 desde el ápice	15-30	
Soja	Etapa vegetativa	Primera hoja madura desde el ápice, sin peciolo	30-50	1,2,3,10
	Plena floración - Inicio de formación de vainas		30-50	
Colza	Previa a floración	Lámina de la hoja más recientemente madura	30	11
Girasol	Inicios de floración	Hojas del tercio superior	30	1,2,12
Alfalfa	Primer floración	10-15 cm superiores	15-30	1,3,13
Algodón	Inicios de floración	Limbo de hojas adyacentes a las flores	30	1,2,14
Papa	A 30 cm de altura	Hoja superior desarrollada, sin peciolo	30-50	1,15,16
	Llenado de tubérculos	Peciolo de la cuarta hoja superior desarrollada	50-60	
Caña de azúcar	4 meses post-brotación	Hoja +3; hoja +1 = con 1.º lígula (región de inserción de la vaina madre), tercio medio, excluyendo nervadura principal	20-30 por tallo uniforme	2,17,18





La concentración de nutrientes en los tejidos de las plantas es el resultado de interacciones entre estas y su entorno (ambiente + manejo), integrando tanto las características internas propias de crecimiento del vegetal como las condiciones ambientales que afectan este crecimiento. De alguna manera, las plantas funcionan como una “solución extractante”, que agrega a la oferta desde el suelo, la demanda del cultivo.

Los análisis foliares complementan programas de manejo de nutrición de cultivos porque permiten:

- Validar síntomas de deficiencias nutricionales.
- Identificar deficiencias asintomáticas (deficiencias sub clínicas o “hambre oculta”).
- Mostrar interacciones entre nutrientes con herramientas como el DRIS
- Delimitar sectores en los lotes con comportamientos diferenciales.
- Evaluar planteos de manejo nutricional de cultivos.

La concentración de los nutrientes varía entre tejidos (hojas, tallos, raíces, etc) y con el momento del período de crecimiento, por lo cual debe estandarizarse el órgano y momento a medir para poder luego realizar calibraciones que brinden resultados consistentes. En general la técnica de análisis foliar no está del todo difundida en la rutina de la producción agropecuaria porque no se dispone de modelos robustos que relacionen concentración en planta con respuesta a la aplicación de nutrientes, y porque muchas veces cuando la concentración del nutriente indica deficiencias, es tarde para aplicar medidas correctivas.



El estado de nutrición con fósforo de las plantas puede estimarse según la concentración de este elemento en sus hojas. Los órganos para muestrear, generalmente hojas, y los niveles de referencia varían entre especies. Tanto en trigo como en el cultivo de maíz, las concentraciones críticas reportadas son mayores durante el período vegetativo.

La información proveniente por análisis de tejidos es de mayor utilidad para la validación de estrategias de manejo del fósforo en cultivos perennes, mientras que para cultivos anuales, el análisis de fósforo en tejidos es conveniente para el diagnóstico de la fertilización fosforada para cultivos siguientes al evaluado.

Cultivo	Trigo		Maíz		Soja	Girasol	Alfalfa
Concentración de "P" (en tejido)	0,2 - 0,5	0,2 - 0,3	0,3 - 0,8	0,2 - 0,5	0,3 - 0,6	0,3 - 0,7	0,25 - 0,7
Momento	Encañazón	Floración	Vegetativo	Floración	Vegetativo reproductivo	Floración	1° Floración
Órgano de muestreo	Planta entera	Hojas sup.	Planta entera	Hojas de la espiga	1° hoja madura desde el ápice	Hojas del tercio sup.	10 - 15 cm sup.

El estado de nutrición con fósforo de las plantas puede estimarse según la concentración de este elemento en sus hojas, principalmente en estadios próximos a la floración.

Los órganos para muestrear, generalmente hojas, y los niveles de referencia varían entre especies.

Tanto en trigo como en el cultivo de maíz, las concentraciones críticas reportadas son mayores durante el período vegetativo, considerando análisis de planta entera, que durante el período reproductivo, en el cual se toma la hoja de la espiga como referencia de nutrición fosfatada.

La información proveniente por análisis de tejidos es de mayor utilidad para la validación de estrategias de manejo del fósforo en cultivos perennes, mientras que para cultivos anuales, el análisis de fósforo en tejidos es conveniente para el diagnóstico de la fertilización fosforada para cultivos siguientes al evaluado.

