
SELECCIÓN DE UN MÉTODO PARA ANALIZAR FÓSFORO TOTAL EN FERTILIZANTES INORGÁNICOS.

Choice of a method for total phosphorus analysis in inorganic fertilizers.

Carmen E. Carrillo de Cori¹, Carmen Arvelo de Valls¹, Magaly Ruiz², Aymara Sánchez³, José G. Escalona¹, Luis Castillo⁴, Eilen Arteaga⁵, Mayoly Túa³, Rosa Gutiérrez², Óscar Gamboa¹, Isabel E. Arrieche⁷, Tirso Díaz⁷ y Francisca Sosa¹.

¹ Universidad Central de Venezuela (UCV), Facultad de Agronomía, ² Universidad Nacional Experimental Rómulo Gallegos, ³ Universidad Nacional Experimental de los Llanos Ezequiel Zamora, ⁴ EDAFOFINCA, ⁵ PEQUIVEN, Morón, ⁶ Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables, ⁷ Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas.

Resumen

Con el objeto de establecer un método a ser utilizado en todos los laboratorios nacionales para analizar fósforo total en fertilizantes inorgánicos, se compilaron las modalidades analíticas que aplican con este fin varios organismos nacionales e internacionales. Todos los métodos incluyen una etapa de extracción y otra de determinación del fósforo. Se seleccionaron dos (2) métodos de extracción que fueron aplicados a cinco (5) fertilizantes inorgánicos (roca fosfórica, roca fosfórica acidulada, NPK nacional, NPK importado y fosfato monoamónico importado), y un (1) estándar (KH_2PO_4 grado reactivo), éste último con la finalidad de determinar la exactitud de los métodos. Los extractos se analizaron por un método colorimétrico basado en el desarrollo del color amarillo del complejo vanadomolibdofosfórico, utilizado por Petroquímica de Venezuela (PEQUIVEN) y aplicado después de hacerle algunas modificaciones. En esta comparación experimental participaron seis (6) instituciones. El método para analizar fósforo total en fertilizantes inorgánicos fue definido combinando las técnicas y modalidades de los métodos de extracción comparados, basados en una digestión en ácido nítrico y ácido clorhídrico. La variabilidad observada en los resultados se atribuye a la diversidad de condiciones bajo las cuales se realizaron los análisis y a la complejidad del producto analizado. La recuperación del fósforo en el estándar, varió entre 95,52 y 103,25%, intervalo considerado como aceptable.

Palabras claves: Fósforo total, método colorimétrico, estudios inter laboratorios, análisis de fertilizantes.

Abstract

The procedures applied by some national and international institutions for total phosphorus analysis in inorganic fertilizers were compiled, in order to propose a single method that will be used as a norm by every Venezuelan laboratory. All the compiled methods include two phases: extraction and determination. Two extraction routines were chosen and were applied to five inorganic fertilizers (rock phosphate, partially acidulated rock phosphate, national NPK, imported NPK and imported mono ammonium phosphate). The KH_2PO_4 was also analyzed, as a standard, to determine the accuracy of the different methods. The method for analyzing total P in inorganic fertilizers was defined by combining the techniques and modalities of the extraction methods based on a digestion with nitric acid and hydrochloric acid. The observed data variability is attributed to the diversity of conditions on which the analysis were conducted and the nature of the sample. P recovery in the standard varied between 95,52 and 103,25 %, range considered as acceptable. **Key words:** Total phosphorus, colorimetric method, inter laboratory studies, fertilizer analysis.

INTRODUCCIÓN

Continuando con el proceso para uniformar metodologías de análisis de fertilizantes y enmiendas, el Grupo Interinstitucional para Uniformar Métodos Analíticos (GIUMA), procedió al estudio de las modalidades analíticas para determinar fósforo.

En los fertilizantes, los compuestos químicos de fósforo presentan diferentes grados de solubilidad en agua y otros reactivos, siendo los más solubles considerados como inmediatamente disponibles para las plantas y los insolubles como no disponibles (IFDC, 1979); de allí la necesidad de analizar diferentes tipos de fósforo en un fertilizante: P total, P hidrosoluble, P insoluble, P soluble en citrato y P disponible, expresados como % de P_2O_5 .

En general, pero con mayor énfasis en el caso del fósforo, existe una estrecha relación entre la forma química del elemento en el fertilizante, la forma química cómo las plantas lo absorben y el método para analizarlo (Arvelo de Valls, 1998). Los análisis de los diferentes tipos de fósforo implican la realización de una etapa de extracción y otra de determinación. La primera requiere el uso de reactivos específicos, para extraer las formas de fósforo que se desea determinar y una vez obtenidos los extractos, se puede cuantificar este elemento utilizando métodos colorimétricos, volumétricos o gravimétricos (Carrillo de C., 1993, IFDC, 1979).

Los métodos colorimétricos son más rápidos y generalmente emplean menor cantidad de reactivos que los volumétricos. Los métodos gravimétricos normalmente se descartan debido al tiempo que se requiere, sobre todo para la obtención de peso constante. Los métodos colorimétricos para determinar fósforo en fertilizantes, están basados en el desarrollo del color amarillo del complejo *vanadomolibdofosfórico*, debido a que esta modalidad analítica se adapta al análisis de soluciones que contengan entre 1 y 20 mg de P por litro, mientras que los métodos basados en el desarrollo del color azul (a base de cloruro estannoso o de ácido ascórbico), son más adecuados para soluciones con concentraciones bajas de fósforo (0,01 a 6 mg de P por litro), como las presentes en suelos y aguas (APHA-AWWA-WPCF, 1992).

El fósforo total se define como el proveniente de todas las formas de P, tanto orgánicas como inorgánicas presentes en un fertilizante (Ministerio de Fomento, 1977). Los fertilizantes comerciales de origen mineral (fertilizantes inorgánicos) portadores de fósforo, contienen generalmente ortofosfatos de calcio o de amonio, aunque también se pueden presentar metafosfatos y polifosfatos. Estos productos aportan cantidades relativamente grandes de fósforo, mientras que los fertilizantes orgánicos poseen cantidades menores de este elemento. Dado que el fósforo se puede presentar en forma de compuestos orgánicos, un método de digestión para determinar fósforo total debe ser capaz de oxidar la materia orgánica y/o hidrolizar todos los compuestos hasta formar ortofosfatos. Es importante también tomar en cuenta, que si se va a utilizar un método colorimétrico para la determinación, es indispensable destruir todo el color residual de los extractos (National Fertilizer Development Center (NAFDC), 1979). Los métodos que usan el ácido perclórico son más drásticos, recomendándose sólo para muestras con grandes cantidades de materia orgánica, como son los fertilizantes de origen orgánicos. Por lo tanto, un método a ser aplicado a todo tipo de fertilizante generalmente incluye el uso de ácido perclórico (AOAC, 1997; Ministerio de Fomento, 1977). Este reactivo debe manejarse con mucha precaución, además, su uso está expresamente prohibido en algunas campanas extractoras.

En Venezuela, el método oficial para determinar el P total en fertilizantes está contenido en la norma COVENIN 1132-77 (Ministerio de Fomento, 1977). Consiste en un método basado en la transformación en ortofosfatos del fósforo presente en el fertilizante, su precipitación como fosfomolibdato de amonio y su determinación volumétrica mediante la disolución de ese precipitado en un volumen conocido y en exceso de NaOH valorado y la titulación del exceso de álcali con HNO_3 valorado. La norma COVENIN comprende tres modalidades de extracción, según la naturaleza de la muestra, dos para fertilizantes inorgánicos y una para los de origen orgánico. La aplicación de esta última técnica no siempre es satisfactoria, ya que algunas muestras como el lombricompostado y el estiércol de pollo, producen extractos que permanecen coloreados después de la digestión (Carrillo de C., 1999). Por otra parte, la norma oficial contempla la aplicación de un método volumétrico con un procedimiento muy laborioso, siendo uno de los materiales utilizados, la fibra de asbesto, producto que presenta riesgos potenciales para la salud pública.

Aunque la meta de este grupo de trabajo es la de definir los métodos para analizar cualquier tipo de fertilizante, pero en virtud de los problemas encontrados ya señalados (GIUMA, 1999), se ha considerado conveniente estudiar por separado los métodos para analizar los fertilizantes orgánicos.

La normativa oficial no ha sido revisada en ventidós años, y los diferentes laboratorios que analizan fertilizantes, no aplican la norma COVENIN o lo hacen en forma parcial, ya que le han hecho adaptaciones basadas en métodos de uso internacional o en sus propias investigaciones.

Los productos existentes en el mercado hasta hace pocos años, eran los fertilizantes inorgánicos, pero recientemente se ha observado la aparición de productos orgánicos en diferentes combinaciones y formas de presentación, no estando preparado casi ningún laboratorio nacional para aplicar el método adecuado a la naturaleza de estas muestras. El GIUMA trabaja actualmente en este sentido.

Esta investigación se realizó con el objeto de establecer un método único para analizar fósforo total en fertilizantes inorgánicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se compilaron los métodos que aplican para analizar fósforo total, varios organismos nacionales e internacionales: COVENIN, EDAFOFINCA, FUSAGRI, MPC-SASA, PEQUIVEN, UCV-Agronomía, UNERG-Agronomía, AOAC y NAFDC.

Los métodos compilados presentan las siguientes características:

- Los métodos incluyen dos etapas: extracción del fósforo y determinación del fósforo.
- Las extracciones se realizan con diferentes ácidos fuertes en distintas proporciones y combinaciones, dependiendo de la naturaleza de la muestra.
- La determinación puede ser colorimétrica, volumétrica o gravimétrica, siendo la más usada la colorimétrica basada en la formación del complejo amarillo vanadomolibdofosfórico.

Con el objeto de incluir la variabilidad de tipos de fertilizantes inorgánicos que se expenden en el mercado, se seleccionaron cinco productos comerciales, que responden a la siguiente denominación genérica: roca fosfórica (RF), roca fos-

fórica parcialmente acidulada (RFA), NPK complejo nacional (NPK-Nac), NPK complejo importado (NPK-Imp.) y fosfato monoamónico importado (FMA).

Para determinar la exactitud de los métodos, se utilizó el KH_2PO_4 grado analítico, previamente secado a 105°C y se calculó el porcentaje de recuperación mediante la siguiente fórmula:

$$R = (\text{P}_2\text{O}_5 \times 100) / 52,19$$

Siendo:

R = % de recuperación del P_2O_5 .

P_2O_5 = Porcentaje de fósforo obtenido en el análisis, expresado como P_2O_5 .

52,19 = Porcentaje de P_2O_5 total teórico en el KH_2PO_4 .

Para evaluar la recuperación obtenida, se utilizaron los criterios sugeridos por Buresh *et al* (1982), en sus investigaciones con ^{15}N .

Se aplicaron dos métodos de extracción, cuyos detalles se aprecian en el cuadro 1.

Los extractos fueron analizados por un método colorimétrico, basado en la formación del complejo de color amarillo vanadomolibdofosfórico (PEQUIVEN, 1996).

Las muestras fueron analizadas por triplicado. Simultáneamente se incluyó un blanco, cuyo contenido de fósforo se

restó al valor obtenido en la muestra. Los análisis fueron realizados por el personal técnico y en los laboratorios de seis instituciones: EDAFOFINCA, FONAIAP-Yaracuy, PEQUIVEN-Morón, UCV-Agronomía, UNELLEZ-Agronomía y UNERG-Agronomía.

El ensayo se estableció bajo un diseño experimental completamente aleatorizado, arreglado como un factorial $2 \times 6 \times 5$ (2 métodos \times 6 instituciones \times 5 fertilizantes), resultando sesenta extracciones, las que repetidas tres veces dio un total de 180 análisis.

A los datos obtenidos se les aplicó el análisis de varianza, utilizando el programa SAS (SAS, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de aplicar el método colorimétrico a las muestras seleccionadas siguiendo el mencionado esquema, se presentan en el cuadro 2. Se muestran los datos promedio obtenidos en las diferentes instituciones y por método de extracción para cada fertilizante. Se presentan también los valores promedio del % de P_2O_5 total por método de extracción para todas las instituciones por cada producto. Si se aproximan estos últimos resultados al número entero inmediato superior o inferior (que es como se expresa el grado del fertilizante) para cada método, los porcentajes de P_2O_5 extraídos por ambos métodos resultan ser iguales: RF: 29 %, RFA: 29 %, NPK Nac: 15 %, NPK Imp: 15 % y FMA: 52%.

Cuadro 1. Breve descripción de los métodos de extracción comparados en la determinación de fósforo total.

Método	Aplicable a	Detalles del método
1 AOAC, 1997 y 1990. Ministerio de Fomento, 1977.	Muestras con pequeñas cantidades de materia orgánica.	30 mL de HNO_3 + 3-5 mL HCl. Digerir, enfriar, enrasar y filtrar.
2 Ministerio de Fomento, 1977. MAC-SASA, 1993.	Muestras con pequeñas cantidades de materia.	20 mL HCl 1:1 + 30 mL HNO_3 . Digerir, enfriar, filtrar, lavar y enrasar.

Cuadro 2. Contenido de fósforo total* (% P_2O_5) en cinco fertilizantes inorgánicos, analizado por seis instituciones (fósforo extraído por dos métodos y determinado por el método colorimétrico del complejo amarillo vanadomolibdofosfórico).

Institución	Fertilizante									
	RF		RFA		NPK-Nac		NPK-Imp		FMA	
	Método									
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
1	28,84 a	28,57 a	30,21 a	29,94 a	15,93 c	15,45 c	15,61 c	16,10 d	51,88 a	54,87 b
2	29,36 ab	31,11 b	29,25 a	28,66 a	15,69 bc	15,28 c	14,75 ab	14,18 ab	52,40 a	52,37 b
3	29,68 ab	29,30 a	29,55 a	28,00 a	15,12 b	15,67 c	14,22 a	14,77 bc	51,76 a	53,45 b
4	30,85 b	29,32 a	29,76 a	29,79 a	16,26 c	15,15 c	14,90 b	14,44abc	53,80 a	51,43 ab
5	28,90 ab	28,20 a	29,14 a	29,95 a	14,16 a	13,98 b	14,32 ab	14,02 a	50,57 a	48,84 a
6	28,80 a	28,61 a	28,55 a	29,06 a	14,50 ab	12,60 a	15,57 c	14,63 b	53,76 a	51,46 ab
Promedio	29,41	29,19	29,36	29,12	15,28	14,69	14,88	14,69	52,36	52,37

*Promedio de tres repeticiones. En cada columna, medias seguidas por la misma letra no son estadísticamente diferentes a un nivel de significación del 5%, según la prueba de medias de Tukey.

El análisis estadístico, cuyo resumen se presenta en el cuadro 3, indica que las diferencias entre métodos no son significativas para los fertilizantes simples, pero sí lo fueron para

los NPK, debido posiblemente a la mayor complejidad de estos productos.

La variación debida a instituciones fue no significativa solamente para el caso de la RFA y significativa al 5% para el FMA, resultando con significación al 1% para el resto de los fertilizantes. La significación de la interacción Método X Institución (M X I), resultó similar a la atribuida a las instituciones, lo cual indica que los resultados obtenidos por las diferentes instituciones dependieron del método de extracción utilizado. Aunque se establecieron las condiciones generales para aplicar los métodos, es inevitable que existan variables en cada laboratorio (operador, equipos, instrumentación, reactivos, adaptación del método a las condiciones de cada laboratorio y manejo de las muestras), como lo contempla la Norma COVENIN 2972-92, relacionada con ensayos interlaboratorios para normalizar métodos (Ministerio de Fomento, 1992).

Con base en el análisis de varianza, se procedió a realizar la prueba de medias de Tukey, a los fertilizantes que presentaron diferencias estadísticamente significativas en la interacción M X I, con el objeto de determinar la diferencia significativa entre instituciones para cada método (Cuadro 3). Pareciera que para los fertilizantes simples (RF y RFA) es indiferente aplicar cualquiera de los dos métodos de extracción, aunque se observan menores variaciones en los resultados de las diferentes instituciones aplicando el método 1; mientras que para los fertilizantes complejos se aprecia una mayor dispersión de los resultados, siendo ésta más marcada cuando se aplica el método 2. La tendencia del método 1 de producir datos más uniformes puede deberse a que según esta modalidad, el extracto se lleva a un balón aforado donde se enrasa y luego se filtra, mientras que en el método 2 es necesario filtrar primero, lavar y luego enrasar. Si el lavado no se realiza con las normas analíticas estrictas, existe la posibilidad de que esta fase constituya una fuente de error para el método 2.

Cuadro 3. Resumen del análisis de varianza de los factores considerados para los resultados de fósforo total en cinco fertilizantes inorgánicos.

Fuente de variación	Fertilizantes inorgánicos				
	RF	RFA	NPK-Nac.	NPK-Imp.	FMA
Método (M)	NS	NS	**	*	NS
Institución (I)	**	NS	**	**	*
M X I	**	NS	**	**	*

* Significativo al 5 %; **Significativo al 1%, NS: No significativo.

Cuadro 4. Contenido de fósforo total (%)^a, porcentaje de recuperación (% R) y Δ 100 del fósforo en el KH_2PO_4 , analizado por seis instituciones (fósforo extraído por dos métodos y determinado por el método colorimétrico del complejo amarillo vanadomolibdofosfórico).

Institución	Método I		Método II	
	P_2O_5 (%)	% R y Δ 100	P_2O_5 (%)	% R y Δ 100
1	52,90	101,43 +1,43	51,52	98,79 -1,21
2	53,01	101,66 +1,66	52,92	101,48 +1,48
3	52,24	100,18 +0,18	51,07	97,94 -2,06
4	53,84	103,25 +3,25	52,19	100,07 +0,07
5	51,68	98,78 -1,22	51,13	98,04 -1,96
6	50,88	97,56 -2,44	49,81	95,52 -4,48

^a Promedio de tres repeticiones.

% R = $(\% \text{P}_2\text{O}_5 / 52,19) \times 100$; Δ 100 = % R - 100; 52,19 = % de P_2O_5 total teórico en el KH_2PO_4 .

En el cuadro 4 se presentan los datos del análisis del reactivo estándar utilizado para evaluar la exactitud de los dos métodos de extracción estudiados. Los porcentajes de fósforo total en el KH_2PO_4 , revelan que la recuperación del fósforo varió entre 95,52 y 103,25 % y que las diferencias con respecto a 100% (Δ 100) resultaron en valores negativos (por defecto) y positivos (por exceso); asimismo, que en el 83 % de los casos (10/12), la recuperación lograda cumple con los criterios de aceptación que utilizan Buresh *et al.* (1992).

Con base en los resultados de este trabajo, el método para analizar fósforo total en fertilizantes inorgánicos, que se propone como método único, quedó definido combinando las técnicas y modalidades de los métodos de extracción 1 y 2 (que condujeron a una mejor manipulación de la muestra y a menores diferencias entre los resultados) y el método de determinación colorimétrica aplicado por PEQUIVEN con algunas modificaciones, cuyo resumen se presenta a continuación.

Extracción:

Se pesa 1 g de muestra en un beaker o erlenmeyer de 250 mL, se añaden 20 mL de HCl 1:1 y 30 mL de HNO_3 concentrado. Se digiere sobre plancha eléctrica bajo campana hasta desaparición de humos blancos. Se deja enfriar y se transfiere cuantitativamente a un balón aforado de 250 mL usando agua destilada. Se enrasa, se mezcla y se filtra, usando papel de filtro semicuantitativo seco.

Simultáneamente, se incluye un blanco, con agua destilada y los reactivos

Determinación:

A. Muestra: Del extracto, se toma una alícuota de 5 mL o un volumen que contenga entre 0,5 y 1,5 mg de P_2O_5 y se coloca en un balón de 100 mL.

B. Patrones: Para preparar una serie de 0; 5; 7,5; 10 y 15 mg.L^{-1} de P_2O_5 , se miden alícuotas de 0; 5; 7,5; 10; y 15 mL de una solución de fosfato (KH_2PO_4), que contenga 100 mg.L^{-1} de P_2O_5 y se transfieren a balones de 100 mL.

El procedimiento que sigue es igual para A) y B).

A cada balón se añaden 10 mL de solución ácida de molibdato de amonio y 10 mL de solución ácida de metavanadato de amonio. Se enrasa con agua destilada, se mezcla y se deja en reposo por 10 minutos. Se mide la absorbancia en un espectrofotómetro a 400 nm, utilizando como referencia el patrón de 0 mg.L^{-1} de P_2O_5 . Se elabora la curva de calibración Absorbancia vs. Concentración de P_2O_5 y se calcula el % de P_2O_5 de la muestra, restando el resultado obtenido en el blanco.

Preparación de la solución ácida de molibdato de amonio : Disolver 25 g de molibdato de amonio ($(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$) en 200 mL de agua destilada. Añadir cuidadosamente 42,5 mL de H_2SO_4 concentrado (g.e. 1,84 g.mL^{-1}) y diluir a 2,5 litros con agua destilada.

Preparación de la solución ácida de metavanadato de amonio: Disolver 1 g de vanadato de amonio (NH_4VO_3) en 500 mL de agua. Añadir cuidadosamente 72 mL de H_2SO_4 concentrado (g.e. 1,84 g.mL^{-1}) y diluir a 2,5 litros con agua destilada.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Para cada fertilizante inorgánico, los resultados obtenidos por el método 1 y el método 2 (considerando el promedio

de todas las instituciones), son iguales si se aproximan al número entero inmediatamente superior e inferior, como se aplica en los fertilizantes; sin embargo, se obtuvieron diferencias significativas entre métodos para la mayoría de estos materiales.

La naturaleza del producto influyó en la variabilidad de los resultados encontrados, al aplicar los métodos de extracción para los fertilizantes inorgánicos; mientras estos productos son más complejos hay más dispersión de los datos.

Las diferencias encontradas entre los resultados de las instituciones que participan en el proceso, son el reflejo de la diversidad de condiciones bajo las cuales se realizaron los análisis.

Cuando se aplica el método colorimétrico en la determinación de fósforo total en los fertilizantes inorgánicos, estos productos pueden ser analizados por un método cuya extracción se basa en una digestión con una mezcla de ácido nítrico y ácido clorhídrico, combinando las técnicas y modalidades de los métodos de extracción 1 y 2.

Los métodos comparados en forma experimental en este trabajo, son bastante exactos, según los criterios utilizados en esta investigación.

Se propone un método único para analizar fósforo total en fertilizantes inorgánicos, para que se utilice en todos los laboratorios nacionales.

LITERATURA CITADA

APHA-AWWA WPCF. 1992. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales. Versión en español. Ediciones Díaz Santos. Madrid, p.188

Arvelo de V., C. 1998. Fundamento de los análisis de nutrientes en los fertilizantes. **En:** Taller "Los análisis de Fertilizantes y su importancia en el uso eficiente de los mismos". UNELLEZ-GIUMA. Guanare. 3 p.

Buresh, R. J.; E. R. Austin y E. T. Craswell. 1982. Analytical methods. **In:** ^{15}N research. Fert. Res. 2:227-245.

Carrillo de C., C. 1993. Evaluación de metodologías utilizadas en Venezuela para el análisis de nitrógeno, fósforo y potasio en fertilizantes., Apuntes Técnicos PALMAVEN, Vol.

1, N° 1.

Carrillo de C., C.; C. Arvelo de V.; M. Ruiz; A. Sánchez; J. Escalona; L. Castillo; E. Arteaga; M. Túa; R. Gutiérrez; O. Gamboa; I. E. Arrieche; T. Díaz y F. Sosa. 1999. Análisis de fósforo total en fertilizantes. I. Método colorimétrico. Memorias del XV Congreso venezolano de la Ciencia del Suelo, Barquisimeto. pp: 53.

International Fertilizer Development Center (IFDC). 1979. Fertilizer Manual. Muscle Shoals, Alabama, USA. 353 p.

Ministerio de Agricultura y Cria. Servicio Autónomo de Sanidad Agropecuaria (MAC-SASA). 1993. Laboratorio de Fertilizantes y Plaguicidas. Inédito. 3 p.

Ministerio de Fomento. Comisión Venezolana de Normas Industriales (Covenin). 1977. Determinación de Fósforo Total. Norma 1172-77. Caracas. 7 p.

Ministerio de Fomento. Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN). 1992. Norma venezolana. Precisión de los métodos de ensayo. Determinación de la repetibilidad y la reproducibilidad de un método de ensayo normalizado mediante ensayos realizados por diferentes laboratorios. COVENIN 2972-92 (ISO-5725-86). 53 p.

National Fertilizer Development Center (NAFDC). Tennessee Valley Authority. 1979. Laboratory Manual. General analytical laboratory. Phosphorus. NAFDC-TVA, Muscle Shoals, Alabama. pp.107-135.

Officials Methods of the Association of Official Analytical Chemists (AOAC). 1990. Fertilizers. 15th Ed, Edited by Kenneth Helrich. Association of Official Analytical Chemists, Inc. Arlington, Virginia, USA. pp. 11-36.

Officials Methods of Analysis of AOAC International (AOAC). 1997. Fertilizers.16th Ed, 3rd revision, 1997. AOAC International, Gaithersburg, MD., V1, 1-43.

Petroquímica de Venezuela (PEQUIVEN). 1996. Ensayos de laboratorio. Determinación de fósforo total en fertilizantes. Método colorimétrico. PEQUIVEN. Morón, método PQM 3200.

SAS Institute Inc/Stat T. M. 1989. User's Guide. Release 6, 4^o Edition. Cary Nc:Institute Inc. 1988. 1028 p.