

EVALUACIÓN ANALÍTICA DE LABORATORIOS DE ANÁLISIS DE SUELOS EN CHILE

ANALYTICAL EVALUATION OF THE SOIL TESTING LABORATORIES IN CHILE

Angélica Sadzawka R.¹, Renato Grez Z.²,
María Adriana Carrasco R.³, María de la Luz Mora G.⁴
y Hugo Flores P.¹

¹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Centro Regional de Investigación La
Platina, correspondencia: asadzawk@inia.cl, hflores@inia.cl

² Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales

³ Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas

⁴ Universidad de La Frontera, Instituto de Agroindustria,

Key words: soil testing, acid soils, inter-laboratory exchange, quality control.

ABSTRACT

In 1995, the Chilean Society of Soil Science started analytical control program inter-laboratories with acidic soil samples. Because of the repeated disparity, after two rounds of control in 1997, was proposed the Normalization and Accreditation Commission of laboratories (NAC) with the aim to select, validate the analysis methods and to evaluate the quality of analytical results.

Ten years of evaluation and control of acid soils are reported here (1995-2004). On average, all laboratories showed a significant progress, because the index of inaccuracy diminished from 35% to 18% and, the index of imprecision, from 9% to less than 3%. As the impact of NAC action, the index of laboratory quality (excellence) increased from 78% in 1995 to more than 90% in 2000.

At present, NAC coordinates inter-laboratories annual rounds and reports not only for analysis of acidic soils, but also for soils affected by salts and we include vegetal tissues samples. The purposes of the analyses are: 1) to diagnose soil fertility problems, specially related with acidity and phosphorus availability in acid soils; 2) to detect problems of salinity and sodicity in soils affected by salts; and 3), to quantify the inorganic components in vegetal tissues.

Palabras claves: análisis de suelos, suelos ácidos, intercambio entre laboratorios, control de calidad.

RESUMEN

En 1995, la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, inició un programa de control analítico entre laboratorios con muestras de suelos ácidos. Debido a la reiterada disparidad, luego de dos rondas de control en 1997, se propuso la creación de la Comisión de Normalización y Acreditación de Laboratorios (CNA) con la misión de seleccionar y validar los métodos de análisis y de evaluar la calidad analítica de los resultados obtenidos por los laboratorios.

En este trabajo se evaluaron los resultados de los primeros diez años (1995 a 2004) de funcionamiento del programa de análisis de suelos ácidos. En promedio, los laboratorios mostraron un significativo progreso, debido a que el Índice de Inexactitud ha disminuido de 35% a menos de 18% y el Índice de Imprecisión de 9% a menos de 3%. Como resultado de la acción de la CNA, el Índice de Excelencia de los laboratorios ha aumentado de 78% en 1995 a más de 90% a partir del año 2000.

Actualmente, la CNA coordina rondas anuales entre laboratorios para análisis de suelos ácidos, de suelos afectados por sales y de tejidos vegetales. Los propósitos de los análisis son: 1) diagnosticar problemas de fertilidad, especialmente relacionados con acidez y disponibilidad de fósforo en los suelos ácidos; 2) detectar problemas de salinidad y sodicidad en los suelos afectados por sales; y 3) cuantificar los constituyentes inorgánicos en los tejidos vegetales.

INTRODUCCIÓN

El análisis de suelo es un componente fundamental del manejo de elementos nutritivos y del diagnóstico de problemas nutricionales en los sistemas agronómicos. Para usar el análisis de suelo como una herramienta de diagnóstico de máxima eficiencia deben cumplirse las siguientes condiciones: 1) la muestra de suelo debe ser representativa del sector de interés, 2) los procedimientos analíticos deben ser los mismos o equivalentes a los usados en los ensayos de calibración, 3) los resultados de los laboratorios deben ser exactos y precisos, y 4) la interpretación de los resultados debe basarse en una extensa investigación de campo (Topper, 1990). Es común que los investigadores y usuarios en general atribuyan a la calidad de los análisis de suelos la mayor relevancia dentro de las condiciones enumeradas, por lo que demandan crecientes incrementos en la exactitud y precisión de los resultados analíticos que entregan los laboratorios.

Para satisfacer esta demanda, la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo (SCCS) inició en 1995 un programa de análisis de muestras de suelos ácidos entre los labora-

torios orientados a este rubro en el país. Las dos primeras rondas de intercambio arrojaron resultados altamente dispares, debido principalmente a que los laboratorios usaban métodos distintos o modificados para estimar las mismas propiedades químicas del suelo (Sadzawka, 2000). Frente a esto, la SCCS creó en 1997 la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de laboratorios con el propósito de seleccionar y validar las metodologías de análisis y de evaluar la calidad analítica de estas metodologías.

La selección de los métodos analíticos se basó en una encuesta que arrojó los procedimientos más usados en laboratorios que contaban con el respaldo de ensayos de calibración de campo realizados por distintas instituciones del país. Una vez seleccionados los métodos, se describieron detalladamente y, debido a la falta de materiales de referencia certificados para los análisis de fertilidad, se validaron por rondas entre laboratorios. En el caso de los suelos ácidos, los métodos seleccionados estuvieron orientados a diagnosticar problemas de fertilidad, especialmente relacionados con acidez y disponibilidad de fósforo.

Para la evaluación de la calidad analítica de los laboratorios, se estableció un programa de rondas anuales bajo la responsabilidad de la Dirección Ejecutiva de la CNA con las siguientes etapas: 1) envío de un mismo conjunto de cuatro muestras con las instrucciones detalladas de los métodos analíticos a emplear, 2) entrega de formularios e indicaciones para el envío de los resultados a los laboratorios participantes, 3) codificación de los laboratorios participantes para mantener el anonimato, 4) análisis estadísticos de los datos, y 5) distribución de los informes a los laboratorios participantes para que cada uno pudiera evaluar su competencia por comparación de sus resultados con los de los otros laboratorios (Grez y Sadzawka, 2000; Grez et al., 2001, 2002).

Posteriormente, la CNA incorporó nuevas rondas anuales entre laboratorios: una en 1998, de análisis de suelos afectados por sales (orientados a detectar problemas de salinidad y sodicidad) y otra en 2001, de análisis de constituyentes inorgánicos en tejidos vegetales (Sadzawka et al., 2004b).

En este estudio se presenta la variabilidad de los resultados de análisis de suelos ácidos y la evolución de la calidad analítica de los laboratorios en diez años (1995 a 2004) de funcionamiento del programa de rondas anuales de la CNA.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del programa

El programa de evaluación de la calidad analítica de los laboratorios en los análisis de suelos ácidos opera sobre la base del envío anual de muestras a los laboratorios que manifiestan su interés en participar. Las muestras son colectadas por la CNA en zonas de suelos ácidos de importancia agrícola, secadas al aire, tamizadas a 2 mm y homogenizadas antes de la distribución. Cada laboratorio recibe cuatro muestras de alrededor de 100 g cada una (una de ellas en duplicado) y tiene un plazo de cuatro semanas para realizar los análisis con la indi-

cación de seguir estrictamente la metodología recomendada por la CNA (Sadzawka *et al.*, 2004a).

De acuerdo a lo recomendado por Sadzawka et al. (2004a) los métodos de análisis de suelos ácidos incluyen las mediciones de: pH-H₂O y pH-CaCl₂ en relación 1:2,5; materia orgánica por oxidación con dicromato en medio ácido y colorimetría; P-Olsen, extraíble con solución de bicarbonato de sodio 0,5 mol/L a pH 8,5; S-SO₄ extraíble con Ca(H₂PO₄)₂ 0,01 mol/L; Ca, Mg, K y Na extraíbles con acetato de amonio (NH₄Ac) 1 mol/L a pH 7,0; Al extraíble con KCl 1 mol/L; capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE) como la suma de Ca, Mg, K, Na y Al extraíbles; saturación de Al como el porcentaje de Al extraíble respecto de la CICE; y capacidad tampón de P (CTP) por incubación a 60°C por 24 h (Sadzawka *et al.*, 2003, 2004a). Los laboratorios pueden realizar todos o solamente algunos de los análisis indicados, según su interés o capacidad técnica. Cada laboratorio se codifica anualmente para mantener el anonimato.

Criterio estadístico

Para estimar la evolución de la calidad analítica de los laboratorios, se calcularon la exactitud y la precisión de los resultados en las diez rondas entre laboratorios (1995 a 2004). La exactitud se considera como la proximidad al valor real, tomado como la mediana de los resultados de todos los laboratorios. La precisión se refiere a la repetibilidad de los resultados de cada laboratorio. Para determinar la exactitud se calcularon la mediana (*m*), la desviación estándar (*s*) y el intervalo de resultados aceptables como $m \pm 2s$. Los valores fuera del intervalo aceptable se marcaron con un asterisco, se sacaron del conjunto y se repitió el cálculo con los resultados remanentes. Nuevamente, los valores fuera del intervalo aceptable se marcaron con un asterisco y los laboratorios que habían recibido un asterisco antes, recibieron un segundo aste-

risco. Se usó la mediana, en lugar del promedio, para disminuir la influencia de los valores extremos. Con los resultados obtenidos se estimaron los índices de inexactitud y de imprecisión. El índice de inexactitud se calculó como el porcentaje del total de asteriscos con respecto al total de determinaciones de cada año. El índice de imprecisión se calculó como el promedio del coeficiente de variación (CV) de los resultados que cada laboratorio entregó. Finalmente, se calculó un índice de excelencia (IE) del conjunto de laboratorios participantes, como: $IE = 100 - (\text{Índice de Inexactitud} + \text{Índice de Imprecisión})/2$ (Quaggio et al., 1994).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Laboratorios participantes

Las rondas entre laboratorios se iniciaron en 1995 con la participación de 14 laboratorios en los análisis de suelos ácidos, número que fue aumentando hasta un máximo de 23 el año 2000 (Figura 1). En 1998, se iniciaron las rondas entre laboratorios de análisis en suelos afectados por sales.

Los laboratorios participantes en las distintas rondas están distribuidos geográficamente a lo largo del país. Sin embargo, en las rondas de suelos ácidos, se ubican principalmente entre las zonas centro y sur ($32^{\circ}40' - 46^{\circ}00'S$). En cuanto a la dependencia institucional, en la ronda de suelos ácidos del 2004, el 64% de los laboratorios eran públicos (universidades e institutos) y el 36% privados.

Resultados de los análisis

Con excepción del pH, las muestras usadas en las rondas entre laboratorios de suelos ácidos presentan un amplio rango de variación en sus propiedades, con valores máximos entre cuatro veces (CTP) y 60 veces (saturación de Al) el valor mínimo (Cuadro 1). En general, en los rangos de la mediana el valor más bajo de cada análisis coincide con el valor más bajo del rango de la desviación estándar (s) y el mayor coeficiente de variación (CV). Los valores se calcularon luego de eliminar los resultados anómalos según la prueba de Grubbs (ISO 5725-2, 1994).

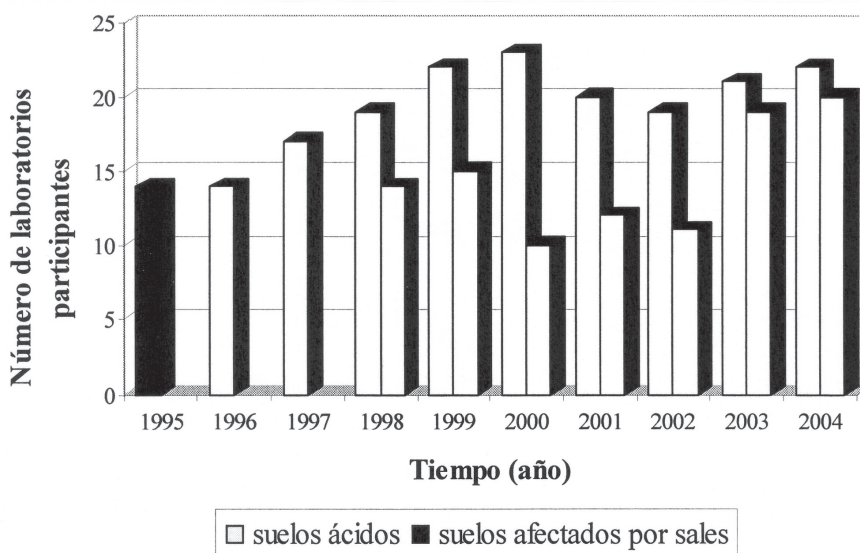


Figura 1: Número de laboratorios participantes en las rondas inter-laboratorios de análisis de suelos.
Figure 1: Number of participating laboratories in the inter-laboratory rounds of soil testing

Cuadro 1. Rango de la mediana, desviación estándar y coeficiente de variación de los análisis de suelos ácidos en las diez rondas entre laboratorios.

Table 1. Median range, standard deviation and coefficient of variation of acid soil analyses in ten inter-laboratory rounds.

Análisis	Número		Mediana	s *		CV** (%)	
	muestras	resultados		rango	mediana	rango	mediana
pH-H ₂ O	16	843	4,58 - 5,80	0,07 - 0,20	0,12	1,6 - 3,5	2,3
pH-CaCl ₂	8	328	4,33 - 4,96	0,02 - 0,07	0,04	0,4 - 1,5	0,9
Materia orgánica (%)	16	734	0,7 - 32,0	0,2 - 3,9	1,1	6 - 35	10
P-Olsen (mg/kg)	16	884	0,9 - 22,0	0,5 - 6,9	1,1	12 - 62	29
S-Ca(H ₂ PO ₄) ₂ (mg/kg)	14	653	4 - 58	2 - 21	4	18 - 67	32
Ca-NH ₄ Ac (cmol+/kg)	16	771	0,15 - 8,20	0,07 - 1,53	0,24	6 - 43	10
Mg-NH ₄ Ac (cmol+/kg)	16	764	0,10 - 3,54	0,03 - 0,43	0,07	5 - 37	11
K-NH ₄ Ac (cmol+/kg)	16	784	0,04 - 1,30	0,01 - 0,17	0,04	7 - 25	9
Na-NH ₄ Ac (cmol+/kg)	16	774	0,06 - 0,89	0,02 - 0,13	0,03	12 - 46	25
Al-KCl (cmol+/kg)	16	722	0,09 - 1,51	0,02 - 0,15	0,04	7 - 33	15
CICE (cmol+/kg)	16	712	0,79 - 11,0	0,11 - 2,1	0,3	5 - 21	8
Saturación de Al (%)	16	704	1,2 - 71,5	0,3 - 8,2	1,5	5 - 36	19
CTP (kg/ha.0,2m)	7	230	12 - 49	3 - 13	7	17 - 27	23

*s = desviación estándar, **CV = coeficiente de variación

La menor variación se observa en los resultados de pH debido a que es una función logarítmica. No obstante, si se considerara la concentración de iones H⁺ el CV sería mucho mayor. La variación de los resultados de pH-CaCl₂ es de alrededor de un tercio de la del pH-H₂O, lo que confirma la mayor reproducibilidad de la determinación del pH en soluciones salinas, debido principalmente a la disminución del efecto de suspensión.

Entre los otros resultados analizados, la menor variación (CV 8%) de todas las muestras corresponde a la capacidad de intercambio de cationes efectiva (CICE) y la mayor (CV 32%) a los resultados de S-Ca(H₂PO₄)₂. La determinación de S como sulfato en el extracto de fosfato de calcio fue realizada en todos los laboratorios por turbidimetría, técnica poco robusta, que depende considerablemente de las condiciones en que se realiza el análisis.

El P-Olsen varía entre 0,9 y 22 mg/kg en las 16 muestras analizadas, las que presentaron CV entre 12 y 62% (mediana 29%). Resultados similares de variación del P-Olsen han sido informados por Millar et al. (1996) y Wolf et al. (1996). Esta variación es problemática, debido a que los resultados obtenidos con este método en Chile se usan para el diagnóstico de la fertilidad fosforada y para las recomendaciones de fertilización. Sadzawka y Campillo (2004), Sadzawka y Molina (2004), Sadzawka et al. (2003), han propuesto la determinación de la capacidad tampón de fósforo (CTP) como una alternativa para calcular la dosis de fertilizante que se requiere para aumentar el P-Olsen del suelo hasta un nivel determinado. Como la CTP permite corregir el P al valor deseado, la CNA incorporó su análisis en las dos últimas rondas entre laboratorios. La variación de los resultados es similar a la del P-Olsen (CV 23%), lo cual era

Cuadro 2: Comparación entre los métodos de oxidación con dicromato en medio ácido y pérdida de peso por calcinación para la determinación de materia orgánica en suelos ácidos.

Table 2: Comparison among dichromate oxidation in acid medium and weight loss on ignition methods for the determination of organic matter in acid soils.

Muestra Nº	Oxidación en medio ácido				Pérdida de peso por calcinación			
	Mediana	s*	CV**	n***	Mediana	s*	CV**	n***
			%				%	
6	0,7	0,2	35	25	3,5	0,3	8	19
7	10,5	1,7	16	44	16,6	3,6	21	39
8	9,2	1,0	11	55	14,2	2,7	18	21

*s = desviación estándar, **CV = coeficiente de variación, ***n = número de resultados

esperable debido a que el método requiere de dos determinaciones de P en condiciones similares a las del P-Olsen.

Entre los cationes extraíbles con NH_4Ac , el $\text{Na-NH}_4\text{Ac}$ presenta la mayor variación en los resultados, con un CV entre 12 y 46% y una mediana de 25% (Cuadro 1). Sin embargo, debido a las bajas concentraciones de este elemento en los suelos analizados, su influencia en la variación de la CICE es baja; algo similar ocurriría con el $\text{K-NH}_4\text{Ac}$. El $\text{Ca-NH}_4\text{Ac}$ y $\text{Mg-NH}_4\text{Ac}$ también presentaron un amplio rango de variación en los CV, con una mediana entre 10 y 11 %. Por lo tanto, considerando los rangos y valores para Ca y Mg extraíbles con NH_4Ac , estos dos cationes serían los principales responsables de las variaciones en la CICE.

El rango de variación de materia orgánica en las muestras analizadas es alto (0,7% a 32%). En un intento por evitar la contaminación ambiental con cromo, la CNA organizó una ronda especial de comparación con el método no contaminante de pérdida de peso por calcinación. Los resultados por pérdida de peso fueron entre 54% y 400% más altos que los obtenidos por el método de oxidación con dicromato en medio ácido (Cuadro 2). Esta diferencia se explica porque una parte importante de la pérdida de peso por calcinación se debe al agua de constitución que poseen los minerales amorfos que predominan en la mayoría de

los suelos ácidos de Chile. Por lo tanto, mientras los laboratorios no posean analizadores elementales de carbono, la CNA recomienda seguir usando el método de oxidación con dicromato en medio ácido, con la precaución de tratar los residuos en empresas especializadas.

Evolución de la calidad analítica de los resultados de los laboratorios

En los diez años de funcionamiento del programa de rondas de análisis de suelos ácidos entre laboratorios (1995 a 2004), los resultados indican un significativo progreso, debido a que el Índice de Inexactitud ha disminuido de 35% a menos de 18% y el Índice de Imprecisión de 9% a menos de 3% (Figura 2). Como resultado, el Índice de Excelencia ha aumentado de 78% en 1995 a sobre 90% a partir del año 2000 (Figura 3), después de la dictación del curso «La calidad en el análisis del suelo» (Sadzawka y Flores, 2001), al cual asistió la mayoría de los analistas de los laboratorios participantes en las rondas entre laboratorios.

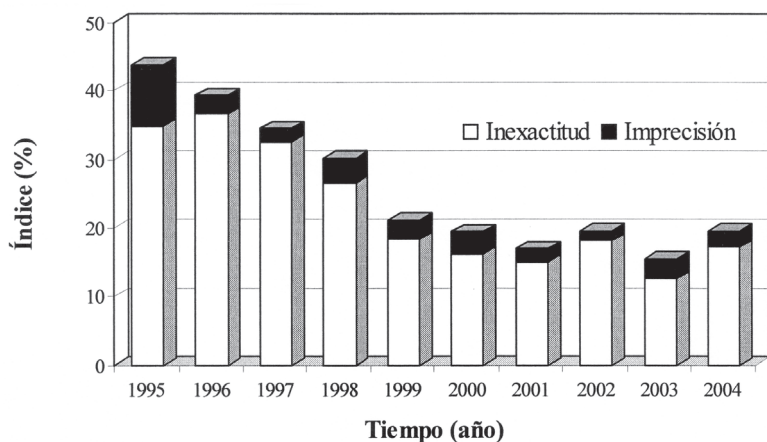


Figura 2. Evolución de los índices de inexactitud y de imprecisión de los resultados de los análisis de suelos ácidos en diez años de operación del programa de la CNA.

Figure 2. Evolution of inaccuracy and imprecision indexes of the acid soil analysis results in ten years of NAC program operation.

El comportamiento de estos parámetros estadísticos está relacionado no sólo con la calidad analítica de los laboratorios, sino que, como se destacó anteriormente, con los rangos en que se sitúan los valores analizados. Según se aprecia en el Cuadro 1, existe un amplio rango de variación, atribuible principalmente a la mayor imprecisión de las técnicas a concentraciones muy bajas en las muestras de control (por ejemplo Olsen).

Lo anterior explicaría el valor inferior del Índice de Excelencia del año 2004 con respecto al año 2003, a pesar de la mayor experiencia de los laboratorios adscritos al programa de análisis de suelos ácidos de la CNA.

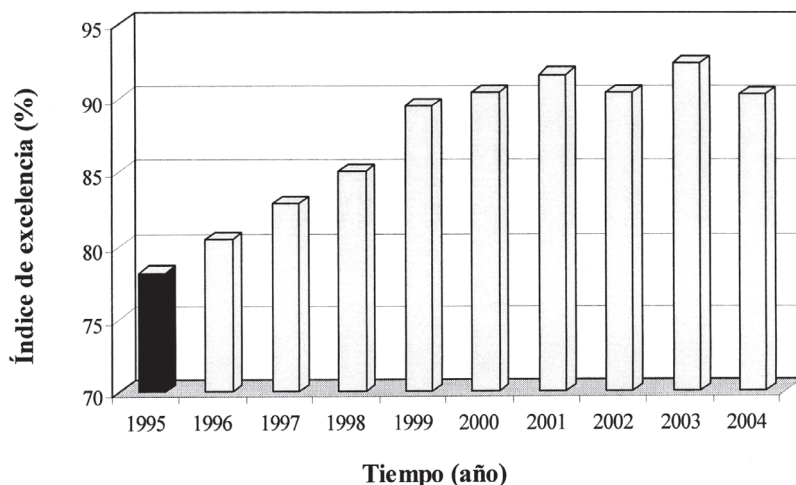


Figura 3. Evolución del índice de excelencia de los resultados de los análisis de suelos ácidos en diez años de operación del programa de la CNA.

Figure 3. Evolution of excellence index of the acid soil analysis results in ten years of NAC program operation.

CONCLUSIONES

El análisis estadístico de los resultados de los análisis químicos de suelo correspondientes a las diez rondas entre laboratorios (1995-2004) realizadas por el programa de análisis de suelos ácidos, llevado a cabo por la Comisión de Normalización y Acreditación (CNA) de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo permite concluir que:

1. La variabilidad en los análisis de suelo depende del tipo de análisis y del rango de concentración en que se encuentran los elementos a analizar. Los análisis de pH-H₂O, pH-CaCl₂, materia orgánica, Ca-NH₄Ac, K-NH₄Ac y CICE presentan la menor variabilidad (mediana CV(10%), los análisis de Mg-NH₄Ac, Al-KCl y saturación de Al presentan una variabilidad intermedia (mediana CV 11% a 20%) y los análisis de P-Olsen, S-Ca(H₂PO₄)₂, Na-NH₄Ac y CTP presentan una variabilidad alta (mediana CV>20%).
2. Se logró un significativo progreso en los resultados de los laboratorios participantes al disminuir los Índices de Inexactitud de 35% a menos de 18%, y de Imprecisión de 9% a menos de 3% y subir el Índice de Excelencia de los laboratorios de 78% a más de 90%.
3. El éxito del programa de intercambio de muestras de suelo de la CNA hace aconsejable incluir otros análisis que tienen estrecha relación con la calidad del medio ambiente y de cadena alimenticia, como serían, por ejemplo, los análisis de tejidos vegetales y análisis de metales pesados en fertilizantes, compost y en lodos no peligrosos.

AGRADECIMIENTOS

Este estudio fue realizado con el apoyo financiero del Servicio Agrícola y Ganadero (SAG).

BIBLIOGRAFÍA

- GREZ, R., SADZAWKA, A. 2000. El programa de normalización de técnicas y de acreditación de laboratorios de la Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. Boletín N° 16, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo (Chile), 13-18.
- GREZ, R., SADZAWKA, A., MORA, M.L., CARRASCO, M.A., SAAVEDRA, N., FLORES, H. 2001. Normalización de técnicas y acreditación de laboratorios para el análisis de suelos y de tejidos vegetales en Chile. XV Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. 11-16 noviembre 2001, Varadero (Cuba), p. 126.
- GREZ, R., SADZAWKA, A., MORA, M.L., CARRASCO, M.A., SAAVEDRA, N., FLORES, H. 2002. La Comisión de Normalización y Acreditación de laboratorios y el SIRSD. Boletín N° 18, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo (Chile), 43-46.
- ISO 5725-2. 1994. Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results. Part 2. Basic method for the determination of repeatability and reproducibility of a standard measurement method. International Organization for Standardization, Gèneve, Switzerland, 42 p.
- MILLAR, R.O., KOTUBY-AMACHER, J., DELLAVALLE, N.B. 1996. A proficiency testing program for the agricultural laboratory industry results of the 1994 program. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 27(3&4), 451-461.
- QUAGGIO, J.A., CANTARELLA, H., VAN RAIJ, B. 1994. Evolution of the analytical quality of the soil testing laboratories integrated in a sample exchange program. Commun. Soil Sci. Plant Anal., 25(7-8), 1007-1014.
- SADZAWKA, A. 2000. Programa de acreditación de laboratorios. Ronda anual 1997. Boletín N° 16, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo (Chile), 19-40.
- SADZAWKA, A., FLORES, H. 2001. Curso La calidad en el análisis de suelo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie Actas N° 8, Santiago, Chile, 158 p.
- SADZAWKA, A., MORA, M.L., GREZ, R., FLORES, H. 2003. Capacidad tampón de fósforo, parámetro relevante para la rentabilidad agrícola-ambiental?. Boletín N° 19, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo (Chile), 211-216.

- SADZAWKA, A., CAMPILLO, R. 2004. Capacidad tampón de fósforo. Validación en terreno de la determinación de laboratorio. 55° Congreso Agronómico, 19 a 22 de octubre, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile, p. 175.
- SADZAWKA, A., MOLINA, R. 2004. Capacidad tampón de fósforo. Método de determinación en el laboratorio. XVI Latinoamericano de la Ciencia del Suelo, 27 septiembre a 1 octubre, Centro Internacional de Convenciones, Cartagena de Indias, Colombia, p. 89.
- SADZAWKA, A., CARRASCO, M.A., GREZ, R., MORA, M.L. 2004a. Métodos de análisis recomendados para los suelos chilenos. Comisión de Normalización y Acreditación, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 113 p. Disponible en: http://www.inia.cl/platina/pubbycom/edinia/docs/metodos_an_suelos_v2004.pdf
- SADZAWKA, A., GREZ, R., CARRASCO, M.A., MORA, M.L. 2004b. Métodos de análisis de tejidos vegetales. Comisión de Normalización y Acreditación, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo, Santiago, Chile. 53 p. Disponible en: http://www.inia.cl/platina/pubbycom/charlas/docs/asadzawka_tejveg_2004.pdf
- TOPPER, K. 1990. Evaluation of quality control techniques utilized by soil testing laboratories. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 21(13-16), 1663-1680.
- WOLF, A.M., JONES, J.B., HOOD, T. 1996. Proficiency testing for improving analytical performance in soil testing laboratories: a summary of results from the Council's Soil and Plant Analysis Proficiency Testing Programs. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 27(5-8), 1611-1622.